

童話－イソップ物語－を題材とした物理教育の試み

An attempt of Physics Education using a topic of Children story-Aesop's Fables

中丸 久一

桐蔭横浜大学工学部

2003 年 2 月 28 日 受理

1 はじめに

近年、理科離れが多くの中で騒がれている。特に物理に関しては深刻である。義務教育および高等学校での授業の多様性によることがその原因とされている。工学部に入学してくる学生といえどもその例外ではなく、高等学校時代、物理を履修していない学生が増加しているのが現状である。

本校（桐蔭横浜大学工学部）にもそのような学生が増加している。本校の 1 年生に対する授業に、「工学系解析」という授業がある。工学に必要なとされる技法、すなわち数学・データ処理の方法を学ぶ授業と位置づけられている。前期は、「工学へのステップ」という講座名の授業があり、「工学系解析」はその延長線上に存在する。これらの授業は週 2 回行われ、各 4 単位である。「工学系解析」は 2 名の教員が担当し、交代で 3 週続けて計 6 回続けて担当する。

授業形態は、従来の系統的な授業方式を止め、身の回りの現象を考えることを中心として授業を進めた。

今回は、その授業のうちの一つのテーマについて紹介する。学生たちにも馴染みのある

童話であるイソップ物語のうちから「カラスが水を飲む」を導入として展開する授業である。このテーマを選んだ理由は、当然と思われる事柄の中に、多くの物理現象が含まれていて、それを説明していくことにより、学生に考える習慣を喚起できると思えたからである。

「カラスが水を飲む」に含まれる物理現象を実際に実験し、その真偽を学生に問いながら、物理現象の意義と、数学的解析といった欲張った目標を掲げてみた。

2 「カラスが水を飲む」のストーリー

1. のどが渇いたカラスが河原に飛んできたが、川にはまったく水がない。
2. 木陰に大きな水瓶があるが、水は底の下の方に少ししかないので、カラスは水を飲むことができない。
3. カラスは、川原から石をくわえてきて、水瓶の中に石を一つずつ落としていく。
4. 水瓶の中の水は少しずつ上がっていき、とうとうカラスは水を飲むことができた。

3 この物語の物理としての問題点

1. 果たして本当にカラスが水を飲めるのであろうか。
2. 飲めるとした場合の条件は？
考えられる項目を挙げてみる。
 - 1) 水瓶の大きさと形
 - 2) 石の大きさと形
 - 3) 水の量はどの位入っていればよいか
 - 4) カラスが石を水瓶に落とすのに要する時間

ここで学生にこれらの問題点を考えさせ、その問題点の真偽を実験で実証することにした。

4 実験による検証

用いる水瓶

イソップの物語では大きな水瓶とある。実際の大きさは分らない。とりあえず、筆者が梅干を漬けるときに使用する水瓶を自宅から用意した。この水瓶の大きさを測ってみることにした。

学生の一人に物指しで測定してもらった。結果を表1に示す。

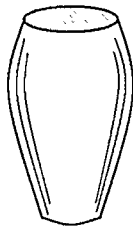


図1 用いた水瓶

上部の直径 (cm)	23
最大直径 (cm)	24
下部の直径 (cm)	15
高さ (cm)	25

測定結果から、この水瓶の容積を全員の学生に計算させることにした。ところが、いっように計算する気配がない。学生がどのような計算をしているか、一人一人のノートを見てみてもほとんど計算していない。あー、これが計算力不足で体積、容積の計算もできないのだな、仕方ない体積の計算は面積に高さを掛けるのだ、と教えたところ、これは分っている。何が分らないかといえば、上部と下部の直径が異なっている。さらには途中に太いところがある。こんな形の体積の求め方は今まで習ったことがないという。確かにそうである。このような曲線の体積の精密な計算は大変である。どの程度までの精度が必要か、学生には分らないようである。水瓶の直径の平均を求めればよいのである。それも概略でよからうとして計算させた。多くの学生は直径を23cmで計算した。電卓を使って計算させ提出させたところ、10381.625mlという値が多く見られた。この値は電卓で求めたのだから正確というのである。では、23cmは正確と問えば、そんなには正確でないという。それなのにどうして10381.625mlが正しいのかと問えば、電卓が計算したのだから正しいと答える。有効数値に関する認識が不足しているのである。つい20年前までは、計算尺が使われていたので、有効数字を特に意識する必要がなかった。ただ、桁数に注意すればよかった。また、実際に計算する前に概ねの値を意識するようにしていた。それが現代の学生には欠乏している。これは、計算力以前の問題であり、考える習慣の欠如である。ようやくのことで、水瓶の容積は10,000mlでよいだろうということになった。次はメスシリンダーを使って容積を測ることにした。あいにく2,000mlのメスシリンダーしかない。このメスシリンダーに水を入れ、その水をバケツに入れ、2杯と半分入れたところでバケツはいっぱいになった。その水の入った上のところに印をつけ、バケツの容積は5,000mlであることが確認できた。このバケツの水を水瓶にいれると、ちょうど2杯分入った。水

