

モデルを利用した電気教材の学習とその効果

井 藤 芳 喜*・佐 藤 嘉 一**

Yoshiki ITOH, Yoshiichi SATO

Some Examples of Teaching Method and the Educational Effects
in “Materials of Electricity” by Use of Models.

Abstract: The abstract phenomenon on both heat and electricity has been easily understood in most pupils by use of some models as current of water.

Some models of the macroscopic phenomenon of electricity had been used as the closed circuits of water in the pipes. We devised the new models according to electric circuits by revise of these models, and investigated the effects of our models in learning through experimental education in second year of junior high school.

Considerable effects of model methods in the teaching on materials of electricity were regarded by analyzing the data of the post-test and the retention-test statistically.

はじめに

熱や電気の諸現象は、今日では分子運動や電子の流れで説明されている。以前の調査では、子どもがこのようなミクロ的な世界を理解することに、かなりの困難が伴うことが判明している。^{*1}したがって、これらを理解するために粒子的概念の導入を急ぐよりも、むしろマクロ的な諸性質を経験をとおして、確実に把握させておくことが肝要と思われる。このようなマクロ的な取扱いでは古くから「水」をモデルとした指導事例が多い。しかし、最近では熱や電気の本性が水のような物質であるというような誤った概念を与えることを懸念するためか、あまりこのようなモデルを使用しなくなっている。他方では科学的な思考力を育成する中で、モデルによる思考が見直されてきている。さらにモデルの使用によって、思考が簡略化され、高度な内容でも理解が容易なることを強調したい。

われわれは5、6年前から、マクロの説明に使用したモデルを発展させて、ミクロの世界に使用できる新しいモデルをくふうし、合せてこれを用いた指導法を研究している。一昨年は小学校5年の熱伝導の教材について報告し、引続いて昨年は中学校1年の熱平衡や比熱の教材について報告してきた。今回は中学校2年の電気回路の教材に関し、これまでと同様に適切なモデルをくふうし、研究授業をとおしてその適否を検討した結果、所期

の成果を得ることができたので、これを報告する。^{*2,3}

I 研究の経過および目的

熱や電気は「伝わる」とか「流れる」とかのことばで代表されるように、現象が移動している。これらを「水の流れ」と対応させて、これまでに次のような成果を得ている。

金属棒に熱が伝わる法則は、パイプ中を流れる水をモデルとして類推させ、小学校6年の熱伝導の指導を試みた。^{*2}質量と温度の異なる二つの容器の水を接触させたときに起る現象は、底面積と水位の異なる二つの水槽の水をパイプで接続したときの現象に対応させ、また、同じ質量でも物質によって含まれる熱量が異なることは、砂や砂利を入れた容器とこれらを入れない容器では、中に入る水量が異なることに対応させ、中学校1年の熱平衡や比熱の指導を試みた。^{*3}

電気については、これまでに水の閉回路をモデルとして、オームの法則やキルヒホッフの法則などを理解させようと試みてきたが、研究授業校を遠隔地に求めたため、授業前の連絡が十分とれず、モデルの基本的な考え方が指導する教師に徹底していなかったためか、十分な指導効果を得ることができなかった。今回の研究授業はこの点を十分考慮して、身近な附属学校教諭との共同研究として、前回のモデルもその内容を共同で十分検討を加え、指導方法もさらに詳細に検討して実施し、所期の授業を達成することができた。

* 島根大学教育学部理科教育研究室

** 島根県飯石郡田井中学校

II 研究の内容

2.1 モデルのくふう

従来使用されてきた電気回路のモデルは第1図に示すように、電池または発電機をポンプにし、モーターを水車、抵抗を細いパイプにしたものがよく使われている。これらのモデルを使って、マクロ的な電気の法則をほとんど理解することができる。わが国における電気に関する術語のほとんどが、このような水をモデルとして作られていることから、わが国の先覚者達も、電気に関する諸現象を水をモデルとして理解していたことをうかがい知ることができる。^{*4}

これらは今日でも、極めて有効なモデルといえることができる。しかしながら、このモデルも使用の仕方によって、次に述べるような欠点が指摘される。

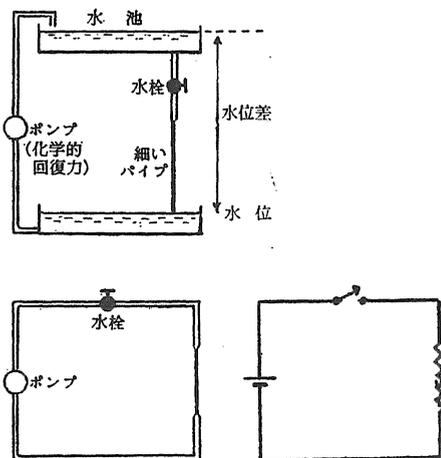
1. 水は物質であり、電気は物質ではないが、類似の現象が起ることから、電気を物質であると誤解する懸念がある。

2. 電気の現象は非常に速く伝わるが、水の流れは必ずしも速くない。

3. 抵抗は断面積に比例するが、パイプの太さをこれに対応させても、パイプ中の水の流れは複雑なので、例えば、流速が管壁と中央部で異なるとか曲り角で速度が異なるなど、完全に対応できない。

4. 回路を開けば電流は直ちに全く流れなくなり、発電機の負荷は軽くなるが、ポンプの場合には水はしばらく止水栓のところまで流れ、やがて重くなる。

今回使用したモデルは本質的には従前のものと同じであるが、上記の欠点を補い、しかも、ミクロの現象をも説明できるようにモデルを改良した。主な改良点は次の



第1図

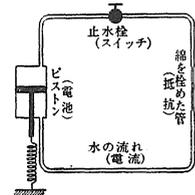
とおりである。

1. 電気は物質ではないが、究極的には電子の流れであるから、指導の過程において、一時的に物質的な取扱いをして思考しても差支えないものとし、ミクロ的な取扱いの時点で順次概念を改めていく。

2. 電気が流れるのは現象が速く伝わるのであって、電子そのものが速く流れているのではない。とかく、空のパイプに水を流すときのように、長いパイプの一端から流れ始めた水が他端に到達するまで、かなりの時間がかかるように考え勝ちであるが、水の入ったパイプの一端を押して圧力を加えるとき、他端にその圧力が伝わる時間はあまりかからない。このように、水の流れはひじょうに遅くても、流そうとする圧力が速く伝わりと考える。したがって、貯水池やポンプから出る水が末端まで行かなくても、パイプ中の水が押されて動き出すというように、このモデルの流れは極めて緩慢なものと考えなければならない。

