

電気分野における基本概念の理解度調査

～規格の異なる豆電球の直列接続～

沖花 彰¹⁾, 渡會兼也²⁾

1) 元京都教育大学 okihana@kyokyo-u.ac.jp

2) 金沢大学人間社会学域学校教育学類附属高等学校 watarai@staff.kanazawa-u.ac.jp

キーワード：規格の異なる豆電球，直列接続，誤概念

(受付：2019年2月2日)

I. はじめに

電気分野は誤概念が多い。小学校から中学校段階での誤概念に関する実践研究も古くから数多く報告されている (Osborne and Freyberg, 1985 = 邦訳, 1988; 三島・前田, 1984; 門馬・吉田, 2001, 2002; 沖花・辻井, 2004; 金子, 2009)。そのうち学習によって誤概念が払拭され科学的概念が定着するものもあるが、学習後も誤概念が残っているものもある (門馬・吉田, 2001, 2002)。学習によって払拭される誤概念の例は、電流衝突モデル (電源の+極と一極から電流が流れ、豆電球に供給される) や豆電球1個での電流減衰モデル (電流は電源の+極から流れ、豆電球に供給消費され、電流が減衰して一極に戻る) などがあげられる。これらは中学校の電気分野での実験を含めた学習を通して改善されると報告されている (三島・前田, 1984; 門馬・吉田, 2001, 2002)。その一方で一見誤概念が払拭されたように見えるが、少し別の問い方をすると理解できていないことがわかる場合もある。例えば、金子 (2009) は抵抗が2個直列接続された場合は電流保存概念 (抵抗の前後で電流の大きさが変わらない) が理解できているように見えるが、同じ回路で発熱を伴う文脈で問うた場合は電流保存概念が揺らぐことを指摘している。電気分野の誤概念にはこのような文脈依存性 (西川・冬野, 1996) があることも指摘されている。

筆者らは先に電気分野の理解度調査 (沖花・谷口, 2009) を行い、同時に実践を通じて電位概念の導入の必要性を論じた。今回は中学校での電気分野の学習を終えた中学2年生から高校物理電気分野の学習を終えた高校3年生までを対象に、中学校で学習した直列回路に関する調査や学習を行い、基本的な概念の理解度や定着度を調べた。

II. 調査

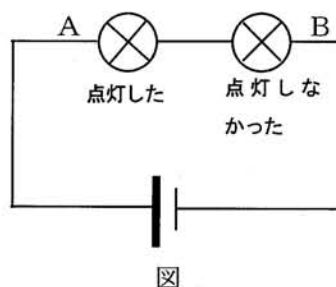
図1のように規格の異なる豆電球を2個直列に接続し、片方のみ点灯する場合について生徒はどのように考えるか、①から⑤の問いに対して正しいか正しくないかを理由も含めて答えさせた。付表1に示す解答用紙に○×と、そう思う理由も書かせた。

実施したのは、A 高校2年生 81人 (H28.2 実施)、B 高校2年生 32人 (H29.11 及び H30.11 実施)、C 中学3年生 83人 (H28.11 実施)、D 中学2年生 75人 (H28.3 実施) である。A 高校2年生及びB 高校2年生は高等学校物理基礎での電気分野を履修済みで、C 中学3年生及びD 中学2年生は中学校での電気分野を履修済みである。

図のように、規格の異なる2つの豆電球 A、B と 1.5V の乾電池（内部抵抗は無視する）を直列に接続したところ、A は点灯し、B は（目視で）点灯しなかった。

次のうち正しいと考えられるものに○をし、正しくないものに×をし、さらにその理由を述べよ。

- ① 豆電球 B がソケットからゆるんでいた。
- ② 豆電球 B のフィラメントが切れていた。
- ③ 豆電球 A を流れる電流 > 豆電球 B を流れる電流
豆電球 A を流れる電流 = 豆電球 B を流れる電流
豆電球 A を流れる電流 < 豆電球 B を流れる電流
- ④ 豆電球 A の抵抗 > 豆電球 B の抵抗
豆電球 A の抵抗 = 豆電球 B の抵抗
豆電球 A の抵抗 < 豆電球 B の抵抗
- ⑤ 豆電球 A にかかる電圧 > 豆電球 B にかかる電圧
豆電球 A にかかる電圧 = 豆電球 B にかかる電圧
豆電球 A にかかる電圧 < 豆電球 B にかかる電圧



