

ムペンバ現象発生要因の追究

石川県立金沢泉丘高等学校理数科2年

5班 池田 彩乃 中村 航大 道下 凱仁 山崎 愛華 山下 堅斗

1. 研究動機

ムペンバ現象という現象がある。これは温水のほうが常温水より早く凍ることがあるという現象である。1969年にタンザニアのエラスト・ムペンバ氏によりこの現象が発表されて以来およそ55年、未だにこの現象の原因は解明されていない。この現象の原因を解明し利用することで、氷を早く凍らせることや、氷を凍らせる際のエネルギーの効率化に活かせると考え、この研究テーマを設定した。

2. 先行研究

1963年、エラスト・ムペンバ氏が同級生とアイスクリームを作っていたときに、ムペンバ現象が発見された。これまで、この現象について様々な研究が行われてきており、蒸発説、溶質説、対流説といった様々な仮説が出されているが、明確な根拠は未だ見つかっていない。

彼はある日、学校で牛乳と砂糖を用いてアイスクリームを作っていた。冷凍庫の場所取りのために、アイスクリームの原液を温かい状態でいれる必要があり、冷凍庫を壊さないために温かいものは必ず冷ましてから冷蔵庫にいれることがルールであったにも関わらず、原液が温かい状態で冷蔵庫に入れた。すると、ムペンバ氏のアイスクリームは他の人のものより早く凍った。当時の文献によるとムペンバ氏は複数回同様の実験を行い、ほぼ100%の割合で温かい原液のほうが冷ました原液より先に凍ったとの結果を得たと記されている。

3. 本研究で明らかにしたいこと

ムペンバ現象の原因の一つと考えられている「溶質」の影響を調べる。

前野氏らの研究⁴⁾によると、水道水、あるいは蒸留水を溶媒として研究が行われていた。

しかし、ムペンバ現象を発見したムペンバ氏は、アイスクリームを作っているときにこの現象を発見しており、また、彼がアイスクリームを凍らせた際は、前述の通り、ほぼ100%ムペンバ現象が起こっている。そこで我々はアイスクリーム内に含まれる物質に温かい原液のほうが冷ました原液より早く凍らせる原因物質があると考えている。そこで、我々はアイスクリームを凍らせることに着目して、アイスクリームに含まれている材料から、ムペンバ現象に関係しているとみられる物質を見つけ出そうと考えている。

4. 実験計画

〈場所〉

化学機器室

〈実験器具〉

冷凍庫(Panasonic 248L スリム冷凍冷蔵庫 NR-B252T) 1台

50mlビーカー 2個

ワイヤレス温度センサPS-3201(以下SPARKとする) 2個

温度計固定器(通称) 2個

実験用ホットプレート 1台

ハンカチ・輪ゴム 2セット

chromebook 実験に応じて、1から3台

〈アイスクリーム〉

一回の実験につき

牛乳 150ml 卵黄 1個 グラニュー糖 30g(レシピの半分)

ボウル 2個(アイスの原液をいれるものと氷水をいれるもの)

泡立て器 1台

鍋 1個

コンロ 1台

木べら 1個
 ハンドミキサー 1台
 (実験手順)

①以下の手順でアイスクリームの原液を作る。²⁾

(1)ボウルに卵黄を入れ、泡立て器で溶きほぐし、グラニュー糖を加えて、グラニュー糖がなじむまですり混ぜる。グラニュー糖のザラザラ感が多少残っていてもよい。

(2)鍋に牛乳を入れて弱めの中火にかけ、鍋の縁がフツフツとしてきたら(1)に加える。泡立て器でよく混ぜ合わせ、鍋に戻し入れる。

(3)(2)で作った原液を中火にかけ、木べらで混ぜながら温める(鍋の底の縁が焦げやすいので注意)。混ぜる手を時々止めて様子を見て、鍋の縁がフツフツとしてきたら(約85℃が目安)火から下ろしてすぐにボウルに移す。

(4)(3)のボウルの底を氷水に当て、木べらで混ぜながら十分に冷ます。

(5)ボウルを氷水からははずし、細かい泡が表面いっぱいになるまで、ハンドミキサー(高速)で2分間泡立てる。泡立て器を使う場合は10分間泡立てる。

②①で完成した原液を30mlずつ二つの50mlビーカーに分ける。30mlずつに分けた二つの原液のうち、一つのビーカーを実験兼用ホットプレートでアルコール温度計の目盛りが80℃になるまで温める。もう一方は常温(約30℃)になるまで放置する。

③二つのビーカーを同時に冷凍庫内に入れる。二つのビーカーは、それぞれ干渉しないように15cmほど離して横に並べる。冷凍庫内の冷え方や冷気の当たり方は一定であると仮定する。それぞれの液にSPARKの温度測定部分が浸かるようにビーカーに固定し、SPARKのBluetoothをchromebookに接続し、温度変化を一分間隔で測定しデータ化する。その際、SPARKを冷気から保護するためにハンカチなどの布を巻き、輪ゴムで固定する。

(現時点で冷凍庫内の冷え方がほぼ一定であることは簡単には確かめている。今後の予備実験でさらに細かく調べていく予定だ。)ムペンバ現象を観測するにあたり、グラフの直線区間の長さに着目する。直線区間とはグラフが融点で一定となっている区間のことである。我々はムペンバ現象を「温めた原液の直線区間が常温の原液の直線区間よりも短い」と定義する。

④③の実験よりムペンバ現象が発生した場合、アイスクリームの材料を変えて実験を繰り返す。

(1)牛乳の量を150mlから100mlに減少させる。

(2)牛乳の量を150mlから200mlに増加させる。

(3)牛乳を成分調整牛乳や低脂肪牛乳に変える。

(4)卵黄を入れない原液を作る。

(5)グラニュー糖を入れない原液を作る。

(6)牛乳のみを凍らせる。

このようにして材料を変化させた原液と、①で作った原液を②③の手順で同じように対照実験を行う。

⑤④の対照実験より、ムペンバ現象に関係していると見られる物質(牛乳や卵黄など)を見つけ、その物質がなぜムペンバ現象に関係しているのかを考察する。

<実験内容一覧>

| | ① | ② | ③ | ④ | ⑤ | ⑥ | ⑦ | ⑧ |
|-----------|-----|-----|-----|-------|--------|-----|-----|-----|
| 牛乳(種類) | 牛乳 | 牛乳 | 牛乳 | 無脂肪牛乳 | 成分調整牛乳 | 牛乳 | 牛乳 | 牛乳 |
| 牛乳(量)(ml) | 150 | 100 | 200 | 150 | 150 | 150 | 150 | 150 |
| グラニュー糖(g) | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 | なし | なし |
| 卵 | あり | あり | あり | あり | あり | なし | あり | なし |

5. 仮説

SPARKが、データをもとに横軸:時間(s)、縦軸:温度(℃)の折れ線グラフを作成し、そのグラフをもとに凝固点に到達してから凝固点を下回るまでの時間を比較する。これまでの先行研究の結果より、温度の高い原液のほうが早く凍ると予想する。また、牛乳の割合が高い原液ほどその時間の差は大きくなると考えられる。

