

矢羽根の形状と飛び方の変化

2年3組 高内 俊弥 2年4組 大宿 陽輝
2年4組 水谷 悠斗 2年4組 三好 翔葵
指導者 渡邊 弘樹

1 課題設定の理由

班員全員が弓道部に所属しており、私たちが普段の練習や大会で使用している矢は全て3枚羽根である。それだけでなく、段位昇格のための審査のような厳格な場でも、3枚羽根が使用される。そこで、それ以外の枚数の矢を使用したことがなかった私たちは、なぜ3枚羽根である必要があるのか、その他の枚数であれば、どのような飛び方をするのかという点に疑問を持った。また、大会規定によると、必ずしも3枚羽根の矢を用いなければならないという記述はない。この研究を機に弓道という競技の幅を広げたいと考え、この課題の設定に至った。

また、愛媛県弓道連盟の渡邊和英先生にお聞きした予備調査では、戦国時代前までは2枚羽根が主流だったが、殺傷能力向上のために3枚羽根になったことを教えていただき、その真偽を研究を通して考察した。

2 仮説

3枚羽根のものが最も安定した飛び方をするのではないかと仮説を立てた。
(安定した飛び方とは、ここでは真っ直ぐ飛んだかどうかを指す)

羽の枚数によって飛び方に変化があり、飛び方以外でも、3枚羽根の矢が使われるようになった理由があるのではないかと考えた。

3 実験方法

(1) 羽根の作成

3枚羽根をベースとして1、2、3、4、6枚羽根を持つ矢を作成した。
(羽根は等間隔になるように接着した。
2枚羽根 180°、3枚羽根 120°、
4枚羽根 90°、6枚羽根 60°)

この際、矢自体の重さと長さを統一し、羽根の接着に用いた接着剤は飛び方に影響を与えないものと仮定した。

実験結果は、班員4人による実験の平均を出すことによって求めることとする。

* 5枚羽根は間隔が72°と製作が困難であったため、今回は実験対象から外した。



写真1 矢羽根のつけ方

(2) 弓を用いた射出実験

(1)において作成した矢を実際に弓(15.0kg)を用いて飛ばし、ビデオカメラで矢が飛んでいる様子を撮影・確認した。ここで、15.0kgの弓とは弓の張力を指し、矢を飛ばす瞬間に張り詰めた弓にかかる力が、15.0kgの重りを吊るしたときと同様である。

弓道(近的)においては的と射手までの距離が 28m である。今回の実験はすべて近的で行った。羽根の無い矢(棒矢)で実験を行わない理由は、安全な実験を行うことが難しいためである。完璧に安全が確保された状態で射出し参考記録とした。

(3) 自由落下における重力の影響の確認

高さ 3 階相当(約 6m)から、矢尻を真下に向けて静かに手から離れた。この時の射出点と落下点のずれ、および矢の飛び方を観察した。実験結果は、それぞれの枚数での実験の平均を出すことで求めることとする。

4 結果

羽の枚数が異なる矢を、弓を用いて射出した場合と自由落下の場合の矢飛びの変化について表にまとめた。

表1 弓を用いて水平方向に射出したとき

0 枚(参考)	予測不可能な方向に飛んだ
1 枚羽根	射出時に羽根が向いている方向に非常に大きく曲がる
2 枚羽根	直進する 回転数が少ない
3 枚羽根	基準 回転数は約 7 回転/s
4 枚羽根	直進する 回転数も多い
6 枚羽根	直進するが次第に落下する

表2 自由落下時

1 枚羽根	無回転 振れる動きはない
2 枚羽根	半回転 振れる動きはない
3 枚羽根	微回転(3~4 回転) 振れる動きはない
4 枚羽根	回転数が多い 振れる動きはない
6 枚羽根	矢尻の反対側が振り子のように揺れる

どれも射出点と落下点の差はほとんどなく、ばらつきは少なかった。

2・4 枚羽は 3 枚羽と同様に直進した。しかし、羽根の枚数の増加にしたがって弓を用いた射出時も自由落下時も回転数も増えることが確認できた。このことより、矢羽根にかかる空気抵抗や矢羽根が発生させる空気の流れが羽根の枚数によって変化し、回転数に差が生まれたと考えられる。

そこで、回転数の増加と矢飛びの安定性は比例するという新たな仮説を立てて 3 枚羽根で疑似的に 6 枚羽根と似た空気の流れを発生させることを目的とする追加実験を行った。

