

# 小学校理科「磁石の性質」に関する基礎研究

より科学的な見方や考え方を深める指導のための磁石の基礎知識と応用実験

前川真利奈\*・重松宏武

A Fundamental Study for Science “Property of the permanent magnets” in Elementary Schools:

The basic knowledge and application experiment of magnet for teaching which enriches the scientific viewpoint and reasoning

MAEKAWA Marina, SHIGEMATSU Hirotake

(Received September 27, 2013)

## はじめに

近年、身の回りの電化製品や生活用品の中には、磁石が多種多様に活用されており、磁石は我々の生活に欠かすことのできない身近なものとなっている。さらに、これら磁石には日本で発明されたものも数多く存在し、この基礎・応用研究への貢献度から考えても、日本は磁石大国と言っても過言ではない。しかし、今日の教育現場における磁石に関する学習を振り返ると、小中学校・高等学校においては、電磁石や磁界といった現象の理解を主とする学習内容が大勢を占め、純粋に磁石についての単元は小学校第3学年の「磁石の性質」のみである。さらにその内容も、磁石の性質を定性的にとらえる程度にとどまっているのが現状である。一方、小学校理科の新学習指導要領においては前指導要領からの改訂のポイントの一つとして、「科学的な思考力・表現力等の育成の観点から科学的な概念を使用して考えたり説明したりするなどの学習活動を充実する」と明記されている<sup>1)</sup>。ゆえに、定性的であり、知識の伝達で終わってしまいがちな単元であっても、児童が科学的な概念を使用して学習できるように指導されることが求められている。そしてその遂行にあたっては、まず指導者自身がその単元についてより深い科学的、物理的な知識や概念を持つことが必須であると考えられる。そこで本論文では、小学校第3学年理科の単元「磁石の性質」の指導に際して、指導者が事前に理解しておく役立つと考えられる知識や指導上の留意点を紹介する。さらに、現場で活用できる磁力をキーワードとした応用実験を提案すると共に、それらの現象についての定量的見解を述べる。

## 1. 磁石とは

小学校第3学年理科の単元「磁石の性質」においては、「わたしたちの身の回りには、磁石を使ったものがたくさんあります。では、磁石にはどのようなものが付くのでしょうか」という問いかけによる導入がなされる場合が多い。しかし、ここで児童に「そもそも磁石とは何だ

---

\* 山口大学大学院教育学研究科

ろう。なぜ引き付けるものとそうでないものがあるのだろうか。」という疑問が生じた場合、指導者としては、その質問を流すことなく簡単にでも説明できなければならない。そこで、本章では序章として磁石の原理について概要を述べる（詳細は引用文献2を参照）。

世の中に存在している物は全て原子から構成されており、そしてその原子はプラスの電気をもった原子核と、そのまわりを回るマイナス電気をもった電子から成り立っている。この電子の回転運動による電気の流れが磁界をつくり、一つ一つの小さな磁石の集団「磁区」を形成している（図1 a）。通常、磁区は各々勝手な方向を向いているため、お互いの能力を打ち消し合い全体としては磁石の性質はない。ところが、これに強い磁場を与えると、磁区は一斉に方向を揃えて一時的に磁石になる（図1 b）。一般にこの状態を「磁気誘導」といい、身の回りでは磁石に付けた釘やクリップが一時的に磁石になる現象が挙げられる。この誘導磁気は外部磁場を取り去ることでまた元の状態（図1 a）に戻るのが一般的である（なお、この現象に対する詳細な物性評価は第4章4小節にて述べる）。

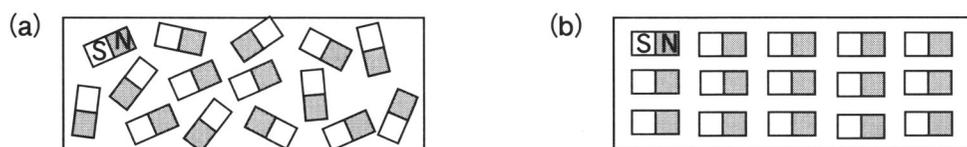


図1. 磁区のイメージ図。(a) 磁場を与える前と (b) 磁場を与えた後。

このような一時的に磁石になる性質は、あらゆる物質が持つものではなく、鉄、コバルト、ニッケルなどの金属、あるいは特殊な合金金属だけが有する。これら物質を「強磁性体」と呼び、いわゆる磁石に付く物質を指す。一方、外部の磁場を除いても磁区が元の状態（図1 a）に戻らないように様々な材料を強磁性体と混合・成形したり熱処理したりしたものを、半永久的に磁力を持つという意味で「永久磁石」と呼ぶ<sup>2)</sup>。これが磁石の原理である。続いて次章において、これら永久磁石の種類と特性に関して詳細に述べる。

## 2. 永久磁石の種類

最近では、百元ショップなどで、多種多様な永久磁石が販売されており、性能などによって用途が使い分けられている。本章ではまず、現在主に実用されている5種類の永久磁石を磁力の小さいものから順に挙げ、その特性や用途について述べる。さらに、それらをまとめたものを、教科書・指導書への掲載の有無などの情報と併せて表2に示す。

- ①【磁石鋼】人工的に作られた初めての磁石である。鉄、炭素、クロム、タングステン、コバルトなどが成分であるKS鋼や、鉄、アルミニウム、ニッケルなどが成分であるMK鋼がある。これらは他の永久磁石に比べて磁力や保磁力（磁力の抜けにくさ）が極めて低く、磁力を保つためにはメンテナンス（鉄片を付けたり、異極同士を付けたりして磁気回路を閉じて保管することや、着磁器を用いた定期的な着磁）が必要であるが、教育現場では古くからこの材質によるU型磁石や棒磁石が活用されてきた。
- ②【フェライト磁石】現在最も生産量が多く、家庭用の磁石ホルダ等にも使用されていることから馴染み深い永久磁石である。酸化鉄が主成分の焼結磁石であり、比較的割れやすいが錆びに強い。後に述べる磁石に比べ磁力はかなり低くなるが、安価であり、あまり高磁場を必

