

# ブーメランはなぜ戻ってくるのか

西山豊

2014年11月5日改訂

〒533-8533 大阪市東淀川区大隅 2-2-8 大阪経済大学 情報社会学部

Tel: 06-6328-2431 E-Mail: [nishiyama@osaka-ue.ac.jp](mailto:nishiyama@osaka-ue.ac.jp)

ブーメランについて語るにはあまりにも誌面が少なすぎる。本来ならば、ブーメランの作り方や投げ方、調整方法や競技について詳しく説明したいのだが、実践的なことはすべて割愛せざるをえない。私の初期の研究は非常に未熟なものであったが、フェリックス・ヘスやジャーレ・ウォーカーの研究<sup>(1)(2)</sup>を参考にして、今では理論も技術も格段に進歩し、ほぼ完成の域に達したといえる<sup>(3)(4)</sup>。ここではブーメランが戻る理由を中心に説明したい。

## 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なものは、

1. く字形をしているから戻ってくる、
2. 風のおし戻される、
3. 野球ボールのカーブと同じ原理で戻ってくる、

である。

まず、く字形をしているから戻ってくるというのは誤解である。その理由は、最近はやりのブーメランを知るとよい。翼の枚数が3枚または4枚のものが市販されている。さらに、カンガルーやカモメの形をしたものがある。戻ってくるように作ってあるのだ。これらすべてをブーメランと呼ぶべきかどうかがよく議論される。文化人類学者にすれば、戻ってくる、戻ってこないにかかわらず、「く字形」をしているならブーメランであるということになり、自然科学者にすれば、形や翼の枚数にかかわらず、「戻ってくる」ならどんなものでもブーメランであるということになる。

つぎに風があるから戻ってくるというのも誤解である。その理由は、風のま

ったくない室内でもブーメランが戻ってくるということを知るだけで十分だ。風は戻る直接の原因ではない。ブーメランが戻るのは風ではなく空気の存在である。空気さえあれば戻ってくるのだ。

3つめのカーブの原理で戻るというのも誤解である。野球ボールの場合は、前進運動だけで前に進む。ボールに回転を与えると、カーブやシュートになり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。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センチメートル横にそれるといふ。マグヌス効果で曲がる距離はしれている。漫画『巨人の星』の主人公が幼少の頃に、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。

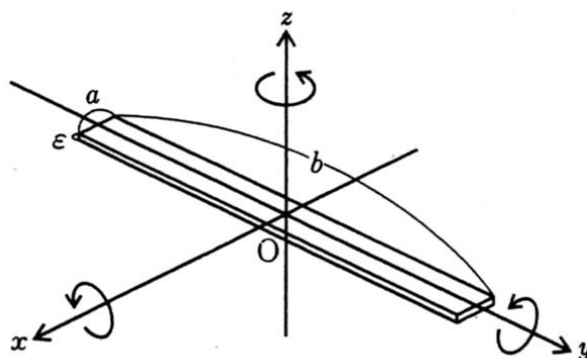
## 2. ブーメランはなぜ「く」の字形か？

採集狩猟民族の最初の武器は石と棒切れであった。これらを空中に投げるとどうなるだろうか。石は放物線運動をして飛ぶが、棒切れはそのようにならない。力一杯投げても空中でぐるりとまわって落ちてしまい、なかなか遠くへ飛ばない。それは、棒切れが回転するからだ。石は質点としてあつかえるが、棒切れは剛体としてあつかわねばならない。

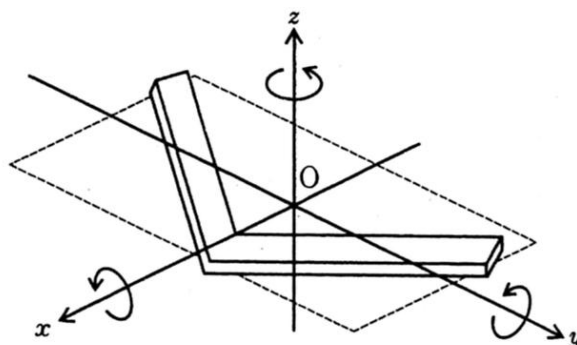
回転運動は、静止しているものはいつまでも静止し続け、回転しているものはいつまでも回転し続けるという性質がある。質量に距離の2乗をかけて得られる慣性モーメントがあり、回転のしやすさ、回転のしにくさを示す物理量である。板の重心を3次元座標の原点にして、板の幅方向をx軸に、長さ方向をy軸に、厚さ方向をz軸にとる。3つの軸のまわりにはそれぞれの慣性モーメントがあり、その大小関係は、z軸まわりが一番大きくて、そのつぎにx軸まわり、そしてy軸まわりの順になる。

