

自作「水流モデル」による中学校理科「電流」単元の授業実践

Practices in Science Class for the “Electric Current” Unit
Using an Original “Water Flow Model” in Junior High School

倉 信 充 人* 塚 田 真 也**
Mitsuto KURANOBU Shinya TSUKADA
栢 野 彰 秀**
Akihide KAYANO

要 旨

本研究では、電流、電圧に加え、電気抵抗をも視覚的に捉えることができるような「水流モデル」の自作教材を開発した。自作した「水流モデル」を用いて、学習者が電気の流れを水の流れのように捉えながら学習を進めることをねらいとした授業実践を試みた。実践の結果に検討を加えることにより、自作した「水流モデル」を用いた授業によって、学習者が自身の内面に電気回路の物理量を「水流モデル」の物理量に置き換えてメンタルモデルを構成し、且つそれを外化できれば、電流や電圧への理解を促すことが分かった。しかし、電気抵抗については、今後検討の余地があるという点も明らかとなった。

【キーワード】 中学校、理科、電流、水流モデル、授業実践

I はじめに

2003年度に実施された「小中学校教育課程実施状況調査理科」によれば、「生徒が理解しにくい」、「生徒が興味を持ちにくい」単元を教師に問う質問に対して、「電流の利用¹⁾」単元及び「電流」単元が1番と2番になっている。「よく分からなかった単元」を生徒に問う質問に対しては、75%の生徒が「電流」単元、72%の生徒が「電流の利用」単元と回答している。これは理科の全27単元中3番目と4番目に高い値であった。「嫌いだった単元」に対しては45%の生徒が「電流」単元、39%の生徒が「電流の利用」単元と回答しており、これも理科の全27単元中3番目と4番目に高い値であった。これらの調査結果から、「電流の利用」単元及び「電流」単元は、教師にとっては教えるに難しく、生徒にとってはよく分からなくて嫌いな単元となっていると考えられる²⁾。実際に、筆者らが授業を行った中学校の生徒を対象にして、「よく分からなかった」単元を問うアンケートを実施したところ、半数以上の生徒が「電流と磁界」単元及び「電流」単元がよく分からなかったと回答しており、その順位は1番と2番であった³⁾。

*鳥取市立国府中学校

**島根大学教育学部自然環境教育講座

このような課題がある背景として貫井は「電気現象の本質がイメージできないまま、数量関係を導くための実験や計算問題を解くのみで電気現象を認識させようとするため、物理的な意味を理解させられないままとなっている。」という点を指摘している⁴⁾。また、藤垣は「目に見えない内容を対象とするため、抽象的な思考ができにくい。」と述べ、学習者が有するイメージによって思考が停止することがあるという点を指摘している⁵⁾。これらの指摘に対して、筆者らも今までの教職経験から貫井や藤垣と同様の考えを持っている。電気のように肉眼で捉えられない物理量をどのように捉えさせるかが、これらの課題を克服するための鍵になると考えている。

私たちは何かを理解しようとするとき、一般によく知っている身近な物事から構築されたモデルを思い浮かべて考える傾向がある。認知心理学の分野ではこのようなモデルを「メンタルモデル」と呼んでいる⁶⁾。淵らはこのメンタルモデルが、物理現象の予測や説明、理由付けをする際に使用されることを述べ、人間の推論において重要な役割を果たしていることを示している⁷⁾。このように、具体的なイメージとして捉えにくい電気を学習者の実体験に基づいた分かりやすいモデルで捉えさせる事ができれば、数式として抽象化された物理量の関係を単なる記憶ではなく、意味のあるものとして理解させることが可能になると考えられる。

次に、電気現象を表すモデルに関して、市川らはより実態に近い「粒子モデル」よりも実態には近くないが水の流れにたとえた「水流モデル」を授業に導入することの方が効果的であると報告している⁸⁾。市川らは先行研究から抽出した3種類のモデル（水流モデル、列車モデル、自由電子モデル）が学習者の推論や理解に与える影響について実態調査を行い、「水流モデル」が有効であったと述べている。しかし市川らは、自作モデル教材の開発に基づく教育実践には至っていない。加えて、電流、電圧については「水流モデル」の考え方をを用いて授業実践を行い、学習者の推論や理解に対する考察を行っているが電気抵抗については触れていない。

「水流モデル」に関しては、先行研究において多くのモデルが製作され提案されている。牧井らは、ゲルを用いて作成した粒子をチューブの中に入れ、水とともに流すことで電流の流れを表しているが、電圧は視覚的に捉えさせていない⁹⁾。小林らは、直管の液面上昇で電圧を表したモデルを製作し電圧概念の形成を試みているが、電流の流れについては視覚的に捉えさせていない¹⁰⁾。福山らは2つの水槽を水平なパイプで繋いだモデルを用いて合成抵抗の考え方を表しているが、回路の各点を流れる電流や回路の各区間に加わる電圧は視覚的に捉えさせていない¹¹⁾。その他、1980年から2014年までの『理科の教育』及び、1965年から2014年までの『物理教育』を調べる限りでは電流、電圧、電気抵抗の概念や回路の各点を流れる電流、回路の各区間に加わる電圧、合成抵抗の考え方を一貫性のある「水流モデル」で表し、モデルを製作して教育実践を行っている事例は報告されていない。また、電気抵抗の表し方については、パイプの中にガラス玉や網のような遮蔽物を入れるものや、パイプの長さを大きくするなど様々な事例が提案されている^{9~12)}。これら以外にも電気抵抗を斜面の長さで表す例があるが、理論の提案だけで終わっており、自作モデル教材の開発やそれに基づく教育実践は報告されていない¹³⁾。

このような課題を克服するために、本研究では、電流、電圧に加え電気抵抗をも視覚的に捉えることができるような「水流モデル」の自作教材を開発することを第一の目的とした。そし

