



## 数学を楽しむ

# 戻ってくるブーメラン

### 1. いくつかの誤解

ブーメランが戻ってくる理由について、一般の人が考えるおもしろいものは、

- (1) 「く」の字形をしているから戻ってくる、
- (2) 風の力でおし戻される、
- (3) 野球ボールのカーブと同じ原理で戻ってくる、

であるが、これらはすべて誤解である。

まず、「く」の字形をしているから戻ってくるについては、確かにオーストラリアの土産は「く」の字形をしているが、最近はやりのブーメランは翼の数が3枚または4枚のものがあり、これらもきちんと戻ってくるのである。

つぎに風があるから戻ってくるについては、風のまったくない室内で飛ばすことのできる紙製のブーメランを知るとよい。あとで説明するがブーメランが戻るのは風ではなく空気存在である。空気さえあれば戻ってくる。空気がない宇宙空間ではブーメランは戻ってこず宇宙のゴミとなる。

3つめのカーブの原理で戻ることについて、カーブでどれだけ曲げることができるかを考えて欲しい。ボールに回転を与えると進路が左右に変化する。これを発見者の名前をとってマグヌス効果とよんでいるが、桜井伸二『投げる科学』(大修館書店)によると、毎秒30メートルの初速で投げたカーブが18メートル先の本塁上では40センチそれるといふ。古い漫画『巨人の星』の主人公が幼い頃に家の中から野球ボールを投げて手元に戻すというシーンがあるが、これは空想である。ブーメランは360度回転して自分のもとに戻ってくる。

### 2. 落ちる、浮く、飛ぶ、戻る

ブーメランが戻るまでには物理現象として、つぎのことを理解する必要がある。つまり、落ちる、浮く、飛ぶ、戻る、の4つである。地球上のあらゆる物体は万有引力のために地面に落ちる。万有引力の万有とはすべてのものに引力が働くということで、たとえば、ボールが2個あったとしよう。これらにも引力が働いている。しかし、地球の質量があまりにも大きいので2個のボールの間に働いている引力は気づかないのだ。物理学者キャベンディッシュは重い鉛の球を2個でねじりばかりを用いて万有引力の定数を測定したことは有名である。

空の月や星はなぜ落ちてこないのだろうか。古代エジプト文明には星が落ちてこないように丸天井からヒモでつるしているとする宇宙観があった。月は遠くにあるから、空気がないから落ちてこない？ それは説明にはならない。月の遠心力と地球の引力がつりあって落ちてこない。もし、月が静止していたなら地球の引力で確実に落ちてくるだろう。

落ちるに対して浮くがある。これはアルキメデスの原理で、水または空気を押し広げる同じ体積の浮力が働くからである。この原理を応用したのが気球または飛行船である。人間も空気の中にいるから浮力が働いているが、わずかであるので感じないのである。

空を飛ぶものに飛行機、ヘリコプター、ロケットがある。あのような重い金属のかたまりがどうして空中に浮いていることができるのだろうか。飛行機とヘリコプターは揚力というもので浮いていることができるのである。飛行機やヘリコプターの翼の断面の形をくわしく観察すると、上面は凸状に下面は平坦になっ

ている。こういう形の翼が空気中を進むと、空気の流れは上面がゆがめられ下面がまっすぐに進む。ゆがめられた上面の空気は進む距離が長いので下面より速度が大きいことになる。空気の流れが速いほうは遅いほうに比べて空気の圧力が小さくなり、その圧力差のために下面から上面に対して翼を押し上げようとする。この力が揚力であり、ベルヌーイの定理としてよく知られている。飛行機がはやく飛ぶのは目的地に早くつくというのではなく、機体が重いので速く飛ばないと落ちるから、という説明もできる。

落ちる、浮く、飛ぶ、と説明してきたが、ブーメランが戻る理由は別にあり、揚力だけでは戻ってこない。

### 3. ブーメランは左旋回する

ここで、ブーメランの投げ方と飛び方について少し説明しよう。ブーメラン投げに重要なことは、たて投げをすることと回転を与えることの2つである。ブーメラン投げで失敗する原因の99パーセントは、横投げをしていることである。この理由はあとで説明する。

ブーメランには右利き用と左利き用の2種類があり、投げ方と飛び方が異なる。それは数学用語の鏡像対称で説明されている。ここでは右利きの人が右利き用のブーメランを投げたとき、どのような飛び方をするかを説明する。おおまかに言ってつぎの3つの現象が起こることがわかっている(図1~3)。

- (1) たてに投げると左旋回して戻ってくる。
- (2) 横に投げると急上昇してストンと落ちる。
- (3) たてに投げるとブーメラン面が横倒しになり、最後は水平になって戻ってくる。これらの理由を、順をおって説明していこう。



