表現する力を高める中学校理科の授業づくり
―イメージを具体的に表現することによって―

白浜町立富田中学校
教諭　桑　本　和　成

【要旨】
本研究では，中学校理科の学習において自分の考えや意見を表現することに着目する授業づくりを構想した。具体的には，中学校第２学年の「電気の世界　第１章　電流の性質」の授業において，単元導入時から電子の概念を取り入れ，電流を電子の流れで考えさせ，その流れについてのイメージを具体的に図で表現させた。その結果，問題解決の過程で，思考する際に多くの手がかりが得られ，電流・電圧・抵抗の概念を理解する上で有効であることが分かった。

【キーワード】
イメージ図　電子の流れ　オームの法則　抵抗モデル

１　主題設定の理由
（１）実践研究の目的
本研究の目的は，中学校理科の学習における問題解決の過程で自分の考えや意見を表現する活動として，自分のイメージを具体的に表現することに着目した授業を構築することである。和田・森本（2011）によると，科学的概念の構築は，子どもの様々な形態のイメージを複合的に機能させ，映像やテキストとの関連付けを深めることによって達成されるとしている。また，イメージを生徒自ら具体的に表現することで，思考を深める際に知識のつながりを促進し，科学的な思考力・表現力の向上につながることを示している。

たとえば，水分子を思い浮かべる時，折れ線形の構造として示されたイメージコード（モデル図）と，それを「H_2O」と表記した言語コード（化学式）の両方で表現すること（**図１**）によって，モデル図と化学式の二重の手がかりを得られることになり，理解した内容を知識として定着することができる。その結果，水分子に関わる知識の再生を要する問題を解く際の有効的な手立てとなり得る。さらに，様々な単元においてもイメージコードと言語コードの二重の手かがりを得ることによって，それらを関連付けたり，積み重ねたりすることで，科学的な思考力や表現力の向上に寄与すると考えられる。

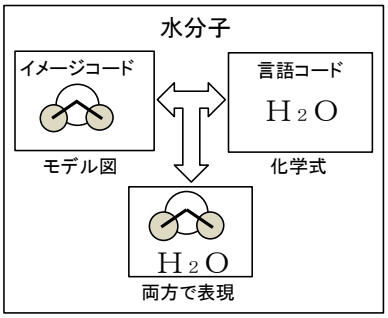


図１　水分子の表現様式

（２）問題意識
藤村（2012）によると，TIMSS調査結果から，教科書と同じような定型的な文章からの空所補充問題における日本の小中学生の正答率は国際的にみて高くなっている。一方，日常的な文脈において要因を探究し理由を説明する問題の正答率は国際平均かそれ以下であり，課題があると指摘している。また，「平成24年度全国学力・学習状況調査（理科）」では，他者の実験方法や考察を検討し改善して説明する問題に課題がみられ，無解答率も高くなっている。このようなことに鑑み，これまでの筆者の授業を振り返ると，学習内容を日常生活と関連付けて考えさせたり，科学的根拠を示して論理的に説明させたりすることに課題があった。例えば，観察・実験の後，観察の視点や実験の目的が十分に理解されないまま，すぐに結果を表にまとめるだけであっ

た。そのため生徒は，実験結果から必要な情報を整理したり，関連付けて思考したりするなど，じっくりと考察することができなかった。その結果，生徒からは「理科の実験は好きだが，内容が分からない」といった声が寄せられる一因になったと考えられる。

森本（2007）も述べるように，理科学習で大切なこととして，結論を記憶するだけでは意味がなく，結論がどのような観察・実験を経て，どのような結果をもとにして出されたのかを理解し，表現できなければならないとしている。このことからも，観察・実験の計画を立てたり考察したりする段階で，自分の考えや意見を表現させることが生徒の理解を深める上で重要であると考えられる。

