

熱気球の形状が与える気球内の温度分布と浮力への影響

秦 祐也 森 健一郎 中村 司 藤田 圭太郎

1 概要

私たちは2年生の頃から約1年間「熱気球」というテーマのもとで課題研究に取り組んできた。

まず、「気球の縦の長さ」を変えた実験からは、二つの最高点の温度は変わらなかったが、縦の長さを長くした方が気球の下部に行くにつれて温度が低くなっており、浮力も小さくなっていることがわかった。また、実浮力も小さくなっていた。

次に、「気球の開口部の広さ」を変えた実験からは、上部、中部、下部すべての位置で開口部を狭くしていた気球の温度が高くなっており、この気球の方が実浮力も大きくなっているということがわかった。これは、開口部を狭くしたほうが、熱が気球内にこもりやすいということから、このような結果が得られたのだと考えられる。

最後に、「球形と逆水滴型」という形状を変えた実験からは、球形の形状であるほうが上部と下部で高い温度が得られ、より大きな実浮力が得られることがわかった。

実験結果から、縦に長い気球の煙の流速がほかの気球と比べて遅かったため、気球内の空気の循環が遅くなっていることがわかる。また、流速の最も速い、4つの基準となる形状の気球の温度差が最も小さかったので、気球内の温度差と気球内の気流の速さには関係していて、流速が早いほど気球内の温度差は小さくなるということがわかる。

このような結果から、最も浮力が得られる条件を考えると、球形に近く、開口部が小さい気球が適することがわかった。また、縦に長い気球だと、空気の循環が悪くなり温度差が大きくなることから、縦に短い気球が適するとわかったのである。

2 研究目的

私たちの高校は、文部科学省が将来の国際的な科学技術系人材を育成するため、先進的な理数教育を実施する「スーパーサイエンスハイスクール」として指定されており、学習指導要領によらない実践や課題研究の推進、観察・実験等を通じた体験的で問題解決的な学習を行ってきた。

そこで私たちは、気球はなぜ人を持ち上げて浮くことができるのだろうか、なぜ気球は逆水滴型をしているのだろうか、なぜ熱しているのに球皮は溶けないのだろうか、等の疑問を抱き、気球が飛ぶ原理について調べていくことにした。

実験を進めていくうちに、実際に得られる浮力は、気球内の温度、気球の体積から求められる計算上の浮力よりも小さくなるということがわかった。

つまり、理論上での浮力を実際に得ることは困難であり、できないということがわかったので、設定した体積中で素材、質量、気球の形状、気球との距離などを改良していくことで、最も浮力が得られるための条件を見つけることを研究目的とした。

3 研究方法

はじめに、理想浮力と実浮力について述べておこう。

理想浮力とは、気球内の温度、気球の体積から求められる理論上の浮力である。

$$F = \{(\rho_0 - \rho')V - M\} g \text{ [N]}$$

(室温での密度... ρ_0 気球内の温度での密度... ρ' 気球の体積... V

気球の袋の質量... M 重力加速度... g)

このとき気球としてもものを持ち上げられる重さは、室温での V 質量から、気球内の温度での V の質量を引いたものと袋の質量 M を引いたものである。

この値が0以上となった時、理論上気球は浮かぶものとした。

ここでまず、予備実験として大きさが90Lと45Lの気球を作成し、体積による浮力の違いを求めることにした。

測定方法としては、気球内の温度を測定する温度測定と、気球の浮力を求める(気球が自重も含めてどのくらいの重さを浮かすことができるかを調べる)浮力測定という2つの方法考えた。

温度測定では、気球の上部、中部、下部でそれぞれビニールの表面から内側に5cmの所を測定することにした。

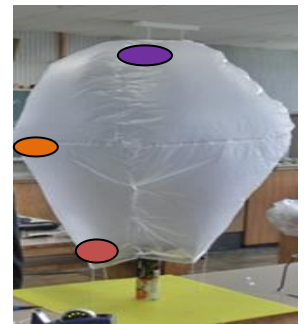
気球内の温度を測る際、温度センサは測れる温度が100℃近くと低く、測定不可能だったので、1000℃近くまで測れる熱電対を用いることにした。

