

電磁気学分野における生徒の概念理解を促す指導法の開発研究 —五感を伴った手法に着目して—

Development and Implementations of the Instructional Strategies that Help Student Understanding of Scientific Concepts in Electricity and Magnetism: Through the Use of Students' Five Senses

仲 里 和 子*・土 佐 幸 子

Kazuko NAKAZATO*, Sachiko TOSA

It is often the case that middle-school students have difficulties in understanding concepts in electricity and magnetism in science lessons. Especially in Okinawa where students are facing serious problems of having low scores in the national assessment tests, the percentage of students who have difficulties in the electricity and magnetism unit of the science curriculum is high and instructional strategies to overcome the difficulties are very much needed. In this study, instructional strategies that help student understand scientific concepts in electricity and magnetism (E&M) were developed and implemented in middle-school science. The background of the teaching of the E&M area was explored first using the government-issued documents and textbooks. Analyses of middle-school science lessons followed to reveal the types of questions that are effective for student understanding of scientific concepts. Based on these findings and the constructivism framework, an 8th grade mock lesson in electricity was developed and implemented (N=9). The results indicate the effectiveness of a) the multi-perspective for developing a science lesson, b) questions at the comprehensive level of Bloom's taxonomy, and 3) the material developed for this lesson to help students feel the electricity by using their fingers immersed in water. Further implications of the effectiveness of the use of senses in science teaching are discussed.

Key words: middle-school science, electricity and magnetism, constructivism, lesson analysis, five senses

1. 問題の所在

1.1 沖縄の子どもの学力-負の連鎖からの脱却

2007年から実施された全国学力・学習状況調査において、沖縄県の学力が最下位という結果が公表されて以降、沖縄県教育委員会は学力向上対策として「沖縄型授業づくり」を軸として、より一層授業改善に取り組んできた¹⁾。2015年には小学校の全教科の平均正答率で全国20位となったが、中学校は全国平均との差を縮めているものの依然として最下位のままである²⁾。このような結果を受けて志水³⁾⁴⁾は「学力テストの結果は、家庭の力と学校の力の掛

け算。小学校は学校の力が発揮されやすいが、中学、高校、大学になるほど家庭の力が大きく作用する。家庭の力が蓄積したものが地域の力」と指摘している。確かに、沖縄県の家庭環境は他県と比較して良いとはいえない。「絶対的貧困率」において沖縄県は、2012年に34.8%、また18歳未満の子どもがいる世帯の「子どもの貧困率」は同年で37.5%と、いずれも都道府県別で最悪で、3世帯に1世帯は貧困状態にあることが明らかになっている⁵⁾⁶⁾。その上、失業率が高く、高校進学率や大学進学率が最下位と厳しい状況に置かれている。このような家庭状況においては、どうしても日々の生活に追われ、子どもへの無関心から子どもの生活習慣も乱れがちになり、学習意欲の喪失、学力低下を招きかねない。この学

2018.6.25 受理

*沖縄県うるま市具志川東中学校

習意欲の喪失は、学力調査の正答率を低下させるだけでなく、「生きる力」に対してもネガティブに作用し、その影響は大きいと考えられている⁷⁾。そしてそのような作用が、学ぶ意欲を失わせ、進学ができない、思うような仕事に就けないという事態を招く恐れがある⁸⁾。所得が得られないと、貧困につながる可能性が高くなるため、親の世代の貧困が子どもの教育格差や次の世代の貧困にもつながる「負の連鎖」を引き起こしてしまう(図1-1)。この「負の連鎖」を断ち切るには、義務教育修了前の中学校教育において何とか手を打たなければならないと考える。そのためには、学習意欲の喪失、学力の低下の要因である「わからない」を「わかる」ようにしてあげる手立てが、厳しい状況の子どもを救い、「負の連鎖」から抜け出す方法の1つになるのではないだろうか。また、その手立ては、沖縄や貧困に置かれている子どものみならず、授業が「わからない」と悩んでいるすべての子どもにとって、よりよい手立てになるのではないだろうか。

そこで、「わからない」という場面が、どのような状況であるかを把握するために、どの学習内容が「わからない」のか、また、「わからないとき」に生徒はどうするかを全国学力・学習状況調査のデータ²⁾を基に見ていく。

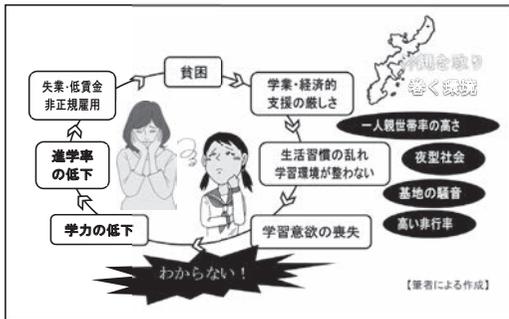
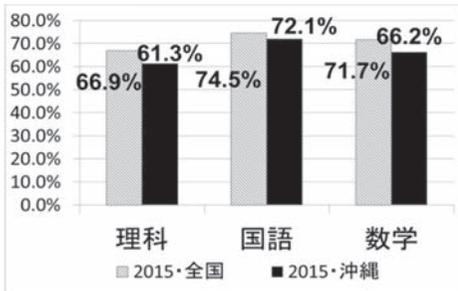


図1-1 沖縄県の貧困と学力の負の連鎖



【国立政策研究所教育課程研究センター (2015) 平成27年度全国学力・学習状況調査】

図1-2 授業の内容はよくわかりますか(中学校)

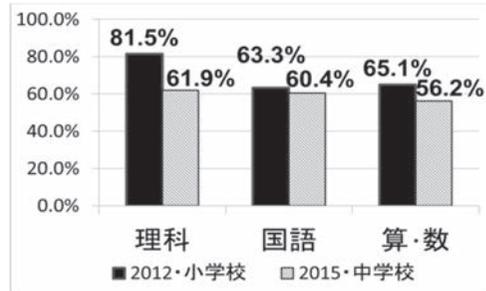


【国立政策研究所教育課程研究センター (2015) 平成27年度全国学力・学習状況調査】

図1-3 授業の内容はよくわかりますか(小中・全国)

1.2 全国学力・学習状況調査の結果から

図1-2は「授業の内容はよくわかりますか」の設問に対して、「当てはまる」もしくは「どちらかといえば当てはまる」と答えた生徒(2015・中学校3年生)の割合を、全国と沖縄とで比較し、教科別に表したものである²⁾。その中で、全国よりも沖縄が「わかる」と感じている生徒の割合が3教科とも低くなっており、学力調査の得点の低さと呼応していることが読み取れる。また、教科間の比較では、理科・国語・数学の三教科の中で、理科は「わかる」という割合が最も低い。これは教科の特性ではないかと考え、小学校との比較を見てみると、同様の質問を全国の同じ児童(2012年・小学校6年生)に行った結果(図1-3)では、どの教科も小学校より中学校のほうが「わかる」という割合が減少しているが、特に理科は小中との差が19.1%と大きく、約5人に1人の生徒が中学校で理科がわからなくなっている²⁾。同様に、理科好きに関しても中学校段階で激減している(図1-4)。これらの結果について小林⁹⁾は「中学校では、抽象的な概念の理解も必要となる。そこで知識注入型の授業に陥ると、自分の考えを実験で確かめながら探究する理科本来の知的な楽しさが失われてしまう」と指摘している。確かに、

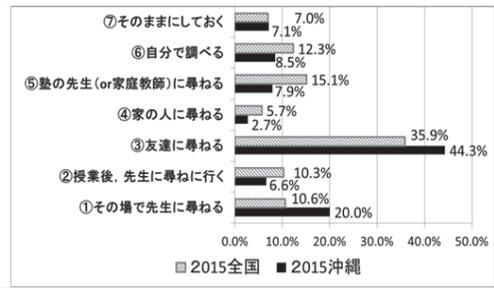


【国立政策研究所教育課程研究センター (2015) 平成27年度全国学力・学習状況調査】

図1-4 教科は好きですか(小中・全国)

小学校の理科が花や虫、太陽といった実物を観察したり、リトマス紙の反応や豆電球が光るかといった実際に確かめるといった学習活動が多いのに比べて、中学校になると粒子や磁界など目に見えない抽象的な概念を理解することが増えてくる。実際に目で見たり、触れたりすることによって理解することよりも、目に見えない概念を理解することは難しく、「イメージしづらい」ことが「わからない」につながることもあるのではないと思われる。また、中学校においては、高校受験も控え、教師が一方的に学習内容を教え込み、子どもが受け身になってしまうような授業スタイルもみられ、それによって得た学習内容は、「わかる」というよりも「覚える」ということになり、中学校において小学校のときよりもたくさんの学習内容を覚えたとしても、このことが理解したこと、つまり「わかった」ことにはならないのではないかと考えられる。

続いて、「授業の中でわからないことがあったら、どうすることが多いですか」という質問に対し、全国と沖縄の回答を比較したところ、「①その場で先生に尋ねると」答えた子どもの割合が、全国では10.6%に対して、沖縄では20.0%と高くなっており、それに反して「②授業が終わってから先生に尋ねに行く」、「④家の人に尋ねる」、「⑤学習塾の先生に尋ねる」、「⑥自分で調べる」と答えた子どもはどれも全国と比べて低くなっている²⁾ (図1-5)。この結果から、1番回答の多かった「③友達に尋ねる」については、尋ねたときが授業中なのか授業後なのかはこのデータから読み取ることはできないが、全国と



