

流体の運動とムペンバ効果の関係性

2年3組 矢野 皓己 2年3組 藤岡 勇揮 2年3組 兵頭 歩
指導者 浦辻 規幸

1 課題設定の理由

RSIで、さまざまな研究に触れる機会があり、その中で日常に起こる興味深い現象について研究したいと考えていた時にムペンバ効果についての研究が目についた。その名前を聞いたことがなかったので私たちは、その現象に興味を持ち詳しく調べた。すると、発生条件が詳しく分かっていないとわかった。ムペンバ効果の発生条件を解明するとともに解明することができれば、様々な事に利用することができると考え、ムペンバ効果の発生条件について解明するために本研究を始めた。

2 仮説

温度に差がある二つの水を冷却したとき、特定の条件下において温度の高い水のほうが先に凍るといふ現象のことをムペンバ効果という。この現象は1963年、エラスト・B・ムペンバさんにマガンバ中学校の3年次当時に初めて発見されたと言われている。ダルエスサラームにある大学のデニス・G・オズボーン博士はムペンバの発見を検証し、ムペンバとともに1969年に研究結果をまとめ、出版した。

しかし今現在ムペンバ効果はその存在を疑問視する人もいる。そしてムペンバ効果を対象とした実験の数が少なく、ムペンバ効果の発生条件を実証するにはいたっていない。先行研究では冷却開始時の温度と凍り始めるまでの時間を測定した。先行研究では結果と過程に注目していたが、ムペンバ効果の発生原因は分からなかった。そこで私たちは冷却過程に注目した。

表面積が同じ固体においては図2のようにニュートンの冷却法則より、冷却媒質と固体の温度差は温度変化に対して相関がある。しかしムペンバ効果における温度変化は図1のように冷却開始時の温度によって変化する。その違いは固体と液体の性質の違いから発生するものと考え、液体の動性に注目した。本研究では、水の対流による温度の効率的な降下がムペンバ効果を生じさせるという仮説を立て、水を攪拌することで擬似的な対流によるムペンバ効果の発生を目指した。

