

## 身近な材料を用いた金属の比熱を測定する教材の開発

### Development of a simple educational tool of calorimetry for high school students

濱崎貢<sup>1)</sup>・山口光臣<sup>2)</sup>・陳麗<sup>1)</sup>・小原益己<sup>3)</sup>・三井好古<sup>4)</sup>・小山佳一<sup>4)</sup>\*  
Mitsugi HAMASAKI<sup>1)</sup>, Mitsuomi YAMAGUCHI<sup>2)</sup>, Li CHEN<sup>1)</sup>, Masumi OBARA<sup>3)</sup>, Yoshifuru MITSUI<sup>4)</sup>,  
Keiichi KOYAMA<sup>4)</sup>\*

<sup>1)</sup> 鹿児島大学共通教育センター

<sup>1)</sup> Education Center, Kagoshima University

<sup>2)</sup> かがしま企業家交流協会

<sup>2)</sup> Kagoshima Enterprise Exchange Society

<sup>3)</sup> 原田学園鹿児島情報高等学校

<sup>3)</sup> Kagoshima JOHO High School, Harada Academy

<sup>4)</sup> 鹿児島大学大学院理工学研究科

<sup>4)</sup> Graduate School of Science and Engineering, Kagoshima University

\* koyama@sci.kagoshima-u.ac.jp

**Abstract:** A simple educational tool has been developed using daily commodities for high school students to have an interested in calorimetry and measure the specific heat of metals. In this study, we used "insulation coffee-cup", which is the cheap commodity and has excellent insulation property, instated of a "water calorimeter" which is appeared on high school textbooks of physics. The students measured the specific heats of three unknown metals and identified them as aluminum, iron, and copper using our educational tools for about 150 minutes. After finishing the experiments, the students made presentation and discussion on the results.

**Keywords:** Educational tools, Specific heat, Calorimeter, Insulation cup

## 1. はじめに

高等学校の次期学習指導要領（2022年度から適用）に導入される新教科「理数」では、生徒の知的好奇心によるアイディアの創発を促すことが重視されている[1]。我々はこのような新しい理科教育の流れに対応するため、鹿児島大学理学部とかがしま企業家交流協会との共催でサイエンス・パートナーシップ・プログラム（SPP）を実施している。

本稿は、平成29年度のSPPに取り入れた高等学校「物理基礎」で扱う熱と温度に関する教材の開発を行い、それを用いた実験についてまとめたものである[2]。生徒にとって比熱は捉えにくい概念である。「物理基礎」では水熱量計を用いて比熱を測定する実験が一般的である。

我々は水熱量計の代わりに、日常大量に出回っている飲料用の断熱カップを利用した。断熱カップには3層構造のものがあり、最外層に低密度の発泡ポリエチレン（LDPE）の層を設けたものは断熱効果が高い[3]（図1）。実験には断熱カップを2個重ねて、キャップのストロー挿し込み口に温度計を挿して使用した。この実験をとおして生徒は実験の技能や比熱の概念を理解するだけでな

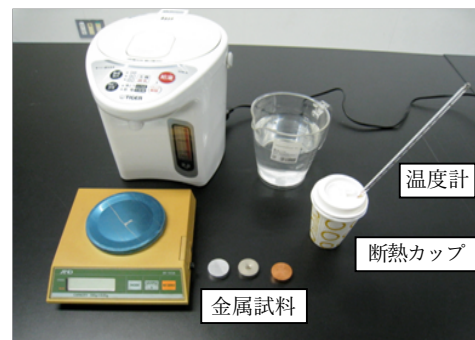


図1 断熱カップの比熱測定器と試料

く、熱の移動と熱平衡、熱量保存、熱量の表し方（温度、比熱、質量）など、熱に関する量的関係を身に付けることができる。

また、このような身近な材料を利用することによって、学ぶ楽しみを感じながら科学の事象を自発的に調べようとする態度が育成される。さらに、学習に対する興味・関心・意欲の向上とともに、知識や技能を身に付けることが期待できる。

