大学生の電流・電圧理解に関する実態調査結果

横浜国立大学大学院教育学研究科
平島由美子
教育人間科学部平成 21 年度卒業・大和市役所
市川裕介
教育人間科学部平成 27 年度卒業・和光高等学校
手島歩実
教育人間科学部平成 29 年度卒業・藤沢市立片瀬小学校
宮生彩子

1. はじめに

これまで多くの研究者が、学習者の電流や電圧の捉え方について調査研究をしている [1)~5)]。オズボーンらは、単純回路における子どもの電流概念を類型化し、年齢によって電流の考え方がどう変化するのかを示した [1)]。円馬らは、電流単元学習後、中学生の「電流の向き」に関する誤概念はかなり改善されるが、「電流保存の法則」に関する誤概念は容易に改善されないことを示した [2)]。古屋らは、直列・並列回路における電流の流れ方の認識調査を行い、誤概念の交通流モデルは学年が上がるほど増えることを示した [3)]。金子は、中学生の電流保存概念に関する研究を行い、学習後でも発熱を伴う直列回路の問題には正しく答えられない生徒が多いことを報告している [4)]。学習者にとって電流や電圧を正しく理解することは容易ではない。

本研究では、電気回路学習の指導上の留意点、実験の工夫など、授業改善の手立てを具体的に検討するため、大学生を対象に人数と質問数を増やして電流・電圧理解に関する実態調査を実施した。

2. 実態調査の概要

2-1. 調査時期・対象者

2009～2019 年に教員養成系学部 1 年生 1465 名を対象に、電流・電圧の理解に関する実態調査を実施した。調査時期と調査対象者数は、2009 年 11・12 月 115 名、2010 年 4 月 64 名、2011 年 4 月 121 名と 10 月 56 名、2012 年 4 月 56 名、2013 年 4 月 58 名と 2014 年 1 月 107 名、2014 年 4 月 62 名、2015 年 4 月 111 名と 10 月 126 名、2016 年 4 月 119 名、2017 年 10 月 113 名、2018 年 4 月 127 名と 10 月 115 名、2019 年 4 月 115 名である。前回の高等学校学習指導要領改訂（平成 21 年（2009 年）3 月）前の旧課程で教育を受けた学生は 659 名であった。改定後の新課程（現行課程）で教育を受けた学生は 806 名であった。

高等学校での物理履修状況は、未履修者 536 名（旧課程 344 名、新課程 192 名）、物理Ⅰ履修者 200 名、物理基礎履修者 430 名、物理Ⅰ・Ⅱ履修者 115 名、物理基礎・物理履修者 184 名であった（図 1）。旧・新課程別の高等学校での物理履修状況を図 2 に示す。旧課程は、未履修者 52.2%、物理Ⅰ履修者 30.3%、物理Ⅰ・Ⅱ履修者 17.5%であった。新課程は、未履修者 23.8%、物理基礎履修者 53.4%、物理基礎･物理履修者 22.8%であった。新課程で未履修者の割合が減ったのは、理科必履修科目

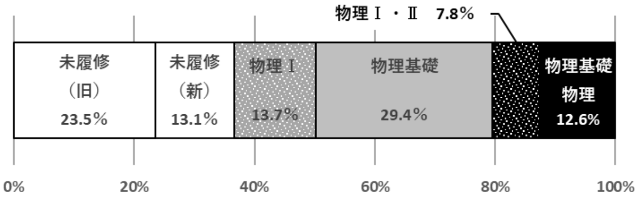


図１　高等学校での物理履修状況

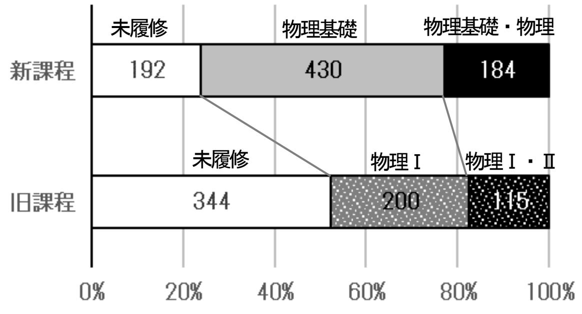


図２　旧課程・新課程別の高等学校物理履修状況

が「科学と人間生活」、「物理基礎」、「化学基礎」、「生物基礎」、「地学基礎」のうちから２科目（うち１科目は「科学と人間生活」とする）または「物理基礎」、「化学基礎」、「生物基礎」、「地学基礎」のうちから3 科目とされたことが原因である。吉田らは、基礎を付した科目は旧課程よりも履修率が上昇し、2010 年「物理Ｉ」が 27.3%であるのに対し、2019 年「物理基礎」は58.8%であると報告している [6]。単位数は、旧課程の物理Ｉ、物理Ⅱがそれぞれ３単位であるのに対し、新課程の物理基礎は２単位、物理は４単位である。

2-2. 質問の内容

実態調査は質問紙で実施し、回答は無記名とした。質問は、小・中学校理科で学んだことを理解していれば容易に正解できる内容である。また、小・中学校物理分野学習に関する理解度の自己評価も調査した。

2009～2016 年は10 問の質問によって電流・電圧の理解の状況を調査した。電流保存の法則については、状況依存の有無を確認するために状況を変えて同じ内容を複数回問うた。また、電流保存の法則に関する質問は、電圧に関する質問の間に差し込むようにした。電流に関しては、[1]「単純回路（負荷は豆電球）に流れる電流を矢印で示す（図４左）」、[2]「単純回路（負荷はモーター）に流れる電流を矢印で示す（図４右）」、[3]「豆電球の点灯の仕組み（図８）」、[4]「電熱線の前後で電流の値はどうなるかを問う（図10）」、[5]「80Ωと 20Ωの抵抗の間に電流計を入れて電流の値を測定する。抵抗の順番を入れ替えたら電流の値はどうなるかを問う（図12）」の５問で調査した。電圧については、[6]「直列回路の電圧（図14）」、[7]「並列回路の電圧（図17）」の２問で調査した。その他に、「オームの法則（公式とグラフ化）」、「ショート回路」、「電流、電圧の説明」の質問を用意した。

2017～2019 年は上記[1]～[7]の質問に加え、[8]「直列回路および並列回路に流れる電流の値の計算（図16）」、[9]「いろいろな回路の豆電球の明るさ（単純回路との比較）を問う（図18）」の計９問の質問で調査した。また、[6]は、2009～2016 年調査では小問が３つあったが、2017～2019 年調査では小問を１つ加えた。