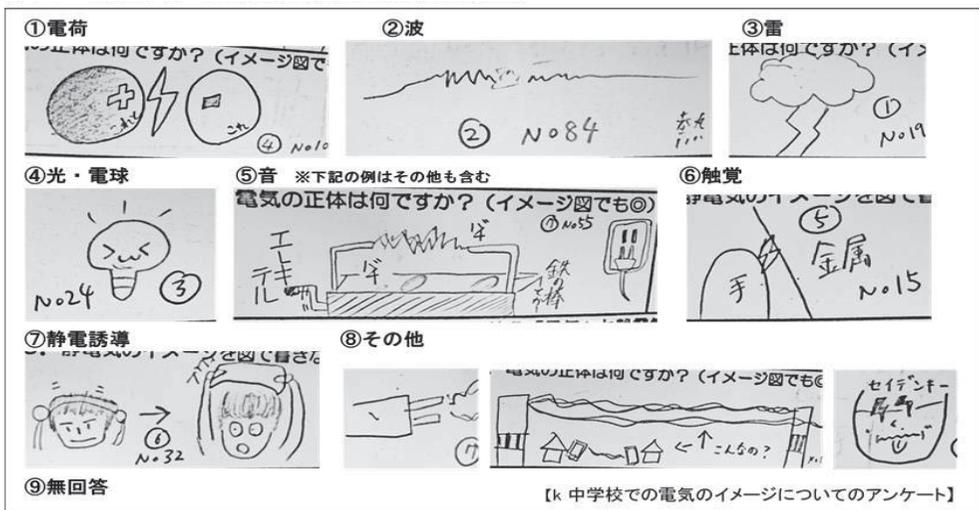
【国立政策研究所教育課程研究センター（2015）
平成27年度全国学力・学習状況調査】

図1-5 授業中、わからないとき、どうすることが多いか (中学校)

比較して沖縄の子どもは、わからないときに、自分で調べたり、塾の先生や家の人に尋ねて解決しようとするよりも、友達や先生に尋ねて解決しようとする傾向が見られることがわかる。このことから、沖縄のように正答率や授業がわかると答える割合が低い傾向にある集団においては、授業中の先生や友達との関わりが、生徒にとって「わからない」問題を解決するためにより重要であることがわかる。授業中の関わりの重要性は、正答率や授業がわかると答える割合が低い傾向にある中学校の理科において、特に、注目すべき点ではないかと考えられる。

1.3 電気のイメージ (概念) 調査の結果から

電磁気分野の抽象的な概念を、子どもはどのように捉えているのだろうか。小学校またはそれ以前から「電気」という言葉は使われ、そして「電気」は私達の生活の中で欠かせない物になっている。その「電気」について、子どもはどのようにイメージし



【k 中学校での電気のイメージについてのアンケート】

図1-6 「電気」のイメージの分類 (実際の子どもの記入の例より)

ているのかについて、沖縄県のある中学校（以後、K中学校と記す）の電磁気単元学習前の2年生122名を対象にして、アンケートを行った（2014）。そしてそのイメージを言葉や図で自由に記述させ、それを8つに分類し、それぞれの分類の例を図1-6に示す。無回答と合わせて図1-6の①～⑨に分けて集計を行うことによって、子どもが持っている「電気」のイメージについて調べた。⑤音の分類においては、「パチパチ」など言葉だけの表現と、イメージ図に音を付け加えたものの2パターンがあったため、その両方に集計を加えた。

図1-7は「電気の正体何ですか?」という問いに対して、子どもが答えたイメージを図1-6を基に分類し、その割合を表した結果である。

この結果の中で、一番回答が多かったのは、雷のイメージであった。これは、普段使っている導線の中を流れる動電気は見えないけれども、放電によって現れた雷がその電気の正体ではないかというイメージを子どもは持っていると考えられる。次に多かった答えがその他と無回答で、その他の中では先ほどの雷のような静電気ではなく、コンセントや電線といった動電気をイメージしている答えもあった。無回答が21.8%と約5分の1以上になったのは、やはり、目に見えない電気の正体を聞かれてもイメージできなかったのではないかと考えられる。そのイメージが具体的に理解にどのような影響を与えているかを調べるために、同じ子ども（122名）において、電磁気分野学習後の理科の定期テスト（100点満点中、平均点が58.3点）の得点が、高い上位層（70点以上の40名）と平均前後の中間層（69～51点の41名）と、低い下位層（50点以下の41名）の3つに分け、図1-7の「電気の正体何ですか?」のイメージがテストの得点と関係するののかについて調べた（図1-8）。

その結果から、テストの得点とイメージが関係し

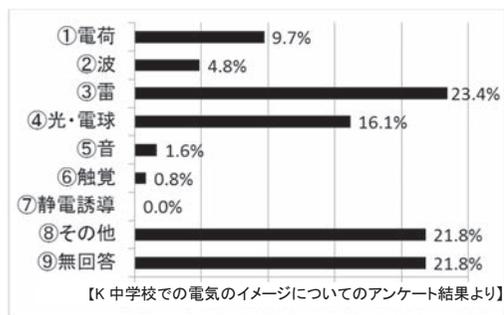


図1-7 「電気の正体は何ですか?」

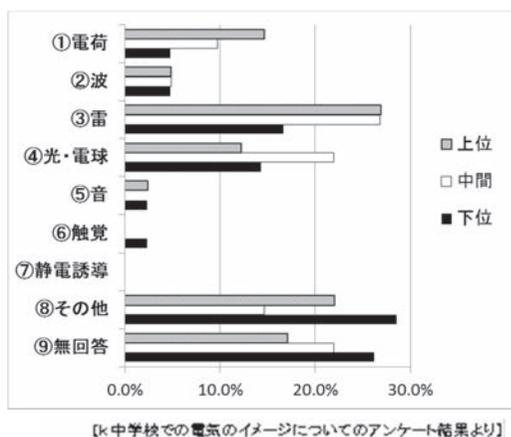


図1-8 テストの得点(上位・中間・下位)による比較(電気の正体のイメージ)

ていると思われる点が2つあった。まず1つ目は、無回答が多いのは、テストの得点が低い下位層で、無回答が少ないのは、テストの得点が高い上位層であるということである。イメージができないということが理解するのが難しいということがテストの得点に結びついているのではないかと考えられる。2つ目に、電荷を用いたイメージを持っている子どもが多いのは、上位層で、逆に少ないのは下位層であるということである。図1-6で①電荷の例にあるように、このイメージは具体的というよりも抽象的であり、電気を粒子を用いてイメージしている。このことが科学的概念を形成するのに役に立っており、テストの得点にも結びついているのではないかと考えられる。

次に「静電気のイメージを書きなさい」という問いに対しての子どもの回答を、同様に図1-6のイメージの分類ごとに集計した（図1-9）。先ほどの「電気の正体」の回答と比べて、無回答の割合は少なくなっていることから、静電気は電気の正体よりもイ

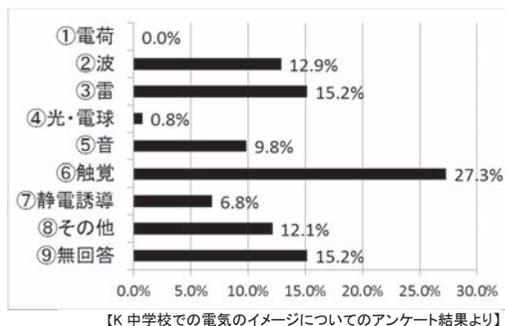


図1-9 「静電気のイメージを書きなさい」

メージしやすいことが結果から読み取れる。また、一番多かった回答が、静電気によって手にしびれを感じるなどの触覚で表したものであり、目で見えるような光や雷、静電誘導や耳で聞くような音よりも触覚が子どものイメージに残りやすいということがわかる。このことから、静電気現象のように体験を通して得たイメージは、子どもにとって表現しやすいものであると考えられる。そして、その体験を頭に残してイメージに結びつけるためには、雷や光・電球、静電誘導で髪の毛がたつなどの視覚、音などの聴覚、しびれなどの触覚など子どもが自らの五感を通して、情報を得ることが大切であると考えられる。

電気についての子どものイメージ(概念)調査の結果から、電磁気学分野のテストの得点の低い子どもを電磁気学分野の学習内容が「わからない」集団と考え、「わからない」子どもほど「イメージを持つことができない」ことが考えられる。反対に、電磁気分野のテストの得点が高い子どもを電磁気学分野の学習内容が「わかる」集団と考え、「わかる」子どもほど、イメージを描くことができ、そのイメージの回答の中でも電荷や粒子といった抽象的な概念をイメージに用いることができるのではないかと考えられる。また、「電気の正体」よりも体験に基づいた「静電気」のほうがイメージしやすく、なぜなら、静電気は子どもにとって自らの五感によって体験した事象であり、このような体験的な記憶は頭に残りやすいと考えられる。そして、その五感の中でも、特に触覚がイメージとして残りやすいということが結果として表れている。これらのことから、イメージしづらい電磁気学分野においては、自らの五感を使って体験的な記憶が残るような活動を授業に取り入れることが、電磁気学分野の抽象的な概念の理解を助けるアプローチとして有効的であることが予想される。

1.4 研究の課題と目的

これまで、全国学力・学習状況調査やアンケートの結果から、沖縄の子どもの「わからない」がどのような特徴をもつか述べてきた。その中で、授業内容が「わかる」という子どもの割合は、小学校よりも中学校が、国・数・理の3教科の中では最も理科が低いことがわかった。電磁気学分野の科学的概念の理解や、今まで行われてきたカリキュラムや授業において多くの課題があるのではないかと考えられる。そこで、本研究では、中学校の理科授業の電磁気学単元に焦点を絞り、授業において、子どもにど

のような構成で、どのような手立て(指導)を行えば「わかる」ようになるのかを、教科書分析や授業分析を通して明らかにしていくことを研究の目的の一つとする。そして、電磁気単元の効果的な指導法(カリキュラム構成・授業実践)を開発し、その効果を検証していくことをもう一つの目的とする。また、後者の目的の、効果的な指導法の開発においては、『構成主義に基づく探究的指導法』に基づいた授業研究を進めていきたいと考えている。

1.5 研究の仮説と重要性

この研究の大きな目的である「電磁気学分野の概念理解を促す指導法の開発」の方向性として、今まで調べた中で、電磁気学分野の抽象的な概念をイメージしやすくさせることが、子どもの概念理解を助けるの有効的ではないかということを書いてきた。そして、子どもにイメージしやすくさせるアプローチとして、1.3の子どものイメージ調査の結果から、子ども自身の五感を使って体験的な記憶が残るような活動を授業に取り入れることが、電磁気学分野の抽象的な概念の理解を助けるアプローチとして有効ではないだろうか考えた。そこで本研究の仮説を以下のように立てる。

「子どもの五感を伴う手法を授業に取り入れることによって、抽象的な電磁気学分野の概念をイメージすることを助け、科学的な概念の理解を促すことができる」

上記の仮説を研究の柱として、今まで研究されてきた指導法や電磁気学単元における概念理解の困難点などの先行研究も参考にしながら、よりよい子どもの学びを提供するような授業開発を目指して、研究に取り組んでいきたい。

