

手袋の上に乗せても割れない“凍るシャボン玉”研究

Research on "frozen soap bubbles" that can survive on gloves

浅田 実希¹, 中村 桃華¹, 小林 由依¹, 杉尾 雪華¹, 千葉 暖花¹, 齋藤 寛幸¹, 内田 努²

Miki Asada¹, Momoka Nakamura¹, Yui Kobayashi¹, Kiyoka Sugio¹, Honoka Chiba¹,

Hiroyuki Saito¹, Tsutomu Uchida²

Corresponding author: goliken_hiro@yahoo.co.jp (H. Saito)

旭川雪まつりで「屋外で“凍るシャボン玉”で遊ぶ」イベントを依頼され、課題研究として取り組んでいた「割れにくいシャボン玉」の研究を発展させ、凍るシャボン玉づくりに取り組んだ。割れにくいシャボン玉は氷点下でも割れにくかったが、うまく凍らせることができなかった。そこで添加物をグリセリンからハチミツに替えたところ、膜が安定し凍りやすいシャボン玉を作ることになった。実際にイベントで使用した際には、凍ったシャボン玉は手袋の上に乗せても割れず形を保ち続けた。

1. はじめに

私達はなぜシャボン玉はすぐに割れてしまうのだろうか、もっと割れにくければより楽しむことができるのではないかと思い、課題研究のテーマとして「割れにくいシャボン玉」についての研究を行った。

シャボン玉が割れる原因は、シャボン玉が2枚の膜できていてその膜の間に含まれている水が蒸発することで割れてしまうと考えられている¹。そこでグリセリンの保水性に着目し、グリセリンをシャボン玉液に含ませることで水が蒸発しにくくなり、割れにくくなるのではないかと考えた。後述するシャボン玉の原液にグリセリンを4.4~40.5容量%の割合で加え、割れるまでの時間を計測した。その結果、グリセリン濃度が35.3%の場合が「もっとも割れにくい」シャボン玉であることがわかった。

この研究発表がきっかけで、旭川冬まつりのイベント使用のため「凍るシャボン玉」の製作を依頼された。そこで自分達のレシピを用いて割れにくい、かつ凍るシャボン玉づくりに取り組んだ。その結果、割れにくいシャボン玉はできるが凍りにくいことがわかった。そこで先行研究²を参考に、グリセリンの代わりにハチミツを用いることとした。ハチミツは成分が複雑であるため解析は難しいが、安価で安全であるという点から、イベント使用には適していると考えた。また、凍りやすく壊れにくいシャボン玉の理由を探るため、シャボン玉液の融点を測定し、観察結果と比較した。

2. 実験方法

2.1 割れにくいシャボン玉のレシピ

シャボン玉の原液として、水道水、洗濯糊（ポリビニルアルコール合成洗濯のり）、台所用合成洗剤（P&G社製JOY、成分：アルキエーテル硫酸エステルナトリウム、ポリオキシエチレンアルキルエーテル、アルキルグリコシド、クメンシルホン酸ナトリウム、アルキルアミンオキシド、エチルアルコール、クエン酸三ナトリウム二水和物、塩化マグネシウム、香料、クエン酸、防腐剤、水酸化ナトリウム、着色料）の割合を8:2:1とした水溶液を用いた。

2.2 グリセリン含有水溶液によるシャボン玉凍結実験

グリセリンを18.5, 35.3%含むシャボン玉原液でシャボン玉を作り、凍結実験を行った。シャーレ（東京硝子器械社製：直径9cm, 高さ2cm）を使って、直径約10cmのシャボン玉を作り、約-10℃の気温条件下で日陰の積雪の上にシャボン玉を静置した。そしてシャボン玉の様子を1~2時間観察し、シャボン玉膜の様子の変化で凍結の程度を、棒を接触させることで膜の強度を評価した。

