

# ビート板ジャンプ ～飛ぶ高さとお水深との関係の分析～

群馬県立高崎高等学校  
高橋心 鳥羽京介

## 要旨

水泳プールでビート板を水中に沈めてビート板から手を離し、高く飛ばすことを、本論文では、以降、ビート板ジャンプと呼ぶ。誰もが一度はやってみたことがあるであろうビート板ジャンプだが、ビート板をより高く飛ばすにはどうすればよいただろうと考えたことはないだろうか。水中から勢いよく飛び出したビート板が、高く飛ぶことがビート板ジャンプの醍醐味と言える。しかし、そのビート板が飛ぶ高さにはある謎が存在する。それは、深く沈めすぎるとビート板が飛びにくくなるということだ。我々の直感では、深く沈めれば沈めるほど、ビート板は勢いを増し、高く飛んでいくように思われるが、その予想に反する実験結果が得られた。本研究では、その謎を、物体の動作をコンピューターで分析することによって解明しようと試みた。

## 1,はじめに

### 1-1 研究を始めたきっかけ

群馬県立高崎高等学校の岡田直之先生から、昨年度の生徒が、研究途中で終わってしまった研究として、この研究テーマを教えていただいた。我々も、この、身近にありながら、原因の想像がつかないこのテーマを興味深く感じたため、研究テーマを引き継ぐ形でこの研究に取り掛かった。

### 1-2 研究の概要

実験においては、計算や分析等を簡略化するために、ビート板ではなくピンポン玉を使用した。水槽の様々な水深からピンポン玉を放ち、ジャンプさせた。この一連の動きを動画として撮影し、その動きを分析した。このピンポン玉の動きを分析する際には、Google colabatoryと、Chat GPTを用いた。また、ピンポン玉の動きを予測し、それを数式化したものをグラフにして、実験で得られた結果と照らし合わせ、ピンポン玉の動きと、沈める水深の関係を求めようと試みた。数式をグラフにする際には、GeoGebraを用いた。

### 1-3 仮説

ピンポン玉には、その速度に比例する力が水中ではたらく、その力によって、ピンポン玉を深く沈めすぎるとかえってピンポン玉が高く飛びにくくなる現象が生じているという仮説を立てた。もしその仮説が正しければ、一番ピンポン玉が高く飛ぶ、ピンポン玉を沈める深さは、水中でピンポン玉の進行方向逆向きに掛かる力によるピンポン玉の減速と、ピンポン玉にはたらく浮力による加速の具合を合わせた、ピンポン玉の実際の速度のうち、水面から放たれる際に、ピンポン玉が最も大きな速度を持っていられるような水深になるだろうと予想した。

## 2,本研究での実験で使用したものについて

### (1)使用したピンポン玉について

- ・直径 40mm
- ・重さ 2.7g

### (2)Google colabatory

Googleが提供するブラウザベースのPython開発環境で、機械学習やデータ分析に必要なライブラリがプリインストールされており、特別な環境構築なしにPythonコードの実行や共有が可能である。本研究では、ピンポン玉の動きを撮影した動画を分析し、その動きについて様々な観点からグラフを作るために使用した。

### (3)Chat GPT

OpenAI社が開発したAIチャットボットのことで、大規模言語モデルを基盤とし、人間と自然な会話のようにやり取りできる。また、質問への回答、文章の作成、翻訳など、様々なタスクをこなすこともできる。本研究では、Google colabatoryで使用する、動画解析プログラムの制作や、改良、変更等を行うために使用した。

### (4)GeoGebra

幾何学、代数学、表計算、グラフ作成、統計学、微積分を1つのエンジンにまとめた、あらゆるレベルの教育に対応する動的な数学ソフトウェアである。本研究では、ピンポン玉の動きを予測した数式をグラフにするために使用した。

## 3,実験「ピンポン玉の動きの撮影とその解析」

### 3-1 実験の目的

実際に、ピンポン玉の水中での動きを分析し、動きを予測するためのデータを得る。

### 3-2 実験の方法

まず、水槽に沈めた状態から放たれたピンポン玉の、水中から飛び出て、再び水面へ落ちるまでの動きの様子を動画として撮影した。その後、ピンポン玉の動きを分析するためのプログラムと、Google colaboratoryを使用して、ピンポン玉の動きを、時間と高さ、時間と速さ、の2つの関係に着目し、グラフにした。そのグラフから、読み取れることや考えられることをまとめた。

