

# 電圧の概念を取り入れた電気教材の検討

飯塚正明, 我妻沙紀

千葉大学教育学部

## A Study of Electrical Teaching Materials Incorporating the Concept of Voltage

IIZUKA Masaaki and WAGATSUMA Saki

Faculty of education, Chiba University, Japan

電気に関する学習について、小学校から単元があるが、児童・生徒が苦手意識を持っている。苦手意識の改善を目的として、小学校の電気に関する内容について検討した。学習指導要領には、小学校では電圧に関する概念について扱わないとされている。しかし、電圧を扱わなければ、電流が流れることへの理解が困難であり、電流に寄与する抵抗の理解も難しい。電気の学習、特に電気回路では、電圧、抵抗、電流が基本となり、オーム法則を学び、電気に関する原理を理解していくのである。電気の学習では、オームの法則が最初に学ぶ基本的な原理なのである。しかし、小学校では電流は扱われているのだが、電流が流れる原理が説明されず電気の性質を学習している状況である。また、教科書等では、電池の接続と、電球等の明るさの関係が取り上げられ、キルヒホッフの法則が説明されていると考えられる。本研究では、児童に水流モデルと言われる方式で、電圧の概念を取り入れた教材を検討し、電気に関する苦手意識の改善について検討した。

キーワード：オームの法則 (Ohm's law), キルヒホッフの法則 (Kirchhoff's laws),  
水流モデル (Electronic-Hydraulic Analogy)

### 1. はじめに

電気の領域を担当している中で、電気は“見えないからよくわからない、不得意である。”と言われることが多数ある。はたして、電気信号の動きが目に見えないことが、理解を妨げているかという疑問があげられる。運動などの力学的な現象は、力を感じられるから、見ていることと同じ理解ができるのだろうか。しかし、ニュートンの法則は、見たり感じたりすることとの違いもあり、理解が難しい点があるのだが、電気領域ほどの拒絶感はないように感じる。たとえば、慣性の法則は、力が働かなければ、動きが変わらないという法則である。しかし、通常の生活の中では、摩擦等があるため、力が働かなければ止まり、動くためには力が必要と感じていると考えられる。運動の法則でも、見たり感じたりすることと、法則との間には乖離があり、理解が難しい。ところが、順を追って学習をすることで、力学的な原理や法則を理解していると考えられる。

電気に関する現象も、見たり感じたりすることに加え、原理や法則を学習し、実習や実験を繰り返すことで、理解が進むと考えられる。

### 2. 学校教育での状況

小学校では、電気に関する内容を、第3学年『電気の通り道』、第4学年『電流の働き』、第5学年『電気がつくる磁力』、第6学年『電気の利用』で学習する。また、中学校では2年生で『電流』『電流と磁界』を学習する。小・中学校の電気分野の学習において、内容は異なるが電流

の概念が取り扱われている。しかし、小学校では電圧、抵抗の概念は扱われていない。生徒は中学校で初めて、「電圧」「抵抗」等を学ぶこととなる。昭和44年(1969)の学習指導要領改訂の時に「小学校で電圧の概念について扱わない」とされた。しかし、電圧が印加されなければ電流は流れないのである。電気の根幹である「電圧」を学習することなく、電圧変化である、乾電池の直列つなぎの学習を行い、それを「電流の強さ」で指導するから、児童も教師も「電圧」を「電流」と勘違いしてしまう、ということが指摘されている<sup>1)</sup>。また、マスコミ等でも、高圧電流などという言葉が使われている例がよくあり、多くの人たちが、電圧と電流について理解していないと考えられる。

小学校4年生では、乾電池の直列つなぎと並列つなぎについて学習する。乾電池1個の場合と、乾電池2個を直列つなぎにした場合、乾電池2個を並列つなぎにした場合の豆電球の明るさやモーターの回転数の違いについての教材であるが、電圧を扱わずに、動作原理の正しい説明をすることは困難である。児童の多くは「直列つなぎの回路では、豆電球は明るく、モータはよく回転する。並列つなぎでは乾電池1個の場合と電流の強さは変わらず、豆電球の明るさやモータの回転数も変わらない」と暗記するしかない。また、このことは、教師も同様であると考えられる。その現象について正しい理解ができているとはいいがたく、「授業で実験をして確かめたからそうなのだ」と理解している。乾電池2個を並列つなぎにした場合、乾電池1個の場合よりも耐久時間が長持ちする等、並列つなぎの利点がある。これにはエネルギー保存則を抜きには説明できないのだが、児童も教師も、

