

## 理 科

# エネルギー効率に着目した熱の伝わり方の教材と学習課題の開発

風 呂 和 志

## 1 はじめに

現行の学習指導要領では「粒子」・「エネルギー」・「生命」・「地球」の4つの概念を理科における学習の柱として位置づけている。これによって小・中・高等学校を通じた理科の内容の構造化がなされている。「エネルギー」は「エネルギーの見方」・「エネルギーの変換と保存」・「エネルギー資源の有効利用」の3つに細分化されている。これらの学習を行う意義はとても大きい。子どもたちを取り巻くエネルギー問題は年々深刻化しており、平成24年度の資源エネルギー庁の統計<sup>1)</sup>では、日本全国のエネルギー消費量は4,389PJ(ペタジュール, 1PJ=1千兆J)となった。これは原油換算で11,335万kLとなり、平成23年度の10.5%増加である。これに伴い、地球温暖化の原因とされる二酸化炭素の排出量も増加傾向である。持続可能な社会の実現のためにエネルギー問題は解決しなければならない。子どもたちがエネルギー概念を社会における課題の解決に活用することが求められているのである。

社会における課題解決に対して、特に活用すべきエネルギー概念の内容はエネルギーの変換と保存であろう。エネルギー資源の有効利用に対する興味・関心・意欲を高め、理解を深めていくためには、エネルギーの変換と保存という見方や考え方を身につけることが不可欠である。ところが、中学校のエネルギー領域ではエネルギーの変換効率を量的にとらえる学習内容が不十分である。中学校第3学年の「様々なエネルギーとその変換」でエネルギーを利用する際の効率も扱う。しかし、子どもたちが課題解決を通して学ぶような教材は

準備されていない<sup>2)</sup>。モーターや照明器具の使用に伴う温度上昇で熱エネルギーの発生を感覚的にとらえるのみである。エネルギー効率を量的にとらえ、エネルギーの有効利用の必要性を子どもたちに感じさせる教材や課題が必要である。

そこで、本研究は中学生がエネルギー効率を量的にとらえられるとともに、エネルギーの有効利用の実践力を高めるための教材や学習課題を開発し、実践することをねらいとした。

## 2 研究の目的

本研究の目的は次にあげる3点である。

- ・中学生がエネルギー効率を量的にとらえることができる教材の開発
- ・エネルギーの有効利用の実践力を高めるための学習課題の開発
- ・開発した教材や学習課題を取り入れた指導効果の検証

## 3 研究の方法

### (1) 教材開発の視点

現行の学習指導要領の中では、エネルギー効率を量的にとらえることができる教材は示されていない。エネルギー効率を量的にとらえるためには、はじめに存在するエネルギー量と利用されたエネルギー量をそれぞれはかることができなければならない。エネルギー量の測定として現行の学習指導要領では仕事の量を取り上げている。力学的エネルギーに関する測定は比較的容易である。しかし、エネルギー効率を高める工夫は摩擦力の軽減

など限られたものになる。効率を高めるために生徒が行う工夫の余地が少なく、エネルギーの有効利用の実践力を高める学習課題の作成につながらないと考えた。

そこで注目したのは熱の移動にともなう水の温度変化である。熱はエネルギーの1つの形態であり、実社会・実生活において私たちと深いつながりがある。熱の移動は物体の温度変化の原因であり、温度変化は温度計を用いて容易に測定できる。熱量の単位も仕事の量の単位もジュールであり、測定した熱量を利用できたエネルギー量としてとらえることができる。また、単位質量あたりの発熱量がわかっている燃料を用いることで、燃焼前後の質量変化から使用したエネルギー量を求めることができる。

上記のような熱量計算や燃焼熱の計算は中学校の学習指導要領では扱われていない。これらの計算が測定値を代入するだけでできるように簡便化すれば、中学生でもエネルギー効率を量的にとらえることができると考えた。

## (2) 開発した教材

扱いが容易で、燃焼前後の質量を測定できる燃料として市販のアルコール固形燃料を用いた。アルコール固形燃料は、メタノールに酢酸カルシウムの飽和水溶液を加えて作成する。メタノールの燃焼熱では酢酸カルシウムは燃焼しない。燃焼前後の質量の差は燃焼したメタノールの質量と考えられる。メタノールの燃焼熱は1モル当たり726kJ、メタノール1モルは32gである。中学生が理解しやすいようにメタノールがもつエネルギー量を1g当たり22.7kJとした<sup>3)</sup>。

