

理 科

事象を科学的な見方・考え方で説明する授業開発

—第5学年「電流がうみ出す力」の実践を通して—

柘 植 一 輝

Development of a Lesson Explaining the Phenomena from Scientific Perspectives and Ideas: Class Practice of Unit “Power Produced by Electric Current” in Fifth Grade Elementary School

Kazuki Tsuge

The purpose of this study is to enable students to understand that electric current produces a magnetic field by knowing the occurrence of magnetic field in a whole wire where electric current flows, and explain the relationship between a number of turns in the coil and electromagnetic force from scientific perspective and ideas. A lesson was developed, conducted in the unit “Power Produced by Electric Current” in the fifth grade of elementary school, and then investigated the learning effect through a questionnaire. Alternatively, students managed to understand a magnetic field was generated in a whole wire where electric current flows and explain the relationship between a number of turns in the coil and electromagnetic force on the ground of a magnetic field produced in a wire. This result suggests that some students considered a greater number of turns in the coil made electric current stronger, and let electric current flow the iron core. Altogether, students were unable to understand that electric current produces a magnetic field. (p.89-94)

1 問題の所在と研究の目的

次期学習指導要領の改訂に向けて中央教育審議会の答申が行われ、「育成を目指す資質・能力の三つの柱」とともに「主体的・対話的で深い学び（「アクティブ・ラーニング」）の視点からの学習過程の改善」¹⁾が求められている。また、答申（理科において育成を目指す資質・能力の整理表「学びに向かう力・人間性等」）の中で、現行の学習指導要領解説^{2) 3) 4)}では、中学校と高等学校のみに記述されていた「根拠」という語句が、次期学習指導要領の改訂に向け小学校においても「根拠に基づいて判断する態度」⁵⁾が挙げられている。これらのことから、主体的・対話的で深い学びの授業づくりを行いながら、子どもたちが根拠に基づいて事象を説明する授業づくりがますます必要になることがうかがえる。

「電流の働き」の単元は、平成20年度小学校学習指導要領改訂に合わせて第6学年から第5学年に移行された。この単元は「ア 電流の流れているコイルは、鉄心を磁化する働きがあり、電流の向きが変わると電磁石の極が変わること。」を学習することによって、電流には磁力を発生する働きがあることをとらえることを目的としている。第5学年の教科書5誌⁶⁾を調査したところ、一本の導線からでも磁力が発生することに言及しているのは1誌のみであり、コイルの巻き数を増やすと電磁石が強くなる根拠については十分に考察されていない実態がある。そのため、子どもたちは「電流には磁界を発生させる働きがある。」ではなく、「電磁石には磁界を発生させる働きがある。」と、とらえているのではないだろうか。

「電流の働き」の理解について、岩原(2006)は「エナメル線に電流が流れると磁力が出てくるこ

とをわかっている生徒は2割程度⁷⁾であると報告している。また、筆者自身も中学生の理科授業を担当したときに「コイルに鉄心を入れないと磁力は発生しない」と考えている生徒に何度も出会ったことがある。そこで本研究では、電流が流れている導線はすべての場所から磁力が発生することから電流には磁力を発生させる働きがあることをとらえるとともに、コイルの巻き数を増やすと電磁石の強さが変わる理由を科学的な見方・考え方で説明できるようにする授業開発を行うことを目的とした。

2 研究の方法

(1) 授業開発

①ねらい

授業開発では、次の2点をねらいとした。

- 電流が流れている導線はすべての場所から磁力が発生し、電流には磁力を発生させる働きがあることをとらえられるようにする。
- コイルの巻き数を増やすと電磁石の強さが変わる理由を説明できるようにする。