２　取り上げる単元の概要

（１）単元設定の理由と単元目標

取り上げる単元は，第２学年「第１章　電流の性質」（東京書籍p.134～p.161）である。電気に関する内容は，すでに小学校第３，４，６学年で系統的に学習しているにもかかわらず，中学校では苦手とする生徒が多くみられる。平成24年度全国学力・学習状況調査における領域別正答率（**表１**）を見ても，全国・県・本校ともに物理的領域が最も低く，中でも，電気分野の正答率は，５割を下回っている。電気は，日常生活では欠かすことのできないものである。しかし，電気（電流・電圧・抵抗）の概念は，電子の動きや性質が目に見えないことから理解を困難にしていると思われる。そこで，本研究では，これらの課題を解決するために，回路に流れる電子のイメージを図で表現させることで，本単元内容の理解につなげる。以上のことより，本単元の目標を以下のとおり設定する。

表１　平成 24 年度全国学力・学習状況調査領域別正答率

領域	正答率（%）
物理的分野（電気分野）	45.9（47.4）
化学的領域	56.9
生物的領域	50.7
地学的領域	52.0

電流の正体である電子の存在に気づくとともに，その流れを図で表現することを通して，各点に流れる電流や各部の電圧に規則性を見いだす。また，その際に電気回路をつくり，電流計や電圧計，電源装置などの操作技能を習得しながら，回路の電流や電圧を測定する実験を行う。

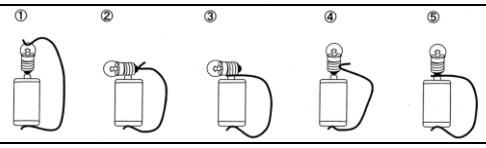
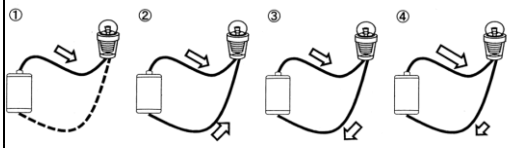
（２）単元計画

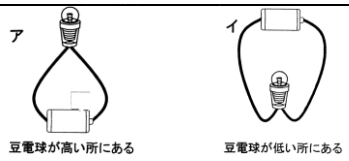
ア　事前調査

単元計画を作成する際に，小学校の既習事項である回路に関して，その定着状況を事前に確認した。確認にあたっては，既習内容を確認するために事前調査問題を作成した（**注１**）。その中で課題が見られた問題（**表２**）を見ると，問２から，豆電球の構造が分かっていないことや回路の意味が十分に理解されていないこと，問３からは，電流は消費されると誤解していること，問４からは，電流は液体のように高いところから低いところに流れると思い込んでいることがわかった。

表２　事前調査問題から課題が見られた問題と正答率

n=110

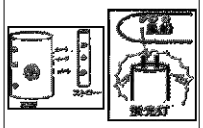
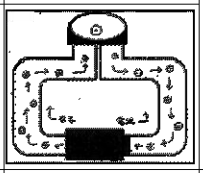
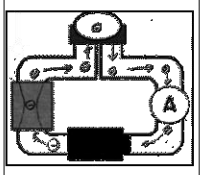
	質問内容	図	正答率
問２	1 本のコードと乾電池と豆電球を使って，豆電球に明かりをつけようと思います。次の①～⑤の中で，豆電球にあかりがつくのはどれだと思いますか。あかりがつくと思うものをすべて選んでください。		17%
問３	コードを通る電流の様子を表しているものは①～④の中のどれでしょうか。 ①＋極から出る電流は，豆電球で使われる。 ②＋極，－極から出る電流は，豆電球で使われる。 ③＋極から出る電流は，豆電球まで行って戻ってくる。 ④＋極から出る電流は，一部豆電球で使われて，－極に戻って来る。		43%

問4④	明るくつくのはア，イのどちらでしょうか。 ア，イとも同じ明るさと思う場合には，ウと答えてください。		44％

イ　単元計画

松村・林・井村（2007）によれば，電流の単元において電子のイメージを取り入れた方が電流や抵抗の概念を身に付けている割合が高いとしている。事前調査の課題をみても，電気の本質である電子の存在に気づかせてから，電流・電圧・抵抗の概念を学んだ方が生徒にとって理解しやすいと考える。しかしながら，電子は見えないために，まずは電子のモデルを提示し，これを使って回路をイメージさせ，その上で電流・電圧・抵抗の概念を図で表現させる（**表３**）。その際，イメージを図で表現しやすいように，「抵抗のモデル」を作成し，そのモデルを組み入れた「回路のモデル」を提示する。

