

曲がるもの大研究!

村田次郎 むらた じろう・立教大学理学部

金井颯汰 かない そうた・軽井沢風越学園

坂本智洋 さかもと ちひろ・軽井沢風越学園

高橋志門 たかはし しもん・軽井沢風越学園

村田 慧 むらた けい・軽井沢風越学園

なにかを回転させて投げると横に曲がる現象は、野球の変化球などでおなじみのものだろう。そのしくみも大体、予想はつく。しかしカーリングはどうして曲がるのか、物理学者にもさっぱりわからない状態が100年近くも続いた¹⁾。その最大の謎は、同じようにコップなどを机の上で回して滑らせる場合と、逆向きに曲がることにあった。「カーリングは特別だ」、この認識が「世紀の謎」の出発点となった。本稿ではこの出発点に立ち返り、カーリングの曲がり方は本当に特殊なのか、学校の理科室で研究者と小中学生が一緒に探って見出した、衝撃の発見を紹介する。

曲がるもの

曲がるものといえば、まず思い浮かぶのはカーリングではなく野球の変化球だろう。サッカーやゴルフも同じで、回転しながら高速で飛ぶボールは確かに曲がる。実際に試した人はいないのかもしれないが、真空中で変化球を投げても曲がらないだろう。変化球が曲がるのはボールが空気の流れを変えることが原因と理解されている。飛行機が飛ぶ理由^{2,3)}と似て、回転によってボールの左右で空気の圧力に違いができることで、横向き力を生じさせているのであろうことには疑問の余地はない⁴⁾。

ボーリングも曲がるが、これはどうか。空気は主役ではなさそうだ。ボールを投げだす際、腕の軸の回りに手をひねって自転を加える。図1のように自転軸が後ろ向きに倒れた回転状態で床を滑り出すため、結果として反時計回りの回転なら、

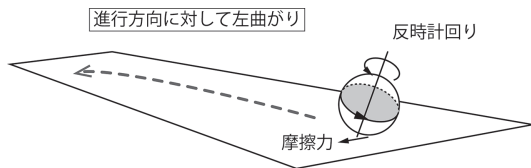


図1—ボーリングの曲がり方

ボーリングは自転軸が後ろ倒しになるため、曲がる。上から見て反時計回りの回転で、進行方向に対して左向きに曲がる。

ボールは床を右向きにこするから、床からその逆向き、つまり左向きの摩擦力を受ける。そして左向きに曲がる。目の前に立ててあるタイヤを反時計回りに回転させれば、左向きに動くのと同じことである。

さてカーリングはどうか。図2の通り、これも、反時計回りの回転なら、左向きに曲がる。あれ？野球やボーリングと同じだ。全然特殊ではないではないか……。いったい何が不思議だというの

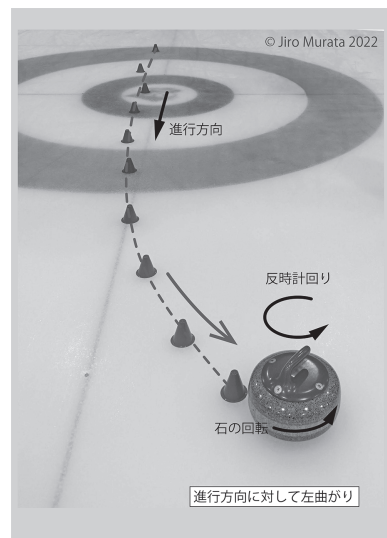


図2—カーリングの曲がり方

反時計回りで、進行方向に対して左向きに曲がる。

か？

カーリングの不思議さ

カーリングの曲がる向きは別に特別ではなくて、ほかのものと同じではないか……？ そう思うのは、上記のようなボール遊びの経験が豊かな方々だろう。

一体どこが不思議なのか、一つずつ見てみよう。まずカーリングでは石の減速の原因となるのは氷との摩擦と空気抵抗だが、石のスピードはせいぜい歩いて追いつける程度のものであり、空気抵抗は非常に弱い。普段、歩いていて空気抵抗が気になることは風が吹いていなければまずないが、自転車に乗っていればそれなりに感じるだろう。動きが速ければ速いほど空気抵抗は強く、止まっていればゼロだ。カーリングでも空気抵抗はゼロではないが、氷の摩擦に比べればほとんど効かない。一方、摩擦は空気抵抗と違って遅い場合でも弱まらないし、静止状態でも効くため、カーリングの運動の主役は氷の摩擦だ。変化球のように空気の効果で曲がることは期待できない。同じ向きに曲がるからといって、野球の経験は参考にならないわけだ。

