

形による空気抵抗や流れの違いの探求

静岡県立静岡東高等学校
科学部 2年 徐 サムエル

1. 動機

私は自動車が好きである。もともと空気抵抗について関心があり、どの形のボディが、空気抵抗が少なく一番良い形であるのか知りたいと思った。今回は調べやすいシンプルな立体を用いて色々な物体の特徴と空気抵抗との関連について調べることにした。

2. 目的

- (1) 各物体による空気抵抗から、空気抵抗に対する形の優劣や特徴を見つける。
- (2) 抵抗力と風速の関係から、形と空気抵抗との関わりを見つける。

3. 使用した物体および実験装置について

(1) 使用した物体

円柱, 立方体, 円錐, 球, 半円柱上向き,
半円柱下向き, 正方形板, 六角形板, 円柱板
*円錐はヒートン(フック)を付け替えて上向きと
下向きで実験した。ヒートンをつけた面が送風
機からの風が当たる前面である。

物体名	大きさ	質量
円柱	50 φ × 50	67g
立方体	50 × 50 × 50	91g
円錐	50 φ × 50	25g
球	50 φ	48g
半円柱	50 φ × 1/2 × 50	33g
正方形板	10 × 60 × 60	20g
六角形板	10 × 60 (内接円の直径)	20g
円柱板	10 × 60 φ	15g

表 1 物体の大きさと質量

円柱



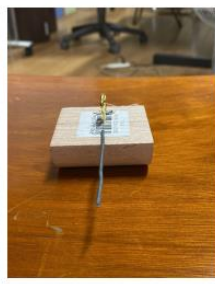
立方体



円錐 (上向き) 球



半円柱 (上向き, 下向き)



正方形板



六角形板



円柱板



図 1 使用した物体

(2) 実験装置

実験するために、簡易風洞装置を作った。アクリル板を加工した断面六角形の筒が風洞部分である。風洞部分の下に三脚を置いた。また、風洞部分の上に送風機の吹き出し口がおけるようにセッティングした。物体を吊るすために竹串とばねを使用した。下の図2は装置の全体の様子である。

(3) 風洞部分のスケール

断面の六角形は、1辺 75 mm

高さ 320 mm



物体が左右に動いて暴れないように、実験に使用する物体に穴をあけアルミの棒を物体に通した(動かないようにアルミの棒を固定した)。また、正確にばねの伸びの値を読み取れるように物体に針金をつけた(図3参照)。

