

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 27 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25282041

研究課題名(和文) 対流と熱の伝わり方の混同による誤概念の考察とその克服のための理科実験教材開発

研究課題名(英文) A Study of the misconception due to confusion of convection and heat transfer, and the development of teaching materials for its overcoming.

研究代表者

高橋 尚志 (TAKAHASHI, NAOSHI)

香川大学・教育学部・教授

研究者番号：80325307

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 8,700,000円

研究成果の概要(和文)：ものの温まり方の学習教材に、最近安価になり導入しやすくなったサーモグラフィーを利用しようという試みを行った。サーモグラフィー特有の性質のため、実験教材には独自の工夫を加える必要があったものの、物質の動き(水の熱対流)とあたためり方そのもの(熱の伝達)が異なった振る舞いをする事を見せる教材を作り、有効性を確かめたところわずか1割という低い定着率が9割に劇的に増大した。

研究成果の概要(英文)：The basic concept of the heat transfers and convection is learned at the fourth grade in Elementary school in Japan. As a support teaching material for the subject, we tried to use a conventional thermography which has become cheaper in price recently. Thermography for specific properties, although the experimental teaching materials was necessary to add your own ideas, we show that the behavior (transfer of heat) was different from the movement of material and warms the way itself (thermal convection of water). The effect of the teaching material was proved by a concept test six and eighteen months after the class lab. Only 10% of children could choose the correct answer at first, resulted in to 90% by using the teaching material.

研究分野：物理学 物理教育

キーワード：対流 熱 サーモグラフィー 誤概念

1. 研究開始当初の背景

(1) ものの温まり方の学習に関しては学習指導要領により規定されており、小学校4年次にまず金属の温まり方と水や空気の温まり方を、初等的な熱力学的概念とともに学ぶ。子ども達にとっては目に見えない現象を扱い出す時期で、特に金属の熱伝導、水・空気の対流をわかりやすくモデル等を使って視覚化する努力が小学校現場で多くなされてきている。こうした中我々のグループは、従来に比べて非常に安価となったサーモグラフィ(日本アビオニクス F シリーズ)の教育現場への導入を着想するに至った。

(2) 一方、大学内の競争的資金を得て行った研究では、ごく簡単な熱の伝わり方の調査を行ったのだが、その結果、熱伝導は多く正しく答えているものの、対流により熱の伝わる水や空気の温まり方が、まったくといって良いほど理解されていないことに気付いた。金属の熱伝導との混同とも併せて実に8割の子どもが誤って答えており、どこから温まっていくのかとということについてはまったくといって良いほど理解していない。驚いた我々は、そこで少数ではあるが、他の学校、大学生、教師など大人などにも同様の問を行い、インタビューもした。結果は驚くべきもので、現場教師も含めて正解を答えるものはごく少数に限られたのだ。ここで、我々は流体の温まり方に対する誤概念が存在すること、そしてそれがどの年代でも見られる事を見出した。

2. 研究の目的

(1) ものの温まり方に関して調べ始めると、背景で触れたようなさまざまな課題が存在することがわかった。まず、サーモグラフィの導入を目指す課題についてであるが、学校教材として要求されるのは、簡便性とその価格である。カメラはもとより、実験の材料をより取扱いの容易かつ安価なものに改良を重ねる必要がある。そのためにも、利便性の点検を附属小学校の教諭らの協力を得て進める。その上で、実物貸与のみならず、学校現場で教師自らが作製できるようにまでブラッシュアップしたい。また、カメラの性能と使用方法については、業者と情報交換する環境ができていたので、さらに映像教材として開発していくことなどを、第1の目的とした。尚、この教材開発の中には、対流モデルの計算との比較検討が含まれ、実験教材としての有効性を高めることも含まれた。

(2) 次に、誤概念の存在がどの程度の広がりを持つのか明らかにするため、適切なアンケートを検討しそれを用いて広範囲での調査を行うことを目指した。また、どこにその原因があり、学校教育のどの段階で修正がなされるか否かを、小学校をはじめ各種教科書などを比較検討し明らかにすることも並行し

て進めることを目的の中にも含めた。予備的な調査の結果は、どうやら日本全体の問題であることがわかりつつあるが、これを明らかにすることが肝要である。また、年代による違いも社会生活様式の変化との関連で興味深いところであるが、これもあわせて調べる。そして、これも驚いたのだが、国際会議で少し話題にしたところ、やはり対流=温まる順番と認識している傾向が研究者の中にもあり、興味を持ってもらい協力も約していただいたインドや他の国々の協力者らと連携を取りながら海外の様子も明らかにすること、これら誤概念の範囲と深度を明らかにすることをもう一つの目的とした。

