1978.12 『数学セミナー』(日本評論社)

狩猟民族の文化を探る

ブーメランの飛行力学

西山 豊

1. 消えたおもちゃ

フラフープという名のおもちゃが，世を賑わしたのは，昭和 33 年の秋だから，今から，もう，ふた昔も前のことになる．

これは，直径1メートルぐらいのプラスチック製の輪で，腰のまわりに回転させて遊ぶのである．(図1) その様がフラダンスに似ているので，この名前がついたらしい．とにかく爆発的な人気で，子供から大人までが，下へ落さずに，何回まわせるかを競い合ったものだ．

ところが，この遊びは身体を異常にくねらせるためか，使用者から，腹痛や腸ねんてんを起すという苦情が出だした．メーカー側は，「そんなことはない．回しかたが下手であるからそうなるのであって，むしろ運動不足解消には最適だ．」と反論を出し，この議論はやまなかった．

遊び好きで，いたずら好きだった私たちは，腰で回すのに飽き足らず，手や足で回し，さらには首で回すことを覚えた．その結果，首をしめて気絶してしまったこともあったように思う．

今日，フラフープの原形を残すおもちゃはない．今から考えてみると，結局は，危険なおもちゃということで，その運命を絶たされたのであろう．

フラフープほど流行しなかったが，同じく危険なおもちゃとして，この世から消え去られたものに，ブーメランがある．この名前をもじった歌謡曲なんかがはやってはいるが，どこのおもちゃ屋さんに行っても，ブーメランを見つけることはできない．ブーメランは約 20 センチメートルのプラスチック製の切片で「く」の字型に曲っている．投げると手元に戻ってくるという楽しさがある．ところが，下手に投げると，どこに飛ぶか解らず，きわめて危険である．だから，今では，安全な円盤状のフリスビーに取って変えられたのである．(図2)

フリスビーも確かに面白い．いかに遠くへ投げるかを競いあえる，楽しい遊びだ．しかし，フリスビーを手元に戻すには高度な技術を要し，ブーメランのように，ちょっとした工夫では戻ってこないのだ．だから，ブーメランを知らずに育つ今日の子供らは，ある意味で不幸だとも言えよう．

さて，このブーメランについて，私はごく最近まで，非常に重要な思い違いをしていた．それは，ブーメランが戻ってくるのは，木片が「く」の字型に曲っているからだという思い違いである．調べてみたところ，曲げてある理由はもっと別のところにあり，極端に言えば，曲げなくとも戻ってくるのである．

図書館で，ブーメランに関する数少ない資料をたよりに，私なりに戻ってくる理由を考えてみた．そして，戻ってくるのを目で確かめたく，実際に試作してみた．安心してほしい．ブーメランは確かに手元に戻ってきた．ただし，単に木を曲げるだけでは駄目で，ある種の仕掛けが必要である．さらに，投げ方にもコツがある．その秘密を明らかにしていこう．

2. 狩猟民族とブーメラン

ブーメランは，もとをただせば，オーストラリア原住民の用いる狩猟用の飛び道具である．鳥をつかまえるのに使用していたのである．(図3)

ブーメランには，戻ってくるブーメランと，戻ってこないブーメランとがある．前者は，小さく薄くて軽い．小動物の狩猟や，木と木の間に張った網に鳥の群れを追い込む，ネットハンティングに用いられる．群れに投げ込んだ際，あたれば鳥と同時に落ち，あたらない場合は投げ手に戻ってくる．後者は，大きくて重く，戦闘用に用いられた．

ブーメランの長さは，30 センチから 90 センチメートル，交角も 70 度から 120 度と様々である．戻ってくるブーメランには，ちょっとした仕掛けがある．(図4) 翼形断面と切りかきの部分である．この仕掛けについては後で説明しよう．

