

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

横浜国立大学大学院教育学研究科

平島由美子

藤沢市立片瀬小学校

宮生彩子

神奈川県立横須賀工業高等学校

鈴木健介

平塚学園高等学校

茂木達也

1. はじめに

中学校理科で学ぶ電気回路教材は、生徒の理解が困難なものの一つとされている。具体的にどのような困難な実態があるのか、電気回路の基本概念である電流や電圧の理解が定着しない要因は何か、これらを探る目的で、多くの研究者が、学習者の電気回路に関する理解度の実態について調査してきた。例えば、オズボーンらは、子どもの単純回路の電流に関する素朴概念を類型化し、年齢によってどう変化していくのかを示した¹⁾。三島らは、「電流は+と-の両極から流れる」という考えは子どもが初期に持ちやすく、小4の学習、一部の忘却、小6の学習、一部の忘却、中2の学習という過程を経て正しい考え方に移行していくなど、学習と理解度の関係性を述べている²⁾。山岡は、単純回路の電流に関する小中学生の誤概念は、主に学校の授業を通じて形成されるのではないかと指摘している³⁾。門馬・吉田は、電流単元学習後は、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ものの、電流保存の法則に関する誤概念は容易に改善されないと報告している⁴⁾。古屋・戸北は、直列・並列回路についての理解の実態を調査し、大学2年生の約80%が「交通流モデル」という誤概念を持つことを報告している⁵⁾。金子は、中学生の電流保存概念に関する研究を行い、抵抗が2個の場合、電流値を計算する問題では正解できる生徒でも、発熱を伴う直列回路の問題では正しく応用できなくなってしまうと報告している⁶⁾。学習者にとって電気概念を理解することは容易ではない。

理科学習では、学習者の誤った既有知識に対して、反証例を提示し、概念的葛藤を起こさせる教授法が有効だ

とされている。しかし、山縣は、既有知識と矛盾する情報が提示されたときの学習者の反応（葛藤の大きさ）には差があり、その要因として既有知識の堅固性を挙げている。また、既有知識の堅固性の指標として使用されるのは、回答の一貫性であり、誤った既有知識が強固である（様々な問題で一貫して誤答する）方が、新情報（科学的概念）に接した後に修正されやすいことも指摘している⁷⁾。

今回は、近い将来に児童や生徒を指導することになる教員養成系学部生の電流・電圧理解の状況を把握しておく必要があると考え調査したが⁸⁾、本研究では、電気回路教材の指導上の留意点、教授法、実験の工夫など、小学校以降の各学校種での理科授業改善の手立てを具体的に検討することを目的として、学習者の電流・電圧理解の実態調査を実施した。対象者は小学生から大学生までとし、学習者の電気回路に関する素朴概念が学年進行でどのように変化していくのかを調べた。対象者の年齢範囲を広く設定したのは、学習者の持つ誤った様々な概念の堅固性・回答の一貫性を学年進行（時間経過）で把握し、それを各学校種の授業改善に活用するためである。

2. 実態調査の概要

2-1. 調査時期・対象者

調査時期は2017年10月～2019年4月、調査対象は小学校5年生～大学生である。具体的には、2017年12月に小学校5年生43名と6年生41名、中学校1年生28名と2年生32名と3年生30名、高等学校1年生109名と2年生86名、2017年10月に理系学部生70名を調

教育デザイン研究第14巻（2023年1月） 149

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

査した。理系学部生の高等学校での物理履修状況は、物理基礎・物理履修者 46 名、物理 I・II 履修者 24 名であった。なお、物理基礎・物理（新課程）および物理 I・II（旧課程）の合計単位数は、どちらも 6 単位である。教員養成系学部 1 年生については、2017 年 10 月に 113 名、2018 年 4 月に 127 名と 10 月に 115 名、2019 年 4 月に 115 名、計 470 名を調査した。教育養成系学部生 1 年生 470 名の高等学校での物理履修状況は、未履修者 111 名、物理基礎履修者 259 名、物理基礎・物理履修者 100 名であった。

調査結果は、中学校での電気回路に関する学習状況および高等学校での物理履修状況に影響されると考えられるため、下の表 1 に示した 6 つのグループに分けて分析した。

表 1 実態調査対象者の 6 つのグループ分けと名称

<p><小 5～中 2> (144 名)</p> <p>中学校での電気回路に関する学習は未習</p> <ul style="list-style-type: none"> ・公立 A 小学校 5 年生 43 名 ・公立 A 小学校 6 年生 41 名 ・公立 B 中学校 1 年生 28 名 ・公立 B 小学校 2 年生 32 名
<p><中 3～高 2> (225 名)</p> <p>中学校での電気回路に関する学習は既習だが、高等学校で電気回路に関する授業を受けていない</p> <ul style="list-style-type: none"> ・公立 B 中学校 3 年生 30 名 ・公立 C 高等学校 1 年生 109 名 ・公立 C 高等学校 2 年生 86 名
<p><教一未履修> (111 名)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高校物理基礎・物理未履修の教員養成系学部 1 年生
<p><教一物基> (259 名)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高校物理基礎を履修した教員養成系学部 1 年生
<p><教一物基・物> (100 名)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高校物理基礎・物理を履修した教員養成系学部 1 年生
<p><理系学部> (70 名)</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高校物理基礎・物理を履修した理系学部生 46 名 ・高校物理 I・II を履修した理系学部生 24 名

なお、グループの名称は、< > で囲った略称で表記することとし、中学校での電気回路の学習が未習である小学校 5・6 年生と中学校 1・2 年生を<小 5～中 2>、中学校での電気回路の学習は既習だが高等学校で電気回路

に関する授業を受けていない中学校 3 年生と高等学校 1・2 年生を<中 3～高 2>、高等学校で物理基礎も物理も履修していない教員養成系学部 1 年生を<教一未履修>、高等学校で物理基礎のみ履修している教員養成系学部 1 年生を<教一物基>、高等学校で物理基礎と物理を履修している教員養成系学部 1 年生を<教一物基・物>、理系学部生は<理系学部>とした。表 1 に、調査対象者のグループ分けの詳細を示した。