瓶の容積は 10,000ml、計算値とほとんど同じである。

水瓶の容積が分ったところで、いよいよ本題に入る。水瓶に入れる水の量である。物語では、水瓶の下の方とある。ためしに 500ml 入れてみる。ほんの下の方に水があるのが確認できるぐらいである。もう 500ml 入れてみる。計 1,000ml である。水の高さを測てみると、4cm である。園芸店で売られている摩蛇紋石という小石を 2kg 入れてみたところ、水面は 6cm に上昇にしたが、水瓶の口からはまだ 21cm もあり、カラスはとも水は飲めそうもない。さらに石をいれ、計 3.5kg を入れたところで水面は 7cm になった。ここで水の高さと石の高さが図 2 のように同じになった。これ以上、石を入れてもまったく無駄になる。

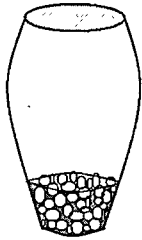


図2 水瓶に水と石を入れる

カラスがこれでも水は飲めないようである。

飲めないけれども、実際にカラスがこの行動を起こしたとした場合の時間を計算することにした。まず、石の数を数えてみた。640 個あった。かなりの量である。カラスが 1 分間に 1 個の石を運ぶとすると、640 分、すなわち、10 時間半以上かかり、30 秒に 1 個の割合で石を運ぶとなると、5 時間以上の時間を要することになる。カラスがそれだけの時間をかけて石を運ぶか？ おそらく、とてもカラスにはできないことと思う。授業では、次の 2 つの理由により、このイソップ物語の話は実現不可能であると結論づけた。

1. 石を入れてもカラスが呑めるほど水は上昇しない。

2. カラスが石を運ぶには時間がかかりすぎる。

5 実験1 メスシリンダーにビーズ球を入れる

ここで、打ち切ってしまうのではしり切れトンボになる。水が上昇する条件を捜すことが考える習慣をつける勉強になる。実験でその条件を捜すことにした。

水瓶は形が複雑なため、代わりにメスシリンダー 500ml を使用し、石は大小いろいろなものを用いて実験したが今回の報告は、形も大きさも揃っているガラスビーズ球で行った実験を示す。(石を用いた結果興味あるが今回は省略)

	直径(mm)	体積 (mm ³)
ビーズ A	16	2140
ビーズ B	10	520
ビーズ C	5	65
ビーズ D	2	4.2

表2 ビーズ球のサイズ

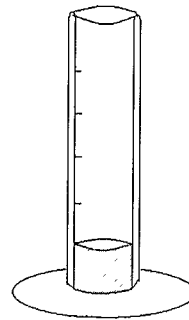
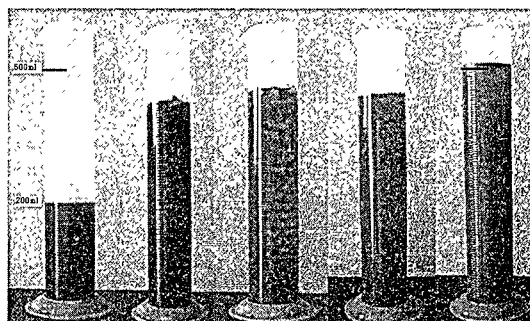


図3 メスシリンダー

図 3 のように 500ml のシリンダーに 200ml の水を入れ、そこにガラスビーズを入れていったとき、水の高さはどこまで上がるか検証していく。

学生にどのビーズが最も水面が上昇したか質問したところ、一番大きな球であるビーズ A と答える学生が多かった。その理由は、鉢などの細かい泥のようなものに水を入れると、

水が吸収されるからであるというのである。大きな球は吸収されないから、水面が上昇するという考えである。一理ある意見であるが果たしてどうか。実験してその結果を見ることにする。



水 200ml をメスシリンダーに入れ、
ビーズ A B C D を 500ml の高さまで入れる。
ビーズ D は 500ml の上まで水面は上がっている

図 4

図 4 に示すように、ビーズ A～C までは、450ml の高さまでビーズを入れたところで、水面の高さとビーズの高さが一致した。これ以上ビーズを入れても、それ以上水面は上がることはない。ただ、ビーズだけが重なり合っていくだけである。一方、直径が小さいビーズ D は 500ml の高さまでビーズを入れると、その水面は 500ml の線より、わずかに上まできていた。学生の予想とは逆の結果となった。

6 水が上昇するメカニズムを考える

ビーズ球を真円として以下考えていく。

ビーズ球の代わりに、より大きなテニスボールを使って以下考察してみる。テニスボールを図 5 のように規則正しく、隙間なく重ねていく。ボールの重ね方は図 6 に示す。4 つのボールの中央の一番低くなった所に順次ボールを置いていく。この置き方が、もっとも密になる置き方である。ビンなどに入れた大きさの等しい豆は、入れた当初はこのような

