

1 研究の動機

1 円玉が水に浮く、コップからあふれそうであふれない水、シャボン玉が球形になる理由など多くのことが表面張力による現象であるといわれている。そこでそもそも表面張力はどういう力か、そしてどのように関わっているのか疑問に思ったのでこの研究を始めた。



図 2

2 研究の目的

表面張力で起こる現象について理解を深めることおよび、水に浮いた 1 円玉どうしが互いに引き合う原因について調べることを目的として研究を行った。

3 シャボン玉と表面張力

(1) 実験

針金で枠をつくり、その中に先端を丸めて輪を作った糸を取り付ける。そして全体を石けん液につけて膜を張る（図 1）。次に糸の内部に触れて膜を破る。

そうすると糸の枠が円形になる（図 2）。これから、膜によって糸が均等に引っ張られていることがわかる。



図 1

表面張力は液体の膜と空気の境界面に沿って働き、表面張力により、膜の表面積は小さくならうとしていることがわかる。

(2) 考察

次にシャボン玉について考えてみた。シャボン玉の膜は曲がっているため表面張力により内側の圧力を押さえ込むことができ、膜をはさんで圧力差ができた状態で安定になっていると考えられる（図 3）。

シャボン玉の膜
—表面張力は内側からの圧力を押さえ—

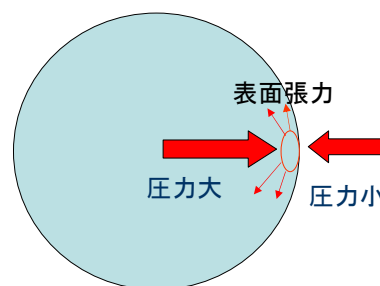


図 3

そこで、「液面が曲面の時、凹面側から押す圧力が、凸面側から押す圧力より大きくなって、液面の表面積が減少することなく安定を保つことができる [手がかり 1]」のではないかと考え、表面張力の現象をこのような見方で理解していくこ

とにした。

4 毛細管現象と表面張力

毛細管現象とは細い管の中を水面が上昇する現象である。また、よく見ると管内の液面は曲面になっていることがわかる(図4)。「手がかり1」を用いて、なぜ水面が上昇するかを考えてみた。

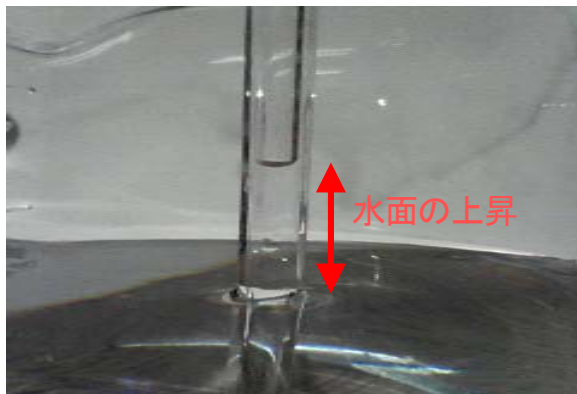


図4

(1) 液面上昇

管内の水面は下に凸になっているため、水面をはさんで圧力差ができることが予想される。管内の圧力は大気圧より小さくなるので、上昇した状態で安定になると考えられる(図5)。

管内の液面の形と圧力のつり合い

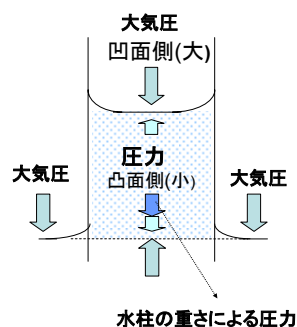


図5

液柱が安定になっている場合には、液柱の重さを表面張力が支えていると考えられ、次式が成り立つ(文献より)。

$$9.8 \rho r h = 2 \sigma \cos \alpha \dots \dots \dots (式1)$$

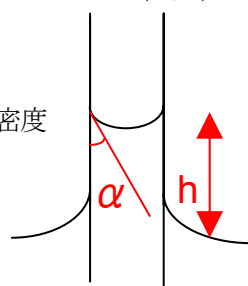
ただし

h [m] : 液面上昇量

ρ [kg/m³] : 液体の密度

r [m] : 管の半径

σ [N/m] : 表面張力



α : 接触角

次に式1より計算される理論値と実測値を比較してみることにした。

(2) 液面上昇量についての実験

ア 手順

- ① 水とグリセリンの液滴の様子をOHPを使ってスクリーン上に投影して、接触角 α を測定する(図6, 図7)。
- ② 液面上昇量 h を測定し、接触角 α を用いて式1で液面上昇量(理論値)を算出する。
- ③ 液面上昇量 h を測定し、理論値と比較する。