これの意味するものはこうである。z軸まわりは、静止しているなら回転しにくく、回転しているなら止まりにくい。また、y軸まわりは、静止していても回転しやすく、回転していても止まりやすいということだ。慣性モーメントの一番大きいz軸まわりに回転していたとしても、何らかの空気の乱れによっ

て回転が維持できなくなると、すぐに慣性モーメントの一番小さい  $y$  軸まわりの回転に移ってしまうことになる。この弱点を克服するには板を曲げることになる。板を曲げると、見かけ上の板の長さは短くなり、板の幅は大きくなる。さらに幅方向の空気抵抗が増えて  $y$  軸まわりに回転しにくくなる（図 1）。



(1) 真っ直ぐな板



(2) 板を曲げる

図 1. 3つの慣性モーメント

さらに、面白いことは、板の重心が移動することである。くの字に曲がった板を空中に投げると、真ん中に空洞ができてドーナツ状になる。この空洞は板の上面と下面の空気圧を調整して、飛行の安定性を増すことになる（図 2）。このような理由で、ブーメランは「く」の字に曲げられているのである。

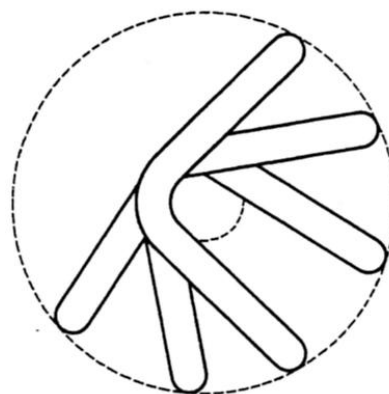


図 2. 空洞ができる

### 3. 揚力だけでは戻らない

ブーメランは飛びながら戻ってくる。つまり、「飛ぶ」と「戻る」ことが重要なキーになる。まず、飛ばすためには浮く力、つまり揚力が必要である。揚力は空気の流れて発生するが、それには2通りある。1つ目は、翼の断面の形状による。これを翼形断面という。

飛行機の翼の断面の形は、上面が凸状になっているが、下面が平坦になっている。こういう形の翼が空気中をある速さで進むと、空気の流れは上面はゆがめられ、下面は真っ直ぐに進む。ゆがめられた上面の方は、進んだ距離が長いので下面より速度が速いことになる。流れが速い方は、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知られている。

翼の断面の形状が、このように上側が凸状になっていないと、揚力が発生しないのだろうか。そうではない。文房具の下敷きを投げるときのように、平坦なプラスチック板でも揚力は発生するのだ。ここで、揚力が発生する2つ目は、気流方向に対していくらかの迎え角がついていることだ。迎え角とは、翼の断面の基準線と飛行方向、つまり流れの方向とのなす角度であり、この角度が5～10度の値を持っていることが必要である。

### 4. ブーメランは左旋回する

ブーメランを投げるのに重要なことは、「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。右利きの人ブーメランを投げるとき、その投げ方と軌道の関係を詳しく観察すると、つぎの3つの現象が起こることが分かる(図3, 図4, 図5)。

