

実験テーマ：ムペンバ効果への挑戦

代表者：今野 圭太

所属：山梨大学 大学院医学工学総合教育部修士課程 応用化学専攻

連絡先：〒400-8511 甲府市宮前町 7-32

山梨大学大学院附属クリスタル科学研究センター

1. 実験背景

ムペンバ効果と呼ばれる現象がある。それは、「特定状況下で起こる、高温の水が低温の水より短時間で凍る現象」のことである。関わってくる物理要素の多さと複雑さから、正確な実験が困難であることが知られている。

今回、水の状態図から考えられる要素として、気圧の変化による融点の変化からムペンバ効果のような現象を起こせないかと考えた。

2. 実験目的

高温の水(お湯)と低温の水(水道水)を密閉可能な容器に入れ、水温以外は等しい条件下で冷却し、容器内の気圧と水表面付近の温度を測定することで、冷却速度や凍結にかかる時間に差が生じるかを調べることを目的とした。

3. 凍結実験

3.1 実験概要

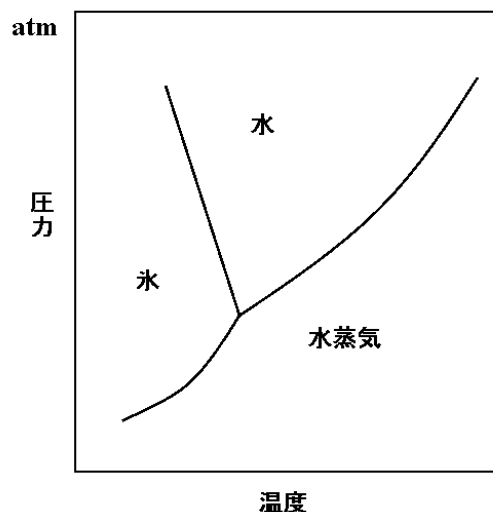
右に簡略化した水の状態図を示す。

水は温度をある低温にて一定に保った状況でも、気圧を低下させることで氷へと凝固する、つまり融点が上昇することが状態図から読み取れる。今回の実験ではこの点に着目した。

減圧の方法として、水が入った容器を密閉する方法を考えた。密閉された容器内で水蒸気を冷却すると容器内は大きく減圧されることから、気液界面である水面上では融点低下の作用が大きいのではと考えた。

また、高温の水の方が低温の水より蒸気量が多く、気化熱としての熱の損失が大きくなるので冷却効果が高められる。

よって、減圧幅が大きくなり、より融点が上昇し水面が速く凍り始めるのではないかと考えた。



3.2 実験装置

3.2.1 実験容器選択

冷却実験に用いる容器には、以下の特性が求められた。

- ・ある程度の気密性を有することができる。
- ・内部気圧の増減や、水温が 60℃程度～凍結温度程度までの間で破損の可能性が少なく安全に実験が行える。
- ・入手が容易で、保存も簡単である。
- ・簡易な加工か工夫により、温度測定や気圧測定を行うことができる。
- ・冷凍庫に入れることのできる寸法や重量で、安定する形状である。

以上のことをふまえて予備実験を行い、2ℓ , 1ℓ , 冷凍用 500ml , 300ml のペットボトルの中から、特に水の凍結後の容器の形状変化に着目し、今回の実験では肉眼で形状変化が見られなかった、容量 300ml の炭酸飲料のペットボトルを使用することとした。

