

# コップから流れる水の形

私立本郷中学校

岡野 修平 (おかの しゅうへい)

原田 大希 (はらだ ひろき)

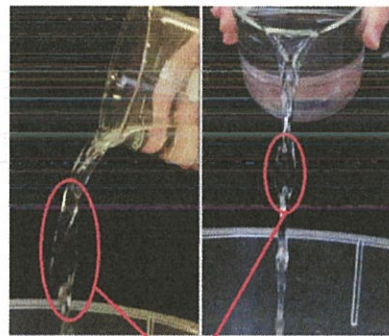
塚越 新 (つかごし あらた)

# 1 はじめに

ペットボトルから飲みものを注ぐ時、その流れに注目すると一定の形を形成していることが分かる。また、水の入ったペットボトルに穴をあけたときに出てくる水においても、同様の現象が確認された。そこで、私たちはこの現象に疑問を抱き、観察をした。

すると、水を入れた容器を傾けると右の写真 1 のように、水が縦に広がった後一度集まり、その後横に広がるということを繰り返す動きが確認された。図 1 は、この現象を分かりやすくした図である。

なお、図 2 では、水の断面の変化を表した。



リング  
横から撮影 正面から撮影

写真 1 コップから水を流したとき

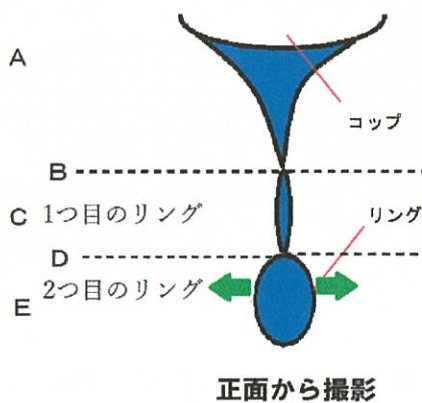


図 1 写真 1 の簡略図

容器の端における水の断面

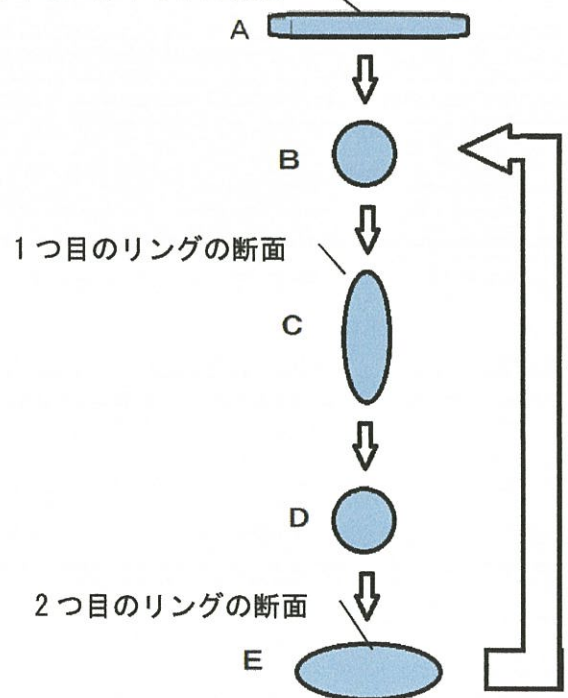


図 2 水の断面の変化

私たちはこの現象を不思議に思い、実験した。なお、一つひとつの水の広がりをも“リング”と呼ぶこととした。リングができる条件や理由について調べることが実験の目的である。

## 2 実験1

### 2-1 実験目的

容器の端における水の幅  $w$  や水の高さ  $h$  を変化させたときにリングの大きさはどのように変化するかについて調べた。

### 2-2 実験方法

横 5 cm、縦 10 cm、高さ 10 cm で横の側面が一面だけない直方体の容器に、下方に穴の開いたプラスチック板を取り付けた(図3)。これをスタンドを用いて水平に固定した(写真2)。そして容器の上から蛇口から水道水を入れて、穴から水を落下させた。その様子を横からカメラで撮影して、1 つ目に出来たリングの太さを解析した(図4)。また、ろうとを用いて容器に水をつたらせることで、蛇口から出る水が容器内の水に与える影響を小さくした。また、ろうと中の水面をろうとに付けた印の高さで維持させることで、出る水の量を常に一定(定常流)にした。

