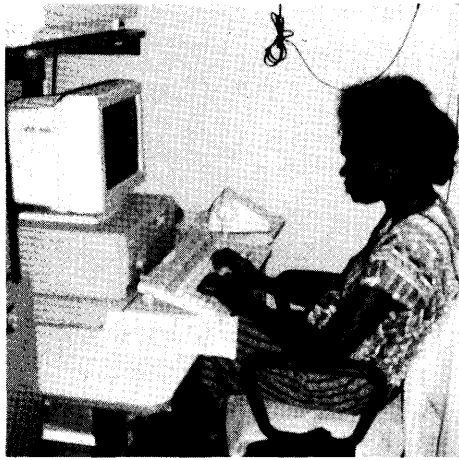


コンピュータと民族学 : ブーメランの空気力学的特性の研究

著者	中野 不二男
雑誌名	国立民族学博物館研究報告別冊
巻	015
ページ	239-250
発行年	1991-12-13
その他のタイトル	Computers and Anthropology : The Aerodynamics of the Boomerang
URL	http://hdl.handle.net/10502/3594

III

コンピュータと民族学



ブーメランの空気力学的特性の研究

中 野 不 二 男*

- | | |
|--------------------------------|--|
| I. なぜ、ブーメランの空気力学的特性なのか | IV. ヨコ方向に向きをかえたブーメランが、なぜ円弧を描くように旋回するのか |
| II. ブーメランは、なぜ飛び、なぜもどってくるのか | V. 飛行軌跡の円弧の半径と最高高度を決定する要素 |
| III. タテ方向に投げたブーメランが、なぜヨコ方向になるか | |

I. なぜ、ブーメランの空気力学的特性なのか

オーストラリア・アボリジニのブーメランには、三種類ある。代表的なのはいうまでもなく「く」の字型、あるいは「へ」の字型の狩猟用で、獲物にめがけて投げてもあたらなければ、大きな円を描いてもとにもどってくる、いわゆるリターニング・タイプ。つぎに、形状は、間延びした「へ」の字型か、または数字の「7」に似たもので、狩猟用にもなるが、むしろ対人攻撃における殴打用の武器である。残る一つはコロポリーなどの際に見る、直線かあるいはそれにちかいモノサン型で、これは投げたりせず両手に一本ずつ持って叩き鳴らす儀礼用の打楽器で、俗にいうクラブ・スティック、つまり拍子木である。

これらはすべて用途も形状もこととなっているが、オーストラリア・アボリジニの社会においては、“ブーメラン”と総称されている。しかし、空気力学的特性の研究で対象にしようとするブーメランという場合、すべて、このリターニング・タイプのことである。したがって、以下ブーメランという場合、すべてこのリターニング・タイプのブーメランをさすこととする。

ブーメランは、アボリジニの生活のなかで長いあいだ使用されてきた伝統的の狩猟道具であるが、ライフルや小口径の銃がかれらのあいだにも普及している現代、本来の用途である狩猟用としてはまったくといってよいほど使用されていない。とはいえ、

* 国立民族学博物館 共同研究員

かれらにとっては伝統文化の象徴の一つであり、各地のセトルメントやミッションのみならず都市部に居住するアボリジニたちでさえ、出身地あるいは出身部族でむかし使われていたというブーメランを保管していたり、居間の壁に飾っていたりする。また博物館には、各地から収集されたさまざまな形状のブーメランが展示保存されている。

こうして、ブーメランは実用の舞台からほぼ完全に引退し、個人あるいは団体によって保存されているが、しかし個々のディテールにかんしては、不明な点が非常に多い。すなわち、それぞれのブーメランは、どのような獲物を狩猟対象として使用されたものであったのか、どのような地域や環境で使用されていたのか、という分類に関しては、残念ながらあまり記録されてはいないように思われる。