表３　単元計画

次	小単元名	時間	授業のめあて	イメージさせること	表現させた図	主な手立て
第１次	単元導入	第１時	静電気から電流の正体である電子の存在を知る。	電子が流れる様子		
第２次	回路に流れる電流	第２時	様々な回路を使用して電子の流れを知る。	回路の中を電子が流れる様子		
第３次	電流・電圧・抵抗の概念	第３時 第４時	電流・電圧・抵抗の概念を図で表現することができる。	回路の中の抵抗を電子が流れる様子		抵抗のモデル
第４次	オームの法則	第５時	電流と電圧が比例している事がわかる。			抵抗のモデルを組み入れた回路のモデル
		第６時	電流値・電圧値・抵抗値を計算で求める事ができる。	抵抗の中を電子が流れる様子		
第５次	直列回路と並列回路の電流・電圧	第７時	直列回路，並列回路の電流の性質を理解する。			
		第８時	直列回路，並列回路の電圧の性質を理解する。			

３　授業の概要

以下に，イメージを具体的に表現させた授業の概要を示す。なお，第５次は，具体的に図で表現させた場面がないために省略する。

（１）第１次（第１時）　単元の導入

まず，既習事項である原子の性質から原子核と電子のモデルを提示し，電子は自由に動き回れることやーの電気を帯びていることを確認しながら原子の構造を図で表現させた（**図２**）。そこから，静電気の力でストローに空き缶が近づいてくという静電誘導の実験を行った。この後，原子の構造（**図２**）をもとに静電誘導に電子が関わっ

ていることに気づかせ，空き缶が動く理由を図で表現させた（図３）。最後に，静電気でも蛍光灯を光らせることができ，電子の流れが電流の正体であることを確認した（図４）。

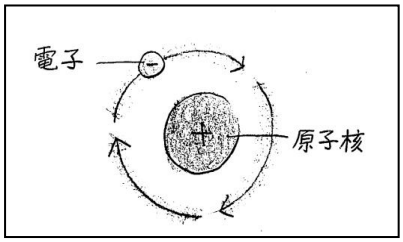


図２　原子の構造

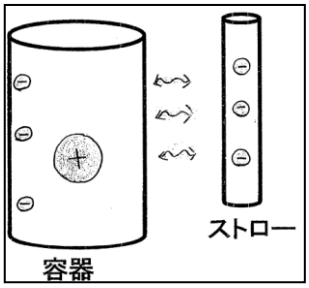


図３　静電誘導実験

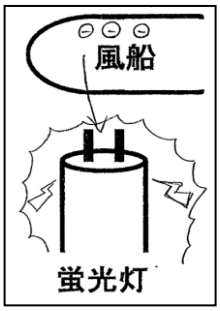


図４　電子が流れる様子

（２）第２次（第２時）　回路に流れる電流

豆電球と乾電池を用いた回路の様々な場所において電流の大きさを測定する実験を行い，回路に流れる電流を図で表現させた（図５）。その上で，電気用図記号を用いて回路図を描かせた。実験では，豆電球と乾電池を組み込んだ回路において，電流の大きさはどこを測定しても一定であることから，豆電球によって電流は消費されないことを確認し，回路を流れる電子でイメージさせた。電子の流れる向きに関しては，乾電池には＋極と－極があること，また，電子は－の電気を帯びていることから，電子が乾電池の＋極に引っ張られることに気づかせた。なお，この時，電流の向きが電子の流れの逆であることの理由についても説明を加えた。この授業は，単元全体の導入にあたり，生徒がイメージを図で描くことに慣れていないため，豆電球と乾電池，電子の通り道である導線をあらかじめワークシートに示し，電子の流れを描かせることとした。

