

ブランコを使って靴を遠くに飛ばすには

群馬県立高崎高等学校
松下 恵太 山田 悠斗 若林 和敬

要旨

本研究では、ブランコでの靴飛ばしで最も飛距離が長くなる時はどの振れ角なのかについて調査をした。実験により、振り子とブランコの模型では速度の変化の仕方が異なることから、飛距離が最長になる点が異なると考察し、実際にブランコを用いて先端速度を求め、そのデータから飛距離を導出すると、ブランコの角度がおよそ $30^\circ \sim 35^\circ$ のとき靴の飛距離が最大になることがわかった。

1. 研究の目的

多重振り子について調べていたところ、鎖を用いたブランコ（これよりブランコ）が多重振り子の一種であることに気が付いた。またそこで、ブランコの遊戯として馴染み深い靴飛ばしの飛距離について関心を持った。そこで私達はブランコを用いたときの靴飛ばしの最大飛距離について研究を始めた。

2. 先行研究

一般的な振り子では以下の式を用いて、靴飛ばしの最大飛距離とその時の投射方法が計算されている。(参考文献1より)しかし、鎖を用いたブランコとは張力が一定という点で異なっていた。

$$X = 2L \cos \theta \left\{ (\cos \theta - \cos \alpha) \sin \theta + \sqrt{(\cos \theta - \cos \alpha)^2 \sin^2 \theta + (\cos \theta - \cos \alpha)(1 - \cos \theta)} \right\} + L \sin \theta$$

ただし、 α は最初の振り子の振れ角、 θ は靴を離すときの振り子の振れ角を表す (図1)。

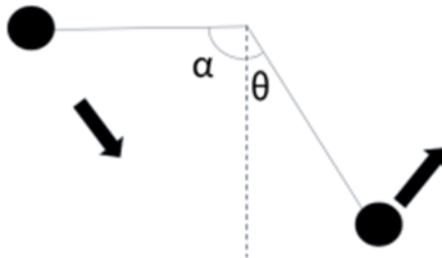


図1 振り子の模式図

3. 実験①

ブランコと振り子の違いを調べる第一歩として、ブランコの模型を使い、軌道の観点から、それぞれの運動の差を検証した。

(1) 実験方法

〈準備するもの〉

プラスチック製の鎖（つなぎ目は24個）、紐（52cm）、おもり（20g）、スタンド、ガムテープ

〈手順〉

① 実験装置の組み立て

スタンドを立ててチェーン（紐）を吊るし（図2）、振れ角は 90° のみで行った。上部は動かないように測定時に実験者の手で固定をした。

おもりは動画の解析をしやすいように周りとは異なる緑色で覆った（図3）。

比較対象となる紐においては、固定部分からの長さを鎖と合わせて、52cmで切り取った。重りの長さは2cmであるので、振り子の長さは54cmとした。



図2 実験装置



図3 おもり

② 動画の撮影

装置を用いて、振り子の運動を撮影した。ここでは、解析しやすいようにスローの機能を用いて、十分の一の速さで撮影を行った。開始から、振り子が3往復した時点で撮影を止めた。

③ Google Colab を用いた動画の解析

動画上の緑色の動体の重心（図4）の座標を100フレームごとに求めるプログラムを作成し、Google Colab を用いて振り子から手を放してから一定時間の振り子のおもりの軌道をグラフに出力した。