要としないスピーカーや汎用モーター等の装置に幅広く使われている。また、教育現場での磁石教材としても活用されている。

- ③【アルニコ磁石】アルミニウム、ニッケル、コバルト、鉄が主成分であり、フェライト磁石よりも強力な永久磁石である。外部磁場や機械的な衝撃で減磁しやすいことから、磁石ホルダ等には向いていないといえるが、温度による磁力の変化が小さいことから主に計測機器用として使用されている。また、教育現場での磁石教材としても活用されている。
- ④【サマコバ磁石】最初の希土類（レアアース）系磁石であり、これまでの2つの磁石より極めて強力である。サマリウム、コバルトともに生産量が少ないため高価ではあるが、その磁力の大きさと、温度による磁性の変化が小さいことから、小型磁気センサーやレーザー機器等に使用されている。
- ⑤【ネオジム磁石】現在世の中にある永久磁石の中で最も強力である。希土類であるネオジムと鉄とホウ素が主成分であるが、特に鉄が多く含まれていることからサマコバ磁石よりやや安く入手可能である。時計、携帯電話、電気自動車など身の回りで幅広く利用され、小型化、高性能化を目指す分野では更なる需要が期待されている。欠点としては磁性の温度変化が大きいこと、また錆びやすいことが挙げられ、表面には防錆処理が施されていることが多い。

表2. 各永久磁石に関する物性情報と代表的な教科書・指導書への掲載の有無<sup>3-7)</sup>。

種類 (発明年、 国)	鋼製 KS 鋼 (1919日本) MK 鋼 (1932日本)	フェライト (1932日本)	アルニコ (1934日本)	サマコバ (1967アメリカ)	ネオジム (1984日本、 アメリカ)
成分	・KS 鋼 鉄、炭素、クロム、 タングステン、コ バルト ・MK 鋼 鉄、アルミニウム、 ニッケル	酸化鉄 (86%) 酸化ストロンチウム (11%) その他添加物 (3%)	鉄 (51%) コバルト (24%) アルミニウム (18%) ニッケル (14%) 銅 (3%)	コバルト (51%) サマリウム (26%) 鉄 (17%) 銅 (6%)	鉄 (66%) ネオジム (28%) ディスプロシウム (5%) ホウ素 (1%)
特性	・KS 鋼 衝撃で磁力が落ち る、時間がたつと 減磁する ・MK 鋼 形状を変えても磁 力を維持、高熱に 強い、安価	・比重が小さく軽い ・錆びない ・もろく欠けやすい ・磁性の温度変化が 大きい ・安価	・硬くてもろい ・外部磁場や機械的 な衝撃で減磁しや すい ・磁性の温度変化が 小さい	・もろい ・耐食性に優れる ・磁性の温度変化が 小さい ・高価	・磁性の温度変化が 大きい ・錆びやすい ・やや安価
主な 用途	教材 (U 型磁石や棒 磁石)	磁石ホルダ、スピー カー、汎用モーター、 教材 (U 型磁石や棒 磁石)	計器類、スピーカー、 精算電力計、教材 (U 型磁石や棒磁石)	小型磁気センサー、 マイクロスイッチ、 レーザー機器	時計、携帯電話、電 気自動車、精密工作 機械、医療機器
教科書	特になし	信州教育	信州教育、東京書籍	特になし	特になし
指導書	啓林館	東京書籍、啓林館、 信州教育	東京書籍、啓林館、 信州教育	信州教育	東京書籍、啓林館、 信州教育

以上のことから一口に永久磁石といっても、工業的用途に合った様々な特性をもつ複数の磁石が存在することがわかる。これらの中でも実際に教育現場で活用されているのは、従来主流であった磁石鋼、近年教材メーカーからも販売されているフェライト磁石やアルニコ磁石、さらにネオジム磁石である。指導者はこれらの磁石を、児童の学習内容に合わせて学習効果の高まるように選択、活用する必要がある。例えば、磁石鋼は磁力が弱く工業的に加工・製品化し

やすいことから、児童の扱いやすい15～20 cm程度の比較的大きな棒磁石が販売されている。これらは、磁石に付くもの付かないものを調べる際には安心して使用できるといえる。しかし、一方で磁石鋼は同極同士を近づけてもあまり反発する力を実感できないという欠点もあり、極の性質の学習にはあまり向いていないので注意が必要である（反発力が弱い原因については、鋼磁石も主原料が鉄であるため、同極同士を近づけた時に「磁石が鉄に付く」という性質が「同極同士は反発する」という極の性質を上回って作用するためであると推測する）。他にも、磁力をよく確認せずに磁石を選択したことから、磁力が弱すぎて磁石に付くものを児童が磁石に付かないとして認識してしまう場合、あるいは磁力が強すぎるがゆえに思わぬ事故につながる場合も考えられる。「弘法は筆を選ばず」という諺があるが、指導者は小学生の発達段階を考慮し、不要な誤解や事故が無いように「筆を選ぶ」必要があるといえる。

### 3. 磁石に付くもの、付かないもの

磁石に関する基礎知識として「磁石の原理」並びに「永久磁石の種類」についてそれぞれ第1章と第2章に簡単にまとめた。これらの内容は磁石そのものに関する知識であったが、本章では磁石の対象物についての情報を述べる。

一般に第3学年理科の単元「磁石の性質」では「磁石にはどのようなものが付くでしょうか」という問いから導入されることが多いと始めに述べたが、ほぼ全ての教科書における解答として「鉄でできているものは磁石に付く」とまとめられている。この解答に誤りはなく、児童の知識としてはこれで十分である。しかし、第1章でも述べたが、磁石に付く物質は鉄だけではなく、コバルトやニッケル、さらに温度によって磁性を表すものや多元素と合金したりすることによって磁性を表すものも存在する。そのため、指導者としては「磁石に付く＝強磁性体」という認識が必要である（詳細は文献8参照）。

