

1. 助成テーマ

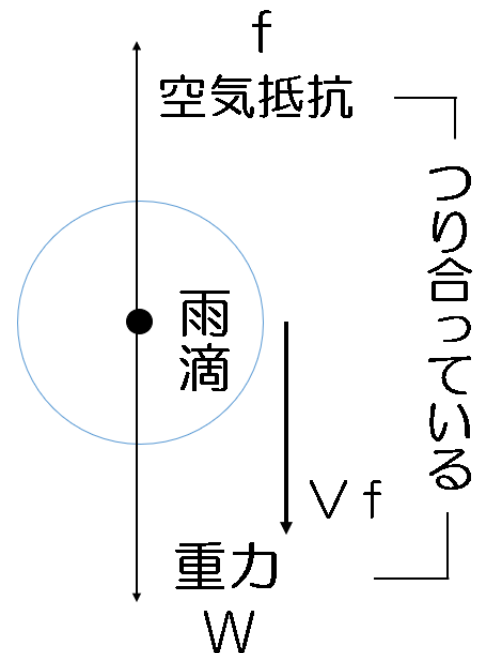
「ICTを活用した雨滴の終端速度についてのモデル実験開発と試行実践」

2. 研究の背景と目的

近年のICT化の進展に伴い、学校現場でもPCやタブレット等の端末の導入が進んでいる。さらに、GIGAスクール構想の開始により、小中学校においては、児童生徒が各自1台のタブレット等を使用することができるようになった。このような中でICTを活用した教材等の開発はまだ十分に進んでおらず、学校現場において、簡単にICTを用いて行うことができる教材を提案することは非常に重要である。

特に、地学分野が扱う現象は、時間的空間的スケールが大きいことにより、実際の現象を直接扱うことは非常に困難である。中学校や高等学校の地学分野においては、気象の内容の中で、「降水」について扱っている。降水の雨滴が大気中を落下する場合には、空気抵抗の存在により最終的に速度が一定（終端速度：下図参照）となって落下している。しかし、実際にこれらの現象を実感することは難しいとともに、定量的に測定、分析することはほぼ不可能である。

終端速度・・・重力＝空気抵抗
→加速度0
→落下速度一定



そこで、本研究においては、ICTを活用するとともに、安価な材料を用いることによって、雨滴の終端速度を室内でモデル的に捉えることができる実験を開発し、試行実施することを目的とする。

本研究のテーマである雨滴の落下については、地学的な内容と物理的な内容の2つのアプローチが可能である。しかし、地学教育の範疇においては、これまでほとんど定量的な実験等の開発は行われていない。一方、物理教育の範疇においては、「終端速度」というテーマでいくつかの研究がなされている（土田，1995；長島・増田，1989；長島，1990；塩森・竹内，2008など）。これらの研究のうち、長島・増田（1989）を例に取れば、鉄球や発泡スチロール球とビデオカメラを用いて、落下運動の定量的測定を行い、発泡スチロール球では十分に終端速度を求めることができることが示されている。発泡スチロール球は非常に安価に入手することができるため、

実験の材料として最適である。

しかし、これらの研究では、発泡スチロール球の半径と終端速度の関係についてまでは検証が行われていない。また、発泡スチロール球の落下といえども、肉眼でその運動を測定することは不可能である。そこで、先行研究を参考に、タブレット等に装備されている動画機能を用いることを予定している。先行研究においては、ビデオカメラを用いているが、個々人が端末を利用した実験例はまだ見られない。

雨滴の落下においては、さまざまな大きさの雨滴が想定され、その半径の違いによって終端速度が異なる。高等学校の物理の教科書には、終端速度の実験として、アルミカップ等を用いて行う測定例が示されている。この実験ではアルミカップを重ねることにより、落下物体の質量を変化させることができ、質量と終端速度の関係を考察することができる。しかし、落下物体の大きさと終端速度の関係について考察することができない。

地学教育として雨滴の終端速度を測定する実験としては、質量以上に雨滴の半径との関係を見いだせることが重要である。そこで本研究においては、半径が異なる発泡スチロール球を雨滴のモデルとして用いことで、半径と終端速度の関係を見出すことができる実験の開発を目指す。

