



# 東京学芸大学リポジトリ

Tokyo Gakugei University Repository

## 電圧表現型走光式電流計を用いた実践研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2009-04-06 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 鎌田, 正裕, 原, 千穂, 森川, 直子 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2309/35439">http://hdl.handle.net/2309/35439</a>

## 電圧表現型走光式電流計を用いた実践研究

鎌田 正裕・原 千穂・森川 直子

理科教育学\*

(2005年5月27日受理)

KAMATA, M., HARA, C. and MORIKAWA, N.: Practical study using the ammeter that indicates electric current by the movement of a light spot and voltage by the colour. Bull. Tokyo Gakugei Univ. Natur. Sci., 57: 25-33 (2005) ISSN 1880-4330

### Abstract

We prepared schematic explanations on electric circuits that match the students' observations using our new ammeter PikoPikoII, which indicates the measured current by the movement of a spot of light and the voltage by the colour of the spot. We used them in trial lessons for junior high school students and elementary school students, and found that such a combination is much more helpful to them than explanations using ordinary fluid-flow models. (in Japanese)

Key words: PIKOPIKO, ammeter, current, voltage, model

Department of Science Education, Tokyo Gakugei University, 4-1-1 Nukui-kita-machi, Koganei-shi, Tokyo 184-8501, Japan

### 1. はじめに

電気分野の学習には、新しく学ばなければならない概念が数多く存在するため、それぞれの概念を正しく捉えた上で全体の関係を系統的に理解していくことは、学習者にとって容易ではない。また、電気回路に関しては、衝突モデルや減衰モデル等のような誤概念の存在が知られており、これらを学習によって払拭し、科学的な概念へと改めることは一般に難しい<sup>1,2)</sup>。

一方、中学校における電気分野の指導方法は、抵抗を流れる電流の大きさとそれにかかる電圧との関係を見出す活動や、水流モデルなどのアナロジーを用いた説明が一般的であるが、この種の指導に困難を感じる教師や、電気の学習に困難を感じる児童生徒は少なく、これには以下のような理由が考えられる。

#### 1) 教具(電流計・電圧計)に関するもの

電気の学習において、現在多くの学校で使用されて

いるメータ型の電流計や電圧計は、測定された物理量の大きさを針の振れ幅で表示するためのものにすぎず、児童生徒たちがここで得られた数値を電流や電圧の物理的な概念と直接関連づけることは容易でない。また、似たような外観の電流計と電圧計でそれぞれの値を測定するため、「電流」と「電圧」とを混同する生徒や、レンジの選択に苦労する生徒もしばしば見受けられる。

#### 2) 教授法(モデル)に関するもの

電気回路を指導する際に、電気の流れを水の流れに、電圧を水圧や水位差に喩える説明(水流モデル)がよく用いられ、中学校理科の教科書でも使用されている。水流モデルは、直観的に理解しやすいと思われるがちであるが、水流や水圧についての学習が小学校理科の内容から一掃されている現在、必ずしも分かりやすい説明とは言えない状況にある。また、電流や電圧についての明確なイメージを持たないまま言葉や図、数値や理論に頼る学習をしていては、電気単元の学習に嫌気をさしてしまう

\* 東京学芸大学(184-8501 小金井市貫井北町4-1-1)

児童や生徒が少なくなることは期待できない。

このような状況に対し、既報の走光式電流計には、数値を測定するだけのメータ型電流計とは明らかに異なる学習効果が認められるが<sup>3,4)</sup>、この電流計は、光の流れで「電流」を表現するものであり、「電圧」の概念形成については、その目指すところに含まれていない。そこで、電流と電圧を同時に表現できる走光式電流計があれば両者の違いについて明確なイメージ形成の助けになると考え、我々は、「光の色によって電圧を表現する」という機能を追加した電圧表現型走光式電流計を開発した<sup>5)</sup>。本研究では、この電圧表現型走光式電流計が小学生(第5学年)や中学生(第2学年)の電圧概念の形成にどのように役立つか、またその際の学習にはどのようなモデルが効果的であるかを、授業実践と調査に基づき検討することとした。

## 2. 電圧表現型走光式電流計 (PIKOPIKO)

装置の外観を図1に、回路に組み込んで使用している様子を図2に示す。本機は一列に並べた10個の2色LED上を光の点が移動することにより、電気の流れを表現する。光点の移動する向きと速さで電流の向きと大きさを表すことは従来のもと同じであるが、同時に電圧の大きさに応じて光点の色を変化させる機能を追加した。