3. 電気回路の抵抗は他の導線と比べて著しく抵抗が大きいので、水の回路における抵抗も水が著しく流れにくくなるようなパイプを考えなければならない。そのためには単に直径を細くするだけでは不十分である。新しくくふうしたモデルでは、パイプ中に砂や砂利あるいは綿をつめたものを考えた。今回の研究授業ではこのモデルは特に使用していないが、小学校5年の熱の伝導のモデルでは、実際に水を流して実験し、これをもとに推理させている。このようにすれば流れが緩慢で、彎曲したパイプで流れが変化することはない。

4. 電池や発電機のモデルはポンプを使用しても差支えないが、必要に応じて、第2図に示すようなピストンを使用することにした。ピストンはばねで引かれている。ピストン中の水が減少することが、電池の消耗に対応する。したがって、ピストンの容積はパイプ中の水に比し、相当大きく考えなければならない。流れも極めて緩慢と考える。ばねの代りに錘りを吊けてもよい。このときは電圧は一定である。また、ピストンを連結棒で回転する車に取付け、往復させれば交流となる。このときピストンは大きく動かないので、連結棒は力のみが伝わるように、弾力のあるものを考えればよい。



第2図

水の閉回路(電気回路)

以上のモデルは電気のマクロ的現象の大部分を説明でき、しかも電子の流れに置きかえれば、ミクロ的分野へも発展させることができる。

2.2 指導の方法

モデルを使用することの効果と比較するために、実験学級と統制学級とを設け、実験学級にはモデルを用いた指導を行い、統制学級にはモデルを用いないで、教科書にある方法をそのまま用いた。

単元は電気回路で、次のような内容である。

1. 電気回路は直列の場合、回路のどこをとっても電流が同じである。 $i=i_1=i_2=i_3$
2. 接続点では流れ入る電流と流れ出る電流が同じである。 $i=i_1=i_2$ (キルヒホッフの第2法則)
3. 回路では電圧は電源や抵抗の両端にある。
4. 直列に接続した抵抗の両端の電圧はそれぞれの抵抗の両端の電圧の和である。 $V=V_1+V_2+V_3$ (キルヒホッフの第1法則)
5. 並列に接続した抵抗では両端の電圧は一定である。 $V=V_1=V_2$
6. 電圧を変えると電流はどうなるか。(オームの法則)
教科書では電流を変えて電圧を調べているが、電気エネルギーは電流を流すことによって生ずるので、あえて電流が何によって変化するかを調べるように、内容を改めて指導した。
電圧を変化したときの電流を求めてグラフを画く。
7. 電圧と電流のグラフから比例の法則を導く。
8. グラフの直線の傾きが抵抗値を表わすことを理解する。

9. 抵抗値は抵抗線の長さ、太さ、材質によって異なる。
10. 抵抗値は温度によって異なる。

統制学級では実験によって求めたデータによって、諸法則を導くが、実験学級ではモデルを使ってどのような法則であるかを推定した後、実験を行うようにした。実験学級では初めのモデルの説明に少し時間をかけるが、これに要した時間は後の実験の時間を少なくしたので、総合した時間は両学級とも全く同じである。

実験学級に使用したモデルは次の表のとおりである。統制学級はモデルを使用しないで指導の順序は全く同じである。

2.3 研究授業の実施

モデルを使用するときの効果を検査するために、次のように研究学級を設けた。

実施校 島根大学教育学部附属中学校

第2学年4個学級 統制学級 2学級 (a, b)

実験学級 2学級 (a, b)

実施年月 昭和52年9月

研究授業

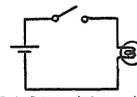
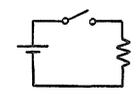
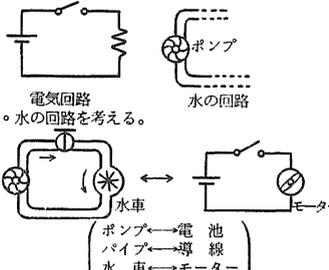
昭和52年9月

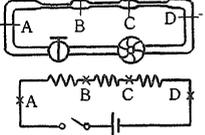
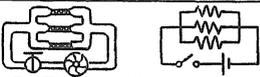
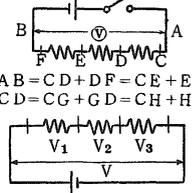
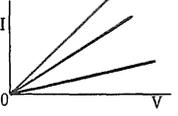
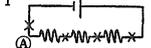
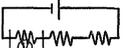
終末テスト

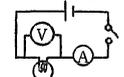
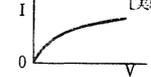
昭和52年2月

把持テスト

授業担当者 佐藤 嘉一 (共同研究者)

学習課題	教師の発言	生徒の学習内容	指導上の留意点
1. 電流はどのように流れるか 回路	<p>電気は</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 直接、目に見えないものなので、理解し難い。 2. 一般に、よくわからないといわれている。 <p>そこで、これを、わかりやすい方法で考えてみましょう。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 小学校のとき、乾電池を使って、豆電球をつけるには、どんなつなぎ方をしましたか。(生徒の発言を利用して、黒板に回路を書く。)  <p>電池 豆電球 スイッチ 導線</p> <p>● このように、まわって接続されたものを回路といえます。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 豆電球と電池を導線で一つの輪になるようにつないだ。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 小学校での学習を復習させる
水の回路と電気回路の対応	<p>◎電気には、電圧とか、電流とか、抵抗といったことがあります。これらの意味をはっきりするために、電気の回路とよく似た水の回路について考えてみましょう。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 電池のように、電流を流すものになるはたらきのあるものとして、ポンプを書きましたが、他のスイッチ、抵抗などは、どうなるでしょう。 ● 電気回路におけるモーターは、水の回路では、何にたとえられるだろう。 <p>● 水の回路と電気回路で、何と何が対応できるかとまとめてみましょう。</p>	 <p>電気回路 ● 水の回路を考える。</p> <p>水の回路</p> <p>水車 （ポンプ ↔ 電池 パイプ ↔ 導線 水車 ↔ モーター 止水栓 ↔ スイッチ）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● OHP①
電圧	<ul style="list-style-type: none"> ● ポンプを速く回転すると、水車はどうなりますか。 ● ポンプの回転数をあげると、水車もこれにつれて速く回ります。電気回路でこれと同じことを考えるとすると、どうすることになりますか。 ● このように、ポンプには、水を押しはたらきがあり、それを水圧といいますが、同じように、電池や発電機のように、電気を流そうとするはたらきを電圧といえます。 	<ul style="list-style-type: none"> ● ポンプを速く回転→水車も速く回る。 ● モーターを速く回すには <ul style="list-style-type: none"> { 電池の個数を増やす。 { 発電機を速く回転する。 <p>ポンプ ↔ 電池 水圧 ↔ 電圧 （水を流そうと、電気を流そうと） （するはたらき） 水流 ↔ 電流 （水の流れ） （電気の流れ）</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● ポンプと電池や発電機と対応させる。 ● あまり深入りしない。 ● OHP②
電流	<ul style="list-style-type: none"> ● パイプの中の水が流れるように、目には見えませんが導線の中を何かが流れています。これを 		<ul style="list-style-type: none"> ● 水流 ↔ 電流 (水量/Sec) (電気量/Sec)