2-2. 質問紙調査の内容

実態調査は質問紙で実施し、回答は無記名とした。実施にあたっては、調査趣旨を説明して協力を仰いだ。小学校 5 年生から中学校 2 年生までを対象とした質問紙調査の質問は、小学校第 4 学年理科で学んだことを理解していれば正解できる内容とし、「【1】単純回路（負荷装置は豆電球）に流れる電流を矢印で示す」、「【2】単純回路（負荷装置はモーター）に流れる電流を矢印で示す」、「【3】豆電球の点灯の仕組み」、「乾電池が直列につながった回路の豆電球の明るさと並列につながった回路の豆電球の明るさ（単純回路との比較）を問う」の 4 問で調査した。中学校 3 年生から大学生を対象とした質問紙調査の質問は、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とし、9 問の質問によって電流・電圧の理解の状況を調べた。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、状況を変えて同じ内容を複数回問うた。これは、概念獲得の状況を複数の問題場面から見ることにより、既存概念の堅固性を把握するためである。電流に関しては、小学校 5 年生から中学校 2 年生を対象とした調査で使用した【1】～【3】に加え、「【4】電熱線の前後で電流の値はどうかを問う」、「【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かを問う」の 5 問で調査した。電圧については、「【6】直列回路の電圧」、「並列回路の電圧」、「【7】直列回路および並列回路に流れる電流の値の計算」、「【8】8 種類の回路 A～H の豆電球の明るさ（単純回路との比較）を問う」の 4 問で調査した。なお、質問【8】の回路 A と B は、小学校 5 年生から中学校 2 年生を対象とした質問紙の最後の質問にあたる。質問の図は、回路図と実体図をあえて混ぜるようにした。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。なお、調査開始時

教育デザイン研究第 14 巻（2023 年 1 月） 150

に、大学生には、中学校理科の学習範囲（乾電池の内部抵抗や豆電球の非直線抵抗等は考えない）で解くように伝えた。

3. 調査結果

今回は、全調査対象者が回答している質問【1】～【3】、【8】回路AとBについて結果をまとめた。なお、単純回路（負荷装置は電熱線）に関する質問【4】は、＜小5～中2＞は回答していないが、他グループの質問【1】と【2】の結果を考察する際にその結果を用いた。

3-1. 電流保存の法則を理解しているか？

3-1-1. 単純回路（豆電球・モーター）の電流のとりえ方

図1に質問【1】と【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AとIに流れる電流を矢印で描かせる（電流の向きと大きさを矢印の向きと太さで示す）質問である。回答が正しいかどうかは、前回の報告と同様に、回答者の描いた矢印を見て判断した⁸⁾。本調査では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（類似するもの含む）」と呼んで区別して分類した。

図1. 下図のように豆電球と乾電池をつないだ回路と、モーターと乾電池をつないだ回路があります。それぞれの回路のAとIのところで、電流はどの向きに流れていると思いますか。それぞれの図に電流の向きを矢印で示してください。ただし、流れる電流の大きさは、矢印の太さで示してください。なお、電流が流れていないと思う部分は、矢印を描く必要はありません。

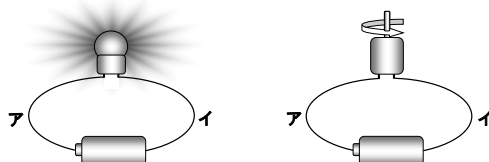


図1 質問【1】 【2】 回路に流れる電流を矢印で示す

豆電球の回路とモーターの回路で、一貫した考えを示した割合を図2に示す。ここで、“一貫性のない回答”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。質問【1】と【2】両方に正解できた回答者の割合は、＜小5～中2＞は11.8%、＜中3～高2＞は38.7%、＜教一未履修＞49.5%、＜教一物基＞62.2%、＜教一物基・物＞72.0%、＜理系学部＞82.9%であった。理系学部生でも正答率は100%ではなかった。これら正答（科学的概念）も含め、質問【1】 【2】で一貫した考

えを示した回答の割合は、＜小5～中2＞は50.0%、＜中3～高2＞は70.2%、＜教一未履修＞78.4%、＜教一物基＞83.0%、＜教一物基・物＞84.0%、＜理系学部＞94.3%であった。誤ってはいるが、一貫した考え方の数は、＜小5～中2＞は5種類、＜中3～高2＞は7種類、＜教一未履修＞は5種類、＜教一物基＞は5種類、＜教一物基・物＞は3種類、＜理系学部＞は2種類であった。門馬・吉田は、中学校での電流単元学習後は、生徒の電流の向きに関する誤概念である「衝突」の考えはかなり解消されるが、電流保存の法則に関する誤概念は容易に解消されないことを報告しているが⁹⁾、本調査でも同様の傾向が見られた。「衝突」の考えは、＜小5～中2＞では18.1%であったが、＜中3～高2＞ではその割合が大きく減少してわずか1.3%であり、豆電球の回路およびモーターの回路の両方で一貫して「衝突」の考えを持つ大学生はいなかった。他方、電流保存の法則に関わる誤概念（「消費」「消滅」「逆流消費」「逆流消滅」の考え）は、＜小5～中2＞は19.5%、＜中3～高2＞は20.5%、＜教一未履修＞は22.5%、＜教一物基＞は15.9%、＜教一物基・物＞は9.0%、＜理系学部＞は5.7%であり、負荷装置で電流が消費されたり円滑に流れなくなったりするといった考えは、高等学校で物理基礎・物理を履修した大学生であっても強固に残ることが示唆された。

これらに対し、質問【1】 【2】で一貫した考えを示さない回答（“一貫性のない回答”）の割合は、＜小5～中2＞は41.7%、＜中3～高2＞は25.8%、＜教一未履修＞20.7%、＜教一物基＞15.1%、＜教一物基・物＞14.0%、＜理系学部＞4.3%であった。質問【1】と【2】は、負荷装置が豆電球かモーターかが違うだけだが、一貫性のある考えを持たず、質問によって異なる電流モデルを使って回答している状況があることが明らかになった。

