中学校
66

熊日ジュニア科学賞

弓矢についての研究（パート２）

山鹿市立米野岳中学校　3年 井出 海芯

1　研究の動機・目的

(1) 研究動機

私はロケットに興味があり、いろいろなロケットを見ていたところ初期のロケットは羽があることに気が付いた。私は一昨年、矢の羽について研究しており、それと通じるところがあるのではないかと思い調べてみたところ、ロケットの羽は矢の羽と同じように、飛翔体本体(それぞれロケット本体と矢)を安定させる効果があるようだった。そして両者とも羽は必ず本体の後ろ側についていることに気が付いた。私は、飛翔体本体に対しての羽の位置は飛び方に影響するのか疑問に思い実験してみることにした。

(2) 研究目的

○ 矢は、矢の長さの中心に対して、羽の位置を相対的に変えることで飛び方と飛距離が変化するのか。
○ 矢は、矢の重心に対して、羽の位置を相対的に変えることで飛び方と飛距離が変化するのか。
○ 矢は、矢の羽の位置が矢の重心より後ろにある場合において、羽の重心からの距離の違いにより飛び方と飛距離はどのように変化するのか。

2　実験用具について

(1) 矢 5本

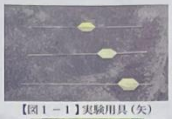
木材(長さ:91mm 直径:8mm 重さ:30g)、アクリル板(羽用)、針金、テープを使用して作成した。
なお、一昨年の実験の結果から四枚羽が最も飛距離が伸びると分かったので、すべての矢を四枚羽で統一する。

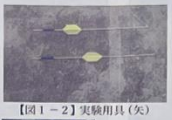
(2) 発射台

ゴム、板、等
なお、一昨年の実験の結果から45度で発射した時が最も飛距離が伸びると分かったので、45度で発射する。

(3) その他

分度器、メジャー、吹き流し 等


【図１－１】実験用具（矢）


【図１－２】実験用具（矢）

【図２】実験用具（発射台）

図3：実験用具（分度器）

図4：実験の様子

3　実験方法

発射台を45度に固定し矢をゴムに引っ掛け、しるしをつけた位置まで引っ張り矢を射出する。その後、矢の飛ぶ様子を観察し、矢が地面についたら発射地点からの距離を測定する。以上のことを一つの矢につき５回行う。

4　実験の実際

(1) 実験Ⅰ

a 仮説

矢は羽の位置を変えると飛び方と飛距離が変化したとき、その変化は羽の位置を長さの中心に対して相対的に変えたことによるものか（実験Ⅰ－①）、または羽の位置を重心に対して相対的に変えたことによるものである。

b 目的

実験Ⅰは、矢は羽の位置を変えると飛び方と飛距離が変化するものと し、その変化は羽の位置を長さの中心に対して相対的に変えたことによるものか（実験Ⅰ－①）、それとも、羽の位置を重心に対して相対的に変えたことによるものか（実験Ⅰ－②）を調べるために行う。

c 実験Ⅰ－①

(a) 要 領

矢の重心に対しての羽の位置はどれも同じで、それぞれ羽の位置が矢の長さの中心に対して、前、同じ、後、の矢、A、B、Cを用いて羽の位置が矢の長さの中心に対して相対的に変化することで飛び方と飛距離が変化するかの実験を行う。

(b) 使用する矢

○条件 矢の重心に対しての羽の位置はどれも同じ

A	羽の位置が矢の長さの中心に対して、前
B	羽の位置が矢の長さの中心と、同じ位置
C	羽の位置が矢の長さの中心に対して、後ろ

○ 矢の重心と重量を調整するために針金を使用した。

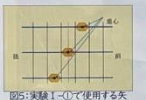


図5：実験Ⅰ－①で使用する矢

(c) 実験結果

飛距離

種類＼回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
A(前)	30m	35m	28m	40m	40m	34.6m
B(同じ)	20m	19m	20m	20m	20m	19.8m
C(後)	18m	21m	28m	23m	21m	22.2m

飛んでいるときの様子

	様子
A(前)	グライダーのように滑空して飛距離を伸ばしていた。また、射出直後の上昇しているときをのぞき、地面につくまで、軸は地面に対して平行だった。矢の軸を中心としての回転についても一切なかった。地面に対して垂直方向の運動(落下運動)について明らかに遅く地面に対して平行方向の運動についてもこの研究に出てくる他の軸や安定した矢に比べ明らかに遅い。
B(同じ)	矢の軸が安定せず、射出時に前だった方と後ろだった方が空中で回転して、失速して落下した。
C(後)	矢の軸が安定せず、射出時に前だった方と後ろだった方が空中で回転して、失速して落下した。