これらの強磁性体について、鉄以外の物質にはあまり馴染みがないと感ずるかもしれないが、現行の50円、100円、500円硬貨はニッケルを含んだ合金（磁石には付かない）からできており、一方、コバルトは特定が困難ではあるが顔料などに利用されている。このことから、ニッケルやコバルトといった金属（元素）は決して特別な物質ではなく身の回りによく存在する物質だといえる。ちなみに、かつての日本では磁石に付くニッケル硬貨（100%ニッケル製、昭和30～40年に発行された2種類の50円硬貨）も存在していた（図2）。残念ながら日本の現行の硬貨には磁石には付くものは存在しないが、海外においては今なお多数存在している。

鉄以外の強磁性体について具体例を挙げて述べたが、前述した通り小学生の認識としては「鉄でできているものは磁石に付く」で十分であり、指導者である小学校教員もそう指導すればよい。しかしながら、強調しておきたいことは、小学校第3学年という発達段階での指導としては正しくても、それが時として『真の科学』を意味しないことに注意すべきということである。近年では小学生向けの科学雑誌や夏休みの自由研究向けの教材、さらにはインターネット上に情報が氾濫しており、学習指導要領を超えた範囲の記述も多々存在する。これらによって新たな知識を得た児童は、それまで『真』と教えられたものが『偽』となることや、その逆もあることに気付く。そのような時に児童を混乱させないためにも、指導者は学習指導要領や教科書、指導書のみの知識で『真』を押し付けるのではなく、指導者が『真の科学』を理解した上で個々の児童の発達段階に沿った指導を行うことが必要だと考える。

以下、上で述べた「真・偽」の視点から、教科書において「鉄」として扱われている「ステ

「ステンレス」と「スチール」を題材として取り上げ、それぞれ3-1小節、3-2小節において解説を行う。続いて3-3小節では、最強磁力を持つネオジム磁石であるからこそ得られるようになった新たな対象物について紹介する。

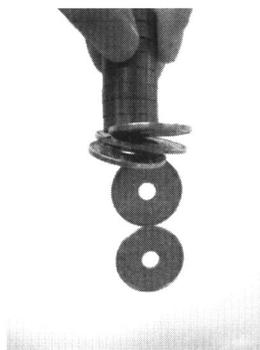


図2. フェライト磁石に付く旧50円ニッケル硬貨。

### 3-1 ステンレスは磁石に付くか

多くの教科書において、身近な鉄の代表例として挙げられているのが「はさみ」である。たしかに金属部分は磁石によく付くことから、一般的には鉄でできていると解釈されやすい。しかし、厳密に言うとその多くがステンレス製であり、はさみの金属部分にも『STEAINLESS (ステンレス)』と刻印されているものを頻繁に目にする。そもそもステンレスとは、鉄にクロムやニッケルなどを添加することにより腐食に強くした金属のことを指す。主成分は鉄ではあるが、容易に錆びを生じ鉄特有の臭いがある純粋な鉄との違いは明確である。混乱させる意図はないが、「ステンレス」を純粋な鉄と認識している児童も多いと予想できることから、時には鉄の本来の姿である「純鉄」に触れる機会を設けることも『真の理解』につなげる手立てになるのではと考える。

さらに、全てのステンレスを、磁石に付く「鉄」として扱うことには注意が必要である。なぜなら、ステンレスは磁性に関する特性で分類すると、磁石に付く、弱いが付く、付かないの3種類に分けられるからである(表3)。

表3. ステンレス鋼の分類と磁性<sup>9-11)</sup>。

分類	マルテンサイト系	フェライト系	オーステナイト系	オーステナイト・フェライト系
鉄以外の代表成分	クロム13%	クロム17%	クロム18%、 ニッケル8%	クロム25%、 ニッケル6%、 モリブデン3%
3桁番号	400番台	400番台	200番台・300番台	300番台
代表鋼種	SUS 420J2	SUS 430	SUS 201・SUS 304	SUS 329J1
磁性	弱いがあり	あり	なし	弱いがあり
特性	強度がある耐食性、溶接性は低い	耐食性、溶接性はやや低い	耐食性、耐熱性、溶接性は良好	強度がある、耐食性、耐酸性は良好
主な用途	航空機用材、刃物、工具	家庭厨房器具、建築材、食器類	建築材、車両、家庭厨房器具	海洋開発関連機器、熱交換機、排煙脱硫装置

表3に示すようにステンレスは利用目的に応じて組成が異なり、それに応じて物理的性質や機械的性質も異なる。JIS規格としては60種ほどの鋼種があるが、世に出回っているものはその中の10～20種程度といわれている。ここでは、具体例を挙げながら「磁石に付くもの、付かないもの」を学習する場面に特化して留意点を述べる。まず、先にも述べたはさみの材質は安価で磁性のあるSUS430が用いられていることが多い。では、見た目では違いが分からないステンレスの流し台はどうかというと、こちらは、特に耐食性に強く磁性の無いSUS304が用いられていることが多い（加工の仕方やその程度により、組成が一部磁性を持つフェライト系に変わる場合がある）。また、はさみについても、台所用などは磁性を持たないオーステナイト系により作られているものも存在する。このように、身近にあるステンレスでも磁石に付くものと付かないものが混在し、『鉄に擬似したステンレス＝磁石に付く』と単純に言うことはできない。つまり、児童が鉄と信じて持ってきたステンレスが磁石に付かなかった場合、『鉄＝磁石に付く』ことを否定せざるを得ない状況が生じる可能性がある。