以上の結果より、中学校理科、高等学校物理基礎・物理で電気回路に関する内容を繰り返し学ぶことで、電流の向きと大きさに関する誤った考え方の多様性がなくなっていくとともに一貫性のある考え方を示す割合が上がり、電流保存の法則に関しての正答率も上がる傾向がみられたものの、負荷装置で電流が消費されたり円滑に流れなくなったりするといった誤った考えは強固に保持される場合があることがわかった。

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

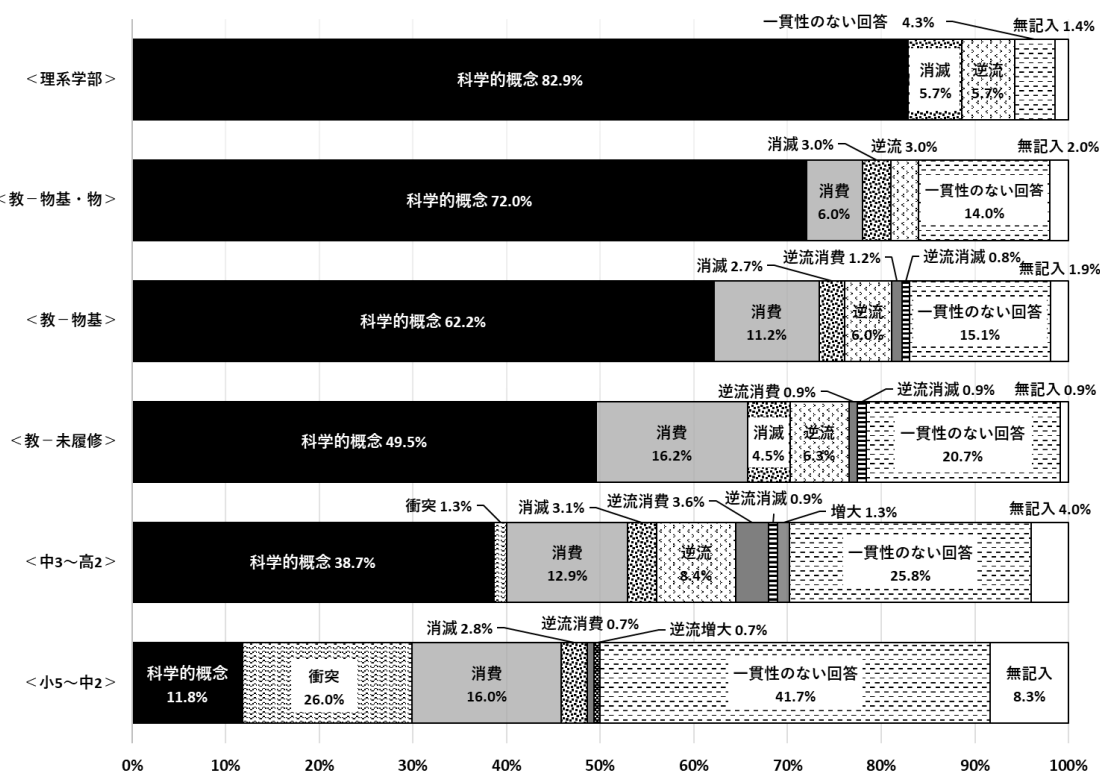


図2 質問【1】豆電球の単純回路と質問【2】モーターの単純回路の回答パターン

(【1】【2】が異なる回答は「一貫性のない回答」、【1】【2】ともに無回答は「無記入」とした)

3-1-2. 豆電球点灯の仕組みのとらえ方

図3に質問【3】を示した。これは、豆電球の点灯の仕組みに関する質問である。選択肢は、“豆電流は、回路に流れる電流を消費して光っている”(電流消費)、“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”(電子放出)、“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”(衝突)、“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”(エネルギー変換)、“その他”の5つを設定した。図4に集計結果を示す。なお、“その他”を選択した回答者はいなかった。

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○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3 質問【3】豆電球の点灯の仕組み

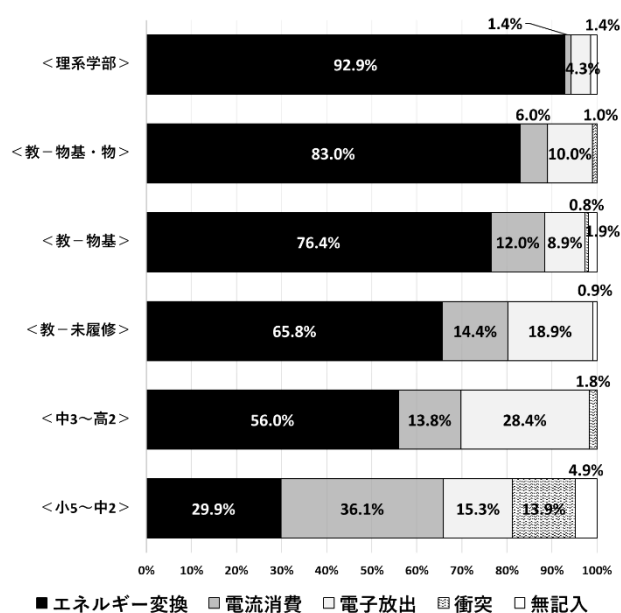


図4 質問【3】豆電球の点灯の仕組みに関する考え

3-1-3. 単純回路(電熱線)の電流のとらえ方

単純回路の電流に関する質問は、他にも用意した。図5に質問【4】を示す。また、図6にその回答の割合を示す。ただし、<小5~中2>は回答していない。図5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

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

の示す値が同じか違うかを問うたところ、正答率は、<中3～高2>は39.1%、<教一未履修>47.7%、<教一物基>43.2%、<教一物基・物>66.0%、<理系学部>81.4%であった。結果をみると、質問【1】（負荷は豆電球）と【2】（負荷はモーター）の両方に正解できた回答者が多く正答率が6割を超えていたグループでも、負荷が電熱線に変わっただけで正答率が下がる傾向があり、状況依存があることが示唆されたが、高等学校で物理基礎だけでなく物理を履修している2つのグループでは下がり幅は小さかった。具体的には、<教一物基>は-19.0%であったのに対し、<教一物基・物>は-6.0%、<理系学部>は-1.5%であった。つまり、中学校第2学年理科の学習だけでは、単純回路における電流保存の法則すら理解の定着が進まない実態があることがわかった。誤答は①が多く、理由として“電熱線で水の温度を上げるのに電流等を消費（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”や“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