	<p>電流といえます。 電気は目に見えないので、目に見える水の流れて考えればよくわかります。 ・細いパイプや中に綿をつめたパイプは水を流れにくくするはたらきがあります。このように電気を流れにくくするはたらきを抵抗といえます。 ・電球もモーターも一種の抵抗と考えられます。</p>	<p>細いパイプ → 抵抗 綿をつめたパイプ → 電熱線 電球 モーター</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ OHP③を使って念を押す ・ ショートしたときと区別して考えさせる。
<p>電流計と電圧計の使い方</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電圧や電流は、電圧計や電流計で測定することができます。(電流計の入れ方を、水量計の入れ方と対比して、考えてみましょう。) 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 使用範囲 直流用と交流用 ・ 端子の選び方、一目盛の読み方 つなぐ方向 ・ ④-直列に ⑤-並列に 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 教科書通り、但し、実験群に対しては、電流計の入れ方を、水量計の入れ方と対比して、考えさせる。 ・ OHP④
<p>電流は、回路のどこでも等しいか。(直列回路)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ では、1つの回路においては、どこでも電流は同じだろうか。それとも、流れるうちに減るのだろうか。水の回路と対応させて考えてみよう。 ・ どうやって確かめたらよいか、方法を考えてみよう。+、-のつなぎ方にも注意して) ・ 実験により確かめてみよう。 	 <p>水の量は、減ったり増えたりせず一定だから、同じはずだ。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 結果を予想し、実験を計画する。 ・ 【実験1】 ABCD点の電流の大きさを比較する。A=B=C=D 	<ul style="list-style-type: none"> ・ OHP⑤
<p>(並列回路)</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 次に、電熱線を並列につないだら各点の電流はどうか。水の回路と対応させて考えてみよう。 ・ AとEは同じだろうか。 ・ AとB、C、Dはどうか。 ・ 流れこむ電流と流れ出る電流の関係は、どうなっていますか。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・ 結果を予想し、実験を計画する。 ・ 【実験2】 A=E、A=B+C+D=E 流れ込む電流=流れ出る電流 	<ul style="list-style-type: none"> ・ OHP⑥ ・ OHP④'
<p>2. 電圧は、どのように変化するか。 電圧は、どこに生じるのか。</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電圧というのは、電気を流そうとするはたらきでしたが、その電圧は、回路のどこに生じているのでしょうか。 ・ 導線や電熱線の部分にも、電圧は生じているだろうか。 ・ 実験によって調べてみよう。 ・ 実験3の結果をまとめてみよう。 <p>AB間と $\begin{pmatrix} CD \\ DF \\ GD \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} CE \\ EF \\ HD \end{pmatrix}$</p> <p>C D間と $\begin{pmatrix} CG \\ GD \end{pmatrix}$ $\begin{pmatrix} CH \\ HD \end{pmatrix}$</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 回路の2点間とその間の電圧の関係はどうなっているでしょう。 ・ 電熱線の長さとその両端の間の電圧の関係はどうでしょう。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電圧…電気を流そうとするはたらき ・ 乾電池などの電源に生じている。 ・ 【実験3】  <p>AB = CD + DF = CE + EF CD = CG + GD = CH + HD</p> <p>$V = V_1 + V_2 + V_3$</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ OHP⑦のため池のモデルを参考にさせる。
<p>3. 電圧を変えると、電流はどう変わるか。</p> <p>オームの法則</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電流と電圧を、それぞれ別々に調べてきましたが、これらの間には、どんな関係があるだろうか ・ 電圧をいろいろに変えて、電流がどう変わるか調べよう。 ・ 電圧の大きさを変えるには、どうしたらいいだろうか。 ・ 電熱線にかけた電圧を変えると電流はどのように変化するか調べてみよう。 ・ 実験4で書いたグラフから、1つの電熱線では電流は、電圧に比例するといえていいだろうか。 ・ kが大きいということは、どういうことだろうか。 ・ 普通は、流れやすさを使わないで、流れにくさ(抵抗)を使います。抵抗をRとすると、グラフの傾きkは、どう表わされるでしょうか。 ・ $I = \frac{E}{R}$の関係をオームの法則といえます。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 電熱線の長さを変えると電圧が変わる。  <ul style="list-style-type: none"> ・ 【実験4】 ・ 電圧の大きさを覚えて電流を測定する。 ・ 電圧を横軸に、電流を縦軸にとってグラフを書く。 <p>$I = kE$ { E: 電圧 I: 電流 k: 比例定数</p> <p>k: 電流の流れやすさ $k = \frac{1}{R} = \frac{1}{\frac{E}{I}}$ $I (\text{アンペア}) = \frac{E (\text{ボルト})}{R (\text{オーム})}$ オームの法則</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 場合によっては、この方法は教師が与えてやってもよい。  <ul style="list-style-type: none"> ・ OHP⑧
<p>抵抗の求め方</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 【実験4】のそれぞれの電熱線の抵抗を計算で求めてみましょう。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ オームの法則から $R = \frac{E}{I}$ 	
<p>・ 抵抗の長さ、太さ、質によるちがひ</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 100V用と300V用の電熱線は、長さや太さにちがひがあるが、電熱線の長さ、太さ、質によって抵抗の大きさはどうか。 ・ 水の回路で考えて、予想してみよう。 ・ 予想を確かめるには、どうしたらよいか、方法を考えてみよう。 ・ それぞれについて、電圧と電流を測定し、抵抗を計算して確かめてみよう。 	 <ul style="list-style-type: none"> ・ 長いほど流れにくい・太い方が流れやすい ・ 質によってちがう ・ 長さ 2倍、3倍……にして ・ 太いものと細いもの(ニクロム線) ・ ニクロム線と鉄線(太さ、長さは同じ) <ul style="list-style-type: none"> ・ 【実験5】 	<ul style="list-style-type: none"> ・ OHP⑨
<p>・ 部分抵抗と全抵抗の関係</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 【実験1】と【実験3】から、それぞれの抵抗の部分で、オームの法則が成り立っているだろうか。 ・ 電流と全体の電圧との間にオームの法則が成り立つか。また全抵抗と各抵抗の関係はどうか。 ・ 抵抗は長さによってちがうことと対応しているか。 	<p>実1  実3 </p>	<ul style="list-style-type: none"> ・ 教科書と同じ