て、自作した「水流モデル」を用いて、学習者が電気のイメージを水の流れのように捉えながら学習を進める理科授業を実践することを第二の目的とした。

次に、上述した研究目的を達成するために本研究では以下のような研究方法を採用した。

- ① 教科「理科」や「電流」単元に関する意識調査を実施し、先行研究と比較しながら授業実践校における生徒の実態を把握する。
- ② 「水流モデル」の有効性に関する文献調査を行う。
- ③ 電流、電圧に加え電気抵抗をも視覚的に捉えることができるような「水流モデル」の自作教材を開発する。
- ④ 公立A中学校第2学年において、自作した「水流モデル」を用いて学習者が電気のイメージを水の流れのように捉えながら学習を進める理科授業を実践する。
- ⑤ 実践した授業の成果と課題をまとめる。課題に対してはどのような克服手段があるのかを考察し、改善案について提案する。

II 自作「水流モデル」の教材開発

1 電気回路の物理量と「水流モデル」の物理量の間にある対応関係

2つの水槽を径の面積 S のパイプで繋いだ「水流モデル」(図1)が実際の電気回路とどの様に対応しているかを表1に示した。電流 I は単位時間に導体のある断面を通過する電荷量のこと、 $I=qnvS$ (q : 電子の電荷, n : 単位体積あたりの自由電子の数, v : 電子の速度, S : 径の面積)と表される。「水流モデル」では q を水分子の質量 m に対応させて、電流をパイプの中を単位時間に流れる水の質量 $mnvS$ (n : 単位体積あたりの水分子の数, v : 水分子の速度) で表している¹⁴⁾。

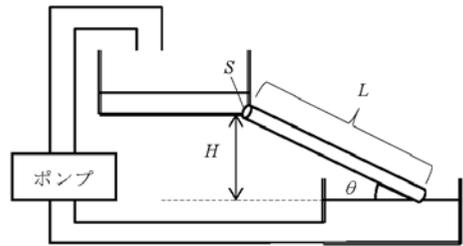


図1 水流モデル

表1 電気回路の物理量と「水流モデル」の物理量の間にある対応関係

電気回路		水流モデル
電場	E [V/m]	重力場の斜面に水平な成分 $a = g\sin\theta$ [N/kg]
電位	$V_i = U_i/q$ [V]	単位質量あたりの位置エネルギー $U_i = gh_i$ [J/kg]
	$V_f = U_f/q$ [V]	$U_f = gh_f$ [J/kg]
電位差 (電圧)	$V = Ed$ [V]	単位質量あたりの位置エネルギーの差 $gL\sin\theta = gH$ [J/kg] $\propto H$ [m]
電子の電荷	q [C]	水分子の質量 m [kg]
電流	$I = qnvS$ [C/S]	単位時間に流れる水の質量 $mnvS$ [kg/s]
電気抵抗の長さ	d [m]	斜面の長さ L [m]
電気抵抗	$R = \rho \frac{d}{S} [\Omega] \propto d$ [m]	

(S : 径の面積, v : 電子速度もしくは水分子の速度, n : 単位体積あたりの自由電子の数もしくは単位体積あたりの水分子の数, i: initial, f: final)

次に、電場 E は単位電荷あたりにはたらく力を示すので、単位質量あたりにはたらく力を示す加速度 a と対応させている。このモデルでは、パイプを斜めに設置しているため、実際の水分子にはたらく加速度 a は $g \sin\theta$ (g : 重力加速度) となる。+ 1C の電荷を、無限遠の点から電界中の点 A まで加速しないで運ぶときに外から加えた力のする仕事を電位と定めることから、質量 1kg の水に外から力を加えて高さ 0 から h に移動させたときの水の位置エネルギーを電位に対応させて表すことができる。

一様な電場における点 A から点 B までの距離を d とすると AB 間の電位差 V は $V=Ed$ で表され、モデルにおける単位質量あたりの高さ h_i から h_f までの位置エネルギーの差 $g(h_f - h_i) = gH$ ($gL\sin\theta$) と対応している。電位差とは、単位電荷あたりの電気的な位置エネルギーの差のことであるので、この「水流モデル」では、電位差を単位質量あたりの位置エネルギーの差で把握できる¹⁴⁾。

次に、電気抵抗 R は

$$R = \rho \frac{d}{S}$$

(ρ : 電気抵抗率, d : 抵抗の長さ, S : 断面積) で表される。電気抵抗が 1 つの単純な回路において、電気抵抗の長さ d が大きくなると電気抵抗の大きさが大きくなり、流れる電荷の量は減少する。図 1 の「水流モデル」では、斜面の長さ L が大きくなればなるほど θ の大きさが小さくなり、単位時間に流れる水の質量が減少することから、斜面の長さ L を電気抵抗 R と対応させて考えることとした。

2 自作した「水流モデル」

(1) 単純回路の表し方

本研究では、電気を視覚的に捉え、水の流れに基づきながら電気現象を理解することができる教材をめざすという観点から、図 1 をベースとして教材の開発を行った。そして、表 1 の対応関係を念頭において製作したものが、図 2 の自作した「水流モデル」である。このモデルでは、電流を一定時間に流れる水の量、電圧を落差、電気抵抗を斜面の長さに対応させた。表 1 では電流を単位時間に流れる水の質量に対応させているが、質量は視覚的に捉えることが難しいため、図 2 では一定時間に流れる水の量 (体積) に対応させている。

次に、図 1 のモデルではパイプを使用しているが、水が流れる様子を視覚的に捉えさせたいため、電流、電圧の学習においては、パイプの代わりに樋を使用した。台の上部にタンクを設置し、汲み上げた水が樋を伝って下のタンクへ流れることで回路の中を流れる電流を表現した。樋の下部には水車を設置し電球がエネルギーを変換している様子を水車の回転で表現した。水車を通過しても流れる水の量が減少しないことから、電気回路において電流が流れることによって失われるものが電荷の持っている位置エネルギーであり、電荷そのものではないことを学習者

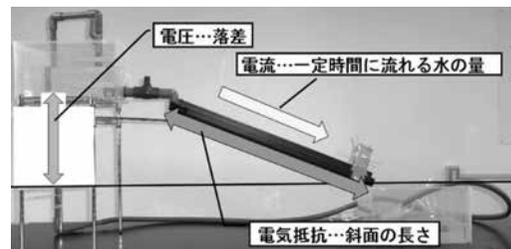


図2 単純回路を表している自作した「水流モデル」

に捉えさせられる。

今回自作した「水流モデル」の大きな特徴は、樋の部分を取り外せる構造になっている点である。学習内容によって樋を付け替えることにより、電流、電圧、電気抵抗の概念から、抵抗の合成による電流の流れ方の違いまでを一貫したモデルで表すことができるようになった。