これらについて調べるとき、実際に所持している、または所持していたアボリジニ本人にたずねるのも一つの方法であろう。しかしこれは、確実な答えがあまり期待できないと思われる。なぜならば、ブーメランによる狩猟を経験している世代はかなり少なくなっているであろうし、いっぽう経験がなくとも見たことがあり、かつブーメランを所持している世代なら多いであろうが、それが実際に使用されていた地域と狩猟対象を、正確に説明できるか否かが問題となる。そのブーメランが、ずっと以前に他の地域から物々交換でわたってきたものであったり、またべつのルートで人の手を介してわたってきたものであることも少なくないと思われるからだ。したがって、かれらの記憶にたよる方法には、おのずと限界がある。

そこで、このような調査とはまったくちがひ、ブーメランを空気力学的な飛行特性を持つ飛翔体としてとらえることにより分類する方法を考えてみた。

ブーメランの形状は、前述のとおり「く」の字型や「へ」の字型であるが、これはあくまで一般的な外観であり、実際にはかなりの差異がある。たとえば全体の大きさ、重量、重心の位置関係、二つの翼のなす角度、二つの翼の翼幅の比率、翼弦の比率、各部の翼断面の形状は、まさに千差万別である。こうした形状の違いは、飛翔体としてのブーメランの飛行特性にも影響をおよぼす。投擲において、手元をはなれてから円を描いてまた手元にもどってくるという運動は同じでも、その円の直径、高度、飛行速度からなるブーメランの飛行の軌跡は、形状しだいでことになってくる。

そうした飛行の軌跡は、狩猟の対象となる獲物と、狩猟をおこなう地域の地理的条件に合致してははずである。なぜなら、たとえば見通しがよく障害物の少ない砂漠地帯や半砂漠地帯では狩猟者も身をかくすことが困難なわけで、獲物を発見しても接

近するには限界があり、ブーメランを投げる場合はかなりの距離をおかなくてはならない。したがって、軌跡の円の直径が大きいほうが、はなれた位置から獲物をねらえるので都合がよい。いっぽう樹木の多いところなら、あまり大きな円を描くブーメランでは、木々が障害となってしまうので使い勝手がわるい。また、手元を離れたあとにかなり高くあがるブーメランの場合は、ブッシュ・ターキーのようにせいぜい地上3, 4メートルほどの高さを飛ぶ鳥に対してはあまり効果的ではないが、逆にガンのように高く飛ぶ獲物をねらうのに適している。

このように、ブーメランにはさまざまな用途があり、それにおうじた軌跡を描くよう、形状が工夫されていたと思われる。したがって、形状と飛行軌跡の関係を求めて、それを数式に表すことができるならば、また数式に表すことができないまでも、目安となる数字を見つけだすことができるならば、さまざまなブーメランの形状をパラメータとすることで各飛行軌跡はわかるだろう。そして、これによってそれぞれのブーメランを、狩猟対象、狩猟地域環境べつに分類する方法の一つとすることができるかもしれない。

以下は、ブーメランの飛行特性を空気力学的に求めるためのアプローチである。実験資料とするブーメランは、筆者がシドニーで買い求めたもので、形状はよくある「く」の字型をしている。実際の狩猟に使用されていたものではないが、まったく飛ばない土産用や、薄い合板製のスポーツ競技用というものでもない。細部の局面にいたるまできちんと細工され、投げれば飛ぶものである。しかし、ブーメランの飛行軌跡は形状しだいで無数にあるはずで、どれが典型的であるかはわからない。そこでこのブーメランの飛びかたであり、また記録フィルムやオーストラリア側資料でよく見られる飛行軌跡を、とりあえずの基準とした。このブーメランについてディテイルを調べ、飛行軌跡との関係を求め、その要素を抽出するところまでがこの研究の目的である。それがわかれば、あとは多種多様のブーメランを、実際に投げてビデオで撮影する必要はなく、形状を計測し、それをもとにして飛行軌跡を判定できるものと思われる。最終的には、実験資料とするブーメランのデータを32ビットコンピュータによってグラフィック化し、そこに他のブーメランのデータをパラメータとしてインプットすることで、同じようにグラフィック化したい。