図1 たて投げ

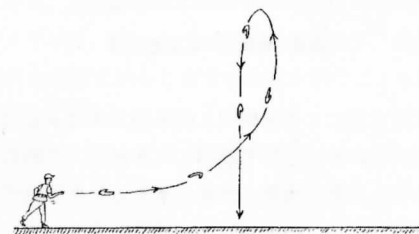


図2 横投げ

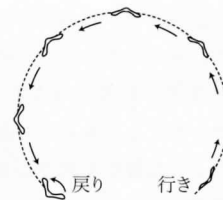


図3 左旋回と横倒し(上空から見た図)

ブーメランは回転を与えて投げ出されるわけであるから、回転運動と前進運動の2つが存在することは理解できるであろう。ブーメランの前進運動と回転運動の関係をF. ヘス(1968年)が示した図を参考に説明しよう(図4)。前進速度 $v$ に100km/h、回転速度 $a$ に20km/hをあてはめて考えるとよい。

ブーメランが100キロの前進速度と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、速度は前進速度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。空気を切る速度が120キロと80キロで40キロの差が生じることとなる。

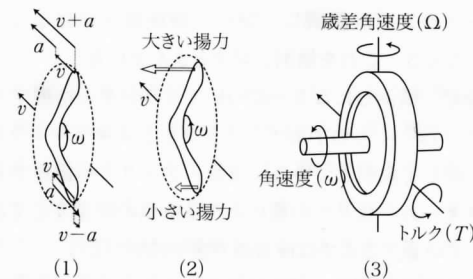


図4 歳差運動による左旋回(F. Hess 原図を復元)

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まわす力、つまり反時計方向にまわす力が働く。この回転力のことをねじりモーメント、偶力またはトルクとよんでいる。

トルク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と、上端部を左方向に倒してしまうのではないかと思う。ここが一番肝心で難しいところであるが、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まわすトルクが働くとき、ニュートンの慣

性の法則により、ブーメランはみずからの回転の軸を維持しようとして、もうひとつの力が働く。それは歳差(さいさ)の力である。歳差の力はブーメランが回転する軸にもトルクの軸にも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る。ブーメランを左方向に倒そうとする力が働く、進行方向を左に変えるという現象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のである。

ブーメランを「たて投げ」すると、進路を「左旋回」させるのが分かった。では、ブーメランを「横投げ」すると、なぜ上空に急上昇するのだろうか。これも歳差運動のひとつである。首を90度傾けてブーメランの翼をながめると、これらの現象が同じであることに気づくであろう。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。つまり、横投げをすると急上昇してストンと落ちてしまうのだ。

#### 4. 右手の法則

ブーメランをたてに投げると左旋回するとともに、ブーメラン面が横倒しになり、最後は水平になって戻ってくる。これを横倒し現象とよんでいる。

なぜ、横倒しになるかについてオランダの物理学者F. ヘスは「く」の字形ブーメランと十文字ブーメランを比較して説明している。また、アメリカの物理学者J. ウォーカーは2つの翼にあたる空気の問題として説明している。ここでは後者の方法で説明しよう。

左旋回の説明ではブーメランの2つの翼を上下の関係に置いたが、前後の関係に置いてみる。前進姿勢で回転する翼は、通過する空気の流れを曲げる。そこへ、すぐ後から次の翼が前進してくる。前の翼は初めての空気(処女空気)を切るために揚力は大きめになり、後の翼は乱された空気(後流空気)の中に入っていきから揚力は小さめになる。この場合、前後の揚力に差ができることになる。前後揚力差のために、先端の翼を左方向に曲げようとするトルクがはたらく。ところがニュートンの慣性の法則によりまっすぐに進もうとし、それが歳差の力となってブーメランの面を横倒しするようになる。

図5(1)は翼を上下の関係に置いた場合の上下揚力差、そこから歳差の力でブーメランが左旋回することを示し、同図(2)は翼を前後の関係に置いた場合の前後揚力

差、そこから歳差の力でブーメラン面が横倒しになることを示している。この2つの現象は同時に起こっていて、ベクトルの2つの成分であると考えるとよい。

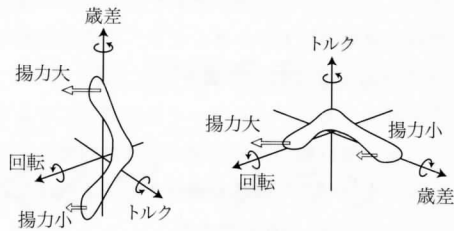


図5 上下揚力差と前後揚力差

以上のことは頭の中だけで考えるのは相当の訓練がいる。もっとよく理解するために私は地球ゴマを使って説明している。地球ゴマを勢いよく回転させて図6(1)に示すように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。すると円盤は、いま与えた向きに倒れようとはせず、左方向に向きを変える(同図(2))。これはブーメランの左旋回である。

同じように、地球ゴマを勢いよく回転させて同図(3)に示すように前後にコマを持ち、中指を左方向に親指を右方向にスライドさせる。すると円盤は、垂直な面から水平な面になろうとする(同図(4))。これはブーメランの横倒し現象である。読者は是非とも地球ゴマを入手してこれらの現象を頭で理解するのではなく身体で納得して欲しい。