板に開けた穴の大きさは幅 1.0、2.0、3.0、4.0 cm の 4 種類、高さ 0.25、0.50、0.75、1.00、1.25 cm の 5 種類、計 20 種類で実験をそれぞれ 4 回ずつ行いその平均値を求めて表にした。

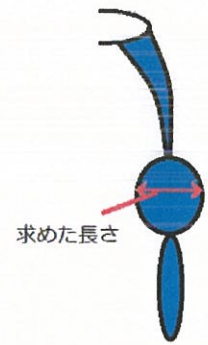


図4 横から見た図

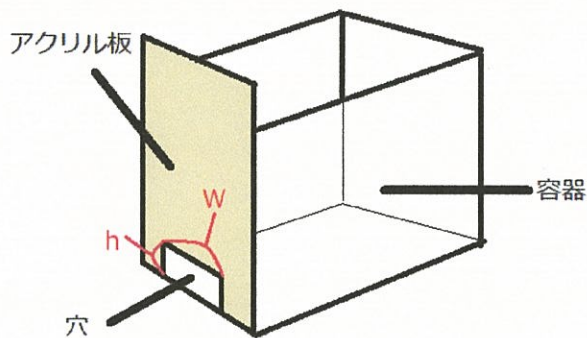


図3 実験で用いた容器

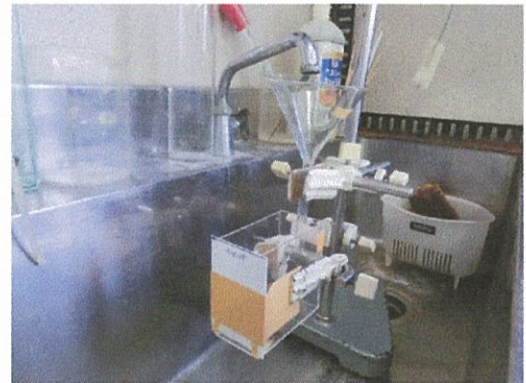


写真2 実験装置

### 2-3 実験結果

以下の表のようになった(単位は cm)。

表1 穴の大きさ毎における1つ目のリングの太さ

h \ w	1	2	3	4
0.25	0.9	1.3	1.5	1.6
0.50	×	1.3	1.6	—
0.75	×	1.5	1.7	—
1.00	×	1.4	—	—
1.25	×	1.4	—	—

×は、水は出たがリングはできなかったことを表し、—は、容器内の水面が穴の上辺よりも下だったため、値を求められなかったことを表す。



## 2-4 実験考察

以下のことが分かった。

- ・ 出る水の幅が広がるとリングは太くなる
- ・ 出る水の高さが変化しても、ほとんど変化しない
- ・ ある水の幅よりも狭く、ある水の高さよりも高くなるとリングは出来ない

これらのことから基本的にリングの太さは出る水の幅によって変化すると言うことが言える。

## 3 実験 2

### 3-1 実験目的

水が容器から落下すると集まろうとする理由を調べることを目的とした。

流体の連続の式 (断面積×速さ=一定) から、水が落下して速くなると、断面積が小さくなる。これは蛇口から流れる水道水でも確認される。しかし水道水とコップから落とした水とを比べる後の方が集まろうとする力が大きいということが分かる(写真3)。私たちはそれを表面張力によって、水が表面積を小さくしようとしたからではないかと考え、その検証をした。