そして、この研究を行うことによって、中学校理科が「わからない」という子どもが少しでも減っていき、1.1で述べたような「負の連鎖」を食い止めることができれば、下記の①～④のように、子どもの未来に前向きな効果を与えることが期待されるのではないかと考えられる。

- ①電磁気学分野のような理解が困難といわれるような学習内容を「わかる」ようになることが、生徒の自信につながる。
- ②電磁気学分野を含めた理科に自信を持つことによって、生徒に進学意欲が生まれる、進学先の幅を広げることにつながる。
- ③進学先の幅が広がることによって、理系の職業も

含めて職業の選択肢が広がり、より高収入の仕事を得ることができる。

- ④より高収入の仕事を持つことによって、生活を豊かにし、幸せな家庭を築くことができる。

上記のことは大げさかもしれないが、パソコンや携帯電話に代表されるように電気機器の利用が不可欠な現代社会を生きていく上で、衣食住においても、コミュニケーションや交通手段においても、電磁気学分野の知識のニーズが高いということは、大げさではない事実ではないだろうか。このニーズの高い電磁気学分野について「わかる」という自信を持つことは、人から必要とされるような職業を得るチャンスにつながる。そして、そのチャンスを義務教育が修了する前に与えること、つまり、中学校理科の電磁気学単元において「わかる」ような授業支援を行うことが、厳しい状況に置かれている沖縄の子ども達だけでなく、日本全国の貧困や学習の理解に苦しむ子ども達を救うヒントになるのではないだろうか。その実践を担う中学校理科教師の役割は、子どもの将来をよりよくするための存在として重要であると考える。

2. 電磁気分野の概念理解における困難点

2.1 電磁気概念がイメージしづらい

電気は目に見えない。それが電気の理解を困難にしている¹⁰⁾。そのことが、子どもや教師の苦手意識の原因の1つとなっていると考えられる。電気と同様に目に見えない「力」に関しても、概念の理解が困難であるが、その違いについて赤澤¹¹⁾は、力学の分野では日常生活と物理法則との食い違いによる誤概念が原因となっているのに対して、電磁気分野では日常経験からの誤概念ではなく、むしろ電気に関するイメージ(概念)が少なく、現象や公式の記憶が主体となってしまっていることが原因ではないだろうかと指摘している。その中でよく使われている電流・電圧の概念イメージについて「水流」「水の落差」のモデル¹²⁾が、生徒の混乱を招く問題として、①水をくみ上げる起電力の問題、②乾電池等を使用していくと電圧が低下する問題、③抵抗体へのエネルギー授与の問題の3点を挙げ、その対応策として、ドラスティック(やり方が抜本的で、思い切った)な実験を取り入れることと、粒子モデルの使用が有効ではないかと述べている。ドラスティックな実験の例として赤澤は、大容量のコンデンサーを用いて大電流を作り出し、電流による磁場の存在を鉄粉の動きによってはっきりと見せることで、電流同士の

相互作用や、電流と磁石の相互作用を明瞭に見せることができると提案している。その点から、本研究でも、電磁気に対するイメージを助けるような印象に残るドラスティックな実験や、粒子モデルの活用を授業において取り入れることも、子どもが「わかる」ようになるための手段として検討していきたい。

2.2 小中学校における電圧の取り扱い

電圧は小学校において学習しない。これは、昭和44年(1969)の学習指導要領改訂の時からであるが、そのため「電圧のはたらき」を「電流のはたらき」と勘違いしてしまうことが多いことが指摘されている¹³⁾。例えば、電池1個よりも電池2個のほうがたくさんの電流が流れるため、1個から流れる電流はいつも一定であると勘違いしてしまう。また、門馬¹⁴⁾らの調査では、電流に関する誤概念はその多くが中学校の現行学習で改善されているのに対し、豆電球2個の並列つなぎに関するものの理解が非常に悪く、乾電池1個と豆電球1個をつないだときよりも、豆電球2個の並列つなぎは暗くなると答えた生徒が多くいることが明らかになっており、これを受けて沖花ら¹⁵⁾は現行の中学校電気分野の学習では基本的な理解ができていないと示唆し、その方策として中学校では学習しない電位概念を導入した学習教材を提案している。「電位」については中学校において、昭和22年～38年までは電圧が「電位の差」であることが、教科書にも表れていた。しかし、それ以降は中学校の教科書から消え、高校物理に電位の概念は移行した。そのため、多く使われている水流モデルで電圧の概念を理解しようとするときに、並列つなぎの場合、水の量が減っているイメージでとらえ、電圧も並列つなぎで減ると考えてしまうような誤概念が出てきてしまうことが指摘されており、このことが、先に述べた乾電池や豆電球を並列につないだときの子どもの誤概念につながっているのではないと思われる。このように中学校において、電圧の概念を「電位の差」として捉えることができないことが、オームの法則を用いて回路の中の電流・電圧・抵抗を求めようとするときに困難を要する。そのことが、電磁気の学習が「わからない」という原因の1つとなるのではないかと考える。その解決策としては、電圧の概念形成も大事であるがその前に「電流」の概念をはっきりと理解させることと、電圧を「電位の差」について捉えることができるように、中学校で「電位」というイメージを持たせることが「わかる」ことにつながる1つではないかと考える。そのためには、電流と電圧の

イメージを、図や絵や言葉を用いて子どもに表現させる活動を授業に取り入れることやそれがイメージできるようにするための教師の支援が必要ではないだろうか。

2.3 女子による電磁気分野の意識の問題

近年、理数系科目の男女差（ジェンダー差）に関する研究が数多く行われている。その研究から、理数系科目における学力と意欲のジェンダー差、算数・数学や理科に対する態度において、男子に比べて女子はネガティブな傾向を示すことが指摘されてきた¹⁶⁾。また、河野ら¹⁷⁾の調査結果より、「電気や磁石のはたらき」（物理）への関心は、学校による差より男女差の方が目立ち、公立校・入試校ともに「とてもある」と回答した男子が25%前後なのに対し、女子は公立校・入試校ともに6～7%にすぎず、男女差に大きな開きがあることがわかった。そして、その中でも特に理科への関心の低い割合の高い公立校の女子は、理科を好きではないのだが、「授業」や「先生」による影響を通して「理科が好き」とする子どもが多く、実験にも何らかの参加をしていて、学習全般から離脱しているわけではなく、学校による支援によって、理科への積極的な意識や態度を引き出せる可能性が高いことが示唆されている。特に、（電磁気分野などの）物理領域への関心を高めることができるような工夫や、実験で中心的な役割を与えるなど、それらを通して「将来の仕事」との関係を見出す支援も期待されると述べている。以上のことから、探究的指導法に基づいた授業展開において、特に社会的構成主義の方向性からのアプローチは、理科にネガティブなイメージを持つ女子に対して、「授業」や「先生」の影響が積極的な意識や態度を引き出せる可能性があるという点でも、有効的ではないかと考えられる。

3. 研究内容

研究内容の構想（図3-1）としては、中核となる授業実践において、電磁気学の分野における子どもの学びを実現するために、まず、中学校理科における電磁気学分野の学習内容を把握のため、「学習指導要領と教科書分析」を行う。次にこの学習内容を子どもはどの順番で学んだほうが概念を構築しやすいのかを検討するために「カリキュラム開発」を行う。続いて、実際の電磁気学の理科授業においてどのような発問や、授業構成が効果的かを知るために「授業分析」を行う。そして、授業において子どもの概念理解に効果的な「教材開発」を行う。その4

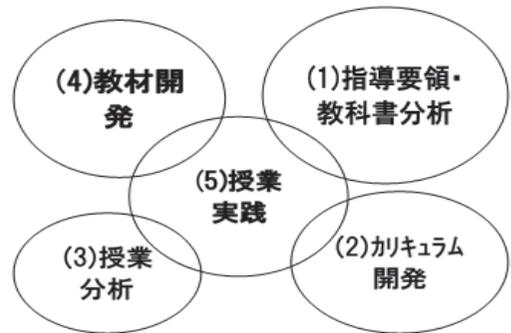


図3-1 研究内容の構想

つの研究を通して授業の指導案を作成し、実際に授業実践を行って、その教材や授業構成、授業中の教師の支援の効果や課題を検証していきたいと考えている。

3.1 学習指導要領・教科書分析

3.1.1 調査の目的と調査対象

子どもの「わからない」が、特に多く存在しているのが中学校理科の電磁気分野であるところから、電磁気分野において、今まで行われてきたカリキュラムや授業に多くの課題があるのではないかと考えられる。そこで、日本におけるカリキュラムの基となる「学習指導要領」の変遷と、その内容を受けて作成される教科書の構成を分析することによって、どのような課題があるのか明らかになると考えられる。それらの知見を基に、どうすれば子どもの概念理解を促すのに効果的であるかについて、その方策を提案することを教科書分析の目的とする。

教科書分析の対象は、日本国内で使用されている全部で5社の中学校理科の教科書である。その5社の教科書会社をA社、B社、C社、D社、E社と表す。また、その教科書の発行年度は、昭和44年（1969）の学習指導要領の改訂を受けて作成された昭和47年度版の教科書から、約10年ごとの学習指導要領の改訂と約4年ごとの教科書の更新を経て、最も新しい平成28年度版（2016）の教科書までの13の版を、調査の対象とする。

また、分析においては、時代による全体的な学習指導要領改訂のポイントとそれを受けた電磁気単元の内容の移り変わりを、昭和34年（1959）の学習指導要領改訂から、現在、実施されている平成20年（2008）の改訂まで、おおまかに「学習内容の変遷」としてその改訂ごとに表にまとめる。次に、この論文の「問題の所在」において述べた内容を受け、①静電気、②電子・陰極線、③電流・電圧のモデル、

④カリキュラム構成（学習過程）の4点について着目して、その内容の取り扱いを、教科書の改訂・更新ごとに表にまとめる。そして、その結果を分析し、考察する。

3.1.2 分析の結果

①静電気の取り扱いの結果から

・E社のみS62年度より、静電気の扱いがあるが、他社の教科書は力のはたらきの単元で、はなれていてもはたらく力の例として、正の電気、負の電気として静電気の扱いがある（例のみ）。しかし、H5年度からは力のはたらきとして静電気の実験が登場している。