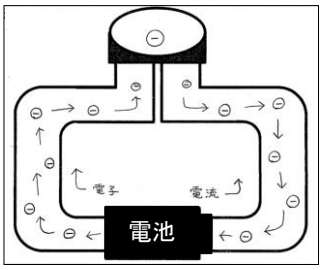


図５　回路を流れる電子の様子

（３）第３次（第３時）　電流・電圧・抵抗の概念

まず，豆電球と乾電池，導線を用いた回路にそれぞれ鉄（クリップ），炭素（シャープペンシルの芯）などを組み込んで，「豆電球の明かりがどうなるか」，「そのときの電流の値はどうなるか」を実験で確かめさせた。鉄も炭素も導体であるが，抵抗値の小さい鉄の方がよく電流が流れ，豆電球も明るくなった。その原因を実験結果や回路に流れる電子の様子から，鉄と炭素に流れる電子の流れを図で表現させた（図６）。電子の流れにくさを意識させることによって，抵抗の概念を形成する手がかりとした。

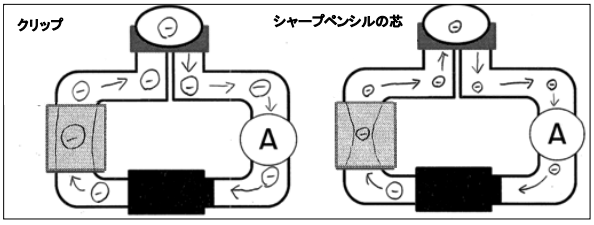


図６　回路の中の抵抗を電子が流れる様子

（４）第４次（第６時）　オームの法則

抵抗に流れる電子のイメージを表すときのルール（図７）を示し，図で表現させ，オームの法則が成立する理由について考えさせた。このルールでは，電子は－の電気を持った粒子という意味でマイナスを丸で囲んだものとし，電圧の大きさを矢印の長さ，電流の大きさを電子の数，抵抗の大きさを丸の数で表すこととした。その後，実際に公式を使って数値を求めて確かめる授業を構成した。

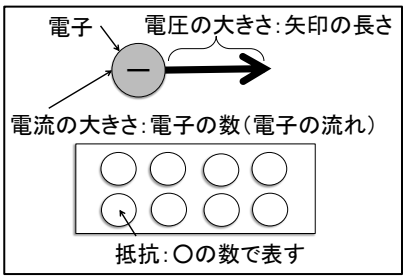


図７　イメージを表す時のルール

4　電子の流れをイメージさせるための工夫

この単元では既習事項の電流に加え，新しい概念である電圧・抵抗について学習する。しかし，電流・電圧・抵抗に関する概念を生徒個人が既習の知識だけでイメージとして表現することは難しいと考えられる。そこで，抵抗のモデル（図８）を提示し，視覚化することによって生徒が理解しやすいように工夫した。ボールを電子に見立て，板の上に杭を貼り付け，ボールの流れを妨げるような，抵抗のモデルを作成した（図９）。抵抗の大きさは杭の数で表し，抵抗が大きい場合は杭の数を多くし，小さい場合は杭の数を少なくした。その実物に，電子に見立てたボールを転がすことで，抵抗は電子の流れを妨げるものであることやその大きさによって流れにくさが変化することを視覚化して捉えられるように工夫した。

また，この抵抗のモデルを組み入れた回路のモデルも作成した（図 10）。これは，ボールを電子，高さを電圧，全体の枠を回路と見立て，これに抵抗のモデルの実物を加えてボールを流すことで，回路全体に電気が流れる様子をイメージしやすくした。このようにモデルを提示することによって，抵抗の大きさによる電子の流れの違いがわかり，授業の中で抵抗を図で表現させやすくなった。