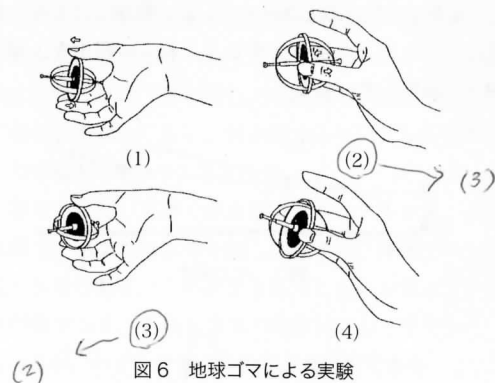


図6 地球ゴマによる実験

上下揚力差による左旋回と前後揚力差による横倒し現象を別々のものとして説明してきたが、これらはずぎに示す「右手の法則」で統一されることに気づくであろう。

歳差運動を完全に理解するためには、ブーメランが

回転する軸、トルクの軸、歳差の軸の3つの関係をおさえる必要がある。右手の親指、人差し指、中指を互いに直交するように形づくってみる。そして、コマまたはブーメランが回転する軸を中指に、揚力差によるトルクの軸を人差し指に対応させると、歳差の軸は親指になる。軸だけでなく回転の方向も含めて示すと、図7(1)は上下揚力差による左旋回を、同図(2)は前後揚力差による横倒しを説明していることとなる。2つの図は腕をひねっているだけで同じ座標系で表現されている。



(1)左旋回の説明 (2)横倒しの説明

図7 右手の法則

#### 5. 室内で正確に戻る紙製ブーメラン

以上はブーメランが戻る理論の説明であるが実践も大事である。私が子供の頃にブーメランに興味を持って40数年の歳月が流れるが、図8は室内で正確に戻る紙製ブーメランである。

翼の数は3枚ある。オーストラリアの先住民アボリジニのブーメランは「く」の字形で翼が2枚であるが、軌道の安定性とキャッチのしやすさから競技用は3枚のものが主流となっている。翼の中心線が重心から後方に少しずれていることに注意して欲しい。こうすることによって先ほど説明した横倒し現象を抑え正確に手元に戻ってくるように工夫がしてある。

この型紙は下にスケールをつけているので、20センチ大になるように拡大コピーして欲しい。つぎに文房具店へ行って白表紙(しろびょうし)または板目紙(いためがみ)という名前で売られているB4版の厚めの画用紙(0.5~0.7ミリ)を購入します。そして型紙を写し取ります。この型紙は右利きの人が投げる右利き用のブーメランで、ブーメランの表側の図です。折り曲げる箇所を点線で示したのでこの線を引きすることも忘れなないようにします。

切り取ったブーメランは図9(1)に示すように、3つの翼を山折りにします。また、ブーメランを平坦な机の上において翼の先端をわずかに2~3ミリ上にそらしておきます(同図(2))。

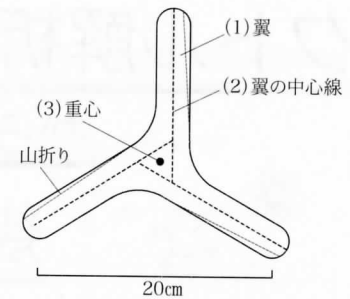
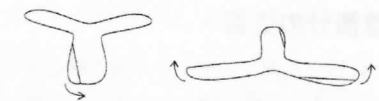


図8 紙製ブーメラン



(1)山折り(10~30度) (2)翼先を少し上にそらす。

図9 ブーメランの調整

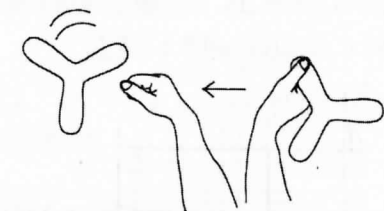


図10 ブーメランの飛ばし方

飛ばし方は図10のように、ブーメランの表側が顔に向くようにして翼の先端を親指と人差し指でつまむように持ちます。たて投げが大事であることを説明しましたが、翼を床と垂直になるように立てて、手首にスナップをきかせて回転を多く与えるようにして、目の高さで押し出すように投げます。するとブーメランは3~4メートル飛んで自分のところに戻ってきます。両手を広げて平手ではさむようにすばやくキャッチします。紙製といえども目にあたる危険ですのでまわりに人がいないのを確認してから投げてください。

#### 参考文献

- (1) Felix Hess, the Aerodynamics of Boomerangs, Scientific American, Nov 1968
- (2) 西山豊『ブーメランはなぜ戻ってくるのか』ネスコ, 1994
- (3) Yutaka Nishiyama, the World of Boomerangs, Bulletin of Science, Technology & Society, Vol.22, No.1, Feb 2002

(にしやま ゆたか/大阪経済大学)