

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 7 日現在

機関番号：12701

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2021～2023

課題番号：21K02899

研究課題名(和文) 教員養成系学部生が保持する4種類の誤った電流・電圧ルールを解消する実験講座の開発

研究課題名(英文) Development of an experimental course to resolve four types of incorrect current and voltage rules held by undergraduate students in teacher training programs

研究代表者

平島 由美子 (Hirashima, Yumiko)

横浜国立大学・教育学部・教授

研究者番号：60242377

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,300,000円

研究成果の概要(和文)：質問紙調査の結果、間違っではいるが、教員養成系学部生が強固に保持し問題を解く際に活用している“学生なりの電流・電圧ルール”が4種類見つかった。また、電位差(電圧)を理解できていない、回路全体を見ないで部分的に推測してしまう、電源電圧がどこにかかるのかを考えない学生が多くいることもわかった。本課題では、教員養成系学部生の誤った“学生なりの電流・電圧ルール”を解消し、科学的に正しい知識を獲得するための実験講座を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回、すでに小中学校や高等学校で電気回路に関して学習している教員養成系学部生を対象とした“分かり直し”のための講座を開発した。電気回路学習は、児童や生徒にとって理解が難しく、理科離れ・物理嫌いの一因になると言われている。開発した実験講座を、小学校教員を目指す教員養成系学部生や教職大学院生だけでなく、若手の現職教員も対象に実施することで小学校の理科教育にも寄与できるのではないかと考える。不安なく自信をもって電気単元の指導ができる若手教員の養成と育成につなげたい。

研究成果の概要(英文)：The questionnaire survey revealed four types of "student-specific current and voltage rules" that teacher training students firmly hold onto and use when solving problems, even though they are incorrect. It also revealed that many students do not understand potential difference (voltage), make partial guesses without looking at the entire circuit, and do not consider where the power supply voltage is applied. In this project, we developed an experiment course that can eliminate the incorrect "student-specific current and voltage rules" of teacher training students and enable them to acquire scientifically correct knowledge.

研究分野：物理教育、高分子ゲルの物性

キーワード：教員養成 電気回路学習 誤概念 分かり直し 実験講座 電圧(電位差) 電流

1. 研究開始当初の背景

小学校教員研修において、参加された先生方から「電磁気単元の指導は特に難しい」という話をよく聞く。例えば、第6学年単元『電気の利用』では、LED、電気二重層コンデンサー、手回し発電機、太陽電池、電熱線等を用いて学習が進むが、多くの小学校教員は高等学校で物理を履修しておらず、また、中・高等学校理科の教員免許を取得していないので、これら回路素子や器具類の構造や動作原理等を十分に理解しているとはいえず、教材研究に苦勞することがあると考えられる。第4学年単元『電流の働き』では、乾電池2個の直列つなぎと並列つなぎを学習するが、小学校理科では電圧を扱わず、乾電池の内部抵抗による電圧降下に関しても把握・理解している教員は多くないと考えられ、指導や教材研究の際に苦慮する場面があると想像される。このような事情もあり、電磁気単元の指導に苦手意識を持っている小学校教員は少なくないと考えられる。