3.2.2 使用機器

使用した機器類の写真を示す。

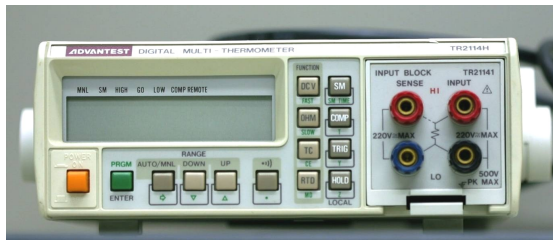
熱電対



冷凍庫



デジタルボルトメーター



300ml ペットボトル



気圧測定装置

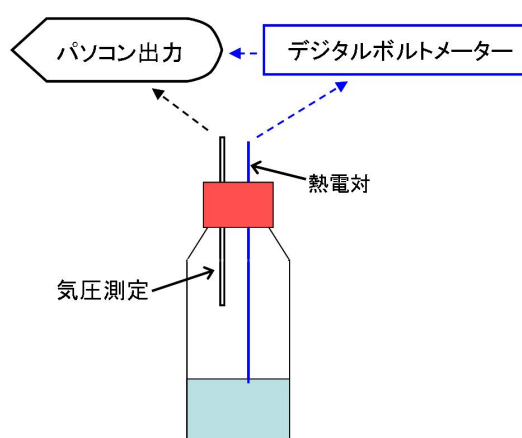


気圧測定には、スズキ教育ソフト株式会社のキューブセンサーNetを使用した

3.3 実験結果

3.3.1 実験の概要

実際に冷凍庫内にペットボトルを入れている様子の写真と、測定装置の接続の図を以下に示す。右図のように測定装置を接続した。熱電対はできるだけ水面部を測定できるようにセットした。



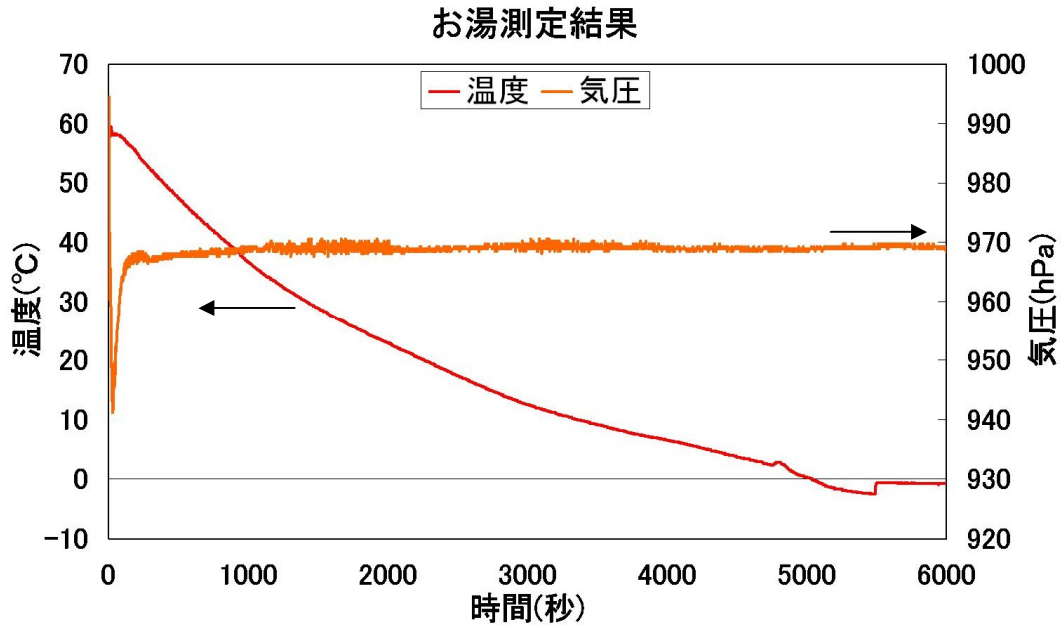
3.3.2 実験手順

水 (水道水) 、お湯 (給湯器のお湯) の両方とも、容器内に水深およそ 55 mm まで注ぎ、ただちに蓋を閉め、密閉のために蓋付近をラップを巻きつけ、テープで固定し冷凍庫に入れ測定を開始した。よって、測定ごとに水 (お湯) を容器に入れてから測定開始までの時間が若干違っているが、結果に大きな影響は無いと判断した。