(2) 直列回路の表し方

直列回路を表している自作した「水流モデル」(図3)では、樋の長さを2倍にし、2箇所水車を設置した。水車の通過前後で樋を流れる水の量が変わらないことから、直列回路では、回路のどの点でも電流の大きさが同じであることが分かる。

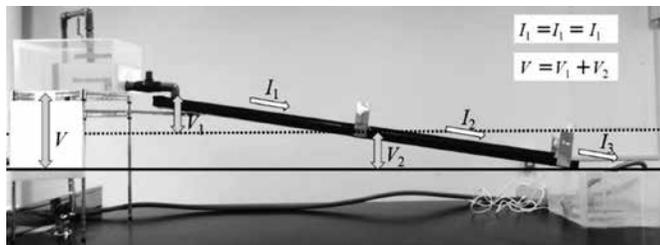


図3 直列回路を表している自作した「水流モデル」

次に、水の出口から1つ目の水車までの落差と1つ目の水車から2つ目の水車までの落差の和が全体の落差となることから、それぞれの電球に加わる電圧の和が電源の電圧に等しくなることが分かる。また、図2と比べると水車の回転数が減少するので、豆電球を直列に繋いだときに、明るさが暗くなる様子を視覚的に捉えさせられる。本来であれば、1つ目の水車の後には導線に対応する水平な樋が必要であるが、構造的に強度が低下するため設置していない。

(3) 並列回路の表し方

並列回路を表している自作した「水流モデル」(図4)では、樋の長さを図2と同じにし、水の通り道を2つに分けている。枝分かれしたところで、水が2つに分かれて流れていくことから、並列回路では枝分かれした電流の大きさの和が、分かれる前の電流の大きさや合流した後の電流の大きさに等しいことが分かる。次に、水の出口からそれぞれの水車までの落差が全体の落差と等しいことから、それぞれの電球に加わる電圧は同じで、それらは電源の電圧と等しくなることが分かる。直列回路(図3)と比べると、水車の回転数が増加することから、豆電球を並列に繋げば直列に繋ぐよりも明るくなることを視覚的に捉えさせられる。

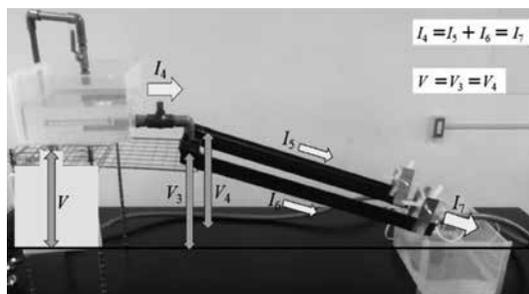


図4 並列回路を表している自作した「水流モデル」

(4) 回路全体の電気抵抗の表し方

自作した「水流モデル」で電気抵抗の合成を表す場合、図2～4のような樋を使う方法では、タンクから流れ出る水の量が一定となるため、繋ぎ方によって回路全体に流れる電流(一定時間に流れる水の量)が変わることを表すことができない。このため、電気抵抗を表すモデルでは樋をパイプに付け替え、上部タンクの水が一定量(約7,000 cm³)流れ落ちるまでの時間を計

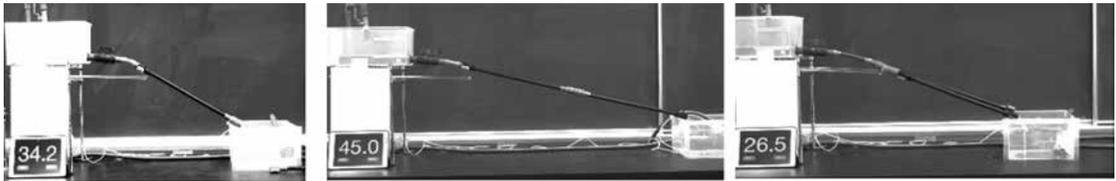


図5 a. 単純回路 (左) b. 直列回路 (中央) c. 並列回路 (右)

測することで、直列・並列回路において回路全体に流れる電流の違いを表すこととした (図5)。

上部タンクの水が流れ落ちるまでの時間を5回計測し、水が流れ落ちるまでの平均時間と1秒あたりに流れる水の量を示したものが表2である。このモデルでは1秒あたりに流れる水の量が、単純回路で $204 \text{ cm}^3/\text{s}$ 、直列回路で $157 \text{ cm}^3/\text{s}$ 、並列回路で $263 \text{ cm}^3/\text{s}$ となり、理論的な値との間にずれが見られた。これは、上

表2 パイプの繋ぎ方と流れる水の質量との関係

	単純	直列	並列
水が流れ落ちるまでの平均時間 (s)	34.4	44.5	26.6
1秒あたりに流れる水の量 (cm^3/s)	204	157	263

部タンクの水が減ることによる水圧の低下などが影響しているものと考えられる。したがって、このモデルでは定量的な結果を得ることはできないが、水が流れ落ちるまでの平均時間より、パイプを直列に繋ぐと水が流れにくくなり、並列に繋ぐと水が流れやすくなることは分かる。つまり、モデルを用いた水の流れを観察させることにより、並列回路では電流が流れやすくなり直列回路では電流が流れにくくなることを上部タンクの水の減り方から視覚的に捉えさせ、回路を流れる電流の様子を類推させることができる。

(5) 自作した「水流モデル」の評価

モデルを用いて学習を進める場合、見立てるものと見立てられるもの間にある対応関係が重要となる。モデルが変われば、その都度新しく対応関係を作り直す必要が出てくるが自作した「水流モデル」では、各物理量の対応関係に一貫性を持たせているため、モデルによって対応関係を再構築する必要がなく、学習者への負担が軽減できる。

授業実践後に水流モデルが回路を流れる電流をイメージするのに役に立ったかを問う設問に対して、76%の学習者が「当てはまる」、20%の学習者が「やや当てはまる」と回答している。そのため、自作した「水流モデル」により、視覚的に捉えることが難しい電気現象を可視化することができたとと言える。