水の温度変化の測定から水に吸収された熱量を計算で求めることができる。熱量の単位としてカロリーがあり、日常生活の中では食べ物の熱量としてよく用いられている。そこで、水の温度を1℃変化するための熱量が1calであることを理解させ、熱の仕事当量4.2J/calを乗ずることで利用できたエネルギー量とした。

開発した教材は図1に示すような実験装置である。アルコール固形燃料を小型の蒸発皿に入れ、

アルコールランプ用の小型の三脚の上に金網と水300gを入れたビーカーを載せたものである。この実験装置を用いて行った予備実験の結果は表1の通りである。

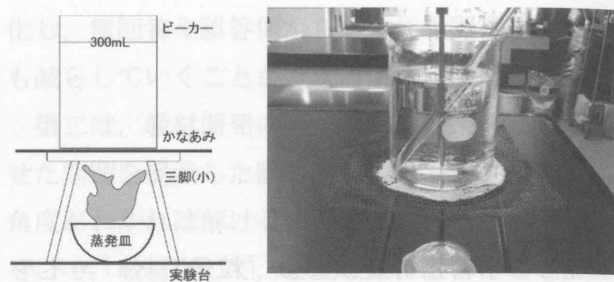


図1 開発した教材の模式図と実際の様子

表1 予備実験の結果

燃焼によって生じた熱量(kJ)	水に吸収された熱量(J)	エネルギー効率
505.9	55.7	11.0%

エネルギー効率は11.0%となった。市販のガスコンロの効率が50~57%である<sup>4)</sup>ことを考えると非常に低い値である。水の質量は計算しやすく、かつ容易に沸騰しない量を実験で求め、300gとした。エネルギー効率が低い装置であるため、効率を高めるための工夫を施すことができると考えた。

## (3) 生徒の実践力を引き出すための準備物

生徒が実験装置に工夫を加える箇所を水の容器と燃焼部分であることを予想し、次のようなものを準備した。水を入れる容器として、ビーカーの他に、アルミ鍋やキャンプ用のアルミ皿(図2)の他に蓋付きの土鍋を5組用意した。

### 使える材料・器具



図2 生徒に示した水を入れる容器の一部

燃焼部分には、固形燃料の台になるものや風よけの材料(図3)を用意した。特に、風よけとしてお茶の入った 350mL のアルミ缶の上下を切り取って円筒にしたもの(図4)を用意した。

### 使える材料・器具(切り口注意)



図3 生徒に示した材料の一部

### 使える材料・器具(切り口注意)



図4 アルミ缶の上下を切断した材料

用意したものはペアの数に対して少し少なくなるようにし、手に入る材料で工夫することにした。なお、切り口が鋭くなっているため切り傷に注意するよう、準備物の説明とともに指導した(図3, 4)。

### (4) 学習課題のねらいと指導観

開発した教材を使った学習課題は、「アルコール固形燃料の燃焼で生じた熱を効率よく伝え、水を沸騰させる工夫を実験装置に加える。」とした<sup>5)</sup>。学習課題のねらいは2つある。1つ目は熱の移動を水温の変化を測定することで量的にとらえることができるようになることである。2つ目は実験装置に自分たちが考えた工夫を自由に加えることで、エネルギーの有効利用に対する意欲を高めることである。熱を効率よく伝えたという判断基準は2つ設定した。「水を沸騰させた。」と「事前に行った実験の熱効率の値よりも高い値を得

た。」である。

ねらいを達成するための指導方法を検討するために対象とする生徒の実態をアンケート調査した(2014年4月実施)。その結果、理科が好きな生徒と嫌いな生徒の人数比がおよそ2:1であった。理科が好きだと回答した生徒は自分の考えを発表できる授業ではやる気が出る傾向にあり、意欲的に授業に臨んでいた。一方、嫌いだと回答した生徒は一斉授業で発表が多い授業や班活動(4人1組)がある授業ではやる気が出ず、消極的になる傾向があった。自分の考えが出せるとともにその考えを実現することができる学習形態にすることで生徒の意欲や実践力を高めることができると考えた。そこで、男女のペアで課題解決を行うこととした。ペアは男女2名ずつの学習班の前後の男女を組み合わせとした。

### (5) 学習指導計画

表2に示す学習指導計画を作成した<sup>6)</sup>。学習課題の解決は5時間目から7時間目に行った。熱の伝わり方の学習指導は通常1時間である。本研究では、学習課題の解決のために熱量計算が必要になる。熱量はカロリー単位で求めた値をジュール単位に換算することができるようにするため実験や計算演習を指導計画に取り入れた。

