

中学校理科電気分野における基本概念の学習

－豆電球の発光の仕組みと電流保存の概念－

粥川慎平¹⁾，沖花 彰²⁾

1) 京都教育大学大学院 din35037@kyokyo-u.ac.jp

2) 京都教育大学理学科 okihana@kyokyo-u.ac.jp

キーワード：理科教育，豆電球，発熱と発光，電流

(受付：2015年2月27日)

I. はじめに

豆電球が発光することは小学3年で学習し，電熱線を使った発熱は小学6年で学習する。しかし，電熱線では，光らないのに電流が流れていることが理解できるのに対して，豆電球は光らないと電流が流れていないと考える児童生徒が多い。つまり発熱と発光を結びつけた理解が不足していると考えられる。そこで，豆電球の発光する仕組みを考えることで，発熱と発光を結びつけることができる授業を構築し，授業実践を行った。

また，これまでの研究から（例えば，門馬・吉田，2001），豆電球の前後で電流の大きさが減少すると考える児童生徒が多く，電流保存の概念が理解できていないと言われている。そこで，回路を流れる電流の大きさと向きについて，複数の学校で理解度調査を行うとともに，電流の大きさが豆電球の前後で保存されることが理解できる授業を構築し，授業実践を行った。

II. 授業展開

以下のような複数の実験学習を考案し，電流保存に関する学習と豆電球の光る仕組みに関する学習を組み合わせる授業実践を行った。

1. 規格の違う豆電球の直列回路調査（電流保存に関する学習）

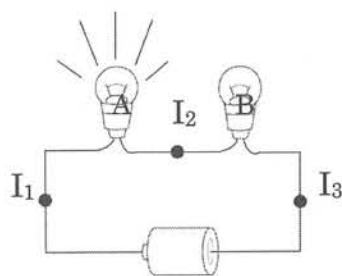


図1 調査回路

授業のはじめに図1のような規格の違う豆電球を2個直列につないで片側のみ光る場合を演示実験し，このようになる原因として考えられるもの全てを選択してくださいとして，選択肢を10個用意し解答させた。

また，光っている豆電球Aを流れる前の電流を I_1 ，豆電球Aと光っていない豆電球Bの間を流れる電流を I_2 ，豆電球Bの後を流れる電流を I_3 とし，それぞれの電流の向きと大きさを答えさせた。

2. ソケットなし豆電球の接続実験（豆電球の光る仕組みに関する学習）

乾電池1個，ソケットのついていない豆電球1個，リード線2本を用意し，豆電球が点灯する接続を予想させた後，実際に実験させた。ここでは，フィラメントに着目させ，フ

イルメントも含めて1つの回路になるという学習を行った。そして、豆電球を点灯できたところで、「ではなぜ豆電球が光ると思いますか？光る仕組みをできるだけ詳しく書きましょう」と質問し、自由記述により予想させた。

3. 豆電球を直列に増やしていく実験（豆電球の光る仕組み電流保存に関する学習）

同じ規格の豆電球を直列に増やしていき、点灯の様子を観察するという実験を行った。またそれぞれについて観察後電流が流れているかを聞いた。豆電球を増やしていくことで豆電球が光らなくなっても電流が流れているという理解を促す。豆電球3個ではかすかに点灯している状態で、4個の場合は目視ではほぼ光っているかどうかわからなくなる。また2個の場合は、はじめに2つの豆電球の光り方を予想させ、実験で光り方を確かめたのち、電流の大きさと向きを質問した。

4. ニクロム線カッター（豆電球の光る仕組みに関する学習）

電気が流れると熱くなることを体感させるために、ニクロム線カッターを生徒一人ひとりに作成させ、その作成したニクロム線カッターを用いて発砲スチロールを切る実験を行った（図2）。

5. 巨大豆電球（豆電球の光る仕組みに関する学習）

「電気」から「熱」そして「光」ということを実感させ、これらを統一した理解にさせるため、巨大豆電球の実験を行った。巨大豆電球は、ふたをしたガラス瓶の中に入れたシャーペンの芯の発光実験であるが、電池の個数を2，4，6個と変え、2個では「発熱」しシャーペンの芯から煙が発生し始め、4個では若干赤く光出し、6個で完全にシャーペンの芯が発光するという一連の変化を観察させた。電池は繰り返し使えるよう充電電池（1.3V）を使用した（図3）。

6. 2つの電流計を使った実験（電流保存に関する学習）

2つの電流計を豆電球の前後に組み込み、それぞれの電流を同時に測定できる実験を行った（図2）。児童生徒が豆電球の前後で電流の大きさが違うと考える理由として、豆電球が発光することでエネルギーが豆電球で消耗するため、電流が減ると考えていると思われる。何がエネルギーを供給しているのか、どこでエネルギーが減っていくのかを示さなければ電流の減衰モデルは改善されないと考えた。そこで回路を流れる電流が全体として減少することがわかり、コンデンサで電気を生み出すエネルギーが減少してい



