

固体物を水面に落とした時の水のはね上がりに関する研究

愛媛県立松山南高等学校 水滴班 2020
高城和佳 竹田夏菜 西尾怜愛
指導教諭 大西大輔

1 はじめに

雨の日、台所、トイレなど、日常生活の中で、水がはね返る光景はよくみられる。本校の水滴班では、この水がはね返るといふ現象に興味を持ちその原理や性質を解明することができれば、水が飛び散る現象を防ぐなどの改善ができるのではないかと考え、研究方法を変えながら継続して取り組んでいる。

先行研究より、水滴を水面に滴下する高さを大きくすると、はね返る水滴の高さは一度大きくなった後に収束することが明らかになっている。また、水滴の質量が大きいくほど、はね上がりの高さを示すグラフが左へシフトする傾向にあることも判明している。(図1)

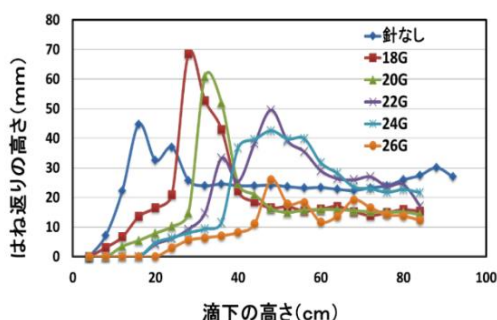


図1 水滴を落とす高さとはね返りの高さの関係

しかし、この水滴のはね返りは水面付近での挙動が分かりにくいという課題があった。そこで、本研究では水面付近の挙動を明らかにするため、落下物のみを固体に変えて研究を行った。

2 仮説

私たちは、このような水がはね上がる現象では落下物の持つエネルギーや運動量といった物理量が、水滴のはね上がる高さに関係すると考えた。そこで、本研究において、固体物である金属球を落下させる場合、水滴の場合に比べて大きな物理量をもつ金属球が液体と衝突することから、次のような仮説を立てた。

【仮説】 水面に固体物である金属球を落下させる場合、はね上がりの高さは水滴を落とす場合よ

りも大きな増加を見せる。しかし、ある程度の高さで頭打ちになる。

3 実験方法

実験器具は次のとおりである。

金属球、金属球落下装置、水槽、実験台、ものさし、照明器具、反射板、ハイスピード撮影対応デジタルカメラ(CASIOHIGH SPEED EXILIM EZ-ZR850)、(Panasonic DC-TZ90)、磁石、暗幕

- ① 金属球(直径 11mm)を水面(水深 35mm)に落下させ、水滴がはね上が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 4cm 刻みで変え、各高さで 20 回行う。
- ② PC の動画再生ソフトでコマ送り再生する。
- ③ それぞれ求めたい瞬間の静止画を用いて、画像上の画素数からはね返りの高さを求める。はね上がる水滴の高さの測定は、はね上がった水滴が複数ある場合は、最も高くはね上がったものを測定の対象とする。

動画の解析は、撮影した動画をパソコンの動画再生ソフト(Quick time Player)で再生する。コマ送り再生で求めたい瞬間の静止画を保存する。

4 実験結果

金属球を落とす高さとはね上がった水滴の高さの関係を(図2)に示す。

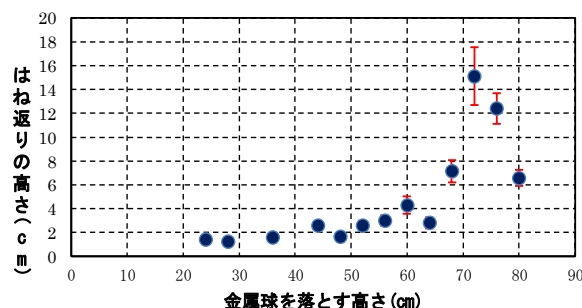


図2 金属球を落とす高さとはね上がりの高さの関係

64cm~72cm にかけてはね上がりの高さが急

増すことが分かる。また、仮説では、ある程度の高さでは頭打ちになると予想したが、72cm～80cmにおいては、急減するという結果になった。この付近でははね上がりの高さに大きなばらつきが見られた。