教員が指導の難しさを感じている電磁気単元だが、先行研究で児童・生徒にとっても電圧・電流・電気抵抗等を正しく理解するのは容易ではないことが指摘されている。これまで多くの研究者が学習者の電圧や電流の捉え方について調査し、児童・生徒が持つ誤概念を報告している。また、理科授業で学習した後も誤概念が解消されないことも指摘している。このような状況を踏まえ、教員を目指す教員養成系学部生が未だに誤概念を持つのであれば、それを解消する手立てを検討する必要があると考えた。まず、2009年より継続して教員養成系学部1年生を対象に電気回路に関する質問紙調査を行い、電圧・電流・電気抵抗等に関する理解の実態を調べ、学生が躓いている箇所とその理由を探ってきた。質問紙調査の問題は、小中学校で学習した知識を理解していれば正解できる内容であるが、正答率がかなり低いことがわかった。例えば、小学校第4学年で学習する乾電池と豆電球をつないだだけの単純回路に流れる電流の向きと大きさを問う問題でも、正答率は約7割であった。また、「電流が負荷で消費される」、「電流は負荷から先で流れにくくなる」、「直列なら〇〇は常に一定（〇〇は電流や電圧等が入る）」、「乾電池から流れ出る電流は常に一定」等、大学生になっても強固に保持される複数の誤概念があることが確認できた。さらに、電位差（電圧）を理解できていない、回路全体を見ないで部分的に推測してしまう、電源電圧がどこにかかるのかを考えない学生が多くいることもわかった。調査に協力してくれた教員養成系学部生の中には、大学卒業後に小学校教員となり理科を教える学生もいる。小学校教員を目指す教員養成系学部生、特に非理科専攻の学生を対象にした授業や実験講座の在り方を検討し、自信をもって電気単元の指導ができる教員を養成することは急務であると考えた。

2. 研究の目的

これまでの質問紙調査の結果、間違っているが、教員養成系学部生が強固に保持し問題を解く際に活用している“学生なりの電流・電圧ルール”が4種類見つかった。そこで、本課題では、教員養成系学部生の誤った“学生なりの電流・電圧ルール”を解消し、科学的に正しい知識を獲得できる実験講座を開発することを研究目的とした。具体的には、教員養成系学部生が持つ誤った既有知識を出発点とし、どのような発問や実験をどのような順番で実施すれば誤概念が解消されて科学的に正しい知識を理解して身に付けられるのか、実験講座の内容と流れを検討した。

3. 研究の方法

まず、これまでに実施した質問紙調査を見直した。9つの問題の回答だけでなく選択肢を選んだ理由を確認し、調査の際にあわせて回答してもらった乾電池や商用電源の電圧、測定時の電流計や電圧計の接続の仕方等についても回答の内容を確認した。

また、小学校第3学年『電気の通り道』、第4学年『電流の働き』、第5学年『電流がつくる磁力』、中学校第2学年『電流』の各単元について、教科書を参照して学習の流れを確認した。

以上を踏まえ、過去に教養教育等の学部授業で実施してきた実験パッケージをたたき台とし、電気回路に関する誤概念を持っている教員養成系学部生のための実験講座の内容と流れを検討した。なお、検討の際には、理科専攻の教員養成系学部生を対象にした質問紙調査とインタビュー、および中学校での実践（公立中学校第2学年5クラスでの授業実践と質問紙調査、第3学年5クラスでの質問紙調査（2023年7月～12月））で得られた成果と課題を参考にした。

4. 研究成果

(1) 今回の実験講座を検討するにあたり、以下の点に留意することにした。

・渡邊（2002）は、物理の演示実験というものには「百発百中」「一目瞭然」「原理簡単」でなければならない、「ストーリー性」が大事であり、意味のない羅列はただ混乱するだけであると指摘している。今回の実験講座で実施する実験でも、「百発百中」「一目瞭然」「原理簡単」を心がけ、「ストーリー性」を大事にする。

・今回検討するのは、教員養成系学部の学生を対象とした実験講座である。学生たちは、すでに小中学校や高等学校で電気回路に関して学習しているので、“分かり直し”のための講座である。参加者が電気回路に関して既有知識を持っていることを意識して難易度や内容を検討する。

・後藤 (2018) は、「わからせる」という教師から学習者へのひとりよがりで一方向的な働きかけでは、学習者に表面的な内容を押し付けるだけに過ぎず、真の意味で「わかった」状態には至らないと述べている。また、学習者自らが「わかったつもり」のプロセスを経て自覚し、主体的にそれを越える経験を経なければ、「本当にわかった」には至らないと指摘している。高井 (2018) は、「主体的・対話的で深い学び」を実現させるために「わかったつもり」が活用できると述べている。「わかったつもり」の子どもたちが当然だと思っている知識や考えに「揺さぶり」をかければ、「もしかしたら違うのかな」「本当はどうなのだろう」といったように自分の既有知識を考え直して問題解決への意欲も引き出せると指摘している。よって、今回の実験講座でも、参加者の「わかったつもり」に「揺さぶり」をかける実験や問題を吟味して採用する。