図2 実験装置 全体像
〔上部・・・送風機, 中部・・・風洞部分, 下部・・・三脚〕

図3 実験装置拡大図

(4) 送風機

送風機から出る風速を5段階に調節できるようにした(下の表参照)。

レベル	1	2	3	4	5
速度	6.2	8.3	10.1	11.9	13.6

速度は、何もつるしていないときの風洞出口中央の風速である。

表2 送風機からの風速

4. 実験の内容と結果

(1) 実験1 ばねの伸びを測定することにより、空気抵抗力を調べる。

・実験方法

各物体をそれぞれ表2のような五段階で送風機からの風によって伸びたばねの伸びを測定する。ばねの伸びを測定することで空気抵抗力を調べた。

・結果

実験 1 の結果を以下のグラフにまとめた。

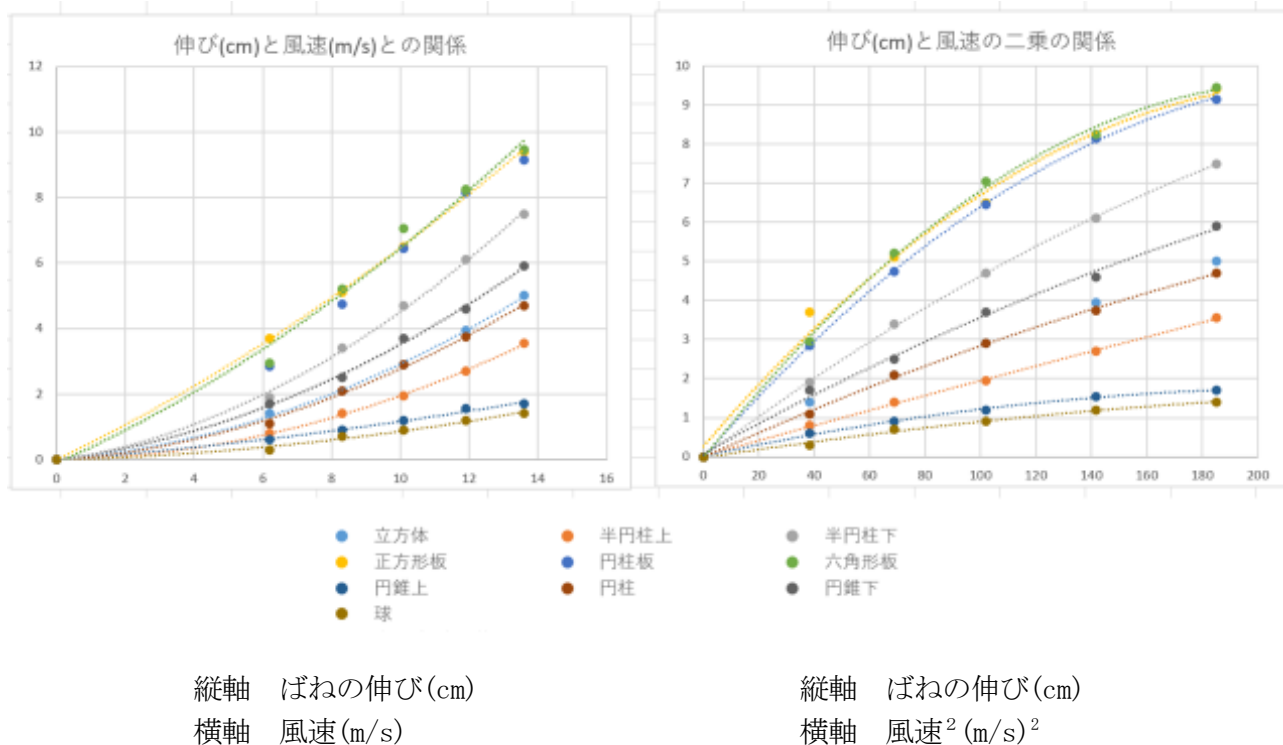


図 4 風速による伸びの変化

板類や、立方体など、平らな部分が前方にある物体は、圧倒的に抵抗力が大きく、前方の形が「なで肩」のもの(球や円錐上向きなど)は、抵抗力が小さかった。

抵抗力の速度に対する依存性は、形によって異なっている。例えば抵抗力の小さな球や円錐上向きでは、速度に比例しているようである。中間の抵抗力を持つ物体(半円柱下向き, 円錐下向き, 立方体, 円柱, 半円柱上向き)では、速度の 2 乗に比例していた。最も抵抗力の大きな板状の物体は、速度の 1.5 乗程度になっていた。



図 5 抵抗力の大きい順

図 5 は、図 4 の伸びと風速の関係のグラフを、図(写真)と不等式で表したものである。図 5 より、物体の形を意識して抵抗力を比べて分かったことがある。

- ① 同じ物体でも、上向きと下向きで抵抗力が異なっている(円錐および半円柱)。
- ② 前面が同じ形(面積も同じ)でも、後方の形によって抵抗力が異なっている。

<実験1の結果についての疑問点>

私は、上記②の内容について疑問を持った(不思議に思った)。

- (a) 前面の形が異なっていて、抵抗力が異なるのはわかるが、前面が同じで抵抗力が異なっているのは不思議である。

『例』(円錐下向きと円柱)(立方体と半円柱下向き)

- (b) 前面の形が同じもののどうして比べたとき、物体後方の形が胴型のもの(円柱や立方体)よりも物体後方の形が特殊のもの(円錐下向きや半円柱下向き)の方が、抵抗力が大きい。

