

固体物を水面に落とした時の水のはね返りに関する研究

愛媛県立松山南高等学校

水滴班2019

高城和佳 竹田夏菜 西尾怜愛

指導教諭 本藤雅彦

1. はじめに

雨の日や台所、トイレなどの日常における身近な場面では、水がはね返る光景がよくみられる。私たちの暮らしと水は密接に関わりがあり、この水がはね返る現象にはどのような性質があり、また、この現象はどのような原理によって起こるのかを解明したいと考え、この研究を行うことにした。

本校の物理水滴班では、水滴を水面に落とした際のはね返りについて研究が進められており、本研究はその継続研究である。しかし、水がはね返る場面を想定してみると、落下物は必ずしも水滴だけではなく、固体物であることも多いことから、本研究では固体物を落とした時の水のはね返りを研究し、その特性やメカニズムを明らかにすることで、水滴のはね返りに対する見地の幅を広めようと考えた。

2. 仮説

先行研究(2017)¹⁾では、水滴を滴下する高さを高くするにつれて、水面からはね上がる水滴の高さは一度大きくなった後、ほぼ一定の高さに収束する事が分かった(図1)。また、はね返る高さが収束するのは、滴下された水滴の速さが終端速度に達したためではないことも示されている。

また、先行研究(2019)²⁾では、水滴の大きさ(質量)を変えても水滴がはね上がる高さにピークが見られることと、水滴が最も大きくはね返るための滴下の高さは水滴の質量に関係することが明らかになった。

私たちは、このような水がはね返る現象では、落下物をもつエネルギーや運動量といった物理量が、水滴のはね返る高さに関係すると考えた。そこで固体物を落とす場合には、水滴の場合に比べて大きな物理量をもつ物体が液体と衝突するため、次のような仮説を立てた。

固体物を落とした場合は、はね上がりの高さは水滴よりも急激な変化を見せる。
また、はね上がりの高さはある程度の高さで一定となる。

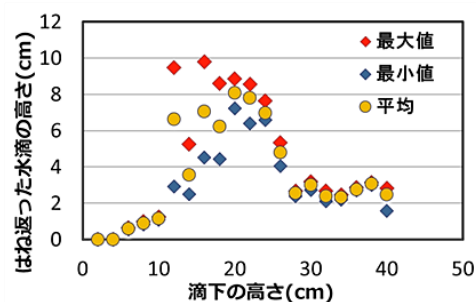


図1 水滴を滴下する高さとはね返った水滴の高さの関係

3. 研究方法

(1) 研究に用いる器具

本研究で用いた器具・道具は次のとおりである。

電磁石を用いた落下装置、水槽、実験台、実験用金属球(鉄:直径11mm)、ものさし、照明器具、反射板、磁石、暗幕
ハイスピード撮影対応デジタルカメラ(CASIOHIGH SPEED EXILIM EZ-ZR850)、同(Panasonic DC-TZ90)

本研究では水滴を落とす場合との比較を行うため、落下する物体の形状は球とした。また、実験装置を図2に示す。

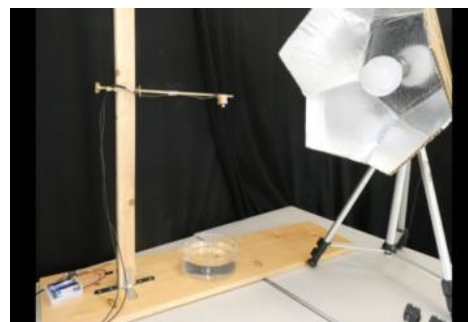


図2 実験装置

(2) 実験の手順

- ① 鉄球(直径11mm)を水面(水深35mm)に落下させ、水滴がはね返る様子を動画で撮影する。落下させる位置の水面からの高さは16cmから4cm刻みで変え、それぞれの高さで20回測定(撮影)を行う。
- ② PCの動画再生ソフトでコマ送り再生する。
- ③ はね返った水滴が最高点に達した瞬間の静止画で画像上の画素数からはね返りの高さを求める。はね返った水滴が複数ある場合は、最も高くはね返ったものを測定の対象とする(図3)。

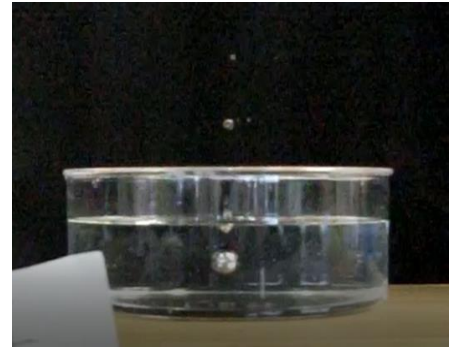


図3 はね返った水滴が複数ある場合

4. 結果

物体を落とす高さとはね上がった水滴の高さの関係は図4のようになった。グラフを見ると、物体を落とす高さが高くなるにつれてはね上がりの最高点の高さが高くなることが分かる。そして、落とす高さが72cmを越えると、はね上がった高さが急減に減少しており、水滴の場合と似た傾向が見られた。なお、どの落とす高さにおいても、はね上がりの高さには大きなばらつきが見られることが分かった。