質問の図は、回路図と実体図をあえて混ぜるようにした。回答者には、乾電池の内部抵抗は考えないことを最初に伝えた。また、すべての質問で、どのような理由でその選択肢を選んだのかも回答者に記入してもらった。

3. 調査結果

3-1. 回答者の小・中学校物理分野の理解度の自己評価

図３に回答者の小学校および中学校物理分野の学習内容に関する理解度の自己評価結果を示す。選択肢は４つで、「①当時、試験では点数もとれたし、現在も学習内容を理解し定着している自信がある」、「②当時、試験では点数がとれたが、現在は学習内容を理解し定着しているか自信がない」、「③当時、試験では点数がとれなかったが、現在は学習内容を理解して身に付けている自信がある」、「④当時、試験では点数もとれなかったし、現在も学習内容を理解している自信がない」である。

小学校、中学校ともに、物理分野の学習内容の理解度に関する自己評価は低い。選択肢の②と④を合わせると、小学校では 77.4%、中学校では 85.6% である。当時学んだ内容を理解できているのか自信のない学生が多いことがわかった。

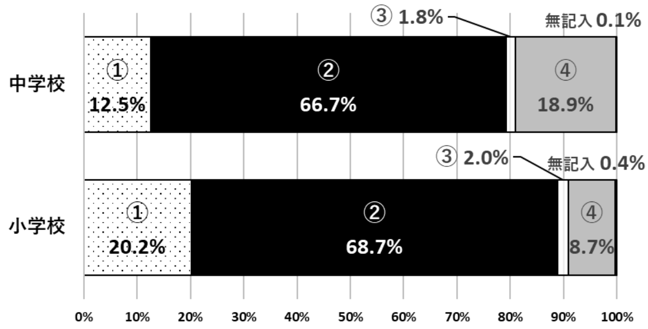


図３　物理分野の理解度の自己評価

3-2. 単純回路の電流（負荷：豆電球、モーター）

図４に質問[1][2]を示す。これらは、豆電球の単純回路とモーターの単純回路のアとイに流れる電流を矢印で描かせる（電流の向きと強さを矢印の向きと太さで示す）質問である。

豆電球の単純回路の正答率は、未履修者 65.9%（旧課程 68.9%、新課程 60.4%）、物理Ｉあるいは物理基礎履修者 71.6%（物理Ｉ72.5%、物理基礎 71.2%）、物理Ｉ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 75.9%（物理Ｉ・Ⅱ 72.2%、物理基礎・物理 78.3%）であった。これに対し、モーターの単純回路の正答率は、未履修者 54.3%（旧課程 57.0%、新課程 49.5%）、物理Ｉあるいは物理基礎履修者 62.4%（物理Ｉ63.5%、物理基礎 61.9%）、物理Ｉ・

Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 64.5%（物理Ⅰ・Ⅱ 60.0%、物理基礎・物理 67.4%）であった。モーターの単純回路では無記入が増え、正答率が下がった。回答が正しいかどうかは、回答者の描いた矢印を見て判断した。

図５に回答者の回答例を示す。今回の調査では９種類の回答が見られた。特徴から、「科学的概念（正答）」、「消費」、「消滅」、「逆流」、「逆流消費」、「逆流消滅」、「増大」、「逆流増大」、「衝突して戻る（類似するもの含む）」と呼んで区別した。このうち、「逆流増大」、「衝突して戻る」の回答は、ごく少数であった。この２つを合わせて、質問[1]豆電球の単純回路では３名（全体の 0.2%）、質問[2]モーターの単純回路では９名（全体の 0.6%）であった。

図６に９種類の回答の割合を示す。回答をみると、“電流消費の考え”、つまり、“乾電池の+極から豆電球（モーター）へ電流が流れるが、豆電球（モーター）で電流が消費されて電流が弱くなる（あるいは、それ以降は電流が流れない）”の考えを持つ学生がいる。電流の向きは正しく理解しているが電流保存概念を持たない（「消費」、「消滅」の考えを持つ）学生の割合は、豆電球の単純回路では、未履修者 22.8%、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 20.3%、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 20.4%であった。また、モーターの単純回路では、未履修者 20.5%、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 18.9%、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 19.1%であった。質問[3]「豆電球の点灯の仕組み（図８）」の回答を見ても“電流を消費して光っている”と答えている学生がいる。その割合は、未履修者 15.3%、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 11.0%、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 5.0%であった。“電流は負荷で消費される”の考えは、高等学校で物理を学習した後でも修正されず強固に残ることがある。図９に質問[3]の回答の割合を示す。正答率は、未履修者 73.5%（旧課程 76.7%、新課程