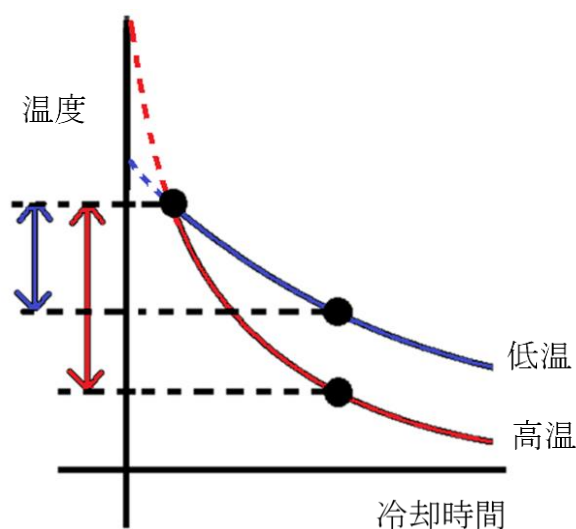


図1：液体の冷却曲線

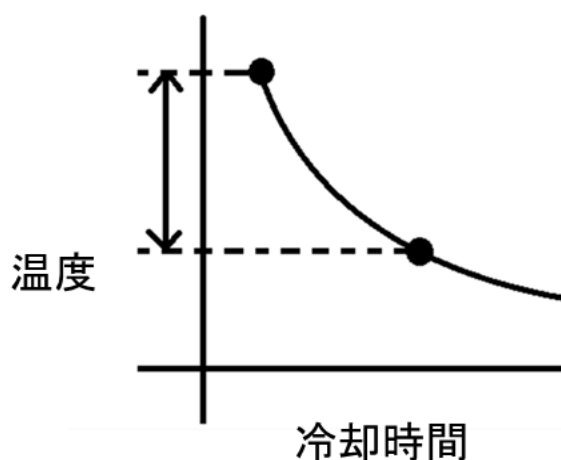


図2：固体の冷却曲線

3 実験方法

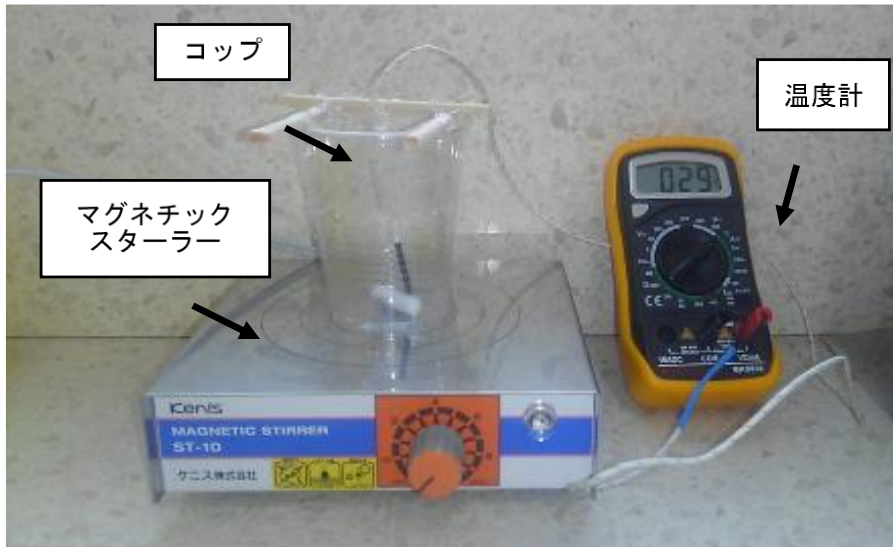


図 3 : 実験装置



図 4 : 冷却装置

- (1) 図 3 のようなプラスチック製のカップを使用した実験装置を作成する。プラスチック製のものを使用した理由は先行研究でも使われていたのと、それ以外の理由としてはプラスチックの熱容量が小さいからである。またマグネチックスターラーの上にポリスチレン製のシートを断熱材として使用した。
- (2) 20mL の蒸留水を入れ、冷凍庫で 1℃まで冷却する。温度は 30 秒ごとに記録し、1℃に到達するまでの時間を計測した。1℃にした理由としては、攪拌した時凍りにくくなるためである。図 4 のように測定を行うことにより、冷凍庫の開閉なく水の温度を測定できる。
- (3) 初期温度による温度推移を比較するために 70℃と 20℃の条件で行った。また擬似的なムペンバ効果を調べるために 20℃の条件下で攪拌の有無で比較した。温度変化の勾配について調べるため、図 7 は初期温度の違いについて温度 T と温度変化 ΔT の関係を示した。図 8 は攪拌の有無について温度 T と温度変化 ΔT の関係を示した。

なお温度 T における温度変化 ΔT の解析方法は、図 5 のように温度 T と 30 秒後の温度との差を温度変化 ΔT とした。また、図 6 のように温度 T を横軸に、温度変化 ΔT を縦軸とすることで複数回の結果をひとつのグラフにまとめた。

測定回数はそれぞれ図 7 が 5 回、図 8 が 10 回である。なお温度変化 ΔT は、各温度における 30 秒間の温度変化の平均とし、グラフ中の近似曲線は二次曲線で最小自乗法を用い近似したものである。