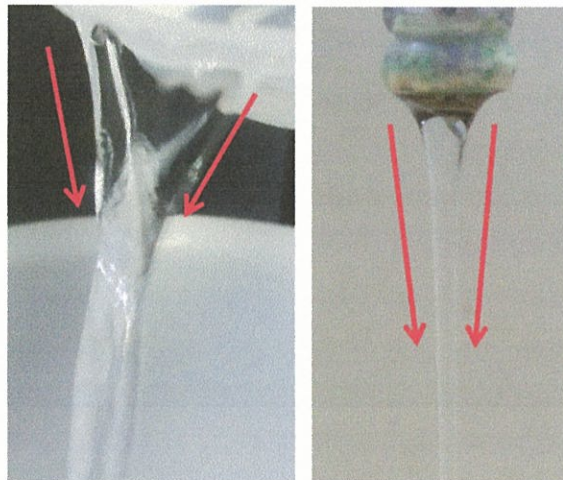


写真3 コップ(左)と蛇口(右)での集まる様子

### 3-2 実験方法

界面活性剤が 18% (green works), 37% (キュキュット) 入った洗剤を用意した(なお、界面活性剤を入れたのは、界面活性剤が表面張力を弱める働きをしているから)。それらの洗剤に水をそれぞれ 83 mL, 41 mL 入れることで、界面活性剤が 5% 入った液体 300 mL を 2 種類用意した (以後、順に液体 A、液体 B とする)。

実験 1 と同様に器具を配置して、幅 4 cm 高さ 0.25 cm の穴の開いた板を取り付けた。その中に穴を板で塞ぎながら液体を入れてから、その板をはずし液体を落下させた。その様子を横からカメラで撮影し、1 秒後の容器の端からリングが出来始めるまでの長さを測った(図 5)。入れた液体は先ほど用意した 2 種類の液体 A, B と水のみ 300 mL の計 3 種類でそれぞれ 4 回ずつ行いその平均を求め表にした。

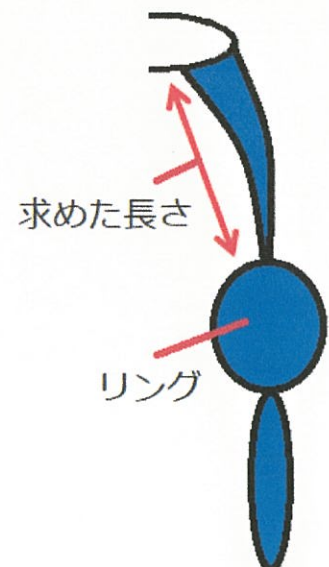


図5 横から見た図

### 3-3 実験結果

以下の表のようになった(単位は cm)。

表 2 水のみと洗剤入り液体のリングができ始めるまでの長さの比較

	水	液体 A	液体 B
距離	1.2	2.6	2.4

### 3-4 実験考察

(液体 A)  $\approx$  (液体 B) であることから洗剤の界面活性剤以外による影響はなかったと考えられる。そして (水) < (液体 A,B) であることから液体が集まろうとする力は表面張力に影響するということが検証された。

## 4 実験 3

### ○ 実験 3-1

#### 4-1-1 目的・方法

リングが発生する理由を調べることを目的とした。そこでリングが出来始めるところをカメラで撮影すると容器から流れ出た水がいくつかの太い管のようになっているのが確認された。また両端は常に一番太くなっていて、この 2 つがぶつかるときに水が直角方向に広がりリングが発生しているように見えた(写真 4)。そこでこのことを検証するために 2 本のホースから水を出して交差させ、リングが発生するか調べた。