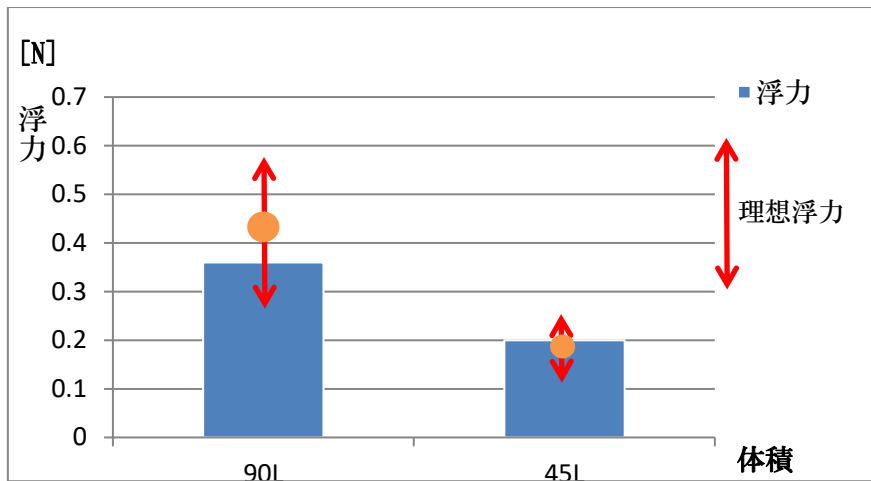
熱電対とは、異なる二種の金属を接合したもので、それぞれの熱電能の違いから2つの接合点に異なる温度に応じた電圧が発生し、一定の方向に電流が流れることでその温度差を求める装置である。

浮力測定では、力のつりあいを利用し、気球の下端に重りを貼り付けて、気球が沈み始めた時の重さを、気球が持ち上げた重さとし浮力とした。

結果は、90Lよりも45Lのほうが、温度は高くなったのだが、浮力は90Lのほうが大きくなった。

このグラフは、理想浮力と実浮力を表したものである。





(この赤い矢印は、上端の温度から求める理想浮力から下端の温度から求める理想浮力までの範囲を表したもので、オレンジ色の点は中間の温度での理想浮力を表したものである)

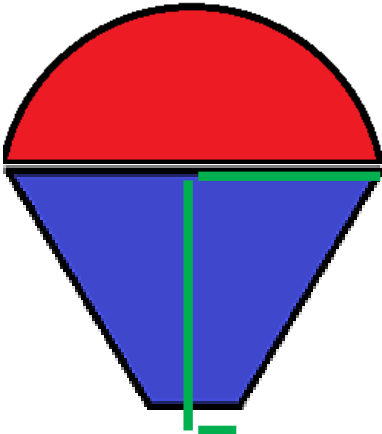
ここで注目してほしいのは、理想浮力と、実浮力の差である。この差も、縦や横の幅が大きい気球ほど大きくなったのである。

ここから、理想浮力と実浮力の差は誤差ではなく、何らかの要因が影響して発生しているということがわかった。本実験では、この浮力を妨げる要因を、できるだけ少なくすることを目標としていくことにした。

4 本実験 1

まず、気球の形状を変え、浮力と気球内部の温度の関係について調べることにした。実験方法としては、4種類の気球を作成し、浮力測定と質量測定を行った。

- ・気球の形状について
一般的に使用されているような気球の形状は逆水滴型と呼ばれている。



今回、逆水滴型を半球と円錐台が接合した形とみなし、「半球の半径」「円錐台の高さ」「円錐台の口の半径」の長さの比率を変えて3種類の気球を作製した。また、球体と逆水滴型の気球の違いを調べるために、完全に球体の気球を1つ作製した。なお、体積は 0.29m^3 に統一してある。

次の表は各気球の比率を説明している。(体積を統一したため、表の横に並んでいる比率は実際の比率だが、縦に並んでいる比率は実際の比率とは異なっている)