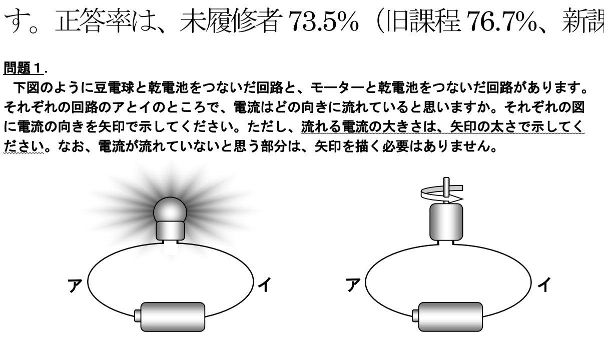


図４　質問[1][2]単純回路に流れる電流を矢印で示す

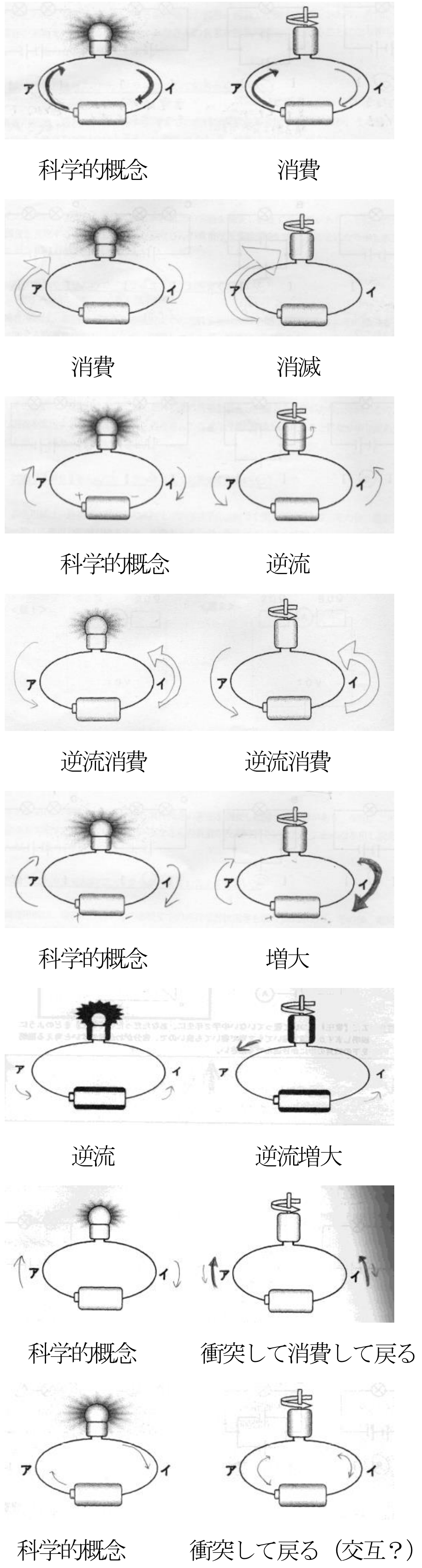


図５　単純回路の電流（大学生の回答例）

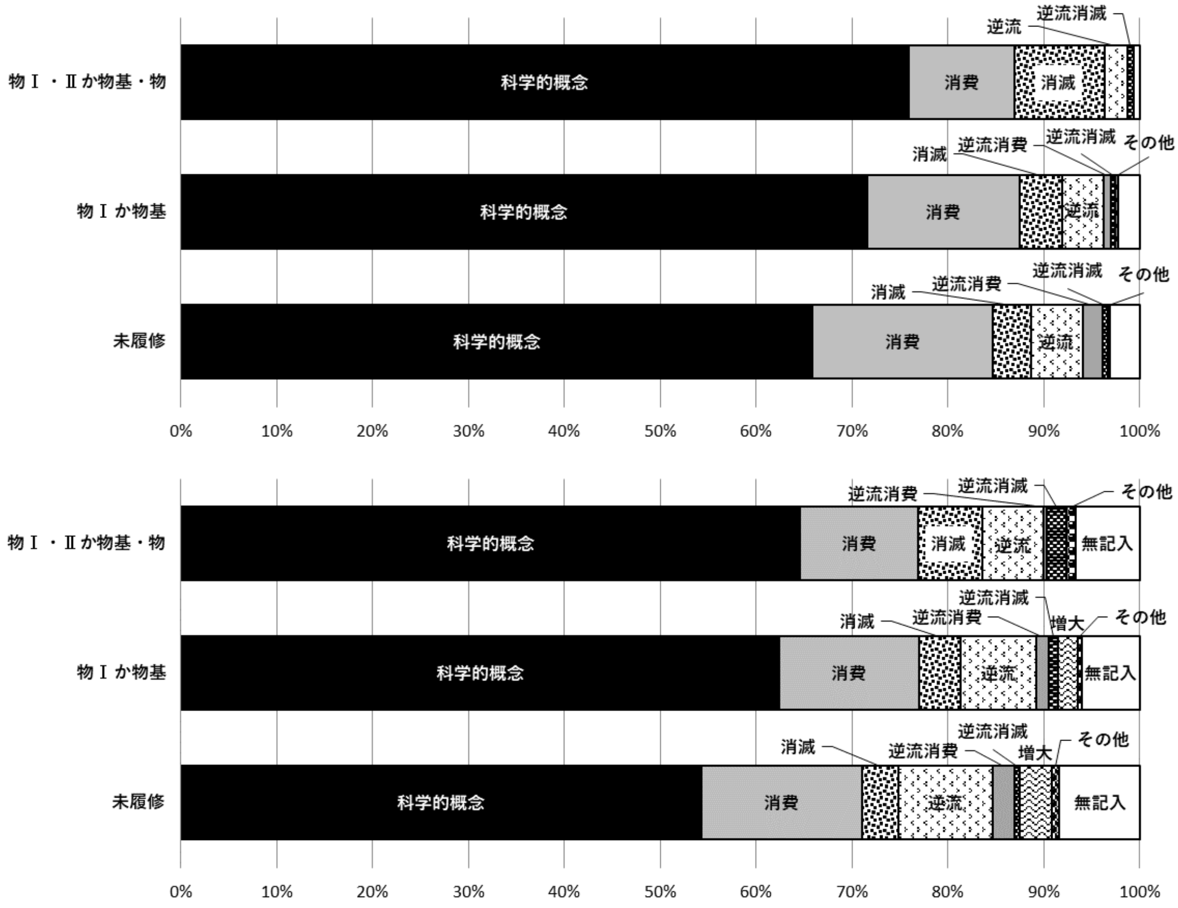


図6　上：質問[1]豆電球の単純回路の回答　　下：質問[2]モーターの単純回路の回答

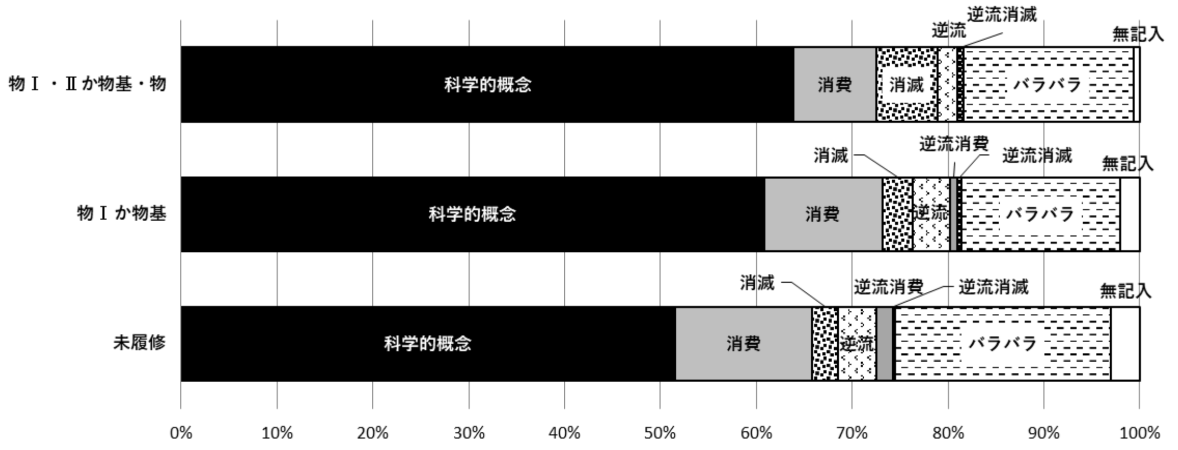


図7　質問[1]豆電球の単純回路と質問[2]モーターの単純回路の回答の組み合わせパターン
（質問[1][2]が異なる回答は「バラバラ」、質問[1][2]ともに無回答は「無記入」とした）