なお現段階では、実験資料とするブーメランの計測はかなりすすんでいるが、しかしまだ完全ではない。また、後述する翼面上の気流に関する計測では、実験装置をつくっている段階である。したがって以下の説明には、推察もふくまれている。今後一年間にわたって、計測と実験、そしてデータ化の作業をすすめ、それらを確実なもの

にしてゆきたい。

Ⅱ. ブーメランは、なぜ飛び、なぜもどってくるのか

図1は、ブーメランの外形を、各部の断面の形状、重心の位置、投げる方向、回転の方向を示したものである。重心をさかいにして二つの翼部からなるものとし、かりに、長いほうを“A翼”，短いほうを“B翼”とする。

両翼の各断面は、重心と翼端をむすぶ線に対し、直行する面とした。本来ならば、重心に対し同心円上の弧を断面とすべきであるが、半径が大きくなる翼のなかほどから先端部はほとんど直線に近いし、半径の小さい中心部分は計測がむずかしいことと、弧で断面をとるか直線で断面をとるかは、ここではあまり重要でないからである。またA翼の断面はX-X方向に、B翼の断面はY-Y方向に見るものである。

この図において、ブーメランの各断面は、重心に近い部分をのぞき、航空機の主翼の断面と非常によくにている。下面はほとんど平面に近いが、上面には特有のふくらみがあり、揚力が発生しやすい形状である。したがってベルヌーイの定理で考えることができるだろう。

航空機が大気のなかを飛ぶという状態は、停止している航空機にむかって強い空気流があるのと同じ状態として考えてもよい。そのときの主翼と空気流の関係を、図2に示した。

この図において、翼の下面を通過する空気流はさほど大きな変化はせず、なめらかである。いっぽう上面では翼のふくらみのために、空気流がせき止められるようになりながら、翼面にそって流れている。この空気流は、せき止められて直後に吐き出されるように流れるため、ひじょうにはやくなっている。このとき、下面には大気圧が正の圧力として作用し、上面には負の圧力が生まれる。そして負圧は上面を吸い上げる力となり、正圧は下面を押し上げる力となる。この二つの力がいっしょになったものが、揚力である。こうした、揚力を生み出すときの圧力の関係を、ベルヌーイの定理という。航空機の主翼とよく似た翼断面を持つブーメランが空中を飛ぶのは、このベルヌーイの定理により翼面に揚力が発生するからである。

ただ、航空機の主翼とブーメランの翼断面はにているが、形状はややちがう。A翼は空気流にむかってせりだす前進角をもっており、いわゆる前進翼機の主翼のようである。またB翼は、一般的なジェット機の主翼にみられるような後退角をもつ、後退翼になっている。つまりA翼とB翼は、断面は同じようなものだが、翼形状と

