

空気でっぼうにおける前玉の運動

小村 玲子、高橋 成和

○ OMURA reiko, TAKAHASHI masakazu

島根大学理科教育

空気でっぼう、空気抵抗、水平投射

1. はじめに

空気でっぼうは、小学校第3学年理科の教科書に空気の弾性を体感する一教材として登場する。ここで前玉は、棒で押す後玉が筒内の空気圧を上昇させることで発射し、発射音が大きいほど¹⁾飛距離が伸びるという。また一般に、前玉の始動は玉が筒から受ける静止摩擦力が動摩擦力に変わることによって起こる²⁾といわれている。経験によると、前者の関係はいつも正しいとは思われない。また、後者の機構はこれほど単純なものであろうか。

ここでは、まず筒に前玉を装填する位置と飛距離の関係にかかわる現象の構造を、おおまかに捉えたい。次に、その原因にせまる理論的予備的検討を行いたい。

2. 筒から飛び出した後の前玉の運動

① 玉が飛び出す速さと飛距離の測定

筒には透明アクリル管(内径9mm, 外径15mm, 長さ30cm)を用いた。まず前玉を筒中につめる。この位置 x を測定ごとに交える。次に後玉を筒の手元の端につめる。筒を床から1mの高さで水平に保ち、後玉を押し棒で、およそ1m/sで押す。このとき、前玉の筒先から飛び出す速さ V_0 と飛距離 L を測定する。結果を図1に示す。

② 理論的検討

空気中を速さ V で飛行する質量 m の玉は、重力、浮力、空気抵抗力 R を受ける。 R は大別して、 κV と κV^2 の場合が考えられる。前者を仮定すると、 L は V_0 に比例し実測と合致しない。後者を仮定し、 $\kappa/m = K$ をパラメーターとして V_0 と L の関係を計算した。結果は、図1の上に実線で示したとおりである。

実測値は、紙玉 ($m=0.7g$)、スポンジ玉 ($m=0.07g$) それぞれについて $K=0.03, 0.5$ に相当していることがわかった。

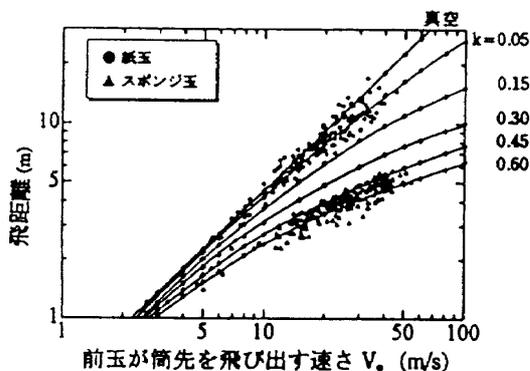


図1 前玉が筒先を飛び出す速さと飛距離の関係

3. 前玉の筒中での運動

① 前玉の装填位置と玉が飛び出す速さの関係
前玉の手元からの装填距離 x と筒先から飛び

出す速さ V_0 の関係を図2に示す。ここで玉はスポンジ玉である。グラフ中の縦線は、測定値のばらつきを、○は平均値を表している。

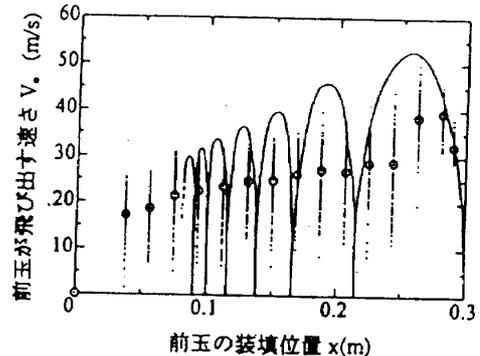


図2 前玉の装填位置と前玉が筒先を飛び出す速さの関係

② 玉と筒の間に働く摩擦力の測定

玉に働く最大静止摩擦力を測定した。その結果、スポンジ玉は筒のどの位置においてもほぼ一定であった。しかしサツマイモ玉には、増減がみられた。これは、筒の内径の変化を反映していた。

③ 理論的予備的検討

前玉と後玉の間にある空気は等温で変化し、外部へ逃げないとする。また、玉が筒から受ける最大静止摩擦力と動摩擦力は一定で、それらの値が2:1であると仮定する。前玉を筒の各位置に置き、後玉を一定の速さで移動させる場合についての前玉の運動を計算により導き、それをもとに図2の曲線を作図した。

この曲線は、摩擦力や押し棒の速さを変えることで左右・上下に揺らぐ。玉を打ち出すたびにこのような条件が変わるため、図のような不確定性をおびた結果がでていると考えられる。なお、前玉はひとたび始動すると加速をつけるだけでなく、減速・停止を繰り返す場合もある。また、加速の状態にあるとき、筒内の圧力が増すとはいえない。したがって、前玉が筒先を飛び出す速さが速いほど内圧も高く、筒内にあった空気の炸裂音が大きくなるとは限らない。

4. おわりに

空気でっぼうの前玉の運動について、大まかな検討を加えてきた。その結果、関係因子の条件設定をより確かなものにする必要がある。しかし、今後の検討は、この程度の実験条件での結果を容認し、理論面を強化することの方が現実性を帯びる。次回の報告につなぎたい。

<参考文献> 1) 永野重史・宮脇昭監修：平成8年度小学校用理科, P69 (教育出版)
2) 曾田範宗：摩擦の話, P97 (岩波新書, 1983)