次に、電気抵抗の合成をどのように扱うかは、「電流」単元における大きな課題の一つである。加藤は、合成抵抗に関して「直列回路における電気抵抗の合成と比較して並列回路における電気抵抗の合成を式のみで理解させることは困難である。」と述べている¹⁵⁾。その背景として並列回路において抵抗器を増やしているにも関わらず、回路全体の電気抵抗が小さくなることを学習者が理解しづらいという点が考えられる。合成抵抗の捉えさせ方について『中学校学習指導要領解説理科編』(2008)には「直列つなぎ、並列つなぎにおける回路全体の電流と電圧とから考えさせるようにする。」と記述しており、回路全体に流れる電流と加わる電圧の関係か

ら導くことが求められている。自作した「水流モデル」は、定量的な結果に不十分な点もあるが、回路全体に流れる電流と加わる電圧の関係を視覚的に捉えさせることはできる。定量的な結果については教科書の実験に委ねることができるので、中学生に回路を流れる電流のイメージを視覚的に捉えさせることを目的とするのであれば妥当なモデルであると考えている。

以上のことをまとめると、自作した「水流モデル」を用いた「電流」単元の学習において以下の3点(表3)が可能となる。

表3 自作した「水流モデル」によって可能となる諸点

- | |
|---|
| <p>①電流、電圧、電気抵抗を可能な限り水の流れを基本とした一貫性のあるモデルで示すことができる。</p> <p>②回路を流れる電流、回路の各区間に加わる電圧及び電気抵抗の大きさを水の流れを用いて視覚的に捉えさせることができる。</p> <p>③電気抵抗のつなぎ方によって電流の流れ方が変わる様子を水の流れを用いて視覚的に捉えさせることができる。</p> |
|---|

Ⅲ 自作した「水流モデル」を用いた授業実践

授業実践が行われた小単元は、中学校第2学年理科「電流」単元に含まれる小単元「回路と電流・電圧」及び「電流・電圧と抵抗」である。

授業は、全14時間で構成され、2014年9月上旬から10月上旬にかけて行われた。授業実践の対象者は公立A中学校2年生2クラス59人(男子27人、女子32人)である。表4には、授業展開の概要が示されている。

表4から分かるように、実験の前に電気回路の物理量と自作した「水流モデル」の物理量の間にある対応関係を示し、電気に対して具体的なイメージが持てるような授業展開を構想した。(◎は、自作した「水流モデル」を提示する場面を示す。)

Ⅳ 実践した授業の評価と考察

本授業実践では、以下の2観点から授業評価を行い、実践した授業に検討を加えた。

第一に、中学校第2学年「電流」単元に関する学習内容をどのくらい理解できたか。

第二に、直列・並列回路における電流、電圧、電気抵抗の合成をどのように捉えているか。

以上の2点である。

これらの点を明らかにするために、学習後に実施した実態調査の結果に検討を加えた。

表4 小単元の指導計画 (全 14 時間)

小単元	時	時	学 習 内 容
回路と電流・電圧	1 回路	1	1 電流が流れる道すじ 実験 1 回路をつくって電流の流れ方を調べよう
		2	<ul style="list-style-type: none"> ・電気用図記号や回路図の描き方について知る。 ・直列回路と並列回路の違いを考える。
	2 電流	3	2 回路を流れる電流はどれも同じか ◎自作した「水流モデル」を用いて、これから電流をどう捉えるかについての説明を受ける。電流・・・一定時間に流れる電気の量 → 一定時間に流れる水の量 実習 1 電流計の使い方を身につけよう
			4
		5	実験 2 回路の各点を流れる電流を調べよう (並列回路) ・豆電球の並列回路では、枝分かれした電流の強さの和は、分かれる前の電流の強さや、合流した後の電流の強さと等しいことを見いだす。
		6	<ul style="list-style-type: none"> ・直列回路、並列回路において、回路の各点を流れる電流が実験 2 の結論のようになった理由を考える。 ◎教師による自作した「水流モデル」を用いた実験 2 の結論に対する説明を聴く。
	3 電圧	7	3 回路に加わる電圧はどれも同じか ◎自作した「水流モデル」を用いて、これから電圧をどう捉えるかについての説明を受ける。電圧・・・電流を流そうとするはたらき → 落差 実習 2 電圧計の使い方を身につけよう
			8
		9	<ul style="list-style-type: none"> ・直列回路、並列回路において、回路の各区間に加わる電圧が実験 3 の結論のようになった理由を考える。 ◎教師による自作した「水流モデル」を用いた実験 3 の結論に対する説明を聴く。
	電流・電圧と抵抗	4 電気抵抗	10
11			実験 4 電圧と電流との関係を調べよう ・抵抗器に加える電圧と流れる電流との間に比例の関係があることを見いだす。 ・抵抗器に加える電圧と流れる電流との間にある比例の関係をオームの法則ということを知る。
12			<ul style="list-style-type: none"> ・グラフの傾きから電流の流れにくさが分かることを見いだす。 ・オームの法則を利用して未知の量を求めることができることを知る。
13			実験 5 回路全体の電気抵抗を調べる実験 ・抵抗器を直列につないだ場合は、回路全体の電気抵抗がそれぞれの電気抵抗の和になり、並列につないだ場合は回路全体の電気抵抗が最も小さいものよりも更に小さくなることを見いだす。
14			<ul style="list-style-type: none"> ・直列回路、並列回路において、各回路における合成抵抗の大きさが実験 5 の結論のようになった理由を考える。 ◎教師による自作した「水流モデル」を用いた実験 5 の結論に対する説明を聴く。