3. 本研究の原理

雨滴の落下時には以下に示す「慣性抵抗」がはたらき、その落下速度の2乗に比例する空気抵抗を受けることがわかっている。

- 慣性抵抗：物体の速度の2乗に比例
物体と空気や水分子の摩擦による

$$F_1 = \frac{1}{2} C \rho A v^2$$

【 C ：抵抗係数 ρ ：流体の密度 A ：球の断面積
 v ：物体の速度】

したがって、雨滴にはたらく重力と慣性抵抗がつり合った時に終端速度に達し、その速度の大きさは以下のよう
に雨滴の半径の平方根に比例する。そのため、横軸に雨滴の半径、縦軸に終端速度の2乗を取ったグラフに実
験結果をプロットすれば、一直線上に理論的に位置することになる。

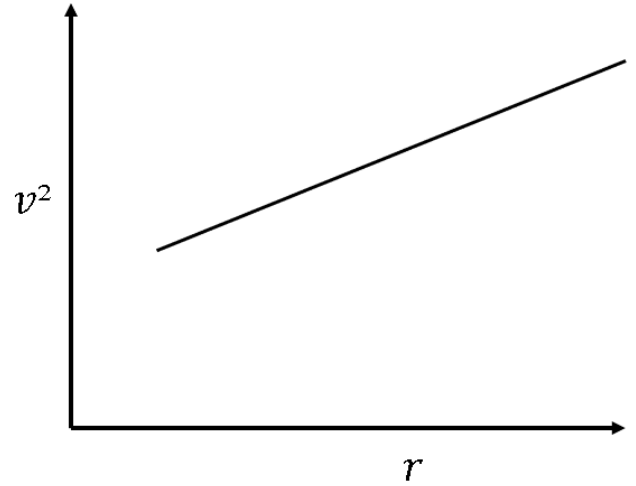
重力=空気抵抗

$$\frac{4}{3} \pi r \rho_1 g = \frac{1}{2} \rho_2 v^2 \pi r^2 C$$

$$v = \sqrt{\frac{8 r g \rho_1}{3 C \rho_2}}$$

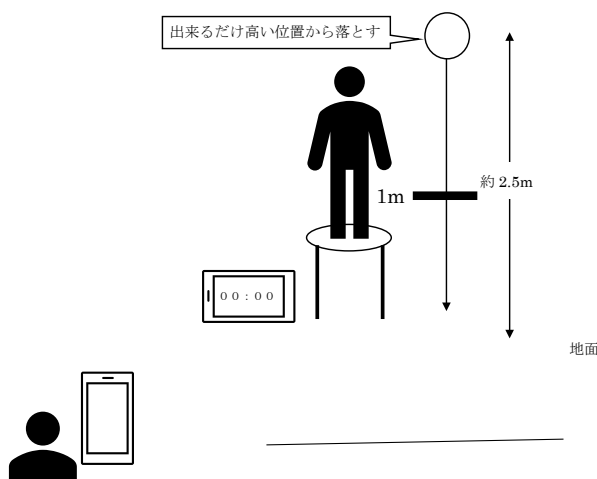
$$v^2 \propto r$$

(終端速度² ∝ 雨滴の半径)



4. 研究の成果

本研究では、学生が所有するスマートフォンを活用することを想定し、以下のような方法で実験を行うこととした。2台のスマートフォンを利用し、1台はタイマー、もう1台はハイスピードカメラとして使用した。ハイスピードカメラの画角内に発泡スチロール球の落下とタイマーの画面が映るように配置し、発泡スチロール球の運動をハイスピード動画として録画することで、発泡スチロール球の終端速度をその移動距離と所要時間から求めた。