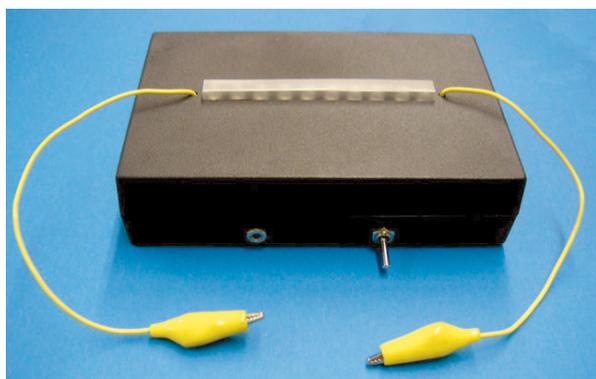


図1 電圧表現型走光式電流計の外観



図2 回路に組み込まれた電圧表現型走光式電流計

電圧表現型電流計のブロックダイアグラムを図3に示す。LEDの点灯制御には、ワンチップマイクロコンピュータPIC16F877(以下PIC)を用いた。電流計を流れる電流Iが、図3左端の0.1Ω抵抗を通り、電圧Vに変換される。この電圧をオペアンプで増幅後、電流の正方向・負方向いずれの向きでも対応できるように、PICの3・4番ピンのいずれかで読み込み、デジタル変換する。また、電圧Vbの測定には、PICの2番ピンを用いた。10個の2色LED上を光点が移動する方向と速度、色の変化(0~1Vを赤、1~2Vを橙、2V以上を緑)の制御は、C言語でプログラミングしたPICで行う。なお、回路の詳細などについては既報<sup>5)</sup>を参照されたい。

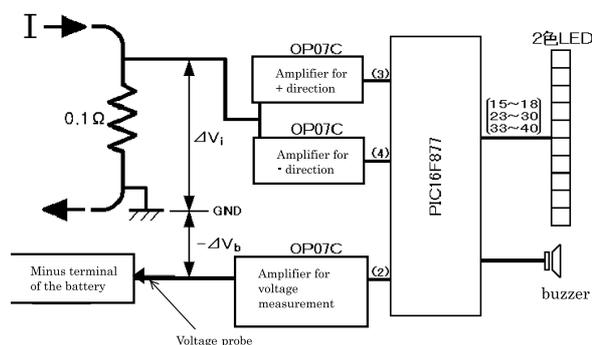


図3 走光式電流計のブロックダイアグラム

## 3. 電流や電圧の概念獲得に有効なモデル

一般的に広く使われているものが、水の流れで電流を表現した「水流モデル」である。現在出版されている中学校理科教科書は、5社すべてが水流モデルを採用している。電気の流れと水の流れは似ている部分が多く、電流と水流、電圧と水圧のように両者の対応も明確で、使いやすいモデルと思われるがちである。しかし、現代の子ども達の日常生活の中でポンプや水車を見たり触れたりする機会は非常に少ない。さらに、小学校理科の学習から水の流れに関する物理的な内容が削減され、ほとんどの子どもは水流自体を理解していないのが現状である。また、学習が進み「電圧」や「抵抗」をイメージしようとする段階になると、厳密な水流モデルが必ずしもわかりやすくはなく、学習者に混乱を与える原因にもなり得る。本研究では走光式電流計と高い整合性を有するモデルであれば、学習者にとって電流や電圧の概念獲得が容易になると考え、次のようなキャラクターモデル(図4,図5)を考案した。表1には、モデルと実際の電気の流れとの対応を示す。

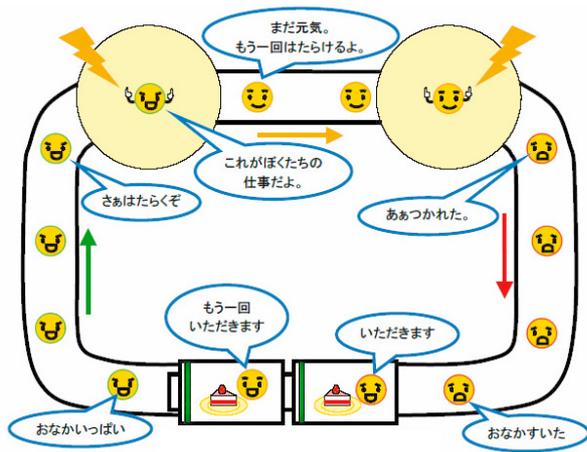


図4 キャラクターモデル(中学校)

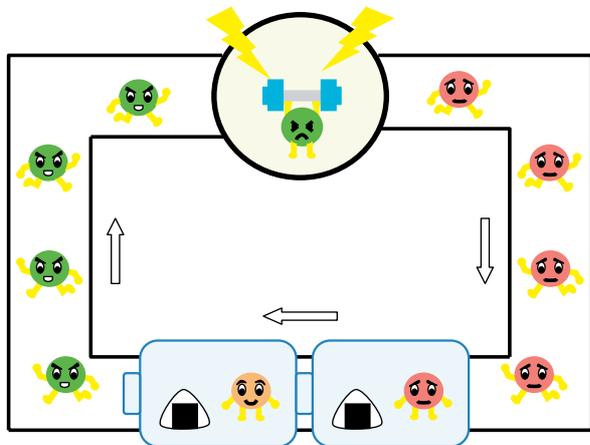


図5 キャラクターモデル(小学校)