表2 学習指導計画

時	学習内容	評価基準	評価基準(十分満足できる)
1	熱の伝わり方	熱が伝わるときのきまりと熱の伝わり方を理解する。	なべやかんに入れた水をコンロなどの火でお湯にすることを熱伝導、対流、熱放射の3つの熱の伝わり方を用いて説明することができる。
2	熱の伝わり方と粒子モデル	物質の粒子の運動に注目して熱の伝わり方をモデルで表す。	熱伝導、対流、熱放射の3つの熱の伝わり方を物質の粒子の運動の様子の変化で表すことができる。
3	温度変化と熱量(その1)	熱の移動を調べるための知識を理解する。	熱の移動に伴う温度変化を理解し、温度変化から移動した熱量を求めることができる。
4	温度変化と熱量(その2)	温度変化を調べる実験を正しく行い、移動した熱量を求める。	水とお湯の水温を測定し、移動した熱量を求め、温度が等しくなった場合、熱の移動が起きないことを見出すことができる。
5	熱を効率よく伝えるためには(その1)	熱効率を求めるとともに、熱を効率よく伝えるための工夫を考える。	熱効率から熱の伝わり方の問題点を見つけ、効率を高める工夫を図で表すことができる。
6	熱を効率よく伝えるためには(その2)	熱効率を高める工夫を実験装置に付け加える。	実験装置に付け加えた工夫を熱の伝わり方に基づいて説明することができる。
7	熱を効率よく伝えるためには(その3)	工夫を付け加えた装置を使った実験を行い、学習課題を解決する。	実験結果から熱効率を求め、課題解決の方法を説明することができる。

## (6) 学習効果についての仮説と検証方法

考案した学習指導計画を実施し、学習課題の解決を行うことで次のような学習効果があると予想した。

- ・熱の3つの伝わり方の特徴を踏まえ熱効率を高める工夫を行うことができる。
  - ・エネルギーの有効利用に関心を持ち、生活中に生かそうとする意欲が高まる。
- そして、これらのことを検証するために、次の調査を行った。
- ・提出されたワークシートを用いて事前事後の熱効率を比較し、熱効率を上げることができたペアの割合を調べる。
  - ・熱効率を高めるために行った工夫を熱の3つの伝わり方で分類し、その数や内容を調べる。
  - ・学習ポートフォリオの中から本研究について述べた生徒の記述の内容を調べる。

## 4 授業実践

### (1) 時期

2014年10月29日～11月16日で合計7時間の授業実践を行った。

### (2) 実践対象

広島大学附属三原中学校第3学年の2クラス、計82名の生徒を対象に実践を行った。

### (3) 対象単元

単元「科学技術と人間」の様々なエネルギーとその変換の中で授業実践を行った。

### (4) 授業の概要

表2の学習指導計画のうちの第5時～第7時について概要を示す。

#### ①第5時の概要

はじめに男女のペアで実験を行うことを示した。次にアルコール固形燃料を示し、その成分や用途について説明した。その後、実験手順(図5)や結果のまとめ方を説明し、開発した教材で300gの水を沸騰させるという課題を提示した。できるお湯の温度を予想させ、メタノールの燃焼によって得られる熱エネルギーを無駄にしている部分を考え

ることを指導した。実験後は質量や水温の測定結果から熱効率を求めさせ、熱効率を高める工夫をワークシートに記録させた。

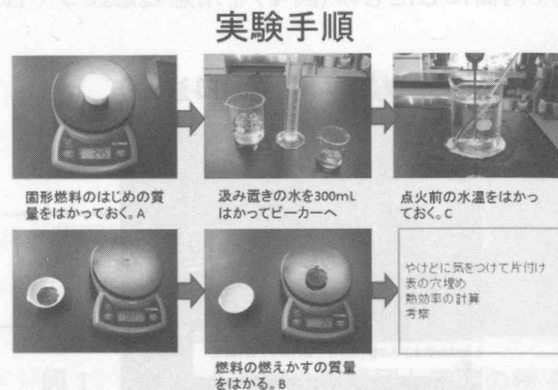


図5 生徒に示した実験手順

#### ②第6時

実験装置に付け加える工夫の案を図に書かせた後、使用できるものを提示した。安全指導後実験装置に工夫を付け加えていった。時間はおよそ40分であった。

#### ③第7時

目的を確認後、実験を開始した。熱効率の計算を行い、効率を高める工夫についての考察を行うため実験時間を25分とした。本時では水温上昇が速く、他のペアの実験のようすに関心を持ちながら、自分たちの実験に真剣に取り組んでいた。すべてのペアが25分間で実験を終え、燃焼効率の計算や効率を高める工夫についての考察を行うことができた。