・静電気が完全に教科書の中の電気の単元として扱われたのはH14年度で、H10年度に学習指導要領に明記されたことを受けている。H20年度には「静電気と電流は関係があることを見いだすこと」が学習指導要領に明記され、次に続く「電子」「陰極線」との関連が重要視された。

②電子・陰極線の内容の結果から

・H14年度版に静電気は登場したのに反して、電子・陰極線は姿を消した。

・H24年度以降より、両方を扱うようになった。

（S56年～H9年版と同じ内容）

・S52年の改訂とH10年改訂で授業時数の減少から内容の削減が見られる。

・「電子」と化学分野の「イオン」と内容の出現のサイクルは似ており、原子の構造を扱っていた時期は同じ単元で電子配置の内容も扱っていた。

③電流・電圧におけるモデルについての結果から

・H5年版より、どの教科書会社も電流・電圧の説明においてモデルを用いるようになった。これは、この時に教科書のサイズの変化があったことが要因の1つであり、より多くの図や写真を全体的に取り入れるようになったと考えられる。

・電流の流れ方を川の流れ、電圧を水の落差とする「水流モデル」で表しているのが主であるが、B社では、唯一「粒子（ビー球）の流れモデル」で表しており、電圧・電流だけでなく、抵抗においても用いられている。また、H5以前で「電子=粒子」として真空放電の説明に用いられている。

④カリキュラム構成（学習過程）の結果から

・H1年度の学習指導要領改訂を受けたH9年度版の教科書までは、回路を先に学習するのが主流。

・H14年度から、2年生に電磁気単元をまとまって学習するようになった。また、おもしろ実験の普及の影響もあり、「静電気」が電気の単元に導入され

た。子どもは興味をもって実験に意欲的に取り組むが、その後の回路の学習には結びつきが少ないという課題が生まれた。

・H20年度の学習指導要領の改訂（H24年度実施）はH1年度のとくと同じような内容に戻ったため、多くの教科書会社がH9年度版の教科書と同じように回路を先に学習する配列に戻った。

・静電気の学習が孤立してしまい、電気の内容と結びつかない。H24年度からは、電子の存在を学習することによって、静電気を見る目を広げ、電子という粒子を用いて電流を捉えることができるような記述になってきた。そこでわかるゆえにつまづくのが電子の流れと電流の流れが違うことである。その混乱をさけるためか、H24年の改訂の際は、多くの教科書会社が科学史とは反し、「静電気・電子」を先に学習せず、電流回路から学習するという流れになっている。

3.1.3 考察

<トピックの提示の順序に関して>

B社においては「静電気・電子」を電磁気分野の最初に習うことによって、その後の「回路」の学習で用いる「粒子モデル」を効果的に用いるように工夫している。他の教科書会社においては「回路」を電磁気分野の最初に習うため、より電気の「流れ」に着目させるために「水流モデル」を取り入れてよりよい理解を図るような手立てがなされている。

<モデルの扱いに関して>

中学校理科の電磁気学分野の学習内容について、改訂ごとに様々な内容の増減や扱い方の変容（力学やエネルギーの単元を含む等）はあるが、変わらないのが「電流・電圧・抵抗」の概念であり、それが、中学校理科における電磁気学分野の中核概念ではないかと考えられる。「電流・電圧・抵抗」のそれぞれの概念理解とそれらの関係の概念理解の両方が必要であり、その概念理解を促すのに有効的であるとして、モデルが使われている。その中で、B社においては、抵抗の内容を扱う際にも電流・電圧と同様に「粒子モデル」が用いられている他の教科書会社は抵抗の扱う際にモデルを用いてはなかった。B社の粒子モデルのように、電流・電圧・抵抗の一貫したモデルは、それぞれの概念だけでなく、それらの関係の概念ともつながりやすいため、概念形成がまとまりやすく、また電流の正体は粒子であることも捉えることができるため、電磁気分野の抽象的な概念の理解に役立つのではないかと思われる。また、先に述べたK中学校でのイメージ調査においても、

電気の正体を粒子（電荷）として捉えている子どものテストの得点率が高いという結果が現れていることから、粒子モデルを使った概念理解は有効的ではないかと考えられる。

＜電流の正体に関して＞

回路を先に習うことについては、小学校からの学習と系統性があるものだが、オームの法則等つまづいてしまうと、その後の内容もマイナスイメージのまま学習を続ける恐れがある。先に学習する内容についてはイメージしやすく、子どもの興味に沿ったものがその後の学習にプラスに影響するため、静電気の内容は有効的であるが、次の内容につなげるためにも、電流の正体を明らかにし、電子の流れと電流の向きがちがいを明確に教え、電子（粒子）の概念を抵抗などの今後の学習に活かせるように支援していけたらと考える。

3.2 カリキュラム開発

3.2.1 概念構造の分析

中学校理科の電磁気学において、どの順序で概念を積み上げていくのがよいかを検討するために、まず学習においてキーワードになる科学的概念を分類・整理して、電磁気学分野に含まれる概念構造を図式化した。さらに、2.2で引用した先行研究で明らかになったことを考慮した上で、概念提示の配列を考え、カリキュラム開発（教材構成）の案を作成した（図3-2）。矢印は配列の順序を示す。

図3-2に示したように静電気から始まり、電磁気学分野の概念を積み上げていくカリキュラムを検討していく中で、その積み上げが順番通りの直線的にならずに、3つの山（カテゴリー）に分かれた。1つ目の山を「静電気と電子」、2つ目の山を「回路（動電気）」、3つ目の山を「電流と磁界」として、それぞれ、身近なもの・小学校からのつながりがあるものを底辺として積み上げていくと、3つの別々の山をつなぐ横のラインで関係性が見られた。例えば、静電気における電荷の引力や斥力は、磁石の極による引力や斥力などの磁力の概念と似ており、並列構造を示す。また、電子の流れが電流と関係し、電流の向きや量を定義するためには、電磁誘導・誘導電流の発見が不可欠であるというような概念同士の横のつながりである。

最初に学習する内容については、教科書分析でも提案したように「静電気」の内容が、子どもにとって身近であることから効果的だと考えた。

また、積み上げていくほどに見えない抽象的な概念が登場し、その抽象的な概念を踏まえた上で、私

達が日常「家庭電気」として利用している「電力・電力量」「交流」等の概念の理解ができるのではないかと考えた。

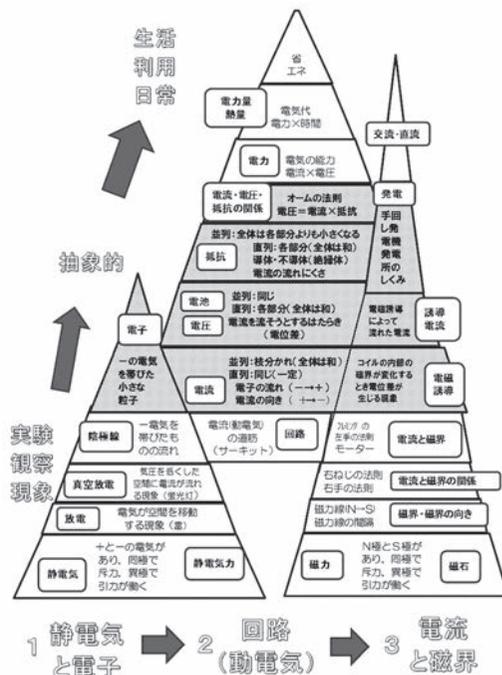


図3-2 カリキュラム開発の案（教材構成）

3.2.2 改善策

(1) 抽象的

電磁気学の概念を習得する上で、理解しなければならない抽象的な概念を、網掛けで表示した。この抽象的な概念が理解できないことが、苦手意識を生み出す要因にもなるため、この抽象的な概念の理解のためには、目に見えないが故に「可視化」と「モデル化」の2つが理解を促すのに重要であると考えられる。教科書分析の結果でもその概念の習得の工夫として「水流モデル」や「粒子モデル」等が用いられていた。しかし、「可視化」や「モデル化」において用いられている表現方法はあくまで考え方の1つであり、どれが正しいというものがなく、どの方法を用いるのかは、子どもの理解の状況によっても異なるのではないかと考えられる。電磁気学の分野のこの網掛けの概念を授業で取り扱う場合において、教師は、その概念を導き出せるように、授業で「可視化」や「モデル化」のレポートリーを多く持つことが、子どもの抽象的な概念を理解するために大切である。その中でも研究のテーマにも掲げている「五

感を伴った」感覚的に見えない現象を明らかにする手法は有効でないかと考えられる。

(2) 教材提示の配列順序

教科書分析で述べた中学校理科の電磁気学分野の学習内容について、中核となるのが「電流・電圧・抵抗」の概念であり、その概念を理解しやすいようにすることが、教材提示の配列順序を考える際に大切である。今回の研究では、静電気→電子→(粒子モデル)→回路→「電流」→「電圧」→「抵抗」というような流れで学習することにより、抽象的な概念である「電流」を、電子を先に学習することによって使用が可能になる「粒子モデル」を活かして、そのモデルを断続的に1つの考え方の型(方法)として学習していく流れが、より子どもの理解を促せるのではないかと考え、図3-1の矢印で示されている流れに沿った学習の習得が良いのではと考えた。

また、「電流・電圧・抵抗」のそれぞれの概念理解とそれらの関係の概念理解といった図3-1の縦のつながりだけでなく、横のつながりにも着目して関連性を子どもに示すとより深い理解につながるのではないと思われる。横の結びつきを意識した学習の例としては、「電子」と「電流・電圧」と「電磁誘導」において、科学史における概念形成の流れを授業に取り入れることも、子どもの理解を深め、広げることができるのではないと思われる。

3.3 授業分析

3.3.1 調査対象および時期

本研究では、電磁気単元の授業において、子どもにどのような構成で、どのような手立て(指導)を行えば「わかる」ようになるのかを、研究の目的の一つとしている。そこで、授業中のどのような教師の手立てが子どもに有効的かを探るために、筆者が2014年にある中学校(K中学校)で実践した授業A(付録Ⅱ)、2015年に大学院で実践した授業B(付録Ⅲ)、1999年に行われたTIMSS理科授業ビデオ研究において収録されたビデオの理科授業記録2)の中から、無作為に選んだ電磁気2つの授業CDと、化学の2つの授業EFと、生物の授業GHの計8つ(表3-1)の授業分析を行った。EFGHにおける授業分析は、太田・土佐¹⁸⁾による先行研究を参考にしている。

