

強化シャボン玉の製作

静岡県立清水東高等学校
自然科学部化学班 2年 秋山祥太郎 市川晴大

1 研究の動機、目的

シャボン玉といえば、誰もが幼い頃に遊んだことがあるだろう。そのようなシャボン玉ではあるが、液体が球状の膜を作り空中に浮遊するなんてよく考えてみればとても不思議なことではないだろうか。シャボン玉の歴史は長く、16 世紀ヨーロッパでは既にシャボン玉遊びが広まっていたとされている。日本への渡来は 17 世紀ごろであると伝えられており、それ以降シャボン玉遊びは世界中の多くの地域の人々に楽しまれてきた。

シャボン玉が割れるのは含まれていた水が蒸発するためであると知られている（文献 1）。そこで私たちは、水が蒸発しづらいシャボン液をつくりだせば、割れにくい「強化シャボン玉」をつくれるのではないかと考え、シャボン液に用いられる界面活性剤の種類の違いや付属して加える物質の種類の違いによって、どのようにシャボン玉の耐久性が変化するのかを追求した。

2 実験装置

当初の実験では、シャボン玉を屋外で浮遊させる方法で実験を行った。しかしこの実験方法では、シャボン玉が風に吹かれたり、壁に衝突したりし、外的影響を受けたため正確にはシャボン玉自身の強度を評価することができなかった。そこで各実験では、実験に用いるシャボン液であらかじめ濡らしておいた新聞紙を敷いてその上にフットポンプを用いて大きさが各実験で同じになるようにシャボン玉を膨らませて、ドーム状に膜を張るようにした。シャボン玉を下に記載した写真のように浮遊させずに新聞紙に付着させることで、壁や床などにシャボン玉が衝突して割れることを防いだ。

シャボン玉の膜を作ってからすぐにガラス製水槽をかぶせることで、シャボン玉が風に当たらないようにして、外的影響をできる限り受けないように工夫した。そして、シャボン玉が割れるまでの時間を計測することでシャボン玉の強度の評価を行った。各実験できる限り多くのデータを集めることに努めた。



写真 1、2 実験の様子

- (1) 準備物：
 ガラス製水槽、フットポンプ、新聞紙、
 市販のシャボン吹き棒（加工済み）
- (2) 基準となるシャボン液：
 蒸留水 10mL PVA 5mL
 界面活性剤（ $C_{18}H_{26}SO_3Na$ ）

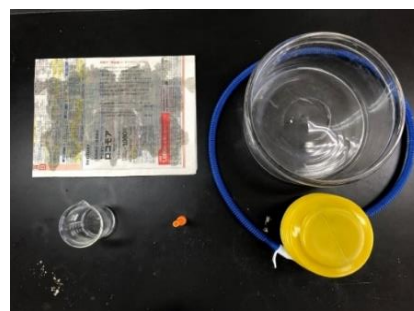


写真3 実験装置

3 実験内容

(1) 実験1 蒸気圧降下によるシャボン玉の強化

ア 概要：グリセリンがシャボン玉を強化させる性質を持っていることは広く知られている。しかしそれはなぜなのだろうか。シャボン玉が割れてしまうことの原因は、膜に含まれている水が蒸発することにある。（文献2）そこで私たちはシャボン液にグリセリンが溶けることで蒸気圧降下がおこり水の蒸発が抑制され、シャボン玉が強化されるのではないかという仮説を立てた。このことを立証するために、基準となるシャボン液（以下、基準液）に水溶性のある塩化ナトリウム、グルコースを溶かしシャボン玉の様子を観察する実験を行った。シャボン玉の膜の強化が蒸気圧降下によって起こっているのであれば、どちらの溶質を溶かした場合もシャボン玉の膜はできるのではないかという仮説を立てた。基準液には各溶質を 1.0 g から 3.0 g 溶かした。

イ 結果：塩化ナトリウムを溶かしたときは、いずれの質量でもシャボン玉の膜は張らなかった。グルコースを溶かすとシャボン玉の膜が張った。下表1では膜が張った場合を○、張らなかった場合を×として表した。

