

ものの温まり方に関する誤概念の調査と教材開発

高橋尚志¹, 横川勝正², 樽本導和³, 二神朋人³, 森真佐純³

¹香川大学教育学部物理学教室

²香川大学大学院教育学研究科

³香川大学教育学部附属坂出小学校

A study of misconception about how to warm things and a development of teaching materials.

Naoshi TAKAHASHI¹, Katsumasa YOKOKAWA², Michikazu TARUMOTO³,
Tomohito FUTAGAMI³ and Masazumi MORI³

¹Faculty of Education, Kagawa University, 1-1, Saiwai-cho, Takamatsu 760-8522, Japan

²Grad. School of Edu., Kagawa University, 1-1, Saiwai-cho, Takamatsu 760-8522, Japan

³Sakaide Elementary School, Kagawa Univ, 2-4-2 Bunkyo, Sakaide 762-0031, Japan

Abstract

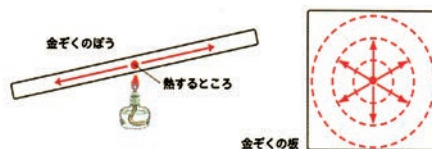
We have studied the usage of a conventional thermography to show the heat transfer of water. From the concept test during the research work we realized that children believed that the motion of the heat transfer should be the same as convection. This report shows the current situation of the misunderstanding and its origin.

1. はじめに

ものがどう温まるかについて子ども達が初めて学ぶのは、小学校4年「金属、水、空気と温度」の内容のところで、彼らは熱の移動

の仕方として「伝導」と「対流」について学習する。我々は、その段階で使用できるサーモグラフィーの導入をそもそも目指し、その教材開発を行った。実験教材として取扱うた

めの課題を進めつつ、もう一方では実際理科室や教室で使用する場合に備えて、子ども達にいつどのようにその教材を効果的に使い得るかを見極めるために、予備的に子ども達の熱の伝わり方に関する概念調査を行った。その中で見出されたのは、ほとんどまったくと言って良いほど子ども達は、対流と温まり方を混同してしまっていて、正しく答えることができていないということであった。そして驚いた我々は、附属小学校の子ども達への調査と一部教員や学生達にインタビューもし、その誤解がどの程度あるのか、どれほど深いのか、またその広がりはどこまであるのかを見出そうと検討を加えた。



②水は、下の方を熱すると、どのように全体があたたまっていくか。また、空気は、どのように全体があたまっていくか。……

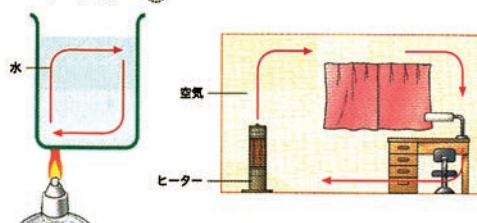


図1 教科書の熱伝導と対流の説明²。

2. 教科書における水の温まり方の取扱い

ものの温まり方として教科書に登場するのは、小学校4年理科においてである。現行学習指導要領によれば、「金属は熱せられた部分から順に温まるが、水や空気は熱せられた部分が移動して全体が温まること」¹となっている。つまり、子ども達は熱伝達のうちの放射を除き「金属における伝導」と「水や空気における対流」について学習する。

ここで、香川県下で使用される東京書籍の教科書²を例に具体的な記述を見よう。まず金属における熱伝導であるが、表面にロウを塗布した鉄板や銅板の端をアルコールランプなどで熱して、ロウの溶ける範囲が広がることにより熱伝導を可視化して学習する工夫がなされている。一方水の場合はどうかというと、まず示温テープをやはり水を入れた試験管に入れて、下部から温めても中程から温めても、最上部がまず温まることを示し、次に水の入ったビーカーにみそやおがくずを入れその動きを観察して対流しながら温まることを学ぶ。他社の教科書を見ても、概ね同様な