表3-1 授業分析を行った授業の概要

授業	対象	実施年	内容
A 電磁気	中2	2014	静電気(と電子・ストローとティッシュの静電誘導実験)
B 電磁気	大学生 (中2)	2015	電圧の概念(電池のつなぎ方を変えて調べる実験)
C 電磁気	中2	1999	放電現象(クルックス管・陰極線の演示実験)
D 電磁気	中2	1999	放電現象(クルックス管・陰極線の演示実験)
E 化学	中2	1999	化学変化 化学反応と光・熱(鉄+硫黄の化合実験)
F 化学	中2	1999	実験技能の確認と分解(炭酸水素ナトリウムの実験)
G 生物	中2	1999	動物 血液と排出系のはたらき(模型による演示実験)
H 生物	中2	1999	消化・だ液のはたらき(デンプンを糖に分解する実験)

3.3.2 研究方法

まず、発問分析の調査においては、教師の発問を、ブルームのタクソノミーの認知的領域を用いて①知識、②理解、③応用の3つのカテゴリーに分類し、その発問数を示した。次に、太田・土佐¹⁸⁾によって作成された「子どもの理解を促すような教師の働きかけを測るためのルーブリック」を用いて、A～Hの8つの授業をその流れごとに場面分けし、その場面がない場合は0、場面があるが教師の一方的な進行の場合は1、生徒とのやり取りはあるが教師の言葉での進行の場合は2、生徒の言葉で進行している場合は3と、それぞれの場面ごとの評価を行った。その2つから効果的な授業について考察した。

3.3.3 結果

表3-2 ブルームのタクソノミーの発問分析の結果

	授業者	筆者		TIMSS									
		電磁気学				化学				生物			
		授業	A	B	C	D	E	F	G	H			
発問レベル	3(応用)	0	5	7	0	2	1	0	1				
	2(理解)	5	10	6	5	6	2	1	3				
	1(知識)	19	4	20	2	30	55	31	23				

<発問分析の結果より分かったこと>

電磁気学の分野は化学・生物よりも発問の数が少ない。この発問の数のちがいは主に知識レベルで表れており、化学・生物分野の情報量の多さがここに表れていると言える。しかし、理解・応用レベルにいくに従い、電磁気分野は生徒に理解・応用を求める発問が多くなるという傾向が見られる。

表3-3 子どもの理解を促すような教師の働きかけを測るためのルーブリックを用いた授業評価

探究的指導法に基づく授業場面		電磁気				化学		生物	
		A	B	C	D	E	F	G	H
導入	① 既習事項	2	1	2	1	2	2	1	0
	② つなぎ	0	2	1	1	0	1	0	0
	③ 課題提示	1	0	1	2	0	1	0	1
	④ 仮説	0	3	1	0	0	0	0	0
	⑤ 実験概要	0	1	2	0	0	0	0	0
	⑥ 予想	0	3	3	0	0	0	0	0
展開	⑦ 実験方法	1	1	2	1	1	1	1	1
	⑧ 実験中	1	2	2	2	3	1	1	2
まとめ	⑨ 概念抽象化	3	2	2	2	3	1	0	1
	⑩ 概念一般化	1	2	1	1	0	0	0	0
合計		9	17	17	10	9	7	3	7

＜ルーブリックの結果より分かったこと＞

合計の数が高いほど、生徒の探究を促し、克つ、生徒の言葉を活かした授業と評価すると、その合計の数はADよりもBCのほうが高くなっている。特に導入での④⑤⑥の場面の評価の数が影響していることから、仮説や予想を立て、実験観察の意義を理解することが、生徒の言葉を引き出していると考えられることができる。

3.3.4 考察

＜発問分析の結果より＞

知識レベルの発問が多い化学・生物よりも、高いレベルの発問が増える電磁気分野は、単純に答えが出せない分、生徒にとってわからない難しいと感じてしまう傾向が 強くなるのではないかと考えられる。

＜ルーブリックの結果より＞

現象が見えづらい電磁気分野においては特に、仮説や予想、実験の意義を理解を促すことが、抽象的な電磁気分野の内容と実体験に基づいた生徒の思考との距離を縮め、生徒の言葉を引き出せるのではないかと考えられる。

＜両方の結果より＞

特に授業A, D, Gのような発問レベルが低い授業ほど、授業の構造が薄く、教師主導で、生徒とのやり取りが少ないため評価が低くなっていることが明らかになった。また、電磁気と化学・生物の比較においては、事象が表しにくい抽象的な電磁気の方が、高いレベルの発問に達していると考えられる。今までの研究より、苦手・嫌いというイメージの強い電磁気学の分野だが、その反面、発問のレベルが

高く、より深い思考を促しているということがわかった。その思考が生徒にとって興味・関心を抱き「探究したい」と思うようになるためには、生徒が主体的に学ぶための軸となる課題設定や仮説を生徒自身の言葉で表すことのできるような教師の働きかけが重要であると考えられる。そして、そのための手立てとして、生徒の経験を活かし、五感を刺激することが、より多くの生徒の言葉を引き出ししながら、抽象的な概念の習得へ導く指導法として効果的ではないかと考えている。

これらを踏まえた上で、次の教材開発および授業づくりを行っていく。

3.4 教材開発と授業実践

3.4.1 ホワイトボードの活用（視覚化）

(1) ねらいとした科学的概念

見えない電圧の様子イメージさせる。また、そのイメージを共有する。

(2) 教材

ホワイトボード（4つ切りサイズ）を半分にして、あらかじめ油性マジックで回路の枠を描き、その上から、プラスチックボードで電池の形に切って貼った。また、裏面にマグネットシートを貼り、黒板に貼って書いた図を共有できるようにした。

(3) 実践

2015年6月に新潟大学教育学部にて、理科教育コースの大学生1名と大学院3名の計4名を対象として行った模擬授業で教材の実践を行った。

(4) 結果（授業での反応）および考察

電圧のイメージを図3-3のようにつまり具合（密度）で表現して描いたり、図3-4のように矢印で表していた。回路の中の電圧をイメージして書いてみようというときに戸惑いが生じ、書くのに手が止まった様子が見られ、電圧のイメージを書くのは困難

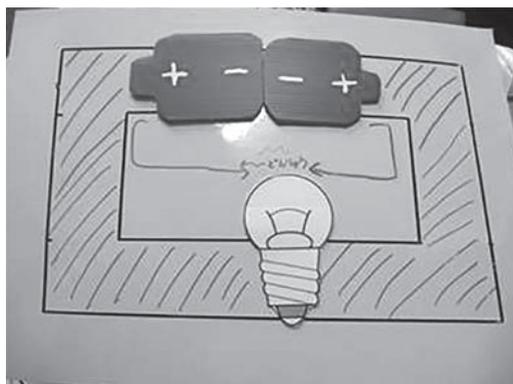


図3-3 ホワイトボード（電池2個の時）

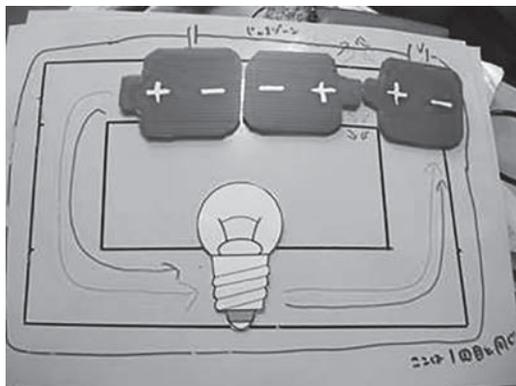


図3-4 ホワイトボード(電池3個の時)

な様子であり科学的な概念に一般化するまでは難しかった。しかし、「電圧」ではなく、「電流」のイメージを描かせることにおいては、有効ではないかと考える。「電流」を図示化してイメージするときは、「電流は電子の流れ」であることを、回路の学習の前におさえておいて、回路の中の電流のイメージを「電子(粒子)」を使って表して下さい。と発問すると、「粒子」という統一したものをういて考えるという点で、一般化しやすいのではないかと考えられる。しかし、この場合、電池1個からは常に同じ電流が出ていると考えがちになり、豆電球(電熱線・抵抗)の数が増えたときに、その電流のちがいに对应できない恐れもあり、子どもの思考の可視化については有効だが、科学的な概念の形成には有効とは言い難いと考えられる。

3.4.2 掃除機・送風機モデル(視覚化・触覚(圧を感じる))

(1) ねらいとした科学的概念

電圧の「圧」という表現に着目し、掃除機や送風機を使って、「風」=「気圧の差」と対応して電圧を捉えさせ、イメージしやすくする。

(2) 教材

掃除機と送風機の先に透明の細長いビニールに紙の粒子を貼った。そして、送風機が+極(電流が出ていく)、掃除機が-極(電流が入っていく)と仮定して、子どもにイメージを促した。また、送風機の先には電流モデルを貼り付けた。図3-5ときは、電池が直列に2個つながっている(+ - + -)と仮定した。また、送風機2つを用いて電池が逆向きに2個つながっている(- + + -)場合についても例として出した。

(3) 実践(※3.4.1と同様)

(4) 結果および考察

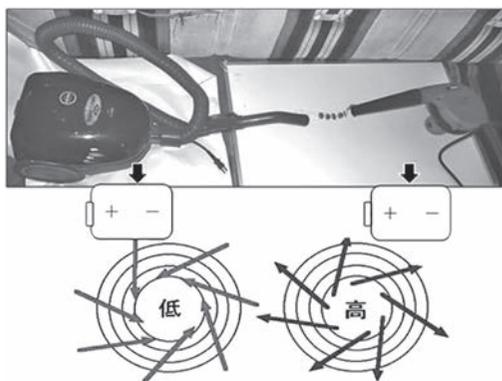


図3-5 掃除機(左)と送風機(右)モデルと気圧のイメージ

突然、このモデルが登場すると子どもが混乱するのではないかと予想したため、はじめにマラソンを例にして、どんなときにスピードが増す?と子どもに尋ね、下り坂(高いところから低いところへ)、追い風という考えを引き出してから、送風機・掃除機モデルを登場させた。普段から身近な電化製品を使ったモデルは、子どもの関心も高いものであったようであり、演示する際に集中して観察する様子が見られたが、この送風機モデルでは、電流が水のように電池の+極の蛇口からあふれ出ているようなイメージを持ってしまいがちで、電圧を「高さ」や「差」のイメージにつなげることは難しく、電流や電圧に対して誤った認識を与える恐れがある。また、送風機や掃除機は「気圧」ではなく「風圧」になるため、差によって風が起きているのではなく、力によって風を起こしていることから、ねらいに到達できるようなモデルにはならなかった。インパクトは強く、空気の圧力という触覚(五感)に働きかけるモデルではあるが、科学的な概念の形成には有効とはいえない。

