

物理基礎の比熱測定実験を「分銅」が劇的に変える！



実施担当者 群馬県立前橋女子高等学校
教諭 茂木 孝浩

1 序論

物理基礎の熱の分野における重要な概念に、熱量の保存がある。この熱量保存則の検証実験として一般的に高等学校で行われているのは、比熱測定用金属を用いた既知の金属の比熱測定である。例えば、数研出版の教科書「物理基礎¹⁾」には、熱量計を用いて銅の比熱を測定する実験が掲載されている。しかしながら、この単純な実験を教科書通り実施するには比較的高価な熱量計（または銅製容器や断熱箱等）が必要となる。更に、実験の精度があまり良くないことも多く^{2), 3)}、徐々に上昇する水の温度変化を測定するという地味さもあり、筆者も長いこと生徒実験を実施しようという気持ちにならなかった。

一昨年度に一念発起し、この生徒実験の実施を計画した。本校は、熱量計はもとより比熱測定用金属（銅球など）も班の数分揃わないという状況の中、ある班は銅、別の班はアルミニウムというように班ごとに異なる金属を測定することにしたが、更に足りない分は100g分銅（電子天秤が普及したことにより使用機会がなくなり放置されていた）を使うことにした。筆者はこのとき、恥ずかしながら分銅の主成分を「鉄」だと思い込んでいた。実際に生徒実験を金属種の同定実験と称し実施したところ、銀色の艶やかな光沢にもかかわらず測定値が銅と同程度の値となり、この分銅の同定作業は大混乱となってしまった。原因は実験精度の悪さだと思い、当時はあまり深く考えなかったが、のちにこの分銅は「黄銅のニッケルメッキ」の可能性が高いと確認された。これを知ったときには本当に驚いた。言われてみれば「分銅」と最初から呼んでいたじゃないかと、そのときによく気がついた。

生徒たちの侃々諤々の同定作業と、結果「銅色じゃないのに実は銅」という驚きを逆手に取り、昨年度は比熱測定用金属を封印し、積極的に分銅の比熱測定を計画した。今年度は実験に若干の改良を加え、本校を含む複数の高等学校において同様の実験を実施した。本報告は、当該実験の計画と結果を主題に、「分銅の比熱測定実験」の成果を検証するものとする。

2 実施計画

水熱量計は正確な比熱測定が期待できるが、班ごとの実験に十分な数がないと実施が難しい。簡

易的にサーモカップを使用する方法⁴⁾も一般によく知られており、金属種を同定するには十分な実験精度が確認されている。計算が簡略化することもあり、今回はこちらの方法を採用する。

今回の比熱測定実験には、物理基礎分野の他の実験と比較し、次のような特徴が存在する。①測定数値が明解（今回の場合、温度と質量のみ）、②実験方法が明解（今回の場合、高温物体と低温物体の一対一の熱の移動）、③実験目的が明解（今回の場合、金属種の同定）。このような特徴により、初学者も実験全体を俯瞰しやすく、熱量保存則の立式と結果の導出、続く考察などに取り組み易いことが予想される。以上のことを踏まえ、実験前や実験時の指示を最低限に絞り、金属種の同定という実験目的の達成を目指し生徒に自由に試行錯誤させる「アクティブ・ラーニング型の生徒実験」を念頭に、実施計画を検討した。

今回用意した分銅は2種（図1）、金属Xの主成分は「鉄」、金属Yの主成分は「銅」である。実験前の指示は、①目的が2種類の金属の主成分の同定であること、②実験方法はプリントに記載があること、③熱湯や電子天秤の扱い方の注意に限定し、最初に各自、金属種を予想してから実験に取り組むこととした。実験に必要な道具類は熱湯を除き、班ごとの机の上に用意した（図2）。



図1 金属X（左）と金属Y（右）



図2 実験に必要な道具類一式

3 生徒実験の実施

(1) 実施対象・実施時期

県立A高校	第1学年7学級	276名	2016年11月	※検証対象
県立B高校	第2学年3学級	113名	2017年7月	
県立C高校	第2学年1学級	31名	2017年9月	
県立A高校	第1学年8学級	310名	2017年11月	
県立D高校	第1学年6学級	227名	2017年12月	※検証対象

(2) 時間設定

直前の座学の際に熱量保存則を学習し、熱量保存則の立式を中心に問題演習を実施した。当日は50分授業とし、最初の5分程度を指示と予想に使い、残り45分間は班ごとに自由に実験させた。

4 実施結果

今回の実験の成果を検証するにあたり、母数が多く、同じ1学年に対し実施した県立A高校と県立D高校の結果を比較する。大学の進学実績などから判断し、基礎学力はA高校の方が高い。

金属X、金属Yの主成分の実験前予想、比熱計算値の最寄、最終的な結論の各分布の様子を図3、図4に示す。予想と結論は生徒が記載した金属種の単純集計だが、明らかに誤記の場合は修正を加