研究3	<ul style="list-style-type: none"> 抵抗を並列につないだ回路について、オームの法則は成り立つか。また全抵抗と部分抵抗の関係はどうか。 	<p>全抵抗 = 各抵抗の和</p> $R = R_1 + R_2 + R_3$ $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$	
4. 同じ物体の抵抗の値はつねに一定か	<ul style="list-style-type: none"> 抵抗を豆電球にして、同じように電圧を変化して、電流を測定してみよう。 グラフが直線にならないのはなぜだろうか。どんな原因が考えられるでしょうか。 鉄線を熱して、電流と電圧を測定し、抵抗を計算して確かめよう。 物体の抵抗の値は、物体の長さや、断面積などの他に、温度によっても変化します。 	 <p>[実験6]</p>  <ul style="list-style-type: none"> グラフが直線にならない。 長くつけていると豆電球が熱くなると関係があるのではないか。 [実験7] 抵抗の値が一定でなく、温度が高くなると大きくなる。 	

2.4 各学級間の比較

2.4.1 授業前の各学級

研究授業に使用した4個学級は学級編成に際して、ほぼ等質に分けられているが、さらに念のため前期末までの理科の成績と知能偏差値とを比較した。第1表および第3表にこれらの成績と分散分析の結果を示す。いずれも有意差は認められない。

第2表A 学習前の理科の成績

学級	人数	和	平方和	平均	標準偏差
統制 a	43	2482	153440	57.02	15.57
統制 b	44	2362	136646	53.68	15.13
実験 a	45	2611	161045	58.02	14.73
実験 b	45	2523	152495	56.07	15.84

第2表B 学習前の理科の成績の分散分析

	平方和	自由度	平均平方	F
級間	523.42	3	174.47	0.74
級内	40613.97	173	234.76	
全体	41137.37	176		

第3表A 知能偏差値

学級	人数	和	平方和	平均	標準偏差
統制 a	45	2908	190160	64.62	7.13
統制 b	43	2675	169453	62.21	8.51
実験 a	44	2811	183305	63.89	9.30
実験 b	44	2716	170110	61.73	7.56

第3表B 知能偏差値の分散分析

	平方和	自由度	平均平方	F
級間	248.40	3	82.80	1.24
級内	11460.85	172	66.63	
全体	11709.25	175		

2.4.2 授業後の各学級

研究授業後には総合的な終末テストを行って、各学級間の比較をした。その内容を付表1に示す。

また、モデルを使用したことが、どの程度思考の援けとなったかを判定するために意識調査を行った。その内容を付表2に示す。

2.4.3 5カ月後の各学級

モデルを使用した効果が授業直後だけでなく、いつまでその効果が持続しているかを調査するために、5カ月後に把持テストを実施した。テスト内容は終末テストと全く同じで付表1のとおりである。

III 調査の結果および考察

3.1 終末テストの各学級の比較

3.1.1 終末テストの総合成績の比較

終末テストは一応指導した内容の全体の理解度を調べようとしたものである。61の小問から成るが、1問を1点として総合点を求め、各学級間の比較を行った。

第4表aに終末テストの成績、第4表bにこれを分散分析したものを示す。平均値は実験学級の方がやゝ高く分散が小さくなっているが、有意差は認められない。

第4表A 終末テストの成績

学級	人数	和	平方和	平均	標準偏差
統制 a	39	1557	66029	39.92	10.09
統制 b	42	1687	72751	40.17	11.03
実験 a	45	1879	82351	41.76	9.41
実験 b	41	1763	78977	43.00	8.90

第4表B 終末テストの成績の分散分析

	平方和	自由度	平均平方	F
級間	254.98	3	84.99	0.87
級内	15918.91	163	97.66	
全体	16173.89	166		

3.1.2 終末テストの個々の成績の比較

テスト問題の中には正答率がひじょうに高いものが多

く含まれていて、総合的には学級間の差があらわれにくいと考えられるので、個々の問題や類似した問題に分類して比較した。第5表はこれを示す。

第5表 終末テストの各問、問題群の成績と χ^2 検定

実験学級			統制学級			χ^2	
問題	正解	(正解率)	正解	(正解率)			
1	72	84	68	84	0.03		
2	69	80	67	83	0.05		
3	72	84	67	83	0.00		
4	85	99	73	90	*4.62		
5	82	95	75	93	0.18		
6	83	97	77	95	0.01		
7	84	98	80	99	0.00		
8	76	88	76	94	0.92		
9	84	98	75	93	1.39		
A群計			707	91	658	90	0.41
10	84	98	79	98	0.20		
11	82	95	77	95	0.02		
12	82	95	77	95	0.08		
13	69	80	54	67	3.29		
14	67	78	49	61	*5.17		
15	68	79	60	74	0.34		
B群計			452	88	396	31	*6.73
16	82	95	76	94	0.01		
17	81	94	79	98	0.48		
18	84	98	77	95	0.24		
19	58	67	40	49	*4.89		
20	52	61	42	52	0.93		
21	44	51	32	40	1.84		
22	46	52	32	40	2.70		
C群計			447	74	378	68	*7.73
23	32	37	34	42	0.22		
24	33	38	22	27	1.89		
25	31	36	24	30	0.51		
26	32	37	27	33	0.13		
27	71	83	66	82	0.00		
28	51	59	52	64	0.24		
29	13	15	10	12	0.09		
30	13	15	6	7	1.75		
31	44	51	36	44	0.51		
32	48	56	37	46	1.33		
33	73	85	72	89	0.29		