・事前の公立中学校での授業実践では、「話し合い活動」がほとんど入れられなかった。その結果、演示実験や生徒実験は工夫して準備したものの、こちらが期待していたほどには生徒の理解が進まなかった。生徒の「わかったつもり」の考えは強固であり、実験をただけ、現象を見ただけでは、生徒の誤った既有知識はなかなか修正されないことを再認識した。雲財 (2018) は、子どもが自ら「わかったつもり」の状態であることに気付くためには、「わかったつもり」で説明している自分の意見について、矛盾している部分や飛躍している部分を他者から指摘してもらえるような「話し合い活動」が必要であると述べている。その際、「わかったつもり」状態の子どもと「わかった」状態の子どもが同程度現れるような題材が望ましいとも指摘している。森田 (2018) は、学習しても意味がよくわかっていないまま実験結果等を暗記して済ませている学習者の「わかったつもり」という学習傾向を改善するためには、「説明活動」の設定が効果的であると指摘している。さらに、事物現象の意味理解を図るためには、学習者個人の意味付けを基にしながら、そこに他者との関わりをもたせるとともに、実験結果等のデータとの整合性を検討することが大事であるとも述べている。「深い学び」には、各自の意味付けの具体を表出させ、それを仲間と共に科学的に検討し合う場である「説明活動」の設定が求められるという指摘を踏まえ、今回の実験講座でも各実験・各問題の間に参加者同士が班や全体で「話し合う場面」を設定する。参加者が科学的に正しい理解に至るためには、自分の考えを説明し他者の考えも聞いて話し合う中で、自分の考えで実験結果を矛盾なく科学的に正しく説明できるのか、じっくり考える場面が必要である。

・小学校第4学年でモーターや簡易検流計を活用し単純回路の電流の向きと大きさを学習する。平成30年度全国学力・学習状況調査でも単純回路に流れる電流に関する問題が出題されている。児童の正答率と課題が示されており、国立教育政策研究所 Web サイトには、「授業アイディア例」も紹介されている。そこには、予想を発想して自分の考えを明確にすること、一人ひとりが自分の考えを持って話し合う場面を設定して他者の予想の内容を把握すること、実験結果の見通しと実験結果を比較して予想と実験結果の「一致」や「不一致」を明確にすることでより妥当な考えに改善できると示されている。この点も参考にする。

・学習者は、単純回路の負荷装置が違うと異なる電流モデルを導入する場合があると言われている。これまでの質問紙調査結果でも確認されたので、電流保存に関する実験では、負荷装置は豆電球だけでなく、モーター、ブザー、ニクロム線 (サーモテープ付き)、抵抗器でも行う。

・小学校第4学年では「電圧」を扱わずに、乾電池2個の直列つなぎと並列つなぎの違いをモーターの回転の速さ、豆電球の明るさ、簡易検流計での電流の測定の実験結果から学んでいく。「電圧」を扱わないので、「乾電池2個なら直列つなぎでも並列つなぎでも合わさって、乾電池1個の2倍の電流が流れるのでは？」や「乾電池2個直列つなぎは一本道だから乾電池1個と同じだけ電流が流れ、乾電池2個並列つなぎなら合流点で合わさって乾電池1個の2倍の電流が流れるのでは？」という疑問が残ってしまうのは当然である。中学校では「電圧」を扱うが、直流電源装置を使って学習が進むので、小学校での疑問が解決されないまま誤概念が残ってしまう可能性が高い。よって、今回の実験講座では、直流電源として乾電池のみを用いる。