エネルギー保存則についてよく知らない。電流概念のみの学習では、並列つなぎの意味を理解する機会もない。

現状では、小学校の児童にとって、電気に関わる量的な認識は全て「電流」になっている。これでは、電気に関する「科学的な見方・考え方」を育てることができないと考えられる。

本研究では、電気分野の学習において、児童や担当する先生が無理なく、電圧概念を学習できるような教材について検討していく。

### 3. 現状の問題点

小学校では、一部では高学年に教科担任制が導入されてきているが、基本的には、クラス担任が全教科を担当している。小学校教員は、各教科の教育法の習得を中心に学習し免許が与えられており、教科専門の学習を具体的に行っている例は少ない。特に、理科などの教科の中では、物理に関する内容は難易度が高く、具体的な教科の内容の扱いは非常に少ないと考えられる。特に、電気に関する科目については、なおさらである。そのため、理科や物理があまり得意ではない教員も理科を担当しなければならないという現状がある。理科の特徴である実験・観察の準備と後始末には、理科についてそれなりの知識とかなりの時間を要するため、実験・観察が億劫になる教員が少なくない。また、学校現場では実験指導のミスが必要以上に恐れる教員が増えているという指摘もあり、教員が理科実験を敬遠し、演示実験や動画視聴等で済ませてしまうことも少なくない。児童が自ら実験を行い、現象を確かめる機会もなくなってしまい、児童の経験不足による学習内容の理解不足が懸念される。

小学校第4学年の『電流の働き』と、「乾電池の直列つなぎと並列つなぎ」では、乾電池の数やつなぎ方によって豆電球の明るさやモータの回り方が変わることや、豆電球の明るさやモータの回り方は回路を流れる電流の量と関係すること、電流の量は乾電池の数やつなぎ方と関係することを学んでいくが、ここで扱われる原理は、キルヒホッフの法則であると考えられる。電気に関する原理を学ぶ上では、電圧、電流、抵抗という単位を学び、それに関連したオームの法則を学ぶ。オームの法則から電圧、電流、抵抗という概念を理解した後に、電気回路を考える。電気回路が複雑になると必要な法則が、キルヒホッフの法則である。この法則は、回路に流れる電流の関係、回路にかかる電圧の関係を表している法則である。この法則は、高校の電気領域の一部や、大学の電気領域などで扱われる法則である。

キルヒホッフの法則には、次のような電流則と電圧則がある。

○キルヒホッフの電流則：

ある接点に流入する電流の総和は、この接点から流出する電流の総和に等しい。

○キルヒホッフの電圧則：

回路中に素子の結合によって作られた一回りの輪を考える。このような輪を閉路といい、回路中の任意の閉路に沿って、各素子の電位差を加えるとゼロとなる。

この関係を使って、電気回路の各部の電流や電圧を計

算するために使われるのである。

中学校の技術科では、「電気エネルギーの種類」、「乾電池の種類と特徴」、「電気エネルギーの変換」について学習する。理科では『電流』『電流と磁界』の学習をする。生徒は『電流』の単元で「電流と電圧」、「抵抗」「オームの法則」、「静電気と電流」を学習し、『電流と磁界』では「電流がつくる磁界」、「磁界中の電流が受ける力」、「電磁誘導と発電」を学習する。電流計や電圧計を用いて、いろいろな回路を流れる電流や電圧の大きさを測定し、グラフ化させることによって、電気回路の基礎的な性質及び電流と電圧との関係を理解させることをねらいとしている。電流概念に関する学習目標として、①回路が閉じているときのみ電流が流れること、②分岐点のない回路では、回路のどの部分でも電流の強さは等しいこと、分岐点のある場合は流入流出するそれぞれの電流の和は等しいこと、③電流は電子の流れであることを理解すること、の3点があげられている。このことは、生徒にキルヒホッフの法則を理解させようとしていると考えられる。

