

# 抵抗力が作用する力学現象のシミュレーション

6年B組 北村 賢登

指導教員 藤野 智美

## 1. 要約

本研究では抵抗力が作用する力学現象について理解を深め、抵抗力が作用する際の物体の運動について探究することを目指した。帆をつけた台車が空気抵抗を受けながら行う運動の観測に加え、差分法によって速度と加速度が時間と共にどのように変化するかについて理論的な予想を立てた。成果として、速度と加速度の時間に伴う変化について、実験値と理論値が類似の傾向を示すことがわかった。

キーワード：水ロケット、空気抵抗、運動方程式、差分法

## 2. 研究の背景と目的

私は小学校4年生の頃から日本宇宙少年団(YAC: Young Astronauts Club-Japan)に所属しており、活動の一環として、毎年6,7月に開催される水ロケットコンテストに参加していた。自作した水ロケットを飛ばす活動の中で、空気抵抗が軌道に与える影響について興味を持つようになった。そこで、SS課題研究を利用して抵抗力が作用する力学現象について研究することにした。

水ロケットにおいては燃焼材ではなく、空気と水を代わりに用いる。噴射口を開放することで、内部の水が高圧力の空気に押され、噴射口から噴出し、作用を得る。また、発射の際に、かける圧力や発射の向き、角度を変えることができ、これらを操作することで軌道のある程度制御できる。粘性のある空気中を大きさのある物体としての水ロケットが進行するため、飛行中は空気抵抗を受ける。



図1 自作した水ロケット

## 3. 2 空気抵抗に関する力学実験

飛行中の水ロケットは大きさがあり、飛行しながら回転すること、空気抵抗が作用することから、高校物理で学習する質点系の単純な放物運動でないことがわかる。そこで、本研究では、空気抵抗のみに着目し、水ロケットのように進行中に回転しない物体を用いて空気抵抗の探究を行った。

<実験方法>

図2のようにミニ四駆の車体に帆をつけたものを用意し、斜面上を緩やかに落下させることで、重力の斜面成分と空気抵抗がつり合う状況を作った。車体に記録テープ

## 3. 研究内容

### 3. 1 水ロケットの仕組みと制御

研究を始めるにあたり、水ロケットの仕組みについて考えた。ロケットを飛ばすとき、本物のロケットでは燃焼材を使い、推進力を作り出して、その反作用で飛ぶ。一方、

を接着し、変位のデータから速度や加速度を算出した。

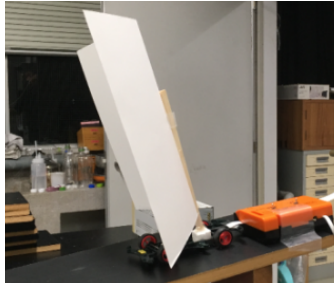


図2 実験の様子

おもりをのせない場合、静止摩擦係数が大きすぎて車体は運動開始とともにすぐに止まってしまった。そこで、50g または 100g のおもりをのせて運動を調整した。以下に用いた実験道具を示す。

<実験道具>

ミニ四駆、B4 の厚紙 (帆の役割)、割り箸 (帆を車体に固定)、おもり (50g と 100g)、2m の斜面 (木製の板)、記録タイマー、記録テープ

### 3. 3 データの解析と理論値の比較

記録テープのデータを処理し、速度と加速度が時間と共にどのように変化するかを考察した。記録テープの 6 打点ごとの変位を実測し、6 打点にかかった時間  $\Delta t$  (今回は 0.1s) における時間変化を求めた。単位時間あたりの変位  $(x_2 - x_1)/\Delta t$  から速度  $v$  を、単位時間あたりの速度変化  $(v_2 - v_1)/\Delta t$  から加速度  $a$  を算出した。

上記の実測値と比較するために、差分法により理論値を算出した。以下の運動方程式および等加速度直線運動の速度の式を用い、1つ前の時刻の値から次の時刻の値を算出して理論値を得た。空気抵抗係数を  $k$  とし、空気抵抗が速度に比例すると仮定した場合、**速度  $v_n$  と加速度  $a_n$  は以下のように表される。**

$$v_n = v_{n-1} + at \quad \dots \textcircled{1}$$

$$ma_n = mgsin\theta - kv_n$$

$$\therefore a_n = gin\theta - \frac{kv_n}{m} \quad \dots \textcircled{2}$$

②式で、時刻  $t = 0$  では空気抵抗が作用しないため、 $\frac{kv}{m} = 0$  となる。よって、加速度  $a$  が算出でき、①式にその値を代入することで次の時刻の速度  $v$  を算出できる。この速度を②式に代入し、加速度を算出したものを再び①式に代入することで、次時刻の速度と加速度を算出できる。

## 4. 実験結果と考察

図 3 に実験値と理論値の比較を示す。

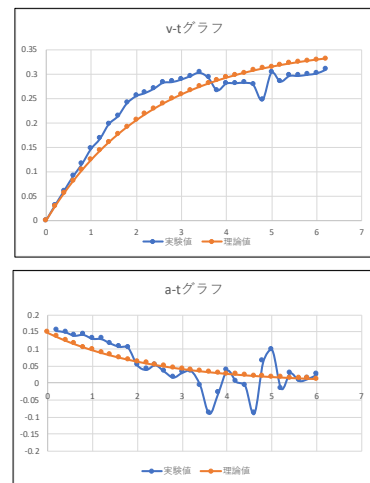


図3 比較結果

図 3 の結果より、概ね実験値と理論値の変化は同傾向であることがわかる。一方、記録テープが長いため、摩擦の影響を受けることがあった。実験方法を再検討したい。

## 5. 謝辞

今回の研究を行うにあたり、SS 課題研究をご担当いただいた藤野先生には様々なアドバイスをいただきました。深くお礼申し上げます。