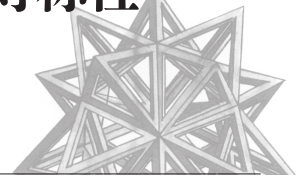


フレミングの左手の法則と左右対称性



村田次郎 むらた じろう

立教大学理学部

フレミングの左手の法則は、実は「右手の法則」でも構わない……。そんなことを言われたら戸惑ってしまうだろうが、これは本当である。中学校・高校であれほど一所懸命に覚え込んだ左手の法則だが、そもそもの大原則として物理学の法則では右と左を区別できないはずなのだ。この深遠な原理を知ってしまうと、右や左が名前に登場する法則自身、あってはならないものはずである。

鏡の中の世界と、外の世界で物理法則は変わってはならない、という厳しいルールがこの「対称性」という性質だ。今回はこの深遠な原理と磁気の法則の「矛盾」について考えてみよう。

磁石の不思議

まず、磁気の性質について考えてみよう。棒磁石にはN極とS極があって、違う極同士は引き合い、同じ極同士は反発する。地球そのものにも磁石の性質がある(図1)。ちなみに北極はNorth Poleだから名前からしてN極になる気がするが、実際には磁石の性質としてはS極である。方位磁針の、北の方角を向く側の磁針をN極と名付けてあるから、それが磁力で引かれるのはS極だからである。

この磁石の性質は誰でも知っているが、ではなぜ、磁石にN極、S極があるのかというしくみはずっと難しい問題だ。例えば、図2のように棒磁石をN極、S極の境で二つに切断するとN極だけ、S極だけの磁石が出来そうだが、これ

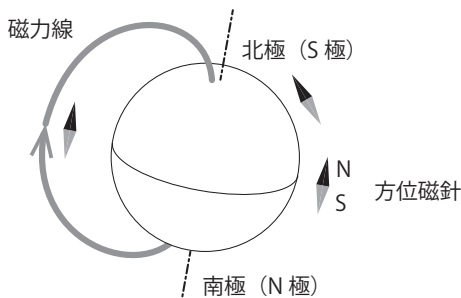


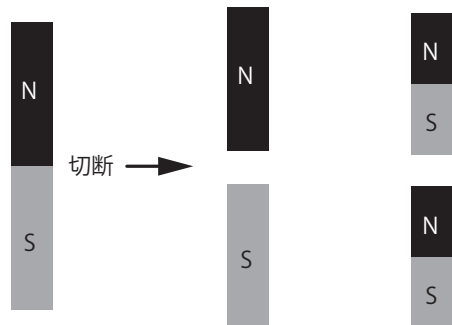
図1—地球も磁石(北極はS極、南極はN極)

は絶対に出来ない。実際にはそれぞれ、切り落とした部分に新たにS極、N極が出現してしまい、結局小さい二つの普通の磁石が出来ただけである。なんと大学入試センター試験にもこの楽しい問題が出題されたことがある¹⁾。

このように、磁石による力はおそらく電気による力よりも身近なものである割には、「あれ、なぜだろう?」と思わせる不思議さがある。これらの不思議に対する“答え”は頭ごなしの知識として知ってはいても、腑に落ちるのは高校以降で物理を学んでからになる、意外と難解なものなのである。

磁気について整理して考えるポイントは、磁気

元の磁石



NとSが分離? 二つの磁石?

図2—磁石を切断すると、単体の磁極にならず、小さな二つの磁石になる

の元であるN極、S極を一旦忘れて、電流を出発点に据えることである。本稿ではこの態度にもとづいて、磁気と鏡の関係の問題に挑戦してみよう。

2本の電流にはたらく力

磁気現象を考えるには、逆説的だが磁石をもとに考えない方がよい。磁石の性質はその親しみやすさとは裏腹に、一筋縄ではいかない複雑なしくみになっていることがわかっているからである。特に、地球がどのように磁性をもつかも長年の謎である。

さてモーターに使われる電磁石のように、電気を使うと磁気現象が起きることは馴染みのものであるが、それは我々が科学技術文明に生きているからである。

電気と磁気は現代では似たものと思われているが、それは電線に電流を流すと、そのそばに置いてある方位磁針が動くことをエルステッドが1820年に科学的に発見したあとに確立した科学的知識である。驚くべきことに、無関係と思える電流と磁石の間には、力が生じるらしい。磁極は磁場があるときに力を受けるものなので、これは電流が磁場を発生させたものと考えるのが自然だ。互いに別物と思われていた電気と磁気が結び付けられて、電磁気力という「統一理論」へと向かい始めた第一歩である。そして、それは現代文明を支える電磁気学として後年、完成した。