3.4.3 粒子モデル(視覚化)

(1) ねらい

ビー玉の動きを電子の流れ(電流)として、筒の傾きを電圧として電流・電圧を視覚化し、イメージしやすくする。

(2) 教材

OHP(クリア)シートを筒状に巻き、カット



図3-6 粒子モデル

ケースがフタになるように合わせ、セロハンテープで固定して筒を創る。その中にビー玉を入れる。筒の長さは色々変えたが、中に入っているビー玉(粒子)の数は揃えた。また、この粒子モデルを使用するときは、電気の本体は電子であることを先に学習していることを前提とする。

(3) 実践

2016年1月に、新潟大学の教育学部の理科教育コースの大学生7名と、大学院生2名の9名を対象とした模擬授業で教材の実践を行った。

(4) 結果および考察

電子の流れ(電流)という視点では、粒子というモノが視覚化できることは有効だが、電圧と組み合わせで考えた場合に、粒子の動かす方法が多様であり、子どもはどうやって動かすことが電圧のはたらきとして正しいのか困惑してしまい、そのことが電圧の科学的な概念を一般化できなかった要因になるのではないと思われる。

今回の授業では、自由にモデルを動かしたためこのような混乱を招いたが、この解決策としては、電流は回路の中で一定の向きに流れるのだから、学級全体で動かす方向を一方向に決める、動かすときに初速度は0とするなど、条件を整備してから、「どうやったら、電流の流れる大きさを変えられるだろ

う?」としたほうが、概念を一般化しやすかったのではないかと考える(図3-7)。

今回は、この筒型粒子モデルを、電圧をテーマとした学習の導入にて使用し今回の粒子モデルの有効性については教師の教材の出し方にも課題があったため、教材自体の利点と課題の把握が難しかったので、再度、その活用の仕方について検討していきたい。また、今回使用した学習内容以外にも、粒子モデルは、図3-8のように抵抗の視覚化ができるのではないかと考えている。その内容についても実践を通して粒子モデルの可能性をさらに検討していく必要がある。

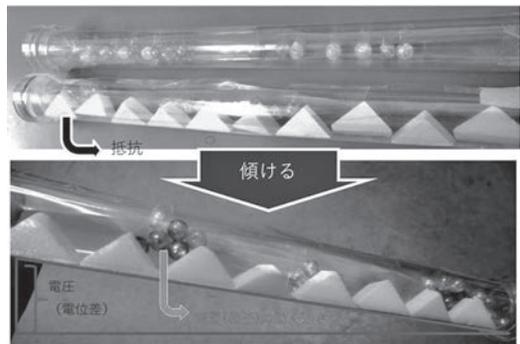


図3-8 粒子モデルの抵抗の概念への活用

3.4.4 人間電圧計(触覚)

(1) ねらい

手の開き(距離)によって、電流の大きさが変化するのを手のしびれ(触覚)によって体感することによって、電圧(電位差)をイメージしやすくする。また、距離の大きさによって、豆電球の明るさや電圧計の数値・グラフの縦軸も変化するのを視覚化することによってしびれ(触覚)によって得た体験を一般化し科学的概念へ導く。

(2) 方法

この実験は、愛知・岐阜・三重物理サークル¹⁹⁾「いきいき物理・わくわく実験2」(日本評論社)の「人間電圧計」を参考に、筆者がパッドの大きさも電圧も小さくし、中学校の理科室にある直流・交流の切替スイッチのある電源装置を用いて教材化したものである。また、パッドの中に入れる水は、水道水で可能だが、塩を少量入れると、電流が流れやすくなり、電圧を少し低めにしても実験を行うことが可能であるため、各学校の電源装置の機能を考慮しながら、塩の調整を行うと良い。

図3-9にあるように、パッドの両端にアルミ箔を底面から高さにかけてかぶせ、水道水を入れる。そ

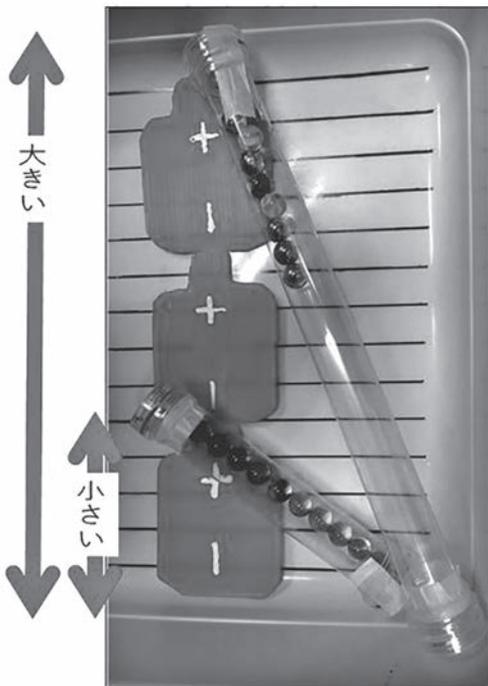


図3-7 電位差(電圧の大きさ)をモデルで表す

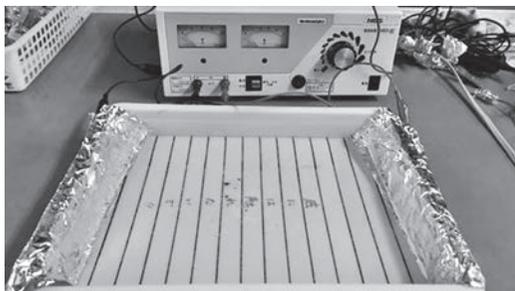


図3-9 人間電圧計

の後、アルミ箔の両端をそれぞれ電源装置の+極と-極に接続する。電源装置をコンセントにつなぎ、つまみが0になっているのと切替スイッチが「交流」になっているのを確認してから、電源スイッチを入にする。そして、つまみを回して電圧が15V～20Vになるように調整する。実験で、水の中に指を入れる際には足下が濡れていないように、器具の周りの物を触らないように気をつける。また、手に傷がある子どもや、刺激に弱い子どもを事前に尋ね、実験の参加を控えるように指示する。(3)実践(3.4.3と同様)

(4) 結果および考察

人間電圧計が、教材としてのインパクトや子どもの興味が湧く実験であったことは良かった。またこの触覚による実感が、豆電球の明るさ、電圧計の値の測定等の視覚化によって確かめることにつながり良かった(図3-10)。しかし、この教材を「電圧」という科学的概念を捉えるのに役立ってほしいという本質において、大きな課題が2つ挙げられた。1つは、電流と電圧の区別がわからなかったという声が多く聞かれた事である。指のしびれが何であるかが、電圧なのか？電流なのかつかめないうまま、豆電球の明るさの変化や電圧計の針の振れの変化に、触覚から視覚に視点がチェンジしたとき感覚的な理解を視覚化する場面で困惑したまま授業が進んでしまったため、せっかく「はあ～」と納得する場面で、「はあ？」という疑問が残ってしまった。2つ目は指を広げるとなぜ、電圧が大きくなるのか？電流が大きくなるのか？という点で疑問が残ったということである。以上の点から、この2つに対して実験前、または実験中の教師の説明が必要であったと考えられる。そのためには、電位差を学習しない中学生の段階でどこまで説明すれば理解できるかを整理しないと、中学校で活用するのは難しい。だが、研究の2.2で高野¹³⁾や門馬¹⁴⁾が指摘していた電池2個の並列つなぎが1個より大きな電圧がかかると

いう誤概念や、豆電球2個の並列つなぎは1個よりも暗くなるという誤概念は、この装置を使つての実験と実感によって、誤概念が覆され、科学的概念が明らかになるのではないと思われる。また、今回は、触覚を視覚化(豆電球の明るさ・電圧計の針のふれ)したが、触覚を聴覚化(電子オルゴールの音の大きさ等)することも可能であるため、五感を活かした教材としてはさらなる応用と有効利用が期待できる。

3.4.5 教材を活用した授業実践

粒子モデルと人間電圧計を用いた授業実践において、ルーブリックを基に、この教材の有効性と課題を明らかにする。以下は授業その指導案(略案)である。

<第2学年 理科学習指導案>

① 単元名 電気の世界

第2章 回路と電流・電圧 (6/19時間)

② 単元の目標

電流回路についての観察、実験を通して、電流と電圧との関係及び電流の働きについて理解させるとともに、日常生活や社会と関連付けて電流と磁界についての初歩的な見方や考え方を養う。

③ この授業の観点(教材観・指導観・生徒観)

生徒は小学校で、電流を習うが電圧には触れず、中学校で「電流を流そうとするはたらきが電圧である」と初めて定義される。しかし「はたらき」というのが曖昧であり、電圧を差(高さ)としてイメージすることは容易ではない。そこで本授業では、電流の正体が「電子」というのを既習した上で、粒子モデルと人間電圧計を用いて、五感をはたらかせ、電圧を「電位差」としてイメージに残るようなアプローチをしていく。また電圧という概念が確立するまでに困難を要したという科学史を用いることでより印象を残していきたいと考えている。

④ 指導計画 ※教育出版参考 (時数) 35時間分

- 1-1 静電気の性質(3)
- 1-2 電流の正体(2)
- 2-1 電流が流れる道筋(2)
- 2-2 回路を流れる電流(3)
- 2-3 回路に加わる電圧(4) →本時1/4
- 2-4 電圧と電流の関係(6)
- 2-5 電気エネルギー(4)
- 3-1 電流がつくる磁界(2)
- 3-2 磁界のなかの電流にはたらく力(2)
- 3-3 電流の発生(3)
- 3-4 電流の種類(2)