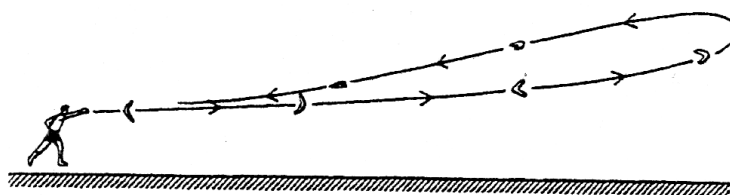


図3. たて投げ

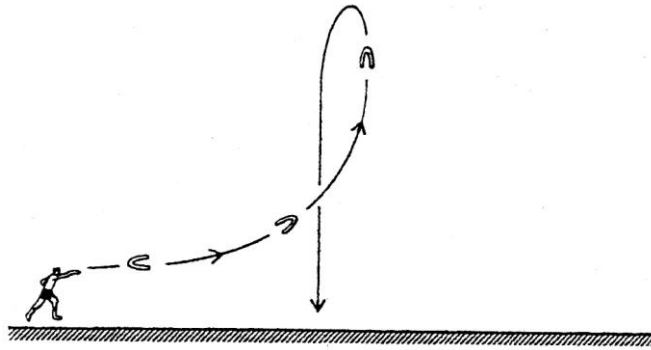


図4. 横投げ

1. たてに投げると左旋回をして戻ってくる.
2. 横に投げると急上昇してストンと落ちる.
3. たてに投げると横倒しになり最後は水平になって戻ってくる.

そこで、これらの理由を説明していこう。ブーメランの前進運動と回転運動の関係を見てみよう。図6では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。風に対する速度が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のである。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」とよんでいる。ねじりモーメントが反時計まわりに働くのだから、ブーメランを投げ手から

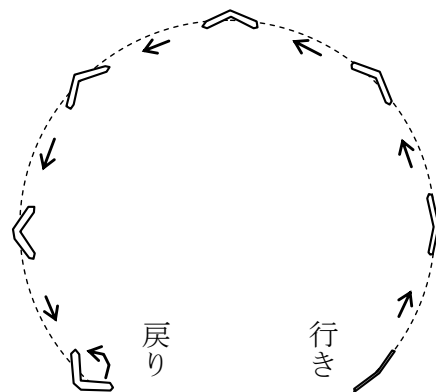


図5. 左旋回と横倒し(上空から見た図)

見ると、上端部を左方向に倒してしまおうのではないかと思う。私も最初はそうのように考えていた。でも、そうはならない。まったく予想もしなかった現象が起こるのだ。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、ブーメランはみずか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（さいさ）の力である。

この歳差の力は、ブーメランが回転する軸にも、ねじりモーメント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、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「急上昇」するのだろうか。これも、歳差運動である。首を90度右に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。地平線の方を直進するとすれば、その左旋回は上空になるのだ。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。

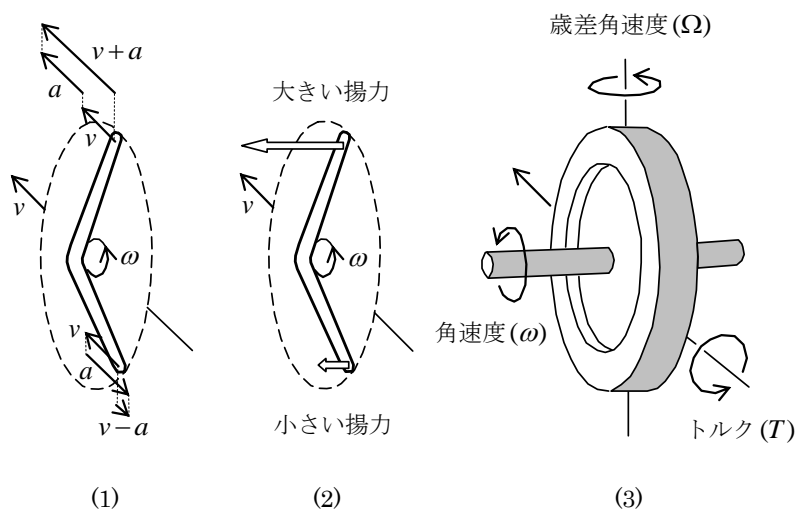


図6. 歳差運動による左旋回

この図はF.ヘス(1968年)が示したものを模写したものである。前進速度 $v$ に100km/h, 回転速度 $\alpha$ に20km/hをあてはめて考えるとよい。

## 5. 日常生活にある歳差運動

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ある木製のコマは、1秒間に10~20回転でまわる。コマの歳差運動は2~3秒間かかって一周するといった、ゆっくりしたものである。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そうである。自転車が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。机の上に転がした硬貨の運動もそうである。硬貨がまっすぐに転がっているとしよう。そして、机のひずみか何かで少し傾いたとする。右に傾けば右に、左に傾けば左に進行方向を変える。硬貨は回転を維持しようとするため進行方向をその向きに変えるのだ。飛行機にはジャイロとよばれる大きなコマが積んである。これは、自動操縦を助けるためで、飛行機は東西方向、南北方向、上下方向の姿勢を制御するために3つのコマを備えている。コマの歳差運動から飛行機の進路のずれを計算している。