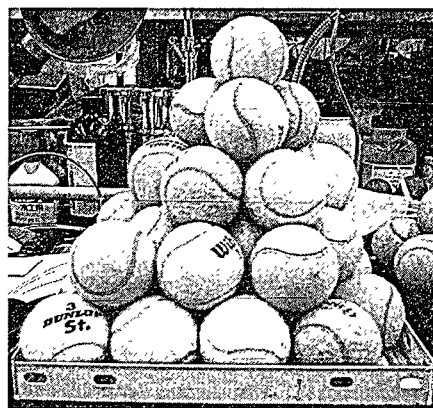


図 5 テニスボールの積み重ね

おき方になっていなくとも、ビンを揺らすことにより、次第にこのような入れ方になっていく。このような入れ方は、金属の結晶構造で面心立方体と言われているものである。

図 5 でも分るように、ボールとボールの間に隙間がある。ボールが同じ大きさであれば、その空間は、全体の体積の 26% である。(この計算方法は授業時には詳細に説明した。) メスシリンダーに水を入れたとき、この空間の部分に水が満たされることになる。このように考えていくと、500ml の高さまで球を入れ、水面の高さ同じとすると、実際の球だけの体積は $500 \times (1 - 0.26) = 370\text{ml}$ であり、水の量は 130ml となる。逆に言うと、130ml の水があれば、均一の球を入れれば理想的には、500ml の高さまで水は上昇することになる。実験で、200ml の水でも 500ml の高さま

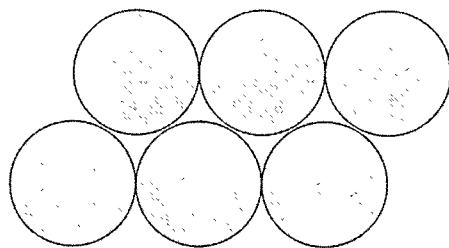


図 6 ボールの置き方

で水面が上昇しないのは、メスシリンダーの口が小さく、球が密に重なり合っていないためである。小さい球の水面がより上昇したのは、シリンダーの口に対して径が小さかったからである。

一般には、球を入れたときの空間の割合ではなく、見かけの体積に対する実際の体積でその割合を表すのが普通である。これを充填率 ρ で表す。元の水の量を l_0 、球を入れたときの見掛けの量を l とすると、

$$l = l_0 + \rho l \quad (1)$$

となる。変形すると、

$$l = l_0 / (1 - \rho) \quad (2)$$

200ml の高さに水面があれば、充填率 76% の球の積み重ねは 830ml の高さまで上昇するはずである。実験値の約 4 倍である。実験でここまで上昇しないのは、理想的に球が重なり合っていないからである。

もう一度カラスの問題に立ち戻ると、25cm の高さの水瓶まで、水面が上がるには、最低 6cm の高さまで元々水はなくてはならない。それも、円筒形の水瓶での話である。また、上から単に石を落としただけでは、決して石は密にはならない。そう考えて学生と私は、イソップの話は実現が難しいと改めて結論づけた次第である。

6 学生の授業での感想

授業終了後に、まとめとして学生にレポート提出させた。K 君のレポートから感想を抜き出してみた。

「自分は今まで、物理は好きだが、数学は苦手だった。理由は、物理の問題は、車の加速度を求めるのだとか、水の温度を求めるなど、ずいぶん身近なことに感じられたのだが、数学は公式と数字だけで、魅力が感じられなかったからだ。しかし、この授業を通してそのひねくれた考え方は、ずいぶん変わったと思う。物理の知識は重要だが、そこにたどり着くまでの計算の中には、微分、積分、対数など今まで自分がサボってきた数学の知識が

ふんだんに盛り込まれていたからだ・・・」という感想がある。物理現象を解析するには数学の知識が必要と感じてくれたのは、この授業の一つの目的が達せられたようである。

7 結論

今回は、ビーズ球についての検証を行ったが、実際の授業では、大小いろいろな石を使つての実験も行った。また、派生的に出てくる密度、浮力についても実験・検証も行った。テーマは一つでも物理現象は多岐に渡るので教材には困らないと思う。学生にも次は何を言ってくるかわからないという緊張感と期待感が生まれ、授業が厭きないようである。難点は、普通教室で行うには、準備と労力があることと、予備実験と授業の準備に多くの時間が割かれることである。教員が楽しいと思わなくてはできない授業形態と思える。

この童話を用いた物理への導入は理科離れを阻止する一つの試みである。このような題材はまだまだあるはずである。さらに題材を探して吟味していきたい。また、小学校・中学校・高等学校での授業に利用できると思える。

この実験は、工学部知能工学科 3 年大橋巧貴君の協力があって初めて成立した。実験準備に長い時間を費やしてくれた。深く感謝します。