67.7%）、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 78.9%（物理Ⅰ80.0%、物理基礎 78.4%）、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 87.3%（物理Ⅰ・Ⅱ90.4%、物理基礎・物理 85.3%）であった。

質問[1][2]で次に多い誤答は「逆流」の考えであった。豆電球の単純回路では 63 名（全体の 4.3%）、モーターの単純回路では 122 名（全体の 8.3%）の学生が「逆流」の考えを示した。その割合は、豆電球の単純回路では、未履修者 5.4%、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 4.3%、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 2.3%であった。これに対し、モーターの単純回路では、未履修者 9.9%、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 7.9%、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 6.4%であった。

「増大」の考えを示す学生は豆電球の単純回路では一

問題２．
豆電球はどうやって明るく光っているのだと思いますか。あなたの考えにもっとも近い選択肢を１つ選んで〇で囲んでください。

① 豆電球は、回路に流れる電流を消費して光っている
② 豆電球は、回路に流れる電子を放出することで光っている
③ 豆電球の中で両側から流れてきた電流が衝突して光っている
④ 豆電球で電気エネルギーが光や熱のエネルギーに変わっていることで光っている
⑤ その他（ ）

図８ 質問[3]豆電球の点灯の仕組み

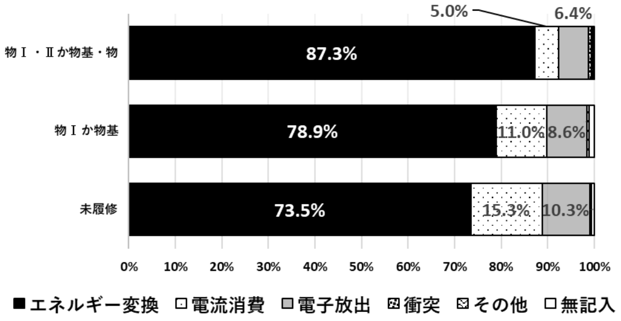


図９ 質問[3]豆電球の点灯の仕組みに関する考え

人もいなかったのに対し、モーターの単純回路では 31 名（全体の 2.1%）いた。割合は、未履修者 3.4%、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 2.1%であったが、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者にはいなかった。

なお、豆電球の単純回路とモーターの単純回路で一貫した考えを示さなかった学生は 278 名（全体の 19.0%）であり、未履修者 22.6%、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 16.5%、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 17.7%であった。ここで、“一貫した考えを示さない（バラバラ）”には、片方だけ無記入あるいは「わかりません」と書かれた回答も含む。図 7 に集計結果を示した。質問[1][2]の両方に正解できた学生の割合は、未履修者 51.5%（旧課程 54.4%、新課程 46.4%）、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 60.8%（物理Ⅰ61.5%、物理基礎 60.5%）、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 63.9%（物理Ⅰ・Ⅱ60.0%、物理基礎・物理 66.3%）であった。

3-3. 回路内にある電熱線の前後の電流

図 10 に質問[4]を示す。図 10 に示した回路で、電熱線の前後にある電流計１と電流計２の示す値が同じか違うかを聞いたところ、692 名（全体の 47.2%）が正解した。正答率は未履修者 39.7%（旧課程 40.1%、新課程 39.1%）、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 45.1%（物理Ⅰ47.5%、物理基礎 44.0%）、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 65.2%（物理Ⅰ・Ⅱ73.9%、物理基礎・物理 59.8%）であった。誤答で多かったのは「電熱線の前の電流の値が大きく、電熱線の後では電流の値が小さくなる（選択肢①）」だった。これを選んだ学生は、557 名（全体の 38.0%）いた。割合は、未履修者 41.6%、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 39.8%、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 27.8%であった。理由としては、“電熱線で水の温度を上げるのに〇〇が消費（あるいは放出）されるから電熱線の後にある電流計２の示す値の方が小さくなる（〇〇には、電気、電流、電圧、電力、エネルギー、電気エネルギー、熱、熱エネルギーなどが入る）”と書いた学生が多かった。また、“水の温度が上昇したのは、電流が熱エネルギーに変えられたから”とか“電熱線で電気エネルギーが熱エネルギーに変換されて消費（あるいは放出）されるので電流の値が小さくなる”という理由も多かったことから、“電流＝電気エネルギー”と考えている学生がかなりいることが示唆された。他に、“電熱線（あるいは水）で抵抗を受けるので電流は小さくなる”、“電熱線（あるいは水）が電流が流れるのを邪魔するから”、“回路中に電熱線（抵抗）があり、その先での電流は弱くなる”、“電流計１と電流計２の間に障害物があるから”、“間の障害物で抵抗があるから”、“電熱線を通すことで抵抗がかかる”などという理由もあった。つまり、「電熱線は抵抗であり、それが障害物となってその先は電流が流れにくくなる」と考える学生がかなりいることが示唆された。

図 11 に回答の集計結果を示す。選択肢②を選んだ学生の理由を見ると、そのほとんどが選択肢①を選んだ学生の理由と同じ内容だった（他の理由は数名だった）。よって、選択肢②を選んだ学生は、乾電池の電気用図記号の見方を誤っていた、あるいは、電流の「逆流」の考えを持つだけで考え方は同じであることが示唆された。

3-4. 回路内の２つの抵抗器の入れ替え

図 12 に示した左右の回路内の電流計が示す値が同じか違うかを問うた質問[5]で正解したのは 803 名（全体の 54.8%）であった。正答率は、未履修者 46.3%（旧課程 43.9%、新課程 50.5%）、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 51.4%（物理Ⅰ58.5%、物理基礎 48.1%）、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 77.3%（物理Ⅰ・Ⅱ 82.6%、物理基礎・物理 73.9%）であった。

誤答で多かったのが、「<図２>の回路（電源の+極側により小さな抵抗 20Ωがある回路）の電流計の値の方が大きい（選択肢②）」で、481 名（全体の 32.8%）の学