以上のことから、身の回りに多く存在する“鉄っぽい物”については、先入観を持たずに磁石に付くか付かないかの確認、さらに可能であればその組成を事前に調べておくことが重要である。もし、予想に反した場合においても児童が混乱しないように柔軟な対応が求められる。

### 3-2 スチール缶の不思議

ステンレス同様に、鉄として扱われるケースの多いものに『スチール』が挙げられる。スチール (steel) とは、鉄を主成分とした合金である鋼鉄のことを指し、鉄のもつ性能（強度、靱性、磁性、耐熱性など）を高めたものである。清涼飲料水の容器として使用されるスチール缶でいえば、鉄以外に炭素（0.02～0.06%）とアルミニウム（0.005%）とマンガン（0.03%）が含まれる。つまり、スチールもステンレス同様に純鉄とはいえない。ちなみに、清涼飲料水の容器としてステンレスではなくスチールが採用されているのは、スチールの方が耐食性は劣るが、その分安価であることが理由として考えられる。

では、教育現場に話を戻すと、スチール缶の活用としては、よく「アルミ缶との比較実験」が実践される。これは、「どちらも金属であるが、スチール缶は磁石に付くので鉄でできており、アルミ缶は磁石に付かないので鉄ではない」といった学習に非常に適した教材であるといえる。しかしここでも注意しておかなければならない事実がある。それは、ステイ・オン・タブタイプ（飲み口が本体から離れないタイプ）の上面部分の大半がスチール製ではなく、アルミニウム製であることである（図3）。なお、これについては信州教育出版社の指導書においてのみ触れられている<sup>6)</sup>。このスチール缶のように、一つのもので、磁石に付く部分と付かない部分の両方を持ち合わせているものも少なくない。指導者は、これらについて事前に理解した上で、応用的な比較実験として積極的に活用していただきたい。

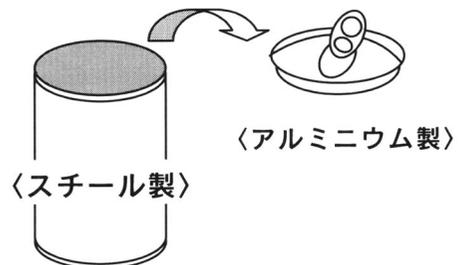


図3. スチール缶をスチール部とアルミニウム部に分けた概略図。

スチール製の本体は磁石に付くが、飲み口がある上面は磁石に付かないアルミニウム製である。

### 3-3 ネオジム磁石に反応する意外なもの

一昔前の教育現場であれば、磁力の弱い鋼磁石やフェライト磁石を用いた実験が主流であったが、近年、ネオジム磁石という強力な磁石の誕生により、従来なら体験できなかった磁性による現象を目にすることが可能となった。そこで、本小節では、ネオジム磁石が引き付ける（または引き離す）ことのできる意外な物の代表例と、その要因を以下に簡単にまとめる<sup>12)</sup>。

①：キュウリやトマト等の水分を多く含む食材

水が反磁性体であるため、磁石を近づけると離れようとする。

②：玄米入りシリアル

シリアルの中の鉄分が磁石に引き付けられる。

③：お札や切符

磁気インクが磁石に引き付けられる（図4参照）。

④：1円玉

磁石を近づけておいて、すばやく遠ざけると1円玉に一瞬電流（渦電流）が流れ磁力が発生し、引き付けられる。



図4. ネオジム磁石に引き付けられる一万円札。

磁石に付くのは鉄という知識しかもたない児童にとって、これらの現象は非常に不思議で新鮮であることは間違いない。児童にとって単なる体験で終わらせないためにも、指導者が鉄以外のものが磁石に反応する理由を説明できる程度の知識を身に付けておくことが望ましい。さらに、永久磁石として最強のネオジム磁石でしか見られない現象であることを強調して頂きたい。ここに示した内容は教科書の範囲を超えてはいるが、科学の発展により発明されたネオジム磁石の強さを実感できるという点では、時代に合った磁石概念の形成につながるのではと考える。

## 4. 磁石を使った応用実験

第1～3章においては磁石そのもの、あるいはその対象物に関する基礎的な内容を中心にまとめた。これらは結果論的な事実または定性的な知識であって、磁石ひいては磁力の特性そのものの知識を習得したとは言い難い。そこで、本章では、磁石の持つ特性について児童から出るさまざまな疑問に適切に対応するために、これらを定量的に理解することを目的として行った応用実験をQ&A形式で紹介する。なお、定量化には磁束密度（単位面積を貫く磁力線の密度）つまり磁場の強さを測定できるテスラメーター（TM-701、KANETEC社製）を使用した（図

5)。このテスラメーターとは、導体に電流を流しながら電流に垂直に磁場をかけることで、電流と磁場の両方に垂直な方向に起電力が生ずる現象（ホール効果）を用いて、磁束密度を測定する機器である。



図5. 磁束密度測定に用いたテスラメーター

#### 4-1 疑問①「鉄を引き付ける力は永久磁石の種類によってどれくらい違うの？」

表2に示したような様々な永久磁石は比較的手に入りやすいことから、教育現場においても複数の種類の磁石を用いた学習が行われている。このような学習の中で、児童は体験的に磁石によって磁力が異なることを知るようになる。では、磁石の種類による磁力の違いを知る（比べる）方法は？と児童に問うとする。予想される解答としては「磁石が鉄に付く時の引力または離す時に必要な力などの体感を基準にした比較」と、「磁石に付くクリップの数（質量）を基準にした比較」の2通りなどが考えられる。前者は定性的な方法であるが、後者は十分定量的な方法である。ここでは、客観的に評価しやすい方法である後者を採用して、クリップを用いた永久磁石の磁力の比較を行うとともに、さらにテスラメーターを用いた磁束密度測定による磁力の比較を行うことにする。ちなみに、市販されている磁石の多くは、磁石表面の磁束密度が明記され販売されており、購入時の一つの判断基準となっている。