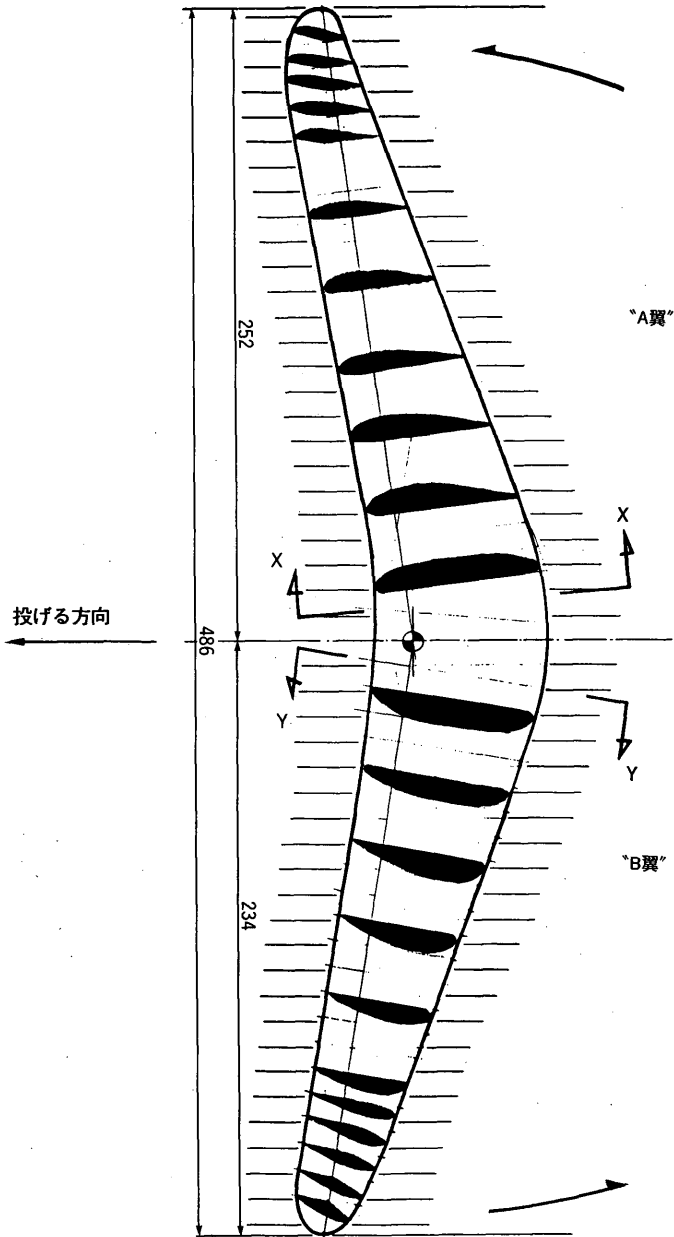
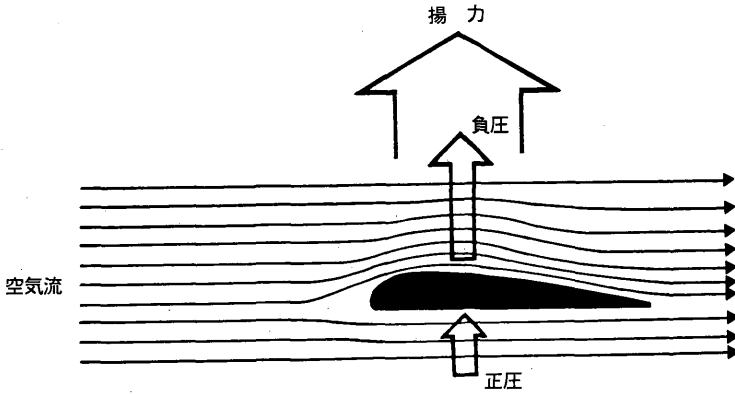


図1 ブーメランの形状



ベルヌーイの定理

図2 揚力

してはほとんど正反対であるといつてよい。

このようにいっぽうは前進翼、いっぽうは後退翼という二つの種類の翼を、それぞれ逆方向にして「くの字」につなぎ、ヘリコプターのローターのような回転により揚力を発生するのが一般的なブーメランである。

ブーメランの、投擲から飛行、着地までの一般的な飛行軌跡は、おおよそ図3に示したとおりである。B翼の先端を握り、タテ方向に（野球のオーバー・スローのように）投げる。このとき、手首のスナップをきかしてA翼の先端を振り出すようにし、回転力をあたえてやる（図3-0）。

すると、ブーメランはしばらくタテ位置のまま飛ぶ。そしてわずかに下がりながら、上面、すなわちふくらみのあるほうを上に向けるように、ヒネリの運動をし（図3-1）、このあとしだいに高度をあげながら円弧を描く旋回運動をはじめ（図3-2）。

ブーメランの回転面はつねにかたむいており、円弧の外側が持ち上げられている。航空機が旋回するとき円弧の外側の翼を高く、内側の翼を低くすると同様である。

最高点に達し（図3-3）、高度がさがりはじめるとき、速度もしだいに失われてゆく（図3-4）。同時に、円弧の外側を高くしていたブーメランの回転面も、水平に近づいてゆく（図3-5）。