表1 モデルと実際の電気の流れとの対応

電気回路	電圧表現型走光式電流計に適合するモデル	
+の電荷	キャラクター	😬
電流	キャラクターの流れ	
電流値	回路上のある点を一定時間内に通り過ぎるキャラクターの数	
抵抗	キャラクターの仕事場	
抵抗値	仕事の難しさ	
乾電池	食堂	🍷
乾電池の消耗	食堂の食料の消費	🍰
電位	キャラクターの元気具合	😬😐😞
電圧	キャラクターの元気具合の差	

2つのモデルは基本的に同じで、走光式電流計の光点の色、すなわち乾電池の-極に対する電位を、キャラクター(電気の粒)の色で表現している。図4では、電気はまず乾電池で食事をし、満腹な状態で+極側から導線内へと出発する。このときの色は緑色(3V)で、このモデルでは「元気な電気」と表現する。電気は一定のスピードで進み、豆電球(抵抗)で仕事をする。仕事を済ませた電気はエネルギーが少なくなり、オレンジ色(1.5V)になる。その後2つ目の豆電球(抵抗)で再び仕事をし、エネルギーを使い切って赤色(0V)になる。このモデルでの赤色の電気は、もうこれ以上仕事をする事ができない「疲れた電気」と表現される。疲れた電気は、乾電池の-極側に帰っていく。そして乾電池で食事をし、満腹な状態で再び導線内へと出発する。

#### 4. 授業実践と調査

##### 4.1 中学校における授業実践・調査

調査の目的は、中学校理科の電気単元における従来型の学習と比較して、走光式電流計とキャラクターモデルを使用した学習が、電圧の物理的な意味について理解しやすい学習方法と言えるのか、生徒は電気回路の学習に対する積極性を持つことができるのかなどを検証することである。

対象は東京学芸大学附属世田谷中学校2年生4クラス162名を、A、C組の対照群82名、B、D組の実験群80名という2つのグループに分割して調査を実施した。授業では、同一時期に、対照群、実験群ともに同じ内容を取り扱ったが、異なる指導方法を用いて、各クラスに1時間を配当した。調査は、授業直後と1ヵ月後の2回に分けて、選択、記述式のアンケートを実施した。

中学校理科の電気分野における学習単元を、表2に示す。実践・調査は、「まさつによって起こる電気」の学習後で、「回路を流れる電流」「回路に加わる電圧」の学習前に行った。

表2 中学校理科の電気学習における各学習単元<sup>23)</sup>

3. 電流の性質とはたらき	3-1 電流の性質	① まさつによって発生する電気
		② 回路を流れる電流
		③ 回路に加わる電圧
		④ 電流と電圧の関係
	3-2 電流のはたらき	① 磁石や電流のまわりのようす
		② 電流や磁界の間にはたらき
		③ 電流を発生させるしくみ
		④ 電流のはたらきとその利用

対照群，実験群ともに，調査時における授業の目標は，次の3点とした。

- (1) 電流の性質についてイメージをつかむ
- (2) 電圧の性質についてのイメージをつかむ
- (3) 実験回路の接続に慣れる

表3は，両群の授業の流れを対比して示した表である。比較のために，学習内容は同じに設定したが，実験や説明の方法が異なる授業を計画・実施した。

授業では，1クラスを約4人ずつの班に分け，本電流計を2台，乾電池を2つ，豆電球を1つずつ配布し，小学校の復習として，乾電池の数による電流値の違いを確認させた。次に「豆電球を通る前の電流」と「豆電球を通った後の電流」とに注目させ，本電流計の光の速さが同じであることから，電流値が同じであることを確認させた。その後，対照群のみに「電流を水流に置き換える」という水流モデルの考え方を紹介した。両群で大きく異なる部分は，電圧についてのイメージを与えるための方法である。

実験群では，「豆電球を通る前」と「豆電球を通った後」とに注目させ，本電流計の光の速さは同じだが光の色が違うという結果から，電流値は同じだが何か他のものが変わっているということを確認し(図6)，その後，キャラクターモデルで「豆電球で仕事をし，電気の元気具合が減っている」というイメージ付けをした。これに対し，対照群では，主に水流モデルによるイメージ付けをした。なお，調査校で使用されている教科書に掲載されている水流モデルが，「電流」を「川の流れ」に，水が流れる時の「水位差」を「電圧」と表現していたため，授業時も同様の表現を用いた。