・これまでの質問紙調査の回答の理由をみると、「電圧」という科学的用語がほとんど出てこなかった。中学校第2学年で「電圧」を学習するが、「電圧」は捉えにくく理解できていない状況がある。「電圧」がかからなければ電流は流れない、「電圧」がかかるから電流が流れることを意識していない学生が多いことが示唆された。電圧は電位差であり、電圧がかかる (電位の差がある) から電流が流れることを実験で繰り返し示す。

・乾電池無し、乾電池1個、乾電池2個および3個の直列つなぎ、乾電池2個および3個の並列つなぎの順番でつないだ豆電球の明るさを確認する実験を入れる。その後、直列つなぎおよび並列つなぎの乾電池を1個ずつ減らしたら豆電球はどうなるかを調べる。乾電池2個直列つなぎでは、乾電池1個を外すと回路が切れて豆電球は消灯するのに対し、並列つなぎでは乾電池外しても豆電球は消灯せず、その明るさは単純回路の豆電球の明るさと同じであることを確認する。加えて、それぞれの電源電圧を電圧計で測定する実験も入れる。その後、直列つなぎおよび並列つなぎの乾電池を1個ずつ減らしながら電源電圧がどうなるかを調べさせ、直列つなぎでは4.5V、3.0V、1.5Vと電圧が下がるのに対し、並列つなぎでは1.5Vのまま変わらないことを確認する。

・これまでの質問紙調査の際、単1・単2・単3乾電池の電圧も回答してもらったが、完答できた学生はごく少数であった。今回の実験講座では、乾電池の直列つなぎ・並列つなぎの電圧測定実験をした後、乾電池のサイズが違っても1.5Vであることを示す実験も入れる。

・中学校理科の4つの教科書では、単純回路・直列回路・並列回路について、まず電流を測定した後から電圧を測定する順番になっている。その後、オームの法則の実験を行う。これに対し、教

育出版の教科書『自然の探究 中学理科2』のみ、乾電池の直列つなぎ・並列つなぎの電源電圧の測定を扱い、次に単純回路でまず電圧を測定し後から電流を測定、続いてオームの法則を学習し、最後に直列回路・並列回路について電流・電圧を測定する順番になっている。事前の中学校での実践では、生徒にとって理解しやすいと思われる教育出版の教科書を参考にし、電流より前に電圧を学習することで「電圧がかかって初めて電流が流れる」という考えを定着させること、情報過多で生徒が混乱しないようにオームの法則までは単純回路しか扱わないことにした。中学校教員からも「この方がわかりやすい」と評価された。今回の講座も同様の順番にする。

- ・理科専攻の学生へのインタビューから、電位を理解するための実験は多く入れた方がよいと判断し、オシロスコープを使った実験、通常やらない乾電池のつなぎ方の実験に加え、中学校教科書でも紹介されている「デジタル電圧計」を使って、回路内の各点での電位を測定する実験を入れる。その際、乾電池の一極を基準の0Vとして回路内の各点での電位を測定するのに加え、+極を基準の0Vとしても測定して各点ともマイナスの値が出ることを確認する。

- ・これまでの質問紙調査から、教員養成系学部1年生が強固に保持している4種類の誤った“学生なりの電流・電圧ルール”の矛盾に気づける実験を複数入れる。

- ・今回検討する教員養成系学部の非理科専攻の学生を対象にした実験講座では、まずは、乾電池の内部抵抗の影響が無視できる実験にとどめておく。

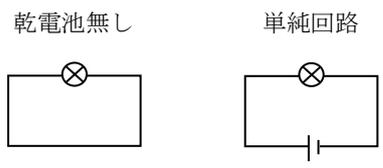
- ・今回の実験講座の対象は大学生なので、直流回路に限定せず、中学校や高等学校で学習した交流回路も取り上げる。電位や電位差を意識・理解してもらうのに、商用電源(コンセント)や延長コード等に関する実験も入れる方が、かえってわかりやすくなるのではないかと考える。