図

図1 調査問題

この問題は、宮田（2012）の Zero の文脈に基づく回路教材と同様のものである。宮田（2012）は電気分野の履修直後の中学2年生を対象に調査を行ったが、我々は中学2年生のみならず、その後の学習を経た中学3年生や高校生も対象にしている。またそれぞれの豆電球での電流、電圧、抵抗の大きさについても問うことで、生徒の考えをより詳しく調べた。なお、調査後それぞれの学校で生徒実験を交えた学習も行ったがそれについては別途報告する。また同様の調査（渡會・沖花，2015，2016a，b）を平成27年7月A高校理系2年生87人、文系2年生35人、理系3年生72人を対象に行った。設問が若干異なるが（付表2に問題を示す）その結果も併せて示す。

Ⅲ. 結果

表1に調査対象群ごとの全体正答率を、表2には各設問の解答率を示す。正解は①×，②×，③A=B，④A>B，⑤A>Bで、表2の網掛け部が正答率である。①から⑤まですべ

表1 調査対象群ごとの全体正答率

学校	人数	①②③④⑤正解		①②正解		③④⑤正解	
A 高2年	81人	12人	14.8%	32人	39.5%	19人	23.5%
B 高2年	32	4	12.5	11	34.4	4	12.5
C 中3年	83	1	1.2	45	54.2	7	8.4
D 中2年	75	1	1.3	7	9.3	4	5.3
A 高理3年	72	8	11.1	19	26.4	12	16.7
A 高理2年	87	6	6.9	29	33.3	15	17.2
A 高文2年	35	2	5.7	6	17.1	3	8.6
全体	465人	34人	7.3%	149人	32.0%	64人	13.8%

※上4群が今回の調査、下3群が平成27年度の調査

て正答したものは、全対象群で平均 7.3%（高校生平均 10.4%，中学生平均 1.3%）であった。ちなみに今回対象とした高校生は文系も含めてすべて高校で物理基礎を選択している。

表 2-1 調査対象群ごとの各設問解答率（①～③）④・⑤については下表に続く

学校	人数	①ソケット 正答率	②フィラメント正答率	③電流の大小		
				A>B	A=B	A<B
A 高 2 年	81 人	53.1%	49.4%	13.6%	81.5%	1.2%
B 高 2 年	32	37.5	34.4	46.9	43.8	6.3
C 中 3 年	83	62.7	59.0	37.3	33.7	4.8
D 中 2 年	75	22.7	13.3	41.3	53.3	1.3
A 高理 3 年	72	38.9	34.7	8.3	(84.7)	5.5
A 高理 2 年	87	56.3	42.5	19.5	(77.0)	6.9
A 高文 2 年	35	40.0	28.6	25.7	(71.4)	2.9
全体	465 人	46.2	39.1%	25.8%	54.6% (64.7%)	4.1%

表 2-2 調査対象群ごとの各設問解答率（④・⑤）

学校	人数	④抵抗の大小			⑤電圧の大小		
		A>B	A=B	A<B	A>B	A=B	A<B
A 高 2 年	81 人	30.9%	0.0%	65.4%	45.7%	11.1%	38.3%
B 高 2 年	32	18.8	6.3	71.9	56.3	31.3	9.4
C 中 3 年	83	24.1	2.4	54.2	32.5	22.9	10.8
D 中 2 年	75	9.3	6.7	80.0	57.3	16.0	20.0
A 高理 3 年	72	25.0		43.1	50.0		20.8
A 高理 2 年	87	25.3		62.1	51.7		23.0
A 高文 2 年	35	11.4		68.6	42.9		25.7
全体	465 人	21.9%		62.4%	47.5%		21.9%

※表 2-1, 2-2 を通して、上 4 群が今回の調査、下 3 群が平成 27 年度の調査

網掛け部が正答率を示している。平成 27 年度調査では電流、抵抗、電圧の大小についてのみ正しいかどうかを聞いた。したがって電流の A=B 欄は A>B 及び A<B の両方に×をつけたものを（ ）付きで表示している。また、電流全体欄は上 4 群の平均とともに 7 群全体の平均を（ ）付きで示した。また、抵抗、電圧はあえて空白とした。

1. 正答および誤答の理由：①と②に関連して

①、②は豆電球の中を電流が通ることが正しく理解できているかを問うた問題で、小学校 3 年生の教科書（例えば 毛利ほか，2011）にも図入りで解説されている。①、②それ

ぞれの正答率は対象群ごとにばらつきはあるが、学習履歴との顕著な相関はなく、概ね 5 割程度以下（①平均 46.2%，②平均 39.1%）であった。①，②ともに正解というのは全体で平均 32.0%しかなかった。