	塩化ナトリウム	グルコース
1.0 g	×	○
2.0 g	×	○
3.0 g	×	○

表1 基準液に各溶質を溶かした際のシャボン玉の様子

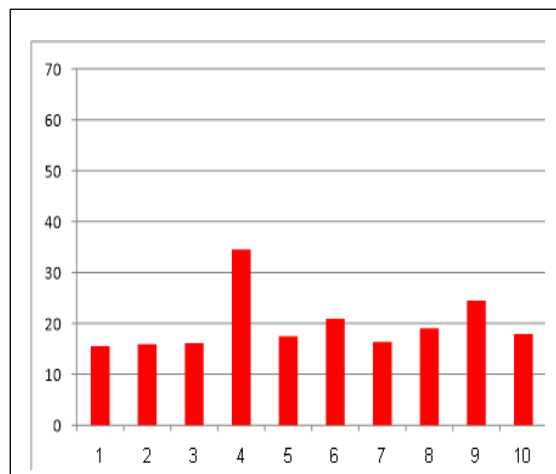
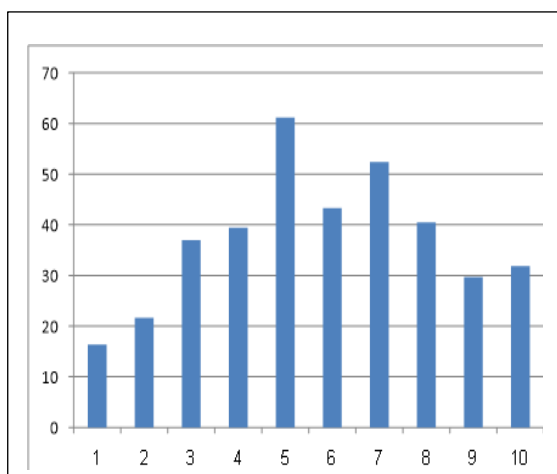
ウ 考察：蒸気圧降下は、溶かす物質が電解性か否かに関係なく起こる現象なので塩化ナトリウムとグルコースを基準液に溶かした際の結果の違いから蒸気圧降下は原因として考えられない。よって他の原因が考えられる。グリセリンとグルコースの共通点として、ヒドロキシ基を持つということが挙げられる。私たちは水とヒドロキシ基が水素結合を生じることで膜の表面の水の蒸発が抑制され、シャボン玉が強化されていると考えた。

(2) 実験2 ヒドロキシ基によるシャボン玉の強化

ア 概要： グルコースの、シャボン玉の膜を強化する性質を確かめるため、基準液中のグルコースの質量を大きくしたときにそれに比例してシャボン玉の膜の継続時間が延びるかを調べることで、グルコースがシャボン玉の強度に与える相関的な影響を調べる実験を行った。

基準液に溶質を 1.0 g ずつ加え、実験 1 と同様の装置を用いて、各 1.0 g から 10 g までシャボン玉の膜ができてから割れるまでの時間を計測した。膜が割れるまでの時間の長さをそのシャボン玉の強度として評価した。またグルコースと同様にヒドロキシ基を持つスクロースでも同様の実験を行った。

イ 結果：グルコースは、1.0～5.0 g まではシャボン玉の膜の継続時間と溶質の質量に正の相関関係が見られ、6.0 g 以降はグラム数の増加に伴い継続時間が減少傾向にあった。スクロースを溶かした際はグルコースを溶かした場合に比べて膜の継続時間が短かった。



グラフ1 シャボン玉の継続時間と加えた溶質の量の変化

※シャボン玉の継続時間を各グラム 20 回ずつ計測し、その平均値を記載した。

横軸は各溶質の質量 (g)、縦軸は膜の継続時間 (s) を示している。

ウ 考察：グルコースとスクロースで溶かす量を増やした際に膜の継続時間が長くなった。グラフが上に凸のかたちになったのは、溶質が溶け切らない量まで加えられたため膜が形状を保つことを阻害したためだと考えられる。溶け切らなかった物質は各溶質を 8 g 以上加えた際には目視で確認することができた。スクロースがグルコースよりもシャボン玉の膜の継続時間が短かったのはスクロースの持つヒドロキシ基が分子構造上グルコース分子よりも少ないことでその分、水との結合がグルコースのほうが強くなったからだと考えた。(文献2)においてもそのような記述がみられた。このようにヒドロキシ基の数と膜の継続時間に正の相関関係がみられたので、ヒドロキシ基がシャボン玉の強度に関係していると予想される。