3 枚羽根を半分(写真 2 での右側)で切断し、60°回転させ、後方からの射影は 6 枚羽根と同様となるような新たな矢を作成した。この矢を弓を用いて水平方向に射出した。

結果

飛びに関しては 2~4 枚羽根と大差なく直進した。回転数も 4 枚羽根よりも多くなると予想したが、3 枚羽根と大差なかった。



写真2 追加実験で作成した矢のイメージ



写真3 自由落下実験

5 考察

弓を用いた射出実験により、1枚羽根で安定性を欠く飛び方が見られた。この動きは棒矢を射出したものと同様であり、追加調査により「アーチェリーパラドックス」と呼ばれるものの影響であることがわかった。「アーチェリーパラドックス」とは、射出された矢は必ずしなる動きをしながら飛ぶ、というもので、そのしなる動きが真っ直ぐな状態に戻るためのサポートを羽根が担っていることが分かった。1枚羽根の動きの変化が射出前の羽根の向きに依存するのは、羽根の無い方向には矢がしなるが、羽根のついた方向にしなる動きができないことからであると考えられる。

6枚羽根では、羽根の枚数が多いため、重心が後ろに移動し落下し、自由落下実験も同様に、羽根の枚数が多いためにもみられた変化であると考えられる。

飛行中の安定性を得るために必要な羽根の枚数は、2～4枚のいずれかであることが分かった。また、矢が回転することによって、ジャイロ効果のようなものが働くため、回転数が多くなるほど直進しやすくなる。これを踏まえると、回転数の増加＝勢いの増加が成り立ち、予備調査にあるように殺傷能力向上のため3枚羽根になったという説が正しいものであるという可能性が十分高いことも分かる。

しかし、4枚羽根が主流になることがなかった理由としては、

- ・ 3枚羽根でも十分な殺傷能力があったこと
 - ・ 矢を作るコストが羽根1枚でも安いほうがよく、作るまでの時間も短いこと
- という2点が考えられる。

重力が矢飛びという点に与える影響は少ないがかかる重力があまりにも偏り、大きいものであれば多少の影響がある。

5 まとめと今後の課題

今回の研究によりこれらのことが分かった。

- (1) 2枚～4枚羽根は真っ直ぐ飛ぶ、しかし飛んでいる間の回転数に違いがあり、羽根の枚数と回転数はほぼ比例の関係にある。
- (2) 1枚羽根は矢を弦につけた時に羽根が向いている方向に大きくそれる。
- (3) 6枚羽根は羽根の重さにより落下する。

(4) 矢の製造費などの経済的理由で4枚羽根より3枚羽根が優れているので、3枚羽根が流行した。

今後は、これらが起こることについての物理的な説明ができるように、矢羽根にかかる力(空気抵抗や弓の反発力など)を考察し、それらが矢飛びに与える影響について明らかにしていきたい。

今回の研究では、矢羽根の枚数にのみ着目したが、矢のシャフトや羽根の種類、形状などによる矢飛びの変化や、それらの組み合わせによる違いなどについても研究していきたい。

また今回の実験は全て近的で行ったため、遠的(的と射手までの距離が60m)でも実験を行ってみたい。

謝辞

今回の研究を進めるにあたり、以下の方々の研究指導・道具提供をいただいた。心から感謝申し上げます。

大分県 タカハシ弓具店様

愛媛県弓道連盟 渡邊和英先生

参考文献

- ・弓道考察モノログ、<http://kyudo-monologue.hatenablog.jp/entry/2017/12/19/131037>

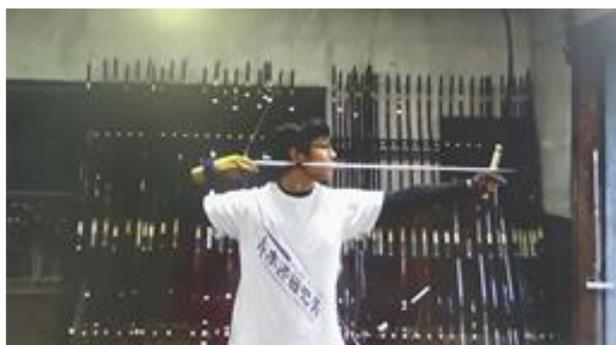


写真4