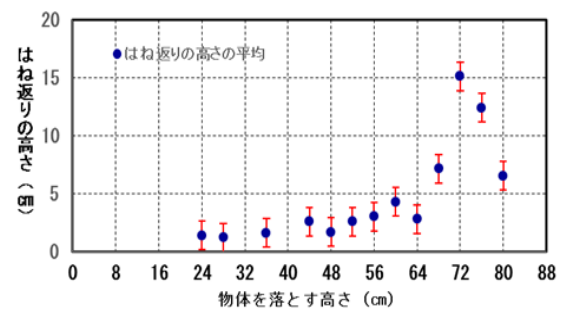


図4 物体を落とす高さとはね返りの高さ

5. 考察

私たちは図4の結果より、物体を落とす高さが72cmではね上がる水滴の高さが急減を減少する原因について考察を行った。

(1) 速さに関する考察

まず、はね上がりの高さの減少を引き起こした原因として、水滴がはね上がる時の速さが関係すると考えた。先行研究(2019)²⁾では、水滴が水面に当たった時には水面が大きく凹み、その反動で大きくはね上がることが明らかになっている。つまり、「水面が大きく凹む→はね上がりの速さが速くなる→はね上がりの高さが高くなる」の関係がある。しかし、固体物は水面に衝突した後、水中に入り込むために水面を凹ませることはできないことから、私たちは物体が水面に衝突する速さが一定量を超えると、逆に水面が元に戻りにくくなり、水面がはね上がる加速がなくなると考えた。

そこで、72cm以降で実際にはね上がりの速が遅くなるかどうかを確かめる為に、水滴のはね上がりの速さを計測した。その結果を図5に示す。

はね上がり速さは物体を落とす高さが高くなるにつれて増加した。しかし、72cm以降においては減少するどころか、急に増加するという予想とは逆の結果となった。つまり、はね返る高さが減少する原因は、水滴がはね上がる速さが減少するためではない事が分かった。

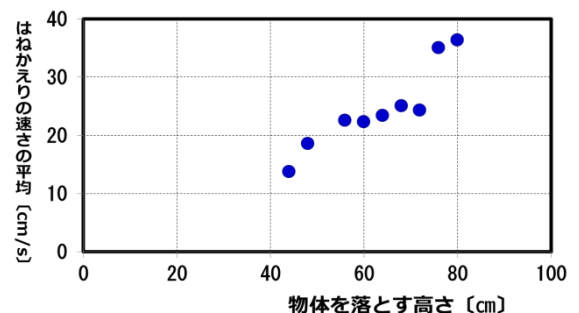


図5 物体を落とす高さとはね上がり速さ

(2) 水滴がはね上がる角度に関する考察

はね上がりの高さが減少する別の原因を探るために、動画の再生を繰り返して確認したところ、はね上がる水滴は必ずしも鉛直上向きではなく、斜め除法に飛び出し、水滴が放物線を描くことに気が付いた(図6)。そこで、私たちは水滴がはね上がる角度が関係するのではないかと考え、動画から水滴がはね上がる角度を調べることにした。

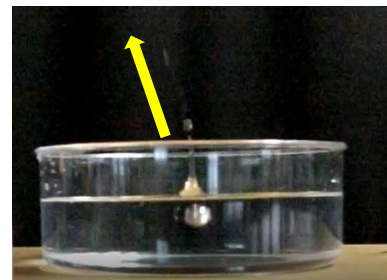


図6 斜め上方にはね上がる水滴

私たちは当初、カメラ1台で正面から撮影をしていたが、水滴の放物運動は三次元的な動きをするため、2台のカメラを用いて二方向から同時に撮影することで、角度を割り出せるように改善した。計測の結果を図7に示す。

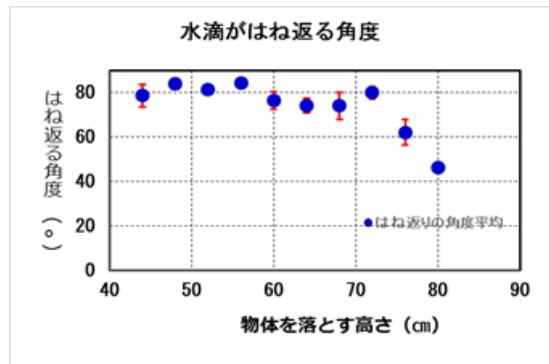


図7 物体を落とす高さとはね上がる角度

物体を72cmより低い位置から落とした場合は、はね上がりの角度はどれも約80度となり、高さ72cm以降においては角度の減少が見られた。このことから、はね上がりの高さが減少する原因は、水滴がはね上がる角度が小さくなるためであることが分かった。

(3) はね上がり方に関する考察

考察(2)では、物体を落とす高さがある値に達すると、はね上がりの角度の減少が起きることが明らかになった。このとき、水面ではどういった変化が起きているのだろうかという新たな疑問が出てきたため、引き続き調べることにした。これまでに得たデータを見返していたところ、はね上がりの角度の分布(図8)から、はね上がりの角度は80°付近と45°付近に集中していることが分かった。