以上のように、オームの法則だけでなく、電圧、抵抗を教えることなく、キルヒホッフの法則の概念を学習させていることで、苦手の領域となってしまっていると考えられる。

電気分野に関する学習内容は、小学校から中学校へ繰り返し学習されている。しかし、中学生になると電気分野の学習に抵抗を示す生徒が増加するということが指摘されている。小・中・高校生を対象に実施された理科の学習内容に対する好き・嫌い調査によれば、電気に関する内容は、学年進行とともに嫌いと答える児童・生徒の割合が増加すること、特に女子は電気を最も嫌いな教材に位置づけていることが明らかにされている<sup>2)</sup>。

『中学生の電流理解に関する実態調査報告(1)』<sup>3)</sup>には、「理科嫌い」と「苦手意識」の回答分布が記載されている。それによると、「理科嫌い」については、電流単元の学習前調査から学習後調査で、「とても好き」は微増、「嫌い」は少し増で、それほど変化していないものの、「好き」、「どちらでもない」と答えた生徒はかなり減少し、「あまり好きでない」と答えた生徒が大幅に増加している。残念ながら「理科嫌い」が電流単元の学習の前後で増える傾向にある。

これは、中学校において電流単元を学習した影響があると考えられる。中学校における電流単元の学習によって、「わからない」生徒が増えていることを示唆している。

『附属小・中学生の電流についての理解とイメージ』<sup>2)</sup>によれば、電気がわからない・苦手である原因の一つとして、乾電池や豆電球のつなぎ方によって多様な回路ができるが、それらを同一の小数の回路に分類整理することができないために、電気がわからなくなっていると指摘している。

### 4. 教材の検討

『小学校理科に電圧概念を導入することの効果～電気学習の新たな試み～』<sup>4)</sup>では、一般に水流モデルは電流のメタファとして導入されることが多いが、伊東・高

橋・石井<sup>5)</sup>や小林・伊東<sup>6)</sup>は、電気単元の理解を促進するには電圧概念の獲得が不可欠であるとして、中学生に電圧概念を獲得させるために水流モデルと電位測定回路を用いた実践授業を行い、電圧を意識した水流モデルは電圧のイメージを持たせ、電位測定回路は電圧のはたらきや性質を理解させるなど一定の効果があることを報告している。

また、細越・伊東<sup>7)</sup>は、小学校においても電圧概念の指導が重要であるとの観点から、様々なアナロジーを用いた授業実践を行った結果、小学4年生においても電圧概念の導入は可能であることを示唆している。

現在、小・中学校の理科の電気分野においては、中学校だけが電圧概念について学習する。しかし、日常生活の中で、児童は「ボルト」という言葉や「V」という記号を見たり聞いたりしているはずである。そのような生活的概念からも、小学校理科の電気分野の学習に電圧概念を導入するべきと考える。「電圧（乾電池の起電力）」として乾電池などに書かれている「ボルト」「V」を乾電池が回路の電流の大きさを決めていく目安となっていることに気づかせたいと考える。本研究では、小学校の電気分野の授業において、乾電池1個の電圧が1.5Vであるという事実と、水流モデルを用いた電圧概念を学習させることで児童の電気に関する理解が深まることを明らかにし、担当者も無理なく、電圧概念を学習できる教材について検討する。

## 5. 調査と教材

公立小学校第6学年の児童(28人)を対象に行い、事前の実態調査、実験授業、授業後の実態調査、及び意識調査を以下の手順で行った。

- (1) 電圧についての事前の実態調査
- (2) 電圧に関する授業
  - ①「電気の通り道」と「電流のはたらき」の授業の復習
  - ②水流モデルを用いて電圧の概念の説明
  - ③水流モデルに比較できる電圧計・検流計・豆電球等で行うことのできる教具で演示実験
  - ④児童が電圧計・検流計・豆電球等の回路配置が記載してある教材を使って実験
- (3) 実験後の実態調査

### 5.1. 実態調査について

調査内容は、児童が日常生活において「ボルト」「V」という文字や記号を見聞きしたことがあるかどうかについての調査と「電気回路の理解を評価する問題」を設定した。

豆電球1個に乾電池1個を導線でつないだ回路、乾電池2個を直列つなぎの回路、乾電池3個直列つなぎの回路、乾電池2個並列つなぎの回路、乾電池3個並列つなぎの回路を提示し、1番明るく点灯する豆電球の回路を選ばせる問題、電池1個と電池の直列回路における豆電球の明るさの比較、電池1個と電池の並列回路における豆電球の明るさを比較、電池の並列回路2個と3個の場合における豆電球の明るさの比較、電池2個の直列と並