3. 研究の方法

(1) 加熱したときの様子の直接的な観察は、サーモグラフィが決定的な役割を果たすが、しかし、赤外線測定する装置のため独自の困難さが存在する。二つのルートからこの課題に取り組んだ。一つは、材料からのアプローチである。ポリプロピレン等の赤外線透過率の高い材料を探すこと、対流を同時に観察できる材料を見つけること、それらの材料を駆使して実験装置を作ることなどが含まれる。さまざまな材料を使用し、実験教材として追求する。また、もう一つが、見せる教材のうち映像教材としての追求である。授業時間的な問題や教室や施設上の問題から必ずしもすべてのケースで実際に実験ができるとは限らない。そのため、映像教材も視野に入れねばならない。動画として撮影保存するには、熱動画の撮影可能なカメラが必要でかつ熱画像・映像編集ソフトを駆使した作業が加わる。改良した実験教材を附属小学校での授業に積極的に取り入れて、その効果を確かめた。

(2) 広範囲にわたり、ものの温まり方に関する概念調査を行う課題について取り組んだ。まずその質問項目調査内容を精選し、次に学会などで協力を依頼した研究者や教師を中心に全国的に調査書を送り、結果を送り返してもらった。それらをまとめることで、地域性や年代による違いの有無を確かめ、どの程度広範囲に誤概念が存在するのか明らかにする。これは、学生アルバイトも活用しながら、分担者大浦が主に担当する。また、海外の様子については、まず協力依頼をしているインドの研究者(ジョリー博士、ASPEN: アジア物理教育ネットワークの元責任者)を手始めに、同ネットワークの研究者・教師に協力をお願いし、日本と同様の調査書を送り現状を明らかにしたい。特に海外の研究者について言えば、実は国際会議の際に発表会場で試みに質問してみたところ、誰一人として正しく温まり方を答えることができなかった。

(3) もう一つの課題教科書の内容について精査した。矢印で熱の動きを示している金属

棒の例のすぐ下に水の例が配置されているなどの誤解を生みやすい箇所の洗い出しを行った。

4. 研究成果

(1) 教科書の記述について

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」となっている。つまり、ここで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、2013年段階で香川県下において使用されていた東京書籍の教科書を例に具体的な記述を見る。まず金属における熱伝導であるが、表面にろう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、ろう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、概ね同様な記述となっている。

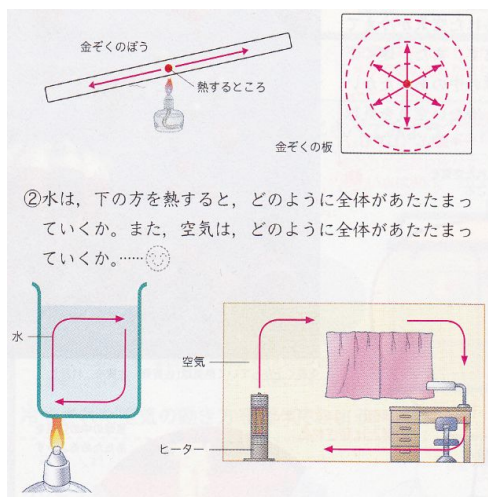


図1 東京書籍版教科書指導書(H25)での熱伝導と対流の説明。

ところが、対流の記述に目を転ざると(図1)前述のようにビ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が、注意すべきは、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る。ここでは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。対流ではというと、水や空気のケース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子ども達が思っても、何ら不思議では無い。他社の教科書も調

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す結果になっている。(2016年現在、これらの問題については一定改善がなされている。喜ばしいことである。)

(2) サーモグラフィーの活用について

2010年代に入って、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-20~350°C($\Delta T=0.2^\circ\text{C}$)、測定波長は8-13 μm 、8.5Frame/sec、2.7-inch LCD、160x120pixelのスペックを有する。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が透過しないので実験用の器具を工夫する必要があった。我々は、比較的赤外光の透過率の高いポリプロピレンの薄いフィルムを用いて水を入れる容器を作り、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2に示す。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沿って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