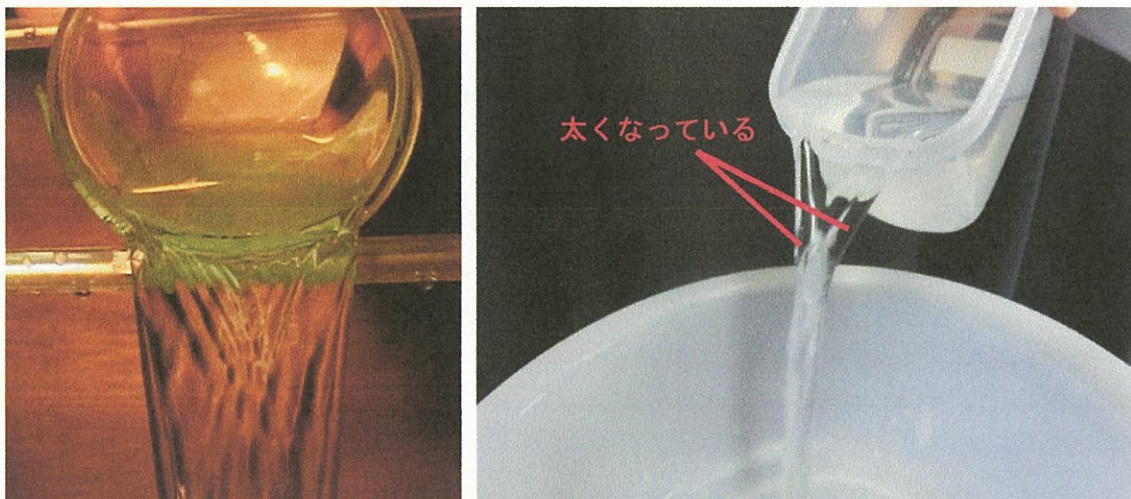


写真 4 流れる水の形



#### 4-1-2 結果・考察

リングは発生した。このことからリングは水の両端の太い部分が交差することで発生するということが検証された(写真5)。そこで、この理由を調べるために実験3-2を行った。

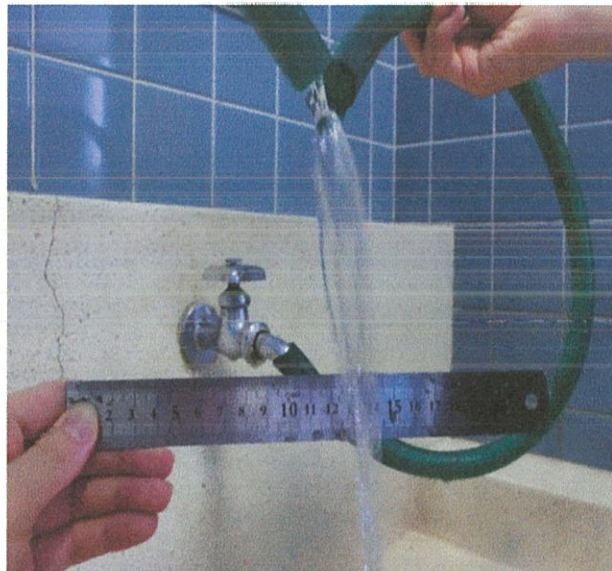


写真5 ホースから出る水をぶつけた時

### ○ 実験3-2

#### 4-2-1 目的・方法

水が交差すると、直角方向に広がる理由を調べることを目的とした。

固体の物体同士をぶつけるとその物体は反発して向きを180°変える。それに対して水の場合は向きを90°だけ変える。私たちはこの違いを変形するかしないかによるものではないかと考えた。そこで固体ではあるが変形しやすい物質である砂を用いて実験を行い検証した。2つのろうとをスタンドで固定して、そこに砂を入れて交差させ、砂が直角方向に広がるかどうか調べた。

#### 4-2-2 結果・考察

砂は直角方向に広がった(写真6)。そのため水は変形しやすい物質であるため、水の両端の太い部分が交差すると直角方向に広がりリングが発生するということが検証された。



写真6 砂同士をぶつけた時

私たちはこのような現象が起きた理由について次のように考えた。変形しやすい物質に両端から力が加わると横の長さが短くなるため、縦に広がる(図6)。この現象の場合、変形しやすい物質同士がぶつかることで、互いに力を及ぼし合い、直角方向に広がるのである(図7)。