	半球の半径	円錐台の高さ	円錐台の口の半径
①	2	3	1
②	2	6	1
③	2	3	0.5
④	球の下 1/8 を切断した形		

これからは、表の番号で気球を呼ぶこととする。

①を基本の形として、②は気球の縦の長さの影響を、③は気球の開口部の広さの影響を調べるためにこのような比率に設定した。



・測定方法について

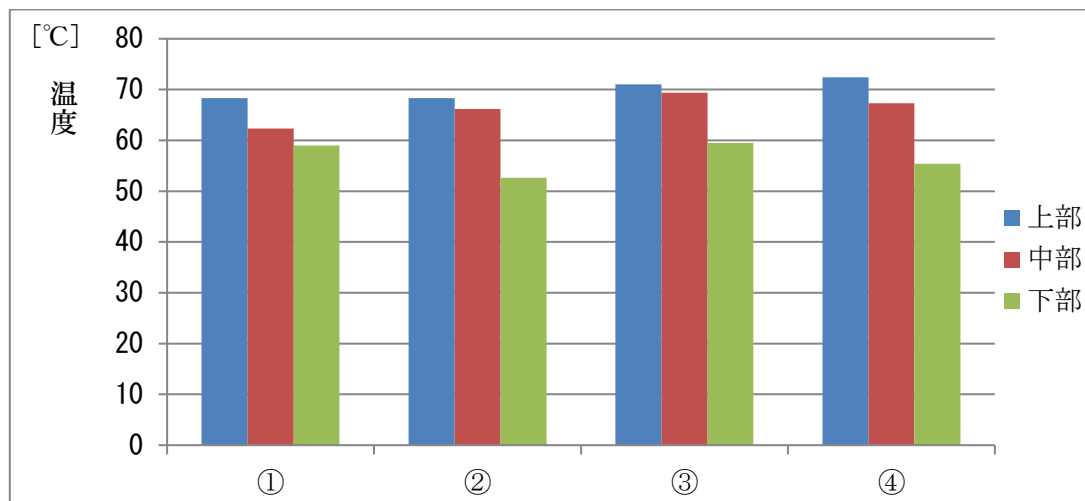
温度測定は気球の上部、中部、下部の気球の球皮から 5cm の所を測定。浮力測定は予備実験と同じように行った。計 3 回行い、結果は 3 回の平均を表示している。

ここで、私たちは②と④で浮力が大きくなると予想した。

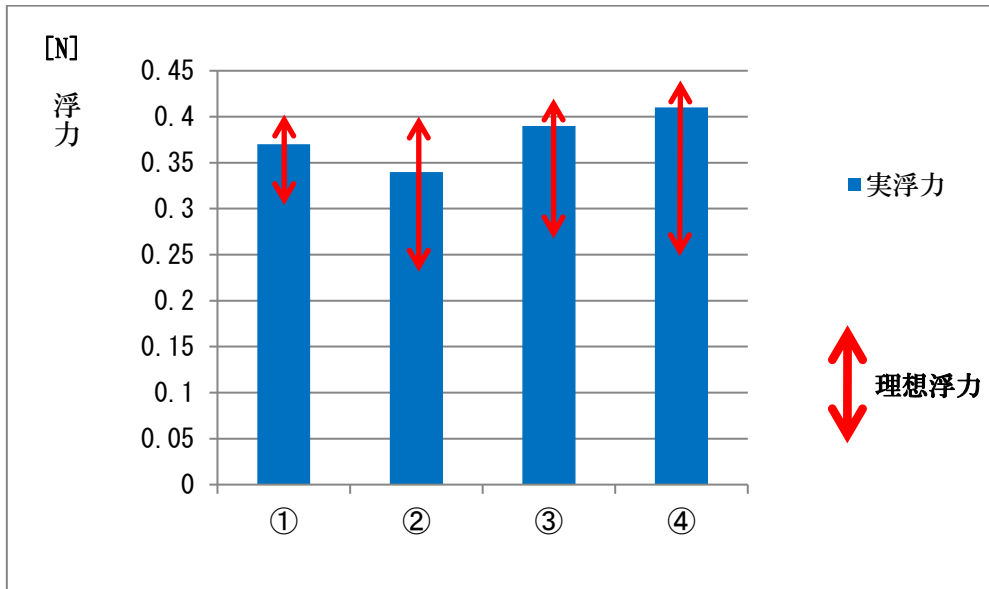
なぜかという、②は縦に長く、中で上昇気流が発生しやすくなり、④は表面積が最も小さく、4 つの中では一番冷めにくくなるであろうと考えたからである。