図2 ニクロム線カッター



図3 巨大豆電球



図4 2つの電流計とコンデンサを使った教材

ることを確認できるため、電池の代わりにコンデンサを用いて実験を行った（図4）。

Ⅲ. 授業実践

授業実践は、アンケート調査を含めて以下の校種、学年を対象に行った。それぞれの学校での実践は時間数などの関係で1～6の学習を選択して行っている。

2013年 9月	韓国初等学校科学部 5, 6年生	38名
2014年 2月	国立大学大学附属小学校 5年生	31名
2013年 10月	市立中学校 2年生 SPP	11名
2014年 9月	国立大学附属中学校科学部	14名
2013年 7月	市立中学校 3年生 SPP	21名
2013年 10月	府立高等学校 2年生（アンケート調査のみ）	19名
2014年 7月	市立中学校 3年生 SPP	14名
2014年 7月	国立大学附属中学校 3年生	129名

Ⅳ. 実践結果

授業実践に関する児童生徒の反応及び各調査結果について、豆電球の光る仕組みに関する学習と電流保存に関する学習に分けて示す。

1) 豆電球の光る仕組みに関する学習

1. ソケットなし豆電球の接続実験

ソケットなし豆電球の接続が正しくできたかどうかの結果を小学生、中学生及び韓国

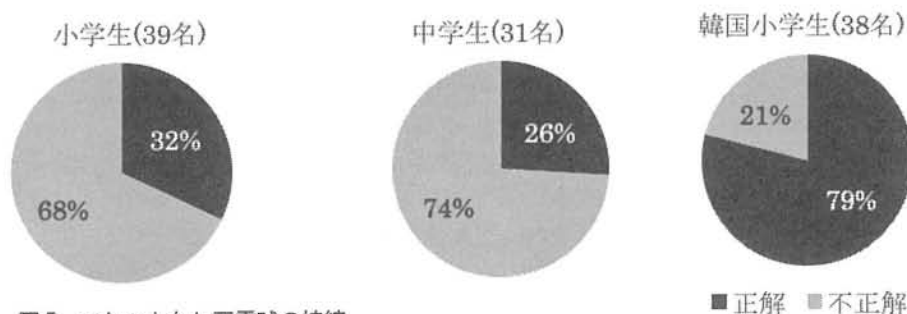


図5 ソケットなし豆電球の接続

の小学生に分けて図5に示す。

正解は中学生よりも小学生の方がやや高かったが3割程度であった。誤答の多くは豆電球の底と底をつなぐというもので、ソケットありの豆電球を使用するためそのようなイメージになっていると考えられる。一方、韓国では教科書にもソケットなし豆電球が多く記載され、高い正解率になったと思われる。

ソケットなしの豆電球の正しい接続を学習さ

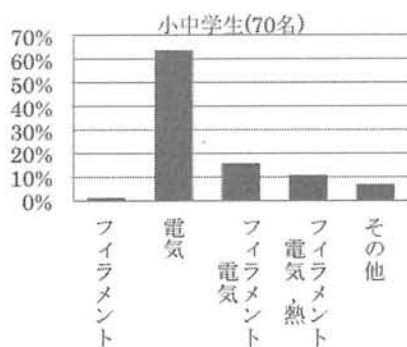


図6 光るしくみに対する回答

せた後、「乾電池と豆電球をつないだらどうして豆電球は光ると思いますか？」と光るしくみを自由記述で答えさせた。解答は①フィラメントに着目しているか②電気・電流が流れているという記述があるか③熱くなって光るという記述があるかの3点を基準にして分類し評価を行った。

結果を図6に示す。電気が流れるからという回答が最も多く、熱くなって光ると答えたのは10%程度であり、発熱を経て発光するという考え方ができていないことがわかった。

2. 豆電球を直列に増やしていく実験

1個の乾電池に接続する豆電球の数を直列に2個、3個、4個と増やしていく実験を行った後、それぞれにおいて豆電球には電流が流れているかどうかを聞いた。その結果を図7に示す。

豆電球が2個及び3個の場合は、豆電球が光っていることが確認できるため、全員が電流は流れていると回答した。豆電球4個では目視では光っていることを確認できないため、電流が流れていると答えた割合が減少しているが、豆電球を増やしていくという学習の流れのため、ほとんどの生徒が4個で光らなくても電流は流れていると考えることができていた。

