

中学校での「回路と電流・電圧」の指導における 粒子モデルと PhET の利用

高城紀孝*・荻原彰**・國仲寛人**

The use of the particles model and PhET for teaching about “An electric current and voltage in electric circuits” in Junior High Schools

Noritaka TAKAGI*, Akira OGIHARA**, Hiroto KUNINAKA **

要 旨

中学校理科の電気分野はわかりにくく嫌いだとする生徒が多い。そこで本研究では、粒子モデル及び PhET というコンピューター・シミュレーション教材を利用して電気分野の理解度及び情意面の改善を試みた。電流の粒子モデルとしては、回路中には「電気の粒」が存在し、「電気の粒」は正極から負極に向かい、回路中で生成・消滅せず、電源をつなぐと正極から負極へ動くものであること、一秒間に一粒の「電気の粒」が回路の断面を通過する場合 1 アンペアの電流がながれるものとする、回路の任意の点に流れ込む電気の粒の数は流れ出す電気の粒の数に等しいことといったイメージを提示した。電圧の粒子モデルとしては、電圧を「電気の各粒が持っている元気」と考えるモデルを提示した。このモデルでは、各粒が電源を通ると元気をもらい、抵抗器を通ると元気を使い、導線では元気は使わない。そして電気の各粒は、1 周して電源にもどるまでに、元気をちょうど使い切ると考える。PhET は①実験で回路を組む前の安全性の確認、②複雑な回路を作成して電流・電圧を測定する実験の代替として使用した。評価は①電流・電圧に関する教科書程度の標準的な問題及び複雑な回路の問題の正答率、②形容詞一対比較法による授業前後の「電気について勉強することについてのイメージ」変化、③授業後の粒子モデル及び PhET へのイメージにより行った。標準的な問題については多くの生徒が正答できたが、複雑な回路の問題については課題が残った。授業前後の「電気について勉強することについてのイメージ」は「好き」、「やさしい」、「楽しい」、「おもしろい」方向に有意に変化しており、授業を通じて電気学習のイメージが改善された。また粒子モデル及び PhET へのイメージも良好であり、情意面の効果が見られた。

キーワード：電流、電圧、粒子モデル、コンピューター・シミュレーション教材、中学校

問題の所在

粒子モデルの適用について

中学校の理科において電気分野はわかりにくく嫌いだとする生徒の割合が多いことが藤田 (1984)、川村 (2006)、加藤 (2008) などにより繰り返し指摘されてきた。このような状況を改善するアプローチとして、電流や電圧を目で見ることが出来るモデルに置き換えて理解を促進しようとする試みが行われている。その一つとして粒子モデルがある。

電流・電圧を粒子モデルで扱った事例として論文化されているものとしては、石井・本間 (2009) による粒子傾斜モデル (傾いた板上を落ちていく小球で電流

を説明するモデル) を利用した実践 (小学校)、松村・林・井村 (2007) による粒子傾斜モデルとほぼ同様のモデルを利用した実践、古屋・戸北 (2000) による回路の断面を 1 秒間に通過するパチンコ玉の数で電流の大きさを説明するパチンコモデルを利用した実践等が見られる。しかし、これらの実践で取り上げられている回路は、比較的単純な回路であり、直列と並列が混合した回路やブリッジ回路のような複雑な回路はほとんど扱われていない。そのため、生徒が、各実践で使用されているモデルを単純な回路から複雑な回路まで一貫して適用できるかどうか確認されていない。

一方、学術論文ではないが、粒子の数を電流の量、抵抗を通る際の電圧降下を「粒子の持っているおにぎりの

* 津市立芸濃中学校

** 三重大学教育学部

消費」にたとえて説明する「おにぎりモデル」の実践（横山, 2008）が存在する。横山の実践では、単元の終末に、直列と並列が混合した複雑な回路の電流・電圧の課題が行われており、多くの生徒がその課題について「おにぎりモデル」を使ったと回答しているので、「おにぎりモデル」は複雑な回路においても一貫して適用できるモデルであると考えられる。しかし、モデルをどのような課題に適用したのかが明示的に示されておらず、同様の実践を追試的に行うことが難しいと考えられる。

以上のことから、筆者らは、粒子モデルの考え方を簡単な回路から複雑な回路まで一貫して適用できることを示し、またその過程についても具体的に示す授業実践が必要と考える。

シミュレーションについて

モデルを使って考える際に、それが単なる机上の問題演習にならないためには、妥当にモデルを扱うことができたかどうか（モデルを使って予測した電流値と実際の回路の電流値が一致しているかどうか等）を、何らかの手段により確かめることが必要となろう。実験がそのもっとも直接的な手段である。しかし、複雑な回路を扱う際には、生徒が回路を組んだり、意図通りの回路となっているかどうか教師が点検するのに非常に手間と時間がかかり、そのため複数回の測定や様々な回路での測定が難しくなる。また操作が複雑なので、誤ってショート回路を含む回路を組んでしまう事故を起こす危険がある。