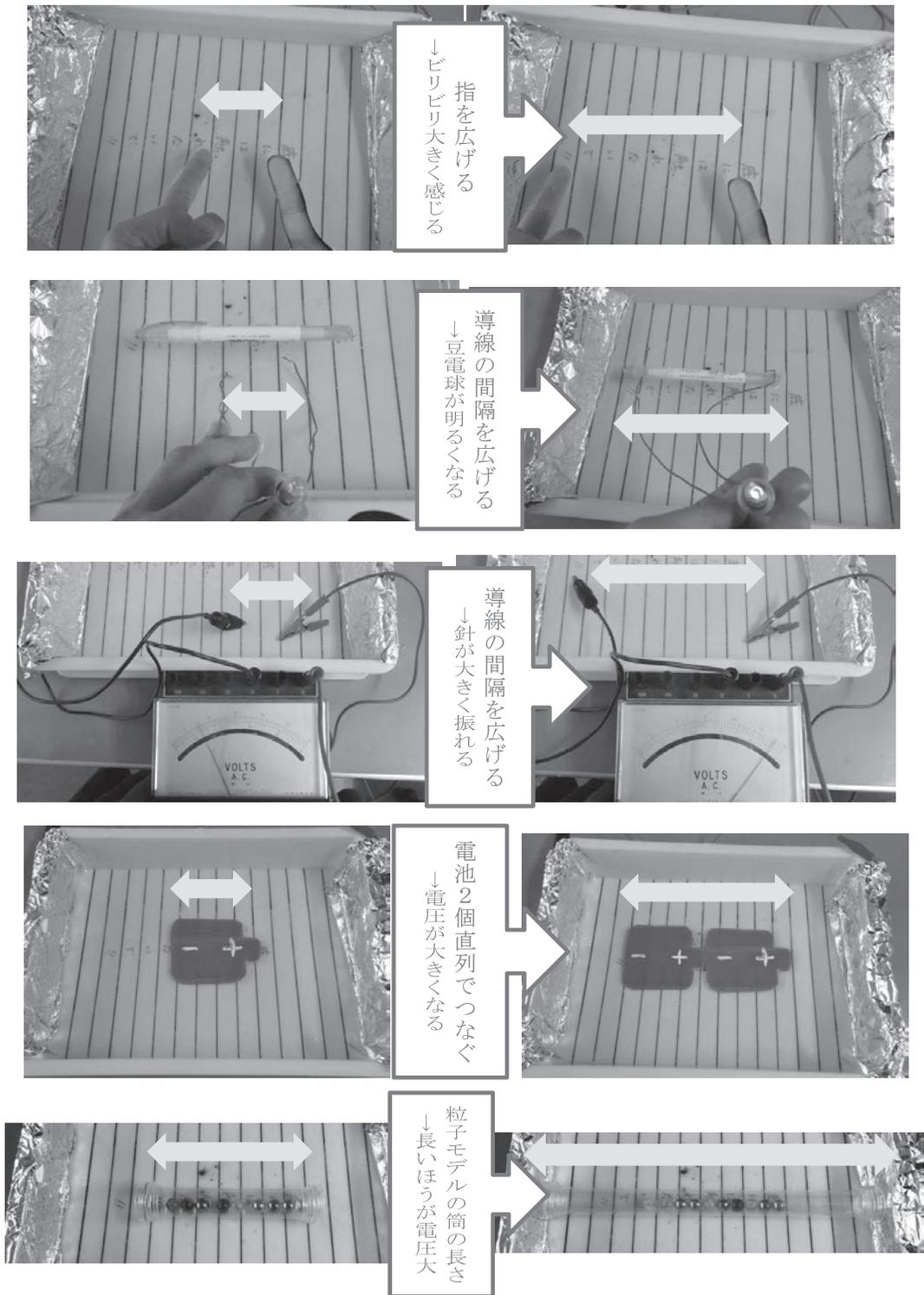


図3-10 人間電圧計の実験結果より (①手の開き, ②電球の光, ③電圧計の針のふれ, ④電池, ⑤粒子モデル)

5 本時の指導

「電子を動かそうとするものは何か？」

(1) ねらい

電子を動かそうとするもの（電圧）を自分の言葉で表現できる。【科学的思考・表現】

(2) 展開（活動・発問等）

<導入5分>

- ①既習事項の確認
- ②モデル提示 水平に保ったパイプの中の粒子（電子）を動かすにはどうしたらいいかな？
- ③活動 やってみよう！
- ④何が電子を動かしているのかな？

本時の課題提示「例：電子を動かそうとするもの（流れをつくるもの）は何か？（生徒の言葉で）」

<展開30分>

- ⑤仮説 目に見えない電流（電子の動き）を昔の人はどうやって確かめたんだろう？（モデルを手を持ち目をつぶってイメージさせる）
- ⑥仮説の証明 確かめる方法は？
- ⑦実験方法の提示 ジャあ今日は触って確かめてみよう（水の入ったバットの両端に電源装置を接続）
- ⑧予想 指を入れるとどうなる？
- ⑨実験 ※安全指導
- ⑩概念の抽象化 電子を動かそうとするものが大きいときはどんなときだったかな？実験で感じたビリビリの様子を班で話し合いながらホワイトボードにまとめよう！
- ⑪概念の共有化 ※発表
→ビリビリの法則性を見つけられたかな？
- ⑫概念の一般化 電子を動かそうとするものが大きい小さいを誰が見てもわかるようにするにはどうしたらいいんだろう？

<まとめ10分>

- ⑬概念の一般化 演示実験（予想）
→2点の距離を変化させる
・豆電球で確かめる
・センサーを使って確かめる
- ⑭まとめ 今日考えた「電子を動かそうとするもの」をあなたならズバリ何という言葉で表現する？→発表
- ⑮※科学史
- ⑯活用問題→2点の距離を固定したまま動かすと？…次回の予告

6 板書計画

【前回の復習】 電流とは？ 電子の流れ	電子の大きさ 10^{18} 目に見えない！	誰がみてもわかるようにするにはどうしたらよいか？
今日の課題	方法？	
「電子を動かそうとするものは何か？」		何と表す？
WB	WB	WB

<授業後の学習者の評価より>

模擬授業に参加した大学生ならびに大学院生にたずねた評価ルーブリック表3-4（評価指標）に基づいた評価点の平均とコメントを表す。

表3-4 評価ルーブリック（評価指標）

1点いいえ 2点はい、少し 3点はい 4点はい、十分に

	項目	評価平均
1	本時のねらいが授業を通して明らかだったか？	2.7点↓
2	児童・生徒が興味をもって授業に集中できるような手立てがとられていたか？	3.8点↑
3	児童・生徒の誤概念が明らかにされる場面が含まれていたか？	1.8点↓
4	主となる活動は児童・生徒の概念理解を促すのに適していたか？	2.7点↓
5	児童・生徒が実験・観察データを基に能動的に考える場面があったか？	2.9点↓
6	科学史に関する要素は、児童・生徒の概念理解を助けるのに効果的だったか？	2.3点↓

●コメントより（課題は下線）

- ・人間電圧計の実験が面白く、興味を引きつけるものだったと思う。課題として挙げた電子を動かす正体が分からないまま終わってしまったのは、少しモヤモヤが残る感じがしました。しかし、当時の人も、電子を動かす正体に悩まされていたという話を聞いて、アンペールさんと同じ経験ができたということが面白いと思った。
- ・私は（人間電圧計の水槽の中で）ビリビリと感じているのは「電流」だと思っていたのですが、センサーの縦軸がVだったり、なんで指を広げるとビリビリと感じる大きさがちがうんだろう？と疑問がいっぱい残ってしまいました。多分、電流と電圧の混同が起きていたのかと思います。電圧や電位差は中学生にとっては難しいです。電流というか“電圧”を教えたいなら、水槽の実験から始めて「何で感じるビリビリが違うのか」とはじめてもよかったのかもしれません。
- ・粒子モデルの中のビー玉が電子なので、ビー玉が動く向きで電流の向きが変わるといような誤概念が生まれそう。

・粒子モデルでは、電子が流れることを電流。また、動かすためには力が必要だということが視覚を通してよくわかった。目的も明確であった。

<考察>

今回の授業では、学習者のコメントより大きく2つの課題が明らかになった。まず1つ目は「電流と電圧の区別が何なのかわからなかった」という点である。この点においては、電圧の概念形成が本時のねらいであったが、その前の「電流の概念」について、しっかりと学習者の理解度を把握すべきだったと反省している。「電圧の概念」の前に「電流の概念」が備わっているかをたずねる発問の必要性と、(電流の概念が)認識不足であることが導入の時点でわかかったならば、豆電球の明るさによる電流の大小や、手のしびれによる電流の大きさの大小によって電流の大きさを認識させるような説明が必要であった。2つ目は「なぜ手の開きで電流の大きさが変わることが理解できなかった」という点である。今回の授業展開では、導入の際に「電流とは?」「単位は?」「電流とはこんなものだよと決めた人は?」といった(ブルームのタキノソミーの発問分析においての)知識レベルの発問からスタートし、理解レベルの発問はなく、一気に「何が電子を動かしているのかな?」というような応用レベルの発問にいったため、学習者が混乱したのではないかとと思われる。つまり理解レベルの発問が、特に今回のような目で確かめることが困難な科学的概念において重要であることが明らかになったのではないかとと思われる。今回の授業ならば「電流の大きさ(びりびり)は何によって変わるのか、わかりましたか?」「その電流の大きさを変えるものは何であるか?」など、学習者の理解を促すような発問が必要であったと考える。

表3-5 授業評価のルーブリック

	探究的指導法に基づく授業場面		今回の授業	前回
				B
導 入	①	既習事項	3	1
	②	つなぎ	2	2
	③	課題提示	3	0
	④	仮説	3	3
	⑤	実験概要	1	1
	⑥	予想	1	3
展 開	⑦	実験方法	3	1
	⑧	実験中	3	2
ま と め	⑨	概念抽象化	3	2
	⑩	概念一般化	1	2
合計			23	17

