



「水中から飛び出すボールの実験」 ～水中深く沈めて急速浮上～

戦艦大和のスピードの秘密も
あのピッチャーの変化球の謎も
これで全部わかってしまった!?

会津若松市立第二中学校
第3学年 福原 諒

1 実験の動機

プールで気づいたボールの動きの「不思議」を自宅のお風呂で再現してみたら、やっぱり「不思議」だった。水中に深く沈めたボールよりも、浅く沈めたボールの方が、水面から高く飛び出したのだ。

水中の深いところから浮上するボールの方が、浮上するスピードが大きく水面から高く飛び出しそうに思えるのに、違う結果になった。ボールの浮上スピードを妨げているのは、水の抵抗なのか。それとも別の原因がひそんでいるのだろうか。

大きさの異なる3種類のボール(発泡スチロール製)を用意し、「自由浮上」と「ルート浮上」の実験を行い、水中に沈めたボールが急速浮上して水面から飛び出すときの、「深さ」と「高さ」の関係について探ってみた。

実験結果の考察から、思いがけない「秘密」にも迫ることができた。

2 準備した材料

- | | |
|------------------------------------------|-------|
| ① 発泡スチロール製のボール 直径 50 mm・75 mm・100 mm のもの | 各 1 個 |
| ② 30 cm の定規(水中に立てて「深さ」を測る) | 1 本 |
| ③ 目盛り付きのカッターマット(壁にセットして「高さ」を測る) | 1 枚 |
| ④ 細長い棒(「ルート浮上」のガイドポール) | 1 本 |
| ⑤ 細いドライバー(「ルート浮上」ボールの穴開け) | 1 本 |
| ⑥ 胴体部分が透明の冷水ポット(水中撮影に使う) | 1 本 |
| ⑦ その他(ガムテープ・紙やすり・油性ペン等) | |



← 家にあったもの(②③⑦)以外は、
すべて 100 円ショップで
買い揃えることができた。

3 実験の進め方

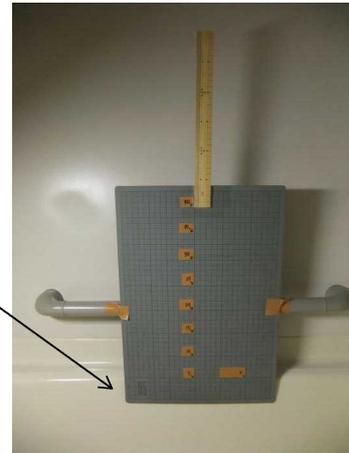
水をはった浴槽に発泡スチロール製のボールを沈めて手を離し、水面から飛び出したボールの「高さ」を測定する。沈める「深さ」を変えて実験する。