さて、この力は電流と磁石とが互いに引き合ったり斥け合ったりするので、磁石が置いてあれば、その場所の電流も反作用を受けて力が生じることになる。エルステッドの実験に触発されて電流と

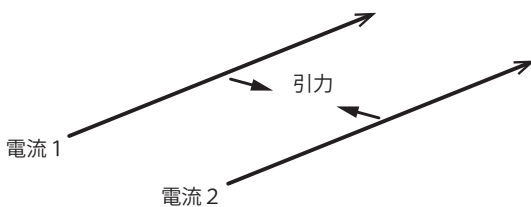


図3—平行な電流の間には引力がはたらく

磁性の関係を詳しく調べたアンペールは、今度は2本並べた電流の間にも力がはたらくことを見出した。図3のように、磁石がなくても電流だけの間にも力がはたらくのだ。面白いことに、平行電流は電流の向きが同じなら引力、逆向きなら斥力になる。何か磁石に似ているではないか。

コイルと磁石

次に直線的な電流ではなく図4のような、らせん状に巻きつけたコイルについて考えよう。コイルの隣り合う導線同士は同じ向きに電流が流れる平行電流になっているから隣同士、互いに引力がはたらいているはずである。だから、一本の長いコイルを真ん中で切断すれば、その切断部分の両側の平行電流の間にも引力がはたらく。こうして二つのコイルの端同士は磁石と同様に引き合うことから、コイルと磁石は磁気的な性質としては同類と見なせそうである。実際、本物の磁石は小さなコイルの寄せ集めとイメージすればよいことがわかっている。図4のようにコイルを棒磁石とみなせば、磁力線が横方向に発生しているはずだ。

コイルの両端には磁石同様に磁力線が出てくるN極、入り込むS極があるわけだから、コイルを切断するとそこに新たなN極、S極が出現するのは幾何学的に言って当然である。だから逆に、本物の磁石も切断すればそこにN極、S極が出現するのも自然と思えるだろう。

このように、磁気現象はコイルなどの電線を電気が流れる、電流にもとづいてその力を考えるとすっきり整理できる。実際、電磁気学ではすべての磁気現象の源は磁極ではなく電流であると考えられており、逆に単体の磁極にもとづく磁気現象には信頼できる観測例が一つも見つかっていない。

ところで電流という現象は電気の動きである。例えば転がしたボールは摩擦などのせいでやがて止まるので、電流をボールの動きとしてイメージすれば、これもなんらかの摩擦で止まるはずだ。磁石の源が電流だと思えば、磁石の磁性がすぐに

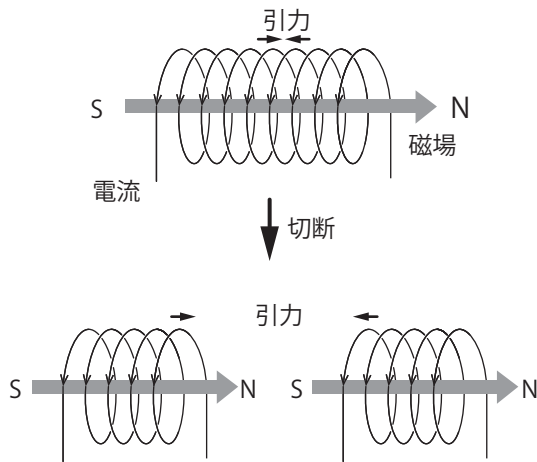


図4—コイルを切断すると、N極、S極が現れる

消えたりしないことから、電流がずっと止まらずに流れ続けていることになる。これはまるで永久機関に思える。

実は筆者は小学生時代、エネルギー問題を解決できそうな永久機関を発明するのが夢だった。永久機関にはエネルギーを生み出す第一種永久機関と、エネルギーを生み出すことはできないが、止まらずに動き続ける第二種永久機関がある。もちろん、その夢は早々に頓挫したわけだが、高校で原子の構造を学んだときにその夢を思い出した。原子核の周りを電子が回り続けている原子は、エネルギーこそ取り出せないが、止まらずに動き続ける永久機関ではないか、と。

実は電磁気学を使うと、電子は回り続けずにやがて動きが止まってしまうことになる。この重大な疑問は、1世紀前に量子力学を生むきっかけの一つになったものだ。これは空前絶後の大論争を経て見事な解決を見て、この回転する電子の動きが磁石の素になっていることがわかった。原子は小さなコイルであり、そして磁石なのだ。

磁気の法則

さて、電流に力がはたらく現象に話を戻そう。この電流による磁気現象を考える際の最強ツールが、図5のアンペールの法則(右ネジの法則)と、図6のフレミングの左手の法則である。