実験には、同形のフェライト磁石、サマコバ磁石、ネオジウム磁石の3種類（円柱型、直径20 mm、高さ5 mm、NeoMag社製。表示されていた表面磁束密度（計算値）はそれぞれ276、231、85 mT）を用い、クリップは（ゼムクリップ小、最長23 mm、ジョインテックス社製）を500個使用した。実験の様子を図6に、結果を図7にそれぞれ示す。

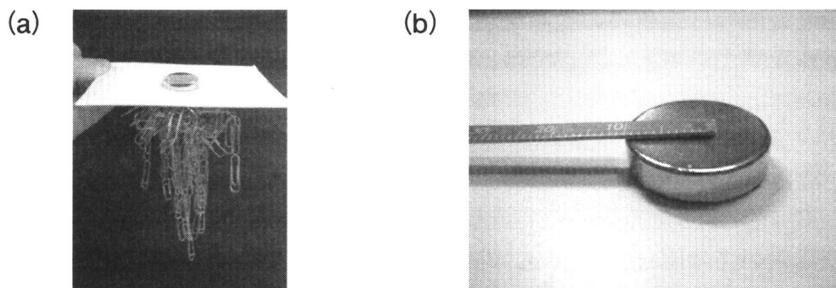


図6. (a) クリップを用いた磁石の評価。厚紙をくり抜き、磁石の底面にだけクリップが付くように加工した。  
(b) テスラメーターを用いた磁石の評価。測定する位置や角度によって磁束密度が異なるため<sup>13)</sup>、磁石極面の中央にホール素子面を密着させて測定した。

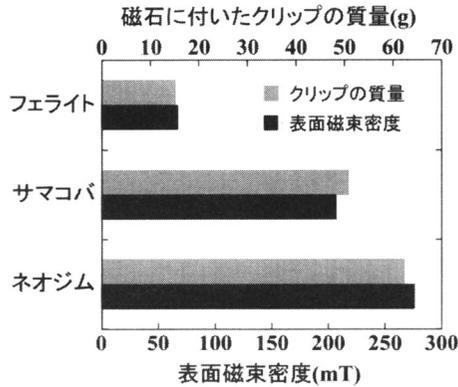


図7. 永久磁石の種類による表面磁束密度と付着したクリップの質量の違い。

結果から、サマコバ磁石やネオジウム磁石などの希土類磁石は、フェライト磁石のおよそ3～4倍の磁束密度を持つことが分かる。このように磁力を数値化することにより、その差を具体的に理解しやすくなる。また、今回それぞれの磁石に付いたクリップの質量の比とテスラメーターで測定した磁束密度の比がほぼ一致したことから、クリップによる評価方法はテスラメーターによる評価の代替として十分活用できるということが明らかとなった。

#### 4-2 疑問②「磁石を重ねると磁力は大きくなるの？」

前項では異なる種類の磁石による磁力の違いを述べたが、続いて同じ種類の磁石間での磁力の違いについて検討を行う。もちろん、着磁方法や形状が異なることで磁力の差は生じるが、ここでは、児童の視点に立ち、磁石の大きさ（SまたはN極における断面積は同じだが長さが異なるもの）に注目することとした。具体的には、前小節で示した円柱形のフェライト磁石を最大20個まで縦に順次重ねることで、擬似的に長さの異なる磁石を作製し、その磁石の大きさによる磁力の違いを測定した。ちなみに前小節と同様に、磁石にクリップを付けてその質量を量る方法（吸着力測定）とテスラメーターを用いて磁石表面の磁束密度を測定する方法の2通りで実施した。

ところで、事前確認として20個それぞれの磁力（N極のみ）を測定したところ、最小のものは最大のものの70%程度の磁力しかないという思いもよらなかった副産物的な重要な事実（知識）を知ることとなった（図8a）。さらに、百円ショップで購入した同形（円柱型、直径20mm、高さ5mm）の20個のフェライト磁石についても同様な結果を得た（図8a）。これら事実から、磁力の個体差は決して偶発的なものではないこと、さらにこの差があることを想定して実験を行う必要があることが理解できる。つまり、教育現場においては実験目的によっては、たとえ同種同形状の磁石であっても個々の磁力を事前に確認を行い、個体差の小さいものを使用させるべき場面があると考えられる。

本実験においては、できる限り定量的に実験を行うために、磁力の大きい磁石から順に重ねることにした。結果を図8bに示す。

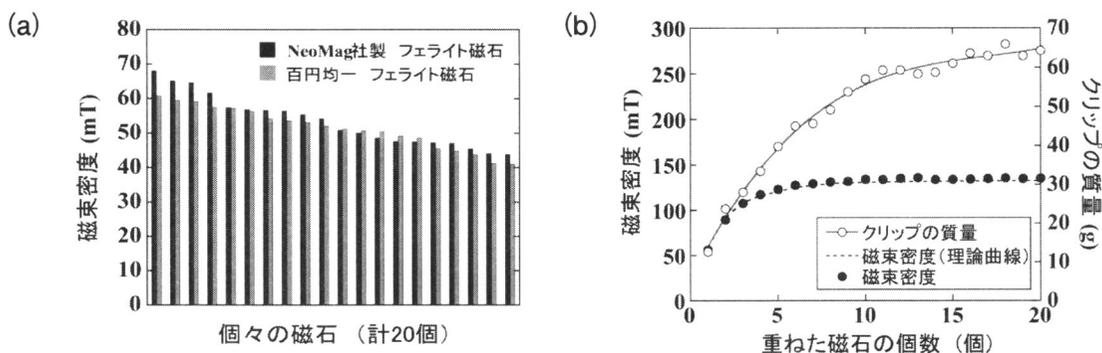


図8. (a) フェライト磁石20個それぞれの磁束密度。磁束密度の大きい順に並べた。  
 (b) NeoMag社製フェライト磁石を順に重ねたときの磁束密度の変化。なお、実線は実験結果を考慮したもっともらしい曲線(近似曲線)である。

