

# バブルリングの発生条件

## Occurrence Condition of Bubble Ring

上原 大輝 杉本 凌太郎 五所尾 尚人  
UEHARA Daiki, SUGIMOTO Ryotaro, GOSHO Naoto

### I 概要

バブルリングとは、イルカやスナメリなどの水生生物が作るドーナツ型をした気泡の総称である。バブルリングは、水中で空気を出した際、内側から外側に向かって進んでいく水流によってドーナツ型の気泡となり、回転しながら進んでいく。私たちはこのような面白い性質を持ったバブルリングを簡単に作り出すことはできないか、またバブルリングを必ず作り出せる条件を見つけたいとおもったのが研究動機である。よって、バブルリングを簡単に作り出せる装置やバブルリングの観察装置を作製した後、実際にバブルリングを発生させ、どのような条件下でならバブルリングを作りだすことができるのかを考察していった。その結果、バブルリングの発生確率と空気を押し出す力の関係を見出した。

### II 研究目的

バブルリングを簡単に作り出せる装置を作製し、バブルリングの発生に関係している変数を見つけ考察する。

### III 先行研究

流体力学の分野において、バブルリングや空気砲などの総称である渦輪は、円形のときに形状が安定しやすいなどの研究結果があった。また、自由研究として様々なものでバブルリングを作るという実験報告はあったが、実際にどのような条件でバブルリングが発生するのかといった先行研究はなかった。したがってバブルリングの変数についての研究はまだあまり進められていないものであることがわかった。

また、自由研究の中で穴を開けたペットボトルキャップをペットボトルに取り付け、簡単にバブルリングを作れるというものがあったため、今後の実験ではペットボトルとキャップを用いて実験を行うことにした。

### IV 研究内容

#### 1. バブルリングの発生を確認

先行研究で紹介されていた方法で、バブルリングが発生するか確認した。その結果より、比較的強い力を加えたときにバブルリングが発生することがわかった。



図1 検証実験の様子

## 2. 予備実験

予備実験として、ペットボトルキャップの穴の開け方とバブルリングのできやすさの関係、及びペットボトルの発射口の向きとバブルリングのできやすさの関係について考察した。前者の関係を考察した目的は、バブルリングの発生に最適な穴の大きさ（直径）と穴の開け方について検証することである。なお、前者の穴の大きさについては、自由研究で一度行われていたものの再現実験であり、穴の開け方については錐と電動ドリルの2つでどちらがバブルリングを発生させやすいのかについて検証した。後者は縦にペットボトルを設置したときと横に設置したときを調べることでバブルリングが発生する発射口を縦と横の状態にしたときにどちらがバブルリングがしやすいのかについて検証するのが目的である。



図2 ドリルで穴を開けたキャップ



図3 縦に設置したとき



図4 横に設置したとき

### 結果と考察

まず、穴の大きさとバブルリングのできやすさの関係は、自由研究の結果とは違い、穴の直径を大きくしていくほど発生しやすくなった。また、錐と電動ドリルで穴を開けたときは、電動ドリルで穴を開けたものの方がバブルリングができた。よって、穴の大きさについては、力をペットボトルに加えたときに穴が大きいほどより空気がまとまって発射口から出やすくなる。穴の開け方については、錐ではきれいな穴が開けられず、気泡の水中への出され方が均一になっていなかったためと考察した。

次に、ペットボトルの設置方向は縦に設置したものではバブルリングが確認できたが、横に設置したものでは確認できなかった。これも横に設置したの時には気泡の出され方が均一でなかったためであると考察した。また、その他にも、気泡は水面に上昇していくため、バブルリングを長時間観察するためには、縦長の水槽が必要であることもわかった。

ここまでの結果からバブルリングを作るためには、ペットボトルキャップに直径4.0mm以上の穴、縦長の水槽、ある程度以上の力が必要だと分かった。

### 3. 装置の確立

#### ペットボトルとキャップ

予備実験以前では、錐と電動ドリルを用いて実験を行っていたが、今後の実験では、用意できるもので最適条件である 8.5mm の電動ドリルを用いて実験していく。また、ペットボトルは入手しやすくバブルリングが作りやすい 2L のコカコーラ社のものを用いる。

#### 縦長の水槽

バブルリングはペットボトルを横に設置したとき発生しないことから、長時間バブルリングを観察するためには、縦長の観察装置が必要だった。そのため、学校からいただいた高さ 90cm のゴミ箱の前面を切り取り、アクリル板をつけることによって、バブルリングが上部と横から観察可能である装置を作製した。また、バブルリングをこの観察装置でより長時間観察するためには、ゴミ箱の底に穴を開け、底にキャップ部分を差し込んだ。