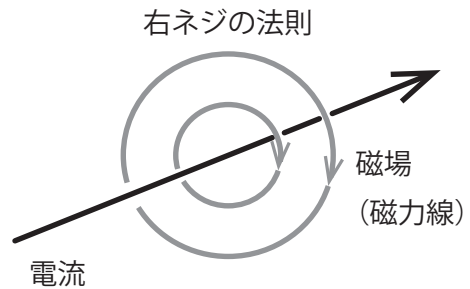


図5—アンペールの法則(右ネジの法則)

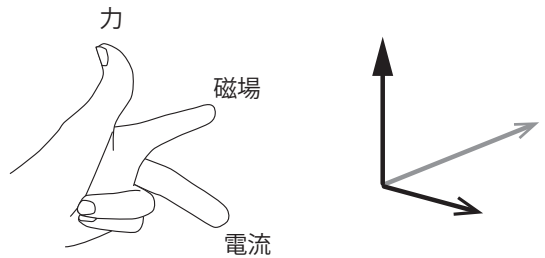


図6—フレミングの左手の法則

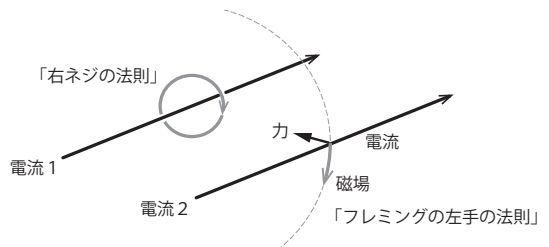


図7—平行電流にはたらく力の説明

これらを使うと、平行電流にはたらく力が引力になることは、磁場を経由して説明することができる。図7で、電流1は電流を軸として時計回りに回転する磁場を発生させるので、右にある電流2の位置での磁場は下向きである。電流2が手前から奥向きに流れるので、ここでフレミングの左手の法則を使うと力が左向き、つまり引力になることが説明できる。これは世界中の学生が学ぶ標準的な考え方である。

平行電流にはたらく力を説明するだけであれば、こんな説明のしかたは複雑すぎるとも思える。しかしこの二つのルールは、平行電流以外の多種多様な電磁現象が説明できてしまう万能ツールであり、電磁気学の重要な柱を成している。

パリティ対称性

次に本稿のもう一つのキーワードである対称性について考えよう。まず、鏡で左右が入れ替わるのはなぜか²、など右と左に関する不思議は数多くあるが、数学・物理学的には右と左に本質的な違いはない(本連載第1回「鏡の世界が左右反対なのはなぜか」参照)。3次元空間で、前後、上下を定めたときの残る水平方向の軸の向きの名前に過ぎない。ある軸のどちら向きをプラス、マイナスと定義してもよいように、左右の決め方も自由、つまり任意だ。これを、左右の決め方に任意性があるという。

紙面に書かれた「p」と、「q」というその鏡文字は、左右に反転したものであって、紙面内でどう回転させても互いに同じ形にはできない。しかし、これらが透明なシート上に書かれた文字だったのならば、紙面に垂直な方向(表裏)に飛び出す動きを認めれば、単にシートをひっくり返すことで「p」は「q」になる。2次元での反転が、3次元空間での回転で表現できたわけだ。

このように、反転は回転と密接な関係があり、回転によって形が変わるようなことが起きないのと同様に、反転も本質的な違いを生まないのではないかと素朴には思える。左右の反転など、何らかの反転操作をしても物理的な性質は変わらないだろう、という予想がある。これが対称性という重要なキーワードである。

例えば、何らかの現象が起きる頻度を考える。現実の世界でつねに平均して毎秒100回起きる現象が、鏡の中ではつねに平均して50回しか起きないような現象は存在しないはずだ、というのが物理学における「鏡映対称性」だ。またの名を「パリティ対称性」という。両者は厳密には同じではないが、ここでは同じと思って差し支えない。

さて、世の中に流通するネジはほとんどが右ネジである。これを鏡に映せば逆向きにネジが切られた左ネジになる。現実の世界の人間が右ネジを作る場合と、鏡の中の人間が右ネジを作る場合とで頻度が大幅に違うことになるので、ネジを作る



図8—ラムネの瓶は左ネジになっている

という現象においてパリティ対称性は破れている。実際には、このように鏡に映すと不自然な現象、つまりパリティ対称性のない現象の方が私たちの身の回りにはむしろ溢れかえっている。