②対象児と実践及び調査時期

広島県内の小学校第5学年1クラスの子ども29人を対象に、平成28年11月～12月に授業実践及び調査を行った。

③単元構成

授業実践をした単元は「電流がうみ出す力」であった。授業計画は次のとおりである。

第1次 導線から発生する磁力（4時間）

- ・事象提示（エナメル線）と検証
- ・ビニール導線の検証

第2次 電磁石づくりと永久磁石の比較（4時間）

- ・電磁石づくりと学習計画づくり
- ・電磁石と永久磁石の比較
- ・電磁石と芯の種類

第3次 電磁石の強さと条件（4時間）

第4次 電磁石の利用（2時間）

授業実践は第1次と第3次で行い、第3次の学習終了後に質問紙による調査を実施した。以下、

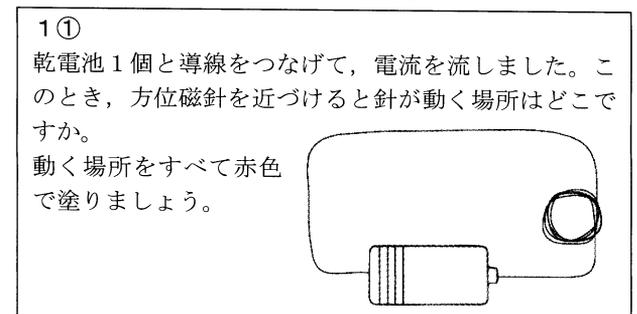
第3次までの概略を述べる。

第1次では、塗料で絶縁コーティングされたエナメル線を紹介する。3mのエナメル線の一部をコの字型にし、ブランコのようにスタンドに取り付け、ここに永久磁石を近づける。このとき、エナメル線に電流を流しているときだけ永久磁石との反応を示すことから、エナメル線が磁石のような性質をもっていることに気づくことができるようにする。次に、「エナメル線に電流を流すと磁石になる」という仮説の検証方法を考え、実験を行う。さらに、エナメル線を前学年までの実験で用いてきたビニール導線に変えて同様の実験を行い、導線の種類や場所に関係なく、導線に電流が流れると磁力が発生することを明らかにする。

第3次では、第1次で学習した「電流には磁力を発生する働きがある」ことなどを根拠に電磁石を強くする方法を考え、条件制御を行いながら実験を行い、結論を明らかにする。

(2) 検証方法

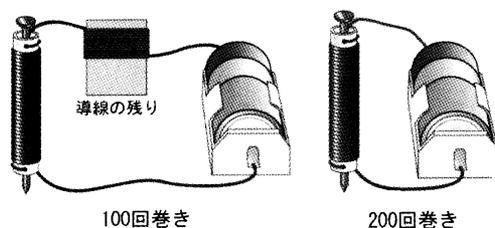
第5学年の単元「電流がうみ出す力」において、電流から磁力が発生していることをとらえる授業を開発・実践し、質問紙調査（図1）により学習内容の効果を考察することにした。授業実践後、導線に電流を流したときすべての場所から磁力が発生することを理解しているかを設問1①と1②、電流から磁力が発生することと電磁石の鉄心が磁化されて磁石になることを区別してとらえているかを設問1③から考察する。また、コイルの巻き数と電磁石の強さが関係していることを電流から発生する磁力と関係づけて考えているかを設問2①と2②から考察する。なお、設問1③は電磁石の学習前（第1次の学習後）と学習後（第3次の学習後）に2回の調査を行った。



1②
「電流を流した導線に方位磁針を近づけると針が動く」ということからどのようなことが言えますか。
(自由記述)

1③
1①の実験で、導線を束ねて輪にした部分にそれぞれクリップ(鉄)を近づけました。クリップは導線に引きつけられますか、引きつけられませんか。(選択肢)

2①
電磁石の強さが何によって変わるのか、まき数を変えて実験しました。電磁石の強さはくぎ(鉄)を何本持ち上げられるかで判断します。結果は表のようになりました。



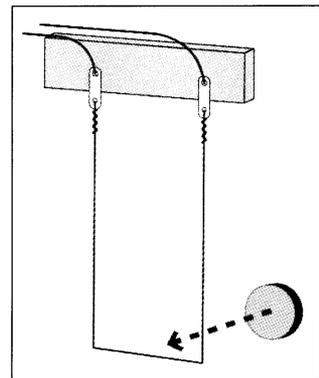
まき数	電流の強さ	鉄心の太さ	導線の長さ	個数(平均)
100回	1.2 (乾電池1個)	5mm	6.4m	5個
200回	1.2 (乾電池1個)	5mm	6.4m	11個

エナメル線の巻き数を増やすと電磁石が強くなるのはなぜですか。(自由記述)

2②
エナメル線をビニール導線に変えて電磁石を作りました。この電磁石に電流を流すと、くぎ(鉄)は引きつけられますか、引きつけられませんか。1つ選び、選んだ理由を書きましょう。(選択肢と自由記述)

図1 調査内容

メル線が引きつけられたことから、やっぱりN極だと確信した。さらに、電池の向きを反対にしたらどうなるのかという疑問が生まれ、電流の向きを逆にして同様の実験



を行ったところ、今度 図2 磁石と反応する導線はエナメル線がS極の性質を示すようになった。これらのことから、子どもたちはエナメル線に電流を流すと磁石になると判断した。

そこで、第3学年で学習した永久磁石の性質を確認し、エナメル線に電流を流すと磁石になっているのかを確かめることにした。子どもたちが考えた方法は以下の3つである。

- ・クリップやねじなどの鉄を近づける。
→引きつけられたら、磁石と言える。
- ・方位磁針を近づける。
→針が動いたり、引きつけられたりしたら磁石と言える。
- ・電流を流している導線にクリップをこすり、そのクリップが磁石になるか。
→クリップが他のクリップを引きつけられるようになっていれば、磁石と言える。

これらの3つの方法で検証したところ、エナメル線に電流を流すと、導線のすべての部分からN極やS極の力が出ていること、磁石とは異なり鉄を引きつけないことが明らかとなった。また、導線が一本の状態よりも、何重にも重ねて輪にしているところの方が磁石のような力は強くなっていることが分かった。N極やS極は確かに存在しているが、鉄は引きつけないこのような状態から、子どもたちは「磁石のような力」と表現した。

(2) ビニール導線から発生する磁力

3・4年生の学習で用いたビニール導線も、同じように電流を流しているときは、磁石のような力が出ているのかを確かめた。導線が一本の部分では、方位磁針の針が動いたというグループと動いていないというグループの結果が半々であった。そこで、電流を強くすると、磁石のような力も強

3 授業の実際

(1) エナメル線から発生する磁力

単元導入にあたる第1次の第1時では、コの字型にしたエナメル線をブランコのように設置し、電流を流す前と後に磁石を近づけた(図2)。子どもたちは、エナメル線に電流を流したときだけ、磁石のN極に反発するように動くようすを見て、エナメル線がN極になっていると発言した。また、磁石を裏返し、S極を向けると今度は磁石にエナ

くなるのではないかという考えをもとに、電池2つを直列つなぎにして実験を行った。その結果、導線が一本の部分でもN極やS極の力は出ていること、また何重にも重ねて輪にしているところは、とても強い反応を示すことを明らかにした。これらのことから、エナメル線であってもビニール導線であっても、導線に電流が流れると磁石のような力が発生することをとらえさせた。

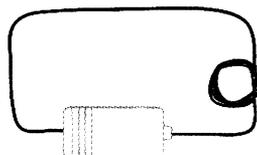
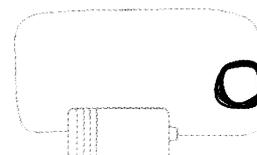
(3) 電磁石の強さと条件

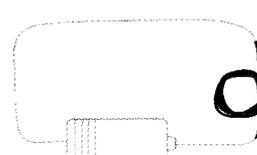
第2次では、一人ひとりに電磁石をつくらせ自由試行をとりいれながら電磁石の学習計画を立てた。第3次では、その計画の1つである「電磁石の強さを変える方法」について、学級全体で話し合った。子どもたちは第1次での経験から電流を強くする、導線をたくさん巻く、鉄心を太くする方法を出した。それぞれについてグループに分かれて実験を行い、電流が強いほど電磁石も強くなること、コイルの巻き数が多いほど電磁石が強くなること、電磁石に使う鉄心が太いと電磁石が強くなるが、電流の強さやコイルの巻き数ほど大きな差が見られないことを結論としてまとめた。また、同じ電流の強さ、巻き数、鉄心の太さであっても導線を丁寧に隙間なく巻くと電磁石が強くなることを実験結果から導き出していた。

4 検証の結果と考察

質問紙による調査結果を集計したところ、設問1①と1②それぞれの回答は表1、表2のとおりであった。

表1 設問1①の回答

分類・回答内容(人)	
I	II
	
導線全体 (22)	導線を束ねて輪にした部分のみ (3)

III	IV
	その他 (1)
導線を束ねて輪にした部分とその周辺のみ (3)	

※子どもが赤色で塗った部分を太線にしている。

分類I「導線全体で方位磁針の針が動く」と回答した子どもは22人、分類IIとIII「導線を束ねて輪にした部分で方位磁針の針が動く」と回答した子どもは6人であった。6人の子どもが一本の導線部分では方位磁針の針は動かないと回答したのは、実験において方位磁針の針の動きが小さく分かりにくかったことや、導線を束ねた部分は方位磁針の針の動きが顕著で印象に残りやすかったためだと考えられる。

表2 設問1②の回答

分類	回答内容(人)
i	<ul style="list-style-type: none"> ・導線にN極とS極があるということ。(8) ・極があるということ。(1) ・磁石のような働きをする。(3)
ii	・導線が磁石になった。(13)
iii	その他(4)

分類iは、導線に電流を流すとN極やS極の磁石のような力が発生し、永久磁石の性質の一部を示すことを的確に表現している子どもである。分類iiは、永久磁石と同じ性質をもつととらえた子どもであるが、13人のうち10人が次の設問1③(電磁石の学習前)において、「導線にクリップは引きつけられない」と回答している。このことから、永久磁石の性質とは異なる性質であることをとらえてはいるが、的確な表現ができていないと考えられる。

設問1③(第1次の学習後と第3次の学習後)の「引きつけられる」の回答は表3のとおりであった。

表3 設問1③(引きつけられる)の回答

	導線を束ねて輪にした部分
電磁石の学習前	3人
電磁石の学習後	15人

電磁石を学習する前は、導線を束ねて輪にした部分にクリップを近づけたとき、導線そのものにクリップが引きつけられると回答したのは3人であった。しかし、電磁石の学習後に再び調査を行うと、引きつけられると回答したのは15人となった。電流から磁力が発生しても導線だけでは鉄を引きつけず磁石にはならないというところが、電磁石を学習したことによって電磁石の鉄心が磁化されて別の鉄を引きつける現象と混同してとらえるようになったと考えられる。

設問2①の回答を集計したところ、表4のとおりであった。

表4 設問2①の回答

分類	回答内容(人)
A	<ul style="list-style-type: none"> ・弱い磁石の力がたくさん集まると強くなるから。(6) ・巻き数が多いほど、磁石の力が集まるから。(2) ・導線に電流が流れると磁石のようになって、巻き数が増えるとその力が大きくなるから。(2) ・導線に電流が流れると極ができる。その導線が1か所にたくさん巻いてあるから。(1) ・200回巻きの方が、1か所に集まる磁力が大きいから。(2) ・200回巻きの方が、1本の力の200倍の磁力が集まっているから。(2)
B	<ul style="list-style-type: none"> ・弱い電流が1本に流れるよりも、巻き数が多くなるほど電流が強くなるから。(4) ・鉄心の周りを通る電流が多くなるから。(1) ・100回巻きよりも200回巻きの方が、電流が大きいから。(1) ・導線がたくさん集まると、その分電力が強くなるから。(1) ・巻き数を増やすことで、100回巻きに使った電気の2倍を使うから。(1) ・弱い電流がたばになっているから。(2)
C	<ul style="list-style-type: none"> ・何重にも巻いている方が鉄心にたくさんの電流が届くから。(1) ・たくさん巻いた方が鉄心に電流が流れやすいから。(1) ・鉄心に触れている導線が多いほど強くなるから。(1)
D	その他(1)

分類Aは、コイルの巻き数を増やすと電磁石が強くなる理由を、電流から発生する磁力と関係づけて考えた回答である。分類Bは、コイルの巻き数を増やすことで電流が強くなると考えた回答である。実験では、検流計を用いて電流の強さが巻き数によって変わらないことを確認しながら行ったが、電流が流れている導線が鉄心の周りを何度も通ることによって、電流が変化したととらえていると考えられる。また分類Cでは、分類Bと同様にコイルの巻き数が増えることによって電流が強くなるという考えであり、その電流が電磁石の鉄心に直接作用していると考えた回答である。

本授業開発では、電磁石においてコイルの巻き数を増やすと電磁石が強くなることを、電流から磁力が発生することと関係づけて説明することを目的としている。学級半数が電流から発生する弱い磁力が巻き数を増やすことで1か所に集まり強くなると説明していた。その一方で、13人の子どもは導線に流れる電流の強さが変化することを挙げていることから、実験中に検流計を用いる意味や示す値が一定であることを実験の条件制御と合わせて指導する必要があることが分かった。

設問2②の「引きつけられる」、「引きつけられない」の回答理由はそれぞれ表5、表6のとおりであった。

表5 設問2②(引きつけられる)の回答

分類	回答内容(人)
㊦	<ul style="list-style-type: none"> ・ビニールがあっても導線だから。(6) ・ビニールをはがしたら、同じ銅線(中身)だから。(2) ・導線の周りがあるものが塗料かビニールかだけの違いだから。(3) ・どちらも電気を通すものだから。(1)
㊧	その他(3)

表6 設問2②(引きつけられない)の回答

分類	回答内容(人)
㊦	<ul style="list-style-type: none"> ・ビニールは電気を通さないから。(9) ・電流を通さないもので巻かれているから。(2) ・ビニールは厚みがあるから。(1)
㊧	その他(2)

表5、表6において、分類①は、ビニール導線を材質の面からとらえた回答である。「引きつけられる」と回答した子どもは、ビニール導線がエナメル導線と同じく伝導体に銅線が用いられていることを根拠として挙げている。一方、「引きつけられない」と回答した子どもは、銅線の周りがある絶縁体がビニール導線はエナメル線と比べて厚いことや視覚的に明確であることが影響したと考えられる。ビニール導線と電池を用いて、ビニール導線からも磁力が出ていることを実験により確認したが、そのことが電磁石の製作と必ずしもつながらないことが明らかとなった。

5 結論と今後の課題

本研究では、電流が流れている導線はすべての場所から磁力が発生することから電流には磁力を発生させる働きがあることをとらえ、コイルの巻き数を増やすと電磁石の強さが変わる理由を科学的な見方・考え方で説明できるようにする授業開発を行うことを目的とした。質問紙調査の結果を分析すると、次のことが明らかとなった。

- ・電流を流した導線全体からN極やS極の力が発生していることをとらえられていること。
- ・コイルの巻き数を増やすと電磁石が強くなる理由を、弱い力が1か所に集められるためと考えている子どもと、たくさん巻くことによって電流が強くなると考えている子どもがいること。
- ・電流を流した導線には直接鉄はつかないが、電磁石の学習を行うことで、鉄が磁化されて磁石になることが導線に鉄がつくようになると混同して考える子どもがいること。
- ・ビニール導線では電流が鉄心に伝わらず、電磁石をつくることはできないと考えている子どもがいること。

本実践を通して、電磁石の学習前に一本の導線を用いた実験を行うことで、電流が流れている導線は全体から磁力が発生することはとらえられた。一方、ビニール導線で電磁石をつくることはできないと回答した子どもが半数近くいたことから、

電流には磁力を発生する働きがあるという理解に結びつけることが難しいことが明らかとなった。今後は、本研究で開発した授業に加えて、子どもたちが電流を通さない性質を根拠としたビニール導線を用いて電磁石を製作したり、鉄心に流れる電流を測定したりする活動を取り入れた授業展開を行う必要があると考える。

<注および引用文献>

- 1) 幼稚園、小学校、中学校、高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について（答申）補足資料（1/7）pp. 6-13.
http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2016/12/27/1380902_4_1.pdf
- 2) 文部科学省：「小学校学習指導要領解説 理科編」，2008，大日本図書。
- 3) 文部科学省：「中学校学習指導要領解説 理科編」，2008，大日本図書。
- 4) 文部科学省：「高等学校学習指導要領解説 理科編，理数編」，2009，実教出版。
- 5) 幼稚園，小学校，中学校，高等学校及び特別支援学校の学習指導要領等の改善及び必要な方策等について（答申）別添資料（2/3）p. 33.
http://www.mext.go.jp/component/b_menu/shingi/toushin/_icsFiles/afieldfile/2016/12/27/1380902_3_2.pdf
- 6) 以下の5誌をレビューした。
 - ・東京書籍：「新編 新しい理科5」，pp. 126-139，2014 検定済み版。
 - ・啓林館：「わくわく 理科5」，pp. 152-169，2014 検定済み版。
 - ・教育出版：「みらいをひらく 小学理科5」，pp. 132-147，2014 検定済み版。
 - ・大日本図書：「新版 たのしい理科5年」，pp. 112-129，2014 検定済み版。
 - ・学校図書：「みんなと学ぶ 小学校理科5年」，pp. 108-121，2014 検定済み版。
- 7) 日本理科教育学会：「理科の教育 9月号」，pp. 42-44，2006，東洋館出版社。