図1 フラフープ

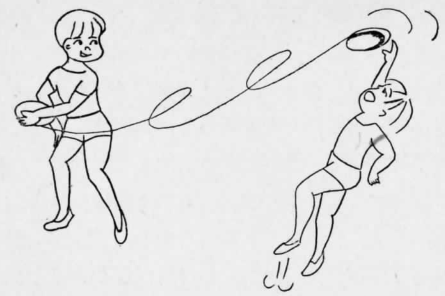

図2 フリスビー

図3 ブーメランを投げるオーストラリア原住民

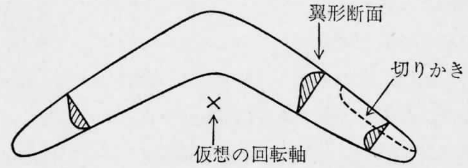

図4 戻ってくるブーメラン

図5 採集狩猟民の分布 (15 世紀ごろ)
注 祖父江他『文化人類学事典』を参考に作成

オーストラリア原住民などの採集狩猟民は，今や西洋文明の前に減少の一途をたどり，その数は数 10 万人とされている．世界人口の比率でいえば，0.001 パーセントにしかすぎない．極地のエスキモー，乾燥地帯のブッシュメン，アメリカインディアン，熱帯降雨林のピグミー，ネグリートなどが有名である．図5に示したのは，新大陸発見以前の採集狩猟民の分布状態である．星印は点在を表わしている．

採集狩猟の経済形態は，食糧源の増殖を計らず，専ら自然界の動植物を略奪するという点で，最も原始的な経済形態である．これらの民族は，弓矢，毒の吹矢，槍投器，ボーラ（石球）などの武器に精通している．ところが，オーストラリア人は例外で，武器類としてブーメランをもち，他の民族とすこぶる異なっている．

ブーメランの分布を調べてみると，オーストラリア以外でも存在していることに気づく．例えば，アメリカインディアンの一部，ニューブリテン島，セレベス島などである．また，歴史的にみても，エジプト，バビロニア，ヒッタイトの先史遺跡から出土されている．

ブーメランは，なぜこれらの地域で発生し，なぜわが日本で発生しなかったのだろう．ブーメランを発明したオーストラリア人は，遊び好きで，愛きょうがあり，頭のよい民族なのだろうか．

そう考えるのは早合点である．オーストラリアでは，木片を投げればあたるほど鳥類が豊富なのである．だからこそ，ブーメランのような武器が発達したと考えるのが妥当であろう．日本では，早くから農耕生活に入ったこともあるが，一羽のキジを射るために弓矢が発達し，ブーメランの発達する余地がなかったのである．

今日現存している狩猟民族は，「未開」とか「未発達」とかいうことばで呼ばれている．しかし，その文化は決して「低級な」文化を意味していない．このことを示す一例はブーメランであろう．ブーメランほど科学的で高級なものはない．飛行原理を究めつくした，木製の狩猟道具としては，最高のけっさく品と言えるだろう．

3. ブーメランはなぜ戻ってくるのか

前おきはこれくらいにしておいて，本題にはいろう．

まず，ブーメランが戻ってくる過程を図6に示そう．これは，側面から見た図である．凹面を前向きにして直立のまま投げると，ほとんど直立のまま回転して，30メートルぐらいまっすぐに飛ぶ．そこで横転し，それと同時に急上昇する．上りきったところを，今度は，落下しながら投げ手のほうに戻り，しだいに速度を落とし，最後は渦巻形にまわりながら，投げ手の近くに着地する．

これらの過程には，ひとつひとつの意味がある．それは，順をおって説明していくが，その前に，「投げる」という動作について考えてみたい．(図7) ブーメランを投げる過程を分解すれば，(1) から (4) になる．投げ始めの (1) と，手から離れる瞬間の (4) の位置関係をみると，ブーメランには，並行運動と回転運動の二種類の運動が，同時に与えられていることになる．並行運動は主に腕の力によって，回転運動は主に手首の力によって与えられる．そして，手首によって与えられる回転運動が，ブーメランを安定させるという点で，非常に重要な意味をもっている．