(d) 考 察

BとCは飛び方、飛距離ともに明確な差は出なかったため、羽の位置が矢の長さの中心と同じ位置の場合と、羽の位置が矢の長さの中心に対して後ろの場合には、飛び方、飛距離に違いは出ないと考えられる。また、AがB、Cとは違い、軸が安定して飛び飛距離が伸びたことについて考えたところ、飛距離が伸びたのは飛んでいる様子からグライダーのように揚力が発生したからと思われ、軸が安定していたことについても、グライダーと同じような原理だと思われる。そして、Aやグライダーのように揚力を発生させながら安定して飛翔し続けるために必要な条件はこの実験でAにあたえられたものより複雑だと考えられる。よって、羽の位置が矢の長さの中心に対して前の場合であれば、羽の位置が矢の長さの中心と同じ位置の場合と、羽の位置が矢の長さの中心に対して後ろの場合とは、飛び方、飛距離が異なるとは言えない。なので、羽の位置が矢の長さの中心に対して相対的に変化することで飛び方と飛距離が変化するという結果は得られたとは、言えないと考えられる。

d 実験Ⅰ－②

(a) 要 領

矢の中心に対しての羽の位置はどれも同じで、それぞれ羽の位置が矢の重心に対して、前、同じ、後ろの矢D、E、Fを用いて羽の位置が矢の重心に対して相対的に変化することで飛び方と飛距離が変化するかの実験を行う。

(b) 使用する矢

○条件 矢の中心に対しての羽の位置はどれも同じで、

D	羽の位置が矢の重心に対して、前
E	羽の位置が矢の重心と、同じ位置
F	羽の位置が矢の重心に対して、後ろ

○ 矢の重心と重量を調整するために針金を使用した。

図6：実験Ⅰ－②で使用する矢

(c) 実験結果

飛距離

種類＼回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
D(前)	22m	29m	30m	25m	23m	25.8m
E(同じ)	20m	19m	20m	20m	20m	19.8m
F(後)	50m	50m	51m	48m	51m	50m

飛んでいるときの様子

	様子
D(前)	矢の軸が安定せず、射出時に前だった方と後ろだった方が空中で回転して、失速して落下した。
E(同じ)	矢の軸が安定せず、射出時に前だった方と後ろだった方が空中で回転して、失速して落下した。
F(後)	常に矢の軸は矢の運動方向に向いていて、射出時に前だった方が空中でも常に矢の運動方向(前方)にあった。地面についたときは、矢の軸は地面に対してほぼ45度だった。

(d) 考 察

D、E、F、それぞれの場合で飛距離が異なった。飛び方については D、Eは矢の軸が安定せず、射出時に前だった方と後ろだった方が空中で回転して、失速して落下し、F は常に矢の軸は矢の運動方向に向いていて、射出時に前だった方が空中でも常に矢の運動方向(前方)にあった。このように、飛距離、飛び方に差が出たため、羽の位置が矢の重心に対して前の場合、羽の位置が矢の重心と同じ位置の場合、羽の位置が矢の重心に対して後ろの場合で、飛距離、飛び方が変化するといえる。なので、仮説に対しては羽の位置が矢の重心に対して相対的に変化することで飛び方と飛距離が変化すると考えられる。また、Fは軸が安定して飛び飛距離も他に比べて大きく伸ばしたことから、羽の位置が矢の重心に対して後ろにあると、矢の軸を安定させ飛距離を伸ばす効果が得られると考えられる。

e 実験Ⅰのまとめ

実験Ⅰ－①の結果から今回の実験のAのような特殊な状態になる場合を除けば、羽の位置が矢の長さの中心に対して相対的に変化することは飛び方と飛距離が変化する要因にはなりえないといえる。また、実験Ⅰ－②の結果から羽の位置が矢の重心に対して相対的に変化することは飛び方と飛距離が変化する要因になるといえる。以上のことから、仮説に対して、矢の羽の位置を変えると飛距離が変化するのは、矢の重心に対しての羽の位置が変わるから、といえる。また、重心より羽が後ろにあるとき、矢の軸を安定させ飛距離を伸ばす効果がある。

(2) 実験Ⅱ

a 仮説

矢は矢の羽の位置が矢の重心より後ろの場合、羽と重心との間の距離により飛び方と飛距離が変化する。

b 目的

実験Ⅰでは「羽の位置が矢の重心に対して相対的に変化することは飛び方と飛距離が変化する要因になり、重心より羽が後ろにあるとき、矢の軸を安定させ飛距離を伸ばす効果がある」ということが分かった。この実験Ⅱは、実験Ⅰで分かったことを発展させ、矢は矢の羽の位置が矢の重心より後ろの場合、羽と重心との間の距離により飛び方と飛距離が変化するのかを調べる。

c 要領

矢は矢の羽の位置が矢の重心より後ろの場合、羽と重心との間の距離により飛び方と飛距離が変化するとのものと仮定し、羽と重心からの距離が異なる2種類の矢、G、Hを用いて実験を行う。

d 使用する矢

○条件 矢の羽の位置が矢の重心よりも後ろで、

G	羽の位置が、より重心寄りな矢
H	羽の位置が、より重心から離れた矢

○ 矢の重心と重量を調整するために針金を使用した。

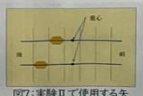


図7：実験Ⅱで使用する矢

e 実験結果

飛距離

種類＼回数	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	平均
G(重心寄り)	51m	45m	50m	50m	51m	49.4m
H(重心から離れた)	50m	45m	49m	52m	48m	48.8m

飛んでいるときの様子

種類	様子
G(重心寄り)	常に矢の軸は矢の運動方向に向いていて、射出時に前だった方が空中でも常に矢の運動方向(前方)にあった。地面についたときは、矢の軸は地面に対してほぼ45度だった。
H(重心から離れた)	常に矢の軸は矢の運動方向に向いていて、射出時に前だった方が空中でも常に矢の運動方向(前方)にあった。地面についたときは、矢の軸は地面に対してほぼ45度だった。

f 考 察

この実験では非常に小さな違いしか出ず、この実験の精度上の問題なのか、それとも、どれほど精度をあげても、もともと違いはないものなのか、どちらなのか判断することができない。よって、矢は矢の羽の位置が矢の重心より後ろの場合、羽と重心との間の距離により飛び方と飛距離が変化すると言えるとも、言えないとも言えない。

g 実験Ⅱのまとめ

矢は矢の羽の位置が矢の重心より後ろの場合、羽と重心との間の距離により飛び方と飛距離が変化すると言えるとも言えないし、言えないとも言えない。

5　実験を終えて

(1) 一昨年と今年の研究を踏まえて

私は一昨年の研究で矢の羽の枚数と飛び方及び飛距離についてと、矢の発射角度と飛び方及び飛距離について研究した。その時の結果、特に矢の羽の枚数の研究結果に注目すると、三枚以上で軸が安定して飛んだというものだった。これと、今年の研究結果、特に実験Ⅰの「矢の羽の位置を変えると飛距離が変化するのは、矢の重心に対しての羽の位置が変わるから、といえる。また、重心より羽が後ろにあるとき、矢の軸を安定させ飛距離を伸ばす効果がある。」という結果に注目して考えると以下のような仮説が考えられる。

まず、前提として空中で物体が回転するとき回転の中心は、その物体の重心になる。これは矢も同じで、矢を射出するときの力のわずかなずれなどにより空中で矢の軸がぶれて回転したりするとき、その中心は矢の重心になる。この時、羽が重心に対して前、同じ、後ろの場合それぞれ次のようになる。

前の場合、少しでも軸がぶれたとき、羽は、さらにぶれを進める効果のある方向に力が働く空気抵抗を受ける。なので、結果として軸のぶれはさらに進む。これにより、よけいなエネルギーを使うことになるし、空気抵抗により大きなロスが生まれる。

同じの場合、少しでも軸がぶれたとき、そのぶれをおさえる力も働かないし、ぶれを進める力も働かない。だが、空気抵抗が働くことにより、大きなロスが生まれる。

後ろの場合、少しでも軸がぶれると羽は、ぶれを抑える効果のある方向に力が働く空気抵抗を受ける。なので、結果として軸のぶれはおさまる。これにより、矢の軸は常に矢の運動方向と同じ方向を向く。なので、矢は常に最も空気抵抗を受けない姿勢をとる。

そして、羽が重心より後ろにある時、この効果を得るためにはどの方向に軸がずれても、ぶれを抑える効果のある方向に力が働く空気抵抗を受け、軸のぶれがおさまるような羽でなければならない。そして、どの方向に軸がぶれたとしても空気抵抗が働くのは、羽が三枚以上の時だ。(二枚以下だと羽に空気抵抗が働かないで軸がずれるようなずれ方がある)

これらのことから、軸が安定して飛び、飛距離が伸びる矢は、重心より羽が後ろにあり羽が三枚以上ということが言える。

(2) 研究の感想

矢やロケットの羽が後ろ側にあるのは、重心より後ろにないと飛翔体本体を安定させる効果が得られないからという理由があることが分かった。

実験Ⅱでは、矢や発射台が手作りで、実験場所も屋外で風も吹いているため精度に限界があり、思うような結果が出なかった。今後、解決方法を考えていきたいと思う。

また、実験Ⅰの A がグライダーのように滑空していたことに驚いた。私は、何度もグライダーを作ったことがある。基本的に主翼と尾翼がないとうまく飛ばないので、なぜグライダーの、おそらく主翼にあたる羽だけで、うまく飛んだのか非常に興味深い。時間があればグライダーがうまく飛ぶ条件について研究したい。