また、測定はお湯のみ、あるいは水のみで冷凍庫へ入れて実験を行ったのち、両者を同時に入れて実験し、液温を比較した。

3.3.3 測定結果

① お湯の測定結果

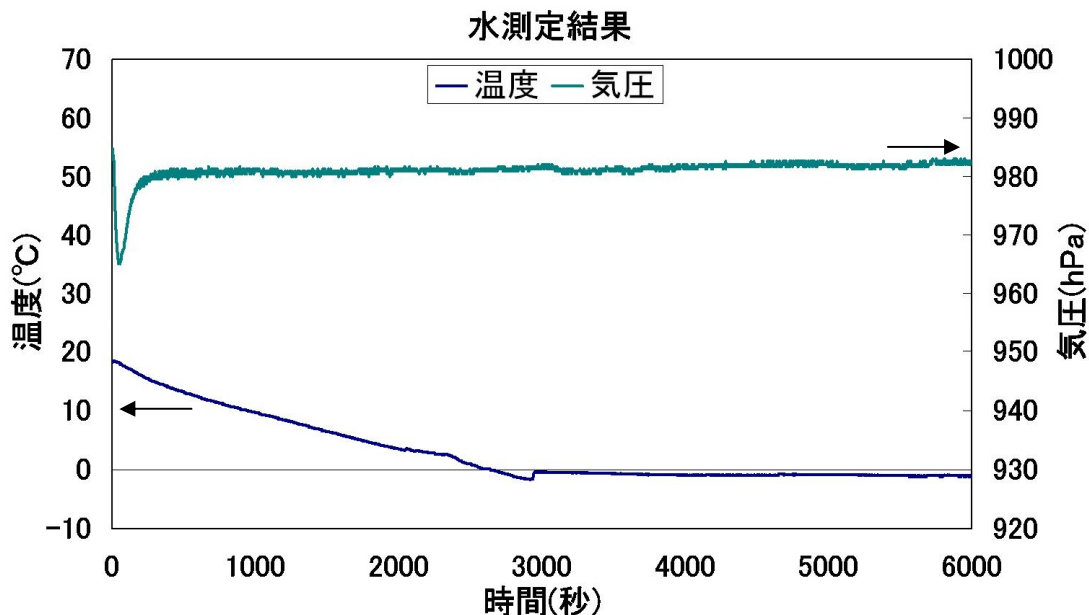


給湯器のお湯 (約 60°C) を冷凍庫に入れた結果、凍結まで 5000~5500 秒かかっていた。

気圧に関しては、冷凍庫に入れた直後には約 940hPa まで減少したものの、その後外気圧 (測定を行った山梨大学がある甲府市の気圧に関しては甲府地方気象台の HP 内で閲覧可能) 近くまで戻ってしまった。が、容器が変形している様子は肉眼では見て取れなかった。