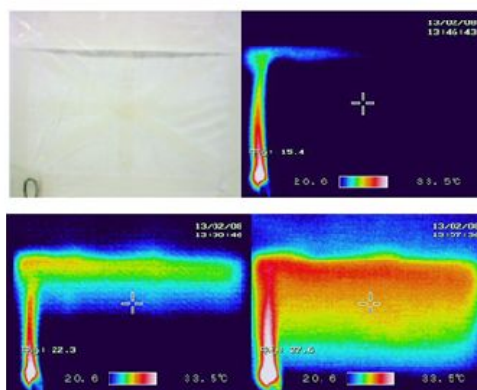


図2 サーモグラフィー(Avionics F30)を使用して得られた画像。左上は静止画モードで撮影された通常の画像で、右上から左下および右下にかけて熱画像。上部から温められる様子が良くわかる。

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、サーモグラフィー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が示された。

(3) 概念調査について

子ども達が対流という物質の移動と熱の伝達そのものを混同し、誤解していることが明らかになった。つまり、何かしら回転運動のイメージに引きずられて、ピーカーや試験管を下部より加熱する小学校の理科実験において、中ほどの部分が最後に温まるという認識を持つことがわかった。昔ながらの方法で風呂を沸かしたりした場合、風呂の湯が上部から順に温まるということが理解できていない(知らない)ということがわかった。その原因には、生活様式の変化もあるが、教科書にもその記述において難点があることは上述の通りである。子ども達の誤概念がどの程度深くて広いのかを広範囲(香川県下の全小学5・6年生の10%に相当する公立校)に調べた結果、何かしらの回転運動のイメージに引きずられる割合()が50%に上った。

一方、我々を最も驚かせたのは、 を選ぶ者が28.4%もいることだが、その経年変化である。大規模調査でありサンプル数も1000を超えているので、個々の学校のあるいは教員による違いはならされてしまっていることを考えると、突発的な事情での変化では無い。学習後半年経た5年生では10.8%、更に1年と半年経過した6年生では44.5%の児童が、すなわち金属での熱伝導と混同してしまっており、対流のことをまったく理解していない。5年生の段階ではまだ比較的覚えていた

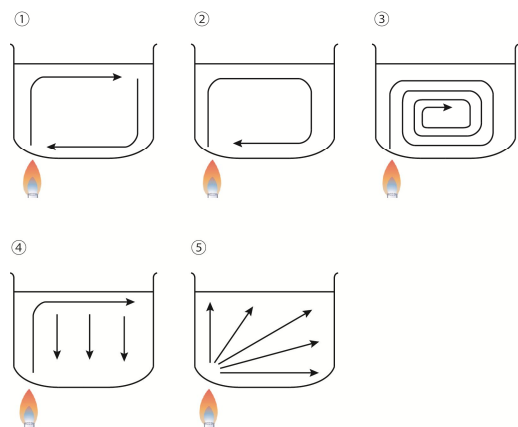


図3 典型的な回答例。回転のモデルが50%程度あった。 は金属との混同。

表1 水の温まる様子の回答率(%)

5年	17.0	48.3	3.1	8.1	10.8
6年	3.9	21.9	5.4	2.2	44.5
合計	10.2	34.6	4.3	5.0	28.4

のに、1年たつともうすっかり忘れてしまいと答えている、そういう結果である。これは、そもそも最初学習した段階でパターン認識していたりして詰め込んで記憶したために、見事に忘却曲線に乗って記憶から消えていったことを意味するのではないかと考えられる。

一般的に学習の定着度がこれほど急速に落ちていくことは、最早本当に定着していたか否かを議論する必要があるのでは無いかと考えられる。密度的な考え方は、小学校3年次にももの重さの比較の部分で学習するものの、密度計算や浮力などは中学校で学習するという考えれば、小学校4年次で対流を学ぶのはまだ早く、無理があるのかも知れないと指摘しておく。

最後にサーモグラフィー及び示温インクの

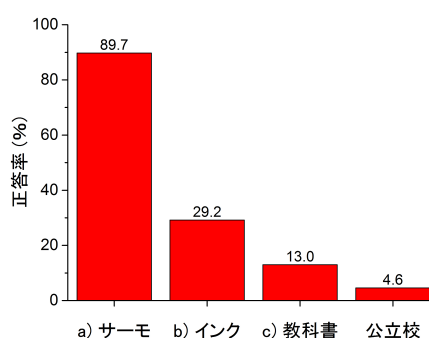


図5 附属坂出小学校での結果。a) はサーモグラフィーと示温インクを使い授業を行ったクラスでの正答率、b) はインクのみ、c) は教科書にある教材のみ、それに公立校の結果をあわせて示した。