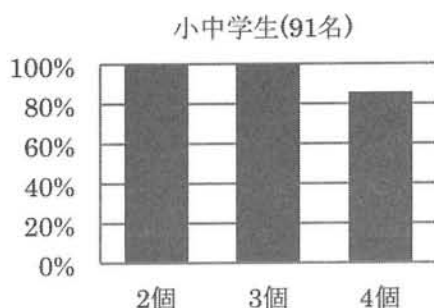


図7 豆電球に電流が流れていると解答した割合

3. ニクロム線カッター

生徒一人一人にニクロム線カッターを作成させ、発泡スチロールを切る実験を行った後、ニクロム線に電流が流れているか質問したところ全員が電気は流れている回答しており、電気が流れると熱くなるということを実感させることができた。

4. 巨大豆電球

電池2個ではシャーペンの芯は光っていないが、シャーペンの芯から煙が出ることで発熱を実感でき、4個6個と電池の数を増やすとさらに熱くなり発光するということを観察できた。多くの生徒が非常に興味を持って実験を行っていた。

このような学習をすることで、発熱と発光を結びつけた理解が進むと考えられる。

2) 電流保存に関する学習の結果

1. 規格の違う豆電球の直列実験

図1に示したように規格の違う豆電球を2個直列に接続し、片側のみ光る理由として考えられるものを以下から選択(複数選択可)させた。その結果を図8に示す。

- ①Bの豆電球につながる導線が断線している
- ②Bの豆電球のソケットが緩んでいる
- ③Bの豆電球に電流が流れていない
- ④Bの豆電球のフィラメントが切れている
- ⑤Bに比べてAの抵抗の方が大きい
- ⑥Aに比べてBの抵抗の方が大きい

- ⑦B に比べて A にかかる電圧の方が大きい
 ⑧A に比べて B にかかる電圧の方が大きい
 ⑨B に比べて A を流れる電流の方が大きい
 ⑩A に比べて B を流れる電流の方が大きい

正解は⑤及び⑦であるが、
 正解率は低くどちらも 25%
 程度であった。

①②③④は回路に電流が
 流れなくなることになるが
 7 割の生徒 (102 名) がこの
 いずれかを選択した。

さらに、豆電球の前後の各
 点を流れる電流の大きさと
 向きについて質問した。その
 結果を図 9 に示す。向きは全
 員が正解した。

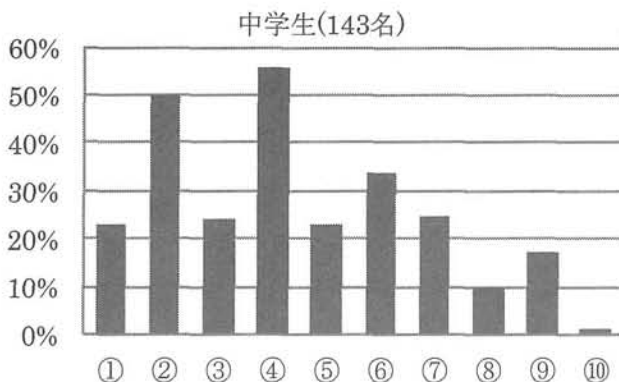


図 8 各選択肢を選んだ割合

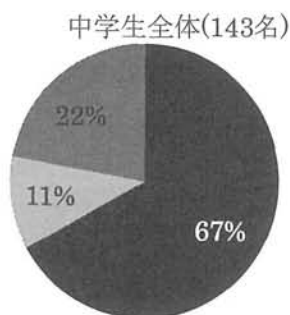


図 9 電流の大きさの解答

①から④のいずれかを選択した
 生徒の解答(102名)



各点を流れる電流の大きさについては、「各点を流れる電流が同じ」、「回路の一部分に電流が流れていない」、「 I_1 に比べ豆電球後の I_2 もしくは I_3 が小さい」の 3 つに分類した。図 9 に全体の解答 (左図) と回路に電流が流れなくなる選択①から④を選択した生徒の解答 (右図) を分けて示す。

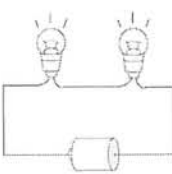
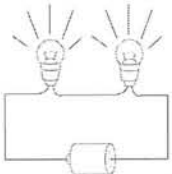
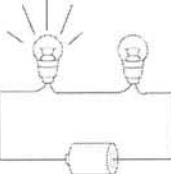
全体の正解率は 67% であった。①から④のいずれかを選択した生徒は 61% でやや低くなるが、全体の結果と比較しても傾向はあまり変わらなかった。豆電球 B に電流が流れていない (③) を選んだ生徒が 23% あったのに回路の一部に電流が流れていないと答えたのは 11% しかなかった。また②④のようにソケットが緩んでいる、フィラメントが切れていると思っても回路の一部に電流が流れていないと考えているのは 15% であった。つまり、豆