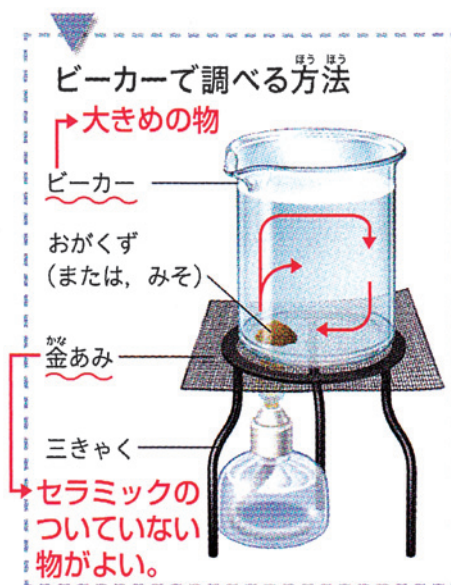


図2 対流の観察の説明²。

記述となっている。

3. 概念調査

サーモグラフィーの教材化と同時並行的に、児童がどのように熱伝達を理解しているかを調べる目的で概念調査を行った。ま

ものの温まり方に関する誤概念の調査と教材開発

次の装置の水はどの順番で温まるでしょう。温まっていくなりに番号を書きましょう。
(同時に温まると考えた場所には同じ番号を書いてかまいません)

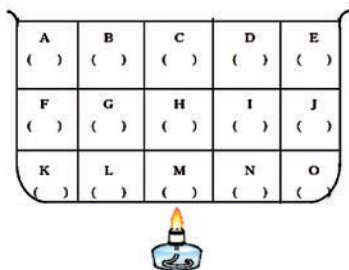


図3 概念調査の質問の例。底部から熱したときに温まる順番を記入することにより回答する。

ず、本学附属坂出小学校5・6年生合計154名に対していくつかの間を行った。彼らは4年次にこの単元を既に学んでいる。調査問題の

一例を示すと、図3のようにビーカーの底部から熱したときにビーカー内の水がどう温まるか問うたものがある。ビーカーの断面を示し、15分割した部分の温まる順番を数字で記述するようにして回答する方式を採用した。その結果をいくつかの典型例に類別すると、水の何らかの回転運動を伴う回答がまず多く目にとまる。図4の中で、②と④および⑤を選んだ者がそれに相当するのだが、附属坂出小学校全体の半数を超えている。対流という物質の移動と熱の伝達を混同しているのである。さらに④と⑤では、時計回りに回転する図が教科書にあるためであろうが、まず下部で横方向へ熱が伝わりそれが上昇し回転する様子を彼らは思い描いている。足すと23%で

