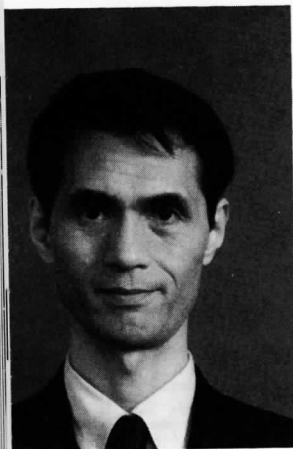


ブーメランが飛ぶ世界

数楽アラカト⑥



西山豊

大阪経済大学経営情報学部教授。1948年滋賀県生まれ。京都大学理学部数学科卒。著書に「羽はなぜ羽形か」(日本評論社)、「ブーメランはなぜ戻ってくるのか」(ネスコ)、「自然界にひそむ「5」の謎」(筑摩書房)など。

ブーメランといえばだれしも遊んだ経験があるだろう。小さいころ、駄菓子屋で買ったプラスチック製のおもちのブーメラン。このブーメラン、何度投げても手元に戻ってこなかった。ブーメランは戻ってくるものと聞いていたのに、戻ってこなかった。なぜだろうか。ブーメランが戻ってくる理由について、大きな誤解があるからだ。その誤解は次の3つにまとめられる。

- ①「く」の字形をしているから戻ってくる。
- ②風の力で押し戻されて戻ってくる。
- ③野球ボールのカーブと同じ原理で戻ってくる。

これらが誤解であることは後でふれることにして、ブーメランの正しい投げ方と飛び方について説明しよう。

たて投げと回転が基本

野外には微風が吹いている。風速にして毎秒3メートル以下のコンディションだ。右利きの人が、「く」の字形の木製ブーメランを持っていて投げようとしている。ブーメランの凸な面(カンガルーなどの絵が描いてある面)を顔に向けるようにして持つ。ブーメランは「く」の字形をしているが、翼が2枚であるとも言える。この2枚の翼のどちらか一方の先端

を親指と人さし指で挟むようにして持つ。投げる方角や角度は次のようになる。風が真正面から吹いているとしよう。風に向かって右側に60度の方角を向く。風向きが時計でいうと12時から6時の方向であるとする、2時の方向に向く。このとき、左ほほに風を感じるようになる。

次に、ブーメランの翼をたてにして(地面と垂直にして)投げるのが特に重要になる。フリスビーのように、横にして(地面と平行にして)投げると決して戻ってこない。たてに投げると、そのまま飛んで行って地面に突き刺さるのではと思うが、そうはならない。必ず戻ってくる。ブーメラン投げで失敗する原因の99パーセントは、フリスビーのように「横投げ」をしていることにある。

たてに投げると言ったが、実際は垂直な状態から翼先を15~20度くらい右側に傾ける(傾角という)、そして投げ出す角度は、目の高さから5度くらい上空に向かって(仰角という)投げる。するとブーメランらしい軌道になる。傾角と仰角はブーメランを正確に手元に戻すためのキーポイントで、そのときの風向きや風速に対して飛行を微調整する。

さらに、ブーメランを飛ばすには回転を与えることが大切である。回転しないブーメランは戻ってこず、ただの棒切れと同じである。手首のスナップを利かせて思い切り回転させるのだ。

投げ出す方角、傾角、仰角を正しく読むと同時に、ブーメランは「たて投げ」と「回転」が基本であることを強調しておこう。

ブーメランは左旋回する

右利きの人が「たて投げ」と「回転」を守って正しく投げたとき、ブーメランはどのような飛び方をするのか説明しよう。投げ放たれたブーメランは、しばらく

直進する。そして進行方向を左に変えると同時に上昇する。昇りきったところを今度は向きを変えて手前に向かい、ゆっくりと速度を落としホバリングしながら戻ってくる。投げ出したときの翼面は地面と垂直であるが、キャッチするときは地面と平行に(横倒しに)なっている。