実験以外に考えられるものとしてシミュレーションがある。むしろシミュレーションを安易に実験の代替とすることは控えねばならず、実際に回路を組んで電流や電圧の値を測定することは必要である。しかし、複雑な回路の電流値等については上記のような事情があり、シミュレーションによる代替には合理性があると思われる。

以上のことから、筆者らは、実験とシミュレーションを適切に組み合わせることでモデルとの整合を検証していく授業実践が必要と考える。

本研究の目的

上述の問題意識を受け、筆者らは次のような授業実践を行うこととした。

- ①粒子モデルの考え方を簡単な回路から複雑な回路まで一貫して適用する授業
- ②モデルの妥当な適用を確認する手段として実験とシミュレーションを併用する授業

本研究はこのような意味での新規性を持つ授業を実際に実践し、その認知的・情意的有効性を検証することを目的とする。

ここで言う認知的有効性とは、モデルを使うことによって回路中の電流・電圧の値を正しく推定できるということであり、情意的有効性とは、電気の学習に対するイメージを、授業を通して改善すること及び使用した粒子モデルとシミュレーションが電流や電圧の学習について有用であるという実感を持つことができることをさしている。

研究の方法

本研究は次の方法で行った。

- (1) 粒子モデルの考案
電流・電圧を説明する粒子モデルを考案した
- (2) シミュレーションの選定
複雑な回路を組むことができ、粒子モデルでの説明と整合するシミュレーションを選定した。
- (3) 粒子モデルとシミュレーション及び実験を組み合わせた電流・電圧単元のデザインと実施
粒子モデルを導入し、その粒子モデルを簡単な回路から複雑な回路に至るまで一貫して正しく適用できたかどうか（電流・電圧を正しく推定できたか）を実験（簡単な回路の場合）、シミュレーション（複雑な回路の場合）で確認していくという形で電流・電圧単元をデザインし、実施した。
実践を行ったのは三重県津市立 T 中学校 2 年生、実施時期は 2016 年 12 月～2017 年 1 月、対象人数は 3 クラス 100 人である。

- (4) 授業の有効性の確認
上記の授業デザインの認知的・情意的有効性を検証した。認知的有効性については、回路の電流値・電圧値を求める標準的な問題（簡単な回路についての問題）、発展的な問題（複雑な回路についての問題）によって検証した。情意的有効性については、授業後の粒子モデル及びシミュレーション（本研究では PhET を使用した）へのイメージの調査（5 件法による）、授業前後の「電気について勉強することについてのイメージ」の変化の調査（形容詞一対比較法による）によって検証した。形容詞一対比較法による評価は、荻原（1995）が自然放射能について扱った実践で行っており、本研究はその手法に準拠した。

以下では、上述の順序に従い、(1) の粒子モデルについてまず述べ、次に (2) のシミュレーション選定、(3) の授業デザインによる授業の流れを述べる。(4) については、研究結果の節で詳しく述べる。

- (1) 粒子モデル
考案した粒子モデルによる電流の説明を図 1 に示す。図 1 中の粒 1 つが 1 クーロンの正の荷電粒子を表している。この粒を「電気の粒」とよんだ。回路中には「電気の粒」が存在し、正極から負極に向かい、回路中で生

成・消滅せず，電源をつなぐと正極から負極へ動き，1秒間に1粒の「電気の粒」が回路の断面を通過する場合，1アンペアの電流が流れるものとした。

図1-1の場合，1秒間に3つの電気の粒が流れていくので，回路上のどの点も3Aである．このモデルはキルヒホッフの第一法則「電気回路の任意の分岐点について，そこに流れ込む電流の和は，そこから流れ出る電流の和に等しい」を，粒子モデルであらわしたものである。