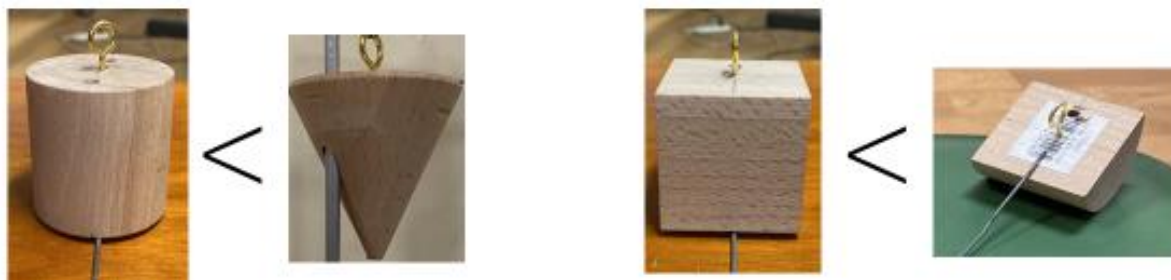


図6 前面と後方の違いによる抵抗力の大小

そこで、上記②のようになったのは、「物体後方の空気の流れが抵抗に影響している」という仮説を立てた。上記の疑問点の解消とこの仮説が正しいかを知るために、実験2を行うことにした。

(2) 実験2 物体後方の風速を測定

・実験方法

前面の形(円形)と高さが同じ円柱と円錐に着目し、円柱、円錐下向きと円錐上向きを用いて、それぞれ、表2の風速五段階で、①風洞出口中央と②風洞出口端での風速を測定する。上記で示した実験装置と風速計を用いて計測する(図7参照)。また、上記の表2に書かれた、風速5段階を用い、風速5段階の速度を数値化した(何もつるしてない風洞出口中央の値)。

本来なら、物体後方の空気の流れを正確に調べることができる物体の真下や物体近くのすぐ横で測定したかったが、風速計の長さが風洞部分の断面の半径よりも大きく、風洞内部に入れて物体中央の風速を測れないため、今回は風洞出口で測定した。

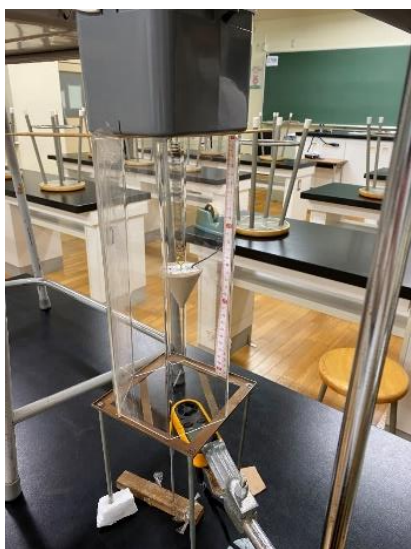
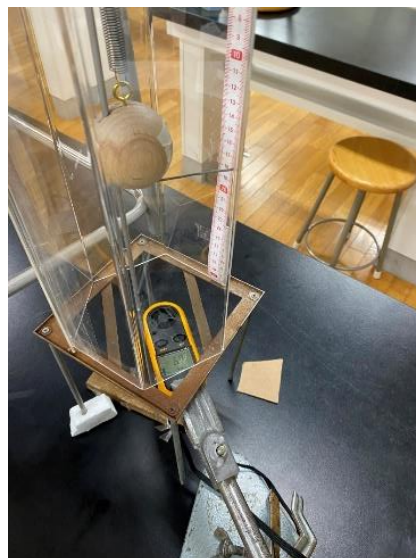


図7 実験装置 風速計あり



実験装置 風速計あり 拡大図

・結果

以下の表 3, 4 に結果をまとめた。

① 風洞出口中央 結果

段階/風速 中央	風速	円柱	円錐 (上向き)	円錐 (下向き)	球
1	6.2	5.5	5.6	4.9	6.0
2	8.3	7.6	7.4	6.7	8.3
3	10.1	9.2	9.0	8.3	10.3
4	11.9	10.9	10.5	10.0	12.3
5	13.6	12.2	12.2	11.5	13.9

表 3 ①風洞出口中央の結果

表 3 から分かったことを次に示す。

- (a) 測った各物体の①風洞出口中央の風速は、どの風速段階でも、物体なしの場合よりも、遅くなっている(球はほぼ同じ)。
- (b) 円柱と円錐上向きの①風洞出口中央の風速は、ほぼ同じになった。