① 実験会場は我が家の浴槽

水面から飛び出すボールをできるだけ真横から観察して正しい「高さ」を測定するため、浴槽いっぱいにはる。

1 cm 間隔の目盛りのついた Cutter マットを浴槽の「手すり」にセットして、ボールの「高さ」を測る。

Cutter マットの 0 cm を水面に合わせる。
5 回測定して最高値を記録する。



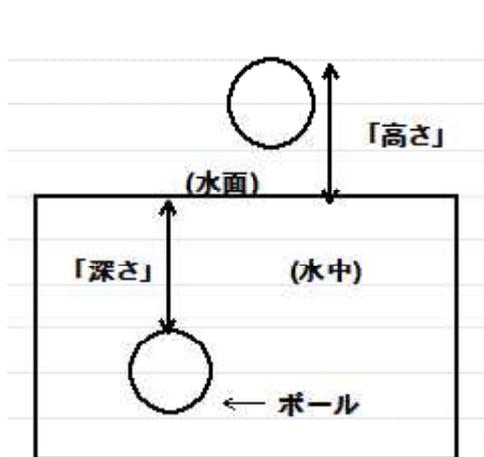
30 cm の定規を付け足したが、
そこまでは上がらなかった。

② 「沈めた深さ」の定義

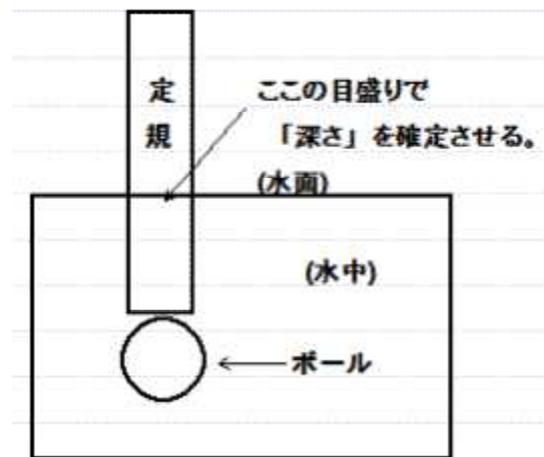
ボールを水中に沈めたときの、ボールの最上部と水面との距離を「沈めた深さ」とし、0 cm から 30 cm まで 5 cm 毎に深くして
いって実験する。

③ 「飛び出した高さ」の定義

ボールが水面から飛び出したときにボールの最上部が到達した高さを「飛び出した高さ」とし、1 cm 単位で測定する。



「高さ」と「深さ」の定義



水中に定規を立てて「深さ」を測る。

4 実験1の目的と方法

① 目的

ボールを沈める「深さ」とボールが飛び出す「高さ」との関係調べた。

② 方法

- ア 用意した3種類の大きさのボールのうち、直径が50 mmのものを使った。
- イ ボールを、0 cm（沈めたボールの最上部が水面に接している状態）から30 cmまで5 cmきざみで深く沈めていき、水面から飛び出す「高さ」を測定した。
- ウ 黒の油性ペンでボールの表面を一周するラインを描いて、水中でのボールの「動き」を観察しやすくした。



水中に定規を入れてボールの「深さ」を測る。右の写真は水中撮影したもの。

水中撮影に使う冷水ポット

デジタルカメラを中に入れた冷水ポットを3分の2くらいまで水に沈めて、水中写真を撮る。
(沈めすぎると上から水が入る。)



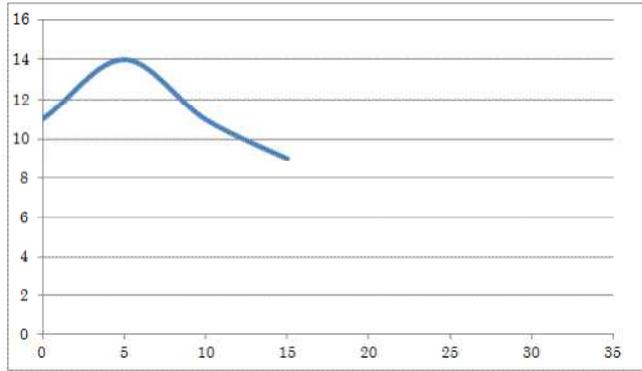
5 実験1の結果

水をはった浴槽に直径50 mmのボールを沈めて、7種類の深さから浮上させ、水面から飛び上がった「高さ」を測定した。

測定結果は、次の表のとおり。(実測値のうち、最高値を記録した。)

【直径50 mmのボールを使用】		自由浮上						(単位: cm)
沈めた深さ	0	5	10	15	20	25	30	
飛び上がった高さ	11	14	11	9	×	×	×	
5回の 実測値	10/10/11/ 10/09	12/11/11/ 14/12	10/10/11/ 10/11	09/09/08/ 07/08				

※ 「×」印は、ボールが空中に飛び上がらずに水面を横滑りしたことを表す。



縦軸:飛び上がった高さ (cm) 横軸:沈めた深さ (cm) 飛び上がらずに水面を横滑りするボール

6 実験1からわかったこと

- ① 5 cm沈めたときに、最も高く飛び上がった。
- ② 沈める深さが 10 cmよりも深くなると、飛び上がる「高さ」が小さくなった。
- ③ 20 cmよりも深く沈めると、勢いよく浮上しても空中には飛び上がらずに水面を横滑りするだけだった。

