

# 水柱に現れるくぼみの謎と原理

武生高校 探究理科

## Abstract

When we washed our hands, we found mysterious dimples on the water column. We cannot have found previous research. So we decided to research the mystery of water dimples by ourselves. We mainly conducted research on standing waves and surface tension. Although, as a result, we cannot identify the cause of the phenomenon, we found some interesting findings and awareness. Some of them need investigating in detail.

## はじめに

”水柱のくぼみ”とは、写真にあるように水道の蛇口から水を静かに流し出して、その流れを何かしらの障害物で遮ったときに水柱に現れる、たくさんのくぼみのようなもののことを表す(写真1)。

水道で手を洗っていたときに偶然発見した。この現象が起こる原因を、仮説を元にした観察を通して調査することにする。

(写真1: 水中のくぼみ)

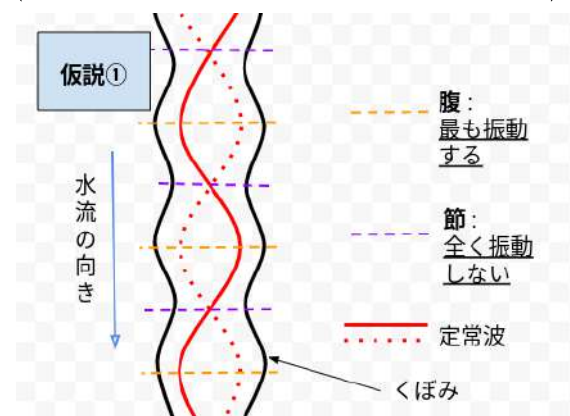


## 仮説①

障害物で反射した波と水道の出口から発生した波による定常波によって水柱にくぼみが形作られている可能性がある(図1)と仮説を立てた。くぼみの原因の正体が定常波であるならば水柱には一定間隔で振動が激しい”腹”とまったく振動しない”節”が形成されるはず。つまりは、くぼみが腹の振動により形成され、その振動がくぼみに現れるはずだと考えた。

※以降のくぼみの図では、位置によるくぼみの間隔の変化等を簡略のため表現していない。

(図1: 定常波でくぼみができている可能性)



## ※定常波とは

定常波(ていじょうは)とは、波長・周期・振幅・速さ(速度の絶対値)が同じで進行方向が互いに逆向きの2つの波が重なり合うこと

によってできる、波形が進行せずその場に止まって振動しているように見える波動のことである。

### 観察&実験①

仮説をもとに観察を行った。

#### 観察に用いるもの

スタンド,ピーカー,薬さじ,台座,  
ものさし,タイマー,カメラ,(水道)

#### 観察方法

写真2のように、薬品さじと台座をスタンドで固定し、水柱が薬品さじの持ち手の部分とあたるようにする(薬品さじは観察において形状が適していたので主として使用した)。このとき、薬品さじの持ち手側の平べったい部分ではなく側面の細い部分に水流が当たるようにする(薬品さじに当たった水が衝突地点にとどまることなく速やかに下に流れるようにしてその影響を軽減する)。水流は勢いよくではなく、少しずつ流し出すようにする。また水流をピーカーで受け止め、一定の水量あたりにかかる時間も計測する(5回計測し、平均を取って得られた値を用いることとする)。

(写真2：実験の様子)



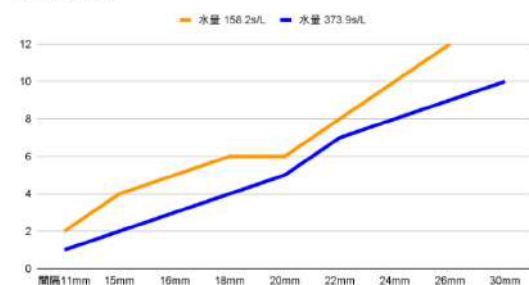
#### 観察すること

- くぼみの詳細について  
(間隔や個数、大きさや動き等)
- 腹と節が現れるかどうか
- 障害物によってでき方が変わるかどうか  
(障害物には薬品さじの代わりに髪の毛やスポンジ、)
- 水量や障害物との距離によってでき方が変わるかどうか