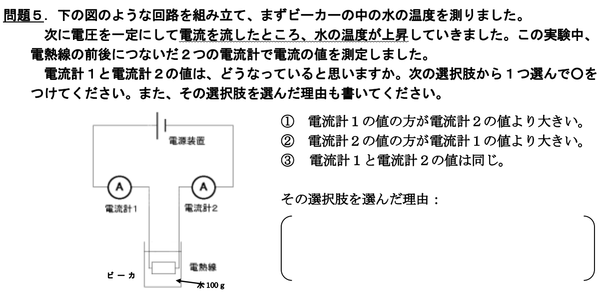


図 10　質問[4]電熱線の前後での電流値

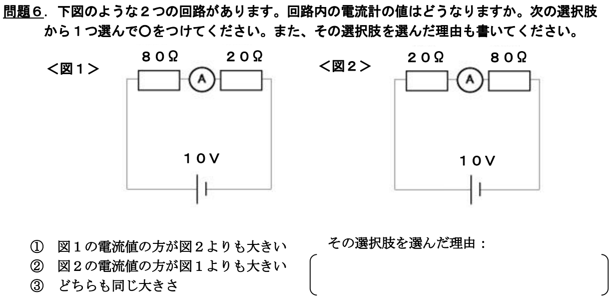


図 12　質問[5]80Ωと 20Ωの順番を替えたときの電流値

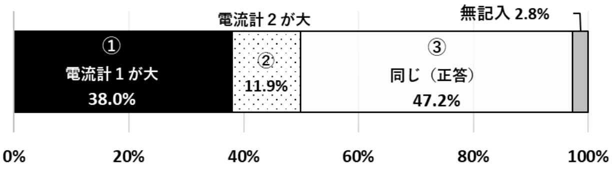


図 11　質問[4]の回答

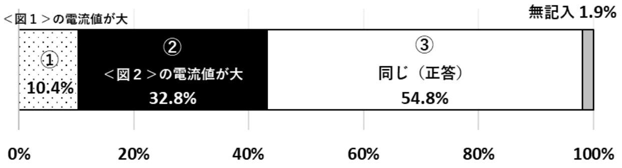


図 13　質問[5]の回答

生が選んだ。割合は、未履修者 37.5%、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 36.8%、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 16.1%であった。理由を見ると、“電流計手前の抵抗が小さいから”、“抵抗が小さい方が強い電流が流れるから”、“抵抗の小さいものを通るときの方が電流は大きい”、“最初に抵抗の大きい方を流れようとすると電流は流れにくくなるから”といった内容のものがほとんどであった。つまり、「＜図２＞の回路は電流計の手前により小さな抵抗（20Ω）があり、電源の+極から流れてきた電流が流れやすく電流計は小さな値を示す」という考えを示していた。これは「電流消費の考え」とは異なり、誤答した学生は“抵抗＝障害物”と捉えて、その部分で電流が円滑に流れなくなると考えていることが示唆された。“20Ωしか堰き止められない”と書いていた学生もいた。加えて、回路について全体を見ず部分的に推測する傾向があり、電流計の手前にある抵抗の大小だけで直列回路の電流の値を推測していると考えられる。実際、オームの法則を使って“10/80=0.125、10/20＝0.5”という計算が小さくメモされている回答や“電流＝電圧÷抵抗で、20Ωに 10V は 0.5A、80Ωに 10V は 0.125A になるから”と具体的に理由を書いている回答が複数あった。これに対し、“＜図１＞は電流計の前に 80Ωの抵抗があり、＜図２＞の 20Ωよりもより多くの電気が消費されてしまうから”という「消費の考え」を書いているのはごく少数であった。この点から読み取れるのは、質問[4]と[5]で誤答した学生の多くが２つの考えを保持していて、負荷に電流が流れる状況に応じて、負荷で電流が消費されると考えたり、負荷が抵抗（障害物）となりそれ以降電流が流れにくくなると考えたりすることである。つまり、電流が流れて豆電球が光ったり電熱線が熱くなったりする眼に見える形での変化がある状況では、そこで電流が消費されるという考えが優勢となる。一方、電流が流れても抵抗器に眼に見える形での変化がない状況では、抵抗器が障害物となりそれ以降電流が流れにくくなるという考えが優勢になることが示唆された。なお、選択肢①を選んだ学生の理由を見ると、そのほとんどが選択肢②を選んだ学生の理由と同じ内容だった。よって、乾電池の電気用図記号の見方を誤って判断していた、あるいは、電流の「逆流」の考えを持つだけで考え方は同じである場合が多い。

質問[1][2]の単純回路と同様に、質問[4]の電熱線に流れる電流も、質問[5]の 80Ωと 20Ωの直列回路に流れる電流も、電流保存の法則が理解され定着していれば迷うことなく容易に正解できるはずである。予想以上に正答率が低く、状況が変わると正解できなくなる。

なお、質問[4]と[5]の両方を正解した学生は 510 名（全体の 34.8%）であった。正答率は未履修者 24.8%（旧課程 25.0%、新課程 24.5%）、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 30.3%（物理Ⅰ37.0%、物理基礎 27.2%）、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 62.2%（物理Ⅰ・Ⅱ 71.3%、物理基礎・物理 56.5%）であった。

3-5. 直列回路の電圧

電圧に関する質問は、2 問（質問[6]と[7]）用意した。1 つは、図 14 に示したように同じ種類の乾電池と豆電球をつないで豆電球 1 個（ア）の単純回路と豆電球 2 個（イとウ）を直列につないだ回路を作り、各豆電球の両端の電圧の値がどうなっているか、また、豆電球の明るさを問うものである。さらに、2017〜2019 年調査では、回路に流れる電流を問う小問を加えた。正答は、“豆電球アとイの両端の電圧は違う。豆電球イとウの両端の電圧は同じ。豆電球の明るさは、ア＞イ＝ウ。2 つの回路の各点 A、B、A’、B’、C’を流れる電流は、A＝B＞A’＝B’＝C’ ”である。

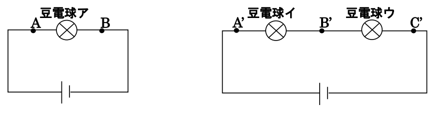
小問（1）の正答率は、未履修者 48.9%、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 57.8%、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 85.6%であった。小問（2）の正答率は、未履修者 65.3%、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 67.1%、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 82.6%であった。小問（1）（2）の両方を正しく回答した学生は、692 名（全体の 47.2%）であった。割合は、未履修者 37.3%、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 43.3%、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 73.2%であった。小問（3）の正答率は、未履修者 48.5%、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 59.7%、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 80.6%であった。小問（4）の正答率は、新課程未履修者 26.1%、物理基礎履修者 18.5%、物理基礎・物理履修者 33.0%であった。

2009〜2019 年調査において小問（1）〜（3）全問正答率は、未履修者 30.2%、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者 38.3%、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者 64.5%であった。2017〜2019 年調査において小問（1）〜（4）全問正答率は、新課程未履修者 16.2%、物理基礎履修者 12.4%、物理基礎・物理履修者 27.0%であった。