が流れにくくなるので電熱線の後にある電流計2の示す値の方が小さくなる”と記入していた回答者が多かった。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電熱線2つの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⁹⁾。本調査の質問【4】は、負荷装置が電熱線1つだけの単純回路であるが、理系学部生であっても正答率は100%にならず、誤った概念が強固に残る実態があることがわかった。

3-1-4. 単純回路の電流のとらえ方に一貫性はあるか？

単純回路に流れる電流の考え方に一貫性があるのかを質問【1】～【4】の回答結果から検討した。まず、全グループが回答している質問【1】～【3】の回答に一貫性があるのかを調べた。質問【1】～【3】すべてに正解した回答を“科学的概念”として分類した。質問【1】～【3】すべてに衝突の考えを示した回答を“衝突の考え”として分類した。質問【1】～【3】すべてで何かが減るといふ考えを示した回答を“消費の考え”として分類した。この“消費の考え”とは、具体的には、質問【1】および【2】で「消費」「消滅」「逆流消費」「逆流消滅」のいずれかの考えを示し、かつ、質問【3】で「電流消費」あるいは「電子放出」の考えを示した回答である。そして、質問【1】～【3】すべてに回答がなかったものを“無記入”として分類した。以上の“科学的概念”、“衝突の考え”、“消費の考え”、“無記入”を除く回答は、考え方に一貫性がないと捉え、“一貫性のない回答”として分類した。ここで、“一貫性のない回答”には、いずれかの質問で無記入だったものも含めた。図7に結果を示す。

質問【1】～【3】すべてに正解できた回答者（“科学的概念”）の割合は、<小5～中2>は4.2%、<中3～高2>は22.8%、<教一未履修>33.3%、<教一物基>47.9%、<教一物基・物>61.0%、<理系学部>78.6%であった。質問【1】～【3】すべてに“衝突の考え”を示した回答があったのは<小5～中2>のグループだけであり、その割合は3.5%であった。他グループには“衝突の考え”を示した回答者はいなかった。質問【1】～【3】すべてに“消費の考え”を示した回答者の割合は、<小5～中2>は12.5%、<中3～高2>は9.8%、<教一未履修>10.8%、<教一物基>5.0%、<教一物基・物>1.0%であった。<理系学部>には、“消費の考え”を示した回答者はいなかった。この結果から、“衝突の考

問題5. 下の図のような回路を組み立て、まずビーカーの中の水の温度を測りました。次に電圧を一定にして電流を流したところ、水の温度が上昇していきました。この実験中、電熱線の前後につないだ2つの電流計で電流の値を測定しました。電流計1と電流計2の値は、どうなっていると思いますか。次の選択肢から1つ選んで○をつけてください。また、その選択肢を選んだ理由も書いてください。

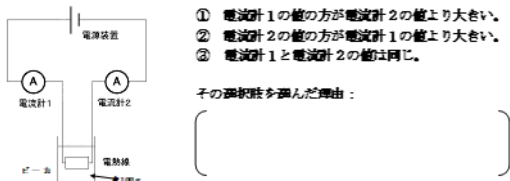


図5 質問【4】電熱線の前後での電流値

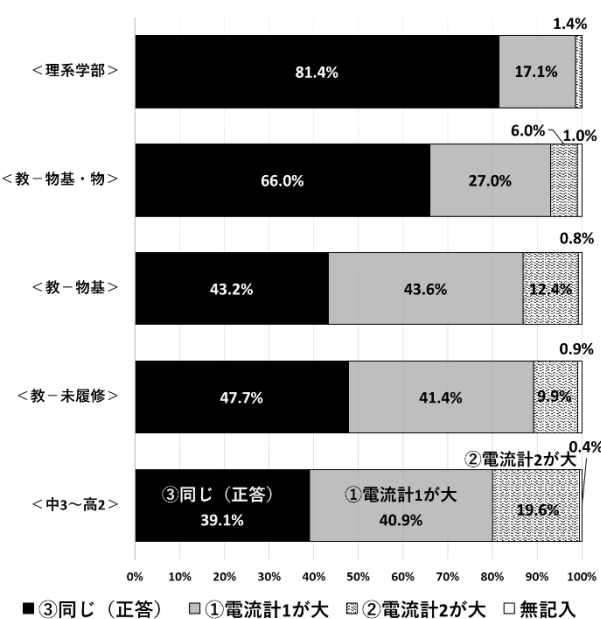


図6 質問【4】電熱線前後の電流に関する考え

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

え”に比べて“消費の考え”の方が強固に保持され、高等学校で物理基礎や物理を学んだ後も残る場合があることが示唆された。質問【1】～【3】で“一貫性のない回答”の割合は、<小5～中2>は77.8%、<中3～高2>は68.4%、<教一未履修>55.9%、<教一物基>47.1%、<教一物基・物>38.0%、<理系学部>21.4%であった。学校種が上がるほど、また、電気回路に関して学ぶ機会が多いグループほど、一貫した考えを示さない回答（“一貫性のない回答”）の割合が減少していく傾向がみられた。つまり、中学校理科の学習、高等学校物理基礎・物理の学習により、誤った考え方の多様性が減少していくとともに一貫性のある考え方を示す割合が上がり、正答率も上がる傾向がみられた。なお、今回、調査対象となった理系学部生では、一貫性のある誤った考えを示した回答者はいなかった。

