

## 物理1班 カールじいさんの世界と現実

齊藤優太 木内桃矢 齊藤芽依 畠山玲奈 渡辺紗弥

### 1, 研究動機・目的

「カールじいさんの空飛ぶ家」という映画は、とある老人が家に風船を取り付けて飛行し、3日間でパラダイスフォールという目的地に向かう物語だが、作中では最終的に目的地に到着したものの、それが本当に現実世界においても可能なのかと疑問に思った。また、そのことについて調べていたところ、National Geographic という番組で実際に映画を再現しているのを見つけた。しかしその番組では、軽く作った家を飛ばしただけだったため、実際の重さではどうなのか、どれだけ遠くまで