ではボーリングはどうか。これも野球と同じ向きに曲がる。ボーリングは球形であるが、カーリングの石は底が平面の円柱形だ。ボーリングは自転軸が図1のように後ろ向きに倒れたまま滑ることができるが、カーリングでそのようなことは普通起こらないから、残念ながらボーリングもあまり参考にならない。

そこで、ほかの円柱形のを回転させて机や床の上を滑らせてみると、これはカーリングとは逆に曲がる。「普通のもの曲がり方」である。コップがその代表格だ。これは後の節で紹介するが、底での摩擦の効き方をイメージしてみると確かにそうなりそうである。というか、考えれば考えるほどそうならないとおかしい。ボーリングとは逆に、前のめりになる傾向があるからだ。だから、その考え方では説明できないカーリングは謎

だ！ なにか非常に特別な興味深い現象であるに違いない、ということになったわけだ。そしてこの話を聞いた人はみな、なるほどと思って、では我こそがその謎を解明してやろうとワイワイやっているうちに一世紀が過ぎてしまった。

カーリングの曲がる理由

カーリングが曲がる理由自体については以前に本誌で詳しく紹介したが¹、回転によって石の左右で違う強度・頻度で石の底のザラザラが氷に引っかかり、それを支点とした振り子運動によって曲がると説明した。

この理解に辿り着くまでに長い時間を要したのは一つにはボーリングを参考に、実はカーリングは前ではなく後ろ側で強くこすれているのではないか、という考え方が有力だったからだ。後ろ側の摩擦が強ければ確かにボーリング同様のイメージで曲がる向きに不思議はない。だからといって、必ず後ろ側の摩擦が強くなければならない、と考えることは論理的には正しくない。いわゆる、必要条件と十分条件の取り違えである。後ろ側の摩擦が強ければ確かに説明できるが、それしかあり得ないと決まったわけではない。

普通のもの曲がり方？

このようにカーリングの謎を語る際に必ず出てくる「コップの曲がり方」。確かにコップを回して机の上を滑らせると、カーリングとは逆に曲がると言われる。正直に言うと、筆者(村田次郎)はカーリングの謎に取り組むまで、実際にコップを回して滑らせたことは一度もなかった。だから、普通はこう曲がるのにカーリングは変だ、というしばしば見かける説明に、多少の引っかかりをもっていたのだ。

筆者がカーリングの曲がる理由に辿り着いたとき、肝心の部分に関しては物理学の知識は不要で、よく観察して考えれば子どもでも同じ結論に達することができる内容だなあと考えていた。実際、

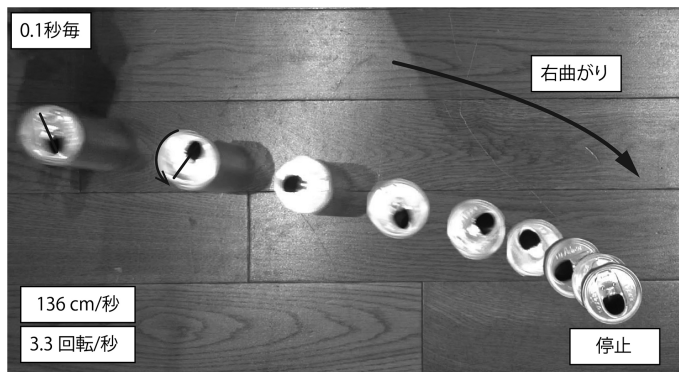


図3—コーヒー缶の曲がる様子

上から見て反時計回りで、進行方向に対して右向きに曲がる。

カーリング選手たちは物理学の言葉にはならないながら、身体感覚として直観的に筆者と同じ理解を身につけているように思える。説明できずとも、自転車やブランコは漕げるようなものだ。

そこでカーリング研究を小中学生に紹介する機会を得た際に、「答え」としてははじめから結果を紹介するのではなくて、曲がる現象を自分たちで観察して謎解きのように一緒に考えてみるイベントとしてやってみることにした。

なにか「特別なこと」に気づくには、「普通の場合」をよくわかっていなければならない。まず、そもそも「普通」はどうなるのか、身近なものの曲がり方を徹底的に調べてみよう、という企画にしてみた。本稿は、それをきっかけに発展した小中学生と筆者の共同研究の成果であり、以下で紹介する研究結果は本稿が初出でオリジナルのものである。

「曲がるもの研究会」

コップを回して滑らせると曲がるのはなぜか。これも立派な疑問である。また、カーリングの話をした際にコップが曲がる、という話を通じる人はむしろほとんどいなかった。一人もいなかったかもしれない。カーリング選手にいたってはコップの曲がる様子を実演すると、信じられないという目をして驚愕する場面が多発した。

こういうちょっと面白い謎解きは、しくみを順

序立ててきれいに説明してしまうより、体験や事例を積み上げた上で発見的に理由を腑に落とす方がよい。淡々と説明してしまってもったいない。むしろ、説明した方もわかった気になって満足してしまうだけで、実は重大な考え落としをしている可能性も残る。