以上はブーメランが飛ぶ軌道の概観であるが、現象を整理すると、次の2つの現象が同時に起こることがわかる。

- ①左旋回をして戻ってくる。
- ②ブーメランの面は「たて」から「横」への横倒しになる。

①の理由は2つの翼の上下揚力差に、②の理由は翼の前後揚力差に関係しているが、左旋回をする理由が特に重要と思われるので、以下でそれを説明しよう。

図1は、F・ヘスが左旋回する運動について示したものを模写したものである。前進速度 v に時速100キロ、回転速度 α に時速20キロをあてはめて考えてみよう。

ブーメランに与えられる運動は、前進運動と回転運動である。ブーメランが手前から向こうへ、時速100キロの前進速度と時速20キロの回転速度で飛んでいたとする。2枚の翼を比べてみると、上の翼は前進速度100キロに加えて回転速度20キロが足し算されて120キロになるが、下の翼は回転の向きが反対方向であるため、前進速度100キロから回転速度20キロが引き算されて80キロになる。風に対する速度がそれぞれ120キロと80キロで、40キロの差が生じることになる。

速度の違いは何に影響するか。それは揚力の大きさに関係する。速度が大きいと揚力は大きく、速度が小さいと揚力は小さくなる。この揚力の差により、ブーメランには上端部を左方向に回す力、つまり反時計方向に回す力が働く。この回転力のことを「ねじりモーメント」と呼んでいる。

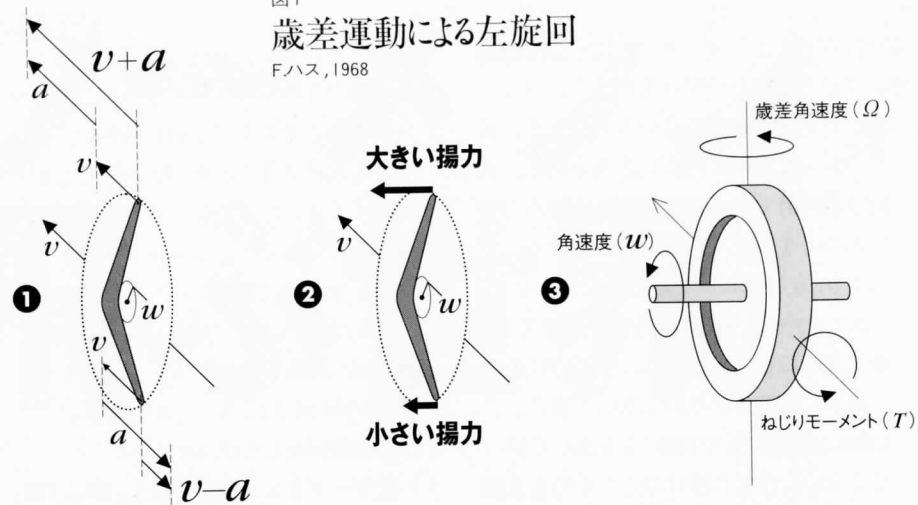
ねじりモーメントが反時計方向に働くのだから、ブーメランを投げ手から見る

「アエラムック
数学がわかる。」
2000年7月、朝日新聞社

Nishiyama Yutaka

図1
歳差運動による左旋回

F.ハス, 1968



と、翼の上端部を左方向に倒してしまうのではないと思われる。でも、そうはならない。まったく予想もしない現象が起こるのだ。

ブーメランが回転する軸に対して、回転する面を反時計方向に回すねじりモーメントが働くとき、ブーメランは自らの回転の軸を維持しつづけるために、もう一つの力が働く。それは、歳差の力（歳差角速度）である。

この歳差の力は、ブーメランが回転する軸とねじりモーメントの軸のどちらにも直交した3番目の軸に働く。このような運動を歳差運動、またはジャイロ効果という。歳差の力によってブーメランの進行方向は左側に向けられ、それが連続して起こるから結果としてブーメランは戻ってくるようになる。

ところでブーメランを「横投げ」すると、なぜ急上昇してストンと落ちてしまうのだろうか。これも、歳差運動で説明できる。首を90度右に傾けてブーメランの翼をながめるとよい。地平線の方向を直進するとすれば、その左旋回は上空になるのだ。

歳差運動と右手の法則

歳差運動をする代表的なものにコマの運動がある。コマは軸が傾いても倒れず

に回り続ける。おもちゃ屋に売っている木製のコマは、1秒間に10~20回転で回る。コマの歳差運動は2~3秒間かかって1周するといった、ゆっくりとした軸の動きなので自分の目で確かめることができる。