ブーメランが戻ってくるためには，三つの力が必要である．それは，飛ぶための揚力，横転し旋回させる力，飛行を安定させる力である．

揚力は，ブーメランの翼形断面が決定する．(図8) 翼によって空気の流れが曲げられ，上面の空気の流れが下面の空気の流れより速くなる．すると，翼にかかる空気の圧力が，下面より上面の方が弱くなり，この圧力の差が，翼を上に押し上げることになる．揚力が重力に優るとき，翼は上昇する．

揚力は，翼に空気が速くあたらない限り発生しない．飛行機が速いのは，短時間で目的地に着くためでなく，空を飛ばせるために，どうしても速くなければならない．という説明がある．この逆説的な説明もまた真理である．したがって，部屋の中でブーメランを投げてみても，実験にはならない．

横転し旋回させる力は，ブーメランの切りかきの部分が関係している．このことは後で説明する．

飛行を安定させる力は，ブーメランを回転（自転）させることによって与えられる．ここで，興味ある実験を図9に示そう．直径20センチメートルぐらいの，段ボールで作った円盤を用意する．この円盤に，回転を与えて手離した場合と，回転を与えずに手離した場合を比較してみる．回転を与えた場合は，回転軸の方向を変えずに落下するが，回転を与えない場合は，回転軸の方向が定まらずフラフラと落下する．

これは，こまの原理と同じで，重い物体が高速で回転しているとき，安定して回りつづけようとする．回転に関する慣性の力が働くからである．

この性質を応用したものに，ジャイロ・スコープがある．飛行機では，飛行中の水平線と北の方向を記憶するために使用されている．おもちゃとして，地球ごまがある．

4. ブーメランはなぜ「く」の字型か

以上の説明では，ブーメランが「く」の字型でなければならない，という説明がなされなかった．それもそのはずで，極論を言えば，ブーメランが戻ってくるためには，「く」の字型に曲っている必要がないからである．では，なぜことさら曲げるのだろうか．このことについて少し考えてみたい．

今，幅 a，長さ b の板を，曲げない場合と曲げた場合とについて考える．そして，それぞれ回転させた場合，どちらが安定であるかを比較検討してみる．(図 10)

剛体の回りやすさ，回りにくさを示す物理量に，慣性モーメントがある．慣性モーメントが大さいときは，回しにくく止まりにくい．慣性モーメントが小さいときは，回しやすく止まりやすい．

剛体の質量を M とし，それを n 個の微小量 m_i に分割する．$\left(M=\sum_{i=1}^{n} m_i\right)$ その微小量 m_i は回転軸から r_i だけ離れているとしたとき，この剛体の慣性モーメント I は，

$$I=\sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2 \tag{1}$$

で定義される．

剛体の回転軸には，重心を通る三つの直交した軸が考えられる．その軸を x 軸，y 軸，z 軸とする．そして，各軸のまわりの慣性モーメントがあり，それらを I_x, I_y, I_z とすれば，板を曲げない場合（図 10(1)），それぞれ，