誤答では、“直列回路なら豆電球ア、イ、ウの両端の電圧は常に一定。どちらの回路も同じ種類の乾電池と豆電球なので、豆電球ア、イ、ウの明るさは同じでア＝イ＝ウ”という考えと、“乾電池の+極に近い豆電球アとイは同じ電圧（電源が同じならば、1 つ目の豆電球の時点で電圧は同じ、という記述もあり）で、豆電球ウはイの後にあるので電圧は低くなる（低い電圧が流れ込んでくる、という記述もあり）ので、豆電球ア、イ、ウを明るい順番に並べるとア＝イ＞ウ”という 2 つが代表的なものであった。また、明らかに「電流」と「電圧」を混同している学生が複数いた。

なお、小問（1）〜（3）まで正しく答えている学生であっても小問（4）だけ間違えることが多い。“直列回

問題４．下の図のように同じ種類の乾電池と豆電球をつないで、２つの回路をつくりました。
それぞれの回路で、豆電球の両端の電圧 V_{AB}、$V_{A'B'}$、$V_{B'C'}$ を測定しました。電圧の値は、どうなっていると思いますか。選択肢から１つ選んで、○で囲んでください。
また、その選択肢を選んだ理由も書いてください。



（1）電圧 V_{AB} と $V_{A'B'}$ の値をくらべると、

① V_{AB} と $V_{A'B'}$ の値は『同じ』　② V_{AB} と $V_{A'B'}$ の値は『違う』

その選択肢を選んだ理由：
（　　　）

（2）電圧 $V_{A'B'}$ と $V_{B'C'}$ の値をくらべると、

① $V_{A'B'}$ と $V_{B'C'}$ の値は『同じ』　② $V_{A'B'}$ と $V_{B'C'}$ の値は『違う』

その選択肢を選んだ理由：
（　　　）

（3）豆電球ア、イ、ウを明るい順番に並べたとき、どれが正しいと思いますか。選択肢から１つ選んで番号を○で囲んでください。また、その選択肢を選んだ理由も書いてください。

① ア＞イ＞ウ
② ア＝イ＝ウ
③ ア＞イ＝ウ
④ イ＝ウ＞ア
⑤ ア＝イ＞ウ
⑥ その他（　　　）

その選択肢を選んだ理由：
（　　　）

（4）上の２つの回路の各点Ａ、Ｂ、Ａ′、Ｂ′、Ｃ′を流れる電流の大きさは、どうなっていると思いますか。選択肢から１つ選んで番号を○で囲んでください。また、その選択肢を選んだ理由も書いてください。

① Ａ＝Ｂ＝Ａ′＝Ｂ′＝Ｃ′
② Ａ＝Ａ′＞Ｂ＝Ｂ′＞Ｃ′
③ Ａ＝Ｂ＞Ａ′＝Ｂ′＝Ｃ′
④ Ａ＞Ｂ＞Ａ′＞Ｂ′＞Ｃ′
⑤ その他（　　　）

その選択肢を選んだ理由：
（　　　）

図 14　質問[6]直列回路の電圧

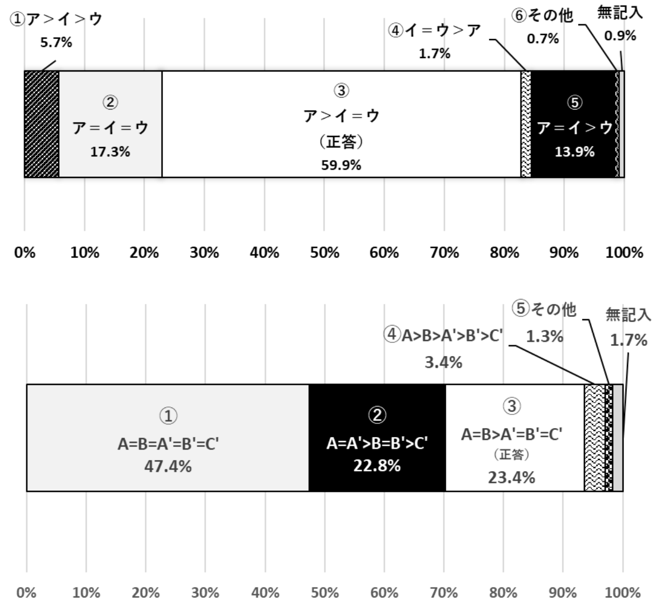


図 15　質問[6]の回答（上：豆電球の明るさ、下：電流）

路を流れる電流は常に一定なのでA＝B＝A’＝B’＝C’ ”とする回答が多かった。「直列なら常に一定」とする短絡的な考えが強固に保持されていることがわかった。“電流は直列ならどこも同じ”、“両方とも直列回路”、“直列回路の電流は一定だから”などと記述していた。回路内の抵抗の違いには眼を向けず、直列につながっていれば豆電球の数に関係なく電流は同じになると短絡的に考えている。そこには、強固に保持された「同じ電源から流れ出る電流は常に一定」という誤概念がある。

A＝A’＞B＝B’＞C’を選んだ学生の理由を見ると、“だんだん流れる電流は弱くなっていく気がする”、“豆電球で電流がどんどん少なくなると思う”、“1つの抵抗を通るごとに電流は小さくなるから”などと記述していた。この選択肢を選んだ学生は「同じ電源から流れ出る電流は常に一定」という誤概念に加え、質問[4][5]で述べた「電流が負荷で消費される」や「電流は負荷（抵抗、障害物）で流れにくくなる」の考えを持つと考えられる。

図15に小問（3）と（4）の回答の集計結果を示す。（3）の回答は、選択肢③ア＞イ＝ウ（正答）が一番多く、次に②ア＝イ＝ウ、⑤ア＝イ＞ウ、①ア＞イ＞ウが続き、この4つで全体の96.8%を占めた。誤答②ア＝イ＝ウを選択した学生は「直列なら常に一定」という強固な考えを持ち、2つの回路内の豆電球（抵抗）の数の違いに着目できていない。誤答⑤ア＝イ＞ウを選択した学生も、左右の回路内の豆電球の数が違うことは気にせず、「同じ電源から流れ出る電流は常に一定」という考えを持つと同時に、先の質問[4][5]で述べた「電流が負荷で消費される」や「電流は負荷（抵抗、障害物）で流れにくくなる」の考えを持つ。誤答①ア＞イ＞ウを選択した学生は、左右の回路内の豆電球の数が違うことに着目できているが、「電流が負荷で消費される」や「電流は負荷（抵抗、障害物）で流れにくくなる」の考えを持つと考えられる。（4）の回答は、選択肢①A＝B＝A’＝B’＝C’が一番多く、次に②A＝A’＞B＝B’＞C’、③A＝B＞A’＝B’＝C’（正答）が続き、この3つで全体の93.6%を占めた。

