

令和 2 年 6 月 16 日現在

機関番号：16201

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K00977

研究課題名(和文)対流可視化教材とワイヤレスセンサー利用のアクティブラーニング授業プログラムの開発

研究課題名(英文)Development of an active learning program using convection visualization materials and wireless sensors

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) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：サーモグラフィーを利用した教材とその利用法について研究を進め、特に、大学レベルおよび高等学校レベルでのアクティブラーニングの手法との組み合わせをICT利用の熱力学分野の教育実践として提案した。教室や実験室で授業中に演示および個別実験に使われる実験機器のICT化およびワイヤレス化について、それらを用いた授業を構築した。また、ワイヤレス化で配線の取り回しを気にすること無く信号の届く範囲では自由に移動して実験をする事ができることから、横方向(別室での実験のモニターなど)や、縦方向(2階と1階に分かれて運動の様子の観察など)に授業展開の自由度を広げることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

サーモグラフィーを利用した教材とその利用法について研究を通じ、大学レベルおよび高等学校レベルでのアクティブラーニングの手法との組み合わせた実践を提案した。教室や実験室で授業中に演示および個別実験に使われる実験機器のICT化およびワイヤレス化については、他分野においても汎用性のある提案となっており、意義深いと信じる。また、その場で確認することのできるアクティブラーニングがより応用範囲が広がることにより、米国で始まった学問分野に基盤を置く教育研究(DBER: Discipline Based Education Research)の国内展開に可能性をもたらすものである。

研究成果の概要(英文)：We advanced the research on the teaching material using thermography and its usage, and especially proposed the combination with the method of active learning at the university level and the high school level as the educational practice in the field of thermodynamics using ICT. We constructed a lesson using ICT and wireless of experimental equipment used for presentations and individual experiments in classrooms and laboratories. In addition, wireless technology allows you to freely move and perform experiments within the reach of signals without having to worry about wiring arrangements. Therefore, you can experiment horizontally (monitoring experiments in a separate room) or vertically (second floor I was able to expand the degree of freedom of class development by dividing into the first floor and observing the state of exercise).

研究分野：物理教育

キーワード：アクティブラーニング サーモグラフィー FCI ICT

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 本研究を行う前に、ものの温まり方の学習に関係して、対流と熱の伝わり方の誤概念とその解決のための研究を行った。(基盤研究(B)2013-2015)そこで得られた主な研究成果は、1)液体と気体の熱対流において、物質の移動と熱の伝達を混同する誤解が根深くあり、その原因には2)小学校4年次で学ぶ「ものの温まり方」での学習内容と教科書の記述に問題があること、そしてその解決には3)可視化したサーモグラフィーなど実験観察教材が有効であること、である。

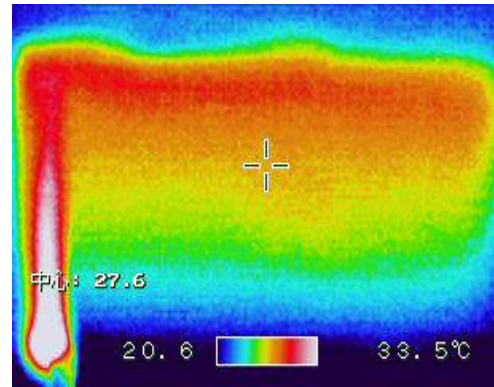


図1 サーモグラフィー (Avionics F30) を使用して得られた熱画像。容器内の水が上部では熱せられているのに対して下部はまだ温まっていない。

(2) 少し具体的に述べよう。液体と言っても、小学校では水を使うため、水の温まり方と言い換えても良い。かつては、例えば「五右衛門風呂」などがごく身近に存在したために、風呂釜の下方から加熱していくと、湯船の上方から熱せられていくことを経験的に人々は生活上の常識として持っていた。

しかしながら、生活様式の変容により、現代の一般家庭での風呂は、ボタン一つで均一な適温のお湯はりができてそれを知らせてくれる。子ども達は、お手伝いと言ってもボタンを一つ押すだけ、そしてそれは若年の教師らも同様で、子どもを含めて彼らは、イメージとして温められた水のかたまりが回転運動し、最後に回転中心に至りそこが最後に温まる、と考えていることがわかった。物質と熱伝達が混同されているのがわかった。そして、比重も学ばないままに小学校の4年次という早い段階で対流の学習をし、現象を記憶するだけで済ませ本質的な理解に至っていないため、ごく短時間でその記憶が失われていくことも明らかになった。なお、教科書等にも記述上の問題が散見され、矢印を使ってある局面では物質移動を、別の説明箇所では熱の移動を、と混同を助長していたことも研究の過程で明らかになった。ちなみに、熱対流については中学校理科で希少の単元で小4での既習事項として扱いつつ気象の変化の原因であることを取り扱っているが、対流そのものは義務教育ではおろか高校でも分子運動論以外ではほとんど扱わない。よって、日本人の対流の知識は、小学校4年次での学習の定着力で規定されてしまう、ということである。そこで提案したのは、サーモグラフィーなどの可視化した教材であり、学修効果でわずか1割程度であった定着度を8割程度まで押し上げるという格段の効果があることを示した。