列における豆電球の明るさを比較させた。また、電池1個と同じ明るさの豆電球を選ばせる問題、全体の中で同じ明るさの豆電球の組み合わせを選ばせる問題などの調査を行った。

「ボルト」「V」という文字や記号を見聞きしたことがあるかどうかについての調査では、全員が見たり聞いたりしたことがあると答えている。この結果から、小学校6年生の児童は、電圧に関する「ボルト」「V」という文字や記号について知らないわけではないということが明らかになった。電圧概念は学習していないが、日常生活の中で見聞きした経験がある考えられる。また、以下のような記述がみられた。

「ドライバーで見たことがある」

「60Vまでと書かれてあるコンセントがあった」

「アニメに出てくる」

全員が日常生活の中で「ボルト」「V」などを見たり聞いたりしているということからも、学習集団として、知らないわけではないということがわかった。

また、「乾電池の『ボルト』『V』は、乾電池につないだもの（豆電球やモーターなど）に流れる電流の大きさに関係している。『ボルト』の数字の大きい乾電池につないだ豆電球はより明るくなる」とも答えている。

このことは、小学4年生で既習した乾電池の並列つなぎや直列つなぎで豆電球の点灯やモーターの回転に変化があると学習しているためと考えられる。乾電池のつなぎ方と「回路につないだものの動作」と類推していると考えられる。これは、オームの法則について、学習していないが、感覚的に理解していると考えられる。

### 5.2. 電圧に関する水流モデルの説明

「電圧＝落差」、「豆電球＝水車」、「電池＝ここまで水をくみ上げるポンプ」、「電流＝1秒間に流れる水の量」という水流モデルを図で表したものと、「電流＝電気の流れの量」、「電圧＝電気を流そうとする力」というポイントを強調したものを用意した(図1)。

並列つなぎと直列つなぎの説明も図2に示す資料を用いた。並列つなぎは乾電池1個の時と落差が同じで、直列つなぎは落差が2倍であるということがわかりやすいように工夫した。また、豆電球の明るさの違いや流れる電流の勢いの違いについても視覚的にわかるように工夫した。並列つなぎは「電気を流そうとする力が弱い。流れる量が少ない。」と「持ち上げる距離が短いため、電池が長持ちする。」こと、直列つなぎの特徴は、「電気を流そうとする力が強い。流れる量が多い。」と「持ち上げる距離が長いため、電池が早くなくなる。」ことを示した。

「乾電池の高さ＝水流の強さ＝電圧の強さ」というイメージは持てたという児童が多かった。しかし、説明だけでは、実際の電気の回路と結びつけることが難しい児童もいる様子であった。