$$I_x=\frac{1}{12}Mb^2 \tag{2}$$

$$I_y=\frac{1}{12}Ma^2 \tag{3}$$

$$I_z=\frac{1}{12}M(a^2+b^2) \tag{4}$$

となる．計算は，定義 (1) に従えば簡単に求まる．

$b>a>0$ を仮定すれば，

$$I_z > I_x > I_y \tag{5}$$

となる．(5) 式の意味するものはこうである．z 軸まわりの回転が一番回しにくく，回れば止まりにくい．y 軸

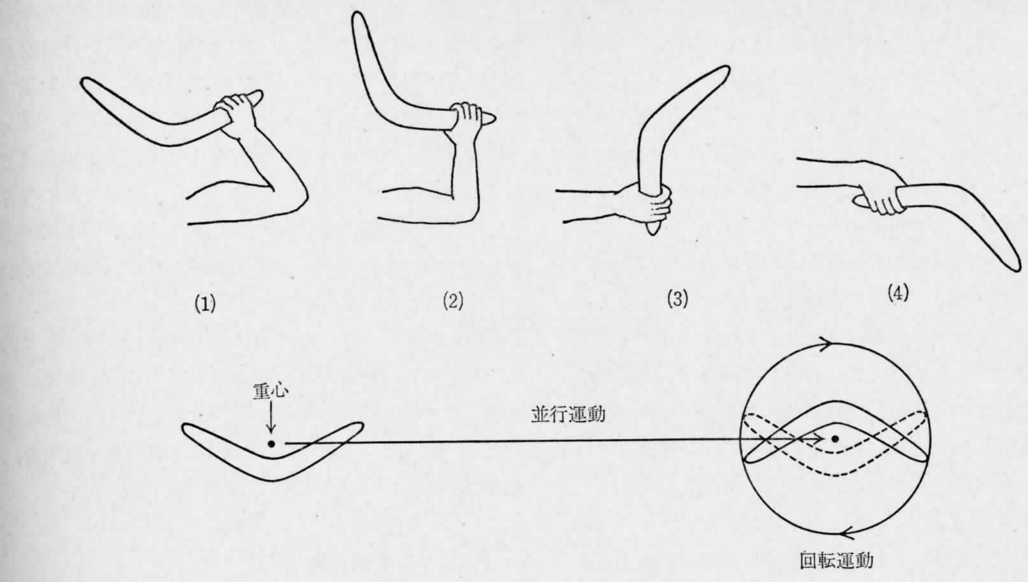

図 7　腕と手首の運動

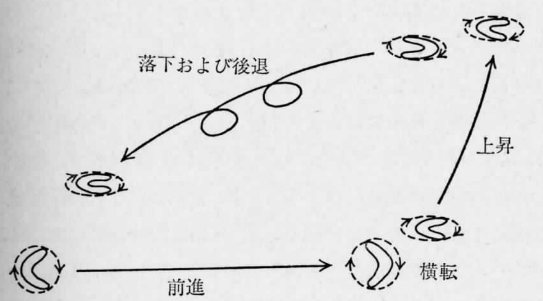

図 6　ブーメランの軌跡

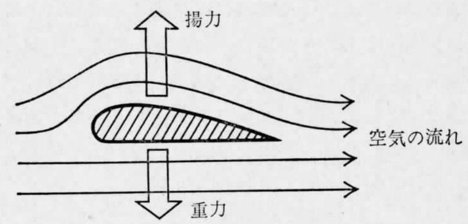

図 8　揚力

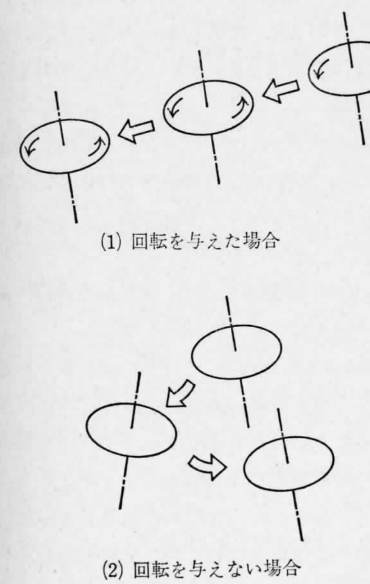

図 9　安定性

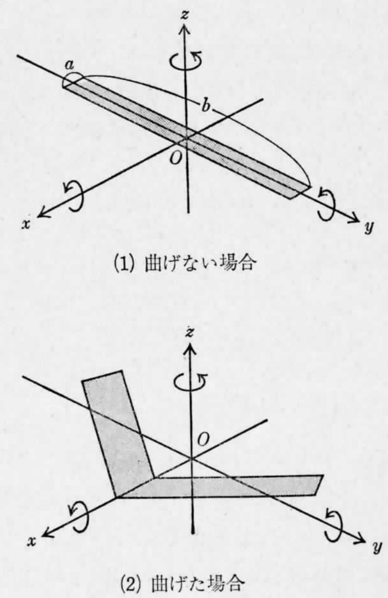

図 10　三つの軸のまわりの回転

まわりの回転が一番回しやすく，回っても止まりやすい．だから，z 軸まわりの回転が一番安定し，y 軸まわりの回転が一番不安定であるということになる．

この板を任意にほうりあげた場合，最初に回転するとすれば y 軸まわりである．また，z 軸まわりの回転を与えたとしても，何らかの擾乱で不安定になったとき，すぐに y 軸まわりの回転に入りやすくなる．

y 軸まわりの回転に入るのを，制止する方法はないだろうか．それには，次の空気抵抗の考えを導入しなくてはならない．x 軸，y 軸，z 軸のまわりに回転させたときの板が受ける空気抵抗を，おのおの R_x, R_y, R_z とする．空気抵抗は，回転体の断面の長さに比例する．断面の長さは，x 軸，y 軸，z 軸まわりの回転の場合，それぞれ，b, a, ε(微小）であるから，

$$R_x>R_y>R_z \tag{6}$$

となる．空気抵抗は，当然のことであるが，z 軸まわりが一番小さく，x 軸まわりが一番大きい．

y 軸まわりの回転を制止するには，空気抵抗 R_y を大きくすることである．それには，単純に考えれば，板の幅 a を大きくすることである．しかし，同じ板の幅で考える場合は，板を曲げることになる．(図 10(2)) ブーメランが「く」の字型であるゆえんはここにあるのだ．曲げることは，同時に，慣性モーメント I_y をも大きくしている．

「く」の字型に曲げるのがよいことは解ったが，それでは一体，何度ぐらいの交角が最適なのだろうか．今度は，この問題について考えてみたい．