## 2. 熱量と比熱

熱は物体と外部との間を移動して温度変化や状態変化の原因となる熱運動のエネルギーで、その量を熱量（単位：ジュール J）という。同じ熱量が物体（物質）に与えられても（失われても）、比熱（比熱容量）によって物体の温度変化は異なる。比熱は単位質量（たとえば 1 g）あたりの物質の温度を 1 K（℃）だけ上昇させるのに必要な熱量であり、物質によってその値は決まっている。2 つの物体間で熱の移動がなくなり、両物体の温度が等しくなった状態を熱平衡という。高温の物体から出た熱量は、低温の物体に入った熱量に等しい。これを熱量保存の法則という。

物体の熱量  $Q$  は式 (1) のように、質量  $m$  と比熱  $c$ 、温度  $t$  で表されるが、これは図 2 の直方体の体積 ( $V = x \cdot y \cdot z$ ) に対比すれば考えやすい。比熱の小さい物体が大きな熱量を蓄えるには、温度を高くするか質量を大きくしなければならない。また、日常生活では、質量が等しければ比熱が大きい物体ほどあたたまりにくく冷えにくい（温度は変化しにくい）として体験している。

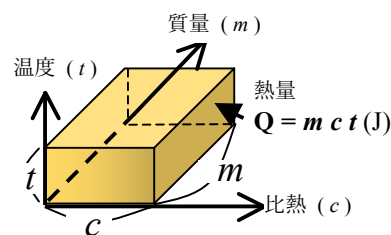


図 2 熱量の表し方

$$Q = m \cdot c \cdot t \quad \dots \dots \dots (1)$$

## 3. 実験の原理

図 3 のように、加熱した金属（質量  $m_1$ 、比熱  $c_1$ 、温度  $t_1$ ）を室温の水（質量  $m_2$ 、比熱  $c_2$ 、温度  $t_2$ ）に投入してしばらくすると、熱平衡に達し双方の温度は等しくなる（温度  $t_3$ ）。この場合の熱量保存の法則は、式 (2) で与えられる。

$$m_1 c_1 (t_1 - t_3) = m_2 c_2 (t_3 - t_2) \quad \dots \dots \dots (2)$$

この式から金属の比熱は式 (3) で与えられる。 $C_2$  は水の比熱で 4.187 (J/g K) である。

$$c_1 = \frac{m_2 c_2 (t_3 - t_2)}{m_1 (t_1 - t_3)} \quad \dots \dots \dots (3)$$