(2) 以上の点を踏まえ、実験講座で採用する実験・問題を再考し、順番を検討した(下記)。

電気回路学習は、児童・生徒にとって理解が難しく、理科離れ・物理嫌いの一因になると言われている。今後、検討した実験講座を実施し、不安なく自信をもって電気単元の指導ができる若手教員の養成につなげたい。

*事前の質問紙調査と振り返り(解いてみての率直な感想、わからないこと(意見交換))

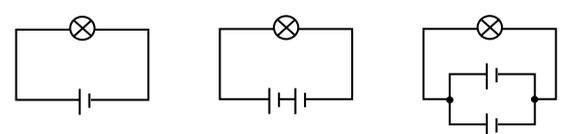
実験1 乾電池の役割とは



実験2 直列つなぎ(乾電池の数を増やしたり減らしたりすると、豆電球の明るさはどうなるか)

実験3 並列つなぎ(乾電池の数を増やしたり減らしたりすると、豆電球の明るさはどうなるか)

乾電池1個 2個直列つなぎ 2個並列つなぎ



実験4 乾電池の直列つなぎ・並列つなぎと電源電圧(アナログ電圧計で測定)

実験5 サイズの異なる乾電池と電源電圧

実験6 乾電池の直列つなぎ・並列つなぎと一極と+極の電位(デジタル電圧計で測定)

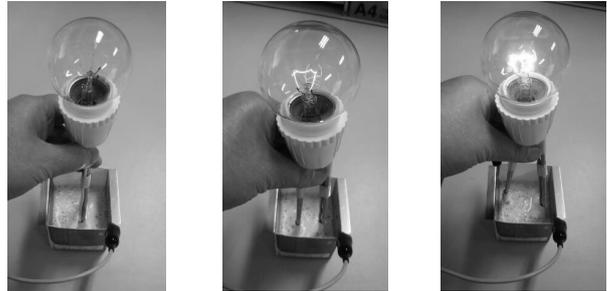
実験7 乾電池の直列つなぎ・並列つなぎと一極と+極の電位(オシロスコープで確認)



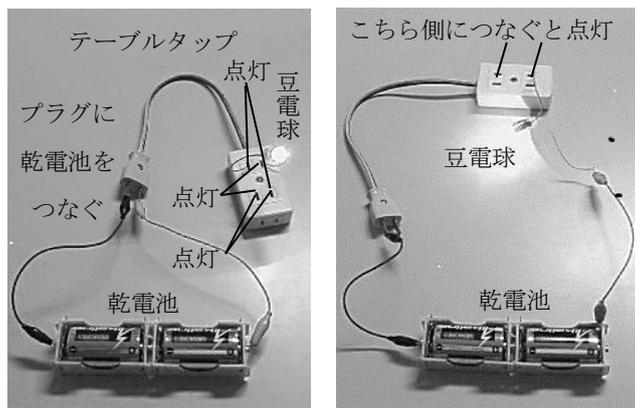
実験8 通常やらない乾電池のつなぎ方(豆電球は点灯するか?そう考える理由は?)

実験9 通常やらない乾電池のつなぎ方と電源電圧(アナログ電圧計で測定)

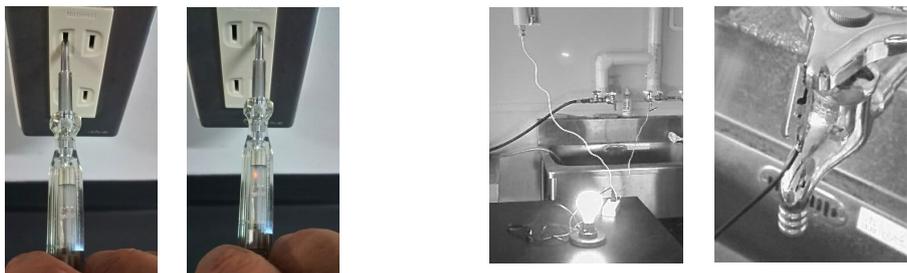
実験10 電気パンの実験(パン種に電球をさし込む)