回転はしつづけているが飛行速度がなくなるころ、ブーメランの回転面はほとんど水平になり、ヘリコプターのホバーリングに似た状態となる（図3-6）。

そして回転が弱まるにつれて、高度は失われ、ブーメランは着地する。

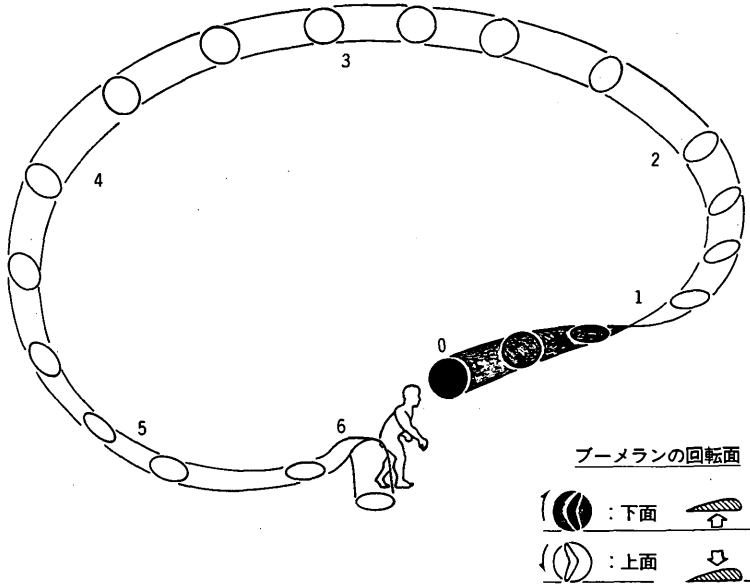


図3 ブーメランの軌跡

以上が、ブーメランの一般的な飛行の形態である。

Ⅲ. タテ方向に投げたブーメランが、なぜヨコ方向になるか

普通低翼型（主翼が機体の下部についているタイプ）のジェット旅客機は、主翼全体に上向きの角度がついている（ジャンボ・ジェットのB747など）か、翼端部だけ上向きに上向きの角度がついている（F4-ファントムなど）。これは上反角といわれるものである。航空機はヨコ方向からの突風を受けると機体が大きく傾き、そのまま横スベリをおこしてしまうが、主翼の上反角は機体の姿勢をもとの水平にもどす役割をはたす。これを上反角効果という。

上反角効果は、次のように試してみるとわかりやすい。図4-1に示すように、名刺の一端をほんのわずかに折りまげ、その反対の一端をつまんで机上20センチメートルほどの高さから落とす。すると垂直方向に落ちる名刺は、滑るように向きをかえ、机の上に接地するときには水平になっている。

ブーメランにも、これと同じ上反角効果があると思われる。図1の翼部各断面に示されているように、A翼とB翼の翼端部の断面は、他の部分とはかなりちがった形状である。他の部分では断面が平面であるのに対し、両翼端部の断面はやや浮き上が

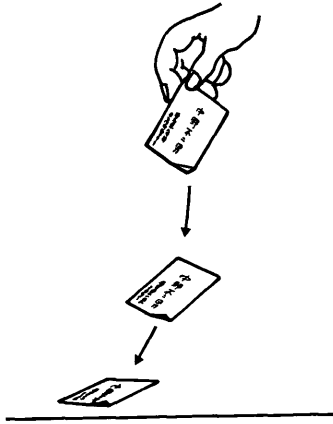


図 4-1 上反角効果 その1

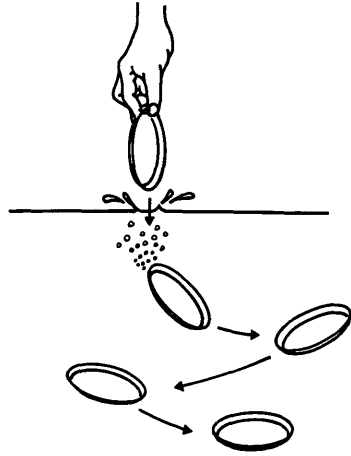


図 4-2 上反角効果 その2

ったように上に向いている。これは名刺の一端を降り曲げたのと同じことで、上反角効果をねらったものと思われる。

では、名刺の場合はたんなる落下運動だけだが、回転しているブーメランの場合はどうなるか。ブーメランの回転を面として考えると、両翼端部には上反角があるので、回転面の下面は食器皿の下面のような形状になっている。そこで図 4-2 に示すように、皿の一端をつまんで水のなかにおとしてみる。垂直方向に落ちる皿は、水中ですぐに水平位置に近くなり、そのあとはゆれながら底のほうへ沈んでゆく。これもやはり、上反角効果の一つと考えてよい。