実験学級			統制学級			χ^2	
問題	正解	(正解率)	正解	(正解率)			
34	48	56	40	49	0.46		
35	70	81	63	78	0.15		
36	37	43	28	35	0.92		
D群計			596	50	517	46	3.43
37	85	99	80	99	0.45		
38	79	92	73	90	0.01		
39	81	94	77	95	0.01		
40	81	94	66	82	*5.24		
41	38	44	38	47	0.04		
E群計			364	85	334	82	0.57
42	36	42	37	46	0.12		
43	56	65	50	62	0.09		
44	31	36	35	43	0.62		
45	31	36	35	43	0.62		
F群計			154	45	157	48	0.77
46	76	88	63	78	2.64		
47	88	62	62	77	3.28		
48	74	86	62	77	1.90		
G群計			226	88	187	77	*9.06
49	32	93	65	80	*4.88		
50	69	80	62	77	0.15		
51	58	67	52	64	0.08		
52	67	78	64	79	0.00		
H群計			274	80	243	75	1.81
53	69	80	64	79	0.00		
54	5	6	4	5	0.01		
55	71	83	61	75	0.92		
56	3	3	6	7	0.61		
57	3	3	6	7	0.60		
I群計			151	35	141	35	0.00
58	73	85	61	75	1.85		
59	70	81	57	70	2.21		
60	63	73	54	67	0.78		
61	65	76	61	75	0.02		
J群計			271	79	233	72	*3.88

正解率の数字に付した。印は実験学級と統制学級とを比較して正解率の高いものである。一見して解るように、実験学級の方がその数があるに多い。(小問で40:16, 問題群で8:1)

各小問および問題群について、正解率に有意差があるか否かを検定するため、各欄ごとに χ^2 を求めた。その結果有意差のあるものを*印で示した。B, C, G群は1%水準で有意差があり、J群は5%水準で有意差がある。また小問では問題4, 14, 19, 40, 49は5%水準で有意差がある。いずれの場合も実験学級の方が正解率が高い。したがって、モデルを利用した学級の方が有利といえる。

正解率の高いものは次のような内容である。

1. キルヒホッフの第2法則 ($i=i_1+i_2$) の理解(指導内容2)問題4, 14, B群がこれに相当する。
2. キルヒホッフの第1法則 ($V=V_1+V_2$) の理解(指導内容3)問題19, C群がこれに相当する。
3. 電圧と電流の関係のグラフから抵抗を求める。(指導内容8)問題40, G群がこれに相当する。
4. オームの法則の定性的理解(指導内容6)問題49, J群がこれに相当する。

3.2 学習後の意識調査の比較

意識調査は各々の指導内容がよくわかったか、わから

なかったか、実験がおもしろかったか、おもしろくなかったなどを調査した。各質問の回答を実験学級と統制学級とに分けて集計した。第6表はこれを比較したものである。 χ^2 検定の結果両学級の回答数に有意差がみられるものは質問7のみで、その他には有意差は認められない。

第6表 意識調査の回答

質問	実験学級				統制学級				χ^2
	ア	イ	ウ	エオ 無答	ア	イ	ウ	エオ 無答	
(1)	75	0	12	— — —	69	2	9	— — —	2.39
(2)	57	11	19	— — —	63	4	13	— — —	4.41
(3)	76	1	10	— — —	71	5	6	— — —	3.69
(4)	56	3	27	— — 1	57	7	16	— — —	5.14
(5)	66	10	11	— — —	62	6	12	— — —	0.88
(6)	49	2	36	— — —	40	2	38	— — —	0.67
(7)	60	6	21	— — —	49	1	30	— — —	*5.99
(8)	73	2	11	— — 1	65	5	8	— — 2	2.29
(9)	73	2	12	— — —	68	4	8	— — —	1.35
(10)	62	6	18	— — —	63	3	13	— — 1	2.60
(11)	34	13	40	— — —	35	20	25	— — —	4.68
(12)	26	15	46	— — —	25	6	49	— — —	3.68
(13)	12	54	9	1 10 1	8	45	11	1 15 —	3.53
(14)	6	31	18	8 24 —	5	26	22	3 24 —	2.91
(15)	35	31	21	— — —	29	24	27	— — —	1.91

質問7はオームの法則がよくわかったか。という質問で実験学級の方にわかったという者が多い。前節の理解のテストではオームの法則以外にも実験学級の方が優れているものがあるが、生徒の意識の中にはこれが現われていない。このことは、モデルの使用が思考を援けて理解を深めることができても、本人がこれを意識していないということであり、これを意識させるような指導をすれば、もっと積極的にモデルを使用した思考の展開が可能と思われる。

3.3 把持テストの各学級の比較

3.3.1 把持テストの総合成績の比較

5ヵ月後に実施した把持テストの総合点について各学級の成績を比較したものを第7表に示す。実験学級の方が平均値がやや高く、分散も小さくなっているが、分散分析の結果は有意差が認められない。

3.3.2 把持テストの個々の成績の比較

総合成績で有意差のない原因が、終末テストと同様に個々の問題に正答率の高いものが含まれていると考えられるので、個々の問題や問題群に分類して比較した。第8表にこれを示す。

第7表A 把持テストの成績

学級	人数	和	平方和	平均	標準偏差
統制 a	40	1839	89199	45.93	11.13
統制 b	43	1910	88656	44.42	9.53
実験 a	45	2205	111223	49.00	8.50
実験 b	43	1999	95929	46.49	8.45

第7表B 把持テストの成績の分散分析

	平方和	自由度	平均平方	F
級間	480.77	3	160.26	1.80
級内	14827.98	167	88.79	
全体	15308.75	170		

明らかに終末テストに比べれば各問の正解率は上昇している。実験学級も統制学級もともに授業後も学習効果が継続していると考えられる。

実験学級と統制学級とを比較すれば、次のような傾向がみられる。

1. 各小問の正解率は○印で示されるように、実験学級が高いものがほとんどであるが、 χ^2 検定の結果、有意差のあるものは問38と問58のみである。この両者とも終末テストでは差がなく、把持テストで新しく差が現われたものである。問38は電圧と電流との関係グラフから抵抗値を計算するものであり、問58は電圧が等しいときの電流と抵抗の関係を問うたものである。いずれもオームの法則の理解のテストである。

2. 問題群の比較では、A, B, I, J群を除く他の問題群で有意差がみられ、いずれも実験学級の方が優れている。差の現われなかったA, B群は指導内容2のキルヒホッフの第2法則に関するもので、どちらも正解率が高く、指導方法の如何に関係なく、十分理解されたことを表わしている。

