

## サイエンスショー「飛べ！ブーメラン」実施報告

大倉 宏\*

### 概要

投げ手の元に戻ってくるブーメランの動きは不思議で、多くの人を惹きつける。平成 23 年度冬、ブーメランの翼の形状から、なぜ戻ってくるのかをテーマにしたサイエンスショーを実施したので報告する。

#### 1. はじめに

投げ手のところに戻ってくるブーメランの運動は実に不思議である。娯楽だけでなく、競技スポーツとしても投げられている。

しかし、ブーメランがなぜ戻ってくるのかの説明は容易ではなく、その理由は分からずに投げられていることが多い。また、戻ってこないブーメランも多数売られているので、そのようなブーメランしか投げたことのない人の中には、ブーメランは戻って来ないものと信じている人もいるかもしれない。

ブーメランは、平成18年度冬にもサイエンスショーのテーマにとりあげ実施している。今回は、なぜブーメランは戻ってくるのかに焦点を当てた。今回も誰にでも簡単に厚紙で作ることができ、確実に戻ってくるブーメランを紹介した。

実験・解説のポイントは、ひとつはブーメランの翼に働く揚力であり、もうひとつは回転するブーメランの歳差運動である。以下、実際の演示の順に沿って内容を紹介する。

#### 2. 内容

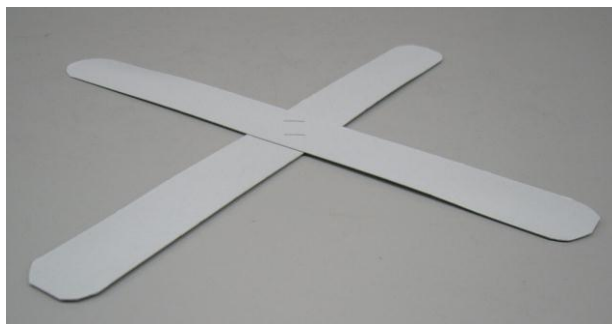


#### ・ブーメランの紹介

ブーメランといえば「く」の字に折れ曲がった木製のことを連想することが多いだろう。しかし実際には、形状も材質も様々なものがある。スポーツ競技では、「く」の字のものよりは、3 枚羽根、4 枚羽根のものも多く使われている。どのブーメランも飛行機のような翼を持ち、表側にふくらみ(キャンバー)がついている。

#### ・紙ブーメランを作り、飛ばす

短冊状の厚紙 2 枚の紙で作ることのできるブーメランを紹介した。紙ではあるが、角が当たると危険なので、角は予め丸く切り落としておく方が良い。紙は、板目表紙の美濃判を使い、長さ 28 センチ、幅 3 センチに切ったものを用意した。これを十字に重ね、真ん中をホチキスで止め、翼の先端にふくらみ(キャンバー)を付ける。ふくらんだ方が表面(オモテ)になる。



さらに表面の翼端が持ち上がるように反らせる、いわゆる上反角をつける。キャンバーと上反角はわずかで良い。

手首のスナップを利かせ、ブーメランをたて投げ(上投げ、オーバースロー)すると、1.5~2メートルの半径で戻ってくる。

ここで、飛行機の模型とコマを見せ、それぞれにブーメランと共通点があることを紹介する。ブーメランは、単に薄く細長いだけでなく、表面にはふくらみがあり、

飛行機の翼と形状がよく似ていること、また回転をかけて飛ばすから、回転するコマと同様の動きをすることを指摘した。

#### ・コマの歳差運動

歳差運動を説明するために自転車の車輪を利用した大きなコマを用意した。これをスタンド台の棒の上で回した。コマが滑り落ちないように軸の先端にくびれをつける加工がされていた。

コマを回転させなければ、バランスを失ってすぐにスタンドから落ちてしまう。しかし、回転させ乗せれば、軸が傾いても首振り運動(歳差運動)を起こし、転落することはない。時間とともに軸の傾きは大きくなり、軸が水平に達してしまうが、それでも転落しない。普通であれば、床に接触してコマは止まってしまう角度になっても、スタンドの上なので回り続ける。観客は驚く。