## 5 結果と考察

### (1) 生徒実験における熱効率の比較

生徒実験における事前事後の熱効率の結果を表3に表す。装置に考えた工夫を加えることで熱効率を高めることができたペアの数は37で、全体の9割以上となった。このうち、熱効率を2倍以上高めることができたペアは26、水300gを沸騰させることができたペアは16であった。熱効率が下がった2組のペアは実験中容器に穴が開いたり、水があふれたりして、水が漏れて火が消えたため

であった。

以上の結果から、この学習課題に取り組むことで熱の3つの伝わり方を理解し、その特徴を踏まえて熱効率を高める工夫を行うことができていたと判断した。

表3 生徒実験の結果

番号	事前	事後	前後比較	備考
1-1-1	8.7%	22.1%	++	
1-1-2	10.7%	20.8%	++	沸騰
1-2-1	7.4%	16.4%	++	
1-2-2	10.0%	23.5%	++	沸騰
1-3-1	10.7%	13.6%	+	
1-3-2	10.2%	24.9%	++	沸騰
1-4-1	10.3%	24.7%	++	沸騰
1-4-2	8.2%	17.3%	++	
1-5-1	7.8%	19.3%	++	
1-5-2	9.5%	7.4%	-	
1-6-1	9.3%	21.0%	++	沸騰
1-6-2	10.5%	24.4%	++	
1-7-1	8.2%	20.3%	++	
1-7-2	10.3%	29.6%	++	沸騰
1-8-1	9.7%	22.3%	++	
1-8-2	9.2%	27.1%	++	沸騰
1-9-1	7.8%	13.0%	+	
1-9-2	7.9%	5.1%	-	
1-10-1	10.5%	10.6%	±	
1-10-2	9.8%	15.3%	+	
2-1-1	7.6%	29.7%	++	沸騰
2-1-2	8.6%	16.0%	+	
2-2-1	8.8%	25.0%	++	沸騰
2-2-2	9.8%	15.2%	+	
2-3-1	9.9%	13.0%	+	
2-3-2	10.6%	13.7%	+	
2-4-1	7.5%	15.4%	++	
2-4-2	10.3%	19.1%	+	
2-5-1	10.8%	12.6%	+	
2-5-2	10.7%	22.7%	++	沸騰
2-6-1	9.4%	20.0%	++	沸騰
2-6-2	8.3%	37.7%	++	
2-7-1	9.4%	29.7%	++	沸騰
2-7-2	10.6%	26.9%	++	沸騰
2-8-1	10.6%	37.1%	++	沸騰
2-8-2	9.2%	21.0%	++	
2-9-1	10.1%	15.3%	+	
2-9-2	8.9%	33.4%	++	沸騰
2-10-1	9.8%	16.3%	+	
2-10-2	8.9%	18.2%	++	

前後比較：2倍以上高めた++、1%以上高めた+、変化なし±、事前より低くなった-

## (2) 熱効率を高めるために行った生徒の工夫

第7時に装置に加えた工夫とその理由を熱の伝わり方を視点にして記述させた。表4は熱の3つの伝わり方で分類し集計したものである。3つの熱の伝わり方のうち、熱放射と対流に関するもので工夫全体の8割以上を占めている。熱を伝える対象である水に注目できているペアが多かった。熱源から水への熱の伝わり方を理解できていたと考える。また、工夫の数が延べ98になり、1ペア当たり2つ以上の工夫をすることができたという結果となった。

以上のことから、この学習課題をペアで解決することを通してエネルギー利用の実践力を高めることができたと判断した。

表4 生徒が行った工夫の種類

工夫の種類	延べ数	割合	例
熱放射に関する工夫	48	49.0%	・炎のまわりをおおい、容器に熱が伝わるようにした。 ・炎を容器の底に近づけた。
熱伝導に関する工夫	17	17.3%	・ピーカーとは異なる素材で、熱を伝えやすいものを容器として用いた。 ・すきまの大きい金網を使った。
対流に関する工夫	32	32.7%	・アルミの板でふたをして水の対流が起きるようにした。
その他	1	1.0%	・底面積の小さい容器を用いた。
合計	98	100.0%	

## (3) 学習ポートフォリオ中の生徒の記述

授業実践後の12月に「運動とエネルギー」と「科学技術と人間」の2つの単元を合わせた学習ポートフォリオを作成させた。その中で学習内容と自分との関わりや関心を持ったこと、粘り強く取り組んだことの項目を設けて自由に記述させた。生徒82人中7人の生徒が本研究について記述していた(図6)。記述用のワークシートは本研究終了の3週間前に配布したことや自由記述であったため、本研究について記述した生徒の人数は少なくなつたと考える。記述内容を検討すると、習得した知識を活用しながら学習課題を解決したことを