7 実験1で発見した「不思議」

- ① 直径 50 mmのボールは、5 cm (= 50 mm) 沈めたときに最も高く飛びあがった。
ボールが最も高く飛びあがる「深さ」とボールの「大きさ」は一致するのだろうか？
→ 「実験2」(大きさの異なるボールを使う実験)で調べてみた。
- ② 15 cm以上深く沈めると、ボールは水面までの最短距離を浮上しなかった。水中で回転し不規則に揺れながら、変な場所で浮上し、水面から飛び上がらないこともあった。
→ 測定とは別にボールの動きだけを観察すると、水中で回転しているのがよくわかった。
- ③ ボール自身の「回転」や浮上するコースの「揺れ」が、水面からボールが飛び上がるのを妨げているのだろうか？
→ 「実験3」(「回転」や「揺れ」を押さえる実験)で調べてみた。

8 実験2の目的と方法

- ① 目的
ボールの「大きさ」とそのボールが水面から飛び出す「高さ」との関係を調べた。
- ② 方法
ア 大きさの異なる3種類のボール(直径が 50 mm・75 mm・100 mm)を使った。
イ それぞれのボールを 0 cm (沈めたボールの最上部が水面に接している状態) から

30 cmまで5 cmきざみで深く沈めていき、ボールが水面から飛び出す「高さ」を測定した。

ウ 「実験1」と同様、水中でのボールの「動き」を観察しやすくするために、すべてのボールの表面に油性ペンでラインを描いた。



9 実験2の結果

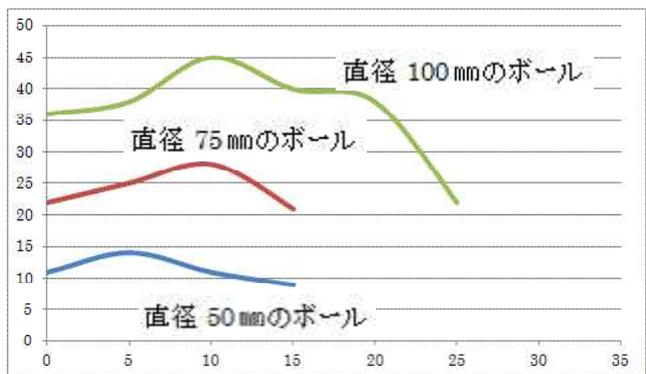
3種類の大きさのボール（直径が 50 mm・75 mm・100 mm）を浴槽に沈めて、それぞれ7種類の深さから浮上させ、ボールが水面から飛び上がった「高さ」を測定した。測定結果は、次の表のとおり。（実測値のうち、最高値を記録した。）

【3種類の大きさのボールを使用】 自由浮上 (単位：cm)

沈めた深さ		0	5	10	15	20	25	30
飛び上がった高さ	ボール直径 50 mm	11	14	11	9	×	×	×
	5回の実測値	10/10/11/ 10/09	12/11/11/ 14/12	10/10/11/ 10/11	09/09/08/ 07/08			
飛び上がった高さ	ボール直径 75 mm	22	25	28	21	×	×	×
	5回の実測値	20/22/18/ 18/20	20/21/23/ 25/24	25/26/28/ 25/28	20/21/21/ 18/21			
飛び上がった高さ	ボール直径 100 mm	36	38	45	40	38	22	×
	5回の実測値	32/33/36/ 32/36	36/35/36/ 38/35	38/36/45/ 37/43	39/38/38/ 40/39	35/30/35/ 38/31	17/20/22/ 20/18	

※ 「×」印は、ボールが空中に飛び上がらずに水面に出ただけだったことを表す。

※ 直径 50 mmのボールの実験結果については、「実験1」の結果をそのまま記入した。



縦軸:飛び上がった高さ(cm) 横軸:沈めた深さ(cm)



勢いよく飛び上がったボール

10 実験2からわかったこと

- ① ボールが水面から最も高く飛び上がるのは、そのボールの直径と同じ「深さ」に沈めたときだった。
- ② どの大きさのボールも直径の約2倍以上の「深さ」に沈めると、水面から飛び上がる「高さ」が小さくなった。
- ③ どの大きさのボールも直径の約3倍以上の「深さ」に沈めると、浮上中の「回転」や「揺れ」が大きくなり、水面での浮上ポイントが広範囲に広がり、水面から飛び上がらなくなった。
→ 特に直径の大きなボールを使ったときは、水しぶきがたくさんあがり、顔もTシャツもビショ濡れになった。