#### 結果①

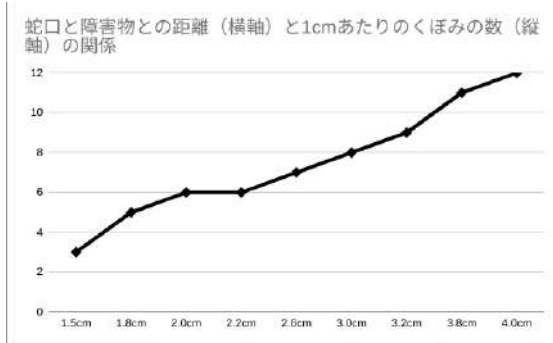
- 水柱の直径は、蛇口から離れるにつれて細くなっていく
- 腹と節は全く確認されない(くぼみは振動していない)
- 水を勢いよく流しだしたときや、衝突地点の水流が水柱でなくなっているとき(ポタポタという水滴の連続ではない状態)にはくぼみは視認できない
- くぼみはほとんどその位置を変えておらず、大きさ(横幅)にばらつきはなく一定である
- くぼみ同士の間隔は、障害物と衝突する位置に近づくほど狭くなる。
- 上記のように衝突地点を下に下げるほどくぼみ同士の間隔は狭くなり、最終的には目視できない間隔になってしまう
- くぼみの発生は障害物によらず髪の毛や画鋲、スポンジでも可能で、障害物の種類によらない
- 下のグラフは水量(単位時間あたりの水のかさ)と可能な限り視認できるくぼみの個数との関係を表すグラフである

くびれの個数



水量が多いときのほうが、水量が少ないときと比べてくぼみができる個数が多くなった

- 下のグラフは、衝突地点の低さ(蛇口と衝突地点の距離)と1センチあたりにできるくぼみの個数を表すグラフである



衝突地点を低くしたほうが、1センチ辺りにできる波の個数が多くなった

### 考察①

仮説①に関して、腹と節が現れないのは仮説と矛盾する。そもそも水流は静かに流れだしているため、蛇口のところに波源はないと考えられる。よって2波源による波の干渉は起こらないはず。またくぼみの間隔についてだが、ベルヌーイの定理によれば、定常波であるならくぼみの間隔は障害物との衝突地点に近づくとつれ広くなっていく(水柱の速度が上がることによってくぼみの間隔が引き伸ばされていくため)はずであるが、これは結果に矛盾する。したがって、定常波が原因ではないと言える。

### ※ベルヌーイの定理とは

理想流体の定常流れにおいて、流線上でエネルギーが保存されることを示した定理。これによると流体の流れる管の口径が小さくなるに従って流体の流れる速度が大きくなる。

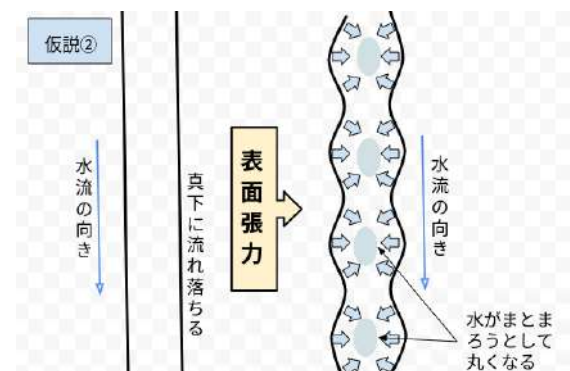
### 観察&実験②

考察①において、波がくぼみの発生の原因ではないことがわかったので、観察等を踏まえて新たな仮説を立てる。

### 仮説②

障害物にぶつかって水の流れが滞ることで、表面張力によって水が丸くまとまろうとする作用が大きくなっている可能性がある(図3)と仮説を立てた。表面張力その正体であるか否かを、仮説を元にした観察と実験を通して調査した。