えた。「生徒計算最寄」は生徒が計算した比熱値と最も近い金属を機械的に導き、集計した。次に詳しく述べるが、生徒が計算した比熱値には計算ミスや転記ミスも含まれる。

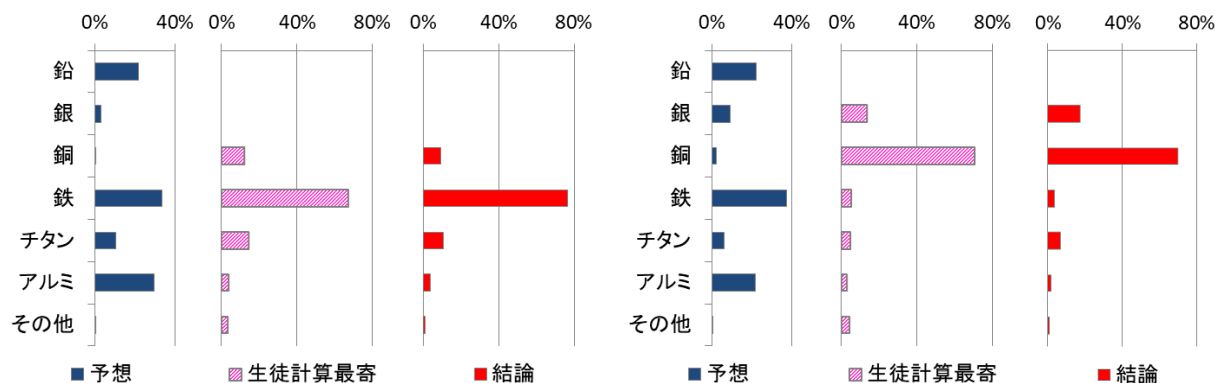


図3 【A高校】金属の主成分の予想・結果・結論（左：金属X，右：金属Y）

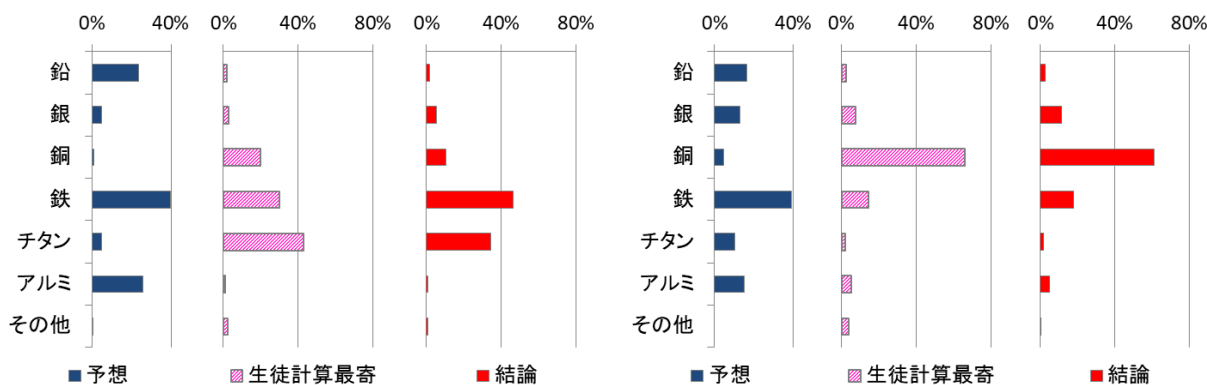


図4 【D高校】金属の主成分の予想・結果・結論（左：金属X，右：金属Y）

次に、生徒が計算した比熱値（計算ミスや転記ミスを含む）と測定値を正しく計算した比熱値が一致しているかどうかを確認するために、両者の差の絶対値（計算誤差）を求めた。この値の分布を図5に示す。ちなみに各班には電卓2個を用意してある。