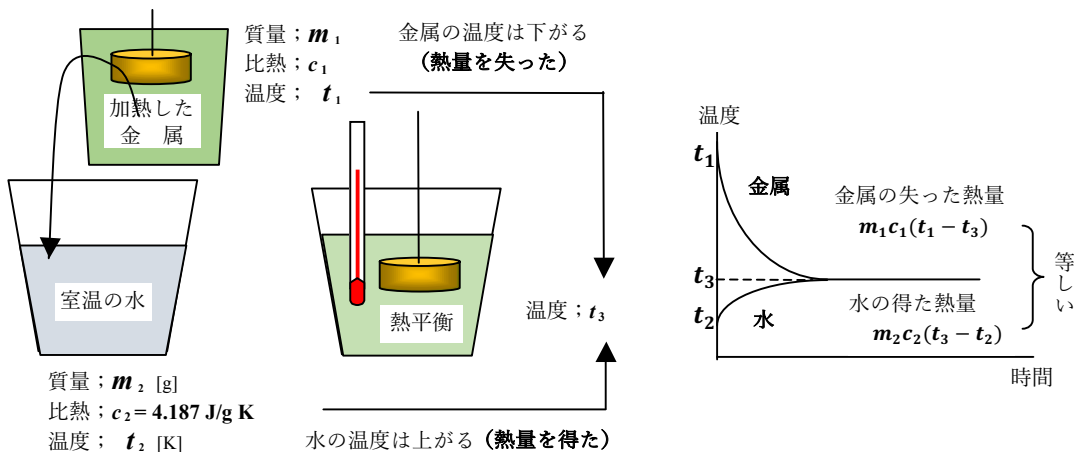


図 3 熱量保存の法則と比熱

### 3. 1. 実験の目的

熱量保存の法則から試料（3種類の金属）の比熱を測定し、金属の種類を同定する（図4）。実験には次のものが必要である。

キャップ付き断熱カップ（197 ml 2個），金属試料（試料①，試料②，試料③），電気湯沸かし器，デジタル秤(最小目盛0.1 g)，計量カップ，アルコール温度計2本（100℃，最小目盛0.1℃），糸，乾いたタオル，ストップウォッチ，グラフ用紙

### 3. 2. 実験の方法

- (1) 実験に使用する試料の質量 ( $m_1$ ) をデジタル秤で量る。
- (2) 試料を糸でつるし、電気湯沸かし器に入れて加熱する。  
※ このとき、試料が電気湯沸かし器の中に落ちないように注意する。
- (3) 断熱カップに試料の質量の3倍程度の水を入れ、デジタル秤で水の質量 ( $m_2$ ) を、アルコール温度計で温度 ( $t_2$ ) をはかる。
- (4) 湯沸かし器が沸騰した後、しばらく時間が経緯したらお湯の温度をアルコール温度計で測る。  
※ この温度が加熱した状態の試料の温度 ( $t_1$ ) である。
- (5) (4)で加熱した試料を取り出して、付着した湯をタオルで素早く拭き取り(3)の断熱カップの水の中に入れる。  
※ 試料を断熱カップに入れるとき、カップ内の水が外に飛び跳ねないようにする。
- (6) 断熱カップに素早くキャップを被せ、アルコール温度計をストローの挿し込み口から挿し込む。断熱カップの水の温度を20秒ごとに計る。  
※ 断熱カップの水に温度ムラがないように、アルコール温度計でかき混ぜる。  
※ 温度計のアルコール溜めの部分が、直接試料に触れないようにする。
- (7) (6)の温度測定は、断熱カップ内の温度上昇が止まるまで続ける。  
※ この温度が熱平衡時の温度 ( $t_3$ ) である。



図4 TAを交えた実験手順の確認

### 3. 3. 実験のデータと解析

生徒の実験を効率的に進めるため、表1のデータ表を実験ワークシートとし、測定結果は試料ごとに記録した。実験は生徒3～4名を1グループにして、一人一人に役割分担をさせて行った。

表1 データ表

項目		試料①	試料②	試料③
試料の質量 ( $m_1$ )	g			
加熱した状態の試料の温度 ( $t_1$ )	℃			
断熱カップ内の水の質量 ( $m_2$ )	g			
断熱カップ内の水の温度 ( $t_2$ )	℃			
熱平衡時の温度 ( $t_3$ )	℃			

表1 つづき

時間 (s)		0	20	40	60	80	100	120	140	160	180
温度 ( $t$ °C)	試料 ①										
	試料 ②										
	試料 ③										

### 3. 4. 実験の結果 (金属名の同定)

生徒たちがグループで協力して、表1の値を、式(3)に用いて試料の比熱を計算し表2にまとめ、これを表3と照合して試料①, ②, ③の金属名を同定するようにした。

表2 実験の結果

項目		試料 ①	試料 ②	試料 ③
試料の比熱の計算値	(J/g K)			
表3から同定した金属名				

表3 参考資料 (金属の比熱 J/g K 25°C 1気圧) [6]

鉛	銅	金	銀	鉄	白金	亜鉛	アルミニウム
0.128	0.385	0.128	0.236	0.448	0.136	0.390	0.902

## 4. 考察

表4は、全8グループが試料ごとに求めた比熱の測定結果の平均値と相対誤差である。

表4 全グループの測定結果の平均値と相対誤差

		試料 ①	試料 ②	試料 ③
測定値の平均値	(J/g K)	0.822	0.468	0.362
平均値の相対誤差	(%)	8.87	4.46	5.97

試料は、①がアルミニウム、②が鉄、③が銅である。測定結果から全てのグループが試料の金属名を同定できた。ただし、平均値の相対誤差はかなり大きかった。この原因は3つの試料とも、断熱カップの水の質量 ( $m_2$ ) をほぼ同量にしたためである。