図4 おもりの重心

(2) 結果

紐と鎖のそれぞれのおもりの重心の軌道は図5、図6のようになった。

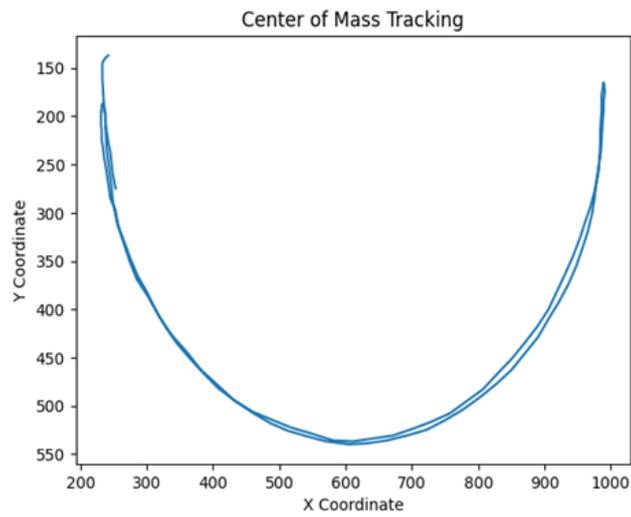


図5 ひもの振り子のおもりの重心の軌道

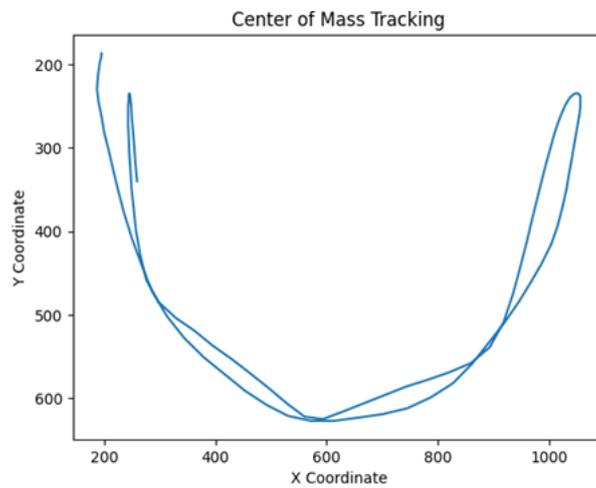


図6 鎖の振り子のおもりの重心の軌道

紐と鎖のそれぞれの振り子のおもりの重心の軌道は図5、図6のようになった。

鎖のときには重心の軌道がカクついている部分が見られた。これは、鎖がしなっているときに見られる軌道であることが分かった（図7）。



図7 鎖がしなっている様子

(3) 考察

結果より先端のおもり部分の軌道が紐と鎖で大きく異なっていた。これより、運動中の紐と鎖の振り子のおもりの速度が、特にしなりの部分で変わってくると考えられる。そこで、具体的に先端速度について求めてみることにした。

4. 実験②

実験②では、実験①で考察された速度の違いについて検証することにした。

(1) 実験方法

実験①と同様にして、Google Colab を用いて振り子から手を放してから一定時間の振り子のおもりの速度をグラフに出力した。

(2) 結果

紐の振り子と鎖の振り子のおもりの重心の速度は図8、図9のようになった。（赤い点に青い字で速度を付してある。）

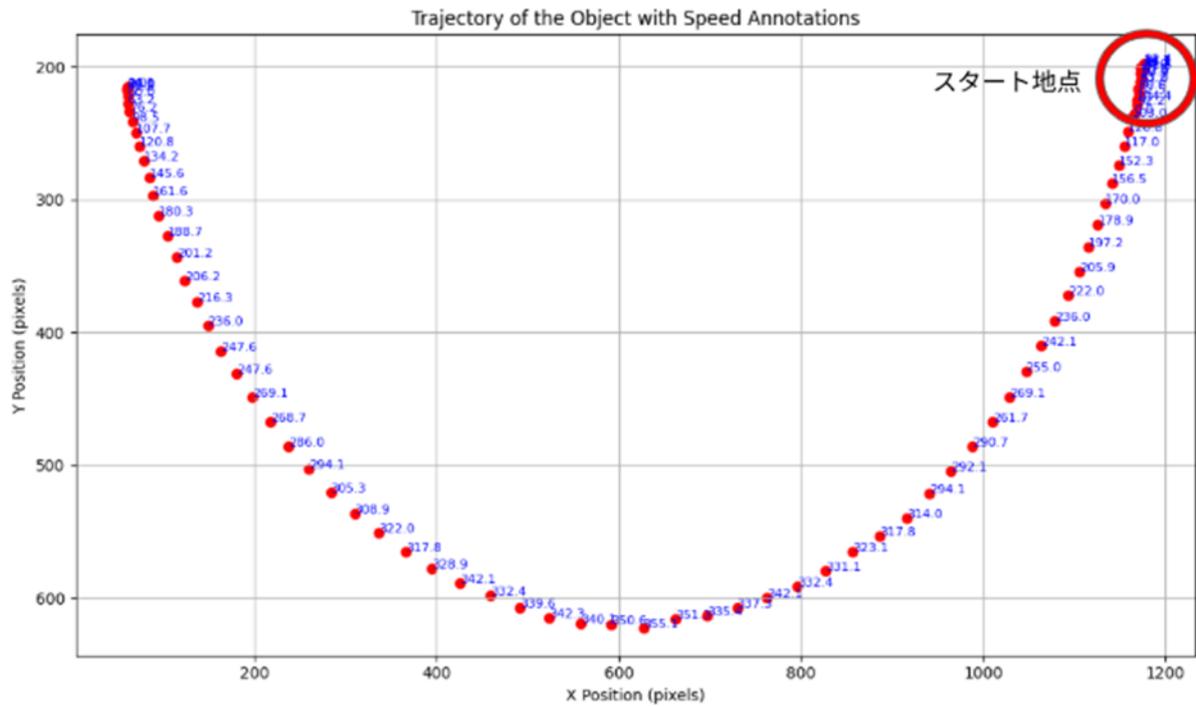


図8 紐の振り子のおもりの速度

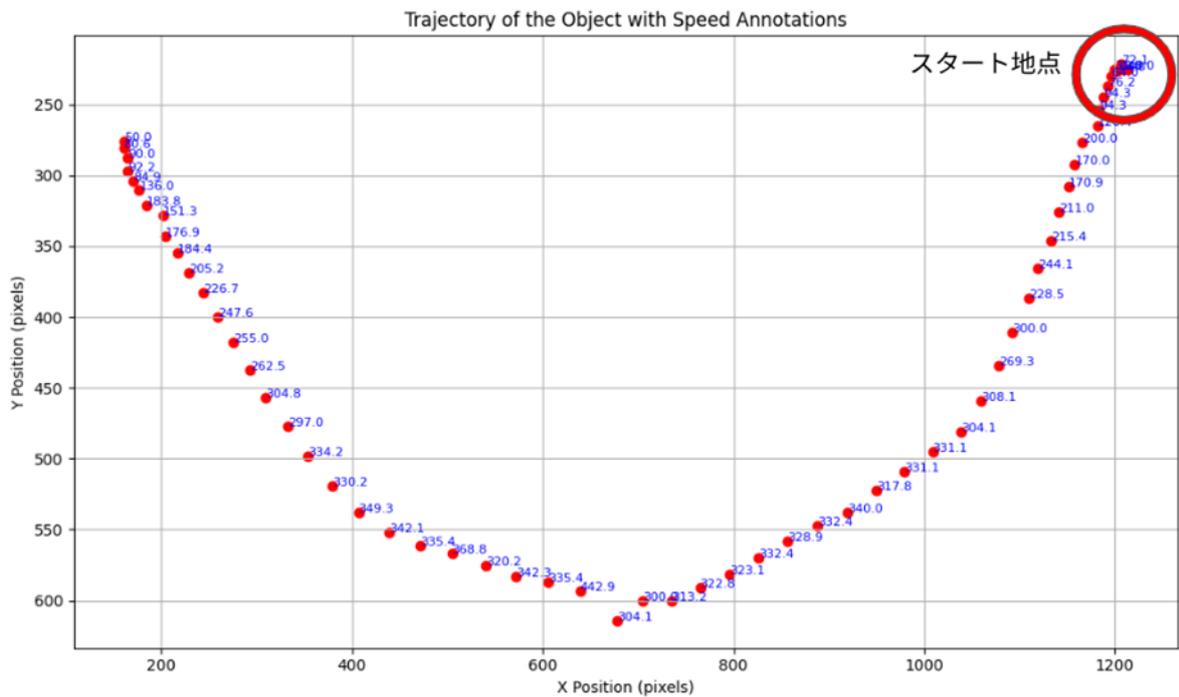


図9 鎖の振り子のおもりの速度

(3) 考察

本来ならば最高点まで単調に減少するはずの速度が、ブランコの模型では、大きく増加している部分が見られる。この場合、紐ブランコと鎖のブランコで靴飛ばしの最大飛距離が変わってくると考えられる。ここで、模型のまま計測すると、人が乗っていることによる紐とおもり部分の比重や、ブラ

ンコが二本の鎖から成り立っていることによる違いから、実際のブランコと模型が同じであるとはいいにくい。よって、ここからは実際のブランコを用いて実験を行うことにした。

5. 実験③

実際の鎖ブランコから先端速度を測定し、その先端速度から靴の飛距離を導出し、最大飛距離を求めるために実験③を行った。

(1) 実験方法

〈準備するもの〉

ブランコ(1.9m) ・ M 5 StickC Plus2 (加速度・角速度測定センサ)

〈手順〉

- ① センサを取り付けたブランコ (図 10) に人が乗り、漕ぐ。
- ② センサで採取した角速度のデータから $v=r\omega$ を用いてブランコの先端速度を求める。
- ③ 求めた先端速度と射角 θ から、ブランコの高さやどれだけ前に出ているかに注意しつつ飛距離を求める。



図 10 センサを取り付けたブランコ

今回の研究において射角 θ は、図 11 のように定義した。ブランコからの靴飛ばしは、図 11 の赤い線の部分を 0m の地点として、靴をブランコの先端速度のまま射角と同じ角度で斜方投射を行った。また、今回の靴の投射の導出においては、空気抵抗や摩擦は無視した。この研究においては多重振り子であるブランコを想定しているが、その運動はカオスを示してしまうため、ブランコの運動には実際の実験を繰り返し行い得られたデータを利用するものとする。

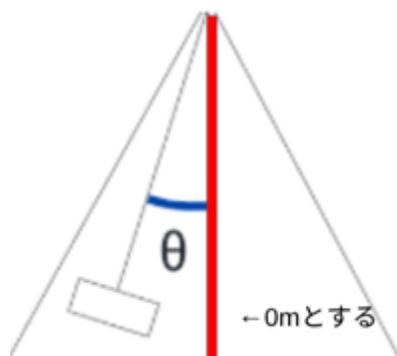
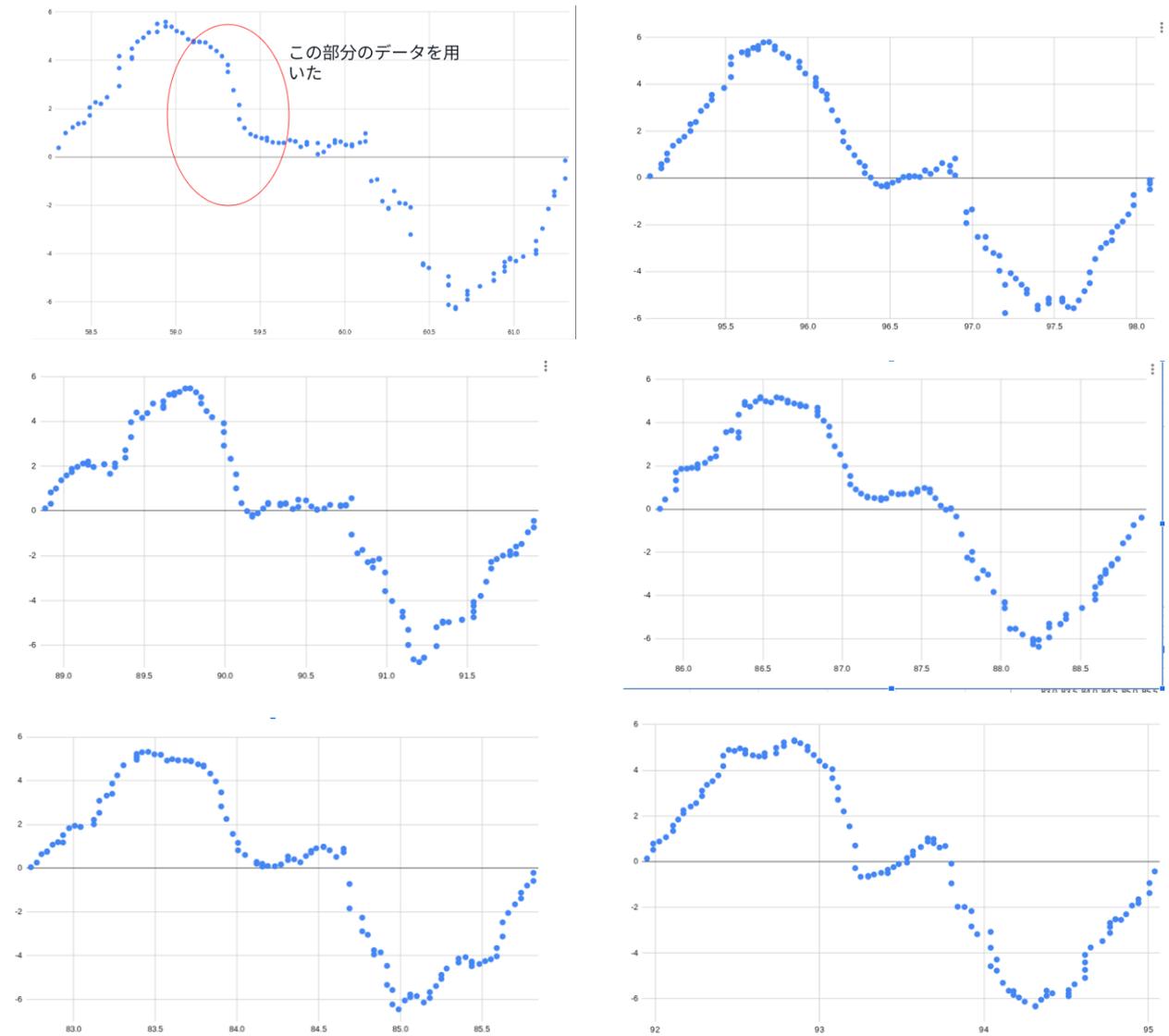


図 11 靴をとばす瞬間の模式図

(2) 結果

ブランコの先端速度は以下のグラフのようになった (図 12)。グラフは、横軸が経過時間、縦軸が速度を表している。センサーの不良で散布図が一定間隔になっていないが、結果に影響はないと考えられる。



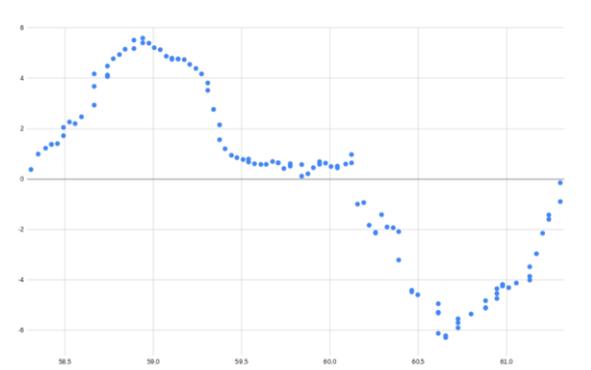
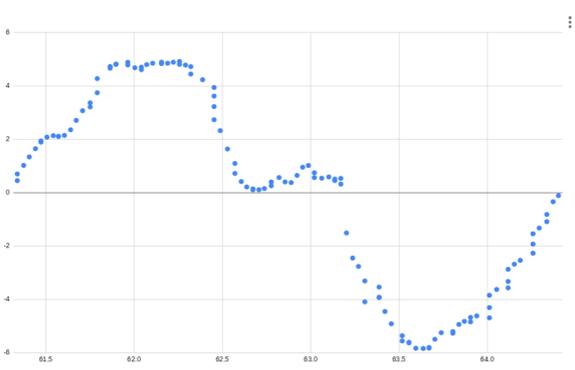
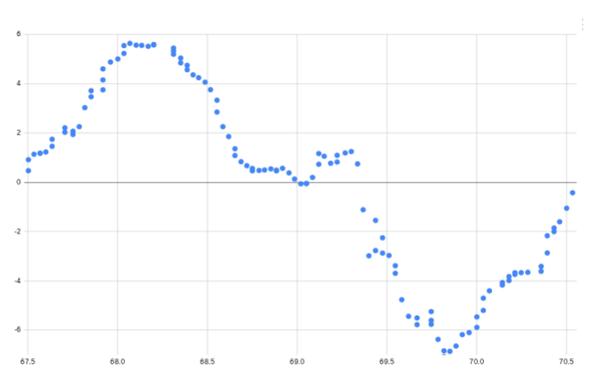
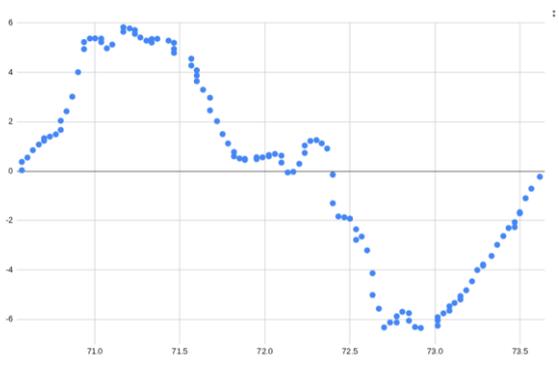
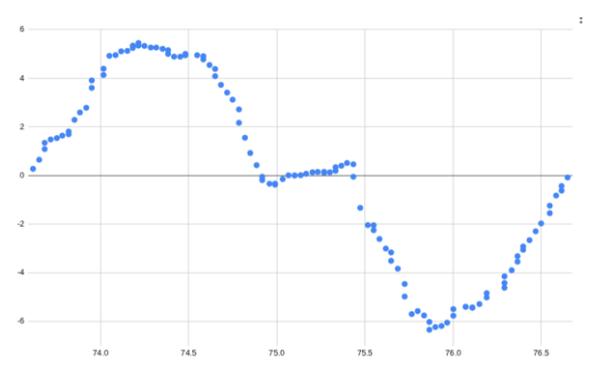
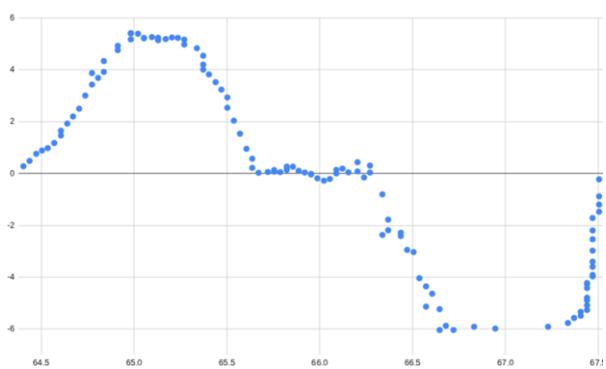
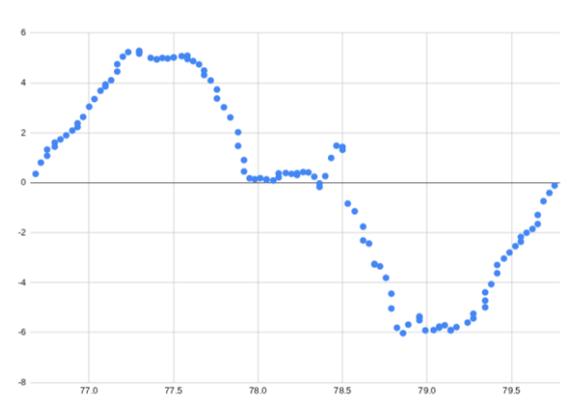
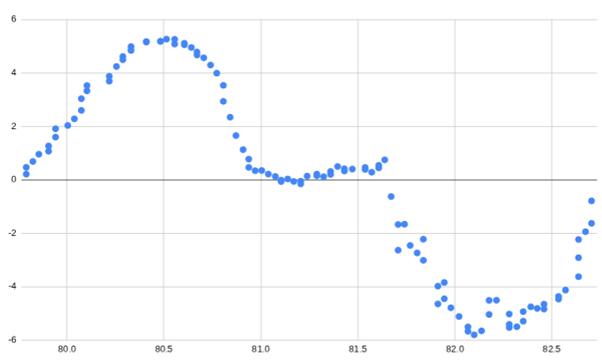


図 12 ブランコの先端速度の推移

先端速度より求められる各射角における靴の飛距離は図13のようになった。グラフは、横軸が射角、縦軸が靴の飛距離を表している。

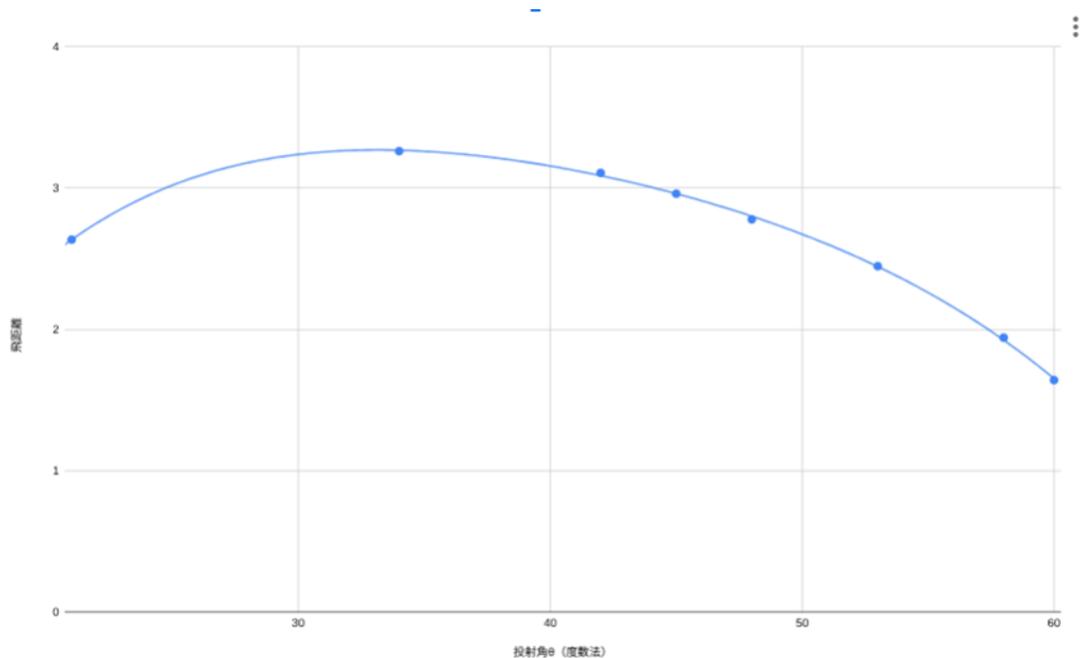


図13 各射角における靴の飛距離

(3) 考察

結果のグラフより、およそ 30° ~ 35° あたりで靴が最も飛ぶことが分かる。

なぜこのようなグラフに結果になったのかについて考える。先端速度のグラフを見ると用いたデータ部分にて何故か傾きが急になっている。その急な傾きのせいで 45° に到達する前に大幅に減速してしまうために 30° ~ 35° 付近が一番飛ぶようになっている。要因として、

- ①振り子のしなり
- ②ブランコを漕ぐという行為

などが考えられる。

6. 結論

射角と靴の飛距離の関係性が振り子とブランコで異なることがわかった。そして、本研究から導き出された、ブランコを使って靴を最も遠くに飛ばす方法は「振れ角 30° ~ 35° において靴を飛ばす」ということである。

7. 今後の展望

今後は、①今回と同じデータを精密かつ大量に取る②より多くの人にブランコを漕いでもらい、個人差があるのかどうか調査する③最適な靴の飛ばし方を調べるといったことを追究していきたいと考えている。

参考文献

*1) 丸山 颯太、森本 歩「最強の靴飛ばし戦法～力学の計算を用いて～」

<https://kozu-osaka.jp/cms/wp-content/uploads/2023/04/7c3eb2f362abe75dace62d9f7c6569b4.pdf>