<ピンポン玉の動きの撮影>

ピンポン玉を沈める深さを、(水面から)1cm、2cm、3cm、4cm、5cm、6cm、7cmと、1cmごとに換え、それぞれの水深から放ったピンポン玉の動きをそれぞれ撮影した。



図1 撮影した動画の切り抜き画像

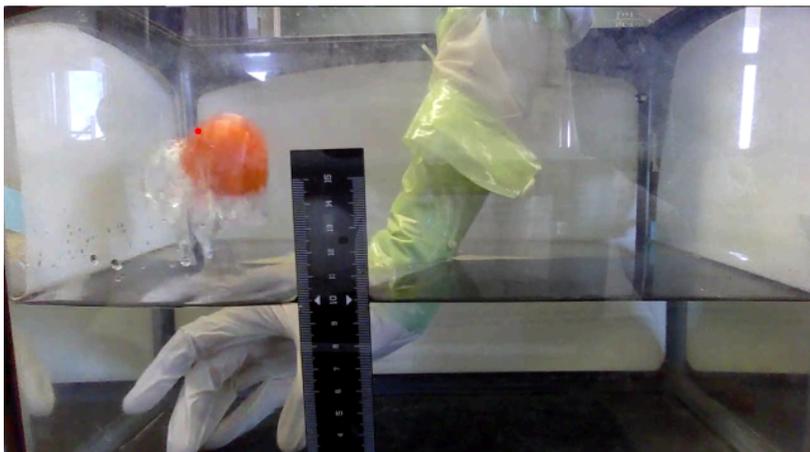
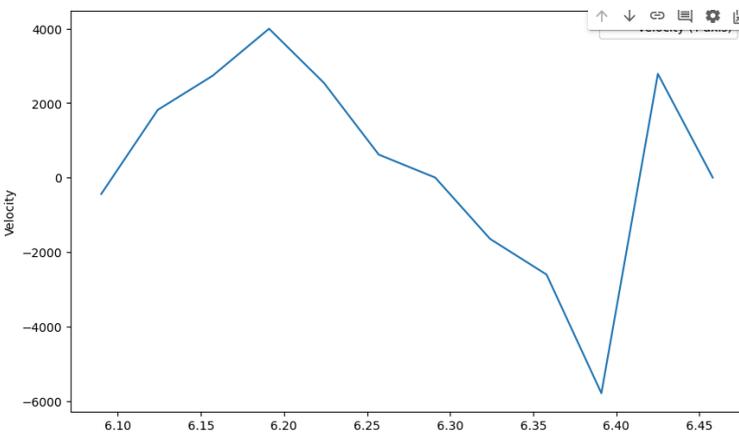
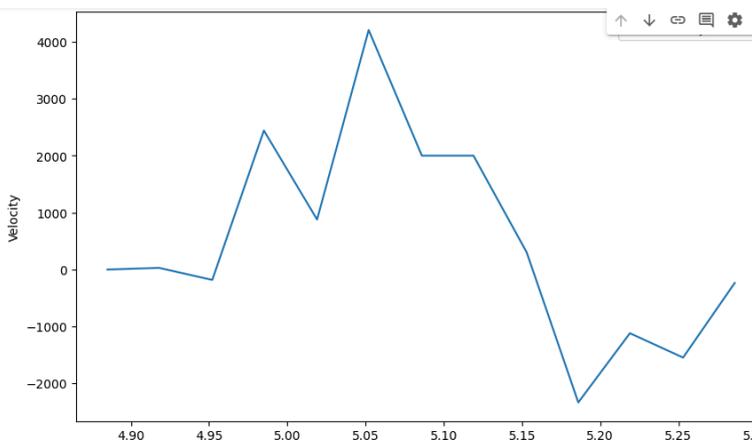
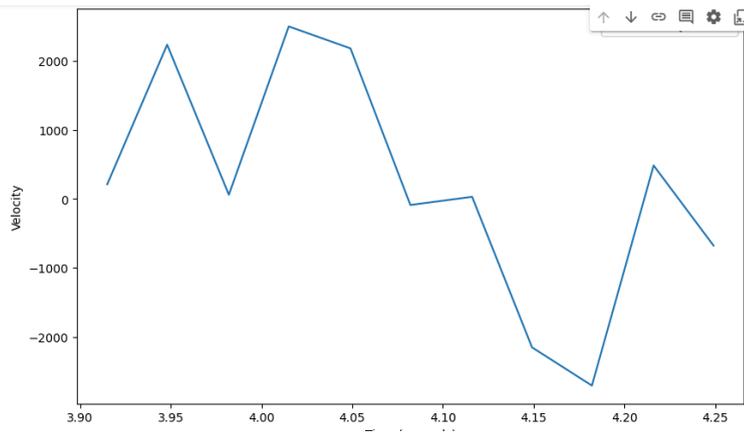
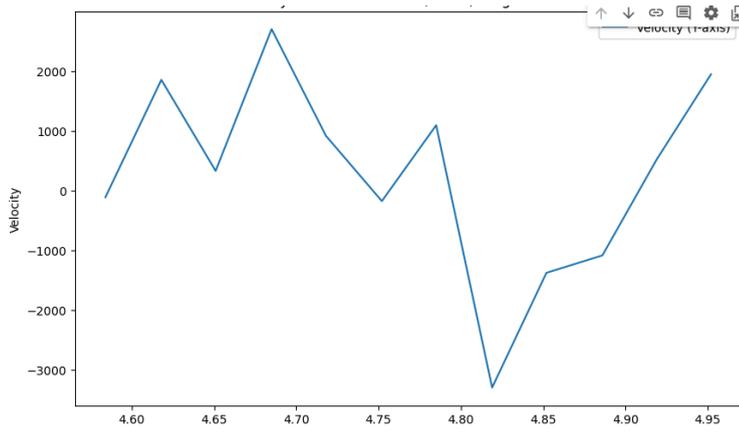