図5 作製した観察装置

#### 力を加える装置

バブルリングを発生させ、実験を行っていくためには、ペットボトルの同じ場所へ力を加えなければならなかった。なお、ペットボトルの片側を動かさないように固定しておくことで片側からの力だけでもリングが発生させられることが事前の実験からわかった。そこで、ペットボトルに力を片側から同じ位置に加えられる装置を2つ考えた。

装置①は、力学台車とレールを2つずつ用いて力学的エネルギーの保存と運動量の保存より力  $F$  を制御する装置を作製した。しかし、エネルギー保存が成り立たず、物体の速度を計測できないことや実験の普遍性が確かではないなど問題が多くあり、実験を行っていくには適していないと判断した。

装置②は、木片と金具を組み合わせたものをペットボトルの中心に瞬間接着剤で固定し、金具にばねを引っ掛け作製した。ばね定数  $2.91\text{N/cm}$  のばねと  $1\text{cm}$  ごとに区切ったプラスチックの筒によってばねの長さを調節することでフックの法則より力  $F$  を制御できる、という点より、ばねを用いる実験を行った。

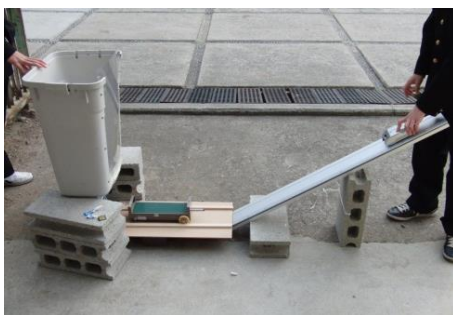


図6 装置①（エネルギー保存型）

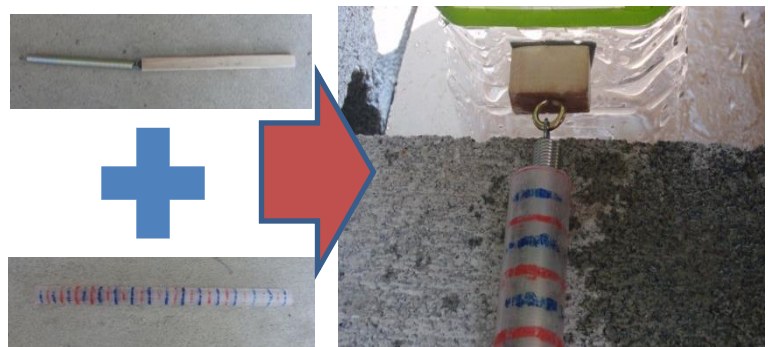


図7 装置②（フックの法則型）

図 2, 5, 7 の装置を組み合わせて本実験を行った。



図 8 本実験で用いた装置

#### 4. 本実験 1 力とリングの関係

##### 実験方法

本実験では、前述の装置を使い、ばねの長さを変えることで、ペットボトルに加える力を変えていき、実験を行った。また、この際、加える力を大きくしていくと、バブルリングの発生確率は上昇していくという仮説を立て、加えた力とバブルリングのできた割合との関係性を調べた。このとき、ばねの伸びは 1cm 刻みで 14cm までの範囲でとり、どの長さもそれぞれ 100 回以上測定した。

##### バブルリングの評価方法

バブルリングの状態はリング型の気泡が水中で分裂することなく水面まで上昇したものを○、リング型の気泡はできたが水面に上昇しきるまでに分裂したものを△、リング型の気泡そのものができなかったものを×と定義した。