電球Bに流れる電流と回路を流れる電流は別物と考えている可能性があることがわかった。

2. 同じ規格の豆電球の直列実験

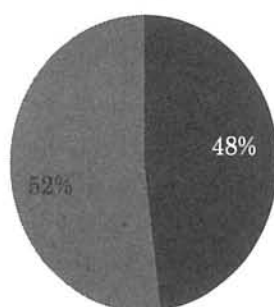
次に、同じ規格の豆電球2個直列に接続した実験を行う前に、豆電球の光る様子や電流の大きさについて調査した。光り方についての結果を表1に示す。豆電球が1つの時に比べて両方とも暗くなるもしくは光らないが正解であるが61%が正解した。次に多かった選択は「両方明るく光る」であった。選択した理由として「直列回路の電流の大きさは一定だから」という回答が多く見られ、乾電池から出る電流が豆電球が1個のときも2個のときも同じという間違っただけの理解をしている可能性がある。

表1 豆電球2個直列に接続したときの光り方に関する理解度調査

	光らない				その他
中学生 (143名)	2%	59%	26%	6%	7%

この予想後に、実際に実験させ光り方を確かめた後、豆電球の前後における電流の大きさを質問した。その結果を図10に示す。左図が中学電気分野学習前の児童生徒、右図が中学電気分野学習後の生徒の結果である。

中学電気分野履修前(59名)



中学電気分野履修後(143名)

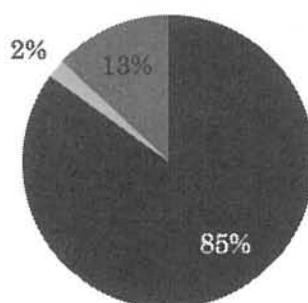


図10 電流の大きさ

- 各点を流れる電流が同じ
- 回路の一部分に電流が流れていない
- I_1 に比べて I_2 もしくは I_3 が小さい

2つの豆電球が同じ明るさで光ることを実験によって確かめた後に聞いたのだが、中学電気分野を学習する前の生徒は、正解率は48%であった。中学電気分野学習後の生徒は、正解率は85%と高い。両方とも豆電球が光る場合は、「回路の一部分に電流が流れていな

い」と考える生徒はほとんどいなかった。片側のみ光る場合（図 9）の生徒は電気分野履修後の生徒であるが、図 10 の電気分野履修後の生徒の結果と比較すると、規格の同じ豆電球の場合電流保存の理解ができているものが 85%であるのに対し、規格が異なり片方の豆電球がつかない場合は正解率は 67%まで低下し、「回路の一部分に電流が流れていない」「 I_1 に比べ I_2 もしくは I_3 が小さいと考えている」と考える生徒が多くなることがわかる。豆電球の光り方次第で電流保存の概念が覆ってしまうことがわかった。

3. 2つの電流計とコンデンサを使った実験

2つの電流計とコンデンサをつかった実験を行い、電流が回路全体で減少すること、コンデンサがエネルギーの供給源であることがほぼ理解できたと思われる。また、豆電球が点灯しなくなっても電流は流れていることを確認でき、豆電球が点灯しなくなっても電流は流れていることをここでも再確認できた。

V. まとめ

各授業の終わりに、「今日の授業でわかったことを書いてください」とアンケートを行った。豆電球の光る仕組みについての学習では、「電気→発熱→発光」という流れについての記述が 59%、「電流、電圧、抵抗と明るさの関係」についての記述が 29%、「回路とフィラメントの関係」についての記述が 13%あった。詳しい記述内容としては、「フィラメントに電気が流れると発熱し発光する。電気→発光だと思っていたのでびっくりした」「光らなくても電流は流れている」「シャーペンの芯が発光するのがおもしろかった」など肯定的な内容が多く、豆電球の光る仕組みについて概ね理解できたと考えられる。

電流保存についての学習の記述は、「電流保存」についての記述が 52%、「電力と明るさの関係」についての記述が 9%、「乾電池で全体の電流が減る」についての記述が 9%、「回路とフィラメントの関係」についての記述が 8%あった。詳しい記述内容としては、「フィラメントが切れると2個とも光らない」「直列回路を流れる電流の量は同じ」「光らなくても電流は流れている」「電流が消費されるのではなく、電池で電気を生み出すエネルギーが減ること」「コンデンサの実験で電流が豆電球の前後で同じように減るのがおもしろかった」など多くが肯定的な内容が多く、電流保存についても概ね理解できたと考えられる。

文献

- 門馬徳夫・吉田俊博 2001.「中学生の電流理解に関する実態調査報告（1）」．福島大学教育実践研究紀要，第 41 号，pp.85-91.
- 門馬徳夫・吉田俊博 2001.「中学生の電流理解に関する実態調査報告（2）」．福島大学教育実践研究紀要，第 42 号，pp.1-8.