これを物理学では、法則としては右ネジも左ネジも本来は平等に作られるはずなのだが、現実には後天的な理由で右ネジに偏っている、つまり対称性が破れているからだ、と考える。右利きの人が多く、右手でネジを締めやすい向き、つまり右ネジが好まれる。一旦、右ネジの流通が増えると少数派の左ネジは混乱を生むので生産が経済的に不利になる、などと理解できる。標準化した製品は強いのだ。

なお、右ネジ優勢のこの状況を積極的に利用しているものの一つがラムネの瓶である。ラムネの瓶は飲み口が蓋になっているが、これは本体に接着ではなくねじ止めされている。図8の写真の通り、これが左ネジなのだ。中からビー玉を取り出されないように、という工夫だろうか。このことを知ってさえいれば、いつもと逆向きにひねればラムネの瓶を開けて子ども達のヒーローになれる。割と有用な豆知識だ。

そのほかにも、ネジの緩みを防止する意味で自転車のペダルは左右で右ネジ・左ネジが使い分けられていたり、高圧ガスのボンベでは不燃性ガスでは通常の右ネジだが、可燃性ガスでは安全対策の注意喚起のためにわざと左ネジが使われていたりする。街灯の電球には盗難防止策として左ネジが使われたこともあるらしい。

我々の身の回りに多数ある、パリティ対称性を破っている物や現象はすべて後天的なものであり、その根底にある物理法則はパリティ対称性を厳密に守っているはずである。これは、日常感覚では重いものほど速く落ちる気がするが、実際には自由落下ではすべてのものが同じ加速度で落下する、というガリレオの発見に似ている。つまり、目の前の現象では空気抵抗などによって破れている対称性や普遍性・一様性が、その背後の物理法則においては守られているはずであるという考え方があり、近代科学の底流にある思想でもある。

上記の自由落下の一様性は有名であるが、ここで話題にしているパリティ対称性は今一つ馴染みが薄く、応用もさしてないためになかなか触れる機会がないだろう。しかし、物理学の考え方の根本に位置する非常に重要な原理であり、現代科学の礎と言っても過言ではない程の至高の知識である。

磁気の法則とパリティ対称性

モーターはもとより電磁現象を極限まで利用し尽くしている現代文明にとって、電磁気学はもともと信頼されている、物理学が自信をもって成果を誇る最高傑作であり、磁気の法則はその一部である。

一方、すべての物理法則が満たすべきであるパリティ対称性の原理は、電磁気学も当然これを満たさなければならない。法則の格で言えば対称性は別格であり、電磁気学といえどもその上に築かれる各論に過ぎず、この原理に従わなければならない。

ここで大問題が発生する。「右ネジの法則」、**「フレミングの左手の法則」**とは、パリティ対称性の観点からケシカランではないか！ ということだ。右ネジは鏡に映せば**“左ネジ”**になってしまう。物理法則が鏡映反転で変わってしまう。法則の内に**「右」**や**「左」**という語を含む時点で失格だ。

これは深刻な問題だ。磁気の法則も対称性もど

ちらも重要な知識として教科書で学ぶ基本事項にもかかわらず、互いに真っ向から矛盾している。非常に信頼されている条例が憲法に違反している状況だ。

これは弱った。ものすごく困ったことになった。この問題は、しっかり勉強する大学生が一度は直面する壁だ。そして不思議なことに、肝心の教科書で触れられていないことが多い。もちろん、あらわに書いてある親切な本もあるが、例外的である。「**「ファインマン物理学」**」³はその例外の一つだが、電磁気学ではないII巻の第27章でこの話題を扱っている。名文であるので本稿とあわせて一読をお勧めする。

ところでパリティ対称性は、本質的に右と左を区別する方法はないですよ、ということを意味している。もし、世界中の全員が右と左のどっちがどっちだったかを忘れてたら、記録がなければそれを思い出す方法がない、ということだ。心臓があるのは普通は左側、など右と左を区別する現象の記録がなければ不可能だ。

だから、心臓がどっちにあるかわからない、遠くの異星人に左右を伝える方法はないでしょう、という**「オズマ問題」**と呼ばれる有名な問題がある。使えるのは音声通話かテキストによる会話だけで、イメージを使ってはならない。

心臓はもちろん、文字など共通の情報がないので左右を伝えるのは不可能と思われるが、そこでさっそうと登場するのが**「フレミングの左手の法則」**だ。物理学の法則には場所を選ばない普遍性があり、異星人のいる場所だろうと地球だろうとそこでの物理法則は変わらないはずである。同じ宇宙だからだ。

そこで図9の通り、**「まず、電子の流れと逆向きを電流の向きとする。そして、その電流を磁場の中におけ。磁場が前向き、電流が受ける力の方向が上向きするとき、電流の向きが『右』だ」**などと左右を伝えられそうだ。