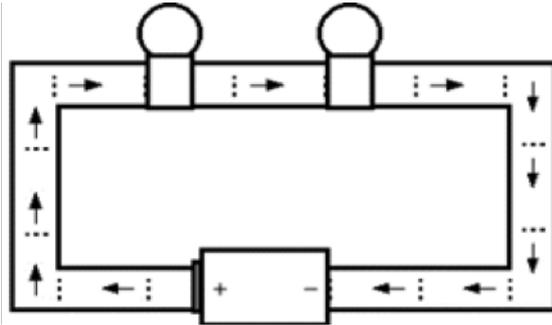


図1-1 電流の粒子モデル（直列）

次に粒子モデルによる電圧の説明を図2に示す.電

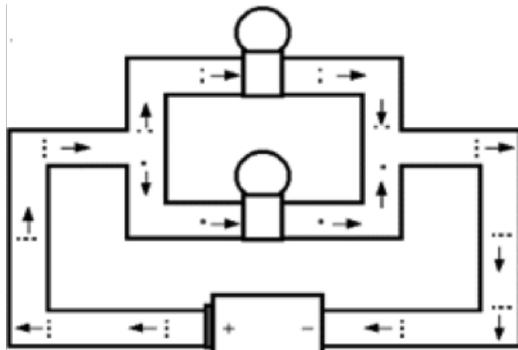


図1-2 電流の粒子モデル（並列回

路）
 圧は回路上の任意の2点間の単位電荷あたりの電气的位置エネルギーの差であり，これを「電気の各粒が持っている元気」とするモデルである．各粒が電源を通ると元気をもらい，抵抗器を通ると元気をを使い，導線では元気は使わない．そして電気の各粒は，1周して電源にもどるまでに，元気をちょうど使い切る．このモデルでは，粒の集団ではなく，各粒について上記のことが成り立つ．たとえば図2-1中の電気の各粒は3Vの電源から3Vの元気（電圧）をもらい，導線では元気を使わず，左側の抵抗を通る際に2Vの元気を使い，右側の抵抗を通る際に1Vの元気を使い，元気を全部使って電源に戻ってくると考える．このモデルはキルヒホッフの第2法則「電気回路の任意の一回りの閉じた経路について，電位差の和は0である」を粒子モデルであらわしたものである．

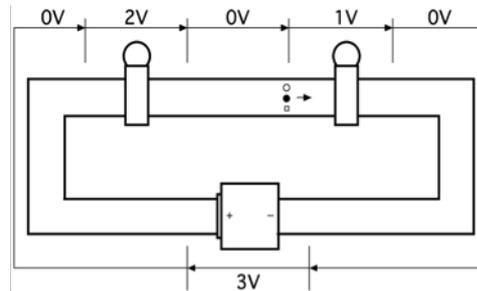


図2-1 直列回路の電圧

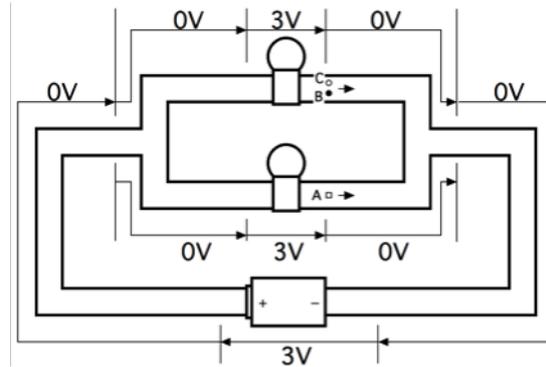


図2-2 並列回路の電圧

(2). シミュレーションの選定

本研究で使用するシミュレーションは，次の条件を満たす必要がある

- ・粒子モデルを使用している
- ・授業者の必要に応じて複雑な回路を設計でき，回路上の指定した点の電流，指定した区間の電圧を測定できる．

このような条件を満たすシミュレーションとして PhET (The Physics Education Technology Project) というシミュレーションソフトを選択した．

PhET はコロラド大学ボルダー校で開発されている，理科の能動的学習を支援するシミュレーション教材 (University of Colorado Boulder,2018) である．

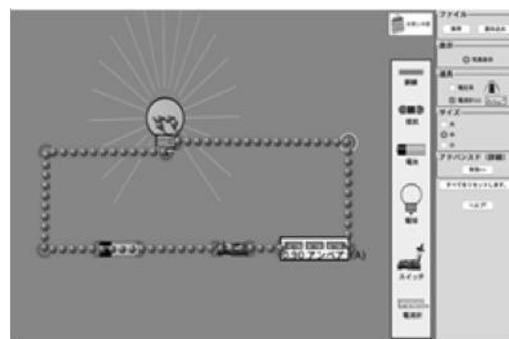


図3 PhET 画像

図3のように，パソコンやタブレットの画面上で電池

表1 指導の流れと所要時間					
電流	内容	時間	電圧		
	電流モデルの提示 (直列回路)	1	電圧モデルの提示 (直列回路)	電圧モデルの提示 (直列回路) と電圧計のつなぎかた 1	
簡単な回路	PhETによるシミュレーション (安全な直列回路の組み方、電流計のつなぎかた)	2	簡単な回路	PhETによるシミュレーション (安全な直列回路の組み方)	1
	直列回路の電流値の予想と測定実験			直列回路の電圧値の予想	
	電流モデルの提示 (並列回路)	1		直列回路の電流値の測定実験	1
	PhETによるシミュレーション (安全な並列回路の組み方、電流計のつなぎかた)			電圧モデルの提示 (並列回路)	
並列回路の電流値の予想と測定実験		PhETによるシミュレーション (安全な並列回路の組み方)	1		
複雑な回路	複雑な回路の電流値予想とPhETによる確認	1		並列回路の電圧値の予想	
			複雑な回路	並列回路の電圧値の測定実験	2
				複雑な回路の電圧値予想とPhETによる確認	