磁石の数を増やすにつれて極面における磁束密度の増加が観測されるが、その変化率は徐々に小さくなり、5個以上においては顕著な差が見られなかった。これについては、追加された磁石から磁束密度の測定面までの距離がしだいに離れていくことで、追加された磁石による影響が小さくなるのが起因すると考えられる。このことは円電流モデルによって既に半定量的考察がなされており、以下に紹介する<sup>14)</sup>。はじめに、円柱状の磁石を近似的に1つの円電流に置き換え、磁石の断面積の半径を $a$ 、厚さを $d$ とすると、半径 $a$ の円電流 $I$ がその円の中心から、中心軸上の $x$ の距離につくる磁場の強さ $H$ は、

$$H = \frac{Ia^2}{2(a^2 + x^2)^{\frac{3}{2}}} \quad (1)$$

と表される。次に、追加される磁石を、間隔 $d$ をとって軸方向に $n$ 個重ね合わせた場合の円電流と見なし、それぞれの円電流による磁束密度を合成することにより、一般式として以下の関係式を得る。

$$H(n) = \sum_{i=0}^{n-1} \frac{Ia^2}{2\{a^2 + (x + id)^2\}^{\frac{3}{2}}} \quad (2)$$

また、磁束密度 $B$ は磁場の強さ $H$ との関係式として透磁率 $\mu$ を係数とする $B(n) = \mu H(n)$ と表されることから、(2)式で表されている関係式は磁束密度においても同様に表されると考えて良いことがわかる。今回は磁石を20個用いたことから、実測として $a = 10 \text{ mm}$ 、 $d = 5 \text{ mm}$ 、 $x = 2.5 \text{ mm}$ を採用し、さらに相対的に実験値との比較を行うために係数として残った $\mu I = 1.3$ と仮定することにより、 $B(n=0)$ から $B(n=20)$ までの計算を行った。得られた理論曲線

を図8bに示す。実験結果と非常に良い一致をすること、さらに磁石の数を円の数と仮想イメージしやすいことからこの円電流モデルは非常に良いモデルといえる。一方、クリップの質量変化に注目すると、磁石の数が増えても連続的に増加していることから一見、この現象の原因を説明できないのではと思われる。しかし、テスラメーターを用いた測定及び円電流モデルが「点」における磁束密度を評価したものであるのに対して、クリップの場合は「面」での磁場の強さの変化を評価していることから相違は当然のことである。一般に「面」における変化量は「点」の変化量より大きいこと（単純には二乗）、さらには面のみについたクリップのみでなく立体的に連なったクリップの質量を求めたことから磁石の数の増加に対する磁力の増加傾向は強くなり、図8bに示す結果を得ることとなったと予想する。

本実験は数個の円柱型の磁石（同一種類）があれば簡単に実践できるため、4-1小節の実験と同様、教育現場での磁力の定量化の題材には適しているといえる。児童にとって「弱い磁石でも重ねると強くすることはできる」という事実を知ることが新しい発見となり生活に生かせる知識となるとともに、その後学習するだろう磁場や磁力線の概念形成にも役立つことを期待できる。

#### 4-3 疑問③「磁石と鉄が離れていても磁力は働くの？」

「磁石の性質」同様に小学校第3学年で学習する「電気の通り道」の単元においては、電気は回路になっていなければ通らない、つまり電気の通り道が離れていたら電気は通らないということを学習する。このことから「磁石の力は離れていても働くか」という設問に対し、磁石の力も電気同様に離れていたら働かないと予想する児童も少なくないと考える。教科書においては、この疑問を調べる方法として、糸の片方にクリップ、もう片方を机に固定し、磁石とクリップの間を空けながらクリップを持ち上げる実験や、クリップに磁石をゆっくり近づけた時の手ごたえを確かめる方法が提案されている<sup>5)</sup>。定性的にはこれらの実験で十分であるが、ここでは距離と磁力の減衰の関係を定量的に理解するため、磁石表面からの距離と磁力の変化の測定をテスラメーターを用いて行った結果を紹介する。磁石はこれまでと同様のネオジム磁石とフェライト磁石（円柱型、直径20 mm、高さ5 mm、NeoMag社製）の2種類を用いた。なお、磁石と鉄の間にものがあった場合の磁力の減衰を確かめるために、磁石とホール素子の間に厚紙を挟み距離を変化させる実験もネオジム磁石を用いて実施した。結果を図9aに示す。

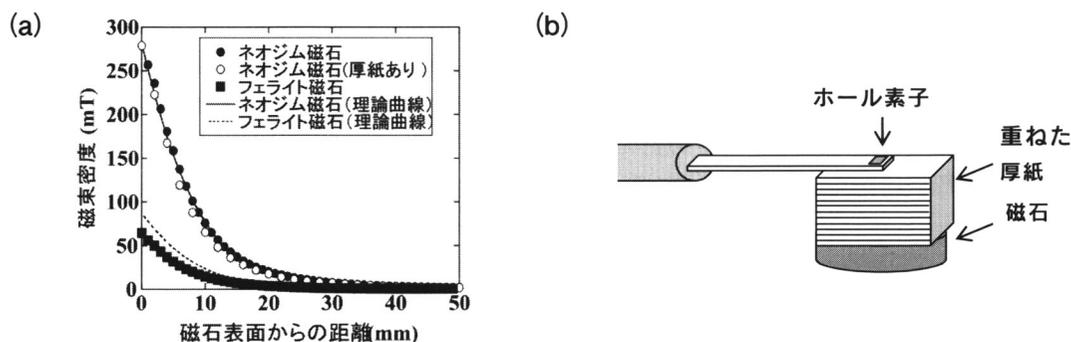


図9. (a) 磁石表面からの距離と磁束密度の関係。磁石表面の中心を原点とし、ホール素子が常に中心軸上を移動するように測定した。  
 (b) 磁石とホール素子の間に厚紙を挟み、測定している様子の簡略図。