11 実験2で発見した「不思議」

- ① 直径の約2～3倍以上の「深さ」に沈めたボールが水面から高く飛び上がれないのは、浮上する間に発生する「回転」と「揺れ」にエネルギーを消費してしまうためではないのか？
- ② 浮上中のボールが「回転」や「揺れ」を起こさないようにすれば、エネルギーが温存されるので、ボールは水面から高く飛び上がるのではないだろうか？
→ 「実験3」（浮上中の「回転」や「揺れ」を押さえる実験）で調べてみた。

12 実験3の目的と方法

① 目的

ボールに「回転」と「揺れ」を起こさせない装置を使ってボールを「ルート浮上」させ、ボールを沈める「深さ」と飛び出す「高さ」との関係を調べた。

② 方法

ア 3種類の大きさのボールのうち、直径が50mmのものを使った。

イ 先端を熱したドライバーを使って、ボールを貫通させる穴をあけた。

→ この穴に「ガイドポール」を通すことで、ボールの「ルート浮上」を行う。



ガスの炎で熱したドライバーで、少しずつボールを溶かしながら穴を開けた。

ウ ボールを通すガイドポール（細い棒）を重りに固定して、浴槽の底から垂直に立てた。

→ ボールとの摩擦を少なくするために、ガイドポールの表面を紙やすりでみがいてなめらかにした。

エ ガイドポールには、水面と接する部分を0（ゼロ）とし、水面上に出ている部分に1 cm間隔で目盛りを記入した。

オ 穴をあけたボールをガイドポールに通して「ルート浮上」の実験をした。浮上中のボールの「回転」や「揺れ」をなくした状態で、沈める「深さ」を5 cmきざみで変化させてボールが飛び出す「高さ」を測定した。



浴槽にセットした「ガイドポール」



「ガイドポール」に通したボールの「深さ」を、定規で測定中。右は水中撮影。

13 実験3の結果

穴をあけた直径 50 mmのボールをガイドポールに通して、「ルート浮上」させた。

ガイドポールに通すことで「回転」や「揺れ」をおこさなくなったボールを、7種類の「深さ」から浮上させ、ボールが水面から飛び上がった「高さ」を測定した。

測定結果は、次の表のとおり。（実測値のうち、最高値を記録した。）

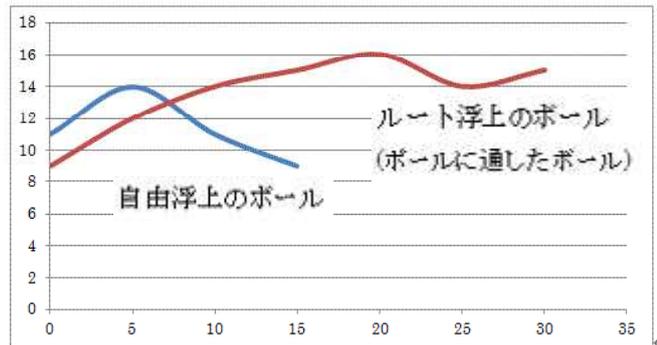
【直径 50 mmのボールを使用】 ルート浮上 （単位：cm）

沈めた深さ	0	5	10	15	20	25	30
飛び上がった高さ	9	12	14	15	16	14	15
5回の 実測値	09/09/07/ 07/09	12/09/11/ 10/10	10/12/14/ 11/10	09/15/13/ 15/10	16/14/14/ 15/13	11/10/13/ 14/11	12/15/15/ 11/10

14 実験3からわかったこと

- ① 浮上するボールから「回転」や「揺れ」をなくすと、ボールの直径(50 mm)の3倍(15 cm)以上の深さに沈めても、ボールは水面から高く飛び上がった。

ボールが水面から飛び上がるのを妨げていた原因は、浮上中に発生する「回転」と「揺れ」であることがわかった。



縦軸:飛び上がった高さ(cm) 横軸:沈めた深さ(cm)