直列回路、並列回路の電圧値の予想と測定実験は連続して行う予定だったが、予定通りに進捗しなかったため、次の時間にずれ込んでいる

などの部品をドラッグするだけで回路を作成でき、電流計や電圧計も用意されているので、回路の任意の位置の電流、任意の区間における電圧を測定することが可能である。複雑なブリッジ回路なども作成できる。一度作成した回路は保存することができ、それを読み込んで何度でも利用することができる。

本実践では PhET を次の①、②の用途で使用した。

- ①実験で回路を組む前の安全性の確認
 - ②複雑な回路の電流・電圧を測定する実験の代替
- ②の意味については既に述べたが、①は、実際の実験では不可能なショート回路の危険性を確認したり、電流計の使い方の模擬を行って正しい使い方を確認するためである。

なお、授業で使用したモデルは正電荷、PhET では負電荷が動くモデルである。PhET を使用するに際しては、「授業で使用したモデルと電流の向きが逆向きに動いているが、この理由については後で解説する」と生徒には伝え、電子については「電流と電子」の単元で、電流の実体が負電荷の電子であることを伝えた。PhET はモデルの説明としてではなく、安全性の確認、電流や電圧の値の確認で使用したので、生徒には特段の混乱はなかった。

- (3) 粒子モデルとシミュレーション、実験を組み合わせた電流・電圧単元のデザインと実施
- この単元の指導の流れを表 1 に示す。

a. 電流モデルの提示

授業では電流の説明として図 1-1 のモデルを提示し (電球 1 つのモデルも扱ったが、ここでは電球 2 つを直列にした回路の例で示す)、モデルの説明を行った。粒子モデルはコンピューター上の動画 (PhET とは別個に、筆者の一人である高城が作成した) として提示し、電気の粒を 1 秒間ごとに動かして、電気の粒が流れていくようすを表した (図 1 の矢印は表示されない)。

b. PhET によるシミュレーションと実験

このように電気の粒が回路中で生成も消滅もしないで

流れていくイメージを培った後、そのモデルが実際の回路でもなりたっていることを確かめるため、教科書中に示されている回路を組んで電流値を測定した。実験前に、各班に配布したノートパソコン上の PhET でショート回路を組ませ (図 4 のように画面上で回路が炎上する)、危険性を確認させるとともに、教科書の直列回路を組ませ、回路の組み方、電流計のつなぎ方に間違いがなく、安全であることを生徒に確認させた。その後、各班に PhET で組んだものと同じ回路を実際に組ませ、各点の電流値を測定させる実験を行い、実際に電球 1 つの回路及び電球の直列回路では回路中のどの点で電流を測定しても同じ値になることを確かめた。

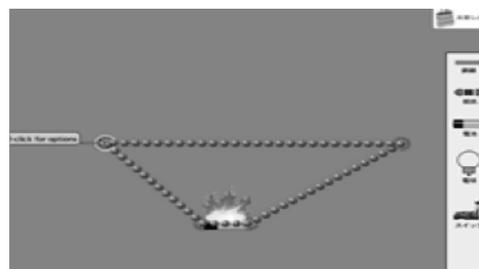


図 4 ショート回路

次に図 1-2 の並列回路のモデル (動画) を提示し、回路の分岐点に電気の粒が 3 粒流れ込み、上に 2 粒行けば下には 1 粒行き、合流点でまた 3 粒に戻る、つまり回路の任意の点について 1 秒間に流れ込む電気の粒の数 (電流) は流れ出す電気の粒の数 (電流) に等しいことを説明した (図 5 中の矢印は表示されない)。並列回路に対しても、PhET で回路 (教科書中の回路) の組み方、電流計のつなぎ方に間違いがないことを確認した後、実験を行い、電流値がモデル通りになっていることを確認した。

c. 複雑な回路の電流へのモデルの適用と PhET による電流値の確認

以上のモデル提示と実験による確認を行った後、上記のモデルをより複雑な回路の電流について適用した。問題の提示はプリントで行い、生徒の考える時間を確保するため、PhET の回路は生徒に組ませるのではなく、あらかじめ教師側でファイルの形で用意しておいた。