2.3 ハチミツ含有水溶液によるシャボン玉凍結実験

グリセリンの代わりに市販のハチミツ（菜の花（中国産）、ビテックス（西洋人參木、中国産））を加えた凍結実験を行った。シャボン玉原液に

¹ 北海道旭川西高等学校

² 北海道大学大学院工学研究院

4.4~40.5 重量%の割合でハチミツを加えたものをシャボン玉水溶液とし、2.2と同様にして凍結の程度、膜の強度などを評価した。

2.4 融点測定

2.2, 2.3 で用いたシャボン玉水溶液を各 1 mL ずつクライオチューブ (Thermo Fisher Scientific 社製 1.8 mL) にとり、銅・コンスタンタン熱電対 (T 型) で温度を測定しながら、 -80°C ~ -20°C のディープフリーザー中で凍結させた。1 時間ほどたって完全に凍結したことを確認した後、室温に取り出して融解させ、その時の温度変化を記録した。温度の測定 (内部補償)・記録にはデータロガー (グラフテック社製 GL200A) を用いた。得られた融解曲線から、融解潜熱放出による変曲点を読み取り、融点を計測した。様々な温度で凍結させ解凍させたデータから、それぞれの水溶液試料で共通する融点を選んで平均して、その水溶液の融点とした。

3. 実験結果

3.1 グリセリン含有水溶液によるシャボン玉凍結実験

約 -10°C の温度環境下でシャボン玉を積雪面に置き、約 15~25 分観察した結果、グリセリン 35.5% 含有水溶液の方は割れずにいたが、最後まで透明で凍らなかつた (図 1)。



図 1 グリセリン 35.5% 含有水溶液のシャボン玉

一方 18.5% の方は、下の方だけ半透明になり、部分的に凍結したことがわかつた (図 2)。このことから、グリセリンを使ったシャボン玉水溶液ではイベント時に凍結しないことが予想されたため、ハチミツを使ったシャボン玉水溶液の実験を行った。



図 2 グリセリン 18.5% 含有水溶液のシャボン玉

3.2 ハチミツ含有水溶液によるシャボン玉凍結実験

約 -10°C の温度環境下でシャボン玉を積雪面に置き、約 15~20 分観察した結果、ハチミツ 35.5% 含有水溶液の方は割れずにいたが、うっすらと全体が半透明になったように見えた (図 3)。一方 18.5% の方は、全体が半透明になり、しっかりと凍結したことがわかつた (図 4)。



図 3 ハチミツ 35.5% 含有水溶液のシャボン玉



図 4 ハチミツ 18.5% 含有水溶液のシャボン玉

そこでシャボン玉水溶液に加えるハチミツの量を 8.3~21.4% の範囲で変えて、 -8°C の環境下でシャボン玉を作って観察した。その結果、8.3~15.4% の範囲内では完全に凍結したが、21.4% の溶液では全く凍らなかつた。

これらの結果から、もっとも凍りやすく割れないシャボン玉液としては、ハチミツを 15~18% 含む条件が良いと判断し、ハチミツを 18.5% 含む水溶液を用いて異なる温度環境下で凍結実験を行った。その結果、 -7.8°C では完全に凍つたが、 -2.8°C では凍らなかつた。

以上の結果を、完全凍結：◎、薄い凍結：○、

部分凍結：△，未凍結：×として定性的に表して表にすると，表1のようになる。

表1 ハチミツ含有水溶液によるシャボン玉の凍結度合

濃度 温度	8.3 %	15.4 %	18.5 %	21.4 %	35.5 %
-2.8°C			×		
-8°C	○	○	◎	×	
-10°C			◎		△

3.3 シャボン玉水溶液の融点測定

融解曲線の変曲点は，ほとんどの水溶液試料で0°Cに近い変曲点とより低温の変曲点が観測された。図5, 6では，前者を白抜き□で，後者を黒塗印で記載した。前者は凍結時の凍結濃縮による濃度の低い氷であると判断され，より低温の融点を各シャボン玉水溶液の融点と考えた。その結果グリセリン含有水溶液の融点は，濃度が増加するとともにほぼ線形に融点が低下した（図5点線， $R^2 = 0.99$ ）。これはグリセリンによるモル凝固点降下であると考えられる。原液の融点が約-1°Cであったことから，グリセリンによるモル凝固点降下は $-6.5^\circ\text{C mol}^{-1} \text{kg}^{-1}$ 程度であると見積もられた。