図2 分析プログラムを使用して、ピンポン玉の重心をプロットした際の画像



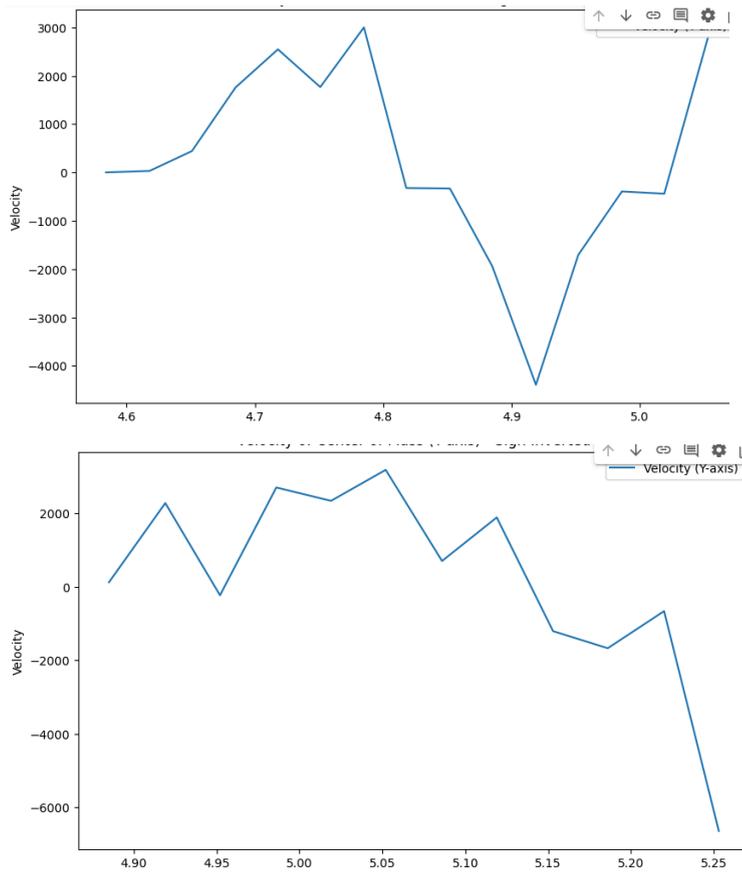


図3 横軸 時間 縦軸 速さ でピンポン玉の重心の変化をグラフにしたもの。上から1cm、2cm、3cm、4cm、5cm、6cm(7cmのものは紛失)となっている。