1 実態調査の概要

(1) 調査用紙の内容

授業実践を終えた後に、学習内容の理解と捉えを調べるため、全11問からなる実態調査を行った。問1では、直列回路の各点を流れる電流の大きさ I_1, I_2, I_3 (図6 a) がどのような関係になっているかを3つの選択肢 (ア: $I_1 > I_2 > I_3$, イ: $I_1 < I_2 < I_3$, ウ: $I_1 = I_2 = I_3$) から選択させた。問2では、問1のように考えた理由を自由記述で説明させた。問3では、並列回路の各点を流れる電流の大きさ I_4, I_5, I_6, I_7 (図6 b) がどのような関係になっているかを3つの選択肢 (ア: $I_4 = I_5 = I_6 = I_7$, イ: $I_4 = I_5 + I_6 = I_7$, ウ: $I_4 = I_5 + I_6 > I_7$) から選択させた。問4では、問3のように考えた理由を自由記述で説明させた。問5では、直列回路の各区間に加わる電圧の大きさ V, V_1, V_2 (図6 a) がどのような関係になっているかを3つの選択肢 (ア: $V = V_1 = V_2$, イ: $V = V_1 + V_2$, ウ: その他) から選択させた。問6では、問5のように考えた理由を自由記述で説明させた。問7では、並列回路の各区間に加わる電圧の大きさ V, V_3, V_4 (図6 b) がどのような関係になっているかを3つの選択肢 (ア: $V = V_3 = V_4$, イ: $V = V_3 + V_4$, ウ: その他) から選択させた。問8では、問7のように考えた理由を自由記述で説明させた。問9では、同じ大きさの抵抗器 (r_1, r_2) を直列につないで回路をつくった時、回路全体の電気抵抗 R_1 (図6 c) の大きさがどのようなになっているかを3つの選択肢 (ア: 2つの電気抵抗の大きさの和になる, イ: 2つの電気抵抗の大きさの和より大きくなる, ウ: それぞれの電気抵抗の大きさより小さくなる) から選択させた。問10では、同じ大きさの抵抗器 (r_1, r_2) を並列につないで回路をつくった時、回路全体の電気抵抗 R_2 (図6 d) の大きさがどのようなになっているかを3つの選択肢 (ア: 2つの電気抵抗の大きさの和になる, イ: 2つの電気抵抗の大きさの和より大きくなる, ウ: それぞれの電気抵抗の大きさより小さくなる) から選択させた。問11では、直列回路と並列回路で回路全体の電気抵抗の大きさが異なる理由を自由記述で説明させた。回収した調査用紙は、前述した2クラス57人分である。

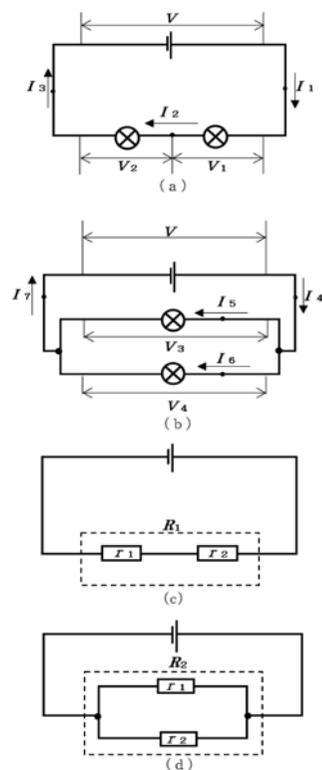


図6 実態調査に用いた回路図の概要

(2) 説明文に対する評価基準の設定

問2, 4, 6, 8, 11において学習者に書かせた説明文には表5に示したような評価基準を筆者らが設定し、5段階に評定した。

表5 説明文の評価基準

評定	評価基準
S	・電気回路の物理量を「水流モデル」の物理量に置き換えて説明している。
A	・水という言葉は使っていないが電流を水の流れるように捉えている。 ・水という言葉は使っていないが電圧を落差のように捉えている。
B	・実験結果の記憶や単純な式の暗記によって説明している。
C	・S, A, B以外の説明文を書いている。
D	・説明文が書き込まれていない。

2 調査結果とまとめ

(1) 電流に関する調査問題の結果

1) 直列回路

図7には、問1の正誤人数と問2で書かせた説明文に対する各評定の人数、そして回答と回答に対する説明文の間にある対応関係が矢印で示されている。図7より、以下の諸点が分かる。問1に正答した学習者は57人中53人（以下、53/57と略）であり、誤答が4人であった。問2の説明文に対する評定では、Sが33人、Aが3人、Bが10人、Cが7人、Dが4人であった。これらより、電流を水の流れるように捉えて説明をしていなかった学習者は評定B、C、Dを合わせた21人であったことが分かる。

図7の正答と説明文に対する評定を繋ぐ矢印を見ると、正答を答えた学習者53人の内、33人が評定S、3人が評定A、9人が評定B、4人が評定C、4人が評定Dであったことが分かる。これより、正答者53人の内、評定S、Aを合わせた36人が筆者のねらい通りに電流を水の流れるように捉えて説明していたことが分かる。しかし、評定B、C、Dを合わせた17人は、問1で正答を答えたにもかかわらず、問2では電流を水の流れるように捉えて説明していなかったことも分かる。

2) 並列回路

図8には、問3の正誤人数と問4で書かせた説明文に対する各評定の人数、そして回答と回答に対する説明文の間にある対応関係が矢印で示されている。図8より、以下の諸点が分かる。問3に正答した学習者は54/57であった。問4の説明文に対する評定では、Sが31人、Aが13人、Bが2人、Cが2人、Dが9人であった。これらより、電流を水の流れるように捉えて説明をしていなかった学習者は評定B、C、Dを合わせた13人であったことが分かる。

図8の正答と説明文に対する評定を繋ぐ矢印を見ると、正答を答えた学習者54人の内、31人が評定S、13人が評定A、2人が評定B、1人が評定C、7人が評定Dであったことが分かる。これより、正答者54人の内、評定S、Aを合わせた44人が筆者のねらい通りに電流を水の流れるように捉えて答えていたことが分かる。しかし、評定B、C、Dを合わせた10人は、問3で正答を答えたにもかかわらず、問4では電流を水の流れるように捉えて説明していなかったことも分かる。