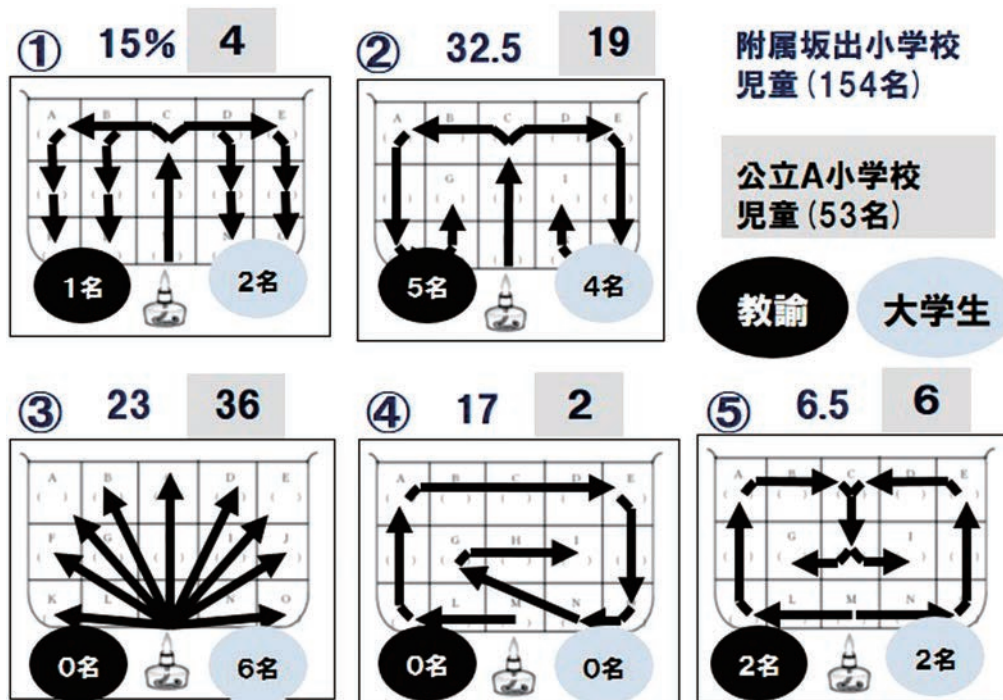


図4 概念調査の結果。数字で示された回答を類別し、矢印で温まる順番を表現した。小学生の調査結果の数値はすべてパーセント。教諭と大学生は実人数。尚、正解は①であるが、回転運動を伴うイメージを表す回答が半数を超えている。

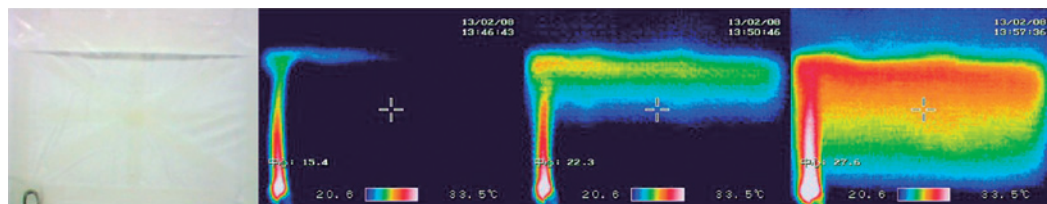


図5 サーモグラフィー (Avionics F30) を使用して得られた画像。一番左は静止画モードで撮影された通常の画像で、二番目以降は熱画像。画面いっぱいの横幅の容器があり、左下隅にヒーターが仕込まれている。熱画像では、上部から温められる様子が良くわかる。

あるので、4分の1の児童が教科書の図を(誤って)ただ暗記しているということがわかった。一方正解の①はどれだけいるかというと、わずか15%に過ぎない。先に述べた試験管の実験結果が活かされていない。ある公立小学校(A小学校とする、調査数は53名)についても同様な調査を行ったのだが、正答はさらに少ない。金属の熱伝導と混同している③を選んだケースが附属小で23%もあり、目につく。これは、驚くべき結果でおよそ4分の1の児童が対流現象をまったく理解していないことを示す。A小学校ではその割合は3分の1を超えた。

概念調査の結果、児童たちは誤った概念理解をしている事がわかったのだが、その原因はどこにあるのだろうか。その答えを見つけるためにもう一度教科書を調べてみた。東京書籍²では前述のようにピーカー内におがくずやみそを入れてその動きを矢印で示している。注意して欲しいのは、その直前には図1にあるように金属棒や板を熱する図があり、やはり矢印が使われているのだが、その意味するところは熱の移動すなわち熱伝達である。一方対流ではというと、水や空気の場合でやはり矢印があるが、そこでは物質の移動を意味している。これでは同じ矢印を使っているから金属と同じく流体でも熱伝達がその矢印の軌跡に沿ってなされると思っても、

何ら不思議では無い。他社の教科書³⁻⁷も調べてみたが、同様に対流を矢印で表して、温まる様子については特に記述が無かった。これは明らかにミスリーディングであると言わざるを得ない。その後義務教育段階では中学校教科書で1ページほどの記述があるだけなので、小学校でのそのミスリーディングが日本人の中に誤概念をもたらし結果になっている。実は、図4には大人の代表として教師や大学生に対して行った調査結果も記述しているのだが、学生も教師も小学生と大差ない状況にあることがわかる。

4. 実験教材の検討—サーモグラフィーの利用

数年前に、実勢価格10万円という、それまでに比べて非常に安価なサーモグラフィーが発売され、業界に衝撃が走った。その製品は取り込み角の狭さも必ずしも十分な機能を持つとは言えなかったのだが、同時期に世に出たアビオニクス(旧NECアビオ)サーモショットF30/F20(F20の定価は20万円)はデジタルカメラタイプのサーモグラフィーで取り込み角が広く操作性に優れたものであった。温度範囲は $-20\sim 350^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T=0.2^{\circ}\text{C}$)、測定波長は $8-13\mu\text{m}$ 、8.5Frame/sec、2.7-inch LCD、 $160\times 120\text{pixel}$ のスペックを有する。