表3 授業実践時の授業の流れ

流れ	対照群	実験群
導入	電流について	電流について
発問1	『豆電球を通る前と，通った後の電流に，何か違いはあるのだろうか。』	
実験	PIKOPIKO使用	PIKOPIKO使用
説明	実験結果の確認 ----- 水流モデルを紹介	実験結果の確認
発問2	『豆電球で電気が使われているはずなのに，豆電球を通る前後の電流に変化がない。では，いったい何が変わっているのだろうか。』	
実験	実験無し	PIKOPIKO 使用
説明	水流モデル	PIKOPIKO に適合するモデル
調査	第1回アンケート	

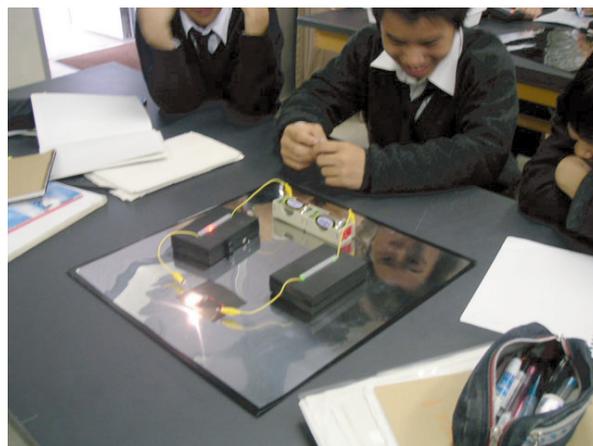


図6 生徒実験の様子

#### 4.2 小学校における授業実践・調査

東京学芸大学附属小金井小学校5年生1クラス39名を対象とした予備調査(授業実践)の後，同校5年の3クラス計110名を対象に本調査(授業実践)を実施した。

調査時の授業の目標は「電圧表現型走光式電流計を用いて電流の性質を理解し，電圧のイメージを捉えること。」とした。授業の流れは，表4に示したように，初めに授業者から走光式電流計を紹介し，電流の表現機能についてのみ説明する。なお，児童たちには走光式電流計を愛称の「ピコピコ」と紹介した。その後1クラスを約5人ずつの班に分け，走光式電流計を2台，乾電池を2つ，豆電球を1つずつ配布し，「電気が豆電球を通る前と通った後ではどんな違いがあるだろうか？」というテーマをもとに実験を行わせた。児童らの多くは「豆電球の前後でピコピコの速さは変わる」と予想を立てるが，2台のピコピコの色の違いに驚く。実験後，結果を発表しあい，「豆電球の前後でピコピコの速さ=電流の大きさは同じだった」ことを確認し，「では色の違いは何だろう」と問いかけてから，本電流計に適合したモデルでこの「色の違い=電圧」について説明をした。図7は児童の実験時の様子である。

表4 授業の実践時の授業の流れ

	活動内容
調査	事前アンケート
導入	従来型ピコピコの紹介
発問1	電気が豆電球を通る前と通った後では，どんな違いがあるだろうか
実験	電圧表現型PIKOPIKO 使用
説明・まとめ	実験結果の確認 ----- PIKOPIKO に適合するモデルの紹介
調査	事後アンケート



図7 児童の実験の様子

なお、授業直前のアンケートでは、児童の有する電流概念を確認し、授業直後の事後アンケートでは、「キャラクターや電流計の表現について」の質問のほか、乾電池2個、豆電球2個の回路に、本電流計を3つ組み込んだ場合の色の予想（電圧変化）を質問した。小学校理科では取り扱う豆電球は1個までとされており、当日の児童実験でも取り扱っていない。しかし今回の授業で、「電圧のイメージ」を本電流計、モデルから持つことができたのかを確かめるのに適した問題と考え、出題した。

## 5. 調査の結果と考察

### 5.1 中学校における調査結果

以下に、授業直後に行ったアンケートの集計結果をその概要と共に記す。

対照群の中で、「電流」の表現に関して、電圧表現型走光式電流計と水流モデルのどちらの方がわかりやすいかを問うた結果を図8, 9に示す。同図中のグラフは、選択肢ごとの人数を、群全体の人数に占める割合で表した。得られた結果が有意であることを確かめるために、各設問の「わかりやすい」「まあまあわかりやすい」を1つのグループ、「少しわかりにくい」「わかりにくい」をもう1つのグループとし、これらの中で直接確率計算を行ったところ、本電流計における電流の表現を「わかりやすい」「まあまあわかりやすい」と感じたグループの割合が有意に多かった( $p < .01$ , 両側検定)。

一方、電圧の表現に関しては違う方法で授業をしたので、その異なる部分について対照群と実験群で比較した。厳密に考えれば比較の対象が等価とは言えないので、あいまいさは残るものの、回答を対照群と実験