3-6. 直列回路と並列回路の電流

図16に質問[8]を示す。内容は、中学校第2学年で学習する直列回路と並列回路に関するものである。

真ん中の直列回路の電流は0.5Aであり、ア、イ、ウの各点で0.5Aと答えるのが正解である。正答率は、未履修者10.8%、物理基礎履修者14.7%、物理基礎・物理履修者59.0%であった。一番多い誤答は、ア、イ、ウの各点で1.0A（抵抗器が一つの単純回路と同じ値）とするものであった。これは、質問[6]の小問（4）と同様に、回路内の抵抗の違いに眼を向けず、電源電圧がどこにかかるのかも考えず、「同じ電源から流れ出る電流は常に一定」という誤概念や「直列なら常に一定」とする短絡的な考えが表出していると考えられる。この誤答の割合は、未履修者59.5%、物理基礎履修者62.2%、物理基礎・物理履修者28.0%であった。

右の並列回路の抵抗器に流れる電流はそれぞれ1.0Aであり、オ～クは1.0A 、エとケは2.0Aとなる。正答率は、未履修者4.5%、物理基礎履修者7.3%、物理基礎・物理履修者50.0%であった。一番多い誤答は、オ~クは0.5A、エとケは1.0Aとするものであった。ここでも回路内の抵抗の違いに眼を向けず、電源電圧がどこにかかるのかも考えていない。「同じ電源から流れ出る電流は常に一定」と短絡的に考え“左の回路の電源から1.0A流れるなら右の回路でも同じでエは1.0A。それが2つに分かれて抵抗器に流れるのでオ～クは0.5A。ケはキとクが合流して1.0Aとなる”と考えていることが示唆される。この誤答の割合は、未履修者53.2%、物理基礎履修者62.2%、物理基礎・物理履修者26.0%であった。

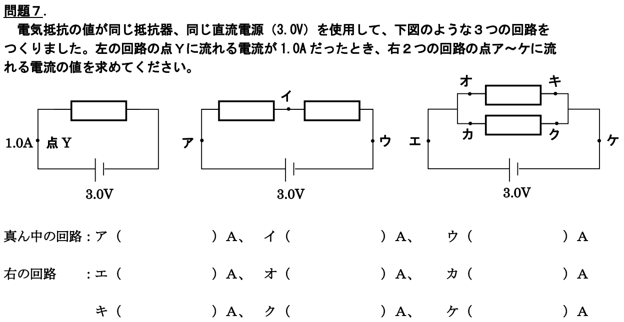


図16　質問[8]直列回路、並列回路の電流

3-7. 並列回路の電圧

図17で示した豆電球2つを並列につないだ回路での豆電球の両端の電圧を問う質問[7]では、豆電球の一方が明るく点灯し他方は暗いという条件を付けた。正解者は831名（全体の56.7%）であった。正答率は未履修者47.6%（旧課程47.4%、新課程47.9%）、物理Ⅰあるいは物理基礎履修者57.0%（物理Ⅰ57.5%、物理基礎56.7%）、物理Ⅰ・Ⅱあるいは物理基礎・物理履修者72.6%（物理Ⅰ・Ⅱ68.7%、物理基礎・物理75.0%）であった。

「電圧は違う」を選択した理由は、“明るさが違うなら電圧も違う”や“電圧が同じなら明るさも同じだから”がほとんどで、視覚情報を優先して推測や判断をし、それを答えの根拠とする学生が多いことが示唆された。

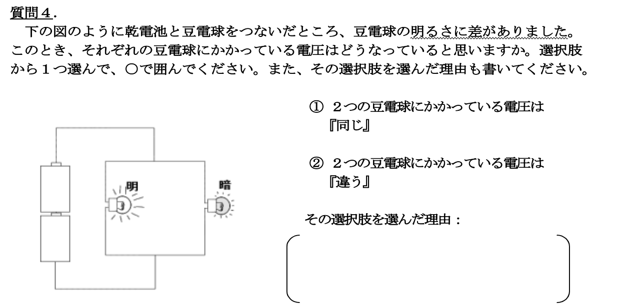


図 17　質問[7]並列回路の電圧

3-8. いろいろな回路の豆電球の明るさ

図 18 に質問[9]を示す。＜図１＞の単純回路の豆電球の明るさと、＜図２＞のA～H の回路の豆電球の明るさを比較する問題である。単純回路の豆電球よりも明るい場合は◎、同じなら〇、暗ければ△を記入する。

図 19 に各回路の正答率を示す。

小学校第４学年では乾電池の直列つなぎ（A）と並列つなぎ（B）を学ぶが、どちらも正解（A◎、B〇）の学生は、未履修者 57.7%、物理基礎履修者 60.2%、物理基礎・物理履修者 67.0%であった。中学校第２学年では直列回路（C）と並列回路（F）を学ぶが、どちらも正解（C△、F〇）の学生は、未履修者 24.3%、物理基礎履修者 27.0%、物理基礎・物理履修者 43.0%であった。

A～Hすべてに正解した学生は、104 名（全体の22.1%）であった。割合は、未履修者 15.3%、物理基礎履修者 20.5%、物理基礎・物理履修者 34.0%であった。A～Hの回答を調べると、誤ってはいるが学生なりのあるルールに従って考えた回答の組み合わせパターンが４つ見つかった。これを誤答 a、b、c、d と呼び、表１に示した。表１には、各誤答の学生の考え方のルールも示した。

図 20 に回答組み合わせパターンの割合を示す。A～Hすべてに無記入だった学生が８名（全体の 1.7%）いた。これを「無記入」とした。正答、各誤答と一つだけ答えの異なる回路がある誤答を、それぞれ「正答－1」、「a－1」、「b－1」、「c－１」、「d－1」と呼び、割合をグラフに示した。正答と誤答 a～d を合わせると 46.4%である。これに加え、正答あるいは各誤答と一つだけ答えが異なる回路がある誤答を合わせると 66.4%である。