## 6. ブーメランの横倒し現象

ブーメランは、たてに投げると左旋回するとともに、横倒しになり最後は水平になって戻ってくる。なぜ、横倒しになるかについて、オランダの物理学者フェリックス・ヘスは、「く」の字形のブーメランと十文字形のブーメランを比較している。ブーメランがぐるっと一周する間に翼がうける揚力分布図を作成し、その図から、く字形のブーメランだけが横倒しになると解く。翼の位置が重心からずれている（偏心している）からだと説明している。

ところが、十文字形のブーメランでも横倒しが起こることが分かっている。アメリカの物理学者ジャール・ウォーカーは、2つの翼にあたる空気の問題として解く。まず、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）の中に入っていくから揚力は小さめになるからだと説明している．2つの説は，互いに補完しながら現象をよく説明している．どちらにせよ，翼の上下揚力差がブーメランを左旋回させる力になり，翼の前後揚力差がブーメランを横倒しさせる力になるのである(図7)．

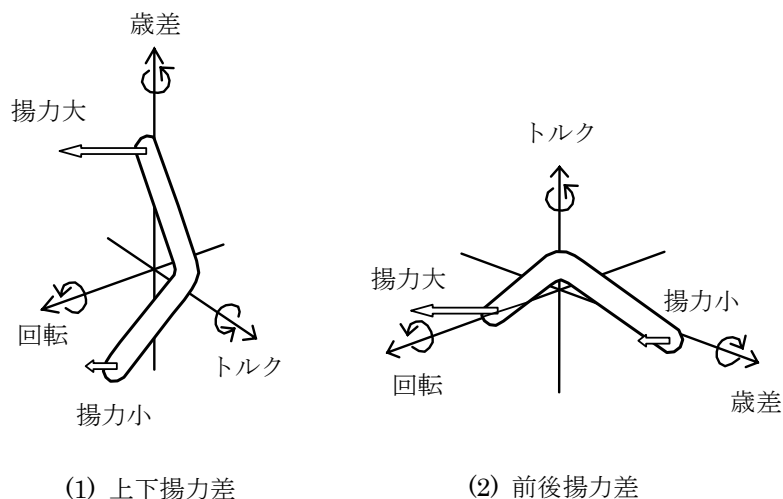


図7. 上下揚力差と前後揚力差

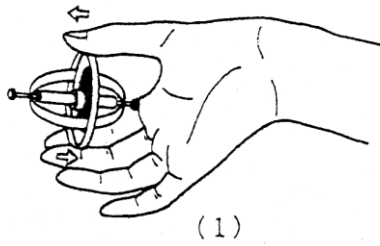
## 7. 右手の法則

左旋回と横倒しの現象は，地球ゴマを使えば統一的に理解することができる．地球ゴマを勢いよく回転させて，図8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．これは，ブーメランの左旋回である．同じように，図9に示すようにコマを持ち，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．これは，ブーメランの横倒し現象である．

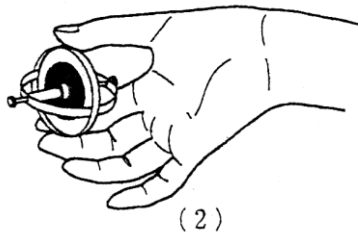
歳差運動の軸の関係を理解するために，右手の親指，人差し指，中指の3本を互いに直交するように形づくる．そして，コマが回転する軸を中指に，揚力差によるねじりモーメントの軸を人差し指に対応させると，歳差の軸は親指になる．これを，回転の方向も含めて図10に示しておく．上下揚力差による左旋回の場合も，前後揚力差による横倒しの場合も歳差の軸は，この「右手の法則」



に保たれていることが分かる。

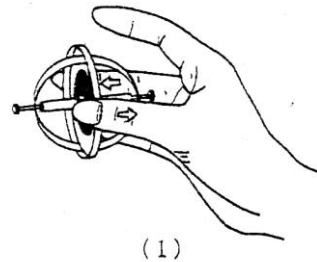


(1)