まず図 5 等のようなやや複雑な回路を提示し、() 内の電流値を班で考えさせ、すべての班が考えをもった後に教師が粒子モデルで考え方を説明した。

次に図 6-1, 6-2 等のように複雑な回路を提示し、() 内の電流値を班で考えさせ、全ての班が考えをもった後、班ごとに PhET で電流値を確認していった。その後、教師が説明していった。

最後に、図 7-1 等のようなブリッジ回路を示したプリントを配り、図 7-2 の PhET の回路を大型テレビで提示した。PhET 上で図の a,b,e の順に電流値を測定していった。その結果を見て、c,d,f,g の各電流値を各個人で考えさせる演習を行った。その後、教師が説明を行った。なお g の値は a の値がわかれば解答でき、同様に c の値は b の値、d と f の値は e の値が分かれば解答できる(図 7-1 の () 内の数字や a~g の文字は生徒に配布したプリントには記載されていない)。

d. 電圧モデルの提示と実験

電圧モデルを板書で図 2-1, 2-2 のように提示した。電圧の場合、動画を使うとむしろ説明が煩瑣になるため、板書で行った。その後、実験を行い、実測値がモデルから予想される値と同じであることを確認した。

e. 複雑な回路の電圧へのモデルの適用と PhET による電圧値の確認

電流と同じように、以上のモデル提示と実験による確認を行った後、このモデルをより複雑な回路の電圧について適用した。問題の提示はプリントで行い、生徒の考える時間を確保するため、PhET の回路は生徒に組ませるのではなく、あらかじめ教師側でファイルの形で用意しておいた。

まず図 8 等のようにやや複雑な回路を提示し、() 内の電圧値を班で考えさせ、すべての班が考えをもった後、教師が粒子モデルで考え方を説明した。

次に図 9-1, 9-2 等のように複雑な回路を提示し、() 内の電圧値を班で考えさせ、すべての班が考えをもった後、PhET で電圧値を確認していった。その後、教師が説明した。

電流と同様に、最後にブリッジ回路を扱ったが、ブリッジ部分の電圧の値を予想するためには、ブリッジ部分の電流の向きを知ることが前提となる。そこでまず、粒子モデルに従ってブリッジ部分の電流の方向を知る方法を図 10 を使って教師が説明した(ア方向に動く電

気の粒があれば回路を 1 周する間に 14V 使うことになり、電源でもらった 10V より多くなってしまう。イ方向に動けば回路を 1 周する間に 10V 使うことになり、電源でもらった 10V と一致する。よってイの方向が電気の粒の動く方向)。

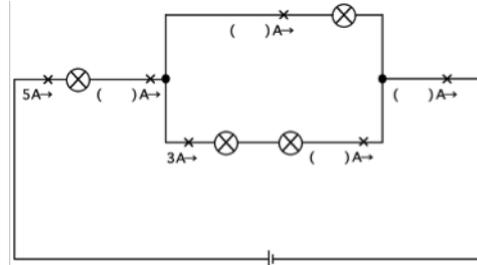


図 5 やや複雑な回路

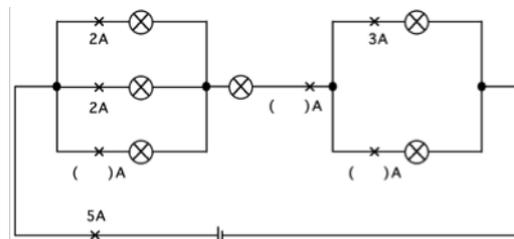


図 6-1 複雑な回路

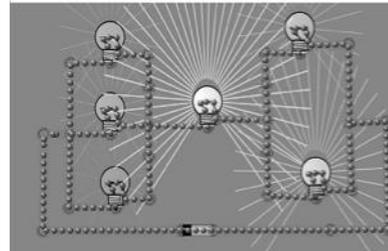


図 6-2 複雑な回路の PhET

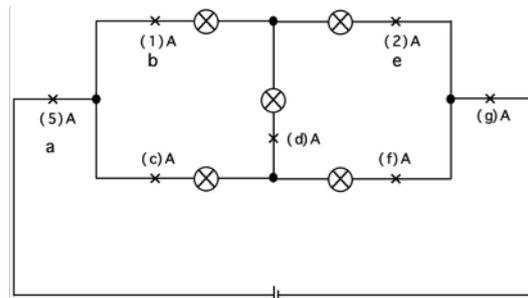


図 7-1 ブリッジ回路

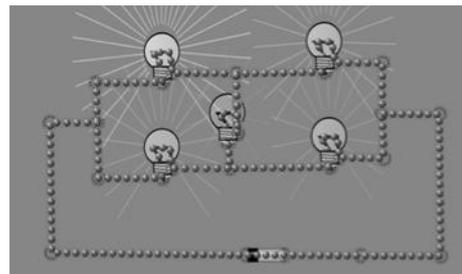


図 7-2 ブリッジ回路の PhET

その後、PhET で作成したブリッジ回路（図 11. PhET の画像は図 7-2 と同一. 図 11 の（ ）内の数字や a~g の文字は生徒に配布したワークシートには記載されていない）を大型テレビで提示し、PhET 上で、図の b,e,c の順に電圧値を測定していき、a,d,f,g の各電圧値を各個人で考えさせる演習を行った。その後、教師が説明を行った。なお a の値は b,e の値がわかれば解答でき、同様に g と d は b,e,c がわかれば解答できる。f は導線なので 0V である。