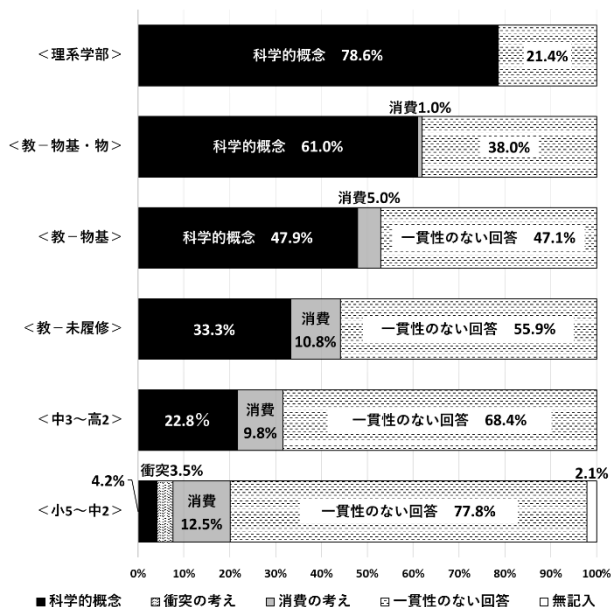


図7 質問【1】～【3】の回答の組み合わせパターン

次に、負荷装置を電熱線にした回路の電流に関する質問【4】も含め、質問【1】～【4】の回答に一貫性があるのかを調べた。ただし、質問【4】は、<小5～中2>は回答していない。質問【1】～【4】すべてに正解した回答を“科学的概念”として分類した。その割合は、<中3～高2>は8.0%、<教一未履修>16.2%、<教一物基>24.3%、<教一物基・物>41.0%、<理系学部>67.1%であった。質問【1】～【4】すべてで何かが減るといふ考えを示した回答は“消費の考え”として分類した。“科学的概念”、“消費の考え”を除く回答は、考

え方に一貫性がないと捉え、“一貫性のない回答”として分類した。ここで、“一貫性のない回答”には、いずれかの質問で無記入だったものも含めた。全質問で無記入だった回答は無かった。図8に結果を示す。

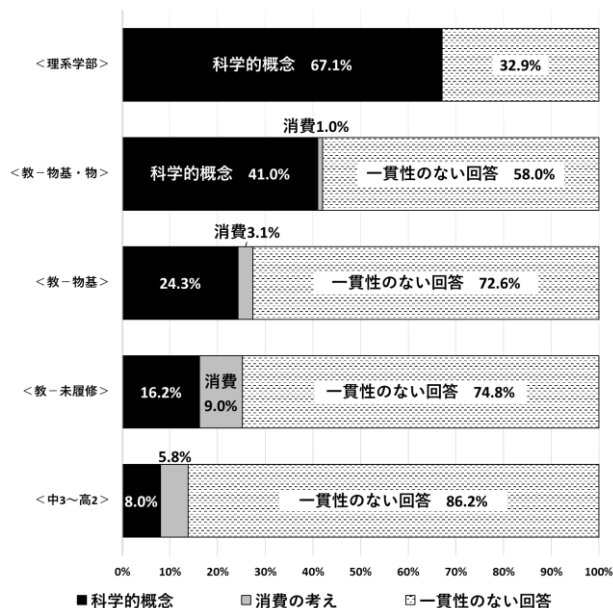


図8 質問【1】～【4】の回答の組み合わせパターン

単純回路の電流については、小学校第4学年で学ぶ。質問【1】【2】【4】は、すべて単純回路の電流保存の法則に関する問いであったが、負荷装置が違うだけで間違ってしまうケースがあることが分かった。このように、電流保存の法則については、状況依存があることが確認された。大学生であっても負荷が違うだけで正しく回答できなくなる回答者がいる。理系学部生でも3割を超える学生がいずれかの質問で間違えており、小学校で学習する内容を真に理解していない実態がある。小学校第4学年理科では、小学校用簡易検流計やモーター等を活用して、単純回路に流れる電流の向きと大きさについて実験を通して学んでいく。このとき、電流の向きと大きさがどうなっていると思うか、事前に児童たちの予想をクラスで発表・整理してから、負荷装置の前後に同時にそれぞれ簡易検流計を入れて流れる電流の向きと値を確認させ、実験結果を矛盾なく説明できる考え方はどれだったのかを明らかにするのが大事であると考えている。現行の6社の小学校教科書のうち、2つの簡易検流計を用意し、モーターの前後に同時にに入れて電流の向きと大きさを確認する実験が載っていたのは1社のみであった。電流に関して誤った考えを持っていたことに気付かせるには、

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

簡易検流計は2つ用意し、負荷前後の電流の向きと大きさを一度に確認させる必要があるのではないかと。また、既存概念の堅固性が低く、負荷装置が違っていると異なる電流モデルを導入する状況があるため、加えて、モーターだけでなく、豆電球、電熱線等の回路でも同様の実験を繰り返し行う必要がある。また、小中学校での学習後も電流保存の法則が理解されにくい状況があることから、再度、高等学校や大学の授業でも負荷装置の前後の電流の向きと大きさを同時に確認させる実験を行い、科学的概念だけが実験結果を矛盾なく説明できることを納得させる機会を設定することが必要だと考える。

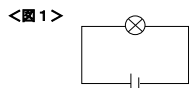
3-2. 乾電池の直列つなぎ・並列つなぎに関する理解

3-2-1. 回路A (乾電池2個直列つなぎ) の豆電球と回路B (乾電池2個並列つなぎ) の豆電球の明るさ

次に、小学校第4学年で学ぶ乾電池の直列つなぎと並列つなぎに関する質問【8】の回路AとBの調査結果を見ていきたい。図9に質問【8】を示す。<図1>の単純回路の豆電球の明るさと、<図2>の回路A~H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○、暗ければ△を記入する。8つの回路A~Hのうち、回路AとBは、小学校第4学年で学ぶ豆電球1個に乾電池2個を直列につないだ回路と並列につないだ回路である。今回は、全調査対象者が回答した回路AとBについて調査結果をまとめた。図10に回路AおよびBの正答率を示す。

問題8.