学生が強固に持ち判断基準として活用しているこれらのルールを把握することで、授業改善に向けた具体的な実験の工夫が検討できると考える。

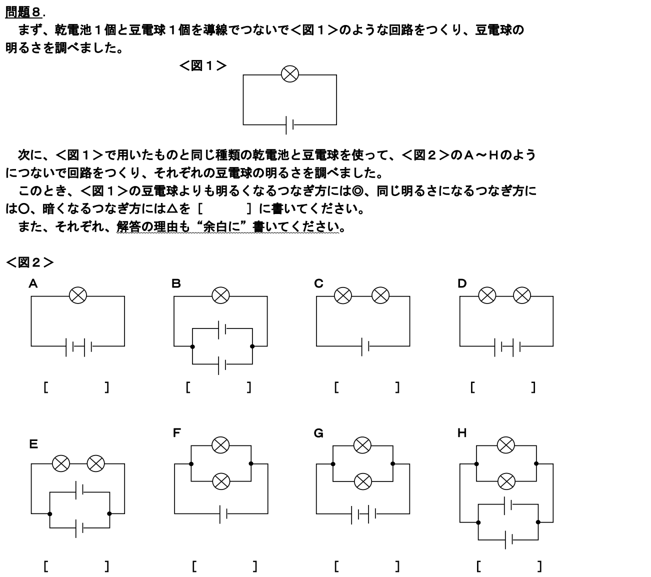


図 18　質問[9]いろいろな回路の豆電球の明るさ

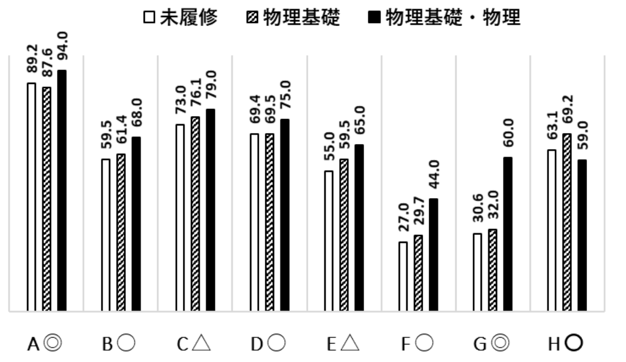


図 19　質問[9]の各回路の正答率（%）

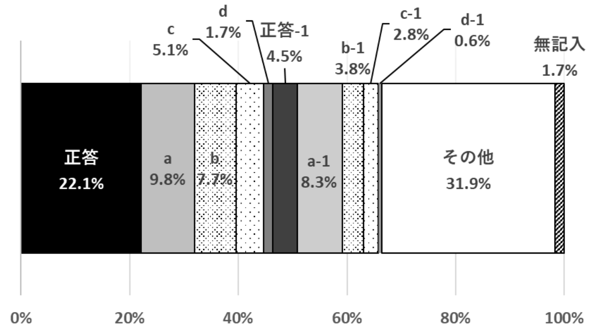


図 20　回答組み合わせパターンの割合

4. まとめ

高等学校で物理Ⅱや物理まで履修しても、小・中学校で学んだはずの基本的知識を中途半端にしか理解してい

表１　代表的な回答の組み合わせパターン（誤答 a～d）と学生のルール

回路	誤答 a 乾電池２個直列なら電流もしくは電圧は乾電池１個の２倍、２個並列なら電流もしくは電圧は乾電池１個と同じ。豆電球２個なら直列でも並列でも電流は２つに分配・消費。	誤答 b 乾電池２個なら直列でも並列でも電流もしくは電圧は乾電池１個の２倍。豆電球２個なら直列でも並列でも電流は２つに分配・消費。	誤答 c 乾電池２個直列なら電流もしくは電圧は乾電池１個の２倍、２個並列なら電流もしくは電圧は乾電池１個と同じ。豆電球２個直列なら１本道で１個と変わらず、２個並列なら電流は２つに分配・消費。	誤答 d 乾電池２個直列なら１本道で乾電池１個と同じ電流、２個並列なら合わさって電流もしくは電圧は乾電池１個の２倍。豆電球２個なら直列でも並列でも電流は２つに分配・消費。
A ◎	電池2個直列で2倍→◎	電池2個で2倍→◎	電池2個直列で2倍→◎	電池2個だが直列で同じ→○
B ○	電池が2個だが並列で同じ→○	電池2個で2倍→◎	電池が2個だが並列で同じ→○	電池2個並列で合流して2倍→◎
C △	豆電球2個で半分ずつ分配→△	豆電球2個で半分→△	豆電球2個だが直列で同じ→○	豆電球2個で半分→△
D ○	電池2個直列で2倍、豆電球2個で半分ずつ分配→○	電池2個で2倍、豆電球2個で半分→○	電池2個直列で2倍、豆電球2個だが直列で同じ→◎	電池2個だが直列で同じ、豆電球2個で半分→△
E △	電池2個だが並列で同じ、豆電球2個で半分ずつ分配→△	電池2個で2倍、豆電球2個で半分→○	電池2個だが並列で同じ、豆電球2個だが直列で同じ→○	電池2個並列で合流して2倍、豆電球2個で半分→○
F ○	豆電球2個で半分に分かれる→△	豆電球2個で半分→△	豆電球2個並列で半分に分かれる→△	豆電球2個で半分→△
G ◎	電池2個直列で2倍、豆電球2個で半分に分かれる→○	電池2個で2倍、豆電球2個で半分→○	電池2個直列で2倍、豆電球2個並列で半分に分かれる→○	電池2個だが直列で同じ、豆電球2個で半分→△
H ○	電池2個だが並列で同じ、豆電球2個で半分に分かれる→△	電池2個で2倍、豆電球2個で半分→○	電池2個だが並列で同じ、豆電球2個並列で半分に分かれる→△	電池2個並列で合流して2倍、豆電球2個で半分→○

ない学生がいることがわかった。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○○は常に一定（○○は電流や電圧などが入る）」、「同じ電源から流れ出る電流は常に一定」など、大学生にも強固に保持される複数の誤った概念を把握できた。また、電位差（電圧）を理解できていない、回路全体を見ず部分的に推測をする、電源電圧がどこにかかるのかを考えない学生がかなり多いことがわかった。

今後、この実態調査結果を踏まえ、学習者が持つ誤った概念を出発点としてどのような発問や実験を採用し、どのような組み合わせでどのような順番で実施すればよいのか、具体的な授業の流れを検討して実践したい。

謝辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 17K01021 の助成を受けて実施しています。

引用・参考文献

1）R.オズボーン、P.フライバーグ編著（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』、東洋館出版社、1988

2）門馬徳夫、吉田俊博：「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.85-92、2001

3）古屋光一、戸北凱惟：「並列・直列回路における電流の流れ方の認識に関する実態調査」、科学教育研究、Vol.25、No.2、pp.90-101、2001

4）金子健治：「中学生の電流保存概念についての研究：抵抗が 2 個存在する直列回路を例として」、理科教育学研究、50（1）、pp.13-19、2009

5）平島由美子、市川裕介：「中学生および大学生の電流と電圧理解に関する調査結果」、大学の物理教育、第 19 号、pp.19-23、2013

6）吉田幸平、高木秀雄：「高等学校理科「地学基礎」「地学」開設率の都道府県ごとの違いとその要因」、地学雑誌、第 129 巻、第 3 号、pp.337-354、2020

YNU Repository Advanced published date: November 5,2020