表 3 に正答したもの及び誤答したものの主な理由を示した。正答したものについては、「ソケットがゆるんでいた」あるいは「フィラメントが切れていると回路が成立しなくなるので豆電球 A も点灯しない」と正しく答えているが、その一方で誤答したものについては、ソケットやフィラメントの状態にかかわらず「回路としては成立し、豆電球 A には電流が流れる」と考える生徒が多い。また正答したものの中にも「ソケットは関係ないので×とした」という誤った考えのものもあった。「豆電球 B で電流が 0 であつたり弱かつたりしても、豆電球 A では電流が流れている」という電流減衰モデルと関連する考えを持つものもある。豆電球の中の様子については、小学校の教科書にソケットやフィラメントも含めて図解付きで記載されているにもかかわらず、豆電球の中も回路の一部であるという理

表 3 ①②主な正答及び誤答の理由

①	設問 豆電球 B がソケットからゆるんでいた。
×（正答）とした 主な理由	●ゆるんでいたら A も点かないはず ●接続が切れる ●回路が成立しない、閉じない ●一周できない ●回路が途切れ電流が流れないので A も光らない (適切でない理由) ●ソケットは関係ない ●ソケットからゆるんでいても B は点く
○（誤答）とした 主な理由	●ソケットがゆるんでいると B は点灯しない (A が点いていることを意識していない) ●ソケットがゆるむと B だけ点灯しない (A が点いていることを意識している) ●ソケットがゆるんでいると点灯しないが電流は流れている ●イルミネーションのように 1 つが消えても他は点いているので回路は切れていない
②	設問 豆電球 B のフィラメントが切れていた。
×（正答）とした 主な理由	●①と同じ理由。 ●フィラメントが切れると回路が成立しない ●電流が流れないので A も光らない
○（誤答）とした 主な理由	●フィラメントが切れると点灯しない、電流が流れない (A が点いていることを意識していない)。 ●B だけ流れない (A が点いていることを意識している) ●B で電流が止まる。 ●B が切れても回路はつながっているので電流は流れる ●フィラメントが切れると点灯しないが電流は流れている

解や、豆電球のどこを電流が流れるかという理解ができていないことがわかる。①と②では若干ではあるが、いずれの対象群でも②のほうが、正答率が低い。これはフィラメントが何なのかわかっていないものがあると思われる。

小中学校教員を目指す大学生のこの分野における理解度不足を指摘する報告も多いが（平島・市川，2013；磯田・宮花，2014），小学校における学習と併せて教員養成系大学学部における教師教育も重要である。

2. 正答および誤答の理由：③～⑤に関連して

③～⑤では、豆電球 A と B での電流、抵抗、電圧についてその大小を問いているが、3 問とも正解したものは対象群の学習履歴に関わらず 2 割程度以下（全体平均 13.8%）であった。③の電流は豆電球 A のみが点灯することから $A > B$ を選択するものがあると予想されるが、A 高校の 4 群で $A > B$ が平均 15.6%とやや少なかったが、それ以外の 3 校は平均 40.5%もあった。また電流は一定とする $A = B$ は A 高校 4 群が平均 78.2%，それ以外が 43.1%であった。 $A < B$ は全体平均が 4.1%と少なかった。表 4 に③，④，⑤で正答したもの及び誤答したものの主な理由を示した。 $A = B$ とした理由のほとんどは直列回路では電流はどこも同じと答え、全体で 5-6 割程度は明るさが異なる豆電球の直列回路でも電流保存の概念

表 4 ③，④，⑤の主な正答及び誤答の理由

③	豆電球 A と B を流れる電流の比較
A=B (正解) とした理由	●直列つなぎでは電流はどこでも一定 ●$A > B$ なら+から出る量と-に入る量が違ってしまう
A>B (誤答) とした理由	●B が点灯しなかったのは電流が少なかったから ●電流が多いほうが明るく光る ●A が明るかったので B には電流は流れていない，流れていても弱かった ●A で使った分 B を流れる電流は減る
④	豆電球 A と B の抵抗の比較
A>B (正解) とした理由	●電流が一定なので抵抗が大きい方が電圧が大きい（だから A が点灯する） ●直列のときは抵抗が大きい方が明るくつく
A<B (誤答) とした理由	●抵抗が大きいと点灯しない ●抵抗が大きいと電流が流れにくい
⑤	豆電球 A と B にかかる電圧の比較
A>B (正答) とした理由	●直列では電流はどこでも同じなので電圧は抵抗に比例する ●電圧が大きいほうが点灯する (適切でない理由) ●電圧が大きいと電流も大きい
A<B (誤答) とした理由	●抵抗が大きいと電圧も大きい
A=B (誤答) とした理由	●電圧はどこでも一緒