まず、乾電池1個と豆電球1個を導線でつないで<図1>のような回路をつくり、豆電球の明るさを調べました。



次に、<図1>で用いたものと同じ種類の乾電池と豆電球を使って、<図2>のA~Hのようにつないで回路をつくり、それぞれの豆電球の明るさを調べました。

このとき、<図1>の豆電球よりも明るくなるつなぎ方には◎、同じ明るさになるつなぎ方には○、暗くなるつなぎ方には△を [] に書いてください。

また、それぞれ、解答の理由も“余白に”書いてください。

<図2>

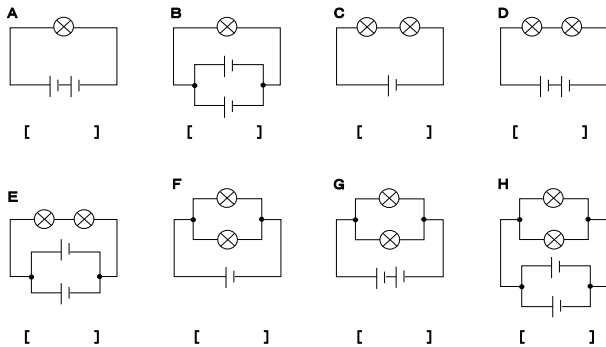


図9 質問【8】いろいろな回路の豆電球の明るさ

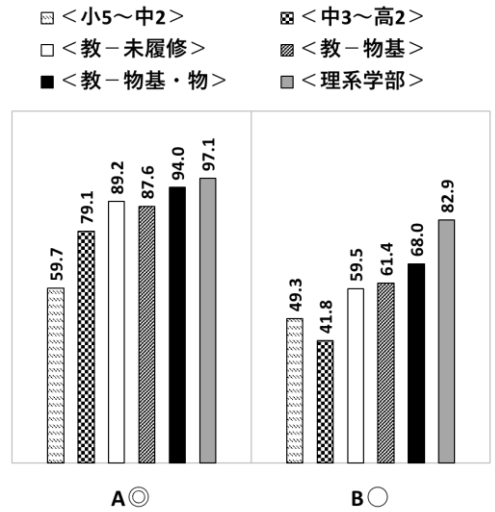


図10 質問【8】回路Aと回路Bの正答率 (%)

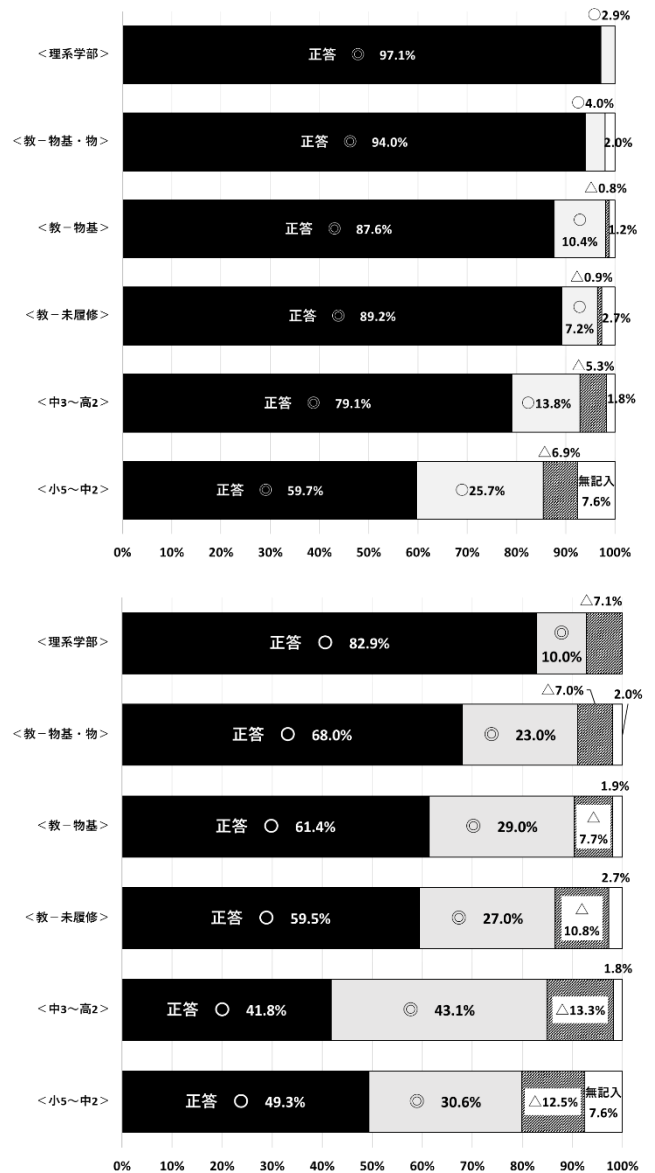


図11 各グループの質問【8】の回答

上: 回路A (直列つなぎ)、下: 回路B (並列つなぎ)
教育デザイン研究第14巻 (2023年1月) 155

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

小学校第4学年では乾電池の直列つなぎ（回路A）と並列つなぎ（回路B）を学ぶが、図10に示したように、回路A、Bの各正答率は、学年進行とともに学習が積み重ねられ、上昇する傾向が見られた。しかし、今回の調査では、理系学部生であっても、小学校第4学年の学習内容が完全に理解されていない状況にあることがわかった。回路A、Bの各回答の割合は、図11に示した。また、どちらも正解（A◎、B○）した回答者の割合は、<小5～中2>は43.8%、<中3～高2>は37.3%、<教-未履修>57.7%、<教-物基>60.2%、<教-物基・物>67.0%、<理系学部>82.9%であった。小学校の学習内容であっても、理系学部生も含め大学生にも理解されていない状況があることがわかった。なお、どちらも正解（A◎、B○）した回答者の割合は、<小5～中2>で43.8%、<中3～高2>で37.3%となり、学年進行で逆転していた。これは、前年や前々年に乾電池の直列・並列つなぎを学んでいる小学校5・6年生の正答率が高かったことが影響していると考えられる。データ数が少ないが、今回の調査結果に限ると、正答率は学年進行で低下していく傾向が見られ、小5は53.5%、小6は46.3%、中1は42.9%、中2は28.1%であったが、これは学習後の忘却などに関係していると考えられる。

3-2-2. 回路A（乾電池2個直列つなぎ）・回路B（乾電池2個並列つなぎ）の回答パターン

図12には、【8】の回路AとBの回答パターンの各割合を示した。主な誤答パターンは3つあり、A○-B◎、A◎-B◎、A◎-B△であった。図12下には、これら3つの誤答パターンと正答パターンA◎-B○の割合が、各グループでどのように変化するかを示した。