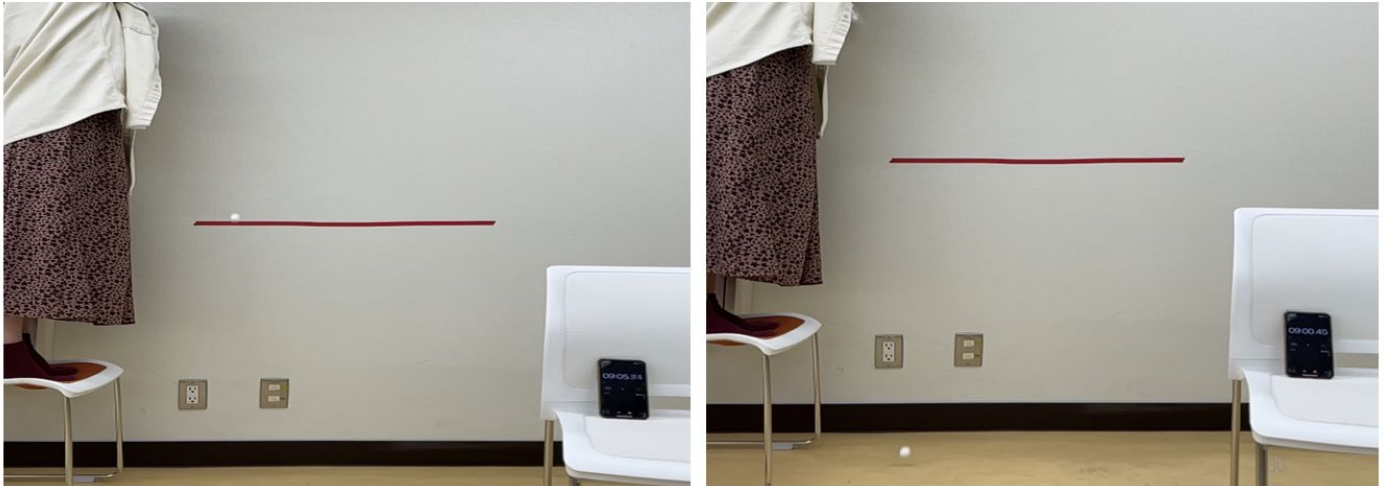


(実験模式図)



(実際の様子)