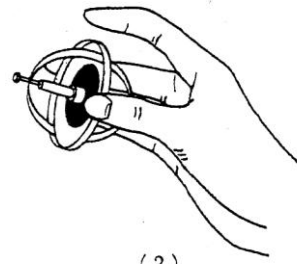


(2)

図 8. 上下に偶力を与えると回転面は向きを変える

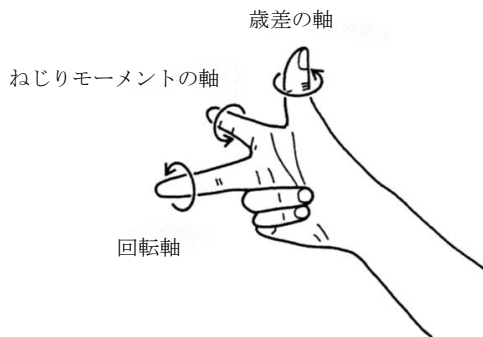


(1)

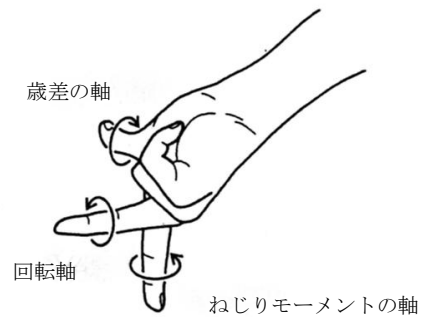


(2)

図 9. 前後に偶力を与えると回転面は横倒しになる



(1) 左旋回の説明



(2) 横倒しの説明

図 10. 右手の法則

## 8. 室内で正確に戻る紙製ブーメラン

翼の上下揚力差は、左旋回して戻ることに関係し、前後揚力差は横倒しに関係する。前後揚力差が大きいと、早い時点でブーメラン面が横倒しになる。横倒しになると風の影響を大きく受け、それが揚力となり上空に舞い上がる。部屋の中でも同じで、紙製のブーメランを投げると、揚力の影響で上昇し、天井

にあたってしまう。天井にあてまいとして低めに投げると、戻ってきたとき手前に落ちてしまう。そこで、天井にあたらず、かつ正確に戻ってくるブーメランが作れないかということになる。

ブーメランの翼を重心との位置関係から、重心より前にあれば前進翼、後ろにあれば後退翼であるということにすれば、くの字形のときは、一方が前進翼になり、もう一方が後退翼になる。先に空気を切る翼が前進翼であるために、前後揚力差がプラスの方向に働くことがわかっている。そこで、3枚翼のブーメランを検討してみると、すべてが前進翼のタイプと、すべてが後退翼のタイプのものを作れることがわかった。後者の場合は前後揚力差がマイナスの方向に働き、ブーメランが垂直のまま揚力が発生せず、軌道の高さを維持しながら正確に戻ってくる。このようにして私が考案したのが、3枚翼の後退翼ブーメランである（図 11）。

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<sup>6)</sup>。

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）を購入すること。そして型紙を写し取る。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ある。折り曲げる箇所を点線で示したのでこの線を引くことも忘れないようにすること。

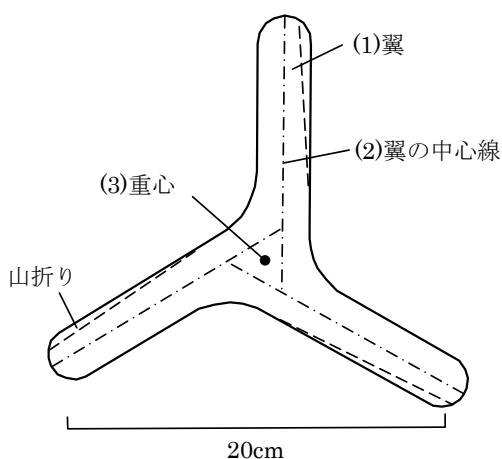
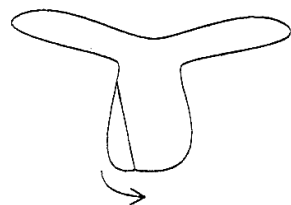


図 11. 後退翼ブーメラン

切り取ったブーメランは図

12(1)に示すように、3つの翼を山折りにする。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くこと（同図(2)）。



