

〈山崎賞〉

7 回転する円筒はなぜよく飛ぶか

1 研究の動機 部活動で文化祭の準備中に、使い切ったガムテープの芯を遊び心からキャッチボールのようにして投げていたところ、空洞の部分を前後にしてラグビーボールのように回転をかけながら飛ばしたときによく飛ぶことに気づき、これについて調べてみようと思った。

また、ペットボトルの円筒部分を切り出して一端にビニールテープを巻きつけたものを作り、重心を進行方向へ傾ける改造をして飛ばしてみたりした。後日、部内でこのことが話題になり、先生に回転運動をする物体に働く「ジャイロ効果」というものの仕組み等について教えていただいた。それを利用した X-zylo (登録商標) という玩具があることを知った。そこでこの X-zylo(以下ジャイロと呼ぶ)を用いて、研究してみようと思い立った。

※〈補足〉ジャイロ効果：重心を通る直線を軸として回転する物体が、その回転運動により回転軸を空間内の一定の方向に保とうとする効果。コマがその身近な例。

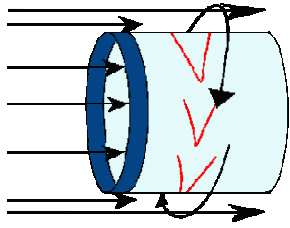


図〔1-1〕 X-z y l o



図〔1-2〕自作のジャイロとその素材

2 研究目的 最初に先生からうかがったジャイロ効果が、飛距離に影響しているのではないかと考えた。しかし話し合いの結果、回転運動によるジャイロ効果は図〔2-1〕のように、飛行姿勢を一定に保ち、空気抵抗のはたらく面積を最小限にとどめることにのみ寄与する、という結論に達しジャイロ効果そのものについての研究は今回の研究対象から外すことにした。



図〔2-1〕

ジャイロ効果は前方からの空気抵抗を最小限に留める

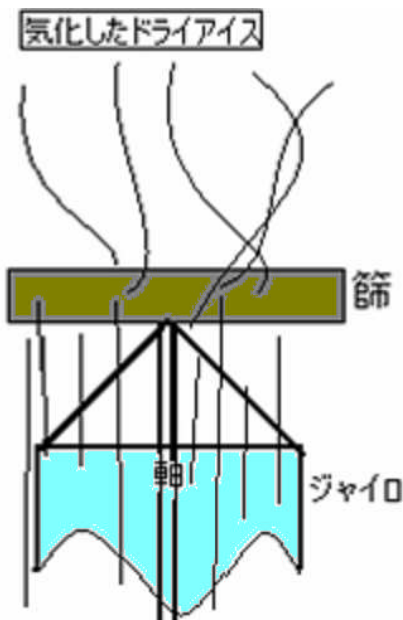
一方、飛行中のジャイロの、後方に伸びる気流が飛距離に何かしらの影響を与えているのではないかと考えた。従って飛行中のジャイロの後方の気流を実験により観測・記録し、よく飛ぶこととの関連性を探ることを目的として研究を行った。

3 研究方法 飛行中のジャイロ周囲の気流を解析するため、風洞実験を行った。最重要課題はジャイロの回転軸を一定方向に保つことであった。課題克服のため、

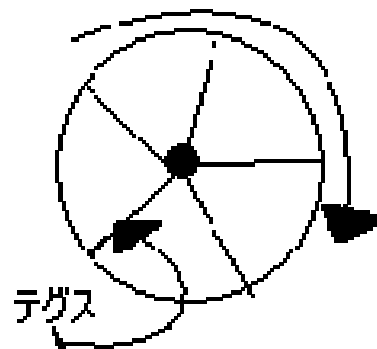
- (1) 扇風機のモーターの軸にジャイロを取り付け回転させる方法
- (2) 自作の回転具を用い回転を与えてジャイロを落下させる方法を試みたが、いずれも、ジャイロ後方の気流を観測・記録するには不十分であった。

試行錯誤の結果、次の実験方法は成功し、本研究の核となる実験となった。手順は次の通りである。

- (1) 鉄製の軸を用意し、その先端から釣り糸を5本繋げ、ジャイロをちょうどメリーゴーランドのようにして吊り下げる。
- (2) 軸を垂直に固定し、回転させてジャイロを回す。
- (3) 気流の整流化のために上からふるいを通してドライアイスの煙を流し、ジャイロ後方へ流れる気流を観測しビデオカメラで記録する。



図〔3-4〕実験：横から見た図



図〔3-5〕実験：上から見た図



図〔3-6〕実験の様子

4 実験結果の予測 実験前には次の(1)(2)の結果が予測された。

- (1) 回転するジャイロから流れ出る気流は、回転に引きずられるように後方で螺旋を描く。
- (2) 遠心力の作用によりジャイロの回転軸部分が低圧となるため(後述)、後方に流れ出る気流は
 - ア 遠心力により回転軸から離れるように拡散する (図 [4 - 1])
 - イ 回転軸方向(低圧部)へ向けて収束する (図 [4 - 2])いずれかである。