サーモグラフィは赤外光を観測する性質上、物質の表面温度を測定することは得意であり、鉄板の加熱したときの様子を撮影することができた。しかし水については、例えばガラス容器は赤外線が透過しないので実験用の器具を工夫する必要がある。

我々は、比較的赤外光の透過率の高いポリプロピレンのフィルムを用いて水を入れる薄型の容器を作り、その中にヒーターを沈めて実験装置を作った。装置と実験の結果を図5に示す。最も左側が静止画であり、左から2枚目から4枚目までが熱画像で、右へ行くに従い温まっている。装置の左下隅にヒーターがあり、その部分が先ず熱せられ温められた水は上昇する。熱画像ではまっすぐ上昇するラインに沿ってにまず熱せられているのがわかる。その後温められた水は比重の関係で下降するが、熱画像で見ると、当たり前であるが上方が先ず温まり、その範囲が上方から下方へ層状に広がる様子がよく観察される。当然のことであるが、このとき水は対流による循環運動をしている。これにより、サーモグラフィを用いると物質の運動と熱の移動を明確に区別することができることが示された。

5. おわりに

おわりにあたり、ここで強調しておかねばならないことがある。一つには安価になったサーモグラフィの利用によりリアルな熱現象を見せることが可能となったということである。機器の仕様上ごく容易にAV機器に接続することが可能で、よってリアルタイムに現象を示す事ができるのは、意義深いことと考えられる。また、デジタルカメラ的な使い方もできるので、屋外での使用などまだまだ工夫次第で大きな可能性を秘めていると言え

よう。

もう一つ強調したいことがある。それは、誤概念の再生産についてである。ある年代以上の読者の方は、いわゆる五右衛門風呂をよくご存知のことであろう。その風呂の常識では、上部だけが熱いけど下は冷えている、良くかき混ぜなければならない、ということをおぼろげに生活の知恵として有していた。ところが最近の風呂はどうかというと、ボタン一つでほどよい湯加減のお風呂が自動で沸かす事ができる。生活様式の変化のためだから善し悪しの評価はしないが、少なくともこの単元を教えている教師からも五右衛門風呂の常識は失われつつある。物質移動の対流と熱伝達との関係を正しく学ぶ機会には他にあるかと調べてみたが、物理学と化学および気象学の大学院レベル以外には見当たらなかった。これは何を意味するかというと、今や小学校でのこの分野での到達のレベルが日本人の対流と熱伝達の知識レベルを決めているということである。気体の問題には触れなかったが、実は空調機器にサーキュレーターをあわせて使うと良いと言われる意味が理解できていない、という事でもある。この点は国際的にも同様な問題提起をしており⁸、海外の共同者とも協力して追求していかなければならないと考える。

教材化の流れの中で、対流現象の理解のため学校での実践やサーモインクなどの利用をあわせて行う方法など、いくつかの試みをしているのだが、それらの詳細については本稿の範囲を超えるのでまたの機会に譲りたい。

謝辞

本研究は、香川大学教育学部の平成24年度学部教員と附属学校園教員による共同研究プロジェクトによりサポートを受けた。本稿

はその研究報告を兼ねている。また、著者のうちの高橋は、対流の研究で科学研究費補助金（基盤研究（B）25282041）を受けており、森は、香川大学松楠会の補助を受けた。この場を借りて謝意を表する。

文献

- 1) 小学校学習指導要領解説—理科編—, 文部科学省 (2008)
- 2) 新しい理科4年, および同指導書, 東京書籍 (2011)
- 3) 楽しい理科4年-2, 大日本図書 (2011)
- 4) みんなと学ぶ小学校理科4年, 学校図書 (2011)
- 5) わくわく理科4年, 啓林館 (2011)
- 6) 新編 楽しい理科4年, 信濃教育会出版部 (2011)
- 7) 地球となかよし小学理科4年, 教育出版 (2011)
- 8) N. Takahashi *et al.*, International Conference on Physics Education ICPE-EPEC 2013 in Prague, pp.238-239.