【場面がない場合は0、場面があるが教師の一方的な進行の場合は1、生徒とのやり取りはあるが教師の言葉での進行の場合は2、生徒の言葉で進行している場合は3】

また、表3-5は研究の3.3の授業分析の際に用いたルーブリックに基づいて、今回の授業と、筆者が「電圧」をテーマに2015年の6月に実施した授業Bと比較したものであるが、今回の授業では合計点数が高いが、学習者の理解に不十分な点があった原因として、コメントを参考にして考えられるのが⑤の実験概要の場面と、⑩の概念一般化の場面である。まず、⑤の場面では粒子モデルを出したときや人間電圧計での実験で、条件を整備せずに行った点で、規則性を見いだすのが困難になったのではないかとと思われる(例えば、粒子モデルの動かし方や、人間電圧計での指の動かし方において、動かす方向は同じにして、指の距離だけを変えていく。距離は変えずに方向だけ変えるなど)。また、⑩の概念の一般化の場面では「電圧」という抽象的な概念を個人の見解だけで終わらせず、集団で議論や定義し、科学的概念として一般化する必要があったと思われる。今回の授業では、研究の仮説に立てた「五感を伴う手法によって、抽象的な電磁気分野の概念をイメージすることを助ける」までは達成されたが、その次の「科学的な概念の理解を促すことができる」までには至らなかった。そして明らかになったのは、教材を活かすためには、子どもの理解を促すような発問や、実験の定義、概念の一般化などにおける教師のはたらきかけが重要であることが考えられる。また、このような教師のはたらきかけは、教師自身が科学的概念を深く理解している必要があり、その理解が深いほど、子どものはたらきかけをもっとよりよく行うことができ、子どもの理解を助けることができるのではないかと考えられる。

4. 今後の展望

4.1 本研究全体を通してわかったこと

今回の研究において、中学校の電磁気学分野における理科授業について、様々な角度から子どもの「わかった」を実現するための方法を模索した。その中で、子どもにとって「知る・覚える」と「わかる」ということと違うこと、つまり、知識を伝えるだけでは子どもが「わかった」ことにはならないということを、問題の所在を明らかにする過程や構成主義に基づいた授業作りを通してわかった。そして、電気についての子どものイメージ(概念)調査の結果から、電磁気学を学習する前に電気の正体を「粒子(電荷)」などの抽象的なものとして捉えている子どものほうが、学習後のテストの点数が高くなる(わかる)傾向があることがわかり、学習指導要領・教

科書分析を踏まえたカリキュラム開発において、学習の順序としては「静電気と電子」の内容を先に行うことによって、「粒子」を用いた概念理解の手段を有効的に活かすことができるのではないかということを提案することができた。また、学習前アンケートに無回答だった（イメージができない）子どもは、学習後のテストの得点も低く、イメージを持って学習に臨むことの重要性が明らかになったが、このイメージを助けるのが五感によって得た経験であり、その五感を利用した教材開発や授業作りを行うなかで、その有用性と、課題（五感によって手に入れた経験・情報を科学的概念に結びつけるような教師のはたらきかけが重要であること）が明らかになった。

そして、何より今回の研究では、授業研究の方法が1つではなく、学習指導要領・教科書の分析、カリキュラム構成の検討、ブルームの発問分析やルーブリックを用いた授業分析、教材開発、探究的指導法を取り入れた授業計画など5つの研究方法を用いて多角的に研究を進めたことは、授業研究を行う上で、指導者（理科教師）としての視野を広げることにつながったと考える。

4.2 本研究の有用性

4.1を踏まえて、本研究全体を通して、その有用性について、主に以下の3つに焦点をあてて述べる。

- ① 理科授業における問題を解明していく手段（方法）が明らかになった。
- ② 子どもが抽象的な概念を習得するために、中学校の理科授業における教師のはたらきかけとして重要なものが「理解レベルの発問」である。
- ③ 概念理解が困難な内容へのアプローチは、教材開発だけでは不十分である。

つまり、教材だけでは子どもの理解を促したことにはならず、子どもの理解を助けるような発問を練ったり、子どもの思考に沿った授業展開を考へることや、1つの授業の中で子どもに達成してほしい目的（理解させたい科学的概念や活動）を絞るといった様々な点からアプローチすることが、授業研究を行うことで大切である。この研究で行った授業研究に対する様々なアプローチは、電磁気学の分野のみならず、理科授業における課題を解決するための手段として役に立つことを提案することができたのではないかと考える。

また、今回開発した教材については、五感を活か

す教材開発は、「実感を伴う理解」を促すという点で「人間電圧計」は、触覚だけでなく、豆電球や計測器、電子オルゴールなどにつなげることによって視覚や聴覚からのアプローチも可能なためさらなる発展や応用が期待される。また、研究の第2章で述べた電磁気学の分野を苦手とするのは女子が多いという点においても、家事で使われる電化製品を用いた「掃除機・送風機モデル」や、ビー玉やビーズやクリスタルケースを使った見た目にもかわいい「粒子モデル」は、女子の物理学やその中の電磁気学に対するネガティブな印象を少しでも変える道具として、有用ではないかと考えられる。

4.3 本研究の限界

今回の研究では、仮説の「五感を伴う手法によって、抽象的な電磁気分野の概念をイメージすることを助ける」ところまでは、教材開発等を通して達成されたが、その次の「科学的な概念の理解を促すことができる」までには至らなかった。

教材開発においては、実際に目で見て確かめることはできない「電流」や「電圧」において、どのようにすればその手がかりを掴めるかについて、五感を利用したいいくつかの教材の例（「人間電圧計」などの触覚を用いた教材や、「掃除機・送風機モデル」、「粒子モデル」など可視化を図る教材）を提示することはできた。しかし、この教材が実際の授業で有効であるかについて、今回の研究では大学生や院生を対象にした模擬授業での検証のみになってしまい、実際の子ども（中学2年生）の場合においても有効であるかを確かめることができなかった。

また、今回の研究では、五感を通して学習内容の可視化、モデル化を図ったが、逆に、子どもの理解が頭の中でどのようになっているかを、可視化したり確かめるという方向性での研究は弱かったため、本来の目的である子どもの「わかった」が実現したかどうかについての確認方法が不十分であった。電磁気学分野の特に抽象的な概念では、「教材の可視化」と「学習者の理解の可視化」の両方が対となるような研究を進めなければ、本当に意味での子どもの科学的概念の習得につながる研究にならないのではないだろうか。その点においても、今回の研究では、実際の子ども（中学2年生）を対象にした実践を行っていないために、子どもの科学的な理解を促したという証拠になるような結果を得ることはできなかった。

4.4 今後の展望

先に述べた実践の少なさを打破し、子どもの理解に基づく研究を行うためには、教師である筆者自身の今後の実践が重要である。しかし、1人だけでなく、同僚や、沖縄県の理科教育研究会の仲間とも協働して、検証と改善を重ねながら、よりよいものにしていき、少しでも多くの子どもが、電磁気学の分野においてわかる喜びを感じるような教材研究ならびに授業実践をしていきたいと考えている。

また、今回の研究は、学力差が指摘されている沖縄県の子どもの達に対する支援方法として、苦手といわれる「理科」のそしてその中でも特に、苦手であるといわれる「電磁気学」の学習支援方法について模索した。「わからない」が溢れる電磁気学の分野を、筆者自身も「わからない」と苦しみ模索しながら、五感を通して手がかりを掴む方法を考えてきた。沖縄から戻り、現場で中学2年生を担当することがなく研究を実践できていないが、日々生徒と接する中で、沖縄の人の「人との関りを大事にする良さ」を活かすことを授業が「わかる」ヒントや手立てにならないかと考えている。この研究が「わからない」を救う一歩になってほしいと願うが、この抽象的な電磁気学の概念に近づく手がかりを探るような、見えないものをイメージする力は、新しい世界に足を踏み入れる原動力となり得るのではないかと考える。沖縄も日本も他県や他国と陸続きではないために、海を越えて新しい世界に足を踏み入れるには勇気がある。電磁気学の学習を通して、見えない新しい世界をイメージする力を子どもに育み、そこに足を踏み入れる面白さを知り、子ども達が自分の世界をより広げていってほしいと願う。

引用文献

- 1) 沖縄県 (2012) 「沖縄21世紀ビジョン基本計画」平成24年度～平成33年度・沖縄振興計画
- 2) 国立政策研究所教育課程研究センター (2015) 「平成27年度全国学力・学習状況調査 回答結果集計 [生徒質問紙/学校質問紙] 沖縄県-生徒(公立)」, 「平成27年度全国学力・学習状況調査 設問別調査結果 [理科] 沖縄県-生徒(公立)」
http://www.nier.go.jp/15chousakekkahoukoku/factsheet/prefecture/47_okinawa/index.html
- 3) 沖縄タイムス (2015年8月26日) 「社説[学力テスト]中学校の課題見つめよ」
- 4) 週刊 東洋経済 2014年9/20号 「学校が危ない/スマートフォン大特集 スーパーチャージ襲来す！」
- 5) 琉球新報 (2016年1月5日) <http://ryukyushimpo.jp/news/entry-198383.html>
- 6) 戸室健作 (2016) 「山形大学人文学部研究年報 第13号」
- 7) 旺文社教育情報センター (2009) <http://eic.obunsha.co.jp/>
- 8) 文部科学省 (2009) 平成21年度文部科学白書 (第1部 我が国の教育水準と教育費)
http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpab200901/detail/1296547.htm
- 9) 朝日新聞 (2015年8月26日)
- 10) 藤村哲夫 (2002) 「電気発見物語」講談社
- 11) 赤澤孝 (2011) 「電圧概念獲得への提案」(福井工業大学)
- 12) 平成28年度版 中学校理科・新版理科の世界2 (大日本図書)
- 13) 高野登久 (2015) 「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 北陸支部大会
- 14) 門馬徳夫・吉田俊博 (2001,2002) 「中学生の電流理解に関する実態調査(1)(2)」福島大学教育実践研究紀要 41,42
- 15) 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 (第57巻・第2号)
- 16) 伊佐夏実・知念渉 (2014) 「理系科目における学力と意欲のジェンダー差」日本労働研究雑誌 (No. 648/July 2014)
- 17) 河野・池上・中澤・藤原・村松・高橋 (2004) 「ジェンダーと階層からみた「理科離れ」—中学生調査から—」東京学芸大学紀要 第1部門 第55集
- 18) 太田聖久・土佐幸子 (2014) 「効果的な理科授業の要素の解明」日本理科教育学会北陸支部大会研究発表要旨
- 19) 愛知・岐阜・三重物理サークル (1999) 「いきいき物理わくわく実験[改訂版]2」日本評論社