今，ブーメランを線分 AXB でモデル化する．(図 11) AX の中点を M, BX の中点を N とすれば，重心 O は M と N の中点として求められる．図 11 が示すようにブーメランの重心，すなわち回転軸は，凹面の内側に移動していることになる．

$AX=BX=l$, $\angle AXB=\theta$ とすれば，

$$OX=\frac{l}{2}\cos\frac{\theta}{2} \tag{7}$$

$$OH=\frac{l}{4}\sin\theta \tag{8}$$

$$OA=\frac{l}{2}\sqrt{1+3\sin^2\frac{\theta}{2}} \tag{9}$$

となる．重心からブーメランへの距離 OH が，最大になるのは，θ が 90 度のときである．このとき，y 軸まわりの慣性モーメントが最も大きく，y 軸まわりの空気抵抗が最も大きくなる．すなわち z 軸まわりの回転を，最も安定よく行なわせているのである．

ここで，ブーメランに幅をもたせ，ブーメランの密度分布なるものを求めてみよう．交角が 180 度と 90 度の場合を図 12, 13 に示す．密度 $\rho(r)$ とは，ある半径 r の円周を仮定したとき，その円周上に占めるブーメランの比率をいう．回転体で一番安定なのは，密度がすべて 1 である物体であるから，円盤であるということになる．交角が 90 度の場合は，180 度の場合に比べて半径は小さくなるが，ブーメランの翼中心が，重心から外に移動していることがわかる．

現存するブーメランの交角は，70 度から 110 度である．私が求めた最適角は，90 度であった．これは，まさに，ど真中の値である．オーストラリア人は，物理学や数学の知識はもちえなかったが，一番最適な交角を，実践的に理解していたのではないだろうか．

5. ブーメランと飛行機

ブーメランの切りかきの部分は，ブーメランを横転させ旋回させる役目をもっている．(図 4) 切りかきの部分が，具体的にどう作用しているかをみてみよう．

ブーメランは，回転しながら飛び，戻ってくる．自転をしながら公転をしているとも言える．だから，この二つの運動を合せて，考えなければならない．その様子を示したのが図 14 である．(1) から (4) は行きで，側面から見た図であり，(5) から (8) は戻りで，上から見た図である．矢印は自転を，白矢印は公転を示している．ブーメランの翼が空気の流れに一番影響を受けるのは，自転の矢印と公転の白矢印の方向が一致したときである．つまり，(1), (2) または (5), (6) の位置関係で，斜線で示した翼だけである．それ以外のときの翼は，方向が一致せず，互に打ち消しあっているので，影響を受けないと考えてよい．