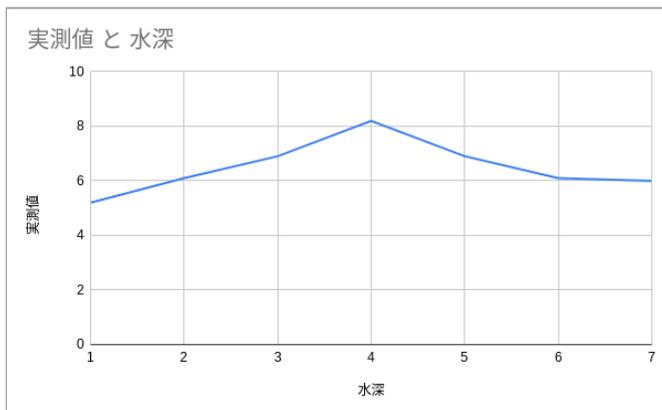


図4横軸が水深、縦軸がピンポン玉の最高到達点のグラフである。

<結果>

水深と実際に飛んだ高さの関係のグラフ(図4)から、最初立てていた仮説通り、飛ぶ高さは水深4cmまでは水深が深くなるに連れ大きくなるが、それよりも水深を深くするとかえって飛びにくくなっていくということがわかった。また、速度変化のグラフを見てみると、水中にいる間はほぼ等加速度で運動しているが、水中から空中へ飛び出す瞬間で減速していることがわかった。ただし、水深4cmの場合は減速せずに水中から飛び出している事がわかった。

〈考察〉

〈結果〉より、水中では、浮力によって、水深にかかわらず等加速度で運動するが、水中から空中へ飛び出すその瞬間に、ピンポン玉は、その時の速さに比例する速さの分減速しており、その減速によって飛ぶ高さの推移は図4のようになったと考察した。

## 4, ピンポン玉の運動の数式化

先程の〈考察〉が正しいとする場合、ピンポン玉が水中から空中へ出た直後の速さを、水中から飛び出す直前の速さの関数にできるはずである。そこで、水中から飛び出す直前の速さにどのように比例して減速しているかを数式化、グラフ化することによって調べようと試みた。

※以降出てくる数式で使用する文字について

ピンポン玉の、水中から空中へ出た直後の速さをVとした。

ピンポン玉の、水中から空中へ出る直前の速さをv0とした。

ピンポン玉の、最高到達点の水面からの高さをhとした。

kは実数の定数とした。

4-1, Vがv0に比例して減速しているとした場合

Vは次のように表せる。

$$V=v_0-kv_0$$

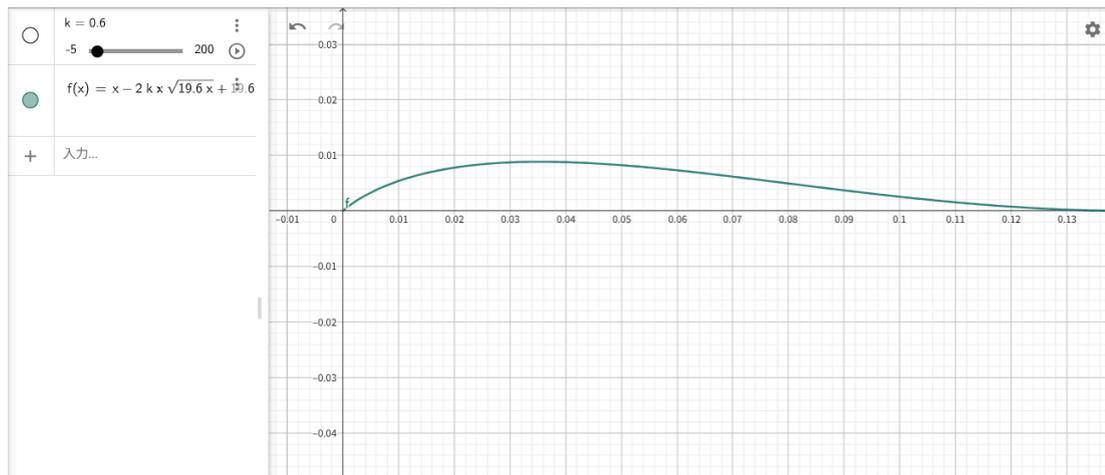
この式を用いた場合、hはv0に比例して大きくなっていく。つまり、水深が大きくなるほど、hは大きくなっていくことになるが、実測値のグラフではhは山なりに変化していたため、Vがv0に比例して減速するという仮定は不適當であると言える。