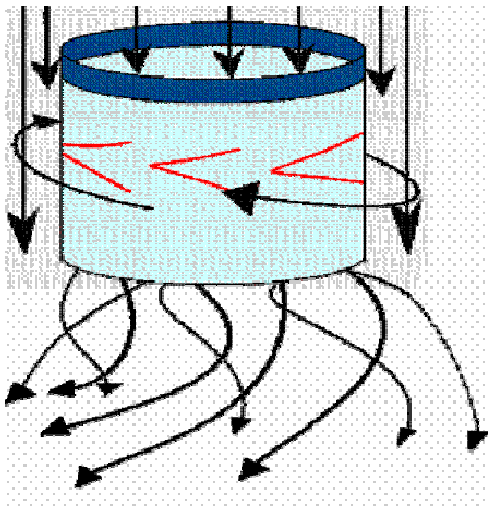


図 [4 - 1] 気流は拡散する

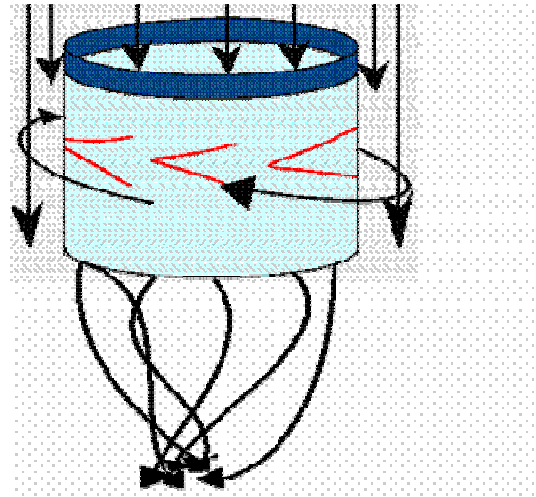


図 [4 - 2] 気流は収束する

5 実験結果 実験を繰り返し行い、観察とビデオカメラの記録映像から次の(1)(2)(3)が明らかとなった。

- (1) ジャイロ後方で気流は螺旋を描く。
- (2) ジャイロ後方から流れ出る気流が円筒の外側へ向かって拡散する。
- (3) ジャイロ後方へ流れ出る気流が、若干速度を増す。

6 考察

(1) ジャイロ後方で気流が螺旋をえがいた理由

ジャイロが回転することにより、ジャイロ内部の気体はその回転に引きずられ、渦巻き状の回転を生じたためと考えられる。(図 [6 - 1])

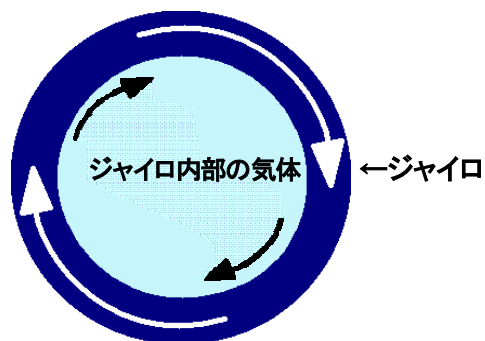


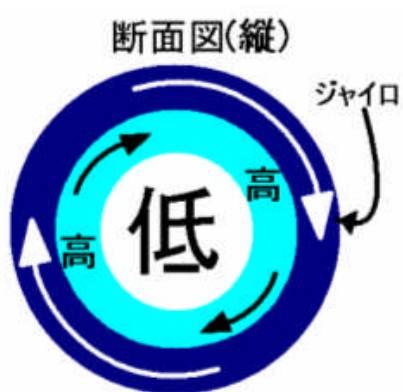
図 [6 - 1] 回転する円筒は渦巻き状の気流を生む

(2) ジャイロ後方から流れ出る気流が円筒の外側へ拡散した理由

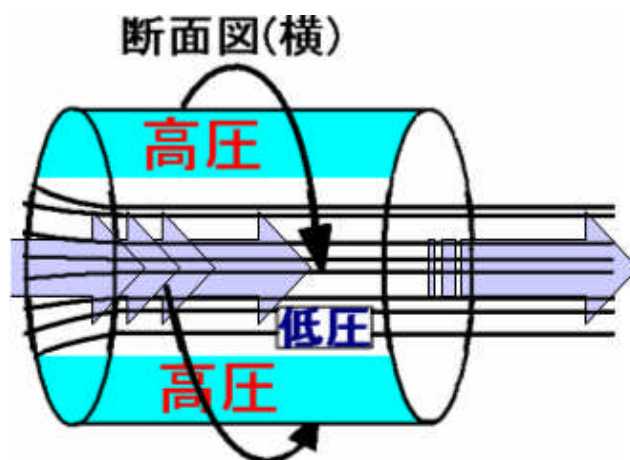
ジャイロ内部の気体に回転が生じ、遠心力の作用によって気体が円筒内部で外側に張り付くようになる。張り付いた気体が後方へ抜けていくときに、その遠心力により気体がそのまま同心円状に広がっていったためと考えられる。(図〔4-2〕参照。)