斜線を施した部分を，ブーメランの主翼および尾翼と名付けると，この関係は，飛行機の主翼と尾翼に類似している．(図 15) ブーメランも飛行機も，ともに，主翼のあとを尾翼がおいかけている．

さて，切りかきの部分は，ブーメランの主翼にあるので，飛行機なら主翼のかじに相当する．

よく知られているように，飛行機には三つのかじがある．主翼にある左右の補助翼，水平尾翼にある昇降だ，垂直尾翼にある方向だがそれである．(図 16) 飛行機の重心に三つの軸を考えると，補助翼は x 軸まわりの，昇降だは y 軸まわりの，方向だは z 軸まわりの回転を制御でき，飛行機の揺れをもどしたり，進路や高度をかえたりする役目をもっている．

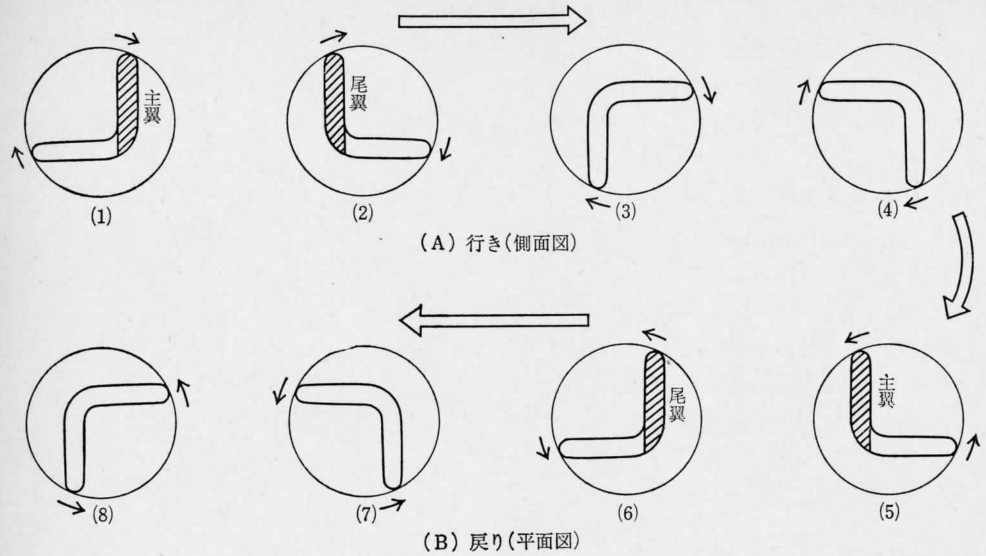

図 14　ブーメランの位置と相対速度

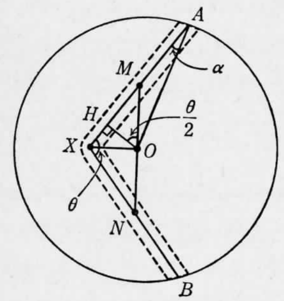

図 11　重心は内側に移動する

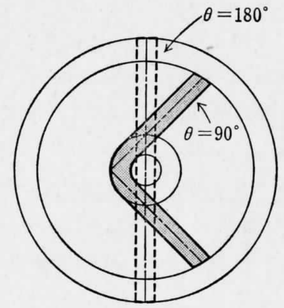

図 12

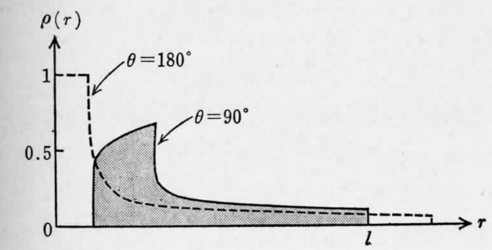

図 13　密度分布

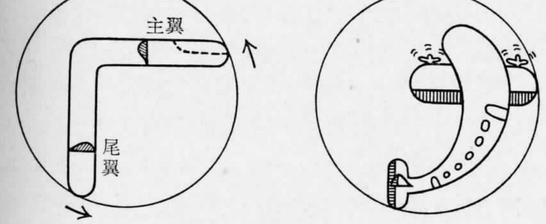

図 15　主翼と尾翼