- ② ボールを沈める「深さ」をボールの直径(50 mm)の4倍(20 cm)より深くしても、ボールの飛び上がる「高さ」に大きな変化はなかった。

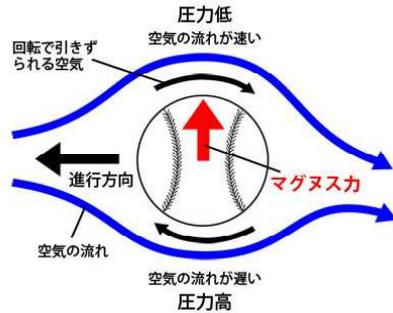
ボールの直径の4倍に相当する20 cm以上の「深さ」から浮上させる場合は、水の抵抗が大きくなるので、ボールの「浮上するエネルギー」を打ち消してしまうのではないか。そのため、ボールは一定以上の浮上スピードを出せないで、飛び上がる「高さ」も横ばいとなるのではないか。

15 実験1～3でわかったこと(まとめ)

- ① ボールは、自分自身の直径と同じくらいの「深さ」から浮上するとき、水面から最も高く飛び上がることができる。
- ② ボールは、自分自身の直径の約3倍以上の「深さ」から浮上するときは、水面から飛び上がることができず、水面を横滑りするように動く。
- ③ 水中から浮上したボールが水面から飛び上がらずに水面を横滑りするのは、浮上の途中で発生するボールの「回転」や「揺れ」が原因である。

16 考察

- ① 「ボールを水中深く沈めるほど、水面から高く飛び出すだろう」という「素直な常識」は、この実験で完全に否定された。
- ② この実験をしながら、野球のピッチャーの投げる変化球を連想していた。水中と空気中の違いや、重力の方向の違いはあるが、ピッチャーがボールに回転を与えることで揺れる(=曲がる)変化を生じさせているのは、まさにこの実験の理論があてはまるのではないだろうか。



← 野球の変化球の「回転」の様子
 (「圧力低」の側に曲がる。)

右ピッチャーが投げた
 シュートボールの回転を
 真上から見たイメージ

※ このイラストは、日経トレンディネット(2006年09月29日)の記事から転載

③ 浮上するボールが水中で自分自身を回転させることで、揺れながら水面に向かうことは理解できたが、そもそもなぜ「回転」が発生するのだろうか。ほぼ「球形」に見える発泡スチロール製のボールだが、完璧な球ではなく、微妙な「ゆがみ」があったり、表面の「ざらつき」があったりすることが、水中での「回転」を発生させているのかもしれない。

④ 軟式ボールのディンプルのような「くぼみ」や硬式ボールの縫い目のような「でこぼこ」を発泡スチロールのボールの表面につけたら、浮上しながらもっと回転してもっと揺れて、水面から高く飛び上がらない(=スピードが出ない)のかもしれない。変化球がストレートよりも遅い理由は、ここにある。

⑤ 「球形」について、「戦艦大和」を特集した雑誌の記事を思い出した。「戦艦大和」は水の抵抗を極限まで減らして速力(最高時速27ノット≒時速50km)を確保するために「球状艦首」を採用していた、という記事だ。船が水を押しのけて進むときに自分で後方に波を作り出してしまい、その波の力(=「造波抵抗」)が船自身のスピードを鈍らせるという内容だ。球状艦首は、その「造波抵抗」を小さくする効果があるので、今では大型タンカーや高速コンテナ船に広く採用されている。



← 「戦艦大和」の10分1展示モデル
 (呉市の「大和ミュージアム」内)

← ここが「球状艦首」部分

※ この写真は、呉市観光ホームページ「くれナビ」から転載

⑥ この実験でも、ボールは水を押しのけながら浮上する際に後方に「波」(=うず)を作り出しているわけで、この波がボールを回転させているのかもしれない。

- ⑦ ボールが水面から飛び上がった「高さ」の数値について、5回測定したうちの「最高値」を採用した理由は、水中でボールを離すときに誤って発生させてしまった「回転」と「揺れ」の影響が最も少ない数値を使いたかったからである。
- 特に、深い位置では、回転させずにボールを離すのがとても難しかった。
 - 最初は「平均値」を使って結果一覧表を作ったが、途中で考え直して「最高値」を使って作り直した。
- ⑧ 今後機会があれば、発泡スチロールのボールの表面にディンプルを彫ったり、浴槽の水温を変えたりして、「深さ」と「高さ」の関係をさらに調べてみたい。

(終わり)