試料の熱容量を考慮した水の質量 ( $m_2$ ) にすれば、相対誤差は縮減することになる[4,5]。したがって、「3. 2. 実験の方法」の手順(3)の表記を、資料ごと書き改める必要がある。

図5は、あるグループの時間に対する断熱カップの水温の変化を示したものである。温度を20秒間隔で測定しているため、熱平衡に達したときの温度 ( $t_3$ ) を正確に読み取りにくい。時間の間隔を5秒程

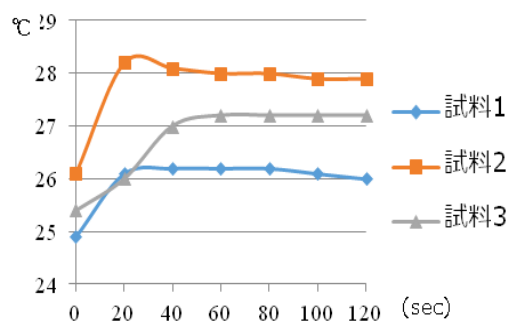


図5 断熱カップの水温の変化

度にして測定すれば、( $t_3$ )の読み取りの精度が向上することになる。

## 6. まとめ

この実験教材開発の目的は、ホームセンター等で購入可能な日用品を利用して比熱を測定し、解析、データベースを基に、試料を同定する研究の基本の体得であった。手作りの教材で実験に臨んだことが、むしろ生徒は親しみを感じ楽しく実験ができたようである。グループによって比熱の測定値に偏りがあったが、4. 考察で述べたように、試料の熱容量を考慮した水の質量( $m_2$ )にすれば、既製品の水熱量計を用いた場合と大差はない結果になると考える。

講座の最終日にはグループごとに実験結果を分析し、その後プレゼンテーションを行った。プレゼンテーションをとおして、生徒たちは次のような感想や意見を述べた。

- ・高校入学後、初めて実験をした。最初はどうすればよいのか手が動かなかった。
- ・熱が移動するとは知ってはいたが、これによって比熱が測定できることに感動した。
- ・比熱の意味が分かった。熱量が比熱だけでは決まらないことも分かった。
- ・あたたまり易いことと冷えやすいことは、同じ性質であることが分かった。

高等学校「物理基礎」の熱と温度の学習では、熱量、比熱、温度の関係は実験をとおして理解させることが望ましい[1,2]。今回の実験はこれに応えるもので、成果として次のようなことが挙げられる。

- (1) 実験に興味・関心をもち、進んで実験をしようとする態度が見られた。
- (2) 実験の原理を理解し、それによって比熱を求めることができた。
- (3) 比熱の概念と熱に関する量的関係が理解できた。

## 謝辞

本 SPP は、鹿児島大学理学部とかごしま企業家交流協会との共催で実施したものである。当協会には実験に関わる全ての経費を負担していただいた。さらに、講座の広報や実施要綱の作成など、当協会の事務局に全面的に支援していただいた。講座の終了に当たり、厚くお礼を申し述べます。なお、参加した生徒と高等学校の引率の先生方、TA として実験の補助指導をしていただいた鹿児島大学大学院理工学研究科の学生にも謝意を表します。

## 参考文献

- [1] 文部科学省「高等学校学習指導要領解説（理数編）」（平成 30 年 7 月）6-11
- [2] 啓林館「物理基礎」高等学校教科書（平成 23 年）119-122
- [3] 株式会社 日本デキシー <http://www.dixie.co.jp/>
- [4] 全国理科教育センター研究協議会「物理教材の研究（東洋館出版）」（昭和 63 年）36-37
- [5] 古川泰三「物理学実験（学術図書出版）」（昭和 43 年）114-118
- [6] 飯田修一他編「新編物理定数表（朝倉書店）」（1978）