が一見定着しているように見える。A 高校はいわゆる進学校であるが 8 割近くが正解している。逆に電流が $A > B$ とした主な理由は豆電球 B に流れる電流が少なかったから点灯しなかったとするものが多く、電流の大小が明るさを決めると考え、直列回路での電流保存の概念が理解できていない。1 個の豆電球や同じ明るさの 2 個の豆電球の直列回路では電流保存の概念が定着しているように見えるが、三島・前田（1984）や宮田（2012）の報告同様、今回の調査でも中学校や高校生の一部でもこのように明るさの異なる豆電球の直列回路で問うと電流保存概念が揺らぐことがわかる。④の抵抗については豆電球 B の方が大きいとする誤答が全体で 62.4%もあり、正答の豆電球 A の方が大きいとした 21.9%より顕著に多かった。これについては対象群の違いで顕著な差はなかった。誤答の理由は、「抵抗が大きいと点灯しない」、「電流が流れにくい」というものである。表 5 に示すように、③で

表 5 抵抗と電流の解答の関係

学校	人数	電流正答人数のうち抵抗 $A < B$ である誤答	
		電流正答	抵抗誤答
A 高 2 年	81 人	66 人	43 人(65.2%)
B 高 2 年	32	14	9 人(64.3%)
C 中 3 年	83	28	14 人(50.0%)
D 中 2 年	75	40	33 人(82.5%)
A 高理 3 年	72	61	23 人(37.7%)
A 高理 2 年	87	67	35 人(52.2%)
A 高文 2 年	35	25	15 人(60.0%)
平均	465 人	301 人	172 人(57.1%)

電流が「 $A = B$ である」と正答したもののうち、④で抵抗が「豆電球 B の方が大きい」と誤答したものは平均で 57.1%もあった。電流について聞いた場合は「直列回路なので電流が保存する」と答えながら、その一方で抵抗について聞くと、「豆電球 B のほうが、抵抗が大きく、電流が流れにくいから点かない」という矛盾する説明をする。いわゆる文脈依存で概念が揺らぐことを示している。

表 6 電流、抵抗、電圧の正答者の③、④正答率

学校	③④⑤ 正答 人数	③電流正答者のうち③④⑤正答率		④抵抗正答者のうち③④⑤正答率		⑤電圧正答者のうち③④⑤正答率	
		③正答	正答率	④正答	正答率	⑤正答	正答率
A 高 2 年	19 人	66 人	28.8%	25 人	75.9%	37 人	51.3%
B 高 2 年	4	14	28.6	6	66.5	18	22.2
C 中 3 年	7	28	25.0	20	35.0	27	25.9
D 中 2 年	4	40	10.0	7	57.3	43	9.3
A 高理 3 年	12	61	19.7	18	66.7	36	33.3
A 高理 2 年	15	67	22.4	22	68.1	45	33.3
A 高文 2 年	3	25	12.0	4	75.2	15	20.0
平均	64 人	301 人	21.3%	102 人	62.7%	221 人	29.0%

一方、④で「直列回路では電流が一定なので抵抗が $A > B$ 」と正しく答えたものは③でも電流が $A = B$ と正答し、「直列のときは抵抗が大きい方が明るく点く」と理由を書いている。

⑤の電圧については $A > B$ とする正答が47.5%で、誤答の $A < B$ が21.9%であった。ただ理由を見ると、「電圧が大きいと電流も大きいのでAが点く」とするものもあり、必ずしも理解が十分であると言えないものも含まれる。表6には電流、抵抗、電圧それぞれで正答したもののうち、電流、抵抗、電圧すべて正答したものの割合を対象群ごとに示した。電流や電圧を正答しても正しく理解できているものは2割程度であるのに対し、抵抗を正しく答えたものは6割以上がすべて正答して理解できていると言える。つまり抵抗が分かっているかを問えば理解が進むと思われる。このことを生徒たちに自発的に理解を促す実践として同じ豆電球を並列接続させた場合の明るさを予想させたうえで実験する学習を行ったが、これについては別途報告する。

5. まとめ

規格の異なる豆電球を直列接続させ片方のみ点灯する回路を提示し、豆電球の構造やそれぞれの豆電球の電流、抵抗、電圧の大小をそのように考える理由とともに聞いた。電気分野を履修済みの中学2年生から高校物理基礎を履修済みの高校生までを対象に調査した。直列閉回路での電流保存の概念は2個の明るさの異なる豆電球の接続を提示すると必ずしも定着されていないことが分かった。また電流についてのみ聞くと一見定着していると思われるものも、抵抗について聞くと、そのうちの半数が点灯しなかった豆電球のほうが大きく電流が少ないと矛盾した回答になることがわかった。このような文脈による基本概念の理解の揺らぎは複数の側面からの設問や実験を通して改善される必要がある。そういう点ではアクティブラーニングによる実践は大いに期待される。筆者らはILDsや生徒実験による実践研究を引き続き行っている。