### 5.3. 実験教材

水流モデルを、作製した教材で、実際の電圧計・検流計・豆電球等で行った。電池の電圧を視覚的に高さを付けて表現し、傾斜が急になったりすることで電圧の概念

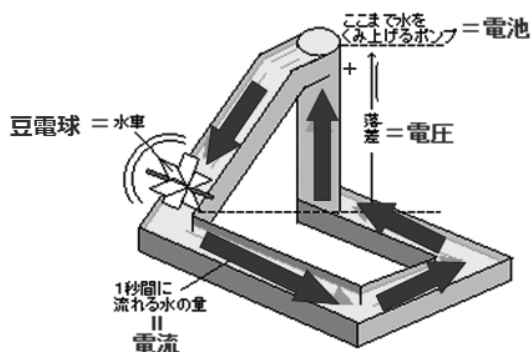


図1 水流モデルの説明資料

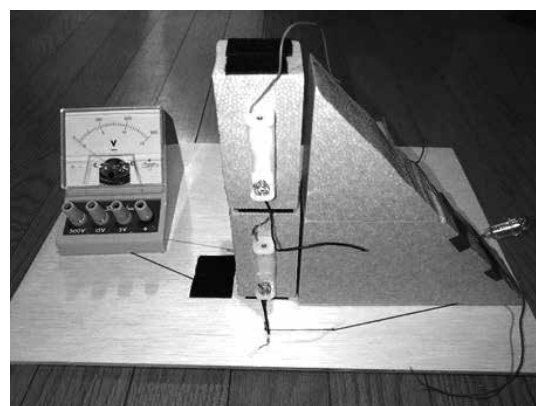


図3 電池が直列接続の実験教材

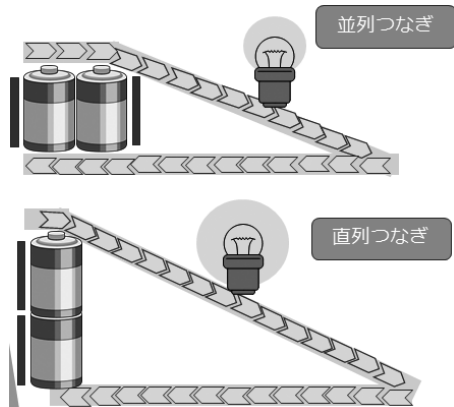


図2 直列つなぎと並列つなぎの違い



図4 電池が並列接続の実験教材

の理解を助けている。教材を図3, 4に示す。

図3では、電池を直列にしており、高さも高くなっているが、図4では、電池が並列接続で、電池1個の場合と同じ高さとなっているので、電圧の概念をわかりやすくしている。

この教材で実験したところ、児童は水流モデルを実際の電圧計・検流計・豆電球等の具体物で確認し、理解を深めることができた様子であった。

#### 5.4. 授業後の調査結果

授業後に事前調査と同様の調査を行った。事前の調査では、解答の平均点は、正解率が半分に満たなかったが、事後では7割近くの回答率となった。事前では0点だったが、事後では満点となった児童もいた。個人差を考慮する必要があるが、水流モデルや実験教材を用いることで、理解が進んだ児童がいることがわかった。

「電圧とは何ですか」との自由記述も行った結果、「電気の大きさ」、「電気の強さ」というような記述が見られ、電圧の概念について理解が進んだと考えられる。

小学校理科では、電流についての学習はするが、電圧についての学習は扱わないのが現状である。「電圧概念の理解が小学生には難しい」といわれているが、電気分野の学習の理解を深めるためにも電圧の学習は必要であると考えられる。

#### 6. おわりに

本研究は、小学校理科の電気分野の学習において電圧

概念を取り入れた実験などの活動を通して、児童生徒の認識が小学校から中学校まで系統的で発展的になるために必要とされる学習教材の提案を行った。

小学校や中学校での学習は独立して存在しているのではなく、相互に関連づいて成り立っていると考え、本研究では、特に、教材等を児童の認識の立場でとらえ直し、児童も授業を担当する先生も無理なく、電圧概念を学習できるような教材を検討した。

そのために、本研究では、水流モデルを使用して、電圧概念の学習を行い、乾電池・検流計・電圧計等という実際の器具を用いた教材で実験授業を行った。

意識調査の結果は、「よくわかった」、「役に立った」という満足感や達成感につながった回答も得られた。本研究の結果から、児童に対して電圧概念を教えても教材開発等の工夫という手立てを取れば、児童は電圧概念を受け入れ、ある程度理解することができることが示されたと考える。

児童の電気分野の学習への抵抗感を軽減し、児童に「科学的な見方・考え方」を育て、科学的な思考力を伸ばすためにどのようなことができるのかについても、引き続き研究していく必要がある。

#### 7. 参考文献

- 1) 高野登久：電気教育は荒廃している—電圧・抵抗・電流の規則性の重視—, 日本理科教育学会北海道支部大会発表予稿集, A-1, 2015
- 2) 藤田剛志・山崎良雄・東崎健一・松井豊・桶田智弘・

- 末永幹夫・望月宏次：附属小・中学生の電流についての理解とイメージ—小・中一貫の理科カリキュラム編成をめざして—, 千葉大学教育学部研究紀要. I, 教育科学編, 47, p 111-122, 1999
- 3) 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, 41, p 85-92, 2001
- 4) 石井俊行・八朝陸・伊東明彦：小学校理科に電圧概念を導入することの効果～電気学習の新たな試み～, 科学教育研究, 40(2), p 222-233, 2016
- 5) 伊東明彦・高橋絃子・石井俊行：水流モデルと電位測定回路を用いた中学校電気単元の指導法, 日本理科教育学会全国大会要項, 56, p 142, 2006
- 6) 小林翔兵・伊東明彦：中学校理科における電圧の概念形成に関する研究, 日本理科教育学会関東支部大会研究発表要旨集, 52, p 142, 2013
- 7) 細越淳・伊東明彦：小学生は乾電池の並列をいかに考えているか, 日本理科教育学会全国大会要項, 45, p 130, 1995