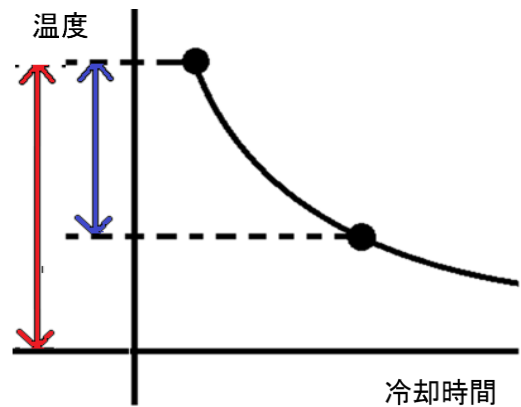


図 5 : 温度 T における温度変化 ΔT

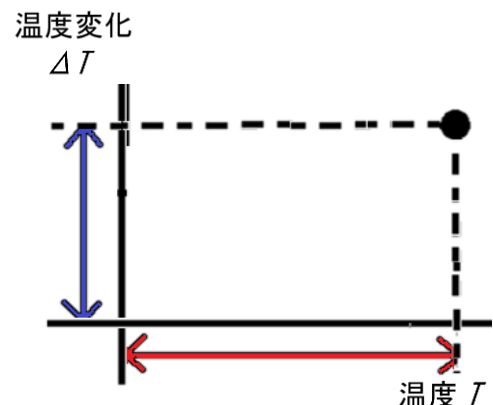


図 6 : 解析方法

4 結果と考察

結果は左図のようになった。これだと比較しづらいため、それを次のようにグラフにまとめた。図7の2つの近似曲線を比較すると、70℃のデータが20℃のデータを上回っている。高温の方が温度変化は大きく、温度が高いほうが冷えやすいという仮説が裏付けられた。