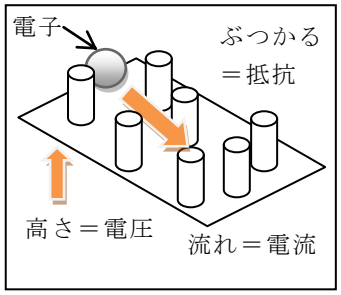


図８　抵抗のモデル

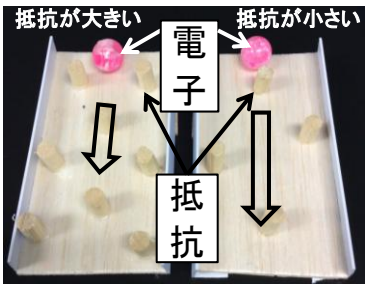


図９　抵抗のモデルの実物

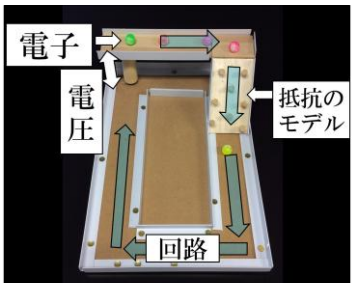


図 10　抵抗のモデルを組み入れた回路のモデル

5　分析と考察

（１）事前・事後調査より

事前調査で行った小学校の既習内容について，再度，事後調査として実施した（表４）。この調査問題の内容については，特に授業で取り上げなかったが，どの問題でも正答率が７割以上と高くなった。

表４　事前・事後調査正答率

	事前調査（%）	事後調査（%）
問１	6	71
問２	17	71
問３	43	77
問４－１	37	81
問４－２	24	86
問４－３	13	90
問４－４	44	91
問４－５	5	80

改善した理由として，問１，問２では，授業で回路の中の抵抗に電子が流れる様子（図６）や抵抗のモデルを組み入れた回路のモデル（図10）から，豆電球が電子の流れる道筋の中に組み込まれているかどうかの判断ができるようになったと考えられる。問３では，授業で回路に流れる電子の流れ（図５）を表現した際，電子は乾電池の－極から出て消費されずに＋極に戻っていくということが定着したと考えられる。問４からは，授業において，回路に流れる電子の流れ（図５）と実験場面で様々な回路を作成し，その電流の値を確かめた実験結果から回路の概念が正しく理解できるようになったと考えられる。

従来の授業では，豆電球と乾電池，導線を用いた回路の配線から，直接，電気用図記号を用いた回路図を描かせていたが，本研究では回路に流れる電子のイメージを一旦図で表現させてから回路図を描かせた（図11）。そうすることで，電流という実体のないものを，電子という具体的なものを示すことで，「回路に電気が流れる」というイメージがしやすくなり，生徒がより具体的に原理を捉えることができるようになったと考えられる。

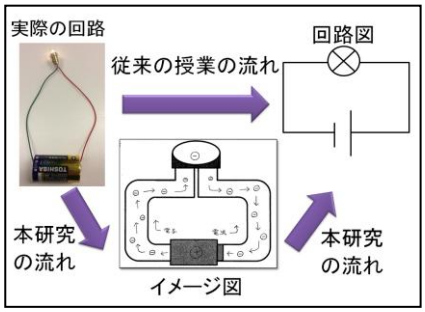


図 11　従来と本研究の授業の流れ

以上のことから，中学校理科電気分野において，イメージを図で表現する学習を行うことで，基礎となる小学校理科の既習内容の理解がより深まったと考えられる。

（２）ワークシートより

第６時では，抵抗に流れる電子のイメージを図で表現させ，オームの法則の関係をイメージ図で確かめる授業を構成した。

具体的には，「電圧１Ｖ，電流１Ａのとき抵抗１Ω」の関係をイメージ図として表す際の電圧の大きさ（矢印の長さ），電流の大きさ（電子の数），抵抗の大きさ（丸の数）をあらかじめ提示し，これを基本のイメージ図とした（図12）。これをもとに抵抗が半分になった時の電流を求める場合（図13）を考えさせた。２つの図を比較すると，まず，抵抗が小さくなっていることから電子が流れやすくなることがわかる。単位時間あたりでみると，２倍の数の電子が通過することから，電子は２倍の速さで流れることになる。よって，電子の数を２個で表し，電流は２Ａになることを導かせた。