文献

- 平島由美子・市川裕介 2013. 中学生及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, 19, 19-23.
- 磯田 誠・宮花昂平 2014. 豆電球と乾電池を用いる直流電気回路の小学校教員養成教育. 科学教育研究, 38, 27-33.
- 門馬徳夫・吉田俊博 2001. 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, 41, 85-92.
- 門馬徳夫・吉田俊博 2002. 中学生の電流理解に関する実態調査報告(2). 福島大学教育実践研究紀要, 42, 1-8.
- 金子健治 2009. 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, 13-19.
- 三島獄志・前田健吾 1984. 電流概念の形成に関する研究 -単一閉回路の電流の強さ-. 日本理科教育学会研究紀要, 25, 65-69.
- 宮田 斉 2012. Zeroの文脈に基づく豆電球回路教材が中学生の認識に及ぼす影響. 理科教育学研究, 53, 305-316.
- 毛利 衛ほか20名 2011. 新しい理科3. 東京書籍, 東京, 100-101(参照頁).
- 西川 純・冬野英二郎 1996. 科学概念の獲得/定着と文脈依存性に関する研究 -中学生の電気概念の実態をもとに-. 科学教育研究, 20, 98-112.

- 沖花 彰・辻井智子 2004. 中学校理科第1分野「電気」に関する理解度調査. フォーラム理科教育, 6, 19-30.
- 沖花 彰・谷口信一 2009. 中学校電気分野における電位概念の導入と学習教材の開発. 物理教育, 57, 97-102.
- Osborne, R. and Freyberg, P. 1985. Learning in Science. なお, 森本信也・堀 哲夫 訳 1988. 子ども達はいかに科学理論を構成するか「理科の学習論」. 東洋館出版社, 37-43. (本誌では, Osborne and Freyberg, 1985 = 邦訳, 1988 と記す)
- 渡會兼也・沖花 彰 2015. 電気回路の基礎概念理解度調査について. 平成 27 年石川県理化学部会研究紀要, 10-14.
- 渡會兼也・沖花 彰 2016a. 規格の異なる豆電球の直列接続回路に関する理解度調査. 2016 年度日本物理教育学会予稿集, 85-86.
- 渡會兼也・沖花 彰 2016b. 電気回路の基本概念理解度調査「規格の違う豆電球の直列接続」. 2016 年度日本物理学会予稿集, 3165.

付表1 解答用紙

表に○×を入れ、そう思った理由を書いてください（相談せず各自の考えで記入してください）

①ソケット 緩む	②フィラメント切れる	③電流			④抵抗			⑤電圧		
		A>B	A=B	A<B	A>B	A=B	A<B	A>B	A=B	A<B
①と答えた理由										
②と答えた理由										
③と答えた理由										
④と答えた理由										
⑤と答えた理由										

付表2 27年度調査問題

図1のように、規格の異なる2つの豆電球A、Bと1.5Vの乾電池（内部抵抗は無視する）を直列に接続したところ、Aは点灯し、Bは点灯しなかった。

次のうち正しいと考えられるものに○をし、正しくないものに×をし、さらにその理由を述べよ。

- ①豆電球Bのソケットがゆるんでいた。
- ②豆電球Bのフィラメントが切れていた。
- ③豆電球Bを流れる電流が、豆電球Aを流れる電流より多かった。
- ④豆電球Bを流れる電流が、豆電球Aを流れる電流より少なかった。
- ⑤豆電球Bに電流が流れていなかった。
- ⑥豆電球Bの抵抗が、豆電球Aの抵抗より大きかった。
- ⑦豆電球Bの抵抗が、豆電球Aの抵抗より小さかった。
- ⑧豆電球Bにかかる電圧が、豆電球Aにかかる電圧より大きかった。
- ⑨豆電球Bにかかる電圧が、豆電球Aにかかる電圧より小さかった。

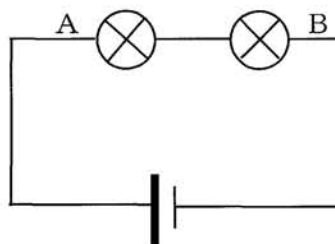


図1