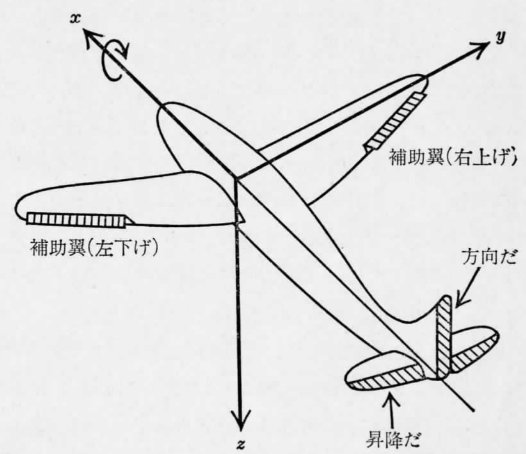

図 16　三つのかじ

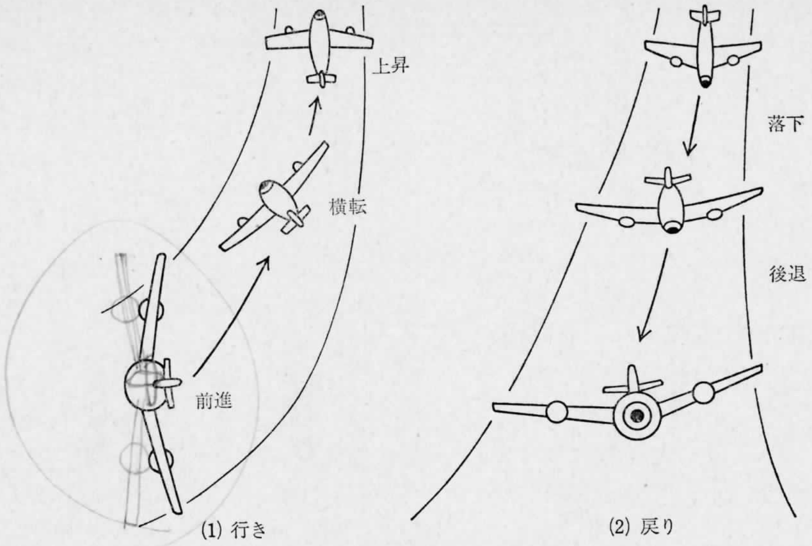

図 17　投げ手からみた形

さて，ブーメランの切りかきの部分は，主翼にある補助翼で，しかも進行方向に対する右まわりの役目を果している．以上の知識を参考にして，図6に示したブーメランの軌跡を飛行機の軌跡に例えるならば，図 17 になるだろう．飛行機は最初，地面に対して翼を垂直にさせた状態から出発し，やがて右回転をすると同時に急上昇をはじめる．昇りきったところを今度は，機先を投げ手の方に向けて落下してくる．飛行機は水平にある状態が比較的安定しているので，少しの右回転しかない．

6. 試作を楽しむ

いくら理屈をこねてみても，それが現実に証明されなくては，その理論は何の価値もない．

私は，ここまで苦労してまとめあげた，ブーメランに関する理論を実証するため，試作にとりかかった．

最初の私は，考えが甘かった．そのわけは，戻ってくるメカニズムに熟知していなかったためである．「く」の字型なら何でもよいだろうと思い，有り合わせの段ボールを切って，部屋の中で投げてみた．結果は無残．くるくる回るは，戻ってこず，進むばかりであった．こんな簡単な原理で戻るはずはない．本腰を入れて取りくまねばと，そのとき，肝に銘じた．