このように電流・電圧・抵抗の大きさを意識して図で表現させることで，オームの法則の関係を公式だけでなく，イメージ図からも確かめることができた。授業において，このような考え方でほとんどの生徒がイメージ図からも電流・電圧・抵抗の関係を確かめることができた（図14）。

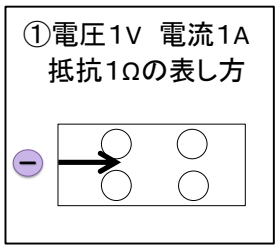


図 12　基本のイメージ

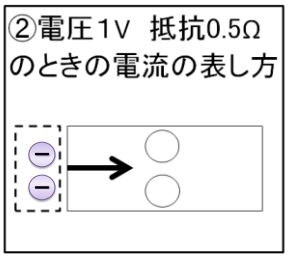


図 13　抵抗が半分になった場合のイメージ図

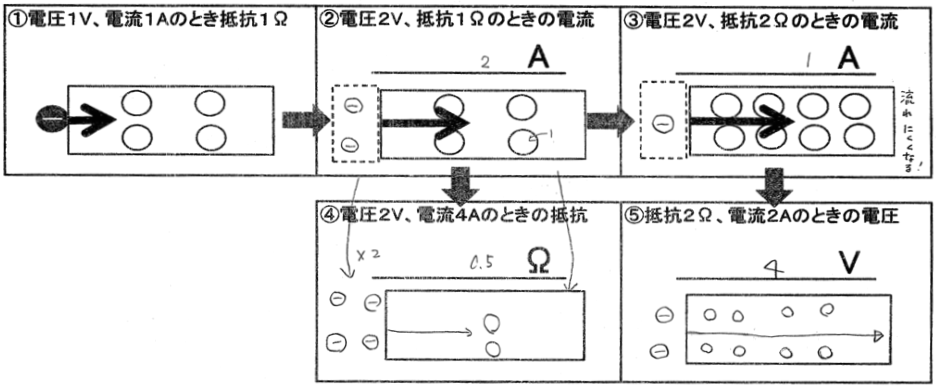


図 14　ワークシートの記入例

６　研究のまとめ

本研究では，まず電子のモデルを提示し，図で表現させた。このことにより，実体のない電流が電子の流れであることがわかり，回路のイメージを図で表現できるようになった。次に抵抗のモデルを示すことで，抵抗が電子の流れを妨げるものであるというイメージを図で表現できるようになった。このように単元を通して，一貫して「電子の動き」についてのイメージを図で表現させた結果，電流・電圧・抵抗の理解がより深まった。単元終了後に行った事後調査に付け加えて，回路のイメージを問うたところ，約７割の生徒が回路に流れる電子のイメージを図で表現することができた。また，今回の授業を受けて，「授業がよくわかる」「わかる」と肯定的に答えた生徒が約８割

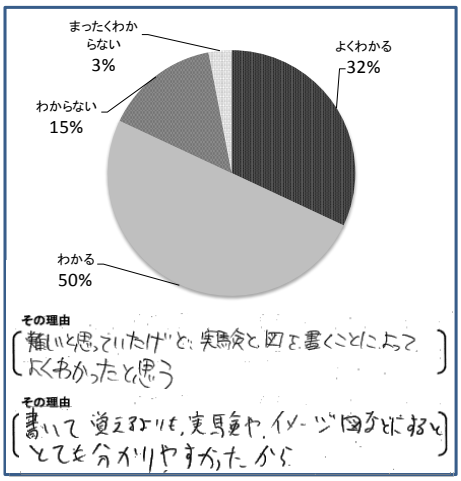


図 15　事後アンケートの感想とその理由の記入例

であった（**図 15**）。その理由として，「難しいと思っていたけど，実験と図を描くことによってよくわかったと思う」「書いて覚えるよりも，実験やイメージ図などにすると，とてもわかりやすかった」などの回答があった。