3. I, J群は指導内容9の長さや太さの変化によって、抵抗値の変化することの理解である。モデルの使用効果が現われていない。このモデルは不適切とは思われないので、指導の方法をくふうする必要があるものと考えられる。I群については質問が断面積でなく、太さで問うているので問題の不備とも考えられる。

4. C, G群は終末テストも把持テストも差があり、指導後も学習効果が持続していると考えられる。C群は指導内容5のキルヒホッフの第1法則に関するもの、G群は指導内容8の電圧と電流のグラフの直線の傾きから抵抗値を求めるものである。

5. D, E, F, H群は終末テストでは差がなく、把持テストで新しく差が現われたものである。これらは学

第8表 把持テストの各問、問題群の成績と χ^2 検定

実 験 学 級						実 験 学 級														
問題 正解 (正解率)			統制学級 正解 (正解率)			問題 正解 (正解率)			統制学級 正解 (正解率)											
1	83	94	81	0.98	0.48	34	51	0.58	37	45	2.55									
2	80	92	79	0.95	0.63	35	81	0.92	74	89	0.15									
3	83	94	80	0.96	0.08	36	45	0.51	35	42	1.04									
4	88	0.100	82	99	0.00	D群計					759	0.62	647	56	**8.42					
5	86	98	81	98	0.20	37	86	0.98	78	94	0.72									
6	88	0.100	80	96	1.48	38	86	0.98	72	87	*5.85									
7	87	0.99	81	96	0.00	39	88	0.100	80	96	1.48									
8	87	0.99	80	96	0.32	40	86	0.98	75	90	2.98									
9	83	94	79	0.95	0.01	41	48	0.55	43	52	0.04									
A群計						765	97	723	97	0.01	E群計					394	0.90	348	83	*5.54
10	87	0.99	81	98	0.00	42	56	0.64	49	59	0.21									
11	81	92	80	0.96	0.78	43	73	0.83	62	75	1.29									
12	86	98	81	98	0.20	44	53	0.60	44	53	0.64									
13	73	83	73	0.88	0.50	45	52	0.59	40	48	1.64									
14	72	82	72	0.87	0.45	F群計					234	0.66	195	59	*4.04					
15	74	84	71	0.86	0.00	46	85	0.97	74	89	2.57									
B群計						473	90	458	0.92	1.46	47	85	0.97	75	90	1.82				
16	86	0.98	78	94	0.72	48	79	0.90	72	87	0.14									
17	87	0.99	80	96	0.32	G群計					249	0.94	221	89	*4.47					
18	87	99	82	99	0.45	49	78	0.88	68	82	1.05									
19	64	0.72	52	63	1.55	50	77	0.87	69	83	0.35									
20	66	0.75	58	70	0.33	51	67	0.76	52	63	3.06									
21	56	0.63	44	53	1.57	52	69	0.78	56	67	2.07									
C群計						502	0.81	439	76	*5.91	H群計					291	0.82	245	73	**7.42
22	56	0.63	45	54	1.20	53	74	0.84	67	81	0.14									
23	63	0.72	47	57	3.54	54	8	0.9	6	7	0.03									
24	47	0.53	42	51	0.05	55	77	0.87	71	86	0.02									
25	45	0.51	32	38	2.25	56	36	0.41	26	31	1.31									
26	46	0.52	40	48	0.14	57	32	0.36	25	30	0.49									
27	87	0.99	77	93	2.64	I群計					227	0.52	195	47	1.63					
28	69	0.78	61	73	0.33	58	85	0.97	71	86	*5.21									
29	14	16	15	0.18	0.00	59	77	0.87	67	81	1.01									
30	12	14	13	0.16	0.03	60	70	0.80	60	72	0.87									
31	53	60	51	0.61	0.00	61	78	89	78	0.94	0.93									
32	63	0.72	52	63	1.17	J群計					310	0.88	276	83	3.00					
33	83	0.94	71	86	2.76															

習時にはモデルの使用の利点がさほど内容の理解に貢献しなかったものが、指導後の学習で効果を発揮したものと考えられる。D群は指導内容6のオームの法則に関するもの、E、H群は指導内容7、8のグラフより電流や抵抗を求めるもの、F群は指導内容4のキルヒホッフの第1法則と、指導内容6のオームの法則を複合した内容である。

IV 結 論

4.1 モデルについて

新しくくふうした電気回路のモデルは、従来使用されている水の閉回路の抵抗に相当する部分のパイプ中に綿などを詰めて、流れを極めて緩やかにし、電池や発電機の代わりに大きなタンクやピストンを用いた。このように改めれば次のような利点がある。

1. 流れは緩やかであるから、タンクの水は勢いよく流れないで、タンクからの圧力（押す力と引く力）が末端の水を動かす力となる。従ってタンクの水が押されて、タンクの出口付近にあって、末端のパイプでは別の水が流れることになる。これは電子の流れに似ている。

2. 圧力の伝わる速さが電気伝わる速さに対応する。圧力の伝達では、曲った回路や分岐点で流れが乱れることはない。したがって定常流では、直列回路のどこでも流量（単位時間に流れる量）は一定であり、同じ材質（詰めた綿の密度に相当）のパイプでは流量は長さに反比例し、断面積に比例することになる。

3. 電気回路の開閉と止水栓の開閉とはことばは逆で開が閉に閉が開になる不便はある。電気回路で導線を切り離すことは、水の回路では水を漏らさないようにパイプに栓をして切り離すことに相当させる。このようにし

て、回路が連結されていないときは、パイプ中の水は直ちに全回路で停止し、電気回路と一致する。

4.2 指導効果について

4.2.1 学習直後の終末テストによる判断

正解率の高い問題を含んでいたためか、総合成績では指導の効果が判然としなかったが、小問や問題群に分類して分析した結果、次の指導内容でモデル使用の効果がみられた。

1. キルヒホッフの第2法則の理解
2. キルヒホッフの第1法則の理解
3. 電圧と電流の関係グラフから抵抗値を求めること
4. オームの法則の定性的理解

4.2.2 学習後の意識調査による判断

ほとんどの指導内容について、「よくわかった」か「わからなかった」という意識に差はみられないが、オームの法則についてのみ、モデルを使用した学級に「よくわかった」と考えている者が多い。