これは説得力がある。だがしかし、こうして左右が伝えられるのであれば、それはパリティ対称性を破ってしまう。フレミングの左手の法則を使



図9—左手の法則を使った左右の伝え方

ったからである。つまり、フレミングの左手の法則を共通の法則とすることは大事な、大事なパリティ対称性を破っていることを認めることになる。

さて、どうしてこんなことになってしまったのか。先ほどのセリフをもう一度見てみる。電子はこの宇宙で、普遍的に存在すると考えられる。なので、電流の向きの定義はこれで混乱はないだろう。力も物体の加速度として定義するので混乱はない。しかし、磁場はどうだろうか？ これは、右ネジの法則で向きを覚えていたのだった。しかし、今はそもそも左右が定まっていないので、「右ネジ」とはどんなねじかを伝える方法がない……。もしかすると、この方法も使えないのではないか？

鏡とコイル

左右を伝える問題では、物理法則の普遍性の下に、フレミングの左手の法則を共通法則として使って左右を伝えられそうだった。だが、これは磁場の向きの定義の際にすでに右を知っていることを仮定しており、暗礁に乗り上げてしまった。

磁場の向きは、図1のようにN極からS極に向かう向き、などと定義される。これは、電場の向きがプラス電荷からマイナス電荷に向かう向き、と定められるのと同じだ。しかし前に見たように、電子などのもつ電荷が源になる電場とは違って、磁場は電流が源であって磁極には実体がない。

右ネジの法則だと磁極とは何かがわかりにくいので、図10のコイルで考えよう。ねじ状の図4とは違って、単一のリング状の電流だ。すると、図10の状況だと磁力線は左右に発生し、右ネジの法則に従って考えればコイルの作る磁場は右を

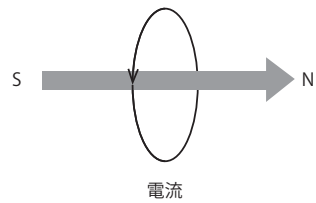


図10—コイルの作る磁場

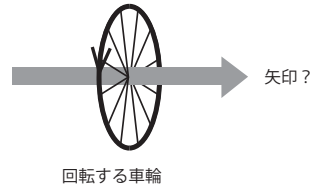


図11—自転車の車輪

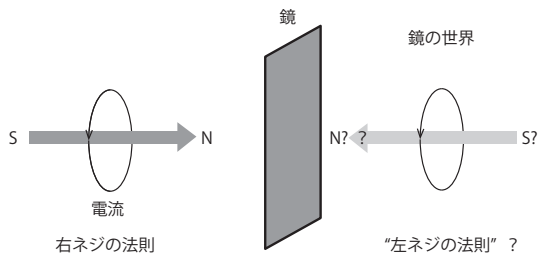


図12—コイルを鏡に映す

向く。このコイルが図11のように自転車の車輪だと思えば、左から右に「何かの矢印」が向くらしい、ということだ。これには角速度という名前がついている。しかし、この車輪にそのような左右の違いはあるだろうか？ ただ、縦向きに回転しているだけではないのか。形状も動きも、左右対称ではないか。

さて、図12のようにコイルを鏡に映してみる。すると、磁場を表す矢印はベクトルだろうから、鏡に映せばその向きは左右が入れ替わる。しかし、コイルの回転電流の向きは変わらないから、これはアンペールの法則が鏡の中では“左ネジの法則”に変わることを意味している。これは問題だ。鏡で物理法則が変わってしまうからだ。以降、混乱を避けるために普通とは左右が逆になっている法則の名前には引用符(“”)を付けて表現する。

これは図13の車輪の場合も同じだ。ところで、自転車の車輪もコイルも、それ自身は左右方向に

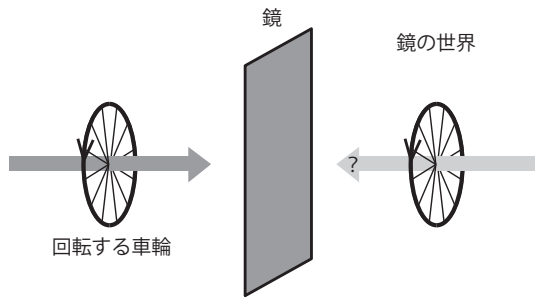


図 13—車輪を鏡に映す

は動いていない。鏡に平行な面内で回転運動をしているので、鏡に映しても運動状態は何も変わらない。何も変わっていないはずなのに、磁場ベクトルの向きが左右方向に変わるとは何事か。

謎解き

これで準備は整ったので、謎解きをしよう。初心に戻って平行電流の問題を考える。図7ではこれを、右ネジの法則とフレミングの左手の法則を使って説明した。平行電流に引力がはたらく、という現象は鏡の中でも変わらないはずだ。