ネオジム磁石、フェライト磁石共に距離に依存して磁束密度が減少する様子が観測された。これは一見、“磁力は距離の二乗に反比例する”というクーロンの法則に従っているように見える<sup>7)</sup>。しかし、この法則は仮想的な微小磁極間のみで成立するものであり、電荷と異なり極性を分割できない、さらには大きさや形状を持った永久磁石においては、単純な関係式を用いて議論することは困難である。そこで、今回はネオマグ株式会社が公開している「磁石空間磁束密度・吸着力計算ツール」を活用して磁束密度の理論値を求め、その理論値と実験値の比較検討を行うこととした<sup>15)</sup>。図9aに示すネオジム磁石に関する理論曲線は実測と非常に良い一致を示し、磁石表面からの磁束密度の距離依存測定の結果の正当性が示された。一方、フェライト磁石に関しては理論曲線と2割程度のずれが生じているが、これは理論曲線が磁石会社により計算されたあくまで「理論」値であること、さらに4-2小節で述べた磁石の個体差が起因していると考えられる。つまり、そもそも磁石表面における磁束密度の違いの影響を受けただけと考える。本来、理想的な表面磁束密度を持つ磁石を選択し、実験を行うことが望ましいが、ここでは個体差が物性評価としてどのような変化・評価を受けるかを示すためにあえて理想的でない結果を示した。なお、厚紙という障害物が存在する磁力の減衰の結果からは、空気中での磁力の減衰とほぼ変わらないことが分かった。このことから、身近にある紙を用いた「距離による磁力の減衰実験」が可能であるということが言える。

本実験のようにテスラメーターといった計測器を活用することにより“磁力（正確には磁束密度）の数値による可視化”が可能となる。しかし、小学校という教育現場において、数値による理解が必ずしも良い効果を得るとは限らない。テスラメーターによる測定は、数値による定量化が可能であること、さらに磁力が距離によって図9aに示す減衰曲線に従った変化を行うことを指導者側への知識として理解すれば十分である。なお、紙が磁力の減衰にほぼ影響が無いことから、児童には、厚紙を挟んだ状態で磁石に付くクリップの数（質量）の変化を調べることによって図9aに示した結果と同等な結果が得られるので、そちらをお勧めしたい。

#### 4-4 疑問④「釘を磁石にするためにはどれくらい磁石でこすればいいの？」

教科書や指導書には釘などの鉄の棒を一時的に磁石にする方法として永久磁石の極の部分でこすりつけることが紹介されている<sup>4-6)</sup>。一般的に、こすりつける回数が増えると釘の磁力は増加すると感じる児童は多く、そう信じた児童は熱心にこすりつけることが予想される。しかし、啓林館の指導書に「回数を多くすればするほど強くなるものではない」と記載されていることからわかるように回数の依存性は明確ではない<sup>5)</sup>。そこで、本小節では磁石を釘にこすりつける回数と磁束密度の関係性を測定した結果を紹介する。実験はフェライト磁石の棒磁石（3型、ケニス株式会社製）のS極（表面磁束密度76.5 mT）で、釘（長さ32 mm太さ1.9 mm、八幡ねじ製丸釘）を図10aのようにこすり、こすりつけた回数とその後の釘の磁束密度の相関を調べた。磁束密度は釘の先端部における測定を行い、得られた結果を図10bに示す。

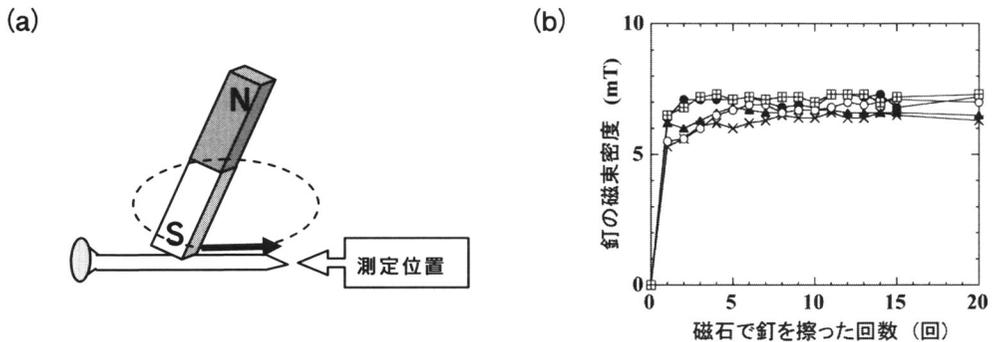


図10. (a) 鉄釘を磁化する様子の簡略図。釘の中央から一方向にしっかり当てて擦った。  
 (b) 磁石で釘を擦った回数と磁束密度の変化。5回測定した結果をそれぞれプロットした。

釘の磁化はたった1回で行われ、その後回数に従って微増するものの5回を超えるとほぼ一定という結果を得た。用いた磁石や対象物によって変化の違いがあるとは予想されるが、一般には擦る回数が磁化に大きく影響は及ぼさず、さらに磁化には限界があると考えられる。教育現場においては、指導者がこの事実をそのまま児童に伝えるのではなく、児童が自ら手を動かして探究することで、「擦れば擦るほど釘の磁力が強くなるわけではない」という気づきを誘導して頂きたい。

## 5. 自然の中にある磁石教材 (山口県萩市の須佐高山<sup>すさこうやま</sup>)

教育現場における磁石の学習は、人工的に商品化した磁石を用いて学校や家庭などの屋内で行われている。しかし、そもそも地球が大きな磁石であり、同様に磁石の始まりは各地に点在する天然磁石に他ならない。そこで最後の章として、屋外での自然を対象とした磁石の学習についての紹介を行う。