誤答パターンA○-B◎の割合は、他のグループに比べ、<小5～中2>で高い傾向が見られたが（19.4%）、他のグループでは割合が下がり、<理系学部>では0.0%であった。この誤答パターンは、乾電池2個を直列にして豆電球につないでも乾電池1個をつないだときと明るさは変わらない（A○）、乾電池2個を並列にして豆電球につなぐと乾電池1個をつないだときより明るくなる（B◎）という考え方である。その回答理由を見ると、“Aは直列で流れる量は変わらない。Bは並列だと足し算して明るくなる。（高1）”、“Aは直列で電流一定だから。Bは並列で豆電球に流れる電流が2倍だから。（教-物基）”、“Aは直列だから変化しない。Bは電

池が並列だから電力2倍。（教-物基）”等があった。回答理由から、この誤答パターンの回答者は、回路Aでは、乾電池2個が直列つなぎで横に並んでいるだけで1本道なので、<図1>の単純回路と電流や電力は変わらず一定で、豆電球の明るさは同じであると考えていることが示唆された。一方、回路Bでは、乾電池2個が並列つなぎなので2つの電流やパワーや電力やエネルギーが合わさり、<図1>の単純回路より豆電球は明るく光ると考えていることが示唆された。

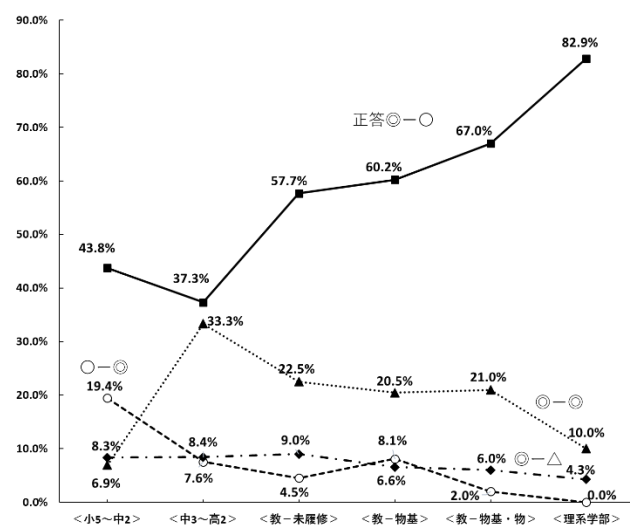
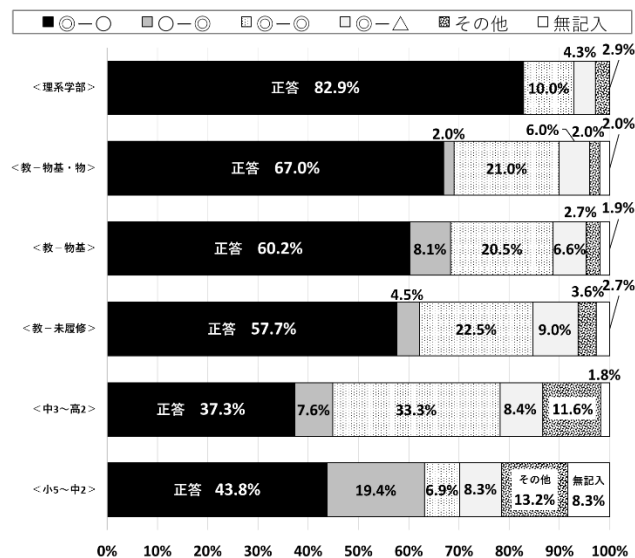


図12 各グループの質問【8】AとBの回答パターン

誤答パターンA◎-B◎の割合は、他のグループに比べ、<小5～中2>で低い傾向が見られたが（6.9%）、中学校で電気回路を学んだ<中3～高2>では割合が増加している（33.3%）。この誤答パターンは、<理系学部>でも10.0%いたことから、学習を積み重ねても強固

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

に残る素朴概念であると考えられる。この誤答パターンは、直列つなぎ、並列つなぎに関係なく、乾電池2個を豆電球につなぐと乾電池1個のときより豆電球は明るく光る(A◎、B◎)という考え方である。その回答理由を見ると、“Aは乾電池の数が増えたから。Bも乾電池の位置が変わっても2個だから。(小5)”、“Aは電池2つで電流up。Bは電池2つで電流up。(理系学部)”、“Aは豆電球1個に対して電圧が大きくなる。BもAと同じ理由。(理系学部)”等があった。回答理由から、この誤答パターンの回答者は、回路A・Bでは乾電池の数が増えて2個つながっているので、つなぎ方に関係なく、直列つなぎでも並列つなぎでも<図1>の単純回路と比べて豆電球に流れる電流やかかる電圧が2倍になるので豆電球は明るくなると考えていることが示唆された。

誤答パターンA◎-B△の割合は低いが、理系学部生を含め、どのグループにおいても見られ、その割合は1割弱であった。この誤答パターンは、乾電池2個を直列にして豆電球につなぐと乾電池1個をつないだときより豆電球は明るく光るが(A◎)、乾電池2個を並列にして豆電球につなぐと乾電池1個をつないだときより暗くなる(B△)という考え方である。その回答理由を見ると、“Aは電池が2つ続けてつながっているから。Bは電池が二手に分かれているから。(中2)”、“Aは直列つなぎで流れる電流が2倍になる。Bは並列つなぎで流れる電流が1/2になる。(教-未履修)”等があった。回答理由から、この誤答パターンの回答者は、回路Aでは、乾電池2個に増え電流が大きくなり、乾電池1個の<図1>の単純回路より豆電球は明るくなると単純に考えていることが示唆された。一方、回路Bでは、乾電池2個の並列つなぎなので電流が分散し、単純回路より豆電球は暗くなると考えていたり、“並列は暗い”と誤って記憶したりしていることが示唆された。

3-2-3. 学習者にとって電圧は理解しにくい

中学校の教科書(5社)でも直流電源として乾電池を使った実験が記載されているが、乾電池2個を直列つなぎにした実験はあるものの、並列つなぎにした実験は載っていない。小学校だけで終わりにするのではなく、中学校でも乾電池を使った実験を繰り返し行うことで、自分の考え方では実験結果を矛盾なく説明することができず、自分が誤った概念を持っていることを生徒に気づかせる機会を設定することは重要であると考えられる。な