以上の結果からモデルの使用は学習効果を向上させることができる。

4.2.3 5カ月後の〇持テストによる判断

終末テストと同様、総合的にはモデル使用の効果はみられないが、各小問や問題群に分類して分析した結果、次のような結論が得られた。

1. 終末テスト後もモデル使用の効果が持続しているもの、
 - (1) キルヒホッフの第1法則の理解
 - (2) 電圧と電流の関係グラフから抵抗値を求める。
2. 把持テストで新しく効果があらわれたもの、
 - (1) オームの法則に関する理解
 - (2) グラフより電流や抵抗を求める
 - (3) オームの法則とキルヒホッフの第1法則とを組み合わせた理解
3. モデル効果が判然としないもの
 - (1) キルヒホッフの第2法則に関する理解（ほとんどの者が正解している。）
 - (2) 抵抗値は長さや太さで変化すること（指導方法や問題の不備が考えられる。）

以上の結果から、モデル使用の効果は、単に学習中のみならず、学習後も継続していると考えられる。

学習へのモデルの使用は単に理解を深めるというだけでなく、モデルを駆使して思考するという、科学の方法の会得にある。今回の調査では、その効果を理解のテストによって調査した。その結果、期待以上の効果があったと判断できる。

おわりに

今回の調査ではモデルの使用効果を結果としてあらわれる内容の理解のテストで判断した。思考力育成の上でのモデルの活用は、モデルと実際の現象との対応の仕方とか、モデルを修正しながら思考を展開する様子など、もっと直接的な効果を測定する必要がある。今回までの調査でモデルを学習指導に活用することの効果が明確にされたので、今後は直接的なモデルの効果を研究しなければならない。

本研究に先立って、類似の調査を島根県仁多郡仁多中学校で実施した。このときは、われわれのくふうしたモデルや指導法に不備があり、しかもわれわれの意図する内容が担当教官に十分伝達できず、終始熱心に研究し、指導して下さったにもかかわらず、十分なデータを得ることができなかった。今回の研究はそのときのデータを分析し、不備を補って実施したものである。前回の研究授業を担当し、貴重なデータを提供していただいた同校及び担当教諭、さらにこれを卒業研究としてデータの分析を担当した柘植喜代子嬢に対し、感謝の意を表した。

要 約

熱や電気のような抽象的現象は水のような具体的モデルを使用することによって容易に理解される。従来、電気のマクロ的現象のモデルには水の閉回路が使用されている。われわれはこのモデルを修正して新しいモデルをくふうした。このモデルを使用して中学校2年を対象に教育実験を実施し、その効果を調査した。

授業後の終末テストと把持テストを統計的に分析して、著しい効果のあることが判明した。

参 考 文 献

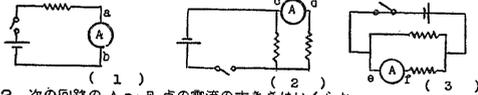
1. 井藤芳喜“理科教育におけるモデルの価値と利用”
島根大学教育学部紀要（教育科学）3 p.84-95
(1970)
2. 井藤芳喜“正しい熱概念を得る熱伝導の実験”
島根大学教育学部紀要（教育科学）9 p.35-42
(1975)
3. 井藤芳喜・首藤恵利・柘植喜代子“モデルを利用した熱教材の学習とその効果”
島根大学教育学部紀要（教育科学）11 p.45-54 (1977)
4. 上掲1 p.90-91

(昭和53年9月11日受理)

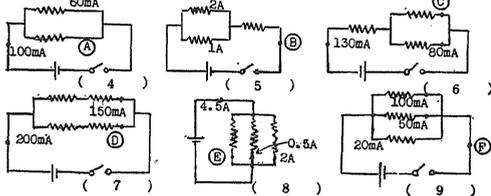
付表 1

2年 組 番 氏名 _____

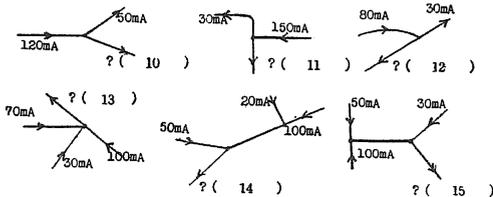
1. 次のような回路に流れる電流の大きさを調べるために、回路の二箇所を電流計をつなぎました。電流計の⊕の端子は、どちらか。記号で答えよ。



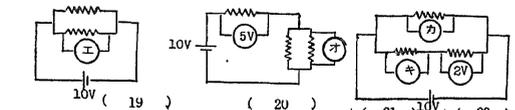
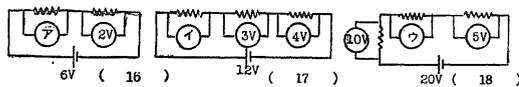
2. 次の回路の A ~ F 点の電流の大きさをいくらか。



3. 次の図は、いろいろな回路の一部を示したものです。矢印の方向へ電流が流れています。? のところの電流の大きさをいくらか。



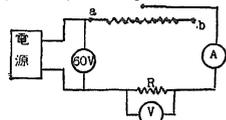
4. 次の各回路の A ~ キのそれぞれの抵抗にかかる電圧を求めよ。



5. 左図のような回路がある。いま、a ~ h の中から、2点を選んで、電圧計の⊕、⊖の端子をそれぞれにつないだ。a と h は 20V、g と h は 12V であった。次の問いに答えよ。

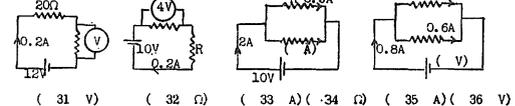
- (1) a と g を電圧計につなぐと、目盛はいくらになるか。(23)
- (2) b と c の間の電圧は 2V だった。c と d の間の電圧はいくらか。(24)
- (3) c と h を電圧計につなぐと、目盛はいくらになるか。(25)
- (4) e と f の間の電圧はいくらか。(26)

6. 右の図のような回路について、次の問いに答えよ。



- (1) c 点と a 点をつないだとき、Ⓐ が 2A を示した。R の抵抗の大きさをいくらか。(27)
- (2) c 点と b 点をつないだら、Ⓔ が 30V を示した。このときの Ⓐ はいくらか。(28)
- (3) もし、c 点と a b の中点をつないだら、Ⓐ と Ⓔ はいくらになるか。Ⓐ (29) Ⓔ (30)

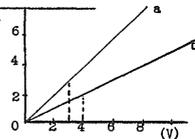
7. 次の回路の電流、電圧、抵抗を求めよ。



- (31 V) (32 Ω) (33 A) (34 Ω) (35 A) (36 V)