そこで軽井沢風越学園の校舎を借りて同校に通う小中学生たちと、せっかくのこの題材に取り組んでみることにした。身の回りのものの曲がり方を調べる「曲がるもの研究会」の発足である。筆者自身も初めてやってみる調査で、ワクワクものである。

曲がり方のパターン

さて研究会の初回。意気揚々と理科室に集まった面々は、校内の丸いものをあれこれ集めて片端から回して滑らせてみる。調査だか遊びだかわからない。いや、明確に遊びだ。

これは面白い。そして20分ほど経過。「意外と曲がらない……。」

ものによって曲がり方に強弱があることは予想していたが、身の回りで丸いというだけで選ばれたものを試すと、むしろほとんど曲がらない。表1が、試してみたものの例である。曲がる向きは、すべて図3と同じ「反時計回りで右曲がり」であった。

結果を眺めていると何となく傾向がわかってく

表1—身の回りのものの曲がり方(すべて反時計回りで右曲がり)

曲がらなかった 曲がりが弱かった	よく曲がった
鍋, やかん, お皿, コイン, ペットボトルのキャップ, 洗 面器, シャーレ	単一電池, コショウ缶, コー ヒー缶, ビーカー

るが、要するに形に敏感なのである。飛び出た縁の有無など、底の形状はあまり関係ない。横から見て縦長でないと曲がらないようだ。割れもののコップでこれを試すのは少々勇気がいるので、実際にコップで試したことのある人は多くないかもしれない。お勧めはコショウ缶、飲み終わったコーヒー缶である。これは実によく曲がる。

カーリングの謎をテレビのニュースで紹介していただいた際、取材時には当初洗面器を使って実演したのだが、やはり曲がりが微妙でわかりにくかった。そこで結局はよく曲がる、コーヒー缶、コショウ缶、茶筒などで撮影した。ちなみに液体の入ったままの缶は曲がらない。というより、回らない。様々なメディア取材時などで大活躍したコーヒー缶は本稿にも登場するが、カーリング場の自販機で筆者が買って飲んだ空き缶である。

パターンから見えるもの

ある程度わかっていたことではあるが、ここまでは鮮明に違いが出ると面白い。縦長は曲がる、扁平は曲がらない。特に、コインはまったく曲がらない。これだけ曲がらないものの方が普通だと、カーリングが「普通」と逆に曲がる、という長く言われてきた説明にも少々違和感が出てくる。

それはさておき、この傾向からも曲がる理由のはっきりしてくる。ポイントは、底面の広さに対する重心の高さだ。重心が低く安定した物体は曲がらない。

また曲がり具合によらず、停止直前にわずかではあるが折れ曲がるように強く屈曲する現象がしばしば観測された。その向きは、ゆるやかに曲がる向きと逆である。つまり最後になって、逆向きにほんの少し振れる。これはカーリングでも見ら

れた、底の一部が引っかかってそれを支点として起きる振り子運動の結果である¹。反時計回りに回転するコップなどは、右に曲がっていった最後に、わずかに左に動くことがある。停止する直前、底の左側で速さがゼロになる場所ができる。すると、その場所での摩擦は動いている部分よりずっと強くなるせいで、コンパスの針のように回転の支点になるのだ。

ここまでは実はおおむね筆者のシナリオ通りだった。が、ここで想定外の事件が起きる。子どもの一人が手作りして持参したカーリングのおもちゃが、「『普通』と逆に曲がった」のである。「反時計回りで左曲がり」の出現である。当の本人は学校の隣にあるカーリング場でカーリングを習っており、それと同じ動きなので不思議と思わず当然と思っていたとのこと。

ところでカーリングには氷の上で行う本物の競技と、体育館などの普通の床の上で疑似的に体験するフロアカーリングというものがある。フロアカーリングの底には球状の「コロ」がついており、どの方向にも滑らかに滑るようになっている。フロアカーリングの製品にはコロとして1cm くらいの大きなベアリング球が使われている。通常フロアカーリングの動きは不安定で基本的にはあまり曲がらない。

一方、手作りフロアカーリングはこの大型ベアリングではなく、ホームセンターで売っているキャスターで代用された「キャスターカーリング」だった。図4のように、車輪の向きが自由



図4—手作りフロアカーリング
自在キャスターが使われている。

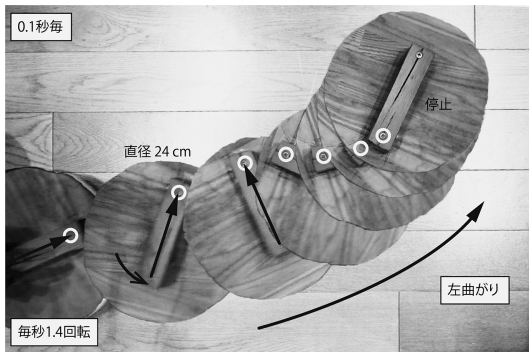


図5—手作りフローカーリングの曲がる様子
反時計回りで、進行方向に対して左向きに曲がる。

に回転して動く向きを変えられる「自在タイプ」だ。そして、その動きを記録したものが図5である。見事に、反時計回りで左曲がりである。

反例の発見

およそ自然法則と呼ばれるものは、いつ、どこで、だれが、どう調べても例外なく成り立つべきである。数学の定理でも、三角形の内角の和はいつでも180度であるはずだ。それが「普遍性」という科学的態度の根本に位置する考え方で、科学が客観性をもつために必要な態度である。自然科学は数学ではないので絶対に正しい法則かどうか証明はできないが、なるべくそれに近づける努力をしている。「冬は寒い」という法則も立派な自然法則ではあるが、たまには暖かい日もあるだろう。これに対して光の速さを測ったらある日、普通の半分の速さでしたなどということはある得ないだろうと考える。これは法則の格付の違い、信頼性の違いである。

光速はだれがどう測ってもまったく同じ値になるはず、という考え方がアインシュタインの特殊相対性理論の出発点である。そして実際、すべての実験結果がその正しさを示し続けている。つまり一つの例外もないのだ。もちろん無限回の測定を行っているわけではないが、無限と言ってよい程の膨大な数の測定がそれを確認し続けている理論はいわば神の領域、真理と言ってよい最上の格付が与えられている。

証明された数学の定理も同等である。三角形の内角の和は、色々な三角形を作図して測ってみればいくらやっても180度になる。このようなチャレンジを試す限り、これは自然科学の方法に似ている。しらみつぶしに調べる代わりに数学でやるようにこの定理を証明することができるが、それには実は公理という前提・仮定＝約束が必要になっている。自然科学は、証明はできないながら、逆に仮定は不要であるという強みがある。

さて誰かがある日、三角形の内角の和を求めたところ180度にならない三角形を発見したとする。それ以外のほとんど無限に近い種類の三角形では180度なのだから、そんな例外は気にするな、と思ってよいだろうか。これが「冬は寒い」という程度の信頼性の法則に対してであれば、一日くらい暖かい日があっても誰も文句は言わない。ところが算数・数学の定理となると、これはこの一例をもってその法則と、それと関連する数学の大部分を破壊する大発見となる。これが「反例」の威力である。数学の定理や最上格の物理法則ほど反例には弱く、矛盾が一点でもあれば総崩れである。完璧なピカピカの論理に、傷がつくのだ。

カーリングが特殊であるために

カーリングの曲がり方が野球の変化球のようにありふれた現象なのであれば、注目されることはなかっただろう。野球の変化球を知っている人が、サッカーボールの曲がり方を見て大騒ぎすることはない。さして違いはないからだ。

「カーリングの曲がり方が普通と逆」という表現は、「カーリング以外のすべては逆に曲がる」という意味を暗に含んでいる。だからこそ机や床の上の物体と、氷の上の物体という違いに着目して、氷の場合の特殊性がポイントだと狙いを見定められてこれがカーリング研究の王道として長年追求されてきた面は否めない。

中でもボーリングを参考に、カーリングの石は底面での摩擦を考えると前より後ろ側で摩擦が強いのであれば曲がる向きに説明がつく。だから、

なんらかの氷の面白い性質によってこれが起こるはず、という発想につながっていった。その効果がないとは言いきれないが、カーリングの曲がり方を説明する上で、後ろ側での強い摩擦は不要であるというのが筆者の示したところである。

さて、ここで見出された、カーリングと同じ向きに曲がるキャスターカーリング。これは、カーリングの特殊性をたった一例で否定する衝撃がある発見、まさに反例である。少なくとも、特殊な氷の性質が不可欠である、という発想の原点を否定するものである。

本格的な研究活動へ

この反例第一号の発見に触発されて、曲がるもの研究会では曲がる現象の観察や、ほかにもこのような例はないか、と徹底探索を続けることとなった。そして学校の理科室を定期的にお借りして、本格的な研究活動が始まった。2カ月程の期間、小中学生が集まっては測定する活動を行った。

一口に曲がり具合、と言ってもその強弱を比較するのは意外と難しい。速さや回転速度などの条件が違えば何を指標にして比較してよいかもわからない。ほとんどの科学測定に言えることだが、速度などの測定条件を整えるより、それを測定する方がはるかに精度を出しやすい。例えば1 m/sの初速度を1%の精度で制御することは難しいが、適当な速度で動く物体を1%の精度で測定することは難しくない。

しかし高精度の測定をするには高い数理能力が必要で、いたずらにPCなどの道具を使うことに振り回されて本質が見えにくくなってしまう面もある。そこでこの活動では、中学生はすでに学習した数学を活用して高精度測定の方法に挑戦し、小学生は逆に制御の方法を柱に取り組むこととなった。制御の方法とはすなわち物体を同条件で発射する装置作りであり、工作好きな子どもたちには格好の課題である。

いろいろやってみよう!

まず缶などの曲がり方の強弱を目で見ただけでなく、これを記録してみた。ほかの人に結果を見せられるようにすることは、客観的な科学としては不可欠だ。中学生はカメラで撮影した動画データをPCで画像解析し、ピタゴラスの定理や円の方程式の考え方を応用して軌跡のデータを数値化して曲がり具合や減速の強さを解析することなどに取り組んだ。小学生は様々な半径の円弧の型紙を作成して、動画データを映した画面上で曲がり具合を数学を用いずに実測するツールを工作したり、道具作りと数学が一体となった様々な試行錯誤を楽しんだりした。

また、それぞれ工夫を凝らして工作してきた様々な発射装置を用いた測定にも挑戦した。特に回転させて発射させる機構の難易度はかなり高く、一度左右の片側で物体を壁に衝突させて自転をさせる方法や、片側の側壁だけ摩擦を強めた装置を通過させて回転させるなど、工夫を凝らした作品が並んだ。

研究に必要な装置は自分で開発して製作する、というのは実験研究の醍醐味の一つである。世界に一つしかない、自分で作った装置で実験する。これは最先端の物理学研究で行っていることそのものだ。

普通のもの曲がり方

ここでは研究会で得られた結果の一部を紹介しよう。まずは「普通のもの曲がり方」だ。ジャム瓶のような形状のプラスチックの容器を用意し、上部から撮影した動画を解析した。研究会の現場では様々な形で数値化したが、図3,5のようにここでは数値化したデータではなく画像をそのまま使う形でより直接的に結果を表現してある。

初期の活動で、縦長の形状の物体ほど曲がりやすいことはわかっていた。それが重心の高さのせいだろう、とも予想していた。しかし物体の形状が違っていると、重心の違いだけで決まっているのかが

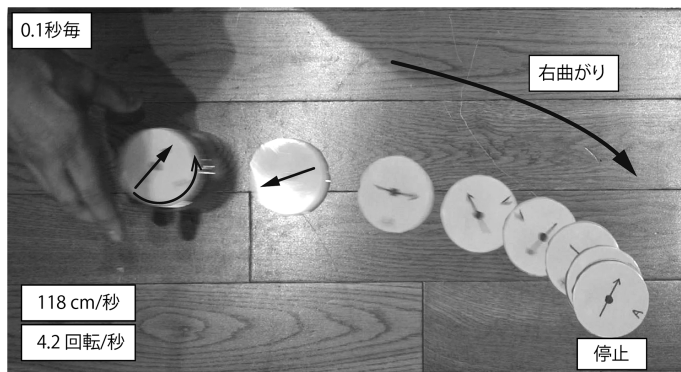


図6—上部に重りをつけた場合の曲がる様子
強く右に曲がった。

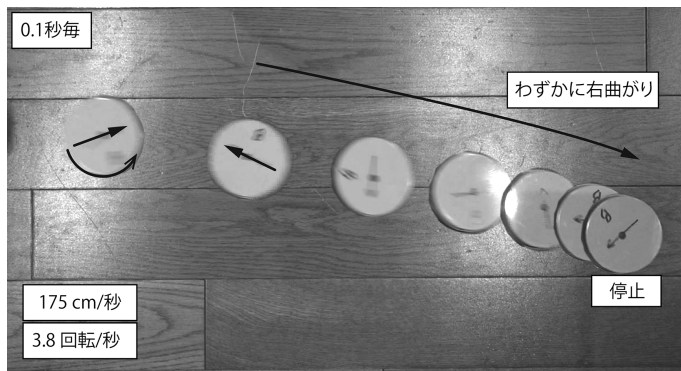


図7—底に重りをつけた場合の曲がる様子
あまり曲がらなかった。

判然としない。大きさが違えば空気の影響もゼロとは言い切れない。そこで同一の容器内(直径5 cm、高さ7 cmの円筒形)に重りを入れ、入れる場所の高さを変えて曲がり方に違いがあるかどうかを見てみることにした。これならば同じ形で、重心だけが違う場合を比較することができる。重りとしては厚み5 mmの鉄板を用いた。

図6は上蓋の内側に重りを貼り付けて重心を高くした結果で、図7は重りを底に貼り付けた結果だ。それぞれ、まずは右に曲がっていることはわかる。そして図を見比べると明らかだが、重心が高い場合にはよく曲がり、低い場合はあまり曲がらない。確かに重心の高さがポイントのようだ。

発射は人の手で行っているため、速度や回転速度は完全には揃っていないが、この容器のような物体の場合、回転が速いほど曲がりが強くなるよ

うである。上記はそれぞれできるだけ速く回しており、つまりそれぞれ最も曲がるやり方で試した結果である。この測定に回転発射装置を用いて同じ条件で比較できればよかったのだが、開発が難しすぎてこれは断念した。

重心が高ければよく曲がり、低ければ曲がらない。この傾向自身ははっきりしている。だから、コインが曲がらないのはこの経験則通りである。

普通のものなぜ曲がるか

これら普通のは、なぜ曲がるのだろうか。これを考えるには重心の高さによって曲がり方が違う、という傾向がヒントになる。地面に置いてあるボールやタイヤを手で押せば当然、回り始める。鉛筆を立てた状態で滑らせれば、普通は前向きに倒れるだろう。

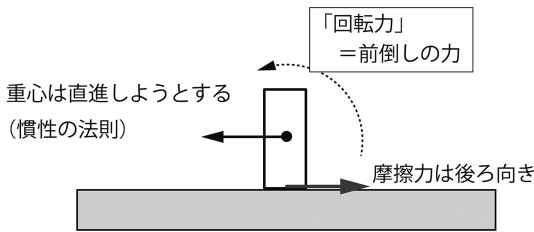


図8—滑る物体は、摩擦のせいで前のめりになりやすい

ボールやタイヤも、床との摩擦がなければ前回りの回転は起こらない。図8のように、床の摩擦と重心の高さという二つの条件が揃うと、前回りの運動が起こる。これは慣性の法則があるので物体の重心は前進運動を続けようとする一方で、摩擦力は重心ではなく床と接する部分で後ろ向きに作用するため、物体にとっては前にひねられる回転力が発生するわけだ。

自分の身体で考えれば、速く走っている状態で急に止まろうとすると、勢い余って前につんのめる。このとき、力がかかるのはかかとではなくつま先だ。最悪、前に倒れて手や顔を打ち付ける。ボールなら転がるだけだが、丸くないものなら倒れない限り前の部分に力がかかる。つまり、地面と強くこすれるのは物体の前の部分だ。後ろではない。

場合によっては、後ろ側が完全に浮いて前倒しになるだろう。自転車が急ブレーキをかける際、前輪に急ブレーキをかけると後輪が浮き、身体も前に投げ出されてしまって非常に危険なのはこのせいである。筆者は中学生の頃にこれがもつて事故に遭い、意識不明の重体になったことがあるのでその危険性は身に染みてわかっているつもりだ。

さて、回転しているコーヒー缶の状況は、回転軸が後ろ倒しになるボーリングとは逆に図8のように前倒しに傾く状況である。図9のように上から見て反時計回りに回転して前側がこすれるなら、右に曲がる。タイヤが斜めに傾いて回っていると思えば当たり前だ。実際、缶などで試すと絶妙に傾いた状態で曲がっていくことがある。

この理屈がわかれば、コインが曲がらないのもわかる。重心が低ければ、前回りの回転力は小さ

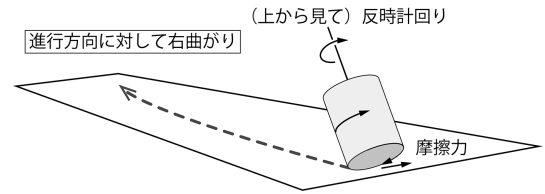


図9—前のめりの物体は、上から見て反時計回りで右曲がり

くなるからだ。てこの原理の、てこの長さが短いからと思えばよい。ペットボトルのキャップを打ち出す、子どもたちに大人気のボトルマンというおもちゃがある。これは実にカーリングに似ていて研究に使えるそうだなあ、と思って筆者は色々試してみたのだが、改造して回転する工夫を加えても、どうにもキャップは曲がらない。重心が低すぎるようである。

キャスター装置の曲がり方

普通のもの曲がり方はかなり丁寧に調べたが、例の図5の「反例」をどうするか。だんだんこれが気になってきたところで、あろうことか学校内の大型の移動式ゴミ箱をぶん投げた子が出てきた。1mもあるのですごい迫力だ。ただ飽きてしまっただけかと思ったら、「カーリングと同じだ!」という歓喜の声。しっかり調査の一環だったらしい。図10のように、確かに反時計回りで見事に左曲がりである。第二の発見にみんな興奮していると、なんだなんだと研究会に参加していないほかの子たちも集まってくる。

「ゴミの溜まり方が偏ってるからだよ。あたりまえだよ。」などの声が集まった子たちの間で飛び交う。そうではないことは、さんざん観察を続けてきた私たちはもう動きを見たらよくわかるのだ。例えばその場合には重心の回りに自転して振られるように見えるのは確かだが、重心自身は直進を続けるからだ。そう、ポイントはあのキャスターなのだ。キャスターカーリングと同じような、しかしこれでもかと巨大なキャスターが付いている!

翌日、筆者(村田次郎)は大学の廊下でいいものを

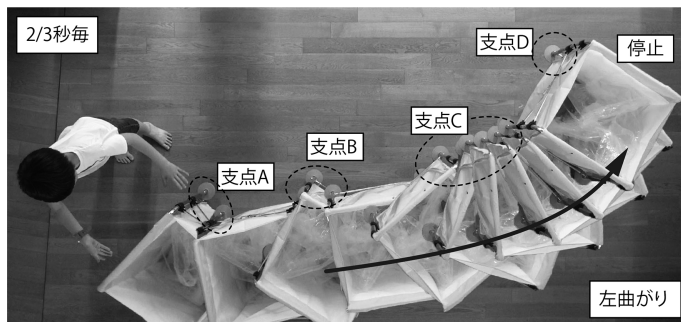


図 10—移動式ゴミ箱の曲がる様子

反時計回りで左曲がり。支点 A→B→C と順番に切り替えながら、それらの支点を中心に振られている。

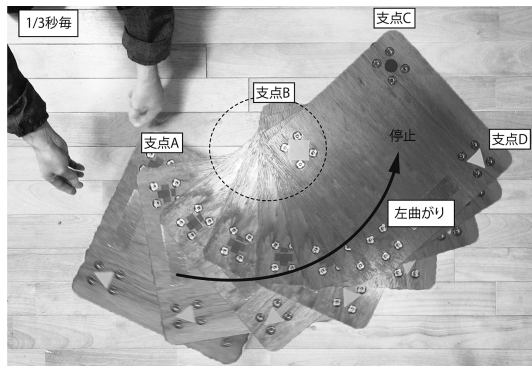


図 11—キャスター台車の曲がる様子

反時計回りで左曲がり。支点 B を中心に振られている。

見つけた。取手のついていない荷物運搬用のキャスター台車だ。普通の手押し台車とは違い、四つのキャスターすべてが動く向きの自由自在タイプなのが特徴だ。早速、「村田教授」が一人でこの台車を転がして遊ぶ。通りすがりの大学院生たちはさして気にせず通り過ぎていく。いつものことなのか、珍しくもないのか。

喜んで三脚とカメラをセットしてしっかり撮影し、記録を残す。図 11 の通りだ。うん、間違いない。これはカーリングと同じ曲がり方だ。重心はしっかり中心にあるからもちろん重さが偏って曲がるわけではない。そうとなれば話は簡単だ。研究室の椅子を滑らせてみる。もちろん、キャスター付きのものだ。こちらは少々やりにくいが、見事に曲がる。ついでに試したキャスターなしの普通の椅子はあまり曲がらないが、停止直前の急な曲がりは見られる。

カーリングは特殊か？

キャスターカーリングに続いて次々に発見された、カーリングと同じ向きに曲がるキャスター台車などの動きをよく見ると、曲がる向きの内側にキャスターの一つが入り込んだときに、それを支点に振られているのが手に取るようによくわかる。支点の位置があまり動かずに、全体がそれを中心に回っている。図 10 では A→B→C と順番に支点を切り替えながらその回りに振られる動きをしており、図 11 では支点 B を中心に大きく振られている。つまり、キャスターという支点を中心とした振り子運動だ。

これは内側の摩擦の強い箇所が支点となって振り子運動をするという、カーリングの曲がるしくみとして筆者の見たものそのものである。カーリングの場合には底の様子は直接観察することができず、運動の様子から何が起きているかを推測せざるを得なかった。ところがこのキャスター台車では、その支点そのものが露わに見えている。疑問を差し挟む余地はない。

ではなぜ振り子運動を生むのか、つまりキャスターがなぜ支点になれるのかは、別の疑問である。これはおそらくゴムのタイヤが床との摩擦で横ひねりがしにくい一方で、ベアリングによって鉛直軸まわりには自在に回転できる構造がポイントであろうと思われる。既製品のフローカーリングが曲がりにくいのは、コロがどの方向にも滑らかに回るため、支点として保持しにくいからであ

ろうとは予想されるが、これらもしっかり調べてみると面白いだろう。

これまでに発見された、反時計回りの回転で左向きに曲がるものはカーリングとキャスター台車などである。カーリングは世紀の謎になったのに、100年もの間、誰もキャスター椅子を転がして遊んだことがなかったのだろうか？ そんなはずはない。カーリングやコップよりよほど多く遊ばれてきたはずだ。実際、筆者も大学院生時代から研究室でしょっちゅうそういう遊びはしていた。議論や考えごとの最中は、そういうことをしたくなる。だが、その動きにまったく違和感は覚えなかったし、ましてや科学的に詳しく調べてみようなどと興味をもつことはなかった。

その理由はキャスターという振り子運動の原因そのものがこれでもか、と目立っているからだろう。しくみが明らかすぎる。面白そうな考察の余地がない。コップがどうして曲がるのかを考えた際のような、少しでも頭を使う方向にそもそも気が向かない。

カーリングの場合は、底で何が起きているのが直接見えないことが理解を妨げてきたのは間違いない。今や「キャスター椅子が曲がる」という、その気になりさえすればごくありふれて目にするものと同じように曲がる現象の一例として、カーリングの曲がる理由は理解できそうだと考えるとスッキリするだろう。

一方で、根本的な原因を見出すことで現象の理由を説明するという、科学の一つの伝統的な方法には注意が必要である。キャスター椅子を見れば、確かにわかりやすく現象を理解することができる。しかし本当の原因は、キャスターの構造をよく調べ尽くすまで完全には確定しない。とはいえ、そんなことをしなくとも椅子の動きを見れば、支点として機能していることそのものは疑う余地がない。

ならば、それでよいではないか。カーリングの研究も、筆者はこのスタンスで氷の性質を一顧だにせず行った。実際に石のザラザラが氷に引っかかっているのかは見ようともしていないが、支点

ができて巡回している現象であることは確かだ。何事も、直接的な原因が特定された方が安心するのは確かである。しかし、そうであれば十分ではあるが、それが絶対に必要というわけではない。

例えば、原子が物質の究極の構成要素でないことは意識していても、そして究極の構成要素が具体的にないかは知らずとも、原子の性質だけで決まる化学的な知見にもとづいて工業、製薬などに活用することにはなんの不安もない。根源的で究極の原因を求める気持ちはわかるが、おそらく私たちの世界はそれが特定できるようになっていない。究極の原因があるとする考えは幻想かもしれない。

バイアス

この連載はバイアスの話題で締めくくりにしている。今回の曲がるもの研究会の活動を通して気づいたことの数々は、実にバイアスに満ち満ちている。第一に、小中学生に本当の未知に挑戦する研究ができるのか、というバイアス(使いこなせる知識と道具立てだけの違い)。そしてありふれた日常の現象に新発見などない、というバイアス(キャスター装置の動きの発見)。普通のものカーリングと逆に曲がる、というバイアス(反例の発見)。そして、カーリングを世紀の謎に追い込んだ世紀のバイアス(カーリングが特殊だと断定してしまった)。最後に、究極の原因が得られるだろう、というバイアス(幻想かもしれないし、必要でもない)。

一事が万事。ささいなことからも、どれだけ教訓を得られるかが私たちの成長を左右するだろう。自分がバイアスに陥っていたと気づいたとき、それは自分の愚かさに気づくとき。しかし落胆は一瞬であり、すぐに大きな興奮に変わるのが普通である。「どうしてこんな簡単なことに気づかなかったんだ!」、と自分自身を幸せそうに責める。そんな泣き笑いを子どもたちとともに経験できて、今回の研究は最高に幸せでした。

各著者の貢献 金井颯汰はキャスターカーリングを考案す

るとともに、発射装置製作などで測定に貢献した。坂本智洋は研究会リーダーとしてすべての研究活動をまとめ、数理的な画像解析などを行った。高橋志門は発射装置試作、円弧測定などで測定に貢献した。村田慧は発射装置製作、キャスターゴミ箱の発見、ジャム瓶の測定・記録などを行った。筆者は研究会を指導し、責任著者として画像データの作成並びに本稿を執筆し、共著者の貢献を確認した。

画像データの作成方法 図3以降の物体の軌跡を表す画像は、以下のように作成した。動きをビデオ撮影した動画データをコマ毎に静止画に書き出し、物体部分以外の領域を透明に加工した上で再度、元の位置を変えずに一枚の静止画に重ね描きした。背景である床は明るさを調整してある。

謝辞 本研究は軽井沢風越学園と同校の井上太智教諭、保護者の皆さんの協力で行われました。

文献

- 1—村田次郎: 科学, **93**, 714(2023)
- 2—近藤次郎: 『飛行機はなぜ飛ぶか』, 講談社ブルーバックス(1975)
- 3—竹内薫: 『99・9% は仮説』, 光文社新書(2006)
- 4—姫野龍太郎: ながれ, **20**, 430(2001)

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主軸に、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。

金井颯汰 かない そうた **坂本智洋** さかもと ちひろ

高橋志門 たかはし しもん **村田 慧** むらた けい

理科, 工作好きな長野の小中学生。