ここからが本丸の応用問題だ。これを図14のように鏡に映すとどうなるか。電流も力も鏡の面に平行なので、向きは変わらない。引力は引力のままのはずだ。磁場に関しては鏡に映すと図12と同様に向きが反転する、という考えで描いたものだ。電流1のまわりに、反転した磁場、つまり“左ネジの法則”に従う方向の磁場が発生する。

鏡の世界の電流2にはたらく力をフレミングの左手の法則で考えると、“左ネジの法則”に従って電流1が発生した磁場は電流2の場所では上向きに変わっているので、図15のように力が斥力になってしまう。これは明らかにおかしい。鏡に映したら平行電流にはたらく力が引力から斥力になる、などということが起きるはずがない。

こういう混乱があったときは、できるだけ出発点に戻って考えてみるとよい。図に描かれた磁場ベクトルを出発点として信用せず、磁場の源である電流から見直してみよう。

図16のように、磁場は電流1が右ネジの法則

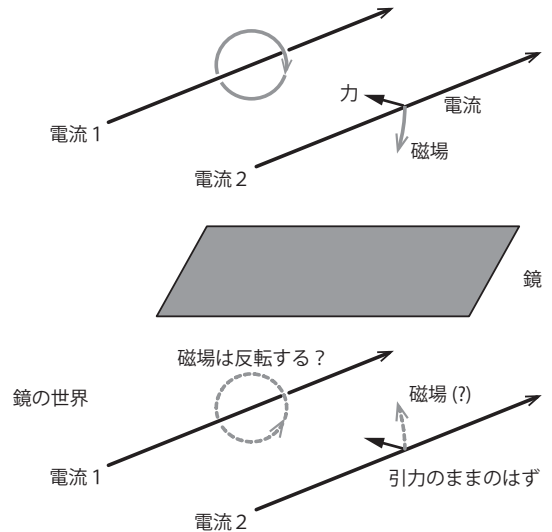


図 14—平行電流を鏡に映す

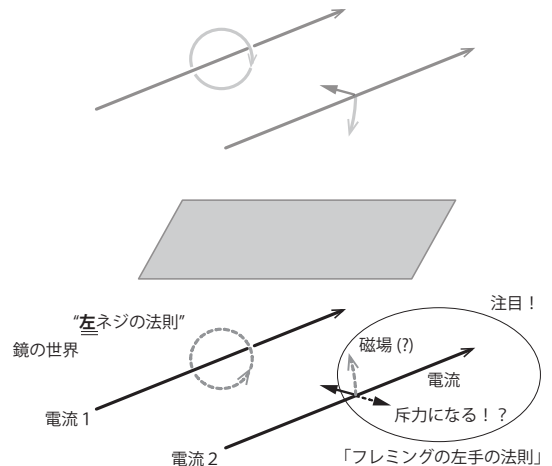


図 15—斥力になってしまう？

で作るものだ。鏡の中でも物理法則は同じと考えるなら、この鏡の置き方では現実の世界も鏡の世界も電流の向きは同じだから、磁場の向きも同じだ。鏡の内外で状況はまったく同じなので力も当然、引力が出てくる。ただ一点の曇りは、磁場ベクトルが鏡で反転してなくてよいのか、という不安である。

さらに、図17だが、これは鏡の世界は左右が入れ替わるなら、法則そのものも含めてすべて左右を入れ替えてやろう、という態度で描いたものだ。磁場は“左ネジの法則”で反時計回りに発生し、“フレミングの右手の法則”を使えば、きち