かなりインパクトのある実験である。コマは軸の周りで回転しながら、軸がゆっくりと首を振る歳差運動をじっくり観察できた。コマと同じようにブーメランにも、回転しながらその回転面がゆっくりと変化する運動が起こっていることを説明した。

#### ・空中に浮く紙風船

次は、飛行機の翼に働く揚力であるが、翼状の話は難しいから単純なボール状のものからスタートすると断って、ゴム風船を取り出す。

テーブルの上に送風機を置き、上向きに風を出す。風の流れは、割り箸とビニール紐で作った「吹流し」で確認した。送風機の真上に風船(バランスを取るためにおもりをつけている)を持っていき、手を離して浮かせる。これに観客は少し驚く。

ここで、送風機を斜めに傾けると風船はどうなるか観客に予想させる。送風機を斜めにしても、風船は相変わらず空中に浮いている。

さらに「吹流し」で風船の周りの空気の流れはどうなっているか調べようと提案する。多くの観客の予想を裏



切り、風船の下側より、むしろ上の方に速い空気の流れがある。そして、吹き飛ばす力(いわゆる風圧)で浮いているのではないことを指摘する。

#### ・宙に浮くビーチボール

ブローアを使ってビーチボールを浮かせる。ブローアをゆっくりとあちこちに向けると、ビーチボールは落ちること



なくブローアの向きに付いてくる。

このことから、ビーチボールを風圧で浮いている訳ではないことが分かる。風は、単にものを吹き飛ばす以外の効果があることを印象付ける。

#### ・バット型ビーチボール

バット型のビーチボールを丸いビーチボール同様に浮かせる。そして、ビーチボールが浮くのは、ビーチボールの上方にある空気の流れの作用であることを説明する。

力の向きは空気の流れと平行ではなく、垂直であることも説明する。この流れに対して垂直に作用する力が揚力である(空気力の流れに垂直な成分が揚力、平行な成分が抗力)。

また、しばしば風に包み込まれることによって浮くと誤解する人がいるので、そうではないことも説明する。

・ペットボトルも宙に浮く？

ここで、ペットボトルも宙に浮かせることができるか実験する。ペットボトルを浮かせることは容易ではない。

しかし、ペットボトルの底に半分に切ったボールを貼り付け上下ひっくり返し、取り付けたボールに風を当てると容易に浮く(バランスを取るため、20 ccほど水を入れておく)。

ペットボトルは底が平らだと浮かせにくいですが、丸いと浮かせやすい。実際、底の丸い炭酸飲料のペットボトルは底にボールを付けなくても浮かせることのできるものが多い。翼状ではなく、ボール状のものから実験をスタートさせたのは、その方が空中に浮かせやすかったからなのである。

空気の流れがあると揚力が働く。その揚力は、丸みがあると強く働くことを説明した。



・陸上ヨット

今までのおさらい、確認として、陸上ヨットの実験を行った。力学台車の上に段ボールで作った帆を載せる。片面は平ら、片面は丸みを帯びている。すなわち翼形の帆である。この帆に真横から風を当て、台車が左右(前後というべきか?)どちらに進むかという実験である。

実験の前に予想を聞くと、ほとんどの人が正解の丸くなっている方に進むと答えることができた。これをふく



らんだ側を上にして横倒しすれば、飛行機の翼と同じである。

・飛行機の飛行姿勢

ボーイング 747 模型を取り出し、飛行機の飛行姿勢について言及する。もし、翼の下面に空気を受けることによって(すなわち風圧で)機体を浮かせているのなら、機首をかなり持ち上げて、主翼の下面に空気が大量にぶつかるような姿勢を取らなければならないだろう。実際にはそのような姿勢では飛んでいない。

飛行機が浮上するのは、翼の上面を通過する空気の流れによって生じる揚力による。翼の下面に空気がぶつかり持ち上げられているのではないことを説明した。



実験の冒頭、ブーメランはフリスビーのように水平に投げるのではなく、たて投げで投げてみせた。ブーメランを旋回(カーブ)させるためには、揚力を横向きに働かせなければならない。そのためには、たて投げで投げなければならない。揚力によってブーメランの軌道が変化していく。