図 9 ○の状態



図 10 △の状態



図 11 ×の状態

結果と考察 1-1

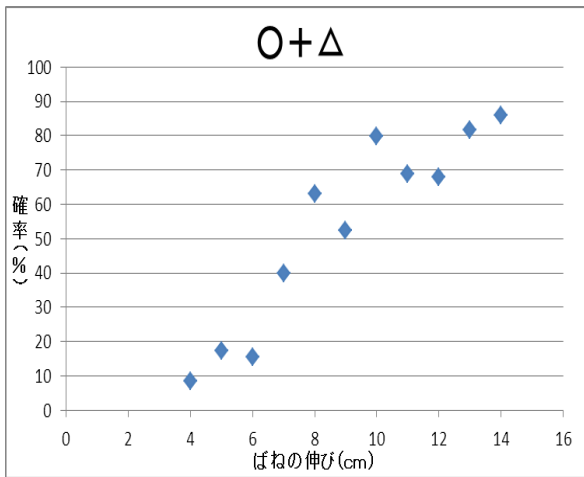


図 12 ばねの伸びと (O+Δ) の確率の関係

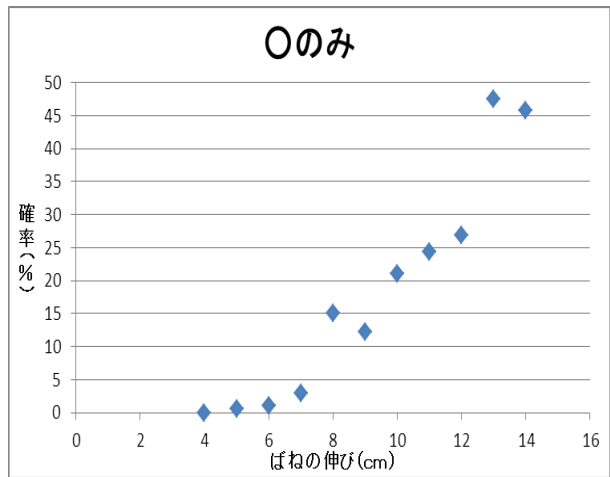


図 13 ばねの伸びと O の確率の関係

(1.0~3.0cm の値ではバブルリングを作ることはできなかった(0%)のため、省略)

図 12 から、ばねの伸び、すなわち加える力の大きさとバブルリングが発生する確率の間には増加傾向が見られ、また図 13 から力の大きさとバブルリングが形状を維持したまま上昇してくる確率の間にも増加傾向があることがわかった。よって、今回の実験から仮説が正しいものであることが示された。

しかし、実験装置にペットボトルを用いていて、ペットボトルの上にある観察装置から水圧がかかってきているので、バブルリングを発生させるときにペットボトルに力を加えると、ペットボトル内に観察装置の中に溜めてある水が少しずつペットボトルの中に入ってしまうことが判明した。このペットボトル内に入っていく水によって水位が上昇していくと、バブルリングの発生する確率が増加していると感じ、ペットボトル内の水の水位によってバブルリングの発生確率が変化しているのではないかと疑問を持った。そこで力を加える位置よりもペットボトル内の水位が下であるときを水なし、水位が上にあるときを水ありとし、グラフを作った。



図 14 水なしのとき



図 15 水ありのとき

## 結果 1-2

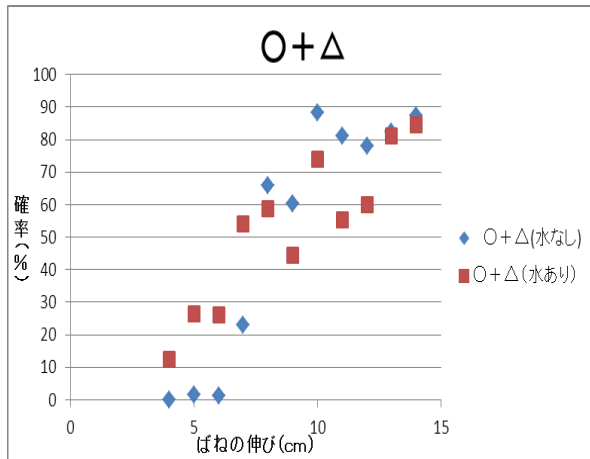


図 16 図 12 を水あり，水なしに分けたもの

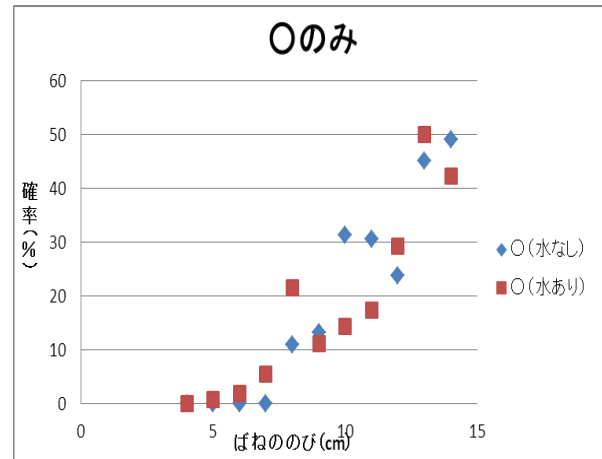


図 17 図 13 を水あり，水なしに分けたもの

## 考察 1-2

水あり，水なしのときにリングのできやすさがどのように変わっているのか，ということについては規則性を発見することができなかった。水あり，水なしに分けた状態での違いが見られなかった主な理由として，本実験 1 ではいくつかの値で，はずれ値が発生し，データに影響を与えていると考えられる。はずれ値が発生した主な原因として，私たちが新たに定義した水なし，水ありの状態の範囲の広さが原因しているのではないかと考えた。水あり，水なしという定義では，水位を 2 種類にしか分けていなかったため，異なるデータをひとつのデータとして扱ってしまっている点に問題がある。