### 2. 研究の目的

(1) 背景で触れたように、効果の大きい新たな教材を広く導入することは意味があるのは間違いない。一方、例えばサーモグラフィーといった機器は価格的にも操作上もまだ必ずしも広く利用されるものとはなり得ておらず、教材化への課題はまだ残されたままであった。ここで、価格については業者の一層の努力に期待しつつも、価格低下の動きは着実に進んでおり、使い勝手の上でより広く、例えば各教室で使えるように使用法を工夫することが力を注ぐ点であった。その中には、機器そのものの数が少なくても、示温インク(サーモインク)などの他の教材とあわせて使うことのできるビデオ教材の開発も求められるところであった。よって、研究の第1の目的には、サーモグラフィーを用いた対流の実験教材の開発と授業での使用法の研究開発であった。

(2) もう一つ、先に述べた可視化教材については、米国や我が国で取り組み始められている物理教育研究の成果から、アクティブラーニングの有力な材料となることが期待された。つまり、その場で課題が出され予想し議論し、その場で直に検証しさらに議論するプロセスには有効である。先の研究で明らかになったように、小学校4年次以降はまとまった形で対流を学べていないので、例えば中学校の気象分野で、あるいは、高等学校の分子運動の分野での学習に含めるべき教材として提案できる可能性があるということである。ただし、熱を扱うために、USBケーブルなどが装置まわりにあることは弱点になる。研究着手時には遠くない将来にワイヤレス化する装置が提案されていたため、ワイヤレス機器を用いたアクティブラーニング装置を構成し授業提案することも目的の第2とした。

### 3. 研究の方法

(1) 研究方法は、第1に新たな教材になるサーモグラフィーとワイヤレス機器を入手し実験教材の開発を行いつつ、ワイヤーのある機器で取り組みを進めているアクティブラーニング用のプログラムを、ワイヤレス機器にリプレースしていき、PC上のプログラムやタブレット端末を

利用できるように改変することを目指した。

(2) アクティブラーニングについては、後期中等教育および大学初年次教育あたりでの取り組みが進んでおり、特にその分野での研究開発と交流を行った。国際的にリーディングパーソンである研究者との交流も行いながら、国際ワークショップを結節の場とすることにした。

(3) 小学校の教科書が改訂されるのを機に、旧版の教科書の問題点を明らかにし改善のための提言を行いつつ、新教科書の分析も行う事とした。

#### 4. 研究成果

(1) サーモグラフィーについては、かつて国内で安価なものをリリースして業界を牽引したメーカーが安価路線から撤退をし、別のメーカーがこの分野で積極的な開発と市場への投入を図った。その結果、研究期間の2年目には定価ベースでも10万円を切る機器が出回ることとなり、いよいよ小学校の理科室あるいは教室で利用できる目途がたってきた。早速その機種（FLIR C2/C3）を入手し、性能評価を行い実用に供した。時間分解能が価格とのトレードオフの結果多少犠牲になっているため、速い変化には追従できないケースがあるものの、ゆっくり変化する液体の対流現象は十分観測できている。なお、このメーカーはスマートフォンに取り付けるタイプの製品（FLIR ONE、実勢価格5万円）もリリースしており、可能性はさらに高まっていると言えよう。

(2) アクティブラーニングへの試みについては、製品リリースの遅れがあったためやや出遅れたものの、ワイヤードからワイヤレスへの転換を図ることができた。我々の研究グループでは、パスコ社の製品群でアクティブラーニングのためのプログラムを組んでいたため、力学台車を同社のワイヤレス装置であるスマートカートに変更していった。同製品は、台車の車輪がエンコーダーになっており、車輪の回転が移動距離（位置変化）に換算される。他にも3次元加速度センサーを内蔵するため3次元の加速度を直に測定できるし、力センサーを有するため作用反作用の実験や運動量と力積の関係を実験的に示す事ができる。そして、それらのデータがBluetooth通信でコンピューターやスマートフォン等に送受信できるので、離れた場所でワイヤーの取り回しを気にせず実験を行うことが可能である。このスマートカートを皮切りに種々のセンサーシステムをワイヤレス化しリリースされている。