(3) ジャイロ後方へ流れて行く気流が、若干速度を増した理由

ジャイロ内部に気体が張り付くと、回転軸付近は低圧になり(図〔6-2〕)、前方から流れ込む気体が図〔6-3〕のように加速され、そのままジャイロ後方へ流れ出ていったためと考えられる。



図〔6-2〕回転により
中空部分は低圧になる

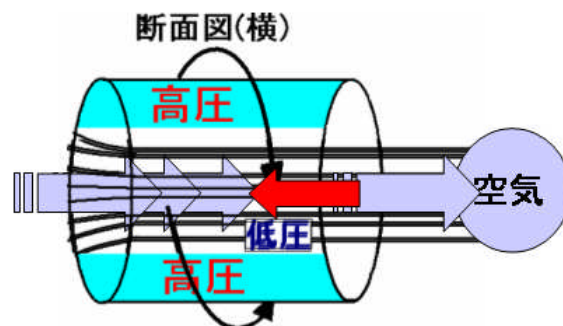


図〔6-3〕気流は
低圧部分へ流れ込む

7 まとめ 以上、実験結果と考察から、ジャイロがよく飛ぶ理由についてまとめると次の理由Ⅰ,理由Ⅱになる。

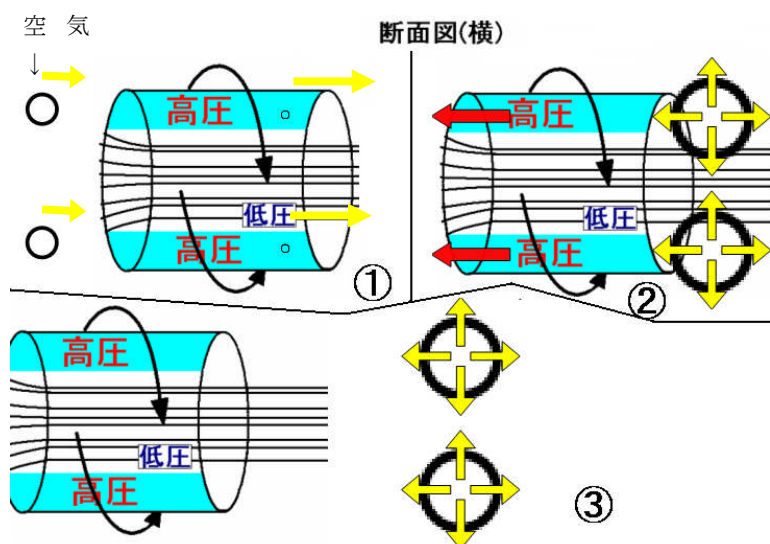
理由Ⅰ：ジャイロ効果により、最も空気抵抗の少ない角度で回転運動をさせることで、減速を最小限にとどめたまま安定させて飛ばせているから。

理由Ⅱ：回転により円筒内部の気体に遠心力が作用し、回転軸付近に低圧部分が発生する。その部分へ加速して流れ込んだ気体は、そのまま後方へ噴出し、円筒の後ろにある空気の層にぶつかり、その反作用によりジャイロが推進力を得るから。(図〔6-3〕〔7-1〕)



図〔7-1〕加速し噴出した気流は後の
空気にぶつかる

さらに、今までの考察から、加速の一つの可能性として次のような機構も考えられた。すなわち、ジャイロの回転により生じたジャイロ内部の気体の遠心力によって、図〔6-3〕のようにジャイロ内部の外側に張り付いた空気は高圧となる。そして図〔7-2①〕のように高圧部を抜けた空気はジャイロ後方で常圧に戻るため膨張し（図〔7-2②〕）、その反作用によりジャイロは推進力を得る（図〔7-2③〕）、というものである。



図〔7-2〕 前方からの空気は高圧部分で圧縮され円筒後方で膨張する

8 今後の課題

- (1) ジャイロ（円筒）の直径や長さ、厚みと飛距離との関係の調査
 - (2) X-zyloの後方が波状になっている理由の探求(飛距離との関係の調査)
 - (3) 本研究中に新たに発見した、やや下方に投げたジャイロが、下に凸の放物線を描き上昇して行く現象の解明(この現象が、ジャイロ後方の気流による揚力によるものかどうか、回転運動は関係しているのかどうか等の調査)
 - (4) 気流が上から下へ流れる実験方法では揚力の研究が難しいため、新たな実験装置の考案
- 以上が今後の課題である。

9 参考文献

- ・ Web サイト Wikipedia「ジャイロスコープ」「ジャイロ効果」「ジャイロコンパス」「ジャイロボール」の各項目
- ・ 手塚一志、姫野龍太郎著「魔球の正体」