まず，資料あつめである．図書館に足を運び，ブーメランに関する文献を限なく探しまわった．しかし，残念なことに，物理学，流体力学，航空力学などの専門書にはひと言も触れられてなかった．ただ，文化人類学の書物や百科事典に，図解と簡単な説明がなされているだけであった．この説明も，戻ってくる理由については種々雑多で，あいまいであった．

次に，おもちゃ屋の問屋めぐりである．問屋だから置いているだろう．期待しながら一件一件訪ねてみる．

「昔，遊んだことがあるのですが，ブーメランは，ありませんか．」

「おいてまへんな．曲ってるのんでっしゃろ．なんせ，危ないもんでっさかいに．フリスビーならありまっせ．」

訪ねる問屋は全て同じ返答だった．ショウ・ウィンドウには高価な五月人形が並んでいた．あんな安っぽいプラスチックのブーメランなんか，いまどき，おいているはずがない．もう一件で最後にしようと，ある問屋に入った．

「ブーメランは，おいてませんか．」

「ああ，あの『く』の字型のでっしゃろう．ひょっとしたら倉庫の奥に残ってるかもしれまへんな．そやけど，大将，あれは戻ってきまへんで．」

「それでもいいのです．とにかく送って下さいな．」と懇願するように，私は，主人に名刺と代金を添えて別れた．

どんなブーメランが届くのだろうかと楽しみながら，この間，私は，戻ってくる理由について考えていた．一か月もしたであろうか．ブーメランが届いた．赤青黄色の3本で，一枚 50 円とあった．さっそく，飛ばしてみる．主人の言ったとおり，うまく戻らなかった．それは，おもちゃのブーメランがビニール製で，ぺらぺらしているからである．遠くへ飛ばそうとすると，すぐに，折れ

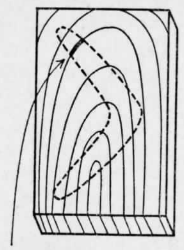
図 18　木目に沿って折れやすい

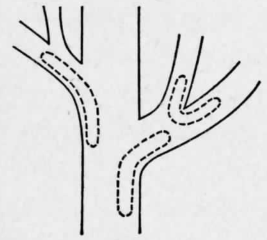
図 19

曲ってしまう．そして勿論，切りかきの部分なんかもない．

ブーメランを木で作ってみることにした．休日，朝からノコギリとナイフで丹念に作りあげた．翼形断面や切りかきの部分も充分考慮して．やっと出来あがったブーメラン．足どりも軽く，人影のない公園に急ぐ．投げてみる．しかし，充分な結果を得るまでもなく，失敗に終った．それは，図 18 に示すように，木には木目があるからだ．どうしても折れてしまう．板からどんなにうまく切りとっても，木目を無視することはできない．

もしかしたら，南方系の木材ならどうだろう．ラワン材でも作ってみたが，結果は同じだった．なかば諦めていたところ，ある日，材料についてヒラメキがおこった．ベニヤ板ならどうだろう．ベニヤ板は，薄い板を重ね合わせて作られている．その板は，互に木目が直交している．だから，木目を気にする必要はない．ブーメランは，どんな恰好で着地しても決して折れない．

オーストラリア人は，勿論，ベニヤ板を作る技術はもっていない．もしかしたら，木の枝を利用して，木目による問題を解消しているのではないだろうか．(図 19)なぜなら木の枝は，繊維層がつながっているから．

ベニヤ板で作ったブーメランは，遂に成功した．ブーメランは，シュルシュルと大空に舞い上り，昇りきったところを，風を切りながら手元に戻ってきた．まるで，私の心が気持ちよく飛び交うように．

(にしやま ゆたか／日本アイ・ビー・エム)