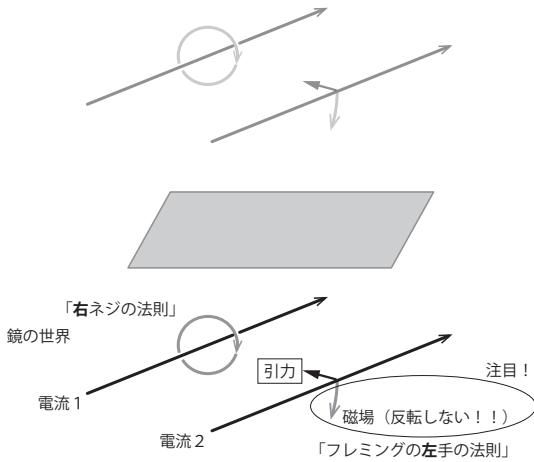


図16—右ネジの法則をきちんと使ってみる

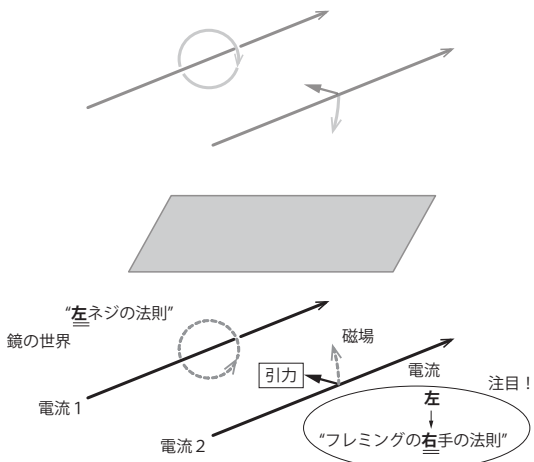


図17—法則も含めてすべて左右反転させる

んと引力になることがわかる。磁場もうまい具合に反転しているので都合がよさそうだ。なお、ここで言う“右手の法則”とは、図6の左手の法則を左右反転させて考えた仮のものであり、本稿以外ではこの名前は通用しないので要注意である。「フレミングの右手の法則」というややこしい名前の(あまり使われない)法則が元々本当にあるのだが、誘導起電力に関するまったく別の法則の名前である。

いずれにしても、図15のように鏡に映したら引力が斥力に変わってしまったりはしないはずだと思うと、許されるやり方と、許されないやり方があることになる。

まとめると、平行電流に引力がはたらく状況が

鏡映反転で変わらないためには、鏡映反転の下で
方法1：磁場が反転しない(図16)
方法2：磁場は反転し、右ネジの法則は“左ネジの法則”に、フレミングの左手の法則も“右手の法則”に反転する(図17)
のいずれかでよさそうである。

どちらの方法を選択してもダメではない。しかし方法2は、法則を含めてすべて左右反転するのでわかりやすいが、物理法則がパリティ対称性を破る方法なので好ましくない。鏡の中か外かを判定した上で意識的に法則を使い分けることになるからだ。

図16の方法1は、しかし、おかしい。磁場はベクトルだと思うと、鏡で(鏡に垂直な向きに)反転しないわけがない気がする。

磁場の謎

磁場はベクトルなのに、鏡で反転しないなどという例外措置を簡単に認めてよいのか。ここで図12, 13に再び注目しよう。コイルも、車輪も、元々左右対称である。ただ、前後・上下方向を含む面内で回っているだけだ。ここに、左から右へ矢印を引くとは、どういう意味なのだろうか。

結論を言うと、左右方向の矢印には物理的な実体はない。ただ、回転している状態を表現する手段として、ぐるぐる回る面倒な矢印を描く代わりに、回転軸と、回転方向によってその軸に矢印を描けば回転状態を表現できることを人間が利用しているに過ぎない。例えば、時計回りを↓、反時計回りを↑、などと約束して表現するようなものだ。

だから、この磁場をあらわす矢印は、本当は本来のベクトルではないのだ。ベクトルと非常に似た性質があるので通常、磁場はこの考えにもとづいてあたかもベクトルとして表現されるが、本来はベクトルとは別ものの、回転を表す概念なのである。

磁場が本物のベクトルではないから鏡映反転で向きが反転しない、という方法1の性質には矛

盾はない。このように、ベクトルに本物と偽物(磁場のような回転を表すものは軸性ベクトル、または擬ベクトルと呼ばれている)があることを意識するのは難解であるので、高校までの物理の範囲では学習の範囲外だ。図 11 の矢印を表す角速度も軸性ベクトルであるし、他の軸性ベクトルとして角運動量やトルクなどがあるが、これらは高校では学習しない。

だから、この磁気の法則と鏡の関係の問題にも普通、立ち入らない。磁場を普通のベクトルのように考えるのは便利で、ほとんどの場合に問題はない。しかし磁場がベクトルで表現できると言い切るのは確信犯的な間違いであって、特に反転対称性に関する問題を考える際にはベクトルと軸性ベクトルとは違うものだと意識し直すことが必要である。混乱を避けるにはベクトルと同じ数学記号(\vec{B} , B など)を用いないようにするのも一案だとは思う。

結局、図 10 を見れば明らかなように、矢印を左右のどちら向きに引くかは人の勝手に、ただの好みの問題だ。回転状態自身は左右対称なのだから、それを左右どちらかを向いた矢印で表現するなら、その矢印の向きは左右、五分五分の頻度で選択されるだろう。仮に、右ネジの法則ではなく“左ネジの法則”で磁場の向きを定めた人にとっては、フレミングの法則は“右手の法則”として覚えておけば、何の問題もない。つまり、物理法則としては