5 考察

(1) はね上がりの高さの増加の考察

はね上がり高さ 64～72cm にかけて、はね上がり高さの急増が見られる。中でも大きな増加が見られたのが 68～72cm の区間で、金属球を落とす高さは 1.06 倍の増加に対し、はね上がり高さの平均は 2.17 倍増加している。(図 2) これに比べ、先行研究のグラフ(図 1)では、水滴を落とす高さは 1.17 倍の増加に対し、はね上がり高さの増加は最大で 3.29 倍である。このことより、水滴の場合の方が、固体物よりも大きな増加が見られることから、仮説の「水面に固体物を落とす場合、はね上がり高さは水滴を落とす場合よりも大きな増加を見せる。」は、否定された。

(2) はね上がり高さの速さについて

本校の水滴班による先行研究(2019)では、はね上がり高さがはね上がり高さに関係することが報告されていた。このことから、はね上がり高さが減少することで、高さが減少したのではないかと予想した。検証の結果を(図 3)に示す。

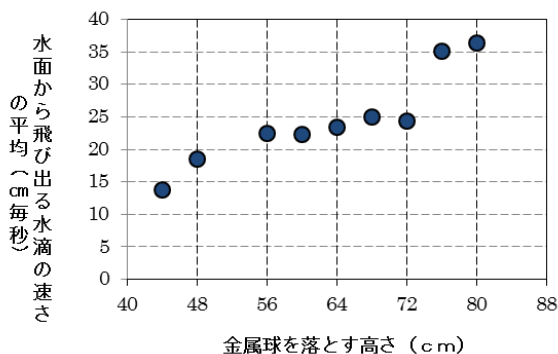


図 3 金属球を落とす高さとはね上がる水滴の速さの関係

はね上がり高さの急減が起きた 72 cm 以降において、はね上がり高さは増加するという結果になった。よって、はね上がり高さが低下することで高さの減少が起こるといった考えは否定された。

(3) はね上がり高さの角度について

引き続きはね上がり高さが減少する原因を探っていたところ、動画データから、水滴が放物線を描くようにはね上がることに気がつ

いた。このことから、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た。当初はカメラ 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。結果を(図 4)に示す。

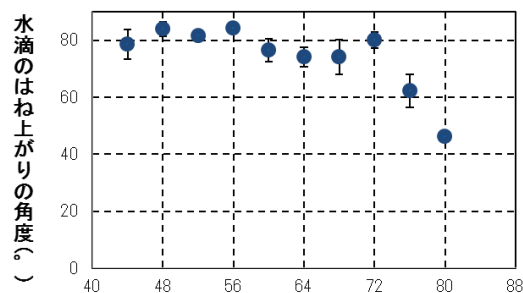


図 4 鉄球を落とす高さとはね上がり高さの角度の関係

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と考えられる。

(4) はね上がり高さの角度についての考察

(3)の実験結果より、72cm を境とする角度の減少がなぜ起こるのだろうかという新たな疑問が生まれたため、さらに詳しく解析を行うことにした。

はね上がり高さの角度を表すグラフ(図 4)を点グラフ化すると、80° 付近と 45° 付近にデータの集まりが存在することが判明した。したがって、変極点である 72cm を境に水滴のはね上がり方そのものが変化しているのではないかと考えた。

実際に、水面の様子を撮影して検証したところ、二つのはね上がり方を観測することができた。それぞれを A、B とし、(図 5)に示す。

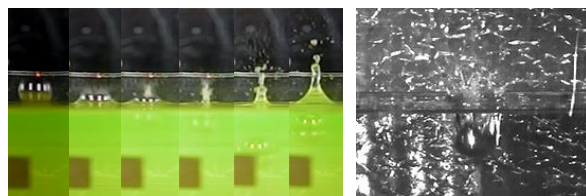


図 5 はね上がり方 A(左)と B(右)