したがって、図 3 に示す 1 の位置で、タテ方向に投げたブーメランがやや高度を失いながらヨコ方向にひねられるのは、両翼端部の下面にある上向きわずかな反り、すなわち上反角による効果のためだと思われる。

IV. ヨコ方向に向きをかえたブーメランが、なぜ円弧を描くように回転するのか

飛行中のブーメランは、上からみると図 5 に示すように重心を回転の中心にして、反時計方向にまわり続けている。この図では、かりに、回転中のブーメランの A 翼（長いほうの翼）が旋回の外側、B 翼（短いほうの翼）が内側に来た状態であるが、この位置がもっとも理解しやすい状態だと思われる。

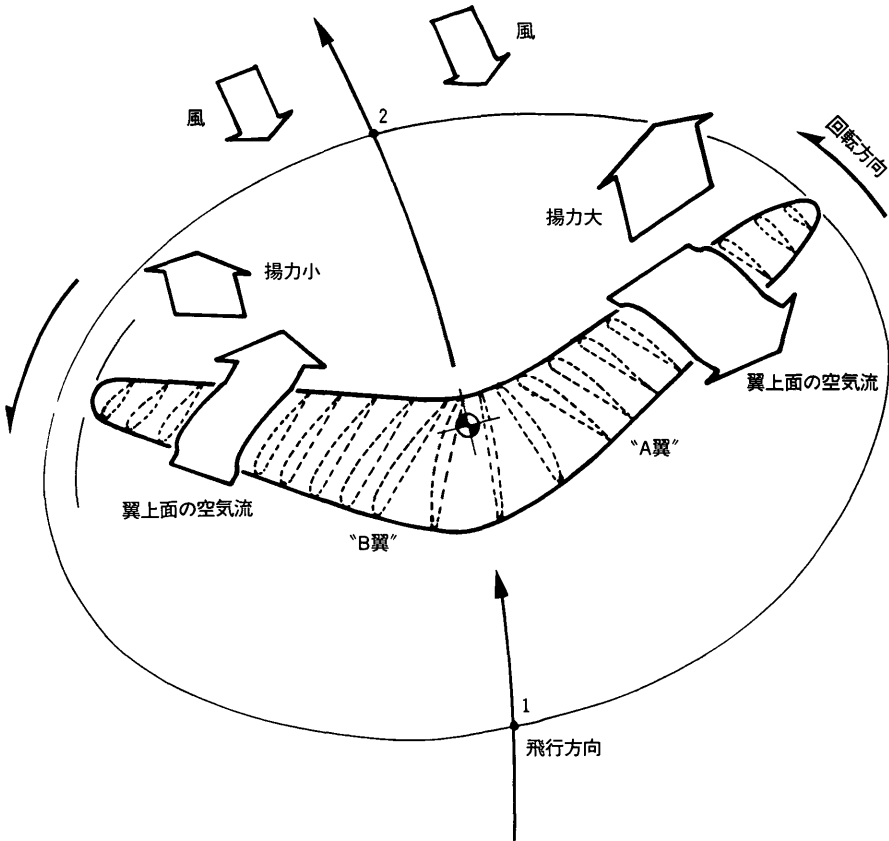


図5 ブーメランにおける揚力の発生と飛行

まず図5において、かりにブーメランに一定の回転力はあるが飛行方向がなく、つまりは前方へはすすまずに空中でヘリコプターのローターのようにただ回転しつづけているだけとすると、A翼で発生する揚力もB翼で発生する揚力も、均等ということになる。したがって回転面の上面には均一の揚力が発生しつづけ、もし回転力が減衰しないとすれば、ブーメランは水平をたもったまま空中に静止状態となる。