(3) 実験3 基準液へのアルコール類の溶解

ア 概要： アルコールはその分子構造にヒドロキシ基を持っている。また、前述のシャボン玉を強化する性質の確認されているグリセリンはアルコールの一種である。私達は新たに、グリセリンによるシャボン玉の強化は、ヒドロキシ基によって引き起こされているという仮説を立てた。この仮説が正しいならば、ヒドロキシ基をもつ、エタノールやエチレングリコールなどの他のアルコールでも継続時間が長くなる傾向が見られるのではないかと考えた。

そこで、ヒドロキシ基がシャボン玉の強度に影響を与えることをより詳しく検証するために、溶質にアルコール類を用いて実験2と同様の実験を新たに行った。シャボン液には、一価のエタノール、二価のエチレングリコールをそれぞれ3 mLずつ溶かし継続時間を計測した。また、アルコールはその価数が増えることにより多くのヒドロキシ基を持つ。この実験には、アルコール価数と膜の継続時間の間にある相関関係を調べる目的がある。

イ 結果：各溶質 15 回ずつ計測を行った。アルコール価数が 1 価であるエタノールの平均の継続時間は 86.51 秒だった。2 価のエチレングリコールの平均の継続時間は、104.30 秒だった。2 価のエチレングリコールのほうが継続時間は長くなった。

	エタノール	エチレングリコール
平均継続時間 (s)	86.51	104.30

表2 アルコール類を溶かした際の膜の継続時間

ウ 考察：シャボン玉の膜の継続時間とアルコールの価数に正の相関関係が見られた。また、1 価と 2 価で膜の継続時間に差が顕著に表れたことから、ヒドロキシ基がシャボン玉の強度に影響を与えていると考えられる。各物質溶かした際のシャボン玉の強度に影響を与えている要素は、溶液中のヒドロキシ基の量の違いのみであるという前提のもと実験結果を評価している。この実験で用いた二つの物質はどちらもすべて溶解切ったため、溶質が膜に阻害的な影響を与え、シャボン玉の膜の継続時間を短くしていたとは考えにくく、溶かした物質の量に問題はなかったと考える。

4 実験のまとめ

実験を始めた当初考えていた蒸気圧降下によるシャボン玉の膜の強化は、同じ水溶性の物質である塩化ナトリウムとグルコースとで実験結果に違いが出たことから蒸気圧降下の条件には当てはまらないため、蒸気圧降下が膜の水分の蒸発を抑えて、膜を強化しているとは考えにくいという結論を得た。また溶質としてグルコースやアルコール類を用いた実験から、ヒドロキシ基の数と膜の継続時間に正の相関関係が見られたことから、溶液中のヒドロキシ基がシャボン玉の膜に含まれている水と水素結合を生じるために水の蒸発が抑制され、シャボン玉の強度を強くする影響を与えているということがわかった。

5 今後の展望

今後、ヒドロキシ基を持つ物質(実験では用いなかった糖類やアルコール類)で同様の実験を行い、ヒドロキシ基がシャボン玉の強度に与える影響をさらに詳しく研究していきたい。また実験2で溶質であるグルコースが6.0g以降溶け切らずに結晶として沈殿してしまったため、温度を上げるなどして完全に物質を溶かしきる工夫を加えて、より正確に溶けているヒドロキシ基の数と膜の継続時間の相関関係をさらに研究を進めて、シャボン玉の膜の強化に努めていきたい。同時に、溶け切らなかった溶質がシャボン玉の膜の継続時間に与える相関的な影響を調べ、同実験でグルコースを6.0g以降溶かした際に膜の継続時間が減少傾向にあったことの詳しい原因を探っていきたい。

6 参考文献 (web)

- (文献1) Phys. Rev. Fluids 5, 013304(2020) - How to make a giant bubble
<https://journals.aps.org/prfluids/abstract/10.1103/PhysRevFluids.5.013304>
- (文献2) シャボン玉が安定になるメカニズムの研究 2016 年
<https://www.jst.go.jp/cpse/jissen/pdf/houkoku/SG150008-A-16001.pdf>
- (文献3) 新潟県立自然科学館
<http://sciencemuseum.jp/cp-bin/wordpress/2020/05/08/シャボン玉で遊ぼう！>
- (文献4) 「シャボン玉 その黒い膜の秘密」中央公論社 立花太郎 1975 年