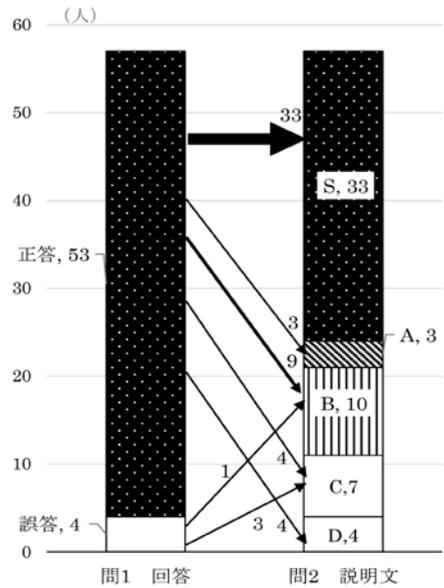


図7 問1の正誤人数と問2の説明文に対する評定との対応

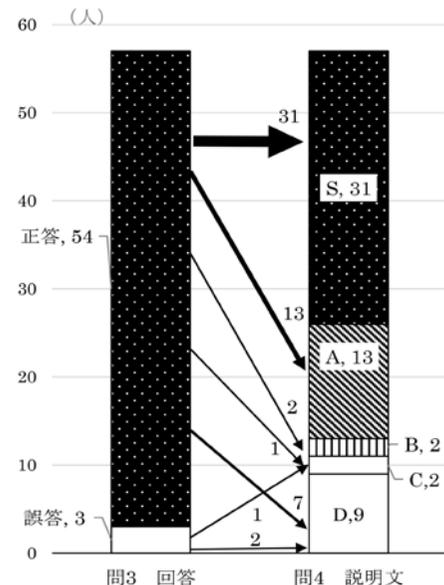


図8 問3の正誤人数と問4の説明文に対する評定との対応

(2) 電圧に関する調査問題の結果

1) 直列回路

図9には、問5の正誤人数と問6で書かせた説明文に対する各評定の人数、そして回答と回答に対する説明文の間にある対応関係が矢印で示されている。図9より、以下の諸点に分かる。問5に正答した学習者は48/57であった。問6の説明文に対する評定では、Sが25人、Aが4人、Bが8人、Cが8人、Dが12人であった。これらより、電圧を落差のように捉えて説明をしていなかった学習者は評定B、C、Dを合わせた28人であったことが分かる。

図9の正答と説明文に対する評定を繋ぐ矢印を見ると、正答を答えた学習者48人の内、25人が評定S、4人が評定A、7人が評定B、5人が評定C、7人が評定Dであったことが分かる。これより、正答者48人の内、評定S、Aを合わせた29人が筆者のねらい通りに電圧を落差のように捉えて答えていたことが分かる。しかし、評定B、C、Dを合わせた19人は、問5で正答を答えていたにもかかわらず、問6では電圧を落差のように捉えて説明していなかったことも分かる。

2) 並列回路

図10には、問7の正誤人数と問8で書かせた説明文に対する各評定の人数、そして回答と回答に対する説明文の間にある対応関係が矢印で示されている。図10より、以下の諸点に分かる。問7に正答した学習者は49/57であった。問8の説明文に対する評定では、Sが26人、Aが6人、Bが5人、Cが7人、Dが13人であった。これらより、電圧を落差のように捉えて説明をしていなかった学習者は評定B、C、Dを合わせた25人であったことが分かる。

図10の正答と説明文に対する評定を繋ぐ矢印を見ると、正答を答えた学習者49人の内、26人が評定S、6人が評定A、4人が評定B、4人が評定C、9人が評定Dであったことが分かる。これより、正答者49人の内、評定S、Aを合わせて32人が筆者のねらい通りに電圧を落差のように捉えて答えていたことが分かる。しかし、評定B、C、Dを合わせた17人は、問7で正答を答えていたにもかかわらず、問8では電圧を落差のように捉えて説明していなかったことも分かる。

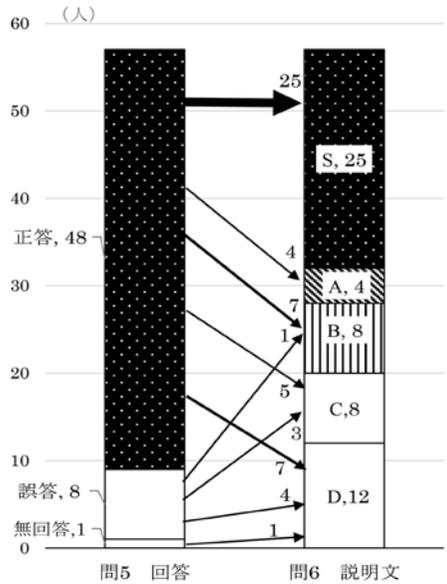


図9 問5の正誤人数と問6の説明文に対する評定との対応

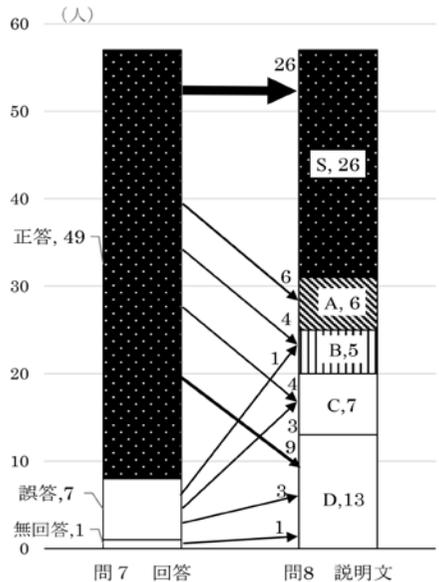


図10 問7の正誤人数と問8の説明文に対する評定との対応

(3) 電気抵抗の合成に関する調査問題の結果

1) 直列回路

図 11 には、問 9 の正誤人数と問 11 で書かせた説明文に対する各評定の人数、そして回答と回答に対する説明文の間にある対応関係が矢印で示されている。図 11 より、以下の諸点に分かる。問 9 に正答した学習者は 38/57 であった。問 11 の説明文に対する評定では、S が 20 人、B が 5 人、C が 12 人、D が 20 人であった。これらより、電気回路の物理量を「水流モデル」の物理量に置き換えて説明をしていなかった学習者は評定 B, C, D を合わせた 37 人であったことが分かる。