お、生徒・学生が質問紙に記入した回答の理由を見ると、「電圧」という科学的な用語がほとんど出てこないことがわかった。例えば、回路AとBの回答理由を見ると、その中に「電圧」という科学的用語を使って説明している回答者は非常に少ない。回路Aの回答理由では、83名(理由の記入あり433名/765名)、回路Bの回答理由では、77名(理由の記入あり408名/765名)であった。小学校理科では、電圧は学ばない。中学校理科では、電流だけでなく電圧も学ぶが、電流に比べ電圧の理解が不足しているのだと考えられる。電圧がかかるから電流が流れる、電圧がかからなければ電流は流れないことを強く意識していない生徒がいると考えられる。また、中学校理科では、電圧が電位の差であることを学ばないので、電圧が捉えにくく、それが影響している可能性がある。中学校でも、電圧が電位の差であり、電圧がかかる(電位の差がある)から電流が流れることを教えて学習を進めた方がよいのではないか。ただ、現状では、電位の概念は、高等学校物理で初めて出てくる。高等学校物理では、重力を受ける物体について重力による位置エネルギーを定義できたように、静電気力を受ける電荷についても静電気力による位置エネルギーを定義できること、単位電荷がもつ静電気力による位置エネルギーを電位といい、電場中の2点間における電位の差を電位差、または電圧ということ学ぶ。しかし、高等学校で電位の概念を学んだ大学生でも、電圧について電位差につながるイメージを持っていない状況がある。小林・伊東は、工学部生(物理I・II履修率90%)の4人に1人程度しか電圧を電位の差として認識できていないと述べている⁹⁾。中学校で電位の概念を教えるのは難し過ぎる。概念をそのまま教えるのではなく、電位差が電圧であることを複数の定性実験を順次性を考えて示すのがよいのではないか。具体的には、電気パンの実験を用いて電位差がなければ電流が流れないが電位差があれば電流が流れることを視覚的に確認できる場面、回路内の等電位である2点間の電圧を実際に電圧計で測定させて指針が振れないことを確認させる場面、乾電池の+極・-極と等電位なのはそれぞれどこか電源電圧はどこにかかっているのかを考えさせる場面、乾電池を抵抗器につないでオシロスコープで直流電圧を観察する際、プローブ・チップとグラウンド・リードを逆にして電位の基準について考えさせる場面などを、授業実践の中に入れることを検討したい。

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

4. まとめ

小学校第4学年で学ぶ単純回路に流れる電流や乾電池2個を直列つなぎ・並列つなぎにした回路の豆電球の明るさについて、小学生から大学生の理解度の実態を質問紙で調査した。調査結果から、学習者の素朴概念が学年進行でどのように変化していくのかを把握できた。また、中学校や高等学校の学習により、正答率が上がる傾向がみられるものの、理系学部生でも小学校の学習内容が完全に理解されていない状況があることがわかった。なお、児童・生徒や学生が強固に保持し、問題を解く際に判断基準として活用している誤った考えとその堅固性を学年進行で把握できたので、今後、各学校種の授業改善に向けた具体的な実験の工夫等を検討する際に活用したい。

村山は、教えたはずの基本的内容が正しく理解されないのは、学習者の既有知識の変化のしにくさにあると指摘している¹⁰⁾。また、佐藤・工藤は、新しい知識は既有知識で説明できなかった実験結果を説明できるかといった観点に基づき、評価を行うことができ、新しい知識の評価が既有知識のそれを凌駕したり、既有知識の評価が低下して相対的に新しい知識の評価が高まったりすれば、既有知識の変化が生じると述べている。加えて、通常の授業で知識変化が生じにくいのは、新しい知識と学習者の保持する既有知識の優劣が明確になる状況が構築されていないからだとも指摘している¹¹⁾。よって、まずは、新しい知識(科学的概念)と学習者の既有知識(誤った概念)の優劣が明確になる実験の工夫を検討したい。具体的には、電流保存を確認する実験パッケージ(順次性を考えた複数の実験の組み合わせ)と電位差を意識させ理解を促す実験パッケージの検討をする。一方で、福田・遠西は、概念転換は「既有理論に対するコミットメントの弱化、理論切り換えによる新しい理論の受容、新しい理論へのコミットメントの強化」で起こるが、実験は、理論からの予測と結果との一致・不一致によってコミットメントを変化させるものの、理論を切り換えることとはないと指摘している¹²⁾。よって、最終的には、実験の工夫だけでなく、学習者同士・学習者と授業者による社会的相互過程も合わせて考慮していく必要がある。なお、学校種については、誤った既有知識が強固である方が、新情報(科学的概念)に接した後に修正されやすいという山縣の指摘⁷⁾を踏まえ、まず、教員養成学部の

授業改善から検討を進めたい。

謝辞

調査にご協力いただきました児童・生徒・学生および教員の皆様に感謝いたします。本研究は、JSPS 科研費 17K01021 の助成を受けて実施しました。

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) 三島巖志ら：「電流概念の形成に関する研究(Ⅰ)電流の流れる向き」、日本教科教育学会誌、第7巻、第2号、pp.17-22、1982
- 3) 山岡剛「小・中学生が単純な回路の電流に抱くモデルと授業との関係の考察」秋田大学教育学部研究紀要教育科学部門51、11-20(1997)
- 4) 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
- 5) 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
- 6) 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
- 7) 山縣宏美：「素朴概念の修正に影響する既有知識の堅固性の要因の検討」、京都大学大学院教育学研究科紀要、第50号、pp.241-252、2004
- 8) 平島由美子、市川裕介、手島歩実、宮生彩子：「大学生の電流・電圧理解に関する実態調査結果」、教育デザイン研究、第12号、pp.29-38、2021
- 9) 小林翔兵、伊東明彦：「大学生の電圧概念に関する調査」、宇都宮大学教育学部教育実践総合センター紀要、第36号、pp.209-216、2013
- 10) 村山功：「概念変化についての諸理論」、心理学評論、第54巻、第3号、pp.218-231、2011
- 11) 佐藤誠子、工藤与志文：「概念変化はなぜ生じにくいのか」、教育心理学研究、第69巻、pp.135-148、2021
- 12) 福田恒康、遠西昭寿：「概念転換のパターンと構造」、理科教育学研究、第57巻、第1号、pp.45-51、2016