振り返ったり、学習内容と自分との関わりに気づいたりしていた。また、男女ペアで行う学習形態では実験装置に自分の考えが反映されることで探究心が高められたり、意見交流が盛んになって相手の発想に感心したりしていた。全員の記述を得ていないが、実験に取り組む生徒の言動や装置の工夫についての記述などを考えると、学習課題のねらいの設定や指導方法は効果があったといえるであろう。

・粘り強く取り組んだことは熱効率を上げる実験方法を考えたことです。先生が作った実験器具の水温を超えたいと思いながら考えました。結果は100℃まで行ったのですが、どうすれば上がるんだろうと熱の伝わり方を思い返しながらやっていました。みんなそれぞれの実験器具があっていいなと思いました。これから大人になると1人暮らしになるかもしれません。電気代が高くつく大変です。熱について知るとものすごく将来のためになると思いました。いろいろなものからエネルギーはあふれています。どれがどんなエネルギーを出すか、ということを考えて物の見方が変わるなと思いました。

・粘り強く取り組んだことは熱量を計算すること、伝導・放射・対流などを考えながら熱効率を上げるためにどうすればいいかという工夫を考えたことです。エネルギーというものは遠くのものに思いがらけど、意外に身近にあるものなんだと感じた。お湯を沸かすときにも熱エネルギーをよく伝えるための工夫を考えてみたり、熱の伝導などを考えながらより早く水を温める方法を考えてみたりして、日常生活に生かしていきたいなと思った。

・アルミホイルやビーカーを使って自分たちで独自の熱を効率よく伝えるための器具を使った実験が、この単元で一番興味を持ちました。この実験で熱効率の計算や持っていた熱量や水が得た熱量を求めるやり方がわかり、自分たちの手で実際にやることでよりわかりやすかったです。

・熱効率を高める実験に粘り強く取り組みました。なぜかという、この実験では自分の手で熱効率を上げる器具を作れることで自分の探究心をくすぐられたし、いろいろ試すことで楽しくなって、自分のモチベーションを上げることができました。

図6 生徒の感想文の一部

## 7 終わりに

エネルギーの有効利用は私たちの生活に直接的にも間接的にも結びついている問題である。本研究ではエネルギーの有効利用の実践力を高めるための学習課題の開発を行うことができた。これからも、このような学習課題の開発を行っていきたいと考えている。

現行の中学校理科の学習指導要領ではエネルギー効率は扱うが、それを量的にとらえさせるための学習内容や教材、観察、実験については学校現場での検討が必要である。本研究では、水が受け取る熱量を利用して熱効率の学習指導を行った。その際、現行の学習指導要領では扱われない「カロリー」について取り上げた。授業実践では「カロリー」を「ジュール」に変換し、それを力学的な仕事としてとらえるクイズなどを行った。カロ

リー」は日常生活の中に情報としてあふれているため、生徒の関心は高かった。学習に必要なことは指導者が取捨選択し、取り入れていく必要性を感じた。

習得した知識を生かすためには思考力や判断力を伸ばすことが必要である。その方策の一つとして学習課題の解決を授業で取り入れることが考えられる。課題解決の際、他者の考えに触れることで思考力や判断力が伸びていく。今回の授業実践では生徒集団の実態を踏まえ、ペア活動を取り入れた。ペア活動は最低限の他者とのかかわりであるが、その分関わりも深まる。今後理科の学習指導においてペア活動を取り入れる実践を増やしていきたいと考えている。

## <引用および参考文献>

- 1) 資源エネルギー庁：「平成24年度エネルギーに関する年次報告」（エネルギー白書2013）<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2013html/>
- 2) 文部科学省：「中学校学習指導要領解説 理科編」, pp. 52 - 54, 2008, 大日本図書株式会社.
- 3) メタノールの燃焼熱については、「理科年表」（丸善, 2014）, 「フォトサイエンス化学図録」（数研出版社, 2010）に記載されているデータを参考にした。
- 4) 東京ガス HP：<http://www.tokyo-gas.co.jp/env/future/category01.html>
- 5) 学習課題の作成にあたって、理科1分野下（大木道則他, 1986, 新興出版社啓林館.）のpp. 40-46を参考にした。
- 6) 学習指導計画の作成にあたって、「熱とエネルギーを科学する」（化学工学会編, 2011, 東京電機大学出版局.）と「物理学のコンセプト2 エネルギー」（小出昭一郎監修, 2012, 共立出版.）を全編にわたって参考にした。