タイプ A : 「右ネジ & 左手の法則」

タイプ B : 「左ネジ」 & 「右手の法則」

のどちらを用いてもよい、というのがパリティ対称性である。

これはまるで、現実に流通する右ネジが多いことと似ていてはないか。つまり、タイプ A とタイプ B のどちらを用いるかは本来、対等なのだが、多数派がタイプ A だとすると、タイプ B の人は多数派と会話する際に常に、頭の中で用語の変換が求められて不利である。タイプ A、タイプ B の任意性は右手系、左手系の任意性として数学、物理、工学のあちこちに登場するものの一つである。パリティ対称性を尊重する立場とし

ては、タイプ A を強制することはできない。しかし、この任意性の議論をすべて理解した上で、はじめて磁気現象の問題を解く、というのはあまりに牛刀割鶏であり学習上の弊害が大きい。

こうして心に一点の痛みを伴いながら、君たちはタイプ A を信じていれば大丈夫ですよ、と世界中で学生たちに教えることとなったのだろう。だから、対称性が前面に出る話題でもなければ^{3,4}、このことが教科書で説明されることは少ない。なお、磁場を表すベクトルが本物ではなく、その向きはどちらでもよいからと言って、磁場の存在自体が幻想であるわけではない。表し方に任意性があるだけである。

ところで、似た問題として、世界中の学生を混乱に陥れている、電流の定義がある。電荷を運ぶのは電子なのに、その符号はマイナスである。電子の流れる向きと電流の向きが逆、というのはどう考えても不自然な定義である(プラスの電荷をもつ陽電子という別の粒子もあるにはあるのだが、これよりも普通の電子が圧倒的に多い)。下敷きで頭を擦ったときに発生する静電気などの現象で電気の正負を決めたという、歴史的経緯だけで偶然決まってしまった符号の定義だ。

にもかかわらず、電子の符号をプラスに定義する教科書はおそらくない。それは、教科書によって定義が逆なものが混在すると激しい混乱を引き起こすからである。しかし、だからと言って電子自身に「自分はマイナスです」と書いてあるわけではないことは忘れてはならない。必要とあれば、電子の電荷をプラスと定義するノートを誰かが書いても、誰にも文句は言われない。

ファインマンは磁場の向きの任意性に関して、「悪魔がある日、世界中の電磁気学の教科書に書かれた『右』と『左』という語を入れ替えても、誰も気づかないだろう」と表現している³。そう、例外なく一斉に入れ替えるなら何の問題もない。それは電荷の正負の定義も同じことだ。

フレミングの左手の法則は、“右手の法則”でもよいのだ。ただし、そのときは右ネジの法則ではなく、“左ネジの法則”を使っていなければな

らない。自分の中で整合性がある限り、このタイプBの人の正しさは多数派のタイプAと平等にある。ただし異端を貫くなら、その不便さに耐える覚悟が必要である。

バイアス

「磁場の向きは右ネジの法則で定められるはず」——これは仮の約束を原理と勘違いしてしまう、学習によるバイアスである。本当は“左ネジの法則”でもどちらでもよいのだが、混乱を避けるために、みんなで右ネジの法則で覚えておきましょう！ という約束にすぎないものだった。この前提を完全に忘れると、パリティ対称性を破る物理法則、という深刻な悩みに繋がってしまうことを見た。

こうして鉄壁の守りを見せたパリティ対称性はさらに信頼性を増し、ほとんど絶対的な真理の地位に上り詰めたようである。しかし、それは正しくなかった、という物語が「パリティの破れ」である。この宇宙にはマイナスと定義した電子が陽電子よりたくさんある、というオズマ問題で用いた普遍性も、考えてみると電荷の正負に関する対称性に疑問が残る。対称性という信仰すらバイアスだったのだろうか。そんな話題は現代物理学の最先端の謎であり、この連載の終盤で紹介する。

文献

- 1—大学入試センター試験(2016年度)物理基礎/追試験 第2問 問3
- 2—村田次郎: 科学, **93**, 714(2023)
- 3—ファインマン, レイトン, サンズ(訳・富山小太郎): 『ファインマン物理学II 光・熱・波動』, 岩波書店(1986)第27章 物理法則の対称性
- 4—マーティン・ガードナー(訳・坪井忠二, 藤井昭彦, 小島弘): 『新版 自然界における左と右(上・下)』, ちくま学芸文庫(2021)

村田次郎 むらた じろう

3次元を超える高次元空間を探索する重力実験や、空間と時間の対称性を検証する加速器実験を軸に、学生と一緒に身近な物理の検証も楽しんでいる。著書に『「余剰次元」と逆二乗則の破れ』(講談社ブルーバックス)など。