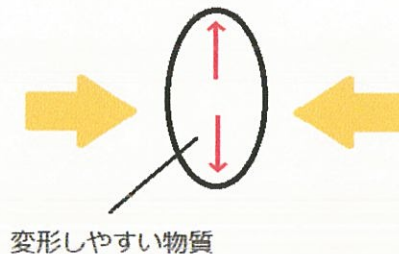


図6 変形しやすい物質に力を加えるとき

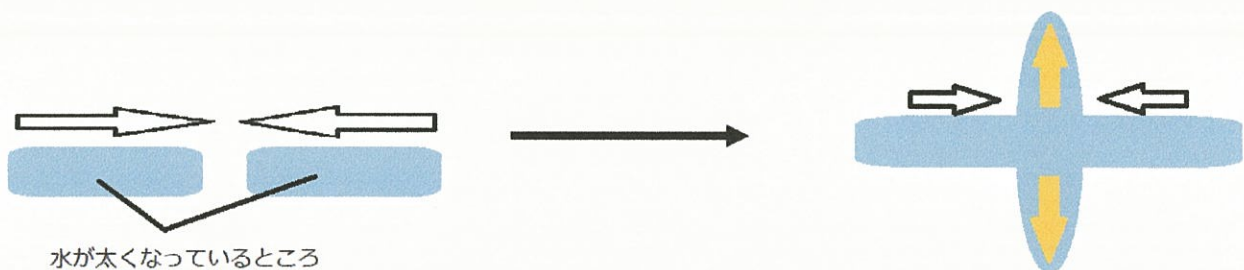


図7 変形しやすい物質同士がぶつかるとき

## 5 実験4

### 5-1 実験目的・方法

容器から流れ出した水がいくつかの管のように太く分かれる理由を調べることを実験の目的とした。

私たちはこれを水が表面張力によって集まろうとしたからであると仮定した。そこで、水のみと実験2で用いた界面活性剤が入った液体のときの両端の太くなっている部分の太さを調べた。

### 5-2 実験結果・考察

水の場合が1.0 cm、界面活性剤が入った液体の場合が0.6 cmであった。表面張力が小さいと水が集まる力も小さくなるため、その分多くの太い管のようなものができたのだ。よって私たちの仮定は検証された。また、両端が一番太くなるのは、水の側面も空気と接しているため表面張力が内側よりも大きかったためであると考えた。

私たちは太い管のような水の集まりがいくつも出来た理由についても考察した。そもそも水が表面張力によって集まるなら、横に広がった水の断面は楕円形のような形になってから円形になるはずである(図8)。しかし実際はそのようなことは起こらず、そのまま横方向に縮まっていく(図9)。そこで私たちは以下のように考えた。ベルヌーイの定理に従って容器から流れ出る水の圧力が下がると、大気からの圧力が加わるため、水は楕円形になることができない(図10)。そのため水は1つにまとまることができずに、まとめられる範囲で水がいくつも集まった結果、太い管のようなものがいくつもできたのだ。

なお、以下の図は、水の流れの断面を示す。

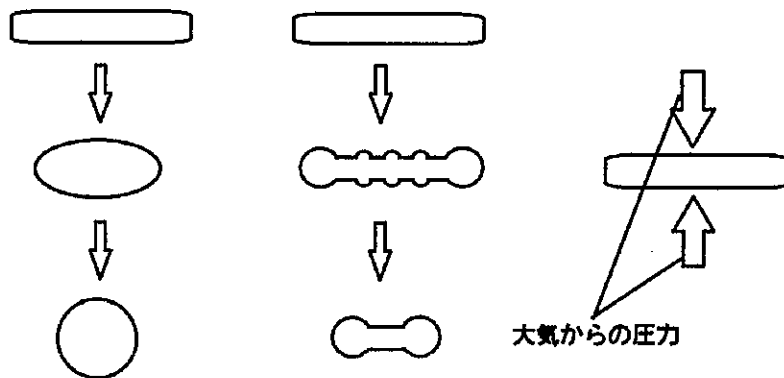


図 8

図 9

図 10

## 6 総合考察

ここでは実験 1 の結果が得られた理由について考察する。実験 3 から考えると容器から出る水の幅が広いと集まろうとするまでの落下距離が長くなり、水も速くなる。よって水の両端の太い部分が衝突する運動量が大きくなり、縦にも広く広がろうとしたのだ。

## 7 結論

容器から水を落下させると、表面張力によって断面が一つの円形になろうとする。しかし、ベルヌーイの定理によって圧力が小さくなるため、大気圧が加わり、縦方向には広がることが出来ず、横方向にだけ縮まろうとする。そのため、水はまとまれる範囲で集まろうとし、いくつかの円形に分かれる。また、側面も空気と接するため、両端の表面張力が大きくなることで特に太くなり、これら同士がぶつかると、変形しやすい水が互いに力を及ぼし合い、直角方向に広がりリングが発生する。その後、水が広がる力よりも表面張力によって縮まる力が大きくなると、上記と同じことを繰り返す。

## 8 謝辞

本郷学園科学部顧問の石川理先生に、数々の助言をいただいたことに感謝の意を示します。

## 9 参考文献

- ・ 『な～るほど!の力学』 伊藤敏雄 (学術図書出版社、1994 年)
- ・ 『流れの科学』 木村竜治 (東海大学出版会、1979 年)
- ・ 『大学演習一般物理学』 金原寿郎 (裳華房、1961 年)