このことから、私たちは、水滴のはね上がり方が2種類存在し、72cm以下では垂直に押し出されてきた水滴が、高さ72cmを超えることで落下速度が上がり、衝撃の増加によって横へ押しのけられるようになるかと推測した(図9)。

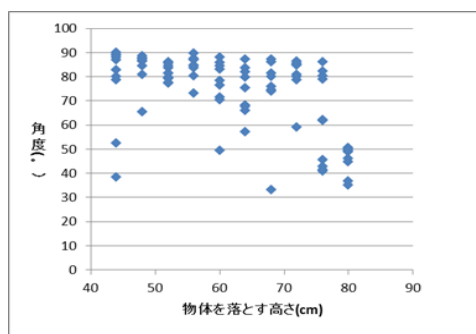


図8 はね上がる角度の分布

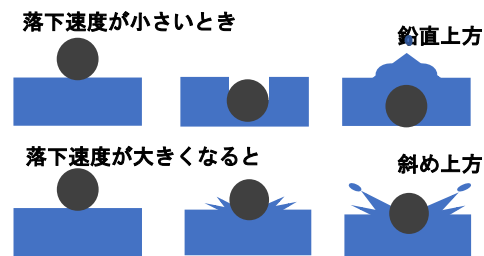


図9 水滴のはね返り方の違い

この予想を確かめるために、フレームレート1000fpsのハイスピードで、各高さから物体を落とした時の水滴のはね上がる様子を60回動画で撮影した。その際、水面の様子を観察しやすくするために、水を着色した。しかしはね返り方には違いは見られず、ほとんど同じになった(図10)。連続写真では鉄球が水面に接触した後、周囲の水が鉄球の表面を伝うように上がっていき、鉄球が完全に水中に入

るとき、表面を伝った水が上部でまとまっている。後に、まとまった水は水柱を形成しはね上がる様子が見られる。この様子は私たちが推測した図9上と類似していると考えた

一方、愛媛大学工学部からお借りしたハイスピードカメラで、2000fpsでの撮影をしたところ、図10とは異なるはね返り方をすることがあることが分かった(図11)。なお、図11は、物体を落とす高さが80cmのときのものであり、水滴が水面に衝突した時に周囲の水が横へはねのけられるようにはね上がっていることが確認できる。そして、私たちはこのはね上がり方が、図9下に類似していると考えた。

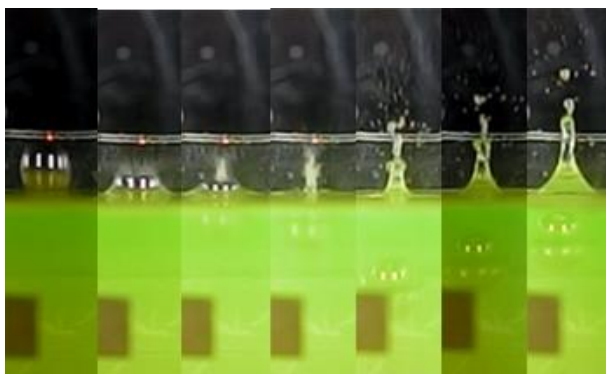


図10 水滴がはね上がる連続写真



図11 ハイスピードによる撮

(4) 落下する物体の運動に関する考察

これまでの研究発表で、数人の先生方から「物体が落下中に回転し、それが水滴のはね上がりの角度に影響しているのではないか」という意見を何度か受けたため、落下する物体が回転しているかどうかについても確認した。落とす物体の半面を油性ペンで着色し、落下する様子をハイスピードカメラで撮影したが、落下する球体に回転は見られなかった。

6. 今後の展望

現時点では、はね返る水滴の高さが減少する原因として、水滴がはね上がる角度が減少するためであることが明らかになった。また、水滴のはね上がり方が2種類存在することも確認できた。しかし、図11(図9下)のようなはね返り方はごく少数しか確認できていないため、今後はこの2つのはね上がり方についてデータの数を増やし、さらに詳しく調べていきたいと考えている。また、図10で見られた、物体の表面に形成される水の膜に関しては、2つのはね上がり方の違いを分ける要因ではないかと考えており、膜の上がる速さや特性についても調べたいと考えている。さらには、落とす物体の大きさや材質(密度)を変えた実験も行っていきたい。

7. 参考文献

- 千葉県立船橋高等学校(2014)「ミルククラウンの発生条件」
- 学校法人奈良学園 奈良学園高等学校(2013)「水中を落下する球状物体に働く抵抗力」
- 滋賀県立膳所高等学校(2017)「球体の落下運動」
- 愛媛県立松山南高等学校 S S 物理水滴班(2017)「水面からはね返る水滴に関する研究」¹⁾
- 愛媛県立松山南高等学校 三代目水滴班(2019)「水滴が水面から大きくはね返る条件を探る」