これらの機器を活用しての利用法について研究を進め、特に大学レベルおよび高等学校レベルでのアクティブラーニングの手法との組み合わせをICT利用の熱力学分野の教育実践として提案した。教室や実験室で授業中に演示および個別実験に使われる実験機器のICT化およびワイヤレス化が課題の1つであった。この点では、市販のワイヤレス機器をグループ数分導入し、それらを用いた授業を構築し、その優位性を確かめた。また、ワイヤレスならではの良さ、つまり配線の取り回しを気にすること無く信号の届く範囲では自由に移動して実験をすることができることの良さが実感され、横方向（別室での実験のモニターなど）や、縦方向（2階と1階に分かれて運動の様子を観察など）に広げることができた。これは今後より自由度の高い実験の可能性を示す事となった。これらの成果は国際会議および国内学会および研修会などで発表・紹介した。また、アクティブラーニングの国際的なリーダーであるソコロフ教授を学会のワークショップに招へいし、アクティブラーニングの普及と情報交換を行った。これについても、学



図2 パスコ社製 wireless 力学台車 smart cart。

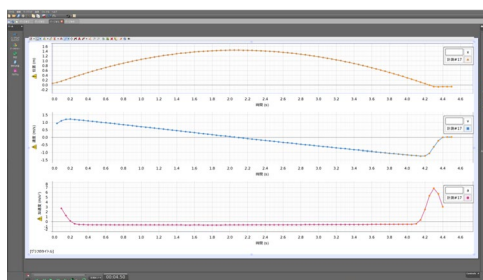


図3 smart cartでの測定例。スロープの下方から上方へsmart cartを初速度を付けて押し出し、坂を上り切ったところから下りさらに手元に戻る運動を、位置、速度、加速度を測定した様子。使用ソフトは、同社製 capstone。

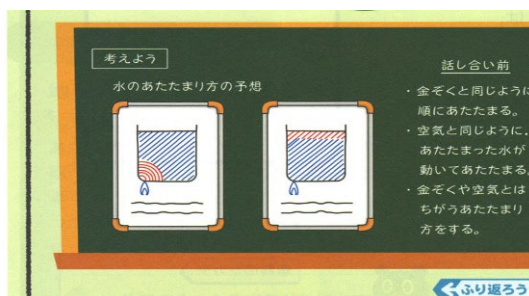


図4 新版小学校理科教科書「新しい理科4」（東京書籍）より。

会報告を兼ねた論文にまとめた。

(3) 新たな教科書が2020年度より使用されているが、新教科書において旧教科書にあった弱点とも言える箇所がどう変更されたか否か調べた。その結果、特に旧教科書の熱の分野の記述に見られた難点であった、回転矢印の記述・表現が紛らわしいものからわかりやすい物にする工夫が凝らされており、熱対流における熱の伝達と物体の移動がはっきり区別されるなど、改善が見られた。教科書の比較検討についても学会で報告した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 高木由美子、高橋尚志、大浦みゆき、他	4. 巻 36
2. 論文標題 ICTを活用したアクティブ・ラーニング教材開発	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 香川大学教育実践総合研究	6. 最初と最後の頁 47、54
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 高橋尚志	4. 巻 24
2. 論文標題 文系向け「自然科学基礎実験」の取り組み	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 大学の物理教育	6. 最初と最後の頁 14、18
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.11316/peu.24.1_14">https://doi.org/10.11316/peu.24.1_14</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 鶴町徳昭、高橋尚志、他	4. 巻 15
2. 論文標題 文系学生向け「自然科学基礎実験」の2017年度途中経過報告	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 香川大学教育研究	6. 最初と最後の頁 189、195
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 高橋尚志	4. 巻 66
2. 論文標題 第35回物理教育研究大会（香川）報告	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 物理教育	6. 最初と最後の頁 293、296
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） <a href="https://doi.org/10.20653/pesj.66.4_293">https://doi.org/10.20653/pesj.66.4_293</a>	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高橋尚志	4. 巻 67
2. 論文標題 大学における物理教育を取り巻く環境変化	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 物理教育	6. 最初と最後の頁 180、183
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) <a href="https://doi.org/10.20653/pesj.67.3_180">https://doi.org/10.20653/pesj.67.3_180</a>	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高木由美子、高橋尚志、大浦みゆき、他	4. 巻 2
2. 論文標題 ICTを活用したアクティブ・ラーニング - 附属学校における展開 -	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 香川大学教育学部研究報告	6. 最初と最後の頁 143、152
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計4件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 Naoshi Takahashi
2. 発表標題 A New Trial of Physics/Science Short Lab Class for Non-Science Courses Students in Kagawa University
3. 学会等名 International Conference on Physics Education 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kyoko Ishi, Naoshi Takahashi et al.
2. 発表標題 Simple and Beautiful Experiments XII
3. 学会等名 International Conference on Physics Education 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋尚志
2. 発表標題 機能不全の学校での対流の学習はどう変わるか
3. 学会等名 科教協四国支部
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高橋尚志
2. 発表標題 高等教育の課題
3. 学会等名 科教協四国支部
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担 者	大浦 みゆき  (Ohura Miyuki)  (70346625)	香川大学・教育学部・教務職員    (16201)	