図6 : OHPを横に倒しガラス板に横から光を当てて、スクリーン上に液滴を映し出す様子

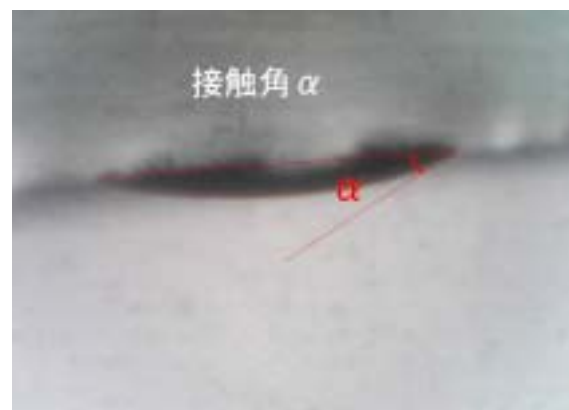


図7 : スクリーン上に映し出した液滴の様子(液滴は上下逆に映る)

イ 結果

- ① 図8より接触角 α は、水、グリセリン共にガラスが最も小さく、アルミが最も大きい。これより、ガラスはアルミより水やグリセリンに「濡れ」やすい性質を

もつことがわかる。

- ② 液面上昇量 h の測定値が管の半径に反比例している。また、水の場合は、測定値と理論値がよく一致している(図9)。

接触角 α (度)の結果

固体 液体	ガラス	アクリル	アルミ
水	20.0	52.5	65.9
グリセリン	28.0	52.6	62.5

図8：15回の測定の平均値

液面上昇量 h と管の半径 r の関係

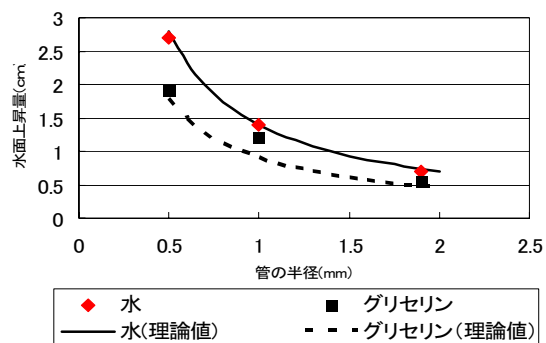


図9

5 水に浮く1円玉

ここで実験に使用する1円玉は、表面の油などの汚れの影響を最小限にするために未使用の1円玉を使った。



図10

(1) 水面の観察

シャーレの下の方眼紙を敷き、真上から見たマス目のゆがみにより一円玉の周囲の水面の様子を観察する。これを虫眼鏡法と呼ぶことにする(図11)。



図11：方眼紙のマス目のゆがみを見る虫眼鏡法

詳しく見ると、方眼紙の線が一円玉側に曲がっている(図12)。光の屈折により考えてみると、水面は上に凸な形をしていることがわかる(図13)。



図12：虫眼鏡法で撮った写真

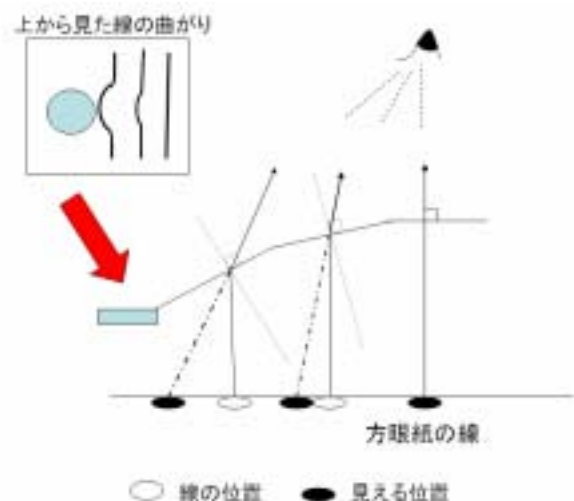


図 13

(2) 水面の形と圧力の関係の考察

凹面側の圧力が大きくなって安定するという[手がかり 1]に基づいて考えてみると、図 14 のようにある深さでは凹面側から押す圧力はその深さの水圧と大気圧の和に等しくなっていると考えられる。このようにして、上に凸な状態で水面は安定を保っていると考えられる。

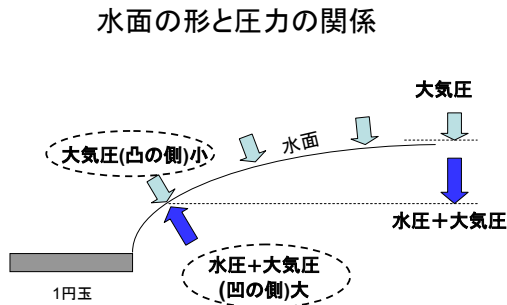


図 14

このことから「液面の曲率半径 r が小さいほど圧力差が大きくなる[手がかり 2]」のではないかと考えられる。これを第二の手がかりとして 1 円玉の動きを考えていくことにした。