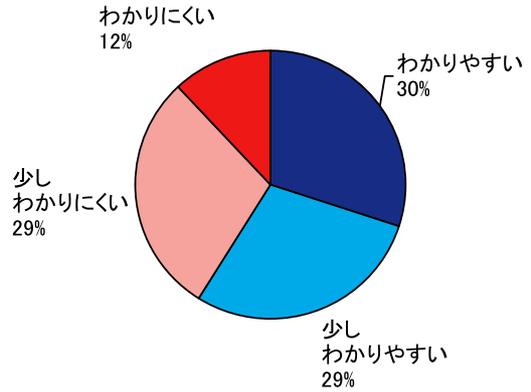


図8 アンケート結果

「水の流れが、「電流」を表している」というのは、わかりやすいですか。

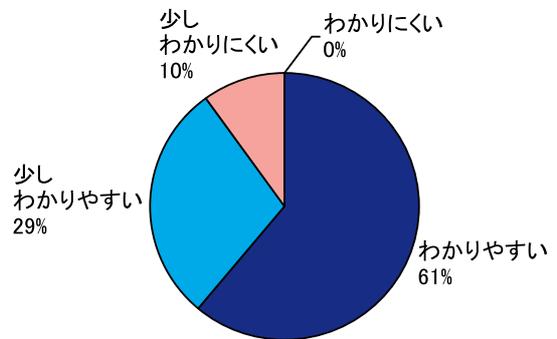


図9 アンケート結果

「光の流れ方で、「電流」を表現する」というのは、わかりやすいですか。

群で比較することで、本電流計と水流モデルそれぞれの電圧に対する表現方法のわかりやすさについて傾向を知ることができると考えた。結果を図10, 図11に示す。

有意であることを確かめるために、各設問の選択肢「わかりやすい」「まあまあわかりやすい」を1つのグループ、「少しわかりにくい」「わかりにくい」をもう1つのグループにまとめ、これらの中で直接確率計算を行ったところ、本電流計における電圧の表現を「わかりやすい」「まあまあわかりやすい」と感じた実験群のグループの割合が有意に多かった( $p < .05$ , 両側検定)。

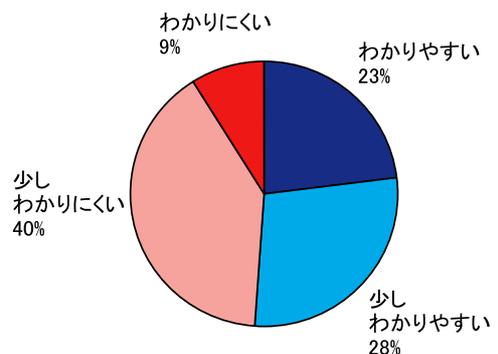


図10 アンケート結果

「光の流れ方で、電圧を表現する」というのは、わかりやすいですか。(対照群)

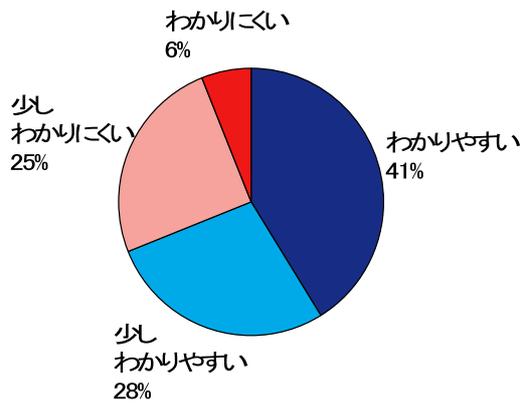


図11 アンケート結果

「光の色が、“電圧”を表現している」というのは、わかりやすいですか。(実験群)

対照群と実験群とで、電圧のイメージ付けがなされた直後、電圧の性質についてどのような認識を持っているかを比較するために、各群で下記の選択肢の中から当てはまると思うものを選択させた。

- K. 電圧とは、電気の流れである。
- L. 電圧とは、電気を流すための力である。
- M. 電圧とは、豆電球を通る前のエネルギーと通った後のエネルギーとの差である。\*注1)
- N. 豆電球を通る前と通った後の電気が持つエネルギーは、豆電球を通った後の方が小さい。
- O. 豆電球を通る前と通った後の電気が持つエネルギーは、どちらも同じである。
- P. 乾電池が1個のときよりも、2個のときの方が、回路全体にかかる電圧は大きくなる。
- Q. 回路全体に加わる電圧値が2倍になれば、電流値も大きくなる。
- R. 回路全体に加わる電圧値が2倍になれば、電流値は小さくなる。