初動での減圧域とそのときの冷却速度とそれ以降を比較しても、気圧と冷却速度に相関は見られなかった。

② 水の測定結果



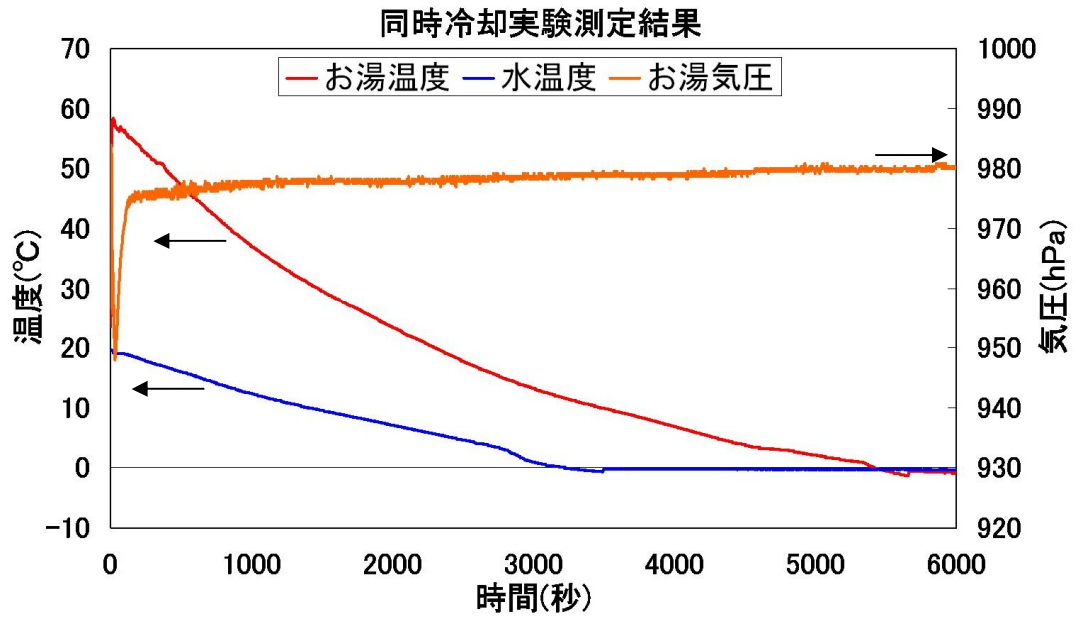
水道水を冷凍庫に入れた結果、凍結まで 2500～3000 秒かかっていた。

気圧に関しては、冷凍庫に入れた直後には約 965hPa まで減少したものの、その後お湯の実験と同じように外気圧近くまで戻ってしまった。こちらの容器についても変形している様子は肉眼では見て取れなかった。

また、気圧変化と冷却速度の相関も、お湯の結果と同様に確認できなかった。

水とお湯 2 つの測定結果を比べると、凍結するまでの時間 (約 0°C になるまでの時間とする) は水のほうが明らかに短く、容器を密閉した効果は得られていなかった。が、気圧を比べると、お湯のほうが減圧が大きいことが確認できた。

③ 同時冷却測定実験結果



水とお湯を同時に冷凍庫に入れた結果、お湯が凍結するまでの時間の半分程度の時間で水が凍結した。冷却速度はお湯のほうが速かったが、減圧との関係はやはり見られなかった。

気圧は測定の都合上お湯のみの測定となった。

3.4 まとめ

水面付近において凍結するまでにかかった時間は、約 60°Cのお湯よりも約 20°Cの水のほうが約半分ほど短かった。

お湯、水の両方とも冷却開始時には減圧が起こったが、すぐに外気圧程度まで気圧が変化してしまった。減圧の幅はお湯のほうが大きかった。また、気圧の変化と冷却速度の相関は測定結果からは見られなかった。

よって、予想した結果は実験からは得る事ができなかった。

実験が上手くいかなかった原因や、実験方法の改良点は数多く考えられるが、今回は容器を身近な所から探したために上手く密閉できなかったことと、水面上の温度を測定するための熱電対設置の難しさが大きな原因だと考えられる。

一方で、数十 hPa 程度ではあるが気圧は変化したので、減圧で変形・破壊が起きず、かつ密閉でき気圧・水面上液温測定が可能な装置を使うか、そのような測定環境を整えば、気圧変化と冷却速度あるいは凍結にかかる時間の相関を見ることができないのではないかと考えられる。

4 総括

本実験では、水の状態図から考えられる要素として、気圧の変化による融点の変化から、ムペンバ効果と呼ばれる「特定状況下で起こる、高温の水が低温の水より短時間で凍る現象」のような現象を起こせないかと考え、高低温2種類の水を密閉可能な容器に入れ、冷却速度や水面凍結にかかる時間に差が生じるかを調べることを目的とした。

水およびお湯を 300ml のペットボトルに注ぎ、冷凍庫に入れ凍結実験を行い、密閉容器内の気圧と水面温度を測定した。

結果、凍結開始直後のみ密閉容器内で減圧が起き、水の容器よりもお湯の容器内のほうが変化の幅は大きくなった。

凍結にかかる時間は水がお湯の半分程度の時間であり、冷却速度はお湯のほうが速かったが、気圧の変化と冷却速度に相関は見られなかった。

本実験では、ムペンバ効果と呼ばれる「特定状況下で起こる、高温の水が低温の水より短時間で凍る現象」のような現象は確認できなかった。