利用により正解率がどの程度向上するかを附属小学校で調査した。公立校との比較をするために教科書だけで学習した対照群と公立校を並べてあるが、附属校においても正答率は10%を超える程度である。示温インクを利用する場合には3割程度の定着になり、サーモグラフィーを利用した場合には、9割の定着度となっている。サーモグラフィーを併用する授業の優位性は明らかである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計2件)

Naoshi Takahashi; Katsumasa Yokokawa; Masazumi Mori; Found Misunderstanding of Convection and Effective Experiment to Solve by Thermal Camera, , The International Conference on Physics Education, Conference Proceedings, 1058-1064, 2014

高橋尚志; 横川勝正; 樽本導和; 二神朋人; 森真佐純: ものの温まり方に関する

誤概念の調査と教材開発, 香川大学教育学部研究報告第 II 部 64, No.1 (2014) 39-44.

〔学会発表〕(計 9 件)

Naoshi Takahashi, Natue Oki and Masazumi Mori, Modified Teaching Materials Tells the Difference between the Heat Transfer and the Convection. International Conference on Physics Education ICPE 2015, 11th August 2015, Beijing (China).

高橋尚志, 大浦みゆき, 青木高明, 寺尾徹, 森真佐純, 学校での対流の学習は機能していない, 日本物理学会第 70 回年次大会, 2015 年 3 月 21 日, 早稲田大学(東京).

高橋尚志, 藤目祐太郎, 大浦みゆき, 青木高明, 寺尾徹, 対流と熱伝達の誤概念に関する考察, 第 75 回応用物理学会秋季学術講演会, 2014 年 9 月 15 日, 北海道大学(北海道).

Naoshi Takahashi, Miyuki Ohura, Takaaki Aoki, Toru Terao and Masazumi Mori, Misconception of Convection and Heat Transfer - Why do children mixed up convection and heat transfer?, The 5th Joint Symposium between Chiang Mai University and Kagawa University, Chiang Mai University 2014, 10th Sep. 2014, Chiang Mai (Thailand).

Naoshi Takahashi, Toru Terao, Takaaki Aoki, Miyuki Ohura, Katsumasa Yokokawa, Masazumi Mori Why do children mixed up convection and heat transfer?, International Conference on Physics Education ICPE 2014, 20th Aug. 2014, Cordoba (Argentina).

Masazumi Mori, Toru Terao, Takaaki Aoki, Miyuki Ohura, Katsumasa Yokokawa, Naoshi Takahashi, Thermo Ink helps the understanding of the convection: Comparison between the Thermo Ink and Thermography as teaching materials. International Conference on Physics Education ICPE 2014, 19th Aug. 2014, Cordoba (Argentina).

高橋尚志, 大浦みゆき, 森真佐純, ものの温まり方に関する誤解の深みと広がり, 日本物理学会 2013 年秋期大会, 2013 年 9 月 27 日, 徳島大学(徳島).

Naoshi Takahashi and Masazumi Mori, Found Misunderstanding of Convection and Effective Experiment to Solve by Thermal Camera, ICPE 2013 The International Conference on Physics Education, 6th Aug. 2013, Prague (Czech Republic).

Naoshi Takahashi, Katsumasa Yokokawa and Masazumi Mori, Low price model

thermography brings a solution to a misconception between Convection and Conduction of water, APPC12 The 12th Asia Pacific Physics Conference of AAPPS, ASEPS3 The third Asia-Europe Physics Summit, 15th July, 2013, Makuhari (Japan).

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
国内外の別:

取得状況(計 0 件)

名称:
発明者:
権利者:
種類:
番号:
出願年月日:
取得年月日:
国内外の別:

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 尚志 (TAKAHASHI, Naoshi)
香川大学・教育学部・教授
研究者番号: 80325307

(2) 研究分担者

寺尾 徹 (TERAO, Toru)
香川大学・教育学部・教授
研究者番号: 30303910

青木 高明 (AOKI, Takaaki)
香川大学・教育学部・准教授
研究者番号: 30553284

大浦 みゆき (OHURA, Miyuki)
香川大学・教育学部・教務職員
研究者番号: 70346625

(3) 連携研究者

()

研究者番号: