中学校理科「電流のはたらき」の教材開発

―くぎを使って磁界を見る―

兼　泰子[1)]，沖花　彰[2)]

1）京都教育大学大学院　kane@kyokyo-u.ac.jp

2）京都教育大学　理学科　okihana@kyokyo-u.ac.jp

キーワード：中学校理科，磁界，学力調査

抄録

中学校理科「電流のはたらき」の内容に関して，中学校での磁気分野の学習がどの程度理解され定着しているかを高校生及び大学生を対象に調査した。その結果，磁石や電流の回りにできる磁界の向きの理解が不十分であることがわかった。そこで，磁化させたくぎを使って磁界の向きを見る教材を作製し授業実践を行った。この授業実践を行った結果，磁界の向きの理解度が上がり，生徒は磁界の様子を実感として捉えることができたと思われる。

Ⅰ．はじめに

ここ数年筆者らは中学校理科の物理分野の様々な内容において基本的なことがらの理解がどの程度できているか，さらにそれが大学まで進んでどの程度定着しているかを調べている。これまで，光・電気の単元についての調査を行ってきた（沖花、2002、2003、2004）。それによると中学校理科の教員免許を取得しようという学生でも基本的な事柄に対する理解が十分でないことが明らかになった。本稿では更に「電流とその利用」の単元の中で生徒が理解に困難を示していると思われる，中学校理科第１分野（上）「電流のはたらき」に取り組むことにした。磁界の様子は，直接目で見ることができず，また静電気のように感じることもできないため実感させにくい学習内容の１つであると考えられる。そこで，生徒の実態を踏まえ磁界の様子がより実感させやすい教材を作製し，授業実践を行ったのでここに報告する。

Ⅱ．小中学校における磁界の学習内容

１．教科書の内容

学校教育で磁界の様子についてどういった学習がなされているのか，関連する事項を現行の教科書から抜粋する。

１）小学校３年理科（啓林館、平成 14 年度版）

単元：「じしゃくのひみつを見つけよう」

抜粋：「どんなものが、じしゃくにつくのだろうか」

ここでは磁石を使って身近な物が磁石につくかつかないかを調べる活動をとおして，鉄でできたものであれば磁石につくということを実感として学習する。また磁石の中で鉄を引きつける力が一番強い部分を探すことで極があることを知り，同極・異極間に働く力の違いについて学習する。鉄を強い磁石の極でこすると，磁石になるという記述もある。磁界についての学習はない。旧学習指導要領ではあった「電気を通すものでじしゃくにつくのはどれだろう」という活動は現学習指導要領ではなくなっている。

２）小学校６年理科（啓林館、平成 14 年度版）

単元：「電流と電磁石」

抜粋：「電磁石の極には，どんな性質があるのだろうか。」

ここでは電流が流れているコイルには鉄心を磁化させる働きがあることや電流の流れる向きによって電磁石の極が変わることを実感として学習する。電磁石の強さが電流の強さや導線の巻き数によって変わることも学習する。磁界についての学習はない。

３）中学校理科第１分野(上)（啓林館、平成 14 年度版）

単元：「電流のはたらき」

抜粋:「磁石や電流が流れている導線のまわりの磁界のようすはどのようになっているだろうか。」

この単元は中学校２年生で学習する。小学校で学習した内容の振り返りはなく，磁界の様子から始まっている。ここでは磁石や電流による磁界の観察を砂鉄や方位磁針を使って行い，磁石や電流の流れる導線の回りに磁界があることを見出させる。また，磁石やコイルの回りの磁界の様子を磁力線で表すことや磁界の向きについても学習する。磁石とコイルを用いた実験を行い，磁界中のコイルに電流を流すと力が働くことや，コイルや磁石を動かすことにより誘導電流が流れることを学習するとともに，発電機やモーターのしくみについても学習する。

２．中学生の学力調査

１で紹介した内容を中学生がどの程度理解しているかどうかを調べる為に，国立教育政策研究所による平成 13 年度・15 年度の小中学校教育課程実施状況調査（国立教育政策研究所、2003、2005）のうち中学校磁気分野の調査結果を抜粋する。（表１）平成 13 年度調査は旧学習指導要領の下で学習した生徒，また平成 15 年度調査は新学習指導要領の下で学習した生徒が対象となっている。表は左から出題趣旨，平成 13 年度・15 年度の各問いに対する通過率（正答または準正答した生徒の割合），設定通過率（出題者が事前に予想した通過率）となっている。また，◇印は通過率が設定通過率を下回った問いである。この結果から，中学校段階で通過率が設定通過率を下回る問いは９問中８問となり非常に理解度が低いことがわかる。これら理解度が低い問いを見ると，全てにおいて磁界の向き・磁力線の向き・方位磁針の向きなど「向き」を問う趣旨の問題である。唯一通過率が設定通過率を上回っている問題は，「磁界の様子に関心を持ち観察しているかどうか」を問う問題である。このことから，中学校段階では砂鉄の実験などで磁界の様子に関心を持ち観察はしているものの，砂鉄では見ることができない磁界の向きが分かりにくいと考えられる。小学校段階で磁石の N・S

という「極」という捉えかたをしていたものが，中学校では磁石のまわりの「磁界」という考え方に変わることによって，磁石や電流のまわりに広がる磁界の様子やその向きが理解しにくくなると考えられる。

表１．平成 13 年度・15 年度小中学校教育課程実施状況調査（中学校磁気分野 磁界の様子）

中学校1分野磁気単元	平成13年度		平成15年度	
出題趣旨	通過率	設定通過率	通過率	設定通過率
1) 磁石の磁界と磁界中での磁針の向きを理解している	◇47.7%	60%	◇51.7%	60%
2) 磁石のまわりの磁界と磁力線の向きを理解している	◇53.3%	70%	◇54.2%	70%
3) 直線の導線を流れる電流のまわりにできる磁界の向きを関係付けられる	◇37.1%	55%		
4) コイルに流れる電流や磁界の向きを比べて回転の向きを推測できる			◇47.5%	55%
5) コイルのまわりにできる磁界と方位磁針の向きを関係付けられる	◇29.5%	55%		
6) コイルの周囲にできる磁界に関心を持ち、観察している	83%	75%		
7) コイルの周囲の磁界の向きが答えられる	◇37.1%	55%		

注１）通過率とは正答または準正答した生徒の割合である。

注２）設定通過率とは学習指導要領の目標・内容の実現状況を評価する基準として問題ごとに設けたものである。

注３）表中の◇印は通過率が設定通過率を下回る問いである。

III．高校生・大学生の理解度調査

１．調査の概要

本研究では，中学校理科第１分野「電流のはたらき」のうち「磁界の様子」の学習がどの程度理解され定着しているかを高校生･大学生を対象に調査した。調査対象は，京都教育大学附属高校１年生 159 人（高校物理未履修）及び中学校理科の教員免許取得を希望している京都教育大学生 80 人（うち高校物理未履修者が約４割）である。調査は平成 16 年６月に実施した。図１に調査問題を示す。実施時間は 20 分，問題は２問で中学校理科第１分野(上)「電流のはたらき」で学習する標準的な内容である。以下に各問題の内容と出題の意図を示す。

問１．棒磁石がつくる磁界の様子を磁力線で描き，方位磁針の針の向きを描く問題。棒磁石のまわりにできる磁力線の形と向き及び上下左右にある方位磁針の指す向きが正しく記入できるかをみる。

問２．地磁気による磁界の様子を磁力線で描き，北がＳ極であることを問う問題。地球のまわりにできる磁力線の形と向きが正しく記入できるかをみる。また，地球を大きな棒磁石として捉えることができるかをみる。

２．調査結果

結果をまとめるにあたって，大学生 78 人を高校での物理履修度ごとに「物理を全

く履修していない・物理ＩＡまたはＩＢまで履修した・物理Ⅱまで履修した」の３グループに分けた。また，高校１年生４クラス 159 人はまだ文系理系にわかれていないため全体を１つのグループとして集計した。各問いごとの結果を表２，表３に示す。表２には要素ごとの正答率，また表３には正解の後に主な誤答例を記し，それぞれグループごとの人数に対する割合を示している。以下に各問についての調査結果を詳しく分析する。

１）問１の調査結果について

問１の結果を表２に示す。完全正答率と①～⑤の各部分正答率を高校生及び大学生の各グループごとに示した。磁力線の向きを含めた概略・方位磁針すべてが正解した人は、高校生 57%，大学生全体 44%となった。また完全に正解しなかった生徒がどの程度まで理解できているかを調べる為に問いの内容を次の５段階に分けてそれぞれの正答率を調べた。①「方位磁針左右正解」: 磁力線の正否に関わらず，棒磁石の左右にある方位磁針の向きが正解しているもの，②「方位磁針上下左右正解」: 磁力線の正否に関わらず，棒磁石の上下左右にある方位磁針の向きが正解しているもの，③「磁力線の形正解」: 方位磁針の向きの正否に関わらず，磁力線の形が正しく描けているもの，④「磁力線形,向き両方正解」: 方位磁針の向きの正否に関わらず，磁力線が向きも含めて正しく描けているもの，⑤「磁力線正解し,方位磁針の左右正解」: 磁力線が向きも含めて正しく描け，棒磁石の左右にある方位磁針の向きが正解しているものである。①は Ｎ と Ｓ が引き合うという極の概念を理解している生徒を表わし，高校生 94%，大学生 90%であった。全体の９割以上の生徒が小学校段階での学習内容である「極」の概念については理解できていることがわかる。左右の方位磁針の向きに対し上下の方位磁針の向きの方が間違いやすいのも，上下の方位磁針に比べて棒磁石の極に近い左右の方位磁針の向きは極の概念から理解しやすかったものと考えられる。しかし，磁力線の様子については③が高校生 77%，大学生 72%となり，向きも正解した④は高校生 64%，大学生 54%と低かった。この結果から，Ｎ・Ｓという極の概念は理解しているものの磁力線の概略と向きが分かりにくいと考えられる。これはⅡ２）の中学生に対する学力調査の結果と一致する。

表２．　問１の調査結果

グループ		高校生	大学生			
		全体	全体	履修なし	物理Ⅰ	物理Ⅱ
人数		159人	78人	31人	17人	30人
磁力線の向きを含めた概略・方位磁針全て正解		57%	44%	39%	65%	37%
方位磁針	①左右正解	94%	90%	90%	88%	90%
	②上下左右正解	84%	77%	68%	82%	83%
磁力線	③形正解	77%	72%	87%	82%	50%
	④形,向き両方正解	64%	54%	52%	65%	50%
⑤磁力線正解し,方位磁針の左右正解		62%	49%	48%	65%	40%

磁力線の形に関する誤答例を図 2(左)に示す。これは大学生（物理履修なし）の解答

である。棒磁石の中心部分に極がありそこから磁界が広がっているという誤答であるが，この誤答は中学校教科書で必ず行う砂鉄を使った学習のせいであるとも考えられる。実際に保磁力が弱まった棒磁石のまわりの磁界の様子を，砂鉄を使って見た様子である(図 2(右))。棒磁石の中心部に極ができ，誤答例のような N 極と中心部，S 極と中心部を結ぶ磁力線が見られた。棒磁石の保磁の仕方によってはこのような磁力線が見られることがある。

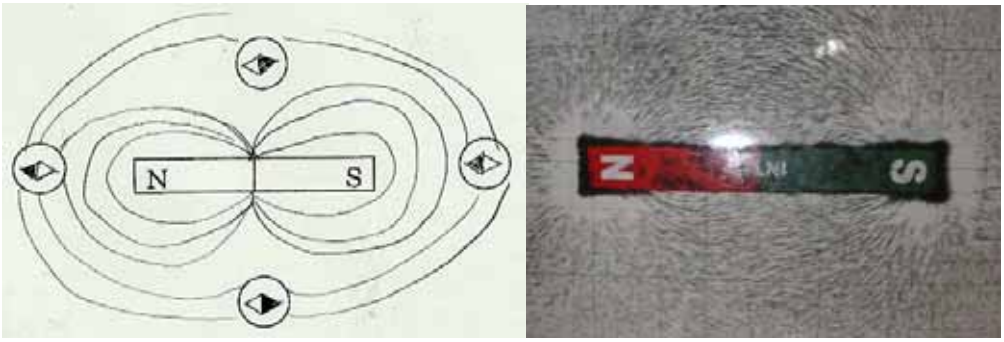


図２．棒磁石のまわりの磁力線に関する誤答例(左)と，磁力が弱まった棒磁石の磁界の様子を砂鉄を使って見た様子(右)。

2）問２の調査結果について

問２の結果を表３に表す。正答率と主な誤答の割合を高校生及び大学生の各グループごとに示した。正答率は高校生 45%，大学生 53%であった。棒磁石の磁界の様子と比べ大学生の正答率が高く，物理Ⅰ・Ⅱと履修度が上がるにつれて正答率が上がることと，誤答例のほとんどが「北極が N と思っている」であり，高校生 40%，大学生 26%と大学生になると減る傾向がある。また次いで多い誤答例である「磁力線の向きが逆」と回答した生徒（高校生 31%，大学生全体 20%）のうちほとんどの生徒（高校生 29%，大学生全体 15%）が「北極を N とした上で，磁力線の矢印が逆」としていることから，地磁気が中学校の授業であまり大きく取り上げられない分，北が North で N 極であるという日常知にじゃまされて理解しにくくなっていると考えられる。

表３．　問２の調査結果

グループ		高校生	大学生			
		全体	全体	履修なし	物理Ⅰ	物理Ⅱ
人数		159人	78人	31人	17人	30人
正解		45%	53%	29%	53%	77%
誤答例	北極がNと思っている	40%	26%	32%	41%	10%
	磁力線の矢印が逆	31%	20%	29%	24%	10%
	北極をNとした上で,磁力線の矢印が逆	29%	15%	19%	24%	7%
回答なし		4%	3%	6%	0%	0%

以上の調査結果から，棒磁石がつくる磁界の様子・向きを書く問題では，「N・S が引き合う」という極の概念はおおむね理解できているものの，磁力線の形や方位磁針による磁力線の「向き」の関連が理解しにくいということがわかった。この調査から，

磁力線の形と向きとを関連付けた学習の必要性を感じた。

Ⅳ．教材の作製

以上の調査を踏まえて，磁力線の様子と磁界・方位磁針の向きとの関連付けをよりわかりやすくするために，くぎを磁化させて磁界の様子を見る教材を作製することにした。磁界の様子を見る学習は，砂鉄を使って磁力線を見るものがほとんどである。しかし，砂鉄ではなくくぎを磁化させて使うメリットは，①砂鉄では大きな磁力をかけなければ変化がなく磁界の方向はわからないが，くぎなら地磁気や電流などの小さな磁界でも反応する，②直線電流のまわりの磁界の様子を見るときに，砂鉄では電流を流した後台をたたかないと反応しないが，くぎなら電流を流した瞬間に変化が見られ「電流が流れるとそのまわりに磁界ができる」という瞬時に起こる反応が実感させやすい，③逆向きに電流を流すと，磁場が逆向きにできることが見てわかることである。図３に示すようなくぎセットを作製した。

１．準備するもの

材料は身近にある簡単に準備できるものを使った。

くぎ８本(13mm 太さ 0.9mmφ)，糸８本(15cm)，厚紙(15cm 四方)，エナメル線，単１電池２個，導線，豆電球，瞬間接着剤，綿棒

(注) くぎの太さや長さは必ずしもこの通りである必要はないが，違うものを使うと厚紙の大きさも変わってくる。

２．作製方法

（１）くぎの頭から先に向かって棒磁石の S 極でこすり，くぎの先を N 極に磁化させる。正しく磁化できたか方位磁針に近づけて確かめ，N 極に目印をつける。

（２）磁化させたくぎに瞬間接着剤で糸を付け，くぎが糸に垂直にぶら下がるようにする。くぎが糸に垂直にぶら下がるようにするために，重心を糸の接着ポイントにする。少量の瞬間接着剤を接着ポイントにつけ，10 秒ほど置き乾きかけたところで糸を付け，余分な瞬間接着剤は綿棒で吸い取るときれいに付く。

（３）作成したくぎ８本をスタンドに固定した厚紙に５cm 間隔で下げ，厚紙上部をセロハンテープで固定するとくぎセットが出来上がる。

（４）エナメル線でコイルを作成する。

エナメル線を段ボール箱に 30 回ほど巻きつけてコイル（25cm×18cm の長方形）を作る。段ボール箱からコイルをはずすときコイルがバラバラにならないようテープでとめる。

３．実験方法

（１）直線電流のまわりの磁界の様子を観察する。

コイルの１辺がくぎセットの中心を縦に通るようにスタンドに固定し(図３参照)，電池，豆電球をつなぎ電流を流す。また電流の向きを変えて観察する。磁界がどのようにできるのか電流を流す瞬間のくぎの向きをよく観察させる。

（2）円電流のまわりの磁界の様子を観察する。

くぎセット 2 枚とコイル 1 つを使用する。くぎセットを 2 つのスタンドに並べて設置し，コイルの 2 辺がそれぞれのくぎセットの中心を縦に通るようにスタンドに固定する。（1）と同様に電流を流して磁界の様子を観察する。

（3）コイルのまわりの磁界の様子を観察する。

できるだけ多くのくぎセットとコイルを使用する。全てのくぎセットを並べてスタンドに設置し，（1）（2）と同じ要領でコイルを固定する。電流を流して磁界の様子を観察する。図 4 にくぎセット 6 枚とコイル 3 つを使った様子を示す。



図 3．作成したくぎセット

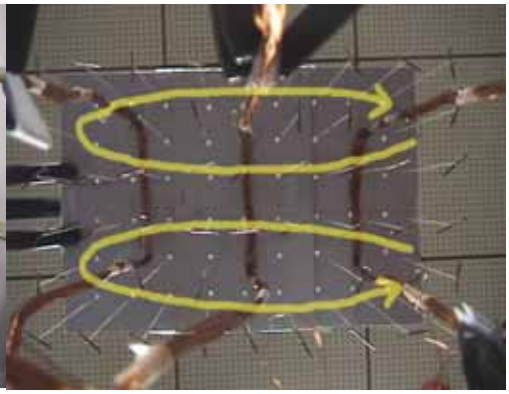


図 4．くぎセットを下から見た様子

Ⅴ．授業実践

この教材を使って，平成 17 年 1 月に京都女子中学校 2 年生 37 人（以下 A 中学校と略す）及び 3 月に京都教育大学附属京都中学校 2 年生 36 人（以下 B 中学校と略す）を対象に実践授業を行った。授業時間はどちらも選択理科 50 分×2 コマである。授業の流れと所要時間はおよそ以下のようである。

（1）くぎを磁化させる方法を考えさせる。（15 分）

どのようにこすれば磁化されるのか予想を立てた後で，実際に棒磁石でこすり方位磁針に近づけ，どちらの極に磁化しているのかを確かめる。

（2）くぎの中の様子をアニメーションを見せながら説明する。（5 分）

（3）磁化させたくぎを使って各班に 1 つずつくぎセットを作成させる。（30 分）

（4）くぎセットで直線電流のまわりにできる磁界の様子を観察する。（10 分）

（5）まとめ(円電流・コイルのまわりにできる磁界の様子をビデオで見せる。20 分)

本授業では時間の関係上，直線電流のまわりにできる磁界の様子を観察することまでにし，コイルのまわりにできる磁界の様子はあらかじめ撮影しておいたビデオを使って説明した。

Ⅵ．授業実践の結果

１．くぎの磁化

鉄でできたものを強い磁石の極でこすって磁石にする活動は小学校３年生の教科書に記載されているが，実際にやったことのある生徒は少数だった。授業では，くぎと棒磁石を生徒に渡す前にくぎを磁化させる方法を予想させた。その結果,「くぎの頭から先端に向かってこする（あるいは先端から頭に向かってこする)」と正確に回答したものは１割に満たなかった。またこの他に「N 極で頭をこする」「S 極で先端をこする」という回答が 27%あり，これは N 極と S 極が引きつけられるという知識のみからの理解であると考えられる。これら全てを正答とみなしても，全体としての正答率は 35%と非常に低かった。そのため棒磁石でくぎを一定の方向にこするとくぎの中の小さな磁石がきれいに並ぶことによって磁化するというイメージをアニメーションを使って説明した。

２．授業後アンケート

この授業内容の理解度を調べるために，授業後に各項目別に理解度アンケートを行った。理解度を「５よくわかった，４まあまあわかった，３ふつう，２あまりわからなかった，１わからなかった」の 5 段階で評価してもらった。図５～10 に項目ごとの理解度を中学校別に示す(白：A 中学校，黒：B 中学校)。また，本授業前調査としてⅢで示した高校生・大学生を対象に行ったのと同じ内容の問題（図１の問１）を答えてもらった。また今回は棒磁石内部の磁界の様子についても解答するように指示した。この結果と授業後の理解度アンケートを比較し授業の成果を評価した。

１）棒磁石のまわりにできる磁界の様子

棒磁石のまわりにできる磁力線の形と向きに関する授業後の理解度を図５，６に示す。わかった（5 及び４）と答えた割合は磁力線の形が A 中学校 75%，B 中学校 84%で，向きが A 中学校 75%，B 中学校 81%であった。授業前の調査では磁力線の形が A 中学校 84%，B 中学校 61%で，向きが A 中学校 65%，B 中学校 26%であったことから磁力線の向きに関して特に成果があった。

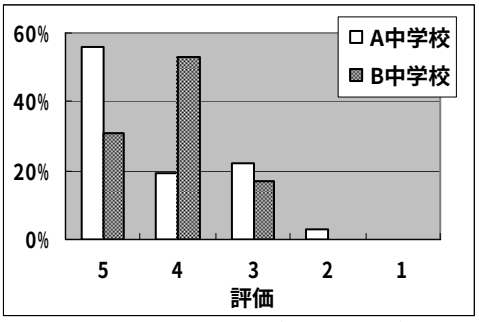


図５．棒磁石のまわり(磁力線の形)

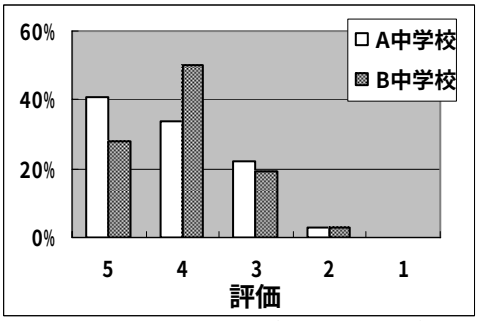


図６．棒磁石のまわり(磁力線の向き)

２）棒磁石の内部にできる磁界の様子

棒磁石の内部にできる磁力線の形に関する授業後の理解度を図７に示す。棒磁石の

内部の磁力線の様子はあまり授業では取り上げられない内容であるからか，授業前にはA中学校66%，B中学校36%の正答率であった。授業後の調査でわかったと答えた割合は，A中学校75%，B中学校78%であった。授業前後で棒磁石の内側の磁力線の形に関する理解度が上がっていることから，くぎセットを使ったことによる授業効果であると考えられる。

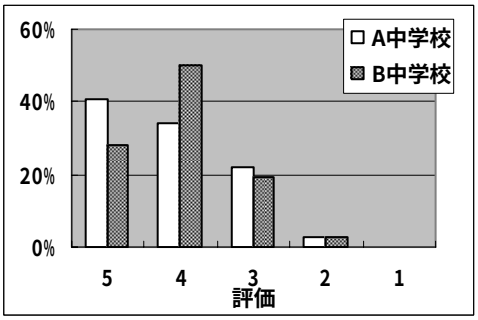


図7．棒磁石の内部(磁力線の形)

3）直線電流のまわりにできる磁界の様子

直線電流のまわりにできる磁力線の形と向きに関する授業後の理解度を図 8，9 に示す。磁力線の形がA中学校72%，B中学校77%で，向きがA中学校72%，B中学校69%の正答率であった。この結果からも磁力線の形と同様に，磁界の向きが良く分かったと答えた人が多いことから，くぎセットを使うことによって直線電流のまわりの磁界の様子や方向を理解し，砂鉄ではわからなかった磁力線の方向がより理解されたと考えられる。

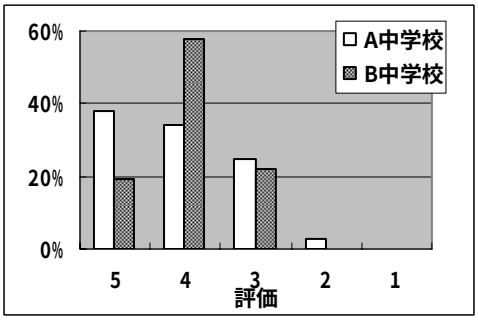


図8．直線電流のまわり(磁力線の形)

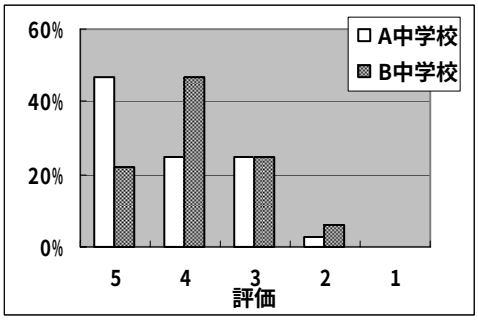


図9．直線電流のまわり(磁力線の向き)

また，授業後に，この授業に興味をもてたかどうかを「くぎの磁化」「くぎセットで磁界の様子を見る」という2つの項目に分けて回答してもらった。評価は「5非常に面白かった，4まあまあ面白かった，3ふつう，2あまり面白くない，1まったく面白くない」の5段階である。図 10，11 にそれぞれの項目について学校別に結果を示す。

4）くぎの磁化

面白かったと答えた人は両中学校ともに6割以上であった。生徒の具体的な感想として,「自分で磁石を作るのが楽しかった」,「くぎが磁石みたいになって面白かった」,「磁石でこすったときのくぎの内部の様子を知ったこと」などがあり，小学校で学習する内容である「くぎをこすると磁石になる」ということさえも中学生にとっては新

鮮に捉えられていたことがわかる。

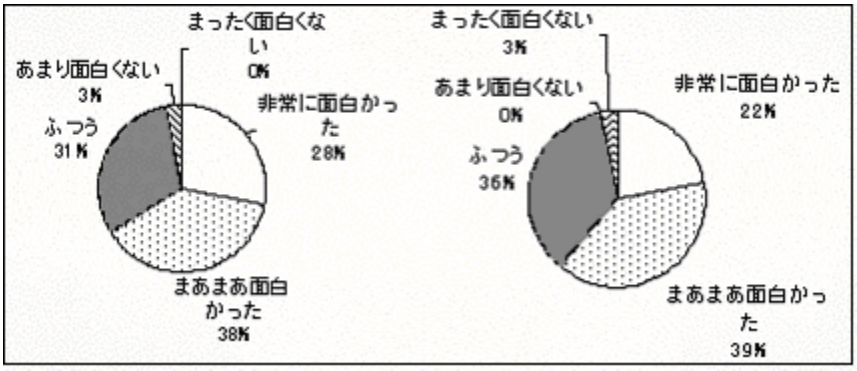


図 10. くぎの磁化に関する興味関心度（左：A 中学校，右：B 中学校）

5）くぎセットで磁界の様子を見る

おもしろかったと答えた人は A 中学校で 7 割，B 中学校で 5 割であった。生徒の具体的な感想として，「電流を流したとたんに，くぎが動くのが面白かった」，「一瞬ばらばらかなあと思ったけど，よく見るとちゃんと磁力線ができていてびっくり！」，「電流の向きによって磁界の向きが変わること」などがあり，電流を流した瞬間に磁界ができ，くぎがふれることが実際に目で見て理解できた感動や，よく見ると右ねじの法則通りになっているという学習の確認にもなっていた。