(1)山折り(10～30度)



(2)翼先を少し上にそらす。

図 12. ブーメランの調整

飛ばし方は図 13 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つ。たて投げが大事であることを説明したが、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、目の高さに押し出すように投げる。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くる。両手を広げて平手ではさむようにすばやくキャッチする。紙製といえども目にあると危険なのでまわりに人がいないのを確認してから投げること。

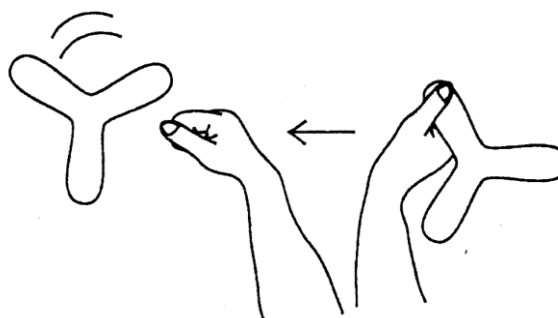


図 13. ブーメランの飛ばし方

### 参考文献

- (1) Felix Hess, The Aerodynamics of boomerangs, Scientific American, Nov. 1968
- (2) ジャール・ウォーカー「ブーメラン、その作り方、飛び方」『日経サイエンス』1979.5
- (3) 西山豊「研究室の窓、ブーメランの数理」『数理科学』1993.7
- (4) 西山豊『ブーメランはなぜ戻ってくるのか』ネスコ、1994.9
- (5) 西山豊「紙ブーメランを飛ばそう！」2007、ブーメランの解説書が世界 70

言語に翻訳されています. <http://www.kbn3.com/bip/index2.html>

初出「ブーメランからはじめる物理」『数学セミナー』日本評論社, 1996. 7

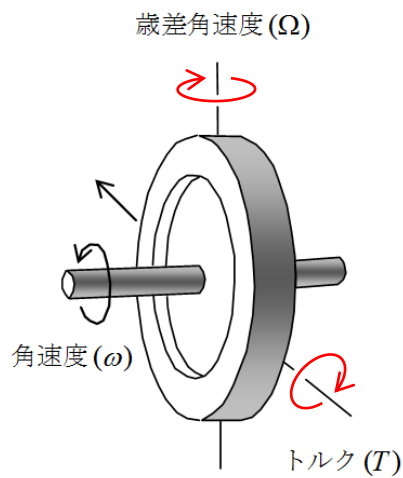
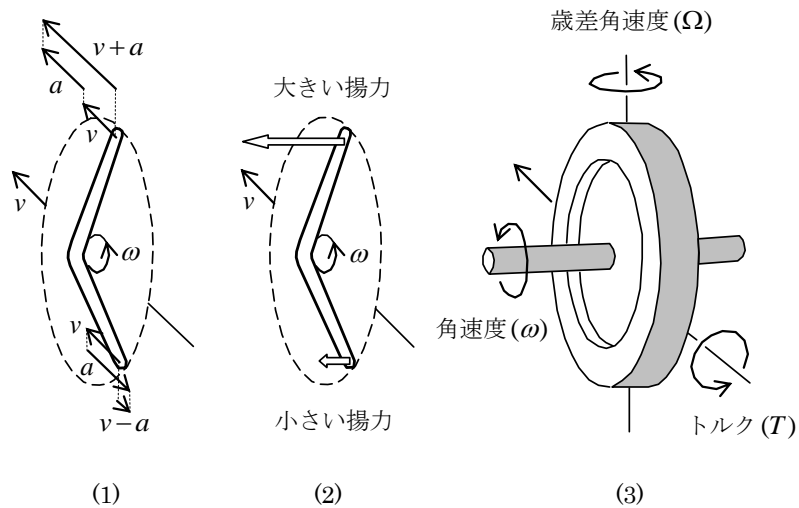


図 6 a. 歳差運動による左旋回 (ブーメランと地球ゴマ)

地球ゴマの回転する様子を動画にしました。

<https://www.youtube.com/watch?v=sHnDzGWcq1Q>

<https://www.youtube.com/watch?v=NpGHAn08vo>

ブーメランは上下揚力差により左旋回しますが、地球ゴマは重力により右旋回します。