図 11 の正答と説明文に対する評定を繋ぐ矢印を見ると、正答を答えた学習者 38 人の内、19 人が評定 S, 3 人が評定 B, 3 人が評定 C, 13 人が評定 D であったことが分かる。これより、正答者 38 人の内、評定 S, A を合わせた 19 人が筆者のねらい通りに電気回路の物理量を「水流モデル」の物理量に置き換えて説明をしていたことが分かる。しかし、評定 B, C, D を合わせた 19 人は、問 9 で正答を答えていたにもかかわらず、問 11 では電気回路の物理量を「水流モデル」の物理量に置き換えて説明をしていなかったことも分かる。

2) 並列回路

図 12 には、問 10 の正誤人数と問 11 で書かせた説明文に対する各評定の人数、そして回答と回答に対する説明文の間にある対応関係が矢印で示されている。図 12 より、以下の諸点に分かる。問 10 に正答した学習者は 32/57 であった。問 11 の説明文に対する評定では、S が 15 人、B が 10 人、C が 11 人、D が 21 人であった。これらより、電気回路の物理量を「水流モデル」の物理量に置き換えて説明をしていなかった学習者は評定 B, C, D を合わせた 42 人であったことが分かる。

図 12 の正答と説明文に対する評定を繋ぐ矢印を見ると、正答を答えた学習者 32 人の内、13 人が評定 S, 6 人が評定 B, 3 人が評定 C, 10 人が評定 D であったことが分かる。これより、正答者 32 人の内、評定 S, A を合わせた 13 人が筆者のねらい通りに電気回路の物理量を「水流モデル」の物理量に置き換えて説明をしていたことが分かる。しかし、評定 B, C, D を合わせた 19 人は、問 10 で正答を答えていたにもかかわらず

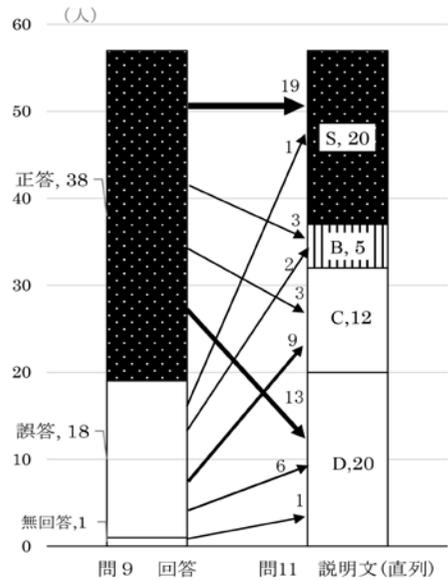


図 11 問9の正誤人数と問 11 の説明文に対する評定との対応

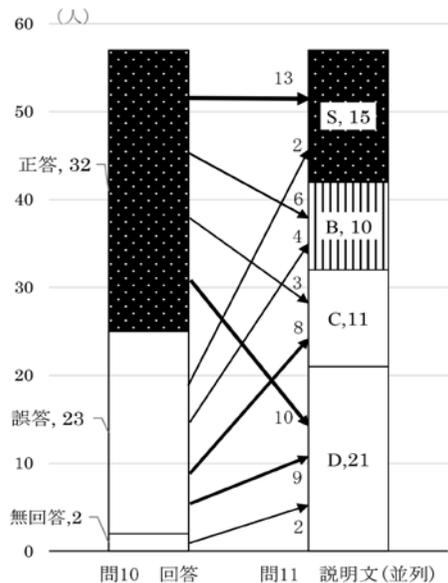


図 12 問 10 の正誤人数と問 11 の説明文に対する評定との対応

ず、問 11 では電気回路の物理量を「水流モデル」の物理量に置き換えて説明をしていなかったことも分かる。

(4) まとめ

本研究では、先行研究でも例の少ない電流、電圧、電気抵抗を一貫性のあるモデルを使って学習者に捉えさせることを試みた。調査問題の結果をまとめると電流から電圧、電気抵抗へと学習が進むにつれて、学習者が電気を水の流れのように捉えて理解することが難しくなっていくと考えられる。特に電気抵抗については、それが顕著であった。

回答の説明文に対して無答である評定 D の学習者が少なからずいたという点については、後に行ったインタビューなどから自分の考えをどのように表現するかについて戸惑った学習者もいたことが分かったが、学習内容を説明できるほど十分理解できていなかったということも考えられる。

次に、図 7 と図 9、図 8 と図 10 を比較する。図 7 で電流を水の流れで説明していた学習者は 36 人いたが、図 9 で電圧を水の落差で説明していた学習者は 29 人に減少していた。図 8 で電流を水の流れで説明していた学習者は 44 人いたが、図 10 で電圧を水の落差で説明していた学習者は 32 人に減少していた。これらの結果より、電流の学習では水の流れをノートや黒板の上で平面的にたとえることで理解できていたが、電圧の学習では落差を加えて立体的にたとえなければならず、そのことに学習者が困難さを感じていたのではないかと考えられる。

次に、電流、電圧の捉えと合成抵抗の捉えの相違を図 7、9 と図 11、図 8、10 と図 12 を用いて比較する。図 7、9 において正答者数はそれぞれ 53 人と 48 人であったが、図 11 における正答者数は 38 人となり減少している。回答に対する説明文を見ると、図 7、9 において評定 S、A の学習者は、36 人と 29 人であったが、図 11 における評定 S、A の学習者は 20 人となり減少している。図 8、10 において正答者数はそれぞれ 54 人と 49 人であったが、図 12 における正答者数は 32 人となり減少している。回答に対する説明文を見ると、図 8、10 において評定 S、A の学習者は、44 人と 32 人であったが、図 12 における評定 S、A の学習者は 15 人となり減少している。これらの結果より、自作した「水流モデル」を用いた合成抵抗の学習では教師の意図に反して、電気回路の物理量を「水流モデル」の物理量に置き換えての理解が十分できていなかったと考えられる。特に、問 9 で誤答した学習者について詳細に検討すると、直列回路で電気抵抗を合成すると 2 つの電気抵抗の和より大きくなると答えた学習者が 13 人いた。図 5 の演示で b の直列回路では水が流れにくくなることを示したが、そのことが強く印象に残り「和より大きくなる。」と回答したのではないかと考えられる。

V おわりに

本研究では、中学校理科「電流」単元において、電流、電圧に加え電気抵抗をも視覚的に捉えることができるような「水流モデル」の自作教材の開発を試み、授業実践を行った。その結果、第一の目的である電流、電圧、電気抵抗を水の流れのように捉えながら電気をイメージすることができる自作した「水流モデル」を開発できた。