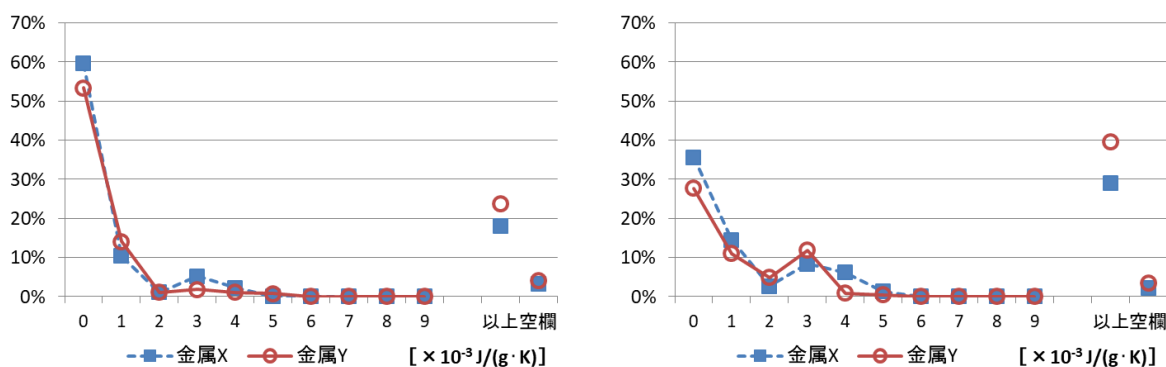


図5 正確な計算値と生徒の計算値の差（左：A高校，右：D高校）

A高校の半数以上の生徒は有効数字3桁の値をミスなく計算していることがわかる。計算誤差0.001は最後の四捨五入の間違いなどが疑われる。計算途中にもかかわらず不用意に四捨五入する（例えば方程式の各係数を掛け算した際に四捨五入するなど）生徒も多く、この場合の計算誤差は0.002~0.005程度と見込まれる。計算式自体を間違えたりすると値は大幅にずれ、計算誤差は0.010以上となる。

次に、今回構想した実験ほどの程度正確に比熱値を測定したのかを検証するために、計算ミスや転記ミスを修正した正しい計算値（測定ミスは含まれる）と文献値の比をとり、度数分布を図6に示す。本実験は生徒が自由に試行錯誤することを特に重視した。この方針は実験精度を多少犠牲にすることになるが、金属種の同定に支障がない程度ならばやむを得ないと割り切ることにした。A高校の結果はどちらの金属も最頻値は±5%以内となり、実験自体には測定精度の致命的な問題が内在しないことが確認された。一方、D高校の金属Xの結果は最頻値が値の大きな右側に偏った。

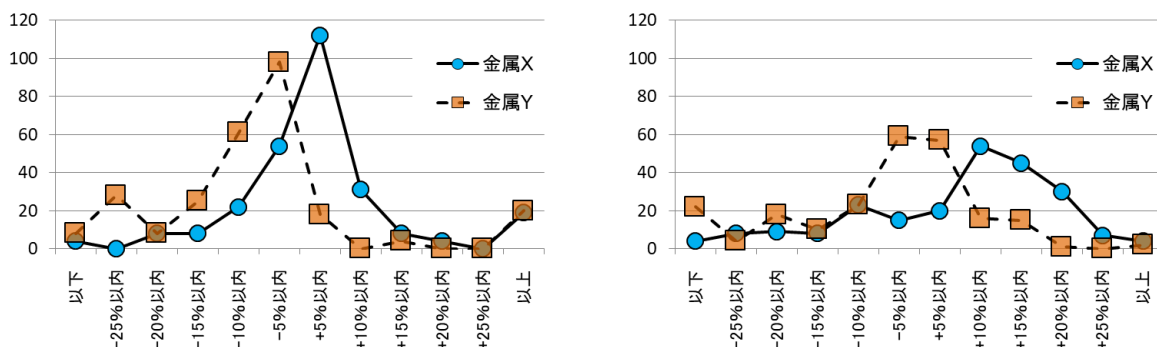


図6 正確な計算値の対文献値比率の度数分布 (左：A高校，右：D高校)

5 考察と結論

実験前予想は高校・金属種による差異が認められず、色の異なる銅，馴染みのないチタン，高価な銀を敬遠し、鉛・鉄・アルミの3種に予想が集中した。実験前予想のときには多くの生徒が両者を全く未知なる金属と捉えていることがわかる。

実験の結果、D高校の金属Xが大きくばらけたが、これは実験に不慣れなことが影響したと思われる。続く金属Yの結果を踏まえると、本実験により正しい金属種の同定に成功する割合は、概ね7割程度と言える。同定失敗の主な理由は一般に測定ミスと思われがちだが、図5の結果から計算式自体の間違いや大幅な計算ミスの影響が大きいと推察される。比熱計算の指導を十分に行えば、本実験は多くの高校において実施可能な「アクティブ・ラーニング型の生徒実験」となる可能性が高いと言える。

謝 辞

本研究にあたり、「公益財団法人 中谷医工計測技術振興財団 科学教育振興助成」のご支援をいただきました。感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 國友正和他：「物理基礎」，p. 131，数研出版，2014.
- 2) 野口禎久：「身近な道具を用いた熱分野の実験方法の工夫」，日本理化学協会研究紀要第48巻，pp. 13-16，2017.
- 3) 日本理化学協会：「平成28年度日本理化学協会調査部アンケート」，日本理化学協会研究紀要第48巻，pp. 90-92，2017.
- 4) 木立英行・山岸真智子：「金属の比熱の簡易測定法について—中学校理科の教材開発—」大阪教育大学紀要，第V部門 第46巻 第1号，pp. 83-88，1997.

以上