(図 5)のはね上がり A では、金属球が水面に接触した後、周囲の水が金属球の表面を伝うよ

うに上がっていき、形成された水柱の先端から水滴が飛び出していることから、Aにおけるはね上がりの水滴は水柱に由来することが分かった。Bのはね上がり方には、Aで見られた水柱の形成は見られず、金属球の表面を覆う水も確認できなかった。また、はね上がる水滴は水面に由来することが分かる。

一見すると、これらのはね上がり方の違いが72cm以降のはね上がりの角度の減少を引き起こしたのではないかと考えられる。しかし、(図6)より、Bのはね上がり方はごくわずかで落下の高さに関わらず不定期に見られたことから、これらの違いが角度の減少を引き起こす要因とは言えないことが分かる。

| 物体を落とす高さ(cm) | 44 | 48 | 52 | 56 | 60 | 64 | 68 | 72 | 76 | 80 |
|--------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| はね上がりA | 8 | 10 | 10 | 10 | 10 | 9 | 9 | 10 | 10 | 9 |
| はね上がりB | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 |

図6 金属球を落とす高さとはね上がりA、Bがみられた回数

また、金属球の衝突速度の増加に伴って、Aのはね上がり方における水柱と、そこからの水滴の生成にある傾向が見られる事に気付いた。(図7)は、金属球を落とす高さが76cmの時に形成された水柱と水滴である。

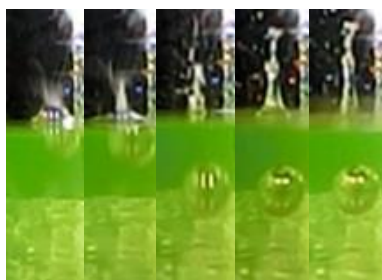


図7 落下の高さが76cmのときに形成された水柱と水滴

このように、金属球を落とす高さが高い程、水柱の形成が不安定になる傾向が見られた。この時、水柱の形成はより素早くなり、分裂した複数の水滴が様々な方向へ飛び散る様子が見られた事から、はね上がりの角度の減少に関係していると考えられる。

6 結論

以上の実験並びに考察で明らかになったことは次の3つである。

- ① 金属球を落下させた時に水滴のはね上がる現象では、先行研究の水滴を落とした場合同様、水滴のはね上がる高さは落下させる高さが高くなるにつれ大きくなるが、ある高さ

を境に減少する。

- ② はね上がりの高さの減少は水滴のはね上がる角度の減少によるものである。これは、Aのはね上がり方において、金属球の衝突時のエネルギーが大きくなることで水柱の形成が不安定になり、複数の水滴が様々な方向へと飛び出るためである。
- ③ 金属球を水面に落下させた時の水滴のはね上がり方は2種類存在する。

7 今後の課題

今後は、はね上がりの角度の変化を引き起こすと考えられるはね上がり方Aにおける水柱からの水滴の分散についてより詳しく解析を行いたい。また、2種類の異なるはね上がり方が存在することが確認できたが、はね上がり方Bは、どのような条件下で出現するのかについても調べたい。

落下物の大きさや形、密度などを変えた場合にどのような違いが表れるか、対照実験を行うことでこの現象のメカニズムを解明することができれば、日常生活の改善に応用することもできるだろう。

8 謝辞

本研究を行うにあたり、愛媛大学工学部機械工学科の向笠忍準教授にハイスピードカメラでの撮影について御指導御助言をいただきました。また、数多くの助言を頂きました愛媛県立東温高等学校の本藤雅彦先生、愛媛県立松山南高等学校の露口猛先生、参河厚史先生、大西大輔先生をはじめ、本研究にご協力頂いたすべての方々にこの場をお借りして厚くお礼申し上げます。

9 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」
- 愛媛県立松山南高校 SSH 水滴班(2016)「水面に形成される水柱に関する研究」
- 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」
- 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」