\*注1) 水流モデルは「水位」が「電位」、キャラクターモデルは「電気の元気さ」が「電位」というように、「電圧=電位差」の説明が「ポテンシャルエネルギー」を想像させるものとなっている。「電圧」とは「エネルギーの差」だけで決まるものではないが、授業中で用いたモデルに則って、選択肢Mも正解とした

集計の結果、選択肢K~R全体では、対照群と実験群とを比較しても大きな差は見られなかったが、選択肢N, Oに着目すると、両群に大きな差が見られた。そこで、文の中に「エネルギー」という言葉の使われている選択肢M, N, Oの3つに注目し、正答率を円グラフに表した。選択肢M, N, Oに着目した正答率の円グラ

フを、図12, 図13に示す。

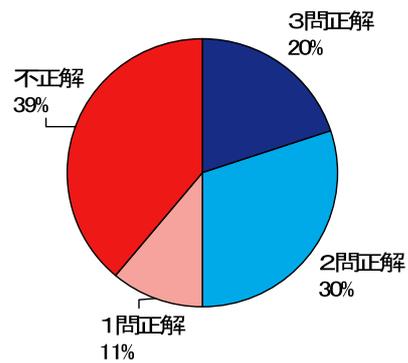


図12 アンケート結果

選択肢MNOの生回数(対照群)

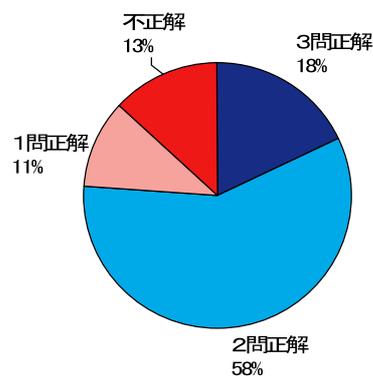


図13 アンケート結果

選択肢MNOの正解数(実験群)

一方、授業の1ヵ月後に行ったアンケートでは、授業時に得た電圧に対するイメージの定着度を調べるために、それぞれのイメージを電圧学習の際に思い出すかどうかを問うた。この結果を、図14と図15に示す

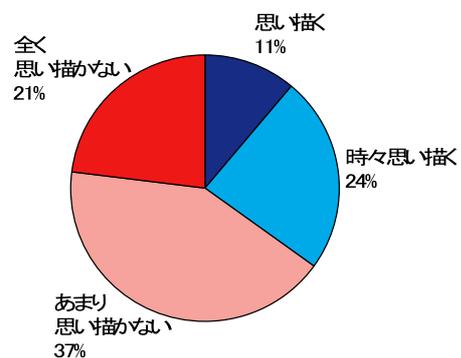


図14 アンケート結果

「水の流れる時の落差で、“電圧”を表現する」というイメージは、「電圧」の学習をするときに思い描くことはありますか。(対照群)

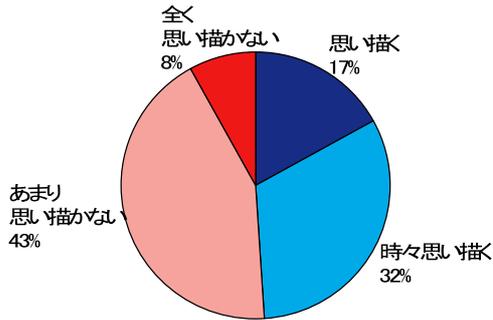


図15 アンケート結果

「光の色が、“電圧”を表現していて、各色の違いが“電圧”である」というイメージは、「電圧」の学習をするときに思い描くことはありますか。(実験群)

表5 対照群，実験群における肯定的意見，否定的意見の数(個)と，意見の例

グループ 記述項目	対 照 群		実 験 群	
	肯定的意見	否定的意見	肯定的意見	否定的意見
PIKOPIKO	61 「電池の向きをかえると光の流れる向きも変わったので、電流の流れる向きが逆になることがわかっておもしろかった。」「分かりやすかった。電流だけでなく電圧用も作ってほしい。」	5 「手軽だが、そこまで信用できる実験器具とは思えない。」「必要性を感じなかった。」	61 「流れの速さや色が目で見てわかったのによかったです。」「色によって電圧の元気さがわかって、とても役に立った。面白かった。」「電流計や電圧計より扱いが易しく、おもしろかった。」	3 「特にあってもなくても同じように感じました。」
メータ型電流計・電圧計	24 「電流計や電圧計によって電気の強さなど、直列と並列の特徴がわかっておもしろかった。」	34 「つなぎ方がそれぞれ違ったので、覚えにくくて難しかった。」「目盛りの読み方がわかりにくかった。」	23 「電気の値が示されるからいい。」「電流・電圧が数値化されるので、強弱がわかりやすいと思った。」	26 「つなぎ方の区別がちょっとめんどうくさかった。」「いろいろ気づかいをしなくてはならないのでつかれた。」
水流モデル	37 「絵がわかりやすかった」「電流を身近にあるものにたとえられていたので、わかりやすかったです。」「とてもわかりやすかった。川の落差が電圧ということが「そーなんだ！」と理解できた。」	29 「水の流れ＝電流の流れというのは分かりやすかったが、水の流れる時の落差＝電圧というのは、いまいち良く分からなかった。」「分かりやすいのは電流だけで、電圧のほうは非常に分かりにくい。」		
キャラクターモデル			59 「キャラクターで表した方が、身近で、もっと簡単に理解できた。」「かわいくてわかりやすかった。」	4 「あまり意味ない。」「色がわからなかった。」