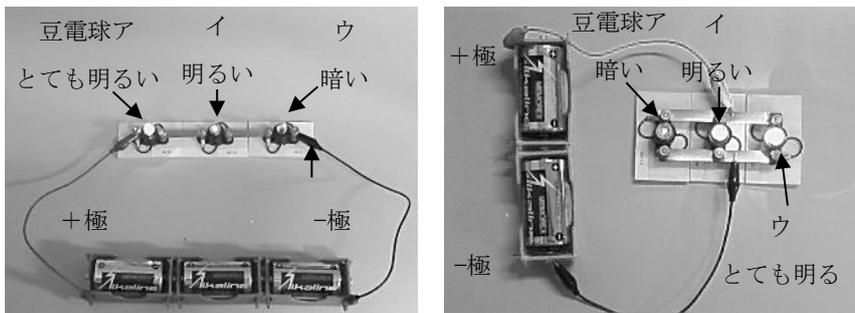
実験 11 延長コードの構造（豆電球と乾電池で調べる、アナログテスターで調べる）



- 実験 12 商業用電源のコンセントの孔（検電ドライバーで確認）
- 実験 13 延長コードとコンセントを使った実験（アナログテスターを使う）
- 実験 14 延長コードと水道管を使った実験



- 実験 15 LED の点灯（LED の整流作用）
- 実験 16 交流とは（直流と交流の違いを LED で確認する、オシロスコープで観察する）
- 実験 17 コンセントにつないだ白熱電球のフィラメントに流れる電流の向きと大きさ
- 実験 18 単純回路の負荷の前後での電流の向きと大きさ（電流保存の法則）（簡易検流計で確認）豆電球、モーター、ブザー、ニクロム線（サーモテープ付き）、セメント抵抗
- 実験 19 セメント抵抗にかかる電圧と流れる電流の測定（電池 1 個、電池 2・3 個直列つなぎ、電池 2・3 個並列つなぎ）（オームの法則）
- 実験 20 直列回路と並列回路の電圧と電流の測定、デジタル電圧計で回路内の各点の電位確認
- 実験 21 明るさの異なる 3 つの豆電球（直列回路と並列回路）（明るさは何に依存するのか）



* 事後の質問紙調査と振り返り（わかったつもりになっていたこと、今回わかったこと、まだあやふやなこと、まだわからないこと（意見交換））

<引用文献>

- ① 渡邊儀輝、大学初等物理教育への提言－高校物理教師の教育実践から－、高等教育ジャーナル－高等教育と生涯学習－、10 巻、2002、pp.85-92
- ② 後藤顕一、様々な教科等の「わかったつもり」、理科固有の「わかったつもり」－「わかったつもり」の自覚から科学概念の再構成を目指す、理科固有の学習過程の構想に向けて－、理科の教育、67 巻、2018、pp.14-18
- ③ 高井英俊、4 年「すがたをかえる水」の実践を通して、理科の教育、67 巻、2018、pp.28-30
- ④ 雲財寛、「わかったつもり」の気付かせ方－話し合い活動に焦点を当てて－、理科の教育、67 巻、2018、pp.10-13
- ⑤ 森田和良、「深い学び」へ導く活用課題と説明活動の設定」、理科の教育、67 巻、2018、pp.19-21
- ⑥ 国立教育政策研究所、授業アイデア例「電流は回路の中をどのように流れているのだろうか」、https://www.nier.go.jp/jugyourei/h30/data/18idea-psci_02.pdf

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 平島由美子、宮生彩子、鈴木健介、茂木達也	4. 巻 15
2. 論文標題 学年進行に伴う学習者の保持する電気概念の一貫性の変化 ~中学生から大学生まで~	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 教育デザイン研究	6. 最初と最後の頁 150-159
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18880/0002000486	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 平島由美子
2. 発表標題 電流と電圧に関する誤った素朴概念を克服するための指導方法に関する研究
3. 学会等名 日本物理学会2022年秋季大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------