〈結果〉

温度のグラフ



理想浮力と実浮力のグラフ



<考察>

・温度について

②は、①と比べ、二つの上端での温度は同じであったのだが、②は下部に行くにつれて温度が小さくなっており、浮力も小さくなっていることがわかる。

③は、上部、中部、下部すべての位置で温度は高くなっており、実浮力も大きくなっている。また、上部での温度が最も高くなっているのは④であった。

・浮力について

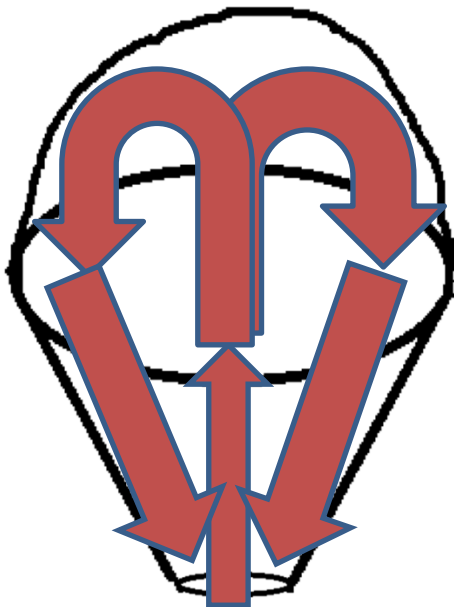
②の浮力が最も小さく、③④の浮力が大きくなった。

以上より、予想に反して、②は、温度、浮力がともに小さくなっていた。また、③④が気球として優れていることもこのようなことからわかった。

5 本実験 2

次に、②の気球の浮力が私たちの仮説よりも小さかったため、気球内部の上昇気流と浮力が関係しているのかを調べる実験をした。

予備実験として、気球内の空気がどのように流れているかを調べることにした。その際、小さいティッシュペーパーを気球の頂上部から入れた。すると、ティッシュペーパーは熱源で暖められた真ん中の部分には落ちず、側面を通過して落ちていることが分かった。

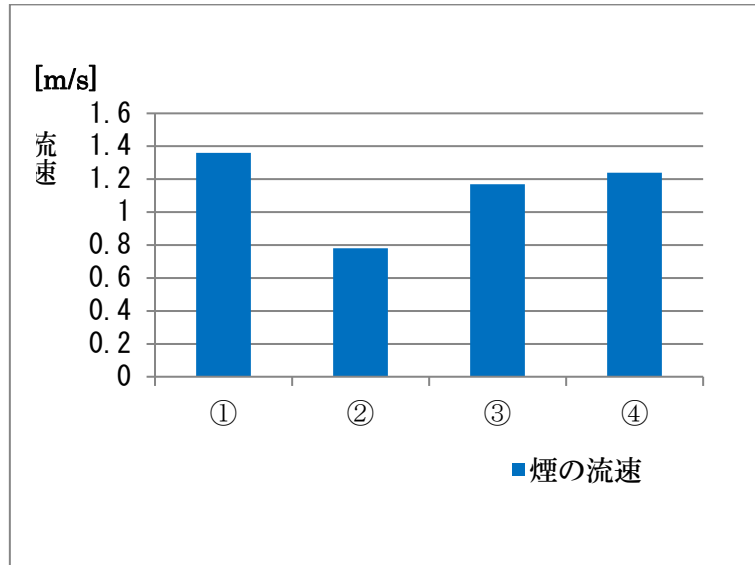


つまり、熱源から暖められた空気は上昇し、頂上部に当たって側面を通過して下降するという空気の循環の様子が分かった。

そこで、上昇気流の速さを求めることで、空気の循環の速さを調べることにした。

空気の循環の速さが分かると、気球の温まりやすさが分かるからである。

測定方法として、まず気球の頂上部に穴を開け線香を入れた。そして気球から出てくる線香の煙をビデオで録画し、コマ送りを用いて速さを求めることで、気球内の上昇気流の速さを求めることにした。



この実験から、②の気球の上昇気流の速さは、他の気球と比べて遅いことがわかった。よって、縦の長さが長い気球は、空気が循環しにくい形状だということがわかったのである。

6 まとめ

以上の実験より考察すると、③と④の気球は温度、浮力ともに①の気球より高くなっていることから、球形に近く、また開口部が小さいことでより浮力が大きくなることがわかる。

次に、①と②の気球を比較したときに、気球の下部に行くほど、②の気球の温度が著しく低下していた。これは気流を調べた実験より、気球内の空気の循環が悪くなっていることが関係しているといえる。

また、温度低下があまりない①の空気の流速が速くなることから、気球内全体の温度差は小さくなることがわかった。

以上の結果より、球形に近く、開口部に近い気球が最も浮力が得られる条件であることがわかった。

また、縦に長い気球だと空気の循環が悪くなることから、縦に長くない気球が、より浮力が得られるということもわかった。

7 今後の課題

では、なぜ一般的な気球の形状は逆水滴型なのかという疑問が出てきた。

そこで私たちは、気球は屋外で使用するため、風に耐える形状が逆水滴型なのではないかという仮説をたてた。今後はその仮説を実証する実験を行っていきたい。