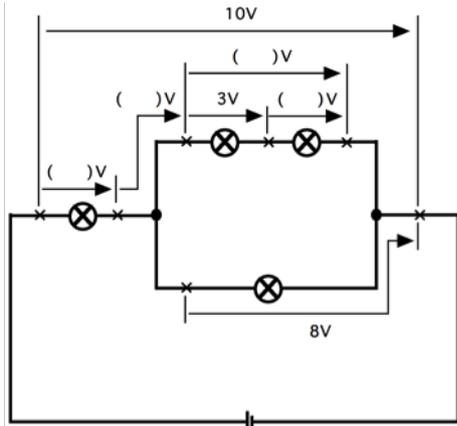


図 8 やや複雑な回路

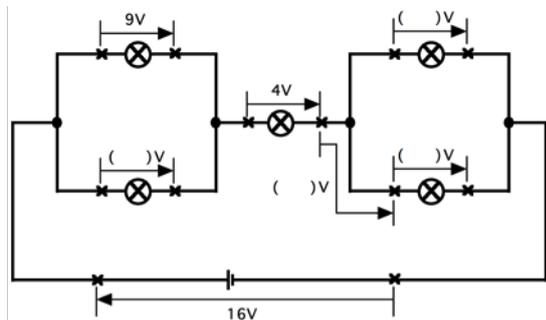


図 9-1 複雑な回路

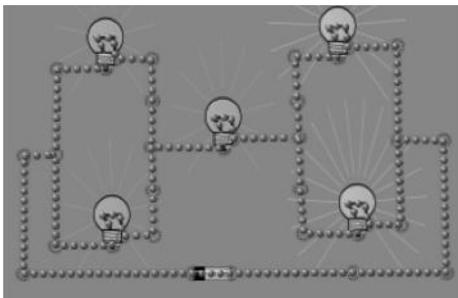


図 9-2 複雑な回路の PhET

研究の結果（授業の評価）と課題

粒子モデルと PhET を組み合わせた上記の授業実践の効果の評価は次の①~③により行った。

①電流・電圧に関する教科書程度の標準的な問題及び複雑な回路の問題（いずれも定期テストの中で行った）

の正答率 これはモデルを使って回路中の電流・電圧の値を正しく推定できたかどうかを検証するものである。

②形容詞一対比較法による授業前後の「電気について勉強することについてのイメージ」変化 これは電流や電圧の学習に対するイメージを、授業を通して改善することができたかどうかを検証するものである。

③授業後の粒子モデル及び PhET へのイメージ

これは使用した粒子モデルとシミュレーションが電流や電圧の学習について有用であるという実感を得たかどうかを検証するものである。

①は授業の認知的な意味での有効性を評価したもの、
②は授業の情意的な意味での有効性を評価したもの、
③は授業の重要なパーツであり、新規性の根拠である粒子モデルと PhET の有用性を評価したものである。

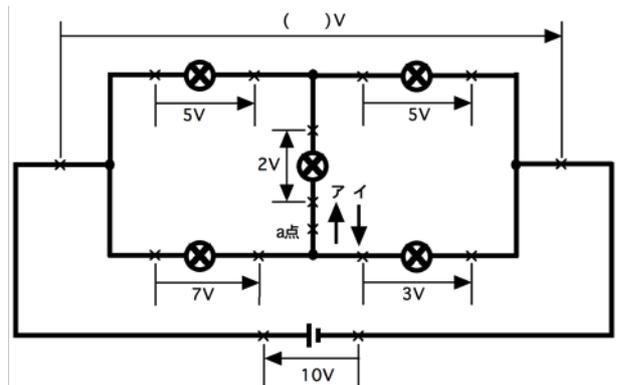


図 10 ブリッジ回路での電流の方向を問う問題

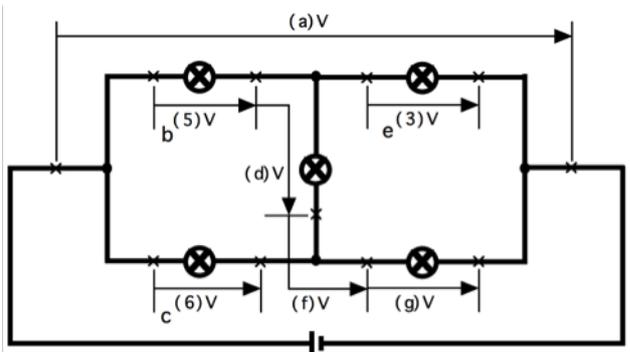


図 11 ブリッジ回路

(1) 正答率

教科書程度の標準的な問題としては図 12, 複雑な回路の問題を図 13, 14 に示す. 各問題への正答率を表 2 に示す（対象人数 100 人）.