表 4 から分かったことを次に示す。

- (a) 円錐上向きと下向きの②風洞出口端の風速は、レベル 4 までほぼ同じになった。
- (b) ②風洞出口端で測った風速では、物体をつるしたときに、送風機からの風の進行方向に対して平行な側面をもつ円柱は物体なしのときと比べて風速の変化が少なく、円錐上向き、下向きでは、物体なしよりも遅くなっている。

物体のすぐ近くで風速を測定していないため、得られた風速は本当に物体に影響された風だけによる値ではないかもしれない。ただし、風の物体による影響は風洞出口までいってもあることは実験 2 の結果から分かった。

5. 考察

次の図 8 は、実験 2 の①, ②のところで測定した風速レベル 5 のときの結果を示している。物体の下に書いている値が、①風洞出口中央で測った値である。物体の横を通っている矢印の下に書いている値が、②風洞出口端で測った値である。



図 8 風速レベル 5 のときの結果

物体の形を意識して比較していく中で分かったことを、以下に述べる。

＜図8より分かったこと＞

- (a) 円柱と円錐下向きは、風の当たる前面の形が同じであるのに、円錐下向きの方が①風洞出口中央(物体下)の風速が大きく減少している。
- (b) ②風洞出口端の風速は、物体によって異なっている。
- (c) 対照として測定した、物体なしの時は①と②で、風速の変化がないのに対して、物体ありの時は、①と②で、風速に差がある。
- (d) 円柱と円錐上向きの、①風洞出口中央の風速が同じになっている。物体下面が同じためだと考えられる。

円柱と円錐下向きは、風の当たる前面の形が同じであるのに、円錐下向きの方が①風洞出口中央(物体下)の風速が大きく減少していること(上記a)及び、実験1で風の当たる前面の形が同じなのに円錐下向きの方が、抵抗力が大きかったことから、前面が同じ形であるとき、物体後方の速度が物体なしのときと比べて大きく減少しているもの(円柱よりも円錐下向きの方が)、抵抗力が大きいということが分かった。

円錐上向きと円柱では、物体下での風速が同じであった。物体下の面の形が同じであるためだと考えられる(上記d)。ところが、②風洞出口端の速度が異なっている。これは、風の当たる前面の形が違うことが原因の一つであると考ええる。これらから、物体後方の風の流れ方が異なっていると考えられる。

・今回の実験のまとめ

実験1

- ① 前方の形が平らなものが、抵抗力が大きい。
- ② 速度に対する依存性は、形による。
- ③ 前方が同じ形でも、後方の形によって抵抗力が、異なる。

実験1, 2

前面が同じ形であるとき、後方の流れの速度が、物体なしのときに比べて大きく減少しているものが、抵抗力が大きい。

6. これからの課題

実験1の結果に対する疑問点や仮説について、実験2を行った。しかし、実験としてはまだ不十分である。物体に当たる風の当たり方、風速の変化や風の流れ方に隠されているかもしれない。抵抗力の原因についてまだまだ、実験してみないとわからないことがいっぱいある。

- ① 後方で物体からの距離によって風速がどう変化しているのか調べたい。
- ② 風の流れの形の可視化をしていきたい。

風洞装置の断面の半径が小さくて、風速計を風洞部分内部に入れて、風速を測定できなかった。だから、風洞部分に風速計を内部に入れても測定できるようした、大きな風洞装置を作りたい。そして、物体の真下や物体近くのすぐ横に風速計を置いて測りたい。また、実験2より、離れたところでも物体があることによる風速の変化があったので、上記①「後方で物体からの距離によって風速がどう変化しているのか調べたい。」と思った。風の流れや形を調べるには、可視化するのが一番良い方法である。可視化する方法を見つけて、実験したい(上記②)。①, ②を組み合わせて考察していけば、疑問の解消と仮説の正誤が分かると考えている。

研究が進めば、物体をいくつか組み合わせたものや、車、飛行機など複雑な構造の物体についても実験してみたい。また、前面、側面、下面、角の角度など物体のさまざまな特徴と空気抵抗との関係を探っていき、得られたデータを応用し、いくつかの物体を組み合わせて新たな物体を作る時の参考にしたい。