2年 組 番 氏名 _____

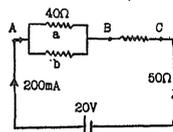
8. 右のグラフは a, b 2 つの抵抗にかかる電圧をいろいろ変えて、それぞれの抵抗に流れる電流の大きさを測定し、その関係をグラフに表わしたものである。



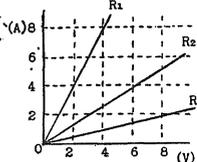
- (1) a の抵抗で電圧が 3V のとき、電流の大きさをいくらか。(37)
また、a の抵抗の大きさをいくらか。(38)
計算式 _____
- (2) b の抵抗で電圧が 4V のとき、電流の大きさをいくらか。(39)
また、b の抵抗の大きさをいくらか。(40)
計算式 _____
- (3) a の直線と b の直線を比べると、a の方が傾きが大きい。直線の傾きは何を表わすか。(41)

9. 右の回路を見て、次の問いに答えよ。

- (1) A B 間の電圧はいくらか。(42)
式 _____
- (2) B C 間の電圧はいくらか。(43)
式 _____
- (3) a の抵抗に流れる電流の大きさをいくらか。(44)
式 _____
- (4) b の抵抗の大きさをいくらか。(45)
式 _____



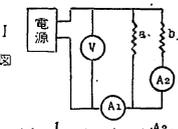
10. 右のグラフは、R₁ R₂ R₃ の 3 つの抵抗について、それぞれの電圧と電流の関係をグラフにしたものである。次の問いに答えよ。



- (1) もっとも抵抗が大きいのはどれか。(46)
- (2) もっとも抵抗が小さいのはどれか。(47)
- (3) R₂ の抵抗の大きさをいくらか。(48)

式 _____

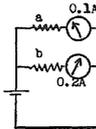
11. ニクロム線 a, b を使って、I 図のような回路を作った。電源の電圧をいろいろ変えたときの、電流計 Ⓐ、Ⓑ の示す値と、電圧計 Ⓔ の示す値の関係は II 図のグラフのようになった。



- (1) 電圧計 Ⓔ が 2V を示しているとき、電流計 Ⓐ の値はいくらか。(49)
- (2) 電圧計 Ⓔ が 2V を示しているとき、ニクロム線 B を流れる電流の大きさをいくらか。(50)
- (3) (2) のとき、ニクロム線 a を流れる電流の大きさをいくらか。(51)
- (4) II 図の Ⓐ のグラフで、直線の傾きを求めると 10 になるが、これは何を表わしているか。次の中から 1 つ選んで記号で答えよ。(52)
ア. ニクロム線 a の抵抗の値 イ. ニクロム線 b の抵抗の値
エ. ニクロム線 a と b を直列につないだ全体の抵抗
オ. ニクロム線 a と b を並列につないだ全体の抵抗

- 12. ① 太さの同じ抵抗線の長さを 2 倍にすると、抵抗値は何倍になるか。(53)
- ② 長さの同じ抵抗線の太さを 2 倍にすると、抵抗値は何倍になるか。(54)
- ③ 直径 1mm、長さ 1m のニクロム線の抵抗が 20Ω であった。
④ 直径 1mm、長さ 2m のニクロム線の抵抗はいくらか。(55)
⑤ 直径 2mm、長さ 1m のニクロム線の抵抗はいくらか。(56)
⑥ 直径 2mm、長さ 2m のニクロム線の抵抗はいくらか。(57)

13. 右の図のように電流が流れている。



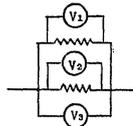
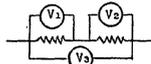
- ① a の抵抗の大きさと b の抵抗の大きさとどちらが大きいか。(58)
- ② a と b が同じ太さの抵抗であれば、どちらが長い。(59)
- ③ a と b の抵抗の長さが同じとき、断面積はどちらが何倍広い。(60) が太い。(61) 倍広い。

付表 2

2年__組__番 氏名 _____

次の各問いについて、ア、イ、ウ・・・の中から、あなたの考えを選んで、マークカードに記入せよ。

- (1) 直列回路では、回路のどこでも電流の大きさは等しいということがわかったか
ア. わかった イ. わからない ウ. どちらともいえない
- (2) 右の図で、A 点に流れ込む電流と、流れ出る電流は等しいということはわかったか。
ア. わかった イ. わからない ウ. どちらともいえない
- (3) 右の図で $V_1 + V_2 = V_3$ になることがわかったか。
ア. わかった イ. わからない ウ. どちらともいえない
- (4) 右の図で、 $V_1 = V_2 = V_3$ になることがわかったか。
ア. わかった イ. わからない ウ. どちらともいえない
- (5) 抵抗にかかる電圧を高くすると、電流が大きくなるということがわかったか。
ア. わかった イ. わからない ウ. どちらともいえない
- (6) 電圧と電流の大きさから、抵抗の大きさを計算することができるか。
ア. できる イ. できない ウ. 自信がない
- (7) オームの法則はわかったか。
ア. わかった イ. わからない ウ. どちらともいえない



- (8) 抵抗の長さを変えると、抵抗値が変わることがわかったか。(電熱線)
ア. わかった イ. わからない ウ. どちらともいえない

- (9) 電熱線の太さが変わると、抵抗値が変わることがわかったか。
ア. わかった イ. わからない ウ. どちらともいえない

- (10) 同じ長さ、同じ太さの鉄とニクロム線では、抵抗値がちがうことがわかったか。
ア. わかった イ. わからない ウ. どちらともいえない

- (11) 電気の実験はおもしろかったか。
ア. おもしろかった イ. おもしろくなかった ウ. どちらともいえない

- (12) 電気の実験はよくわかったか。
ア. わかった イ. わからない ウ. どちらともいえない

- (13) 他の内容と比べて「電流回路」の学習は、わかりやすかったか。むずかしかったか。
ア. ひじょうにむずかしい イ. むずかしい ウ. わかりやすい
エ. ひじょうにむずかしい オ. どちらともいえない

- (14) 他の内容と比べて「電圧回路」の学習はおもしろかったか。
ア. ひじょうにおもしろい イ. おもしろい ウ. おもしろくない
エ. まったくおもしろくない オ. どちらともいえない

- (15) これから先、もっと電気について勉強したいと思うか。
ア. 思う イ. 思わない ウ. どちらともいえない