成果としては，原理を説明するときの理由や根拠を実験の結果からだけではなく，イメージ図からも考えられるようになった。それによって考えるときの手がかりが増え，授業中の予想する場面やまとめる場面でイメージ図を基に話し合いが活発に行われるようになった。事後に行った定期考査でも，同じ電圧で電気抵抗が大きくなると電流が小さくなる理由や根拠を問う問題では，「逆らう力が強くなるから電子が流れにくくなって電流の値が小さくなるから」など約８割の生徒が抵抗に流れる電子（電流）の流れから説明することができた。

課題としては，上記の定期考査の誤答例より，その意味は自分なりに理解しているものの，「抵抗を大きくしたら電子が引っかかって流れにくくなるから」「抵抗して電流を抑えてしまうから」など，「引っかかる」や「抑える」といったモデルを見たままの表現で回答する生徒がいた。授業のまとめでは「電子が流れにくくなる」「電子の動きが妨げられる」と表現していたが，今後，理科で使う用語の意味を正しく理解し，使用できるようにしていきたい。

本研究では，イメージを図で表現させることによって表現する力を高める授業を行った。電流の正体である電子，回路を電子が流れる様子，電流・電圧・抵抗の関係等を，電子の動きで具体的に表現させることによって，電気分野についてより理解を深めることができた。しかし，今回の授業では，イメージをうまく図で表現できない生徒もいた。よりイメージしやすいようなモデルを提示することや図で表すときのルールをよりわかりやすくすることを心がけて，今後の授業改善を行っていきたい。

〈注釈〉

注１　藤田剛志　山崎良雄　東崎健一　松井豊　桶田智弘　末永幹夫　望月宏次（1999）「付属小・中学生の電流についての理解とイメージ―小・中一貫理科カリキュラム編成を目指して―」の調査問題を参考に作成した。分析データとして使用した問題は，大問４問で構成した。

問１．ソケットなしの豆電球１個，乾電池１個，導線２本を用いて，回路になっているかどうかを問う問題。

問２．ソケットなしの豆電球１個，乾電池１個，導線２本を用いて，回路になっているかどうかを問う問題

問３．回路における電流の流れ方に関しての知識を調べる問題

問４．①回路の中の豆電球の位置を変えた２種類の回路から豆電球の明るさを比較させる問題
②回路の中の導線の長さを変えた２種類の回路から豆電球の明るさを比較させる問題
③回路の中の導線の形態を変えた２種類の回路から豆電球の明るさを比較させる問題
④回路の中の豆電球の高さを変えた２種類の回路から豆電球の明るさを比較させる問題
⑤回路の中の導線の太さを変えた２種類の回路から豆電球の明るさを比較させる問題

〈参考文献〉

・藤田剛志　山崎良雄　東崎健一　松井豊　桶田智弘　末永幹夫　望月宏次（1999）「付属小・中学生の電流についての理解とイメージ―小・中一貫理科カリキュラム編成を目指して―」『千葉大学教育学部研究紀要　第 47 巻』千葉大学　pp.111-120
・藤村宣之（2012）『数学的・科学的リテラシーの心理学 子どもの学力はどう高まるか』有斐閣
・松村佳子　林真美　井村健（2007）「小学校の学習内容を踏まえた中学校理科「電流単元」の授業展開」『教育実践総合センター 研究紀要 Vol.16』奈良教育大学 pp131-137
・田口明生（2010）「中学校理科における言語活動の充実を図る授業づくり」『平成 21 年度長期研究員研究報告第８集』神奈川県立総合教育センター pp.31-36
・吉田俊一　須藤和照　大谷健一郎　松井佐千子（2006）「表現することを通して，考える力をはぐくむ理科授業」『研究紀要 第 20 号』川崎市総合教育センター pp.65-80
・和田一郎　森本信也（2011）「子どもの科学概念構築過程におけるイメージ機能の操作因子に関する研究」『理科教育学研究 Vol.51 No.３』日本理科教育学会 pp.169-179