撮影した動画を解析し、発泡スチロール球が1mの目印から地面に落ちるまでのかかった時間を調べる

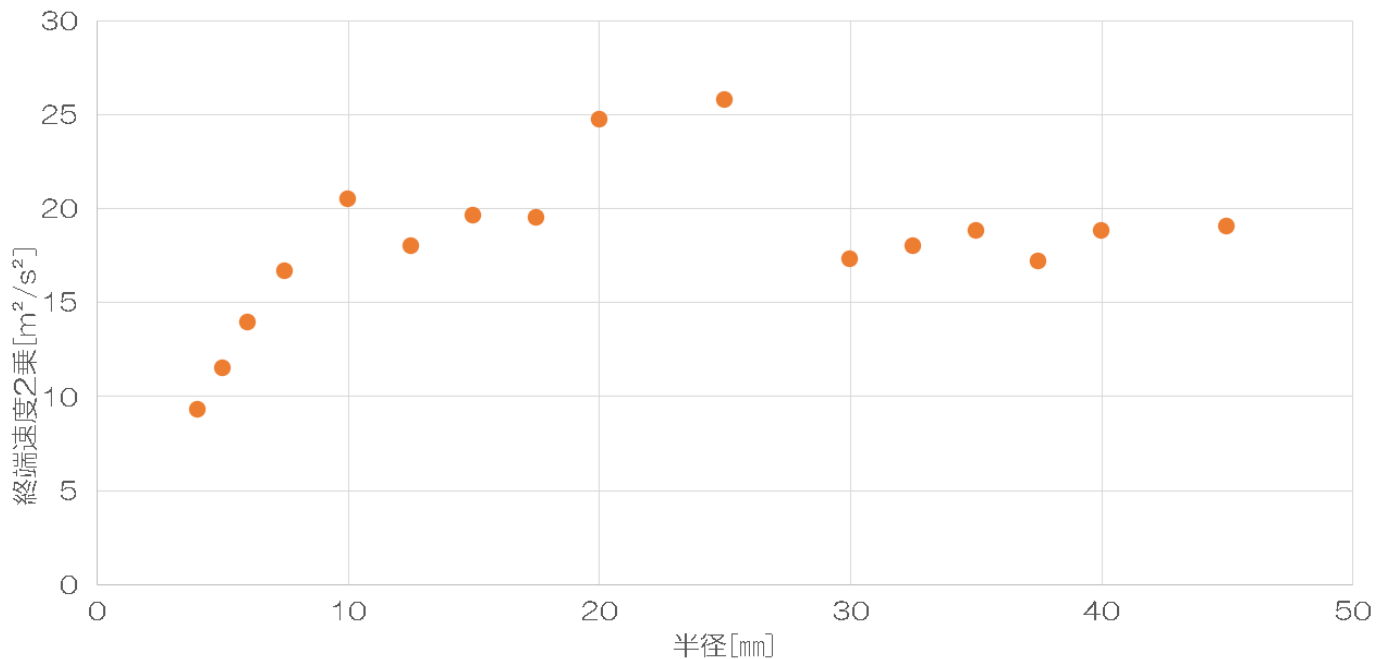


発泡スチロール球は、入手が容易なモノタロウ社で販売している以下のものを利用した。

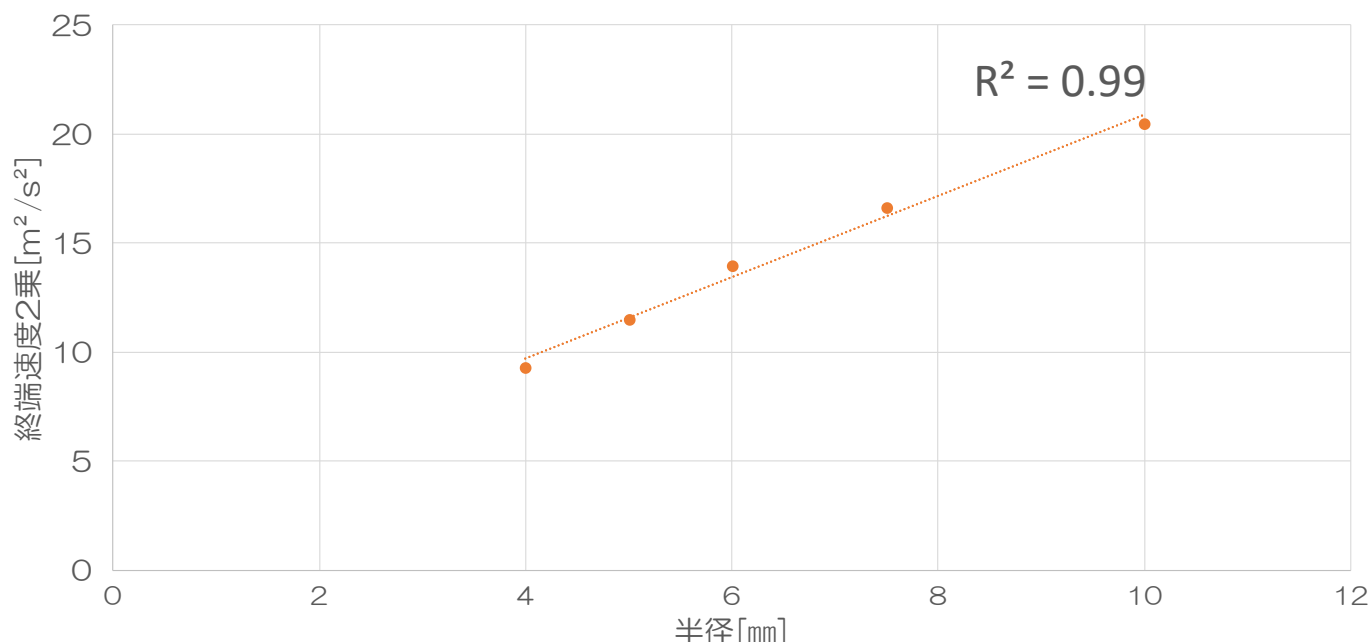
- ・発泡スチロール球（サン・ホーム）

（直径 8 mm, 10 mm, 12 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm, 30 mm, 35 mm, 40 mm, 45mm, 50 mm, 60 mm, 65 mm, 70 mm, 75 mm, 80 mm, 90 mm）