自然界に存在する天然磁石とは、例えば「落雷で地表に大電流が流れて強い磁場が発生した」などの要因により磁石になった石や岩(磁鉄鉱)を指し、日本では代表的な場所として、富士山のふもとにある青木ヶ原の樹海、長野県大日向鉱山などがある。我が山口県、萩市の須佐高山にも国の天然記念物に指定された天然の磁石石があり、方位磁石・クリップ・テスラメーターなどを用いた格好の学習の場となっている(図11)。この屋外の天然磁石の学習は小学校理科「磁石の性質」に関する学習のみならず他分野とのリンク、例えば斑れい岩や磁鉄鉱など鉱物に関する学習(理科地学分野)、天然磁石から永久磁石を経由した電磁石への発展に関する学習(中学校理科)、さらには地域の歴史・産業学習(磁鉄鉱から鉱山へのつながり)などが考えられ、幅広くかつ深い学習への展開が期待される。このように本物に触れる体験は、児童にとっても大変印象深いものとなるとともに、多方面から「磁石」を捉えることのできるよい機会となると期待する。

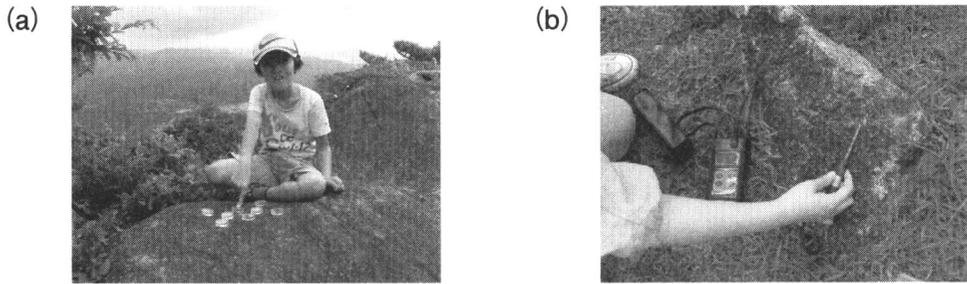


図11. (a) 須佐高山山頂に露出した岩（磁石石）上における方位磁石を用いた実験の様子。  
 (b) テスラメーターを用いた磁石石表面の磁束密度測定の様子。

## おわりに

本論文は、小学校第3学年「磁石の性質」に着目し、教科書や指導書には掲載されていないが指導上重要だと考える磁石に関する基礎知識並びに目に見えない磁力の概念形成のための応用かつ定量的実験をまとめたものである。本論文を通じて、身近であるがゆえに既に理解されているかのように扱われていた「磁石」にも実は様々な科学が隠れていることがご理解頂けたことと思う。また、生活に密着した「磁石」という題材は、その力や特性を目視などで直接的に観測できないことから、児童にとっては大変興味が湧きやすい一方で、学習しにくい部分でもある。だからこそ、児童の科学的な思考力・表現力の育成のためには良い単元であり、その見えない力をクリップやガウスメーターなどを用いて可視化する等、指導法に工夫のやりがいがあるのではと考える。本論文での知見がその一助になれば幸いである。

## 引用文献

- 1) 文部科学省 (2008) : 『小学校学習指導要領解説 理科編』大日本図書.
- 2) 石井重三 (1988) : 『発明家のための磁石の使い方』日刊工業新聞社.
- 3) ネオマグ株式会社 : 「NeoMag」-「磁石ナビ」-「磁石の成分」 : [http://www.neomag.jp/mag\\_navi/mames/mame\\_seibun.php](http://www.neomag.jp/mag_navi/mames/mame_seibun.php)
- 4) 東京書籍 (2011) : 『小学校理科教科書「新しい理科3」教師用指導書 資料編』東京書籍.
- 5) 啓林館 (2011) : 『小学校理科教科書「わくわく理科3」指導書第二部詳説研究編』新興出版社啓林館.
- 6) 信州教育 (2011) : 『小学校理科教科書「楽しい理科3」教師用指導書』信州教育出版社.
- 7) 加藤哲男 (1995) : 『磁石の世界』コロナ社.
- 8) 谷腰欣司 (1996) : 『磁石のはなし』日刊工業新聞社.
- 9) 鈴木聡 (2011) : 「ステンレス鋼活用の基礎知識-歴史, 特性, 耐食性-5, ステンレス鋼材料の選択の指針」材料第60号 p.957-963, 日本材料学会.
- 10) ステンレス協会 (1995) : 『ステンレス鋼便覧 第3版』日刊工業新聞社.
- 11) 「ステンレス鋼専門情報サイト」 : <http://www.susjis.info/index.html>
- 12) 小野輝男ほか (2007) : 『Newton(2007年11月号)「電気」の時代を生みだした「磁石の可

能性』』 ニュートンプレス。

- 13) ネオマグ株式会社：「NeoMag」-「NeoMag ショップ Top」-「磁石の表面磁束密度、吸着力測定方法」 [http://www.neomag.jp/neoexpress/support/gauss\\_force\\_measurement.php](http://www.neomag.jp/neoexpress/support/gauss_force_measurement.php).
- 14) 高橋善樹 (2001)：「重ねた磁石はどこまで強くなるのか？」 <http://homepage2.nifty.com/ysc/>
- 15) ネオマグ株式会社：「NeoMag」-「磁石ナビ」-「磁石空間磁束密度・吸着力計算ツール」 [https://www.neomag.jp/mag\\_navi/gausscal/gauss\\_form\\_cylinder.php?mode=1&magtype=1&ctype=1&gradename=1](https://www.neomag.jp/mag_navi/gausscal/gauss_form_cylinder.php?mode=1&magtype=1&ctype=1&gradename=1)