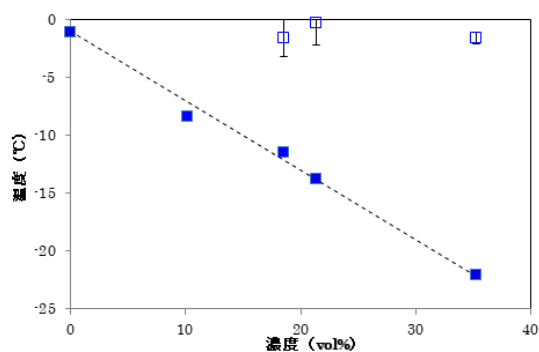


図5 グリセリン含有水溶液の融点（点線は黒塗印のデータの回帰直線）

一方ハチミツ含有水溶液の融点は，ばらつきが大きかった。これはハチミツの成分が複雑であるため，融点の計測が難しいことと，凍結時の凍結濃縮の度合いにより融点自体が変化することによると考えられる。しかし全体的な傾向として，グリセリンと同様ハチミツ濃度が増加するほど，融点が低くなった（図6点線， $R^2 = 0.39$ ）。濃度による融点の降下度は，グリセリンに比べると6割程度と小さく，計測した温度範囲では融点は全て

-15°C以上であった。

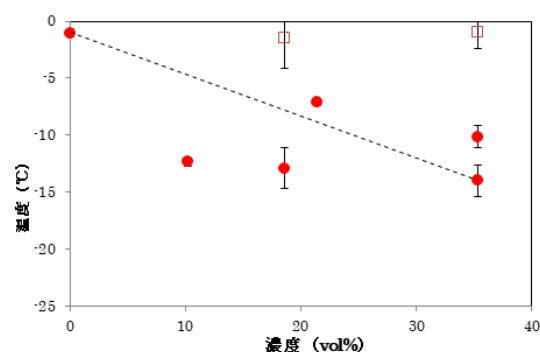


図6 ハチミツ含有水溶液の融点（点線は黒塗印のデータの回帰直線）

4. 考察

表1より，濃度と温度との間に関係があり，シャボン玉水溶液の融点と関係していることが予想された。そこで図6と表1の結果を合わせたものが図7となる。

この結果から，シャボン玉水溶液の融点（図中点線）以下の温度条件下でなければシャボン玉は凍らないことが確認できた。またハチミツの濃度が低いほどシャボン玉は割れやすくなる（薄い凍結になる）ので，なるべく濃度が濃く，かつ外気温程度の温度で凍結するシャボン玉を作るには，適当な濃度が必要であることがわかった。

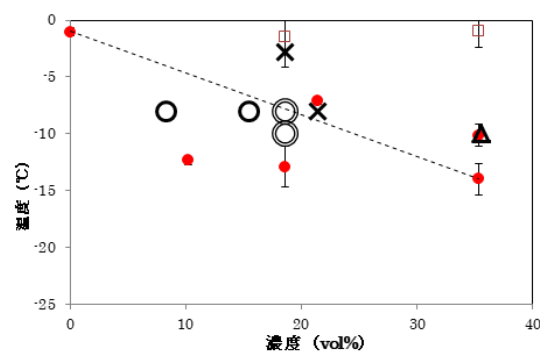


図7 ハチミツ含有水溶液の融点とシャボン玉の状態（◎：完全凍結，○：薄い凍結，△：部分凍結，×：未凍結）

イベント会場の気温は，あまり低すぎると参加者が少なくなることを考えると，-10°C程度の気温で実施すると想定する。その場合準備するシャボン玉水溶液のハチミツ濃度は，図7の結果から15~18%程度が良いということがわかった。2023年2月に行われた旭川冬まつりのイベントで，実際に上記のレシピで準備したシャボン玉水溶液を使い，イベントを開催した（図8）。



図8 旭川冬まつりイベント会場で「凍る割れないシャボン玉」で遊ぶ来場者

5 まとめ

凍りやすく割れにくいシャボン玉をつくるには、シャボン玉原液への添加剤としてグリセリンよりもハチミツの方が良いことがわかった。そしてハチミツの濃度は薄いと割れやすく、濃いと凍りにくいので、15～18%程度がちょうど良い。そ

の時の外気温が -8°C 以下の条件であれば、シャボン玉が均一に凍ることがわかった。

【謝辞】

本研究の実施にあたり協力して下さった特定非営利活動法人スキーホリデーで冬季滞在型観光を振興する会 星宏聡氏、北海道旭川西高等学校の先生方に深く感謝いたします。

【参考文献】

- 1) S. Farzad Ahmadi, Saurabh Nath, Christian M. Kingett, Pengtao Yue, Jonathan B. Borevko 2019: How soap bubbles freeze. *Nature comm.*, **10**, 2531.
- 2) 小久保慶一, 2013: 高校生による凍るシャボン玉の研究活動と地域貢献活動. *日本理科教育学会北海道支部*.