図8の2つの近似曲線を比較すると、水を攪拌した場合のデータが上回っている。攪拌を行うことで効率的に温度低下が起こり、擬似的なムペンバ効果が得られた。

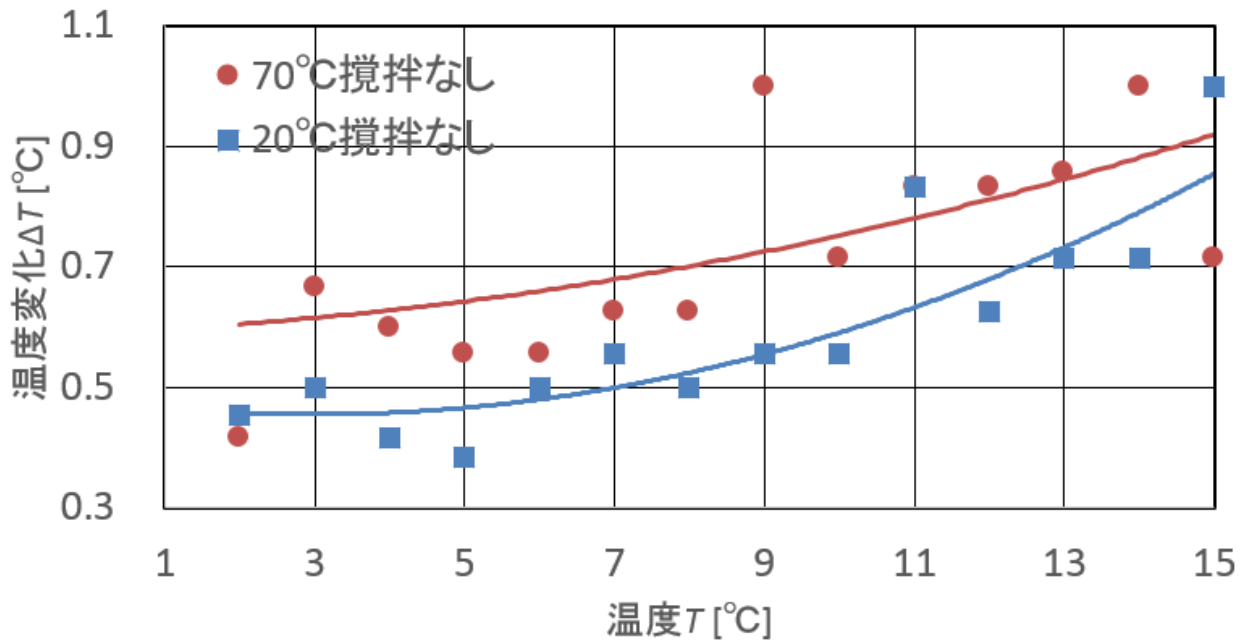


図7：初期温度の違いによる温度と温度変化の関係

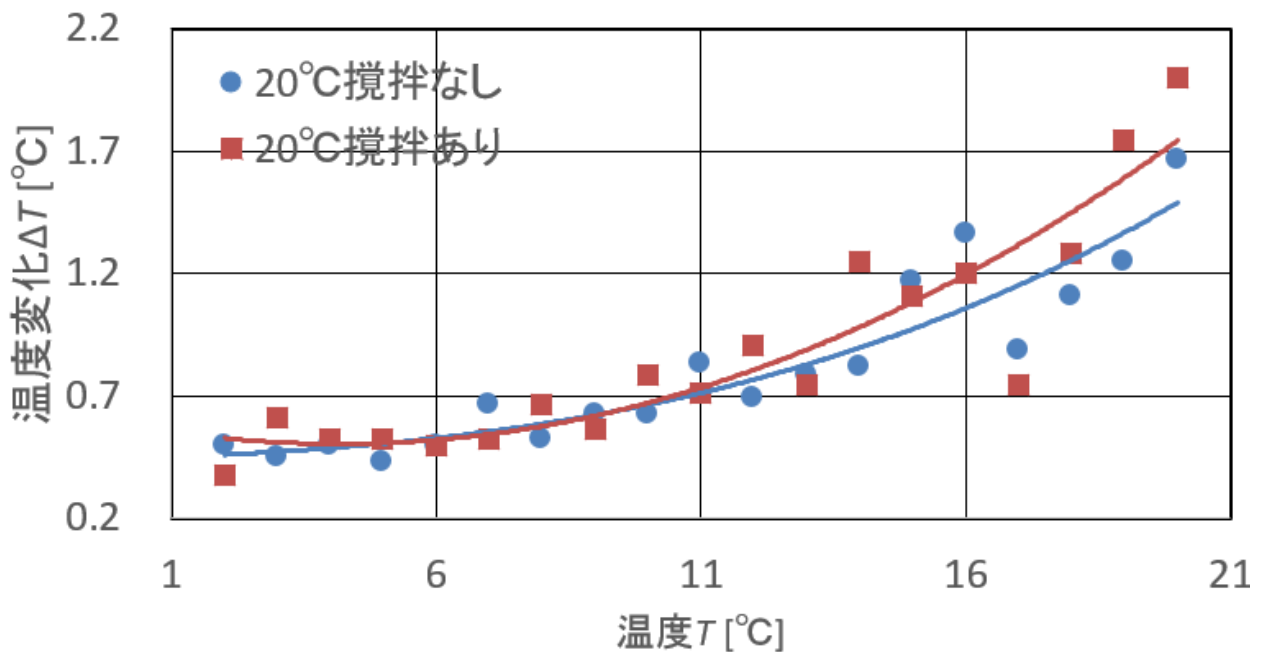


図8：水の攪拌の有無による温度と温度変化の関係

5 まとめと今後の課題

本研究では、流体の攪拌による擬似的なムペンバ効果が得られた。今後は、実験回数を増やすことで精度を上げ、発生条件について精査していきたい。また庫内の温度の測定ができていなかったため、冷却媒質の温度との関係も確かめていきたい。

さらに、振動についても研究を行っていきたい。攪拌だけではなく振動でも同じようにムペンバ効果が得られるとすれば、固体にも振動は伝わるためムペンバ効果が発生する可能性があるといえる。もし固体でもムペンバ効果が得られるとすれば、様々なことに利用できる。例を挙げると、マグロなどの魚介類の冷凍技術への応用である。

ムペンバ効果はまだ不明な点が多いが、このように多くの可能性を持っているので今後も深く研究していきたい。

謝辞

研究に協力して下さった富永先生には、調査のあり方や考察の方法など、細部にわたるご指導をいただきました。ここに感謝いたします。また、理科の先生方にはたくさんの助言をしていただきました。本当にありがとうございました。

参考文献

- ・ムペンバ効果に関する研究 中西恵、鈴木花奈、西田光孝、宮原優希 (宮城総文 2017)
- ・Why water freezes faster after heating Chown Marcus (NEW SCIENTUST)
- ・ムペンバ効果への挑戦 今野圭太
- ・熱の伝わり方と基本式 野村信福 伝熱工学 熱伝導1 p.5