よって，水あり，水なしについて定義の再考察を行わなければならないと考えた。そこで，ペットボトル内の水位の上昇により，発射口から出る空気量が増加しているという仮説を立て，次の実験を行った。

## 5. 本実験 2 ペットボトルの水位と空気量の関係

2L のペットボトルを 200mL ごとに線を引いて区切り，ペットボトルに入っている水位を 10 段階に分け，各段階における 1 回で出る空気量の違いを調べた。

### 実験方法

まず，水をビンの中に満たした後，表面についた水をふき取る。その後，ビンの質量を測り，そのビンを実験装置の発射口付近に近づけ，その状態を保ったままペットボトルにばねののび 10cm における力を加える。穴の部分から力を加えたときに発生する気泡を集め，気泡を集めた後の質量を再度測る。このとき，ビンの質量は空気が入り込んできた部分に存在した水を外部に追い出すことにより，その追い出した質量だけビンが軽くなる。これはビンの中に入る空気量が増加していくほど全体の質量が減少していくことであり，これにより水の質量の減少が空気の増加量であると言い換えることができる。よって，ペットボトル内に入っている水の量において空気量の違いを示すことができる。

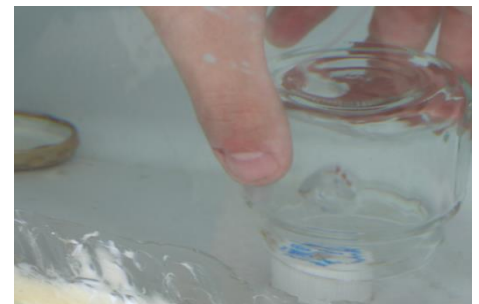


図 18 本実験 2 の様子

## 結果と考察

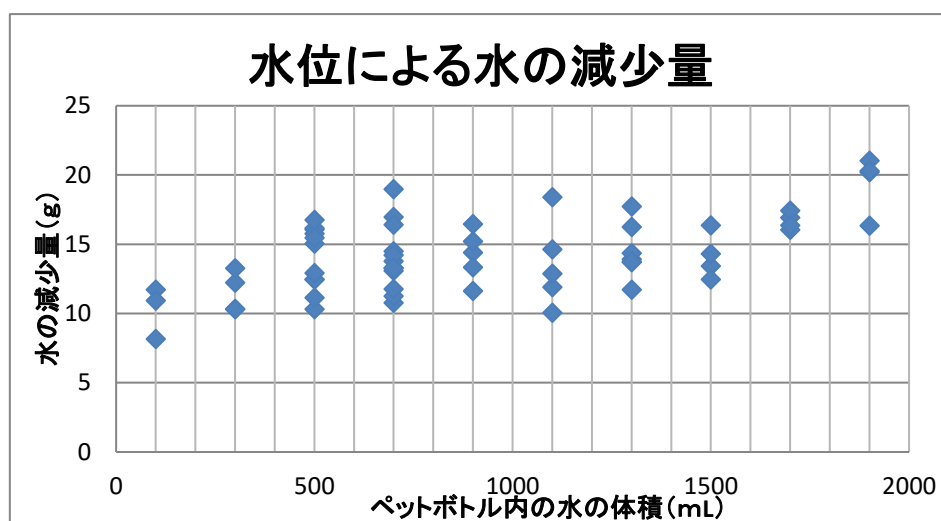


図 19 ペットボトル内の水の体積における水の減少量  
(グラフは 200mL 間ごとの値を一箇所に集めたもの)

ペットボトル内の水の水位が上昇していくにつれて、水の減少量にも緩やかな増加関係が見られた。水の減少量が増加しているため水位の上昇により、空気量が増加していると考えられる。

## V 結論

ペットボトルを用いて作成した装置に力を加えることでバブルリングを簡単に再現できる。加える力が大きくなると、バブルリングができやすくなる。また、ペットボトル内の水位によって同じ力を加えたときでも出る空気量が変化する。

## VI 今後の課題

○, △, ×といったバブルリングの状態を再定義する。また、200mL ごとに区切ったペットボトルを用いて、0~200mL の値と 1800~2000mL の値をとり、空気量がバブルリングのできやすさの変数になっているのかを考察する。

## VII 参考にしたホームページ

Haruking のホームページ <http://homepage3.nifty.com/haruking/>

バブルリング(渦輪)の紹介 <http://www012.upp.so-net.ne.jp/awanowa/Jfile/J-explain.html>

## VIII 謝辞

今回の研究を行うにあたり、御指導いただきました高松一高石川先生、理科職員の方々、その他研究に関わってくださった方々に深く御礼申し上げます。