次に、授業実践後に行った実態調査に分析と検討を加えた。その結果、自作した「水流モデ

ル」を用いた授業によって、学習者が自身の内面に電気回路の物理量を「水流モデル」の物理量に置き換えてメンタルモデルを構成し、且つそれを外化できれば、回路を流れる電流や各区间に加わる電圧への理解を促すことが分かった。しかし、自作した「水流モデル」を用いた授業を展開していく中で、解決すべき課題も明らかになった。それらの課題は大きく2つにまとめることができる。

第一に、自作した「水流モデル」は、電流や電圧については理解を促すことが分かったが、電気抵抗については必ずしもそうではなかったという点である。このことについては次の2つの理由が考えられる。①電気回路の物理量と「水流モデル」の物理量の間にある対応関係が十分に捉えられていなかった。②抵抗の合成に対してモデルの視覚的な印象が強く残り、定量的な捉え方が十分にできていなかった。以上の2点である。モデルを用いた学習をするとき、学習者に対して見立てるものと見立てられるもの間にある対応関係を明確に捉えさせることは大切なことである。説明文において電流や電圧を水の流れのように捉えて説明できなかつた学習者は、抵抗の説明もできていなかった。上記①を解決するためには、各物理量の対応関係を授業の中で繰り返し確認させることや、対応関係をワークシートにまとめさせるなどの手立てが必要である。そして、自作した「水流モデル」を用いて電気抵抗の授業を進める場合、斜面の長さが変われば斜面の角度の大きさが変わり、それに伴って一定時間に流れる水の量が変化する様子を実際に観察させるなど、電流と一定時間に流れる水の量との対応関係についてより丁寧な説明を加えていくことが必要である。加えて、小学校第5学年で学習する「流水の働き」単元を思い出させ、傾斜が急になると水の流れが速くなり、傾斜が緩やかになると水の流れが遅くなったことをふり返らせることも有効であると考えている。上記②の課題が出てきたのは、実験結果から得られた結論がなぜそうなったかを理解し、説明するための手段としてのモデルの役割が果たせず、モデルによる演示の結果が学習内容の主体となってしまったからではないかと考えられる。このような課題を無くすためには、パイプの繋ぎ方によって流れる水の量が違うことだけに着目させるのではなく、実験結果から得られた結論を再度確認した上で「パイプの繋ぎ方によって流れる水の量が変わるのは何故か」について十分な時間をとって考えさせる必要があると考えている。

第二に、自作した「水流モデル」を用いて電流を水の流れのようにたとえた授業を展開したが、全ての学習者が電流を水の流れのように捉えて理解を図ろうとしているわけではなかったという点である。その理由として、学習者にモデルを活用することの利点を十分に実感させることができなかつたのではないかと考えている。学習者がモデルを活用した学習に利点を感じ、モデルを使って考えることにより思考や表現が深まっていることを実感する機会が増えれば、積極的にモデルを使って思考する学習者が増えてくると考えられる。具体的には、学習者が実際に書いたワークシートの中から推薦できる例を教師が全体に向けて提示し、モデルを用いて考えることの利点に気付かせることなどが有効であると考えている。

本研究の成果や課題をもとにして更に工夫・改善を加えていくことにより、自作した「水流モデル」をより効果的に活用した授業を構想できるのではないかと考えている。

【註】

- ¹⁾ 2008年に改訂された学習指導要領における単元名「電流と磁界」は、2002年に一部改正された学習指導要領では、「電流の利用」と異なる表記になっている。
- ²⁾ 小中学校教育課程実施状況調査HP (http://www.nier.go.jp/kaihatsu/katei_h15/ 2014/06/13 確認)
- ³⁾ 生徒に対してよく分からなかった単元を問う実態調査上位4単元 (N=67 複数回答)
1, 電流と磁界 (58%) 2, 電流 (54%) 3, 力と圧力 (49%) 4, 水溶液 (47%)
- ⁴⁾ 貫井正納:「中学校電気教材の構造と問題点」,『理科の教育』, vol.29(2), pp.20-23, 1980.
- ⁵⁾ 藤垣和之:「中学生のイメージを広げる理科指導」,『理科の教育』, vol.44(5), pp.30-32, 1995.
- ⁶⁾ 稲垣成哲:「メンタルモデル」,『理科の教育』, vol.44(4), p.27, 1995.
- ⁷⁾ 淵一博監修:『メンタル・モデルと知識表現』, p.80, 1986.
- ⁸⁾ 市川英貴他:「電流回路のモデルによる中学生の認知的方略の育成」,『日本理科教育学会研究紀要』, vol.36(2), pp.21-31, 1995.
- ⁹⁾ 牧井創:「中学校の電流学習における粒子水流模型を用いた授業実践」,『物理教育』, vol.54(3), pp.201-205, 2006.
- ¹⁰⁾ 小林順一:「水流モデルによる直流電気現象の教材化」,『物理教育』, vol.42(2), pp.164-167, 1993.
- ¹¹⁾ 福山豊:「電気回路学習のための水流モデルの製作と検討」,『物理教育』, vol.38(2), pp.88-91, 1990.
- ¹²⁾ 福田浩三:「中学校・高等学校物理教材開発～電流回路の水流モデル実験装置の製作とその活用例について～」,『日本科学教育学会研究会研究報告』, vol.7(6), pp.89-94, 1993.
- ¹³⁾ 田部井一浩氏が製作したHP上に記載されている。(http://homepage2.nifty.com/SCLUB/ 2014/11/20 確認)
- ¹⁴⁾ 亀山寛:「電気回路と水流モデルとの類推に関する考察 (I):電位差(電圧)について」,『静岡大学教育学部研究報告. 教科教育学篇』, vol.12, pp.20-23, 1981.
- ¹⁵⁾ 加藤武男:「生徒からみた電気教材の問題点」,『理科の教育』, vol.29(2), pp.24-28, 1980.

附記 本稿は平成27年3月に『島根大学大学院教育学研究科「現職短期1年コース」課題研究成果論集』に掲載された研究を更に深め、加筆、修正を加えたものである。