しかし、人間の腕によって前方へ投げられたブーメランは、前へすすむエネルギーをもっている。そのため、飛行方向と正反対の対抗空気流を受けることになる。すると、図5に示すように、ブーメラン自体の回転により生ずる空気流に、対抗空気流が向い風となって加わり、A翼の翼上面の空気流は静止状態のときよりはやくなる。したがってベルヌーイの定理により、大きな揚力が発生する。その揚力は、A翼の先端が図5の1をすぎるとしだいに大きくなり、A翼が対抗空気流に対し直交する

位置で最大となったあと、しだいに小さくなる。

いっぽう回転面において左半分では、対抗風流がブーメラン自体の回転による空気流に対し、追風となってしまふ。そのためB翼上面の空気流は静止状態のときよりも遅くなり、発生する揚力も小さくなってしまふのである。この場合、右半分とは正反対に、B翼先端が図5の2をすぎると揚力はしだいに小さくなり、B翼先端が対抗空気流と直交するとき最小となって、そのあと、またしだいに大きくなるのである。

そしてもう一つ重要なことは、ブーメランの飛行速度、すなわち対抗空気流の速度により、回転面の揚力の差が変化することである。ブーメランのもつ、前方へすすむエネルギーが大きければ大きいほど対抗空気流は早い。すると回転面右側は、より早い向い風を受けることになり、揚力はさらに大きくなる。これに対し左側は、逆に早い追風を受けることになり、揚力はいっそう小さくなる。したがって、ブーメランの飛行速度がはやくなるにつれ、回転面の左右の揚力差も大きくなるのである。

こうして回転面の左右に揚力の差が生じることにより、揚力のより高い部分は持ち上げられて、回転面はかたむく。回転面がかたむけば、横スベリ現象がはじまる。ブーメランは、揚力の小さい側、すなわち対抗空気流に向かって左側に傾いたまま、空气中をすべろうとするのである。しかし上反角効果により水平に保つ力が働き、その動きは抑制される。ところが抑制されて水平に戻ろうとしても、回転面には揚力の差があるため、またかたむける力がはたらく。

このように、回転面の上面にはたらく左右の揚力の差と、回転面の下面にはたらく上反角効果の力の合成によって、ブーメランはつねに対抗空気流に対して右側が高くかたむいたまま飛び、反時計方向の円弧を描くものと思われる。

図6は、図3に対応する飛行軌跡の円弧上における、ブーメランの回転面の揚力を示したものである。手もとをはなれてから水平にちかくなった1の状態から2へ向かうとき、ブーメランがもつ前方へすすむエネルギーは非常に大きくスピードがあり、そのため対抗空気流もはやい。したがって回転面の左右の揚力差も極端に大きく、かたむき角も大きくなる。しかし回転の速度も高いために回転面全体としての揚力も大きく、ブーメランはかたむいた状態のままどンドン弧を描きながら上昇してゆく。そしてブーメランはしだいにスピードを失いながら、最高点である3の位置に達する。

3から4、そして5の位置にかけて、ブーメランは降下によって前方へすすむエネルギーは得ているものの、回転力そのものが減衰しはじめているため、回転面に発生する揚力もしだいに小さくなってゆく。そのためブーメランの姿勢を維持していた力