図 13 については、導線部分での電圧についての正答率がやや低いものの、標準的な問題については、多くの生徒が正答できたといえる. 図 14 の複雑な回路の電流値の問題の正答率は、中学 2 年生であることを考慮

すると高い正答率であったと考えることもできるが、約 1/4 の生徒が正答していないことになるため課題が残っていると考える。ブリッジ回路の電圧値を問う問題については半数以上の生徒が正答できなかったことになり、ここにも課題が残っている。定期テストの中で行ったため問題数の制約があり、複雑な回路の電圧及びブリッジ回路の電流について問う問題は今回行うことはできなかった。そのため、今回の実践ではこれらの問題について実践の効果があったかどうかはわからず、今後の課題である。

(2) 授業前後の電気学習へのイメージ変化

形容詞一対比較法においては、まず、生徒から「電気について勉強することについてのイメージ」を自由記述で収集した。その中から学習のイメージとしてわかりやすく、反対語が明確な7つの形容詞対

- ① 好き-きらい
- ② むずかしい-やさしい
- ③ 役に立つ-役に立たない
- ④ くるしい-楽しい
- ⑤ 複雑な-単純な
- ⑥ つまらない-おもしろい
- ⑦ 知りたい-知りたくない

を選んで、「(左に) 非常にあてはまる」, 「(左に) ややあてはまる」, 「(どちらでもない)」, 「(右に) ややあてはまる」, 「(右に) 非常にあてはまる」の5件法で回答を求めた。「(左に) 非常にあてはまる」に1, 「(左に) ややあてはまる」に2, 「(どちらでもない)」に3, 「(右に) ややあてはまる」に4, 「(右に) 非常にあてはまる」に5の得点を割り振り(肯定的な回答ほど得点が高い), t 検定で授業の前後の回答平均値の差を検定した(対象人数は授業前後の両方の評価時に出席した98人)。その結果、授業前に比べて、授業後では「電気について勉強することについてのイメージ」が「好き」, 「やさしい」, 「楽しい」, 「おもしろい」方向に有意に変化しており(5%水準), 授業を通じて電気学習のイメージが改善されたことがわかる。

結果を表3に示す。

(3) 粒子モデル及び PhET へのイメージ

粒子モデル及び PhET が電流・電圧の理解に有用であったかどうか及び PhET によるシミュレーションが生徒に受容されたかどうかを調べるため、粒子モデル及び PhET へのイメージを調査した(対象人数98人)。

粒子モデルについては、

- ① この考え方で電流が良くわかると思う-よくわかると思わない
- ② この考え方で電圧が良くわかると思う-よくわかると思わない
- ③ この考え方で電流の問題を解く自信がついた-自信

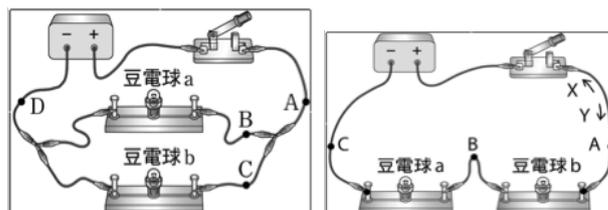


図12 (簡単な回路)