また、PIKOPIKOや電流計・電圧計，水流モデル・キャラクターモデルに対して感じていることを自由記述させた結果を表5に示す。

表5で，対照群の水流モデルに関する記述と実験群のキャラクターモデルに関する記述に特徴が見られたので，比較し，直接確率計算を行った。計算は，水流モデルに関する意見の総数66個に占める肯定的意見，否定的意見の数と，キャラクターモデルに関する意見の総数63個に占める肯定的意見，否定的意見の数とを比較した。この結果，実験群のキャラクターモデルに対する肯定的意見の割合が有意に多かった

いっぽう，自由記述された内容を読む限り，電圧表現型走光式電流計については，概ね肯定的な意見が多く，生徒の多くが同電流計に興味を持った様子である。メータ型電流計，電圧計に関しては，つなぎ方や目盛りの読み方が難しいなどの意見が目立ったものの，使い方を理解した生徒にとっては，具体的な数値を得られることが興味深かったようである。この中で有意な差が出たものは，水流モデルと本電流計に適合するキャラクターを用いたモデルとの比較で，実験群におけるキャラクターモデルの肯定的意見の割合が90%と有意に多く，本モデルは生徒たちにとってかなり親しみの持てるモデルであることがわかった。一方，水流モデルは肯定的意見と否定的意見とがほぼ半分に割れ，「すごくよくわかる」と感じる生徒と「すごくわかりにくい」と感じる生徒と両極に分かれるという結果になった。直感的に理解しやすいとされている水流モデルではあるが，生徒たちのこうした現状を踏まえると，広く教科書などで扱われるに適したモデルとは言えないのではないだろうか。

### 5.2 小学校における調査結果

事後アンケートの「キャラクターの絵を使った電気のモデルはわかりやすかったですか？」との質問には110人中108人が「わかりやすい」または「少しわかりやすい」と好意的な答えを選択した。同様にピコピコについても，「『光の点の流れが電流を表している』というの，わかりやすかったですか？」，「『光の色が電圧のちがいを表している』というの，わかりやすかったですか？」との質問にも，好意的な答えが多く見られた。ただし「電流表現」に比べ，「電圧表現」についてはわかりやすいという声は少々減っている。各設問の結果を図16，17，18に示す。