右利きの人投げの場合、ブーメランは、ふくらんだ表面を顔の方、つまり左に向けて投げられる。すると、揚力によって左向きに力が働くので、左にカーブするのである。

・ブーメランが戻るのに必須の歳差運動

以上で全てが説明できれば、めでたし、めでたしとなるが、そうではない。このままでは、ブーメランは左にカーブするだけで、投げ手のところには戻ってこないからである。

投げ手の元に戻ってくるのは、ブーメランが歳差運動を起こし、回転面、つまり揚力の働く向きが変化することが必要である。

歳差運動については、冒頭、車輪のコマを見てもらい説明した。ここで改めて思い出してもらうため、別の見せ方も行った。車輪に付けた取手を紐で支えると、車輪が回転しているときは、車輪は倒れず、歳差運動により、ゆっくりと回転面が変化していく。

車輪の場合は、歳差のきっかけとなるのは、重力(と紐の張力、あるいは台のからの抗力)である。



ブーメランの歳差運動の起源は、回転する翼に働く揚力の大きさが翼の位置によって変化するからである。揚力は、対気速度が大きいほど大きくなる。翼が上にあるときは、並進運動と回転運動が加算的に効くので対気速度が大きく、揚力も大きい。逆に翼が下に位置するときは、減法的に働くので小さくなる。

そのため、軸をパタンと下に倒すような力のモーメントが生じる。これが歳差運動を起こすために必要な力のモーメントになる。ブーメランはコマと同じように回転面が変化する。すると揚力が向心力として働きブーメランは旋回し、投げ手の元に戻ってくる。

#### ・再び紙ブーメラン

もう一度、詳しく紙ブーメランの作り方と投げ方を説明して実験を終えた。

### 3. 考察

当初は、なぜ揚力が発生するのかをもっと丁寧に扱ったサイエンスショーにしようと考えていた。

揚力の説明には、いわゆるベルヌーイの定理によるものをはじめ、さまざまある。中でもいわゆる運動量理論が説明しやすいと魅力を感じていた。

物体に揚力が働くとき、同時に流れにも力が働く。揚力を物体と媒体(流れ)との相互作用と捉え、媒体の運動の変化にも注目するのである。

物体に働く揚力は、流れに垂直に働く。揚力の発生している翼には、吹き下ろし(downwash)が発生している。翼と空気は引っ張り合いをしているのである。翼が持ち上げられる一方で、翼の後方では、空気の流れは下向きに向きを変えている。

周りの空気との引っ張り合いで揚力を説明することは、比較的容易であるように思えた。翼が迎角やキャンバーを持っていれば、空気は翼面に沿って流れ、翼の後方では吹き下ろしが生じる。当然、揚力が発生する。

説明・演示のポイントは、気流が物体に沿って流れる

ことと、物体と空気が引っ張り合っていること、物体の後方では気流の向きが最初と変わっていること、空気の流れを可視化すること、である。

しかし、やってみると揚力発生メカニズムは難しいという意見が続出した。もうひとつは、揚力ばかりをとりあげるのではなく、全体のバランスの中で歳差についてもきちんと扱うべしということであった。

結局吹き下ろしや、気流の変化を見るために用意した実験は没になった。気流の変化、物体と気流との相互作用は説明しないことにした。なぜ揚力が発生するのかその理由をくどくど説明せず、現象を見てもらい納得してもらおうという方針にした。

ある意味シンプルにすっきりとしたものになった。しかし、実験開発者としては、あともうちょっと説明したいという思いは多少残った。

#### データ

サイエンスショーは12月は69回実施し、3930名の来館者にご覧いただいた。1月は81回5731人、2月は76回5531人であったので、計226回15192人の方にご覧いただいた。

#### 謝辞

今回、ブーメランの世界チャンピオンの梅井靖弘氏から、各種ブーメランをお借りして、会場に展示させていただきました。また、競技大会などでブーメランを投げている映像のDVDもお借りし、上映しました。入場者に様々なブーメランがあることや、実際にどのようにブーメランが投げられているかをご覧いただくことができました。ここに梅井氏に心から感謝いたします。

また、サイエンスショー研究会では、参加者から様々な貴重な意見をいただきました。同僚にも助言をいただきました。感謝いたします。