

16 扇の的は射抜けるか。

1 研究の動機

国語の授業で「平家物語」が題材になったとき、「扇の的」の章が強く印象に残っていた。遠く離れた船の上に掲げられた扇の的を那須与一が射落とすという、平家物語の中でも屈指の名場面だそうである。舞台となった屋島の戦いで源氏が勝ったのは歴史的な事実だが、この「扇の的」は本当にあった話なのだろうか？

いくら弓の名手とはいえ、平家方が座興として挑戦してくるほど遠く離れた扇の的を射落とせるものなのか、そもそも届くものなのかを疑問に思い、どのような条件ならば射落とすことが可能なのか調べてみたくなった。

2 研究の目的

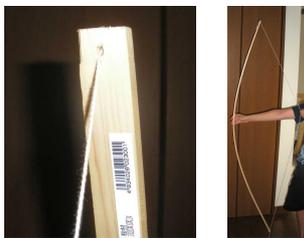
まずは平家物語の文章を元に、那須与一が射落とすという扇の的までの距離を調査することにした。源氏一の弓の名手が自害を覚悟するほどの距離だが、国語の教科書には距離に関する具体的な文章は見当たらなかった。

インターネットで調べてみたところ、鍵になるのは教科書に載っていた「扇の的」の冒頭部「ころは二月十八日の」の直前、「矢ごろすこしとほかりければ、海へ一段ばかりうちいたれども、猶扇のあはひ七段ばかりはあらむとこそ見えたりけれ。」という文章だった。「段」という見慣れない単位は「六間」のことであり、「一間」は約 1.8m になるため、「七段」は $1.8\text{m} \times 6 \times 7 = \text{約 } 75.6\text{m}$ ということになる。また、扇の的は竿の先に掲げられて 3 m ほどの高さにあったと思われるため、那須与一が射た矢はおおよそ 80m の距離を飛んだと考えられる。

実際に弓矢を使って、どうすればそれだけの距離を飛ばすことが出来るのかを、実験を通して調査することにした。

3 研究の方法

(1) ホームセンターでよくしなる木材を購入し、両端をタコ糸で結んで弓を作った。



(2) 弓を引く力と矢の飛距離の関係を知るため、百円ショップで購入したばねばかりを使った。



(3) 実際に矢を射て距離を測定しようとしたが、引く力と飛距離が全く安定しなかった。これには、次のような問題があると考えられた。

① 手で弓を引くため、毎回同じように水平に引くことが難しく、矢が飛び出す角度がバラバラだった。

②ばねばかりの形が原因で矢が固定できず、力を測定しながら弓を引くことができなかった。そのため、ばねばかりで引く力を測った後に、同じぐらいの力加減で実際に矢をつがえて弓を引くことになり、引く力が一定にならなかった。

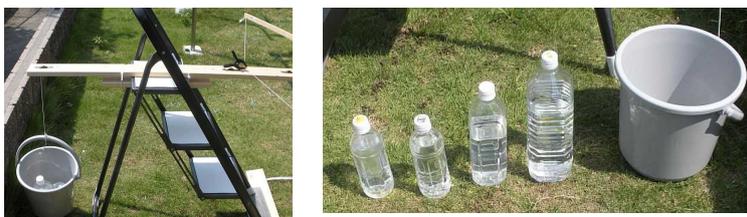
③ホームセンターで購入した木製の丸棒を矢に使ったが、軽すぎるため風の影響を強く受けてしまい、なかなか真っ直ぐに飛ばなかった。また、何度か使っているうちに歪みが生じたらしく、風が弱くても曲がって飛ぶようになってしまった。

(4) これらの問題を解決し、できるだけ同じ条件で実験ができるように、それぞれ次のように改良した。

①写真のような専用の発射台を作成し、常に同じ角度で発射できるようにした。

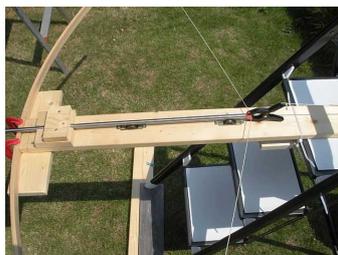


②引く力を一定にするため、写真のように滑車を使うことで、バケツに入れたペットボトルの重量で引くようにした。



※準備したペットボトルは、組合せで 1.5 kg、2.0 kg、2.5 kg、3.0 kg を選択できる。

③風や矢本体の歪みの影響をできるだけ少なくするために、同じくホームセンターで購入した金属製の中空棒を使うことにした。また、矢が滑車の上を通るようにすることで摩擦を減らすように工夫した。



(5) これらの工夫により、同じ力で弓をひけば、矢はほぼ同じ飛距離になった。

(6) 矢の長さは 90 cm。「扇の的」の本文中で使われた矢については「小兵といふちやう十二束三伏」と書かれており、「束」という単位は拳一つ分の幅（約 7 cm）、「伏」は指一本分の幅（約 1.5 cm）のため、那須与一が使っていた矢の全長は $7 \times 12 + 1.5 \times 3 = 88.5$ cm になる。また、この矢は鏑矢であり、普通の矢と比べ重さもそれなりにあったため、実験に使用した 90 cm の中空金属製の矢と近い条件であったと考えられる。

(7) 矢の飛距離は、発射台の先端から矢が最初に着地した時の後端の位置までを、巻尺を使って測定した。

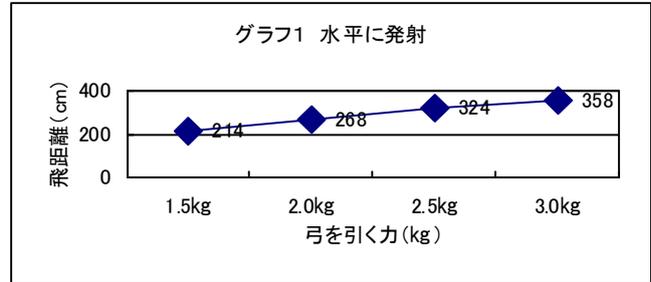
(8) 予め水を入れて重さを測っておいたペットボトルをバケツに入れ、バケツとあわせた合計の重さを弓を引く力として、「1.5 kg、2.0 kg、2.5 kg、3.0 kg」の 4 段階に変えながら飛距離を測定した。なお、多少のバラつきは避けられないため、それぞれ 5 回ずつ測定して平均値を求めた。

4 実験の結果

水平に矢を発射したときの、弓を引く力と飛距離の関係は、表1の結果になった。また、平均値をグラフにしたところ、ほとんどきれいな直線に近くなったが、弓を引く力が強くなるほど、着地したときは真っ直ぐに進もうとする力が強く残っているために、数回地面で跳ねながら前に進み続けていた。2.5 kgから 3.0 kgのあたりでグラフの傾きが小さくなっているのは、これが影響していると思われるため、発射台上に向きの角度をつけて再度実験を行うことにした。

| | | 飛距離(cm) | | | | | |
|-------|-------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | 平均値 |
| 弓を引く力 | 1.5kg | 220 | 210 | 210 | 220 | 210 | 214 |
| | 2.0kg | 260 | 260 | 290 | 270 | 260 | 268 |
| | 2.5kg | 320 | 320 | 320 | 330 | 330 | 324 |
| | 3.0kg | 360 | 350 | 360 | 360 | 360 | 358 |

表1 水平に矢を発射したときの結果



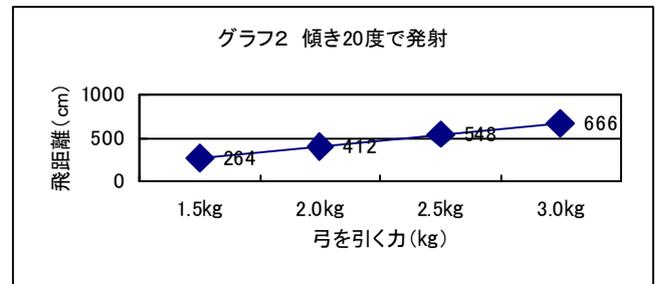
発射台上に向きに 20 度傾けて矢を発射したときの、弓を引く力と飛距離の関係は、表2の結果になった。また、平均値をグラフにした。



発射台の傾きは、写真のように発射台に糸つきの重りをぶら下げて、この糸と発射台の角度を分度器で測定した。このときの角度は 70 度だったため、発射台の上向きの角度は、90 度から測定した値を差し引いた 20 度と分かった。

| | | 飛距離(cm) | | | | | |
|-------|-------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | 平均値 |
| 弓を引く力 | 1.5kg | 240 | 270 | 280 | 270 | 260 | 264 |
| | 2.0kg | 410 | 430 | 420 | 390 | 410 | 412 |
| | 2.5kg | 530 | 540 | 560 | 560 | 550 | 548 |
| | 3.0kg | 670 | 670 | 660 | 670 | 660 | 666 |

表2 傾き 20 度で矢を発射したときの結果

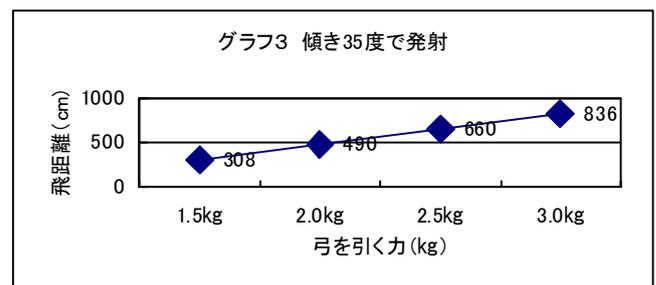


傾き 20 度で測定した場合は、水平の時と比べてかなり飛距離が伸びたが、やはり弓を引く力が強いほど着地の際に前に進む力が残ってしまったため、グラフの傾きが小さくなってしまった。

発射台上に向きに 35 度傾けて矢を発射したときの、弓を引く力と飛距離の関係は、表3の結果になった。また、平均値をグラフにした。

| | | 飛距離(cm) | | | | | |
|-------|-------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|
| | | 1回目 | 2回目 | 3回目 | 4回目 | 5回目 | 平均値 |
| 弓を引く力 | 1.5kg | 310 | 300 | 310 | 320 | 300 | 308 |
| | 2.0kg | 470 | 510 | 500 | 490 | 480 | 490 |
| | 2.5kg | 630 | 680 | 660 | 670 | 660 | 660 |
| | 3.0kg | 820 | 860 | 830 | 840 | 830 | 836 |

表3 傾き 35 度で矢を発射したときの結果

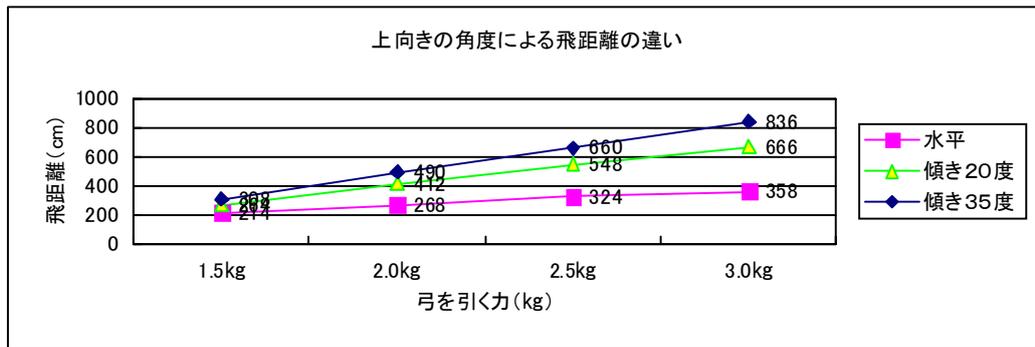


傾き 35 度で測定した場合は、さらに飛距離が伸びた。着地の時には前に進む勢いがあまり残っ

ていない状態で、グラフもきれいな直線になった。また、傾き 45 度でも実験を行ったが、高く上がろうとする力が大きすぎるためか、35 度の時より飛距離が短くなってしまったので、測定を中止した。

5 実験の考察

弓を引く力と矢の飛距離は、ほぼ比例の関係にあるが、適度な上向き角度をつけないと前に進む力が残っているうちに着地をしてしまうことが分かった。上向きの角度が水平、20 度、35 度の時の、それぞれの弓を引く力と矢の飛距離との関係は、下のグラフのようになった。



上向きの角度が 35 度の場合の、引く力と飛距離の変化の割合は表 4 のようになった。

| | 引く力 (kg) | | | |
|---------------|----------|---------|---------|-----|
| | 1.5~2.0 | 2.0~2.5 | 2.5~3.0 | 平均値 |
| 変化の割合 (cm/kg) | 364 | 340 | 352 | 352 |

表 4 引く力と飛距離の変化の割合

グラフ 3 から読み取れるように、上向き角度が 35 度の場合、弓を引く力と矢の飛距離は一次関数で表すことが出来る。弓を引く力を x 、矢の飛距離を y とすると、計算の結果、式は「 $y = 352x - 220$ 」になった。

この式を利用して、「研究の目的」で求めた扇の的までの距離 80m (=8000 cm) を飛ばすために必要な弓を引く力を計算したところ、「 $(8000+220) \div 352 = 23.35 \text{ kg}$ 」になった。実験に使った弓は、4 kg 以上の力をかけると壊れてしまうことがあったが、丈夫な弓を上向き 35 度、23.25 kg の力で引くことができれば、扇の的に届かせることが出来ることになる。

実験で求められた「23.25 kg」という力が現実的なものかどうかをインターネットで調べてみたところ、弓道で実際に使われている、力の強い人向けの「強弓」といわれる弓は、20 kg から 30 kg の力で引くものであり、実験結果と一致した。那須与一が、少なくとも扇の的まで矢を届かせることは現実的な話であることが確認できた。

6 感想

実験した結果が、実際に使われている弓とほぼ一致したことは、驚くと同時に嬉しいことだった。仮に「扇の的」のエピソードが事実だとすれば、単に矢を届かせるだけではなく、ただ一度での射抜いて見せたのは、那須与一の超人的な技術と集中力によるものであり、改めてすごいことだと実感した。

今回の実験では、弓の強度が不足していたため 3 kg 程度までしか測定が出来ず、また、発射台の構造の問題で矢に羽をつけることも出来なかった。発射台の作成にあたっては、最初に作ってみた直後は様々な細かい問題が続出し、その度に少しずつ修正をしていくことになった。大変な事もたくさんあったが、とても楽しい研究だった。機会があれば、実際に 80m までは届かなくとも、半分ぐらいまで飛ばせる装置を作ってみたいと思った。