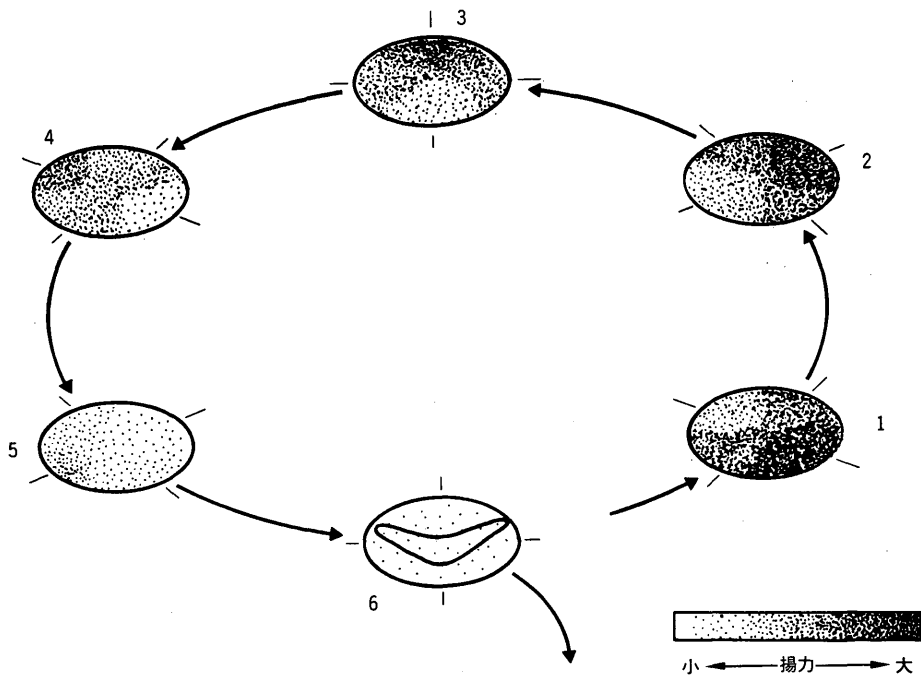


図6 ブーメランの回転における揚力の発生分布

の合成のバランスはかわり、上反角効果が少しずつ大きくなっていく。つまり揚力が小さくなるにつれ、横スベリで旋回の半径を小さくする力が大きくなり、これに対抗して上反角効果で水平にもどそうとする力も大きくなる。そのためブーメランは、旋回半径をしだいに小さくしながら、回転面を水平に近づけてゆく。

また5の位置をすぎて、効果によるエネルギーも減衰すると、対抗空気流も急速におそくなる。その結果として、回転面における左右の揚力差も小さくなり、ブーメランはよりいっそう水平状態に近づく。

そして6の位置で、水平のまましだいに回転力も失われ、それにとまって全体の揚力も小さくなるため高度も低くなり、やがて着地する。

V. 飛行軌跡の円弧の半径と最高高度を決定する要素

あるブーメランが描く円弧とその高度を知るには、まず重量の測定と同時に、全体の平面図と、両翼の各部の断面図をつくることである。そして一部の断面の形状が示す曲率、大気密度、回転による角速度、人間が投擲するときの平均的エネルギーなど

の要素をもとに計算すれば、その部分の揚力を求めることができる。またこの計算を各断面についておこなうことにより、ブーメランの両翼が発生しうるそれぞれの揚力も求められるだろう。そのほか、翼下面の上反角の角度、上反角をもつ部分が下面の面積全体にしめる比率の計測も必要となる。

こうした各要素を求めることができれば、それらをもとにして、そのブーメランがどのようにして飛ぶのか、おおよその軌跡を知ることができるのではないかと思われる。もちろん投げる人間の腕力や投げかた、自然の風などの影響などもあるので、完全な基準とするまでにはならないだろう。しかし、少なくともどのていどの半径の円弧を描くか、どのていどの高さを飛ぶか、ということを判定する目安にはなると思われる。そしてこれをもとにして、そのブーメランはどのような地形のところで、どのような獲物を対象とする狩猟に使用されていたのか知るための、判定材料の一つとなるのではないかと思う。

文 献

- DAVIDSON, D. S.
 1936 Australian Throwing Sticks, Throwing Clubs and Boomerangs. *American Anthropologist* 38(1): 76-100.
- HESS, F.
 1968 The Aerodynamics of Boomerang. *Scientific American* 219: 124-136.
- HOWE, David G.
 1972 *Aerodynamics of Boomerang*(typescript). B. Ed. Thesis: City of Leicester College of Education. Leicester, England.
- LOGERGIST, C.
 1967 「ブーメランはなぜ戻る？」『自然』22(8): 55-60。
- McCARTHY, F.
 1961 The Boomerang. *The Australian Museum Magazine* 13: 343-349.