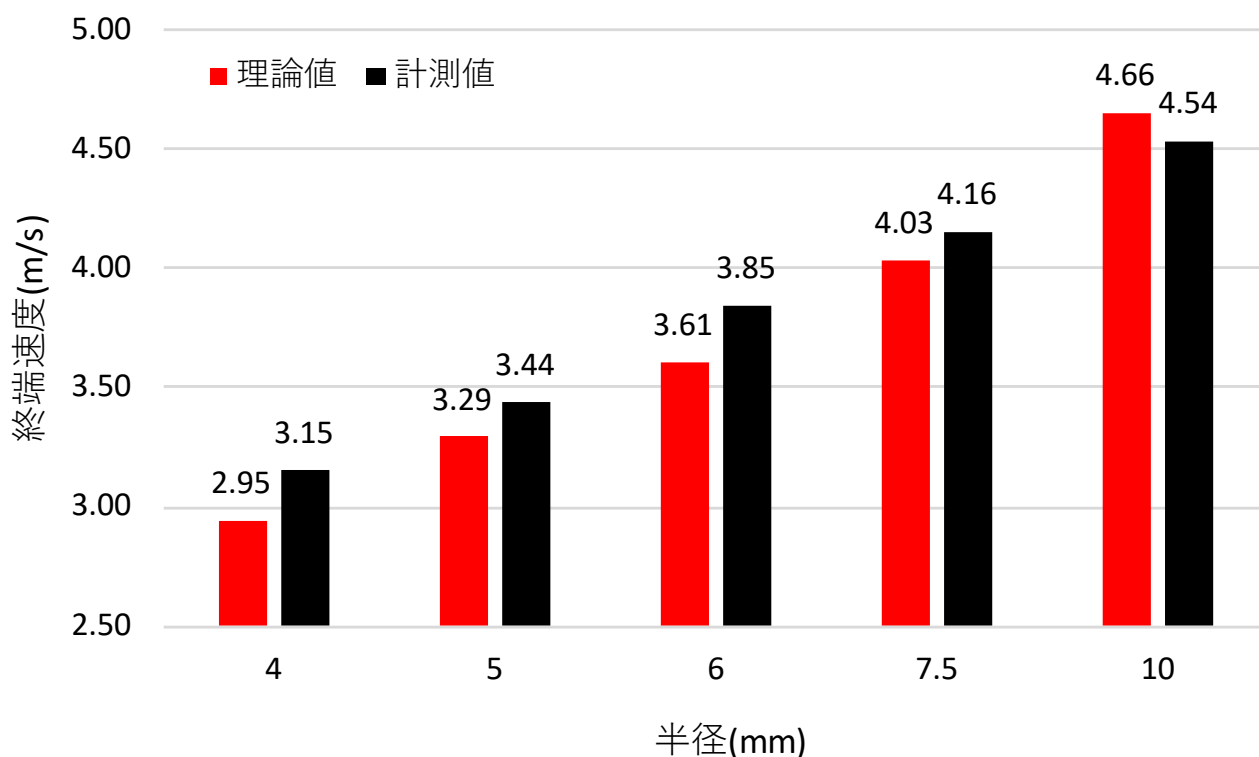
その結果、以下のように、半径 10mm 以下では終端速度の 2 乗と半径の間に比例関係が見られた。そこで、本研究では、雨滴の実際の大きさにも鑑み、発泡スチロール球半径 8, 10, 12, 15, 20mm の 5 種類を用いることとした。



半径 8~20mm までの 5 種類の発泡スチロール球については、終端速度の 2 乗と半径の値がほぼ一直線上に位置する関係が見られ、両者の関係を示す近似直線を描くと、その決定係数 (R^2) は 0.99 であった。このことから、半径 20mm までの発泡スチロール球を用いることで、雨滴の終端速度と半径の関係を見出す教材として有用であると判断した。



計測値と理論値を比較すると以下のように概ね相対誤差 5%程度で一致した。終端速度に到るまでの速度の変化を求めるためには、微分方程式を解く必要があり、高等学校のレベルを超えるが、終端速度自体はつり合いの式から容易に算出することが可能である。そのため、このような理論値と計測値の比較を行うことで、高等学校の探究的な授業にもつながる。



5. 今後の課題

本研究では、高等学校の授業で活用することを想定した実験教材を開発した。概ね良好な結果を得ることができ、地学や物理の科目横断的な実験としても広く活用できる可能性がある。実験に使用する道具も生徒や学生が所有するスマートフォン等の端末と安価な発泡スチロール球だけで良いため、どの学校でも実施可能な汎用性の高い教材になり得る。今後は、この教材を実際に高等学校の現場で実践し、その有効性を検証していきたい。

5. 成果の発表について

本研究に係る成果については、現在論文として日本理科教育学会の「理科教育学研究」（査読有り）に投稿中である。

以上