(図3：表面張力でくぼみができる可能性)



### ※表面張力とは

表面張力とは液体と気体の境界(表面)において、液体分子同士が分子間力により引き付けあって、液体が表面をできるだけ小さくしようとする性質のことである。

### 観察に用いるもの

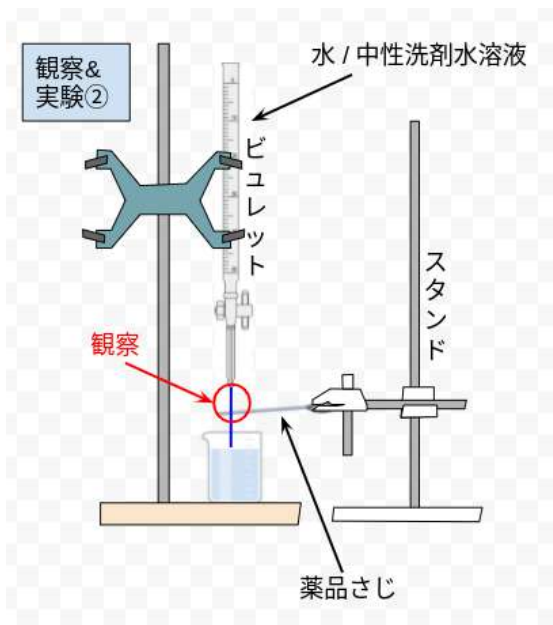
中性洗剤(界面活性剤10%),スタンド,ろうと葉さじ,ビュレット,台座,ビーカー,ろ紙

### 観察方法

図4のように、ビュレットに調べたい流体を入れ、一定量で流しだす。このとき、ビュレットにある流体は段々と減っていくため逐次手動で追加する必要があるが、ビュレットから流しだされる流体の速度は一定に保たれるため実験に影響はない。今回は調べる流体として、水、中性洗剤水溶液の2種類の液体を用いた。界面活性剤を水

に溶かすことによって、水溶液の表面張力は弱まる性質がある。中性洗剤水溶液は飽和状態であり、溶けきれていない溶質を取り除くためにろ過して用いる。界面活性剤であるラウリル硫酸ナトリウム(ドデシル硫酸ナトリウム)はろ紙の穴よりも十分小さいためろ液には界面活性剤が含まれる。

(図4：実験&観察②の様子)



### 観察すること

流しだす流体によってくぼみの出来方は変わるのか。そこで、ただの水を流しだしたときと界面活性剤入りの水溶液を流しだしたときで、くぼみの大きさや間隔、などを調べることにする。実験の記録にあたって、変化の様子は肉眼では確認できたが、通常のカメラには映らないほど非常に小さいため実際の記録はできていない。

### 結果②

水の場合も中性洗剤水溶液の場合もくぼみは発生し、2つの場合に大きな差はなかった(くぼみの大きさや間隔等において)。

### 考察②

結果②より、中性洗剤に含まれている物質はくぼみを構成する原因とはならないこ

とがわかる。よって、少なくとも界面活性剤はくぼみの発生に関係がない。したがってくぼみは表面張力によってできているわけではなさそうということになる。

しかし、実験に用いた中性洗剤には界面活性剤が10%しか含まれていないので、その効果が少なくくぼみの変化が小さいという可能性がある。よって界面活性剤100%で実験をして明らかにする必要がある。しかし純粋な界面活性剤は高校生では取り扱いが難しく、実験できなかった。

### 結論

- ・くぼみの正体は定常波ではない
- ・表面張力による可能性もなさそうだが、界面活性剤の濃度が高い場合で確かめる必要がある
- ・また教員の先生方からカルマン渦が現象に関係している可能性が指摘されたので、それも確かめる必要がある