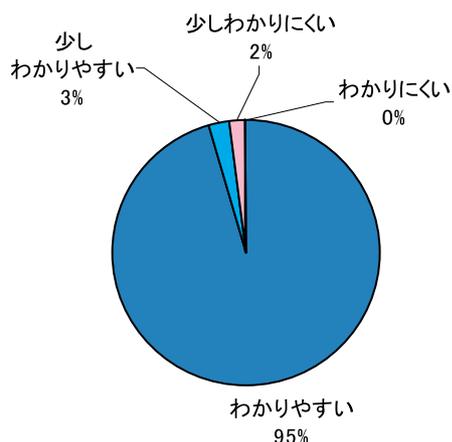


図16 アンケート結果

キャラクターの絵を使った電気のモデルはわかりやすかったですか？

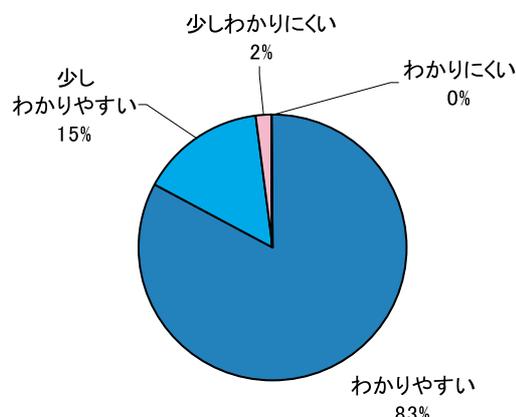


図17 アンケート結果

「光の点の流れが電流を表している」というのは，わかりやすかったですか？

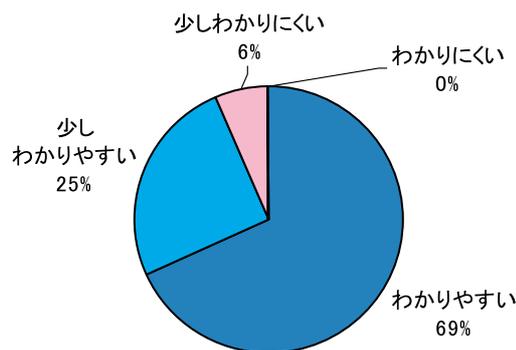


図18 アンケート結果

「光の色が電圧のちがいを表している」というのは，わかりやすかったですか？

最後に，乾電池2個，豆電球2個の回路に，本電流計を3つ組み込んだ場合（図19参照）の中央の電流計の色を予想させた結果を図20に示す。

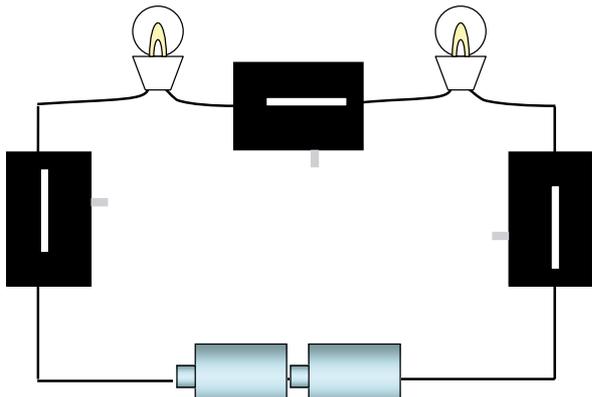


図19 アンケート問題

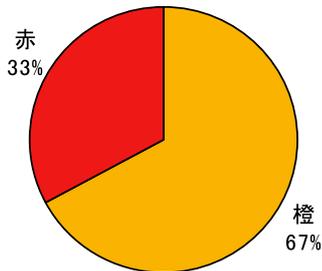


図20 アンケート結果  
(中央の電流計の色：橙が正解)

正答の橙と答えた児童は74人、赤と答えた児童は36人だった。赤と答えた理由には「豆電球1個で力を使い切ってお腹がすいてしまうから。」という豆電球1個分で電圧が低下してしまうという考えと、「電流の大きさが弱くなっている。」という電流が豆電球を通ることで減ってしまうという考えが見られた。

本電流計の色の予想問題においては、児童が学習していない複雑な回路についても、色を使って電圧に対してのたまかなイメージ付けができたことがわかった。また、特に心配した電圧表現について、児童の感想においても「色がちがうのは電圧のちがいというのがおもしろかった」「粒君がかわいくてわかりやすかった」とあり、小学生にも「電圧」をイメージとしてつかみやすいものであったと考えられる。

## 6. 結 論

電圧表現型走光式電流計とキャラクターモデルが児童生徒の有する誤概念にどのような影響を与えるかに

については明確な結果が得られなかったが、一連の研究を通して、電圧表現型走光式電流計とキャラクターモデルを組み合わせた授業が、小学生と中学生に好意的に受け止められ、電圧についての科学的なイメージ付けに有効であることが確認できた。

ただし、今回の授業実践は、いずれも単発的なものであり、特に中学校理科においては、たとえば、キャラクターモデルとオームの法則との関連付けをどのように扱うのが、今後の課題と考えられる。

## 謝 辞

本研究での授業実践に関しては、附属世田谷中学校の宮内卓也教諭、附属小金井小学校の三井寿哉教諭に協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

## 付 記

本研究の一部は、平成16、17年度科学研究費補助金（基盤研究(C)）を用いて実施された。

## 引用文献

- 1) R.オズボーン, P.フライバーグ (森本信也, 堀哲夫 訳): 「子ども達はいかに科学理論を構成するか 理科の学習論」 pp.27-45, 東洋館出版社, (1988)
- 2) 鈴木宏昭, 鈴木高士, 村山功, 杉本卓: 「教科理解の認知心理学」 pp.127-149, 新曜社 (1992)
- 3) 菅野僚, 堀井孝彦, 田中康善, 石井恭子, 鎌田正裕: 「走光式電流計の小学校理科授業への活用」, 東京学芸大学紀要 第4部門数学・自然科学 第53集, pp.159-166 (2000)
- 4) Masahiro Kamata, Izumi Shinbo, Yasuyoshi Tanaka, Kyoko Ishii and Takahiko Horii, "An ammeter that indicates electric current by the movement of a spot of light", Physics Education 36, pp. 243-249 (2001)
- 5) Masahiro Kamata and Chiho Hara, "An ammeter that indicates electric current by the movement of a light spot, and voltage by the colour", PHYSICS EDUCATION 40 (2) pp.155-159 (2005)