電流 左図で、スイッチを入れた際の点 A が 5A, 点 B が 2A のときの点 C の電流を求める

右図で、スイッチを入れた際の点 A が 5A のときの点 B の電流を求める

電圧 左図で、スイッチを入れた際の点 AD 間が 5V のときの点 AC の電圧, 点 CD の電圧を求める

右図で、スイッチを入れた際の点 AB 間が 5V, 点 AC 間が 7V のときの点 BC 間の電圧を求める

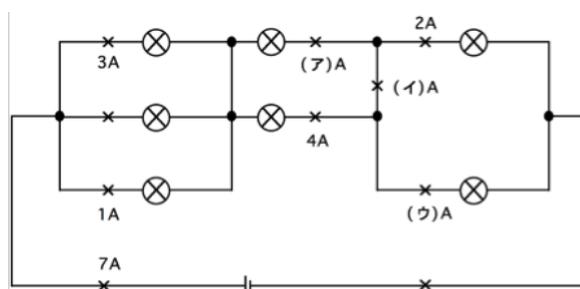


図13 (複雑な回路の電流) ア, イ, ウの電流を求め

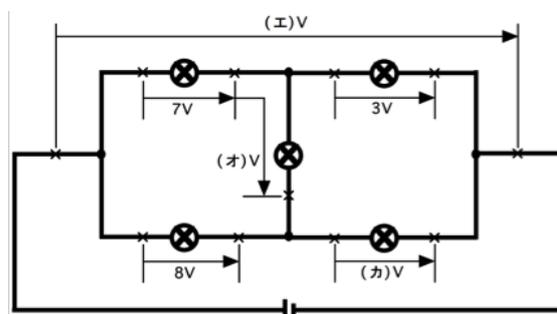


図14 (複雑な回路の電圧) エ, オ, カの電圧を求め

表2 図12, 13, 14 の正答率 (%)

簡単な回路					
電流			電圧		
Cの電流	Bの電流	AC間の電圧	CD間の電圧	BC間の電圧	
91	89	59	84	90	
複雑な回路					
電流			電圧		
アの電流	イの電流	ウの電流	エの電圧	オの電圧	カの電圧
79	77	77	46	35	40

がつかなかった
 ④この考え方で電圧の問題を解く自信がついた-自信がつかなかった
 の対に対して、電気学習へのイメージの変化と同様に同様に5件法で回答を求めた(肯定的な回答ほど得点が高い)。

表3 電気学習へのイメージの変化

	好き	やさしい	役に立つ	楽しい	単純な	おもしろい	知りたい
事前	3	2.1	3.3	3.3	2.2	3.3	3.3
事後	3.6	2.3	3.5	3.6	2.2	3.6	3.4
p値	3.90E-08	0.044	0.19	0.0028	0.7	0.0024	0.12

表4 粒子モデルのイメージ

電流がわかる	電圧がわかる	電流問題自信	電圧の問題自信
4.3	4.2	3.8	3.8

表5 PhETのイメージ

操作しやすい	おもしろい	電流理解の助けになる	電圧理解の助けになる	他のシミュレーション使ってみたい
4.2	4.4	4.2	4.2	4.3

PhET については、

- ①操作しやすい—しにくい
- ②おもしろい—つまらない
- ③電流を理解する助けになる—ならない
- ④電圧を理解する助けになる—ならない
う—思わない

の対に対して、同様に5件法で回答を求めた。

その結果を表4、5に示す。

粒子モデルのイメージについては、このモデルを使うことに対して、すべて肯定的だった。PhET に対するイメージもやはり肯定的にとらえられている。

まとめると、粒子モデルと PhET を組み合わせた今回の授業実践は、電流・電圧に関する教科書程度の標準的な問題においては、概ね良好な結果であったが、複雑な回路やブリッジ回路の問題についてはさらに実践を重ねる必要があると考えられる。

一方、授業前後の「電気について勉強することについてのイメージ」は「好き」、「やさしい」、「楽しい」、「おもしろい」方向に有意に変化しており、授業を通じて電気学習のイメージが改善された。また粒子モデル及び PhET へのイメージも良好であり、情意面の効果が見られたと考えることができる。

複雑な回路についても一貫して適用でき、理解を進めることのできる粒子モデルとシミュレーションの組み合わせに向けてさらに授業を改善していくことが今後の課題と考える。

引用文献

古屋光一・戸北凱惟(2000)「電磁気学の概念形成を支援するための指導方略に関する実践的研究」『科学教育研究』第24巻、4号、203-216。

藤田静作(1984)「中学生の物理単元に関する意識」『物

理教育』第32巻、第4号、259-263。

石井健作・本間均(2009)「小学校における電流の概念獲得のための「粒子傾斜モデル」の有効性」『理科教育学研究』第49巻、第3号、23-31。

川村康文・多田恭子(2006)「教員養成系学部大学生にみる小・中学校理科学習の実態と問題点」『物理教育』第54巻、第2号、116-120。

加藤巡一(2008)「理科教育と理科離れの実態(二)中学校」『神戸松陰女子学院大学研究紀要. 人文科学・自然科学編』第49巻、17-32。

荻原彰(1995)「高等学校地学における自然放射能に関する授業実践」『地学教育』48巻6号、231-236

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』16巻、131-138。

University of Colorado Boulder (2018)「PhET」 Retrieved from <https://phet.colorado.edu/ja/> (accessed 2018.08.30)

横山雅史(2008)「生徒が活用しやすいモデルを使った電流のイメージづくりの在り方—中学校2年生理科「静電気と電流」の指導を通して—」

Retrieved from <https://www.nipec.nein.ed.jp/sc/risuu/h20/h20rika/yokoyama.pdf> (accessed 2019.2.17)