(3) 2 枚の 1 円玉の周囲の水面

図 15 は距離が離れているときの写真、図 16 はそれよりも近づいたときの写真である。距離が近づくと、間のマス目が拡大され、水面の曲がりが大きくなっていること、即ち水面の曲率半径が小さくなっていることがわかる。



図 15

図 16

2 枚の 1 円玉が近づくと、間の水面が下降していくこと、水面の曲率半径が減少すること、1 円玉が加速していくことがわかった。

(4) 1 円玉の運動の観察

ここから 2 枚の 1 円玉が引き合う範囲はどのくらいなのか疑問が生じ、1 円玉の運動について調

べてみることにした。

ア 実験方法

1 枚の 1 円玉を水に浮かべて静止させる。次にもう 1 枚の 1 円玉を 1 cm から 0.5 cm 間隔で 3.5 cm まで離れたところに、そっと浮かべる。それが何秒でくっつくか測定する。15 回の測定の平均値をとる。

イ 結果

図 17 は 1 円玉がくっつくまでの時間を表している。このグラフから、3.5 cm でのくっつくまでの時間が 3 cm までと大きくかけ離れており、2 枚の 1 円玉が引き合う範囲は約 3 cm までであることがわかった。

1 円玉の距離とくっつくまでの時間

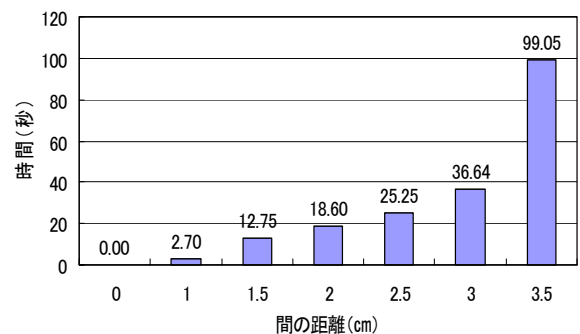
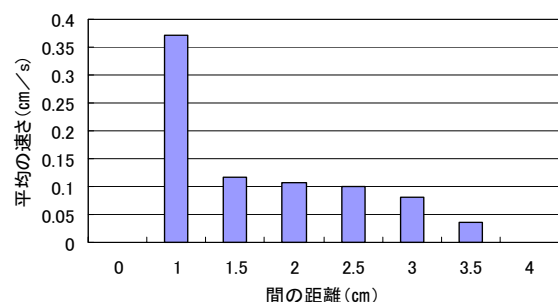


図 17

また、観察から水面が下降して、1 円玉が加速するのは、約 1.5 cm ではないかと目測により推測した。図 17 の実験結果を 1 円玉の平均の速さに直して考察してみると、図 18 のように、1 cm から 1.5 cm の間で急激に速さが変化していることがわかった。観察によれば、この間で水面の下降が顕著となり、水面の曲率半径が急激に小さくなっている。

1 円玉の距離と速さ



(5) 1 円玉どうしが引き合うのはなぜか

以上の結果から考察すると、2 枚の 1 円玉の間隔が 3 cm 程度、また明らかに 1.5 cm 程度になったとき、次のような不安定が起こると考えられる。

二つの水面が会おうと、1 枚の時の水面に比べて、曲率半径が小さくなる。これが不安定の原因である。この曲率半径で安定となるためには「手がかり 2」よりわかるように、水面はより深くなければならない。そこで水面は下降を始める。この不安定は同時に表面張力による表面積の減少を引き起こし、したがって 1 円玉は互いに近づき始める。すると水面の曲率半径はますます小さくなり、水面の下降と 1 円玉の移動が続く。この流れは、最終的に 1 円玉がくっつくまで続く。

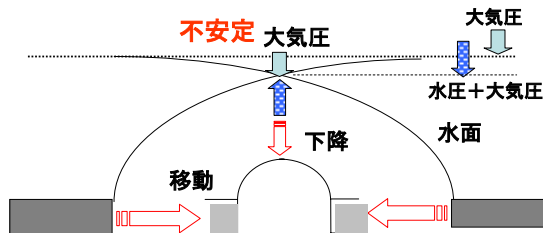


図 18

6 まとめ

今年度の研究では、シャボン玉や毛細管現象の表面張力が働く液面は凹面側の圧力が大きくなって安定していることがわかった。

2 枚の 1 円玉の間の水面は安定な曲率を持つ曲面からずれ、不安定となって水面が下降して 1 円玉の移動が起こることがわかった。

これからは、2 枚の 1 円玉が引き合う弱い力を測定する装置を製作し、測定すること、そして力の実測値を用いて 1 円玉の運動をシミュレーションすることを課題にして、研究を進めていきたい。

7 参考文献

藤岡由夫 監修, 1973, 「三訂増補 物理実験事典」, 講談社

ドゥジェンヌ・ブロシャール - ヴィアール・ケレ 共著 奥村剛 訳, 2003, 「表面張力の物理学 - しずく、あわ、みずたま、さざなみの世界 -」, 吉岡書店