4-2, Vがv0<sup>2</sup>に比例して減速しているとした場合

Vは、次のように表せる。

$$V=v_0-kv_0^2$$

この式を用いた場合、hの変化は次のグラフ5のようになる。



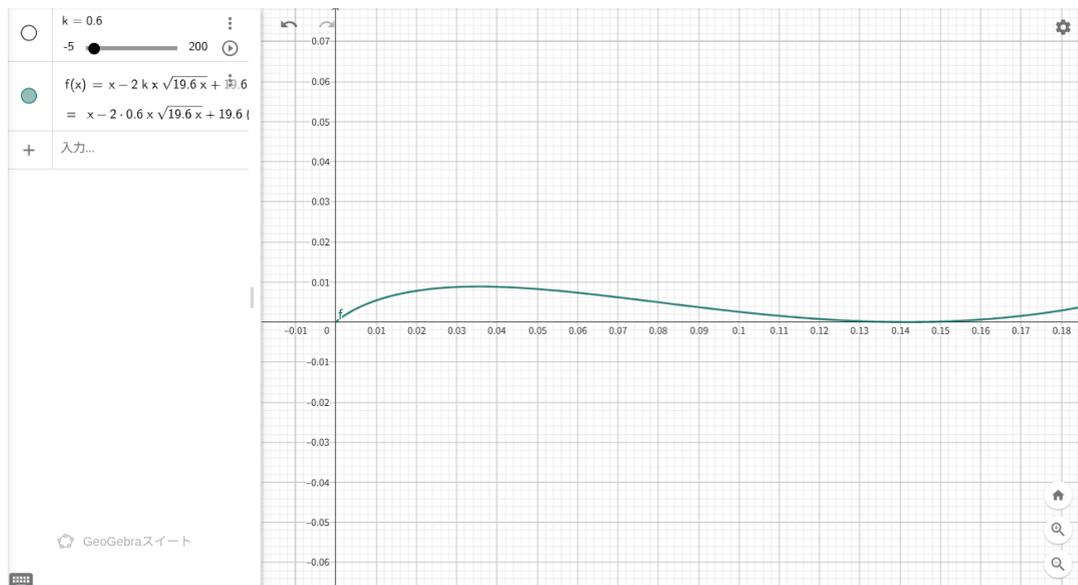
グラフ5 Vが $v_0^2$ に比例して減速するときのhの変化

4-3, Vが $v_0^3$ に比例して減速しているとした場合

Vは次のように表せる。

$$V = v_0 - kv_0^3$$

この式を用いた場合、hの変化はグラフ6のようになる。



グラフ6 Vが $v_0^3$ に比例して減速するときの場合のhの変化

<結果>

4-2,4-3では、グラフ5、グラフ6が示している通り、実測値のグラフと同様に、山なりの形をしたhの変化を確認することができた。

しかし、実測値と同じように、水深4cmでhが最大となるようにkの値を設定すると、その最大のhの値はおよそ1cmほどとなり、8cm以上飛んだ実測の値と大きく違ってしまった。

<考察>

最大のhが実測の値と大きく違ってしまったことについて、実測の値のグラフは、 $4-2$ や $4-3$ で得られたグラフを平行移動したものではないかと考察した。また、 $V$ が $v_0^3$ より大きな次数で減速している場合を計算してみると、実測の値のグラフにより近いものが得られる可能性がある。

## 5, まとめ

### 5-1 結論

本研究で得られた結論は、以下の2つである。

- 1, 確かに、ピンポン玉はある一定の水深までは飛ぶ高さが増加していくが、その深さより深く沈めていくと、かえって飛びにくくなってしまうということ。
- 2, ピンポン玉は水中ではほぼ等加速度で運動するが、水中から空中へ出る瞬間で減速しているということ。

### 5-2, 今後の展望

本研究で、今後改善、またはしていきたいことは以下の通りである。

- 1, ピンポン玉の重心をプロットするプログラムの精度が低いこと。分析に深く関わってくる重要な点であるため、改善が必須である。
- 2, 実験でピンポン玉を放つ際の装置を開発すること。
- 3, さらに多くの観点から様々な数式化をすること。本研究でできた数式化ではパターンが3つしかなく、予測を立てるのに十分な結果を得ることができなかった。

今後、本研究を引き継ぎ、取り組む者は、以上挙げた点を改善、または取り入れて研究に取り組んでいただきたい。そして本研究のメインテーマに対する結論を導いてほしい。

## 6, 謝辞

群馬県立高崎高等学校の岡田直之先生には、この実験の紹介をはじめ、様々な点で助言をいただきました。この場を借りて、深く感謝いたします。

## 7, 参考文献

• Drag Forces | Physics

<https://courses.lumenlearning.com/suny-physics/chapter/5-2-drag-forces/>

・ストークスの抵抗法則 | 流体工学用語辞典<https://www.spti.jp/powderpedia/words/11122/>

・重力とは

[https://www.gsi.go.jp/buturisokuchi/grageo\\_gravity.html](https://www.gsi.go.jp/buturisokuchi/grageo_gravity.html)