さらに研究を通して気がついたことを3つほど列挙しておく。

### 1 「流体の流れる向きについて」

帯電した塩ビパイプを近づけ、水流を曲げてみた(写真3)が、くぼみの出来方に大きな変化は見られなかった。

(写真3：塩ビパイプで水流を曲げた様子)





つまり流体の流れる向きはさほど関係していないように思われる

## 2 「障害物を水面にした結果」

障害物を水面にして”観察&実験①”と同様の実験を行った場合次のような結果が得られた(写真4)。

(写真4：障害物が水面の場合)



(写真4の拡大)



衝突地点から同心円状に波が広がる

また、水量を変えると発生する波の間隔(波長)が小さくなることがわかった。

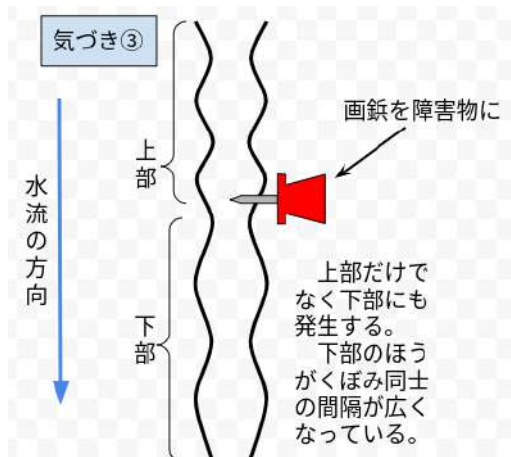


はじめ、水面と水流がぶつかる地点が波源となり、これは波が発生しているので仮説①②の証拠になると考えた。しかし、この現象は水を蛇口から流しだすことによる振動が原因で、くぼみの発生とは全く関係がないという結論に至った。また波長が短くなったのも、水量を増やしたことによる蛇口の振動の増加によるものではないかと考える。(ただしこの現象の説明に対する明確な根拠となるものはない)

## 3 「障害物を画鋸にした結果」

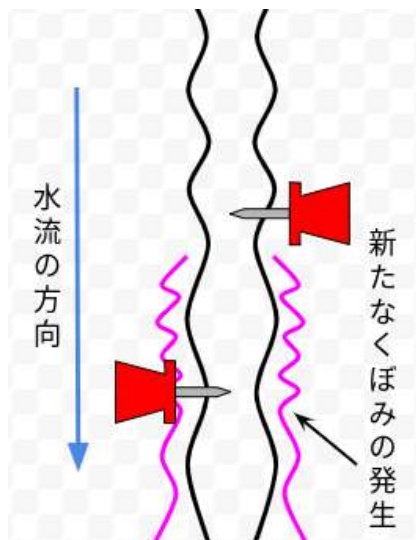
障害物を水面にして”観察&実験①”と同様の実験を行った場合次のような結果が得られた(図5)。

(図5：障害物が画鋸のときのくぼみの様子)



くぼみは、水流が画鋸とぶつかる地点から上の部分と下の部分のどちらにもでき、下部に出来たくぼみのほうが、より間隔が広がっていた。

さらに下部のところにもう一つ画鋸を置くと、そこにも新たにくぼみが発生し間隔の広いくぼみとの上に間隔が狭いくぼみが発生しているように見えた。くぼみが表面張力によって発生しているならば、その干渉は起こらないはず。くぼみの正体が表面張力ではないのか、間隔が広いくぼみは別の現象で発生しているのかはわからない。(図6：新たにくぼみができている可能性)



## 今後の展望

- ・カルマン渦について考察する
- ・気づき③を深める
- ・ドデシル硫酸ナトリウム(界面活性剤)水溶液で実験をする。

## 謝辞

本研究を行うにあたり、  
九州大学工学院工学研究院機械  
工学部門 流体工学講座  
流体制御研究室の津田伸一様  
に多くのアドバイスをいただきました。  
深甚なる謝意を表します。