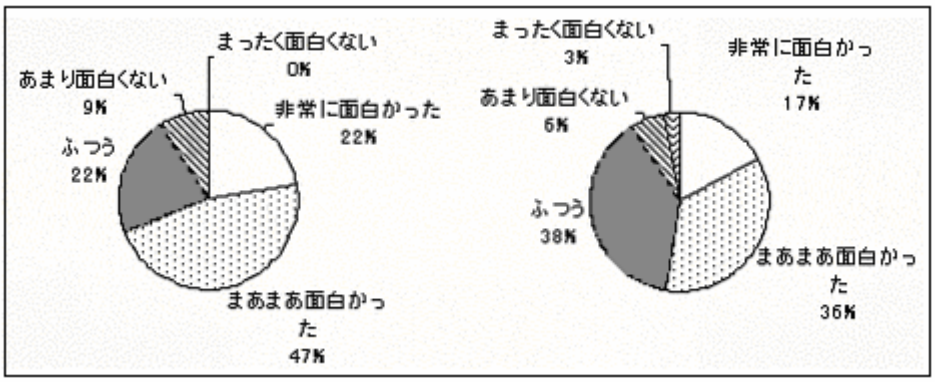


図 11. くぎセットで磁界の様子を見ることに関する興味関心度
（左：A 中学校，右：B 中学校）

Ⅶ. まとめ

中学生の学力調査や高校生及び大学生を対象とした理解度調査を踏まえて，生徒の実態に即した，磁界の様子と向きの関連がよくわかる教材を作製した。この教材を用いることで，直線電流のまわりの磁界の様子や方向の理解が高まった。さらにこの教材は，コイル・棒磁石のまわりの磁界の方向や棒磁石内部の磁界の様子へと連続した学習をすることができる。くぎセットによって目で見ることも感じることもできない磁界のイメージを実感として捉えることができたと思われる。

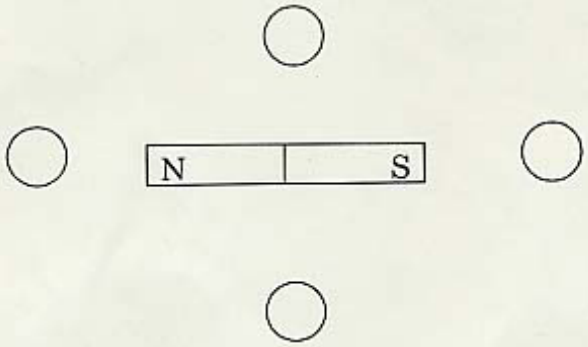
最後に，この調査に協力していただいた京都教育大学附属高等学校教諭の松森弘治先生（現塔南高等学校教諭），京都女子中学校教諭の笠潤平先生，京都教育大学附属京都中学校教諭の池本博行先生，ならびに被験者の京都教育大学学生のみなさん，京都教育大学附属高等学校並びに京都女子中学校，京都教育大学附属京都中学校のみなさんに感謝いたします。

文献

1）沖花彰 2002.「ものが見えることの理解度調査」．フォーラム理科教育．7－12.
2）沖花彰 2003.「大学生の『光の反射・屈折に関する理解度』調査」．フォーラム理科教育．1－8
3）沖花彰 辻井智子 2004.「中学校理科第 1 分野―電気―に関する理解度調査」．フォーラム理科教育．19－30
4）国立教育政策研究所教育課程研究センター 2003．平成 13 年度小中学校教育課程実施状況調査
5）国立教育政策研究所教育課程研究センター 2005．平成 15 年度小中学校教育課程実施状況調査
6）小学校 3 年理科教科書．啓林館平成 14 年度版
7）小学校 6 年理科教科書．啓林館平成 14 年度版
8）中学校理科第 1 分野上．啓林館平成 14 年度版

（1） ①下の棒磁石に磁力線を書いてください。

② また、下の図に方位磁針の針を書きこみ、N極が指すほうを黒く塗りつぶしてください。



（2） 地球が大きな磁石であると考えたとき、北極付近は磁石の何極にあたると考えられますか。また、図中に磁力線とその方向を書きこんでください。

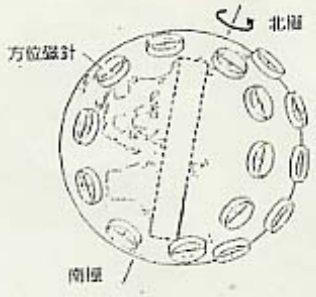


図１　問題用紙