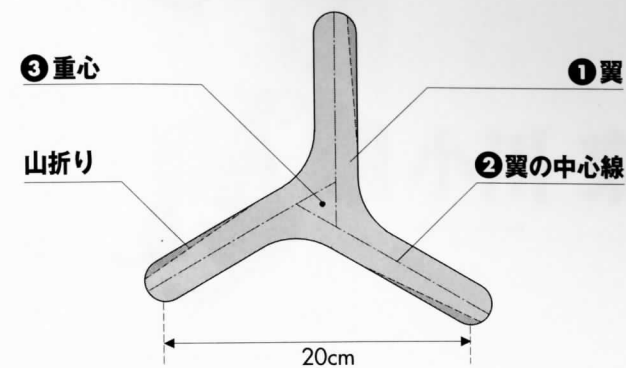
また、自転車の車輪とハンドルの関係も面白い。自転車に乗っていて何かの拍子に傾いたとしよう。そこで、ハンドルを同じ状態で持ち続けるのではなく、自転車が右に傾けば右にハンドルを切り、左に傾けば左にハンドルを切ればよい。そうすれば自転車は、倒れずに走り続ける。これは歳差運動の応用だ。ハンドルは人や物体などの障害物を避けるためにあるのではない。自転車が倒れずに走行するためにあるのだ。

ブーメランの左旋回は、地球ゴマを使えばよく理解できる。

地球ゴマを勢いよく回転させて、右手の親指と中指でコマを軽く持ち、親指を左方向に、中指を右方向にスライドさせる。すると、地球ゴマの円盤は、いま与えられた向きに倒れようとはせず、左方向に向きを変える。

こうした歳差運動が現れる軸を理解するために、右手の親指、人さし指、中指の3本を互いに直交するように形づくる。そして、コマが回転する軸を中指に、揚力差によるねじりモーメントの軸を人さし指に対応させると、歳差の軸は親指に

図2
後退翼ブーメラン



なる。歳差運動には「右手の法則」が成立している。

ブーメランが戻ってくるためには、上下の揚力差が決め手であった。だとすると、ブーメランの形が「く」の字形である必要性はまったくなくなる。「く」の字形の2枚翼でなく、翼の数が3枚のものでもよいことになる。翼が3枚の場合、1枚を揚力に関係しないニュートラルなものとし、残る2枚を揚力差に関係するものとして理解すればよい。3枚翼のものは回転の維持がよく、飛行が安定してキャッチがしやすいなどの利点がある。

さらに、ブーメランが戻るためには風が必要条件ではない。風ではなく空気存在である。ここに紹介するのは、室内で飛ばせる紙製の3枚翼ブーメランである。以下の説明をよく読めば、あなたもブーメランをキャッチすることができるだろう。

普通の3枚翼ブーメランは、翼の中心線が重心を通るようになっているが、私は、より正確に戻ってくるブーメランを考案した(図2)。翼の中心線を重心から後ろ側にずらしてある理由は参考文献(3)を参照のこと。

図のスケールに合わせて拡大コピーし、板目紙(厚めの画用紙)に形を写し取り、はさみで丁寧に切り抜く。点線の箇所(翼の後縁になる)を山折りにする。表側(山折りにしたほう)を顔に向けるようにし

て持ち、3つの翼のどれかひとつの先端を親指と人さし指でつまむように持つ。ブーメランの面を垂直にして、つまり「たて投げ」で、回転を与えて投げるとブーメランは左旋回して戻ってくる。

以上、ブーメランの説明をしてきたが、ブーメランと数学はどういう関係があるのだろうか。受験に役立つのだろうかなどと疑問がでてくることだろう。しかし、このような疑問は意味のないことである。身の回りの不思議なこと、それに対して好奇心をもつことが学問することの楽しさにつながるのだから。

参考文献

- (1) Felix Hess: *The Aerodynamics of boomerangs.* Scientific American, Nov 1968
- (2) 「ブーメランはなぜ戻ってくるのか」(西山豊, ネスコ)
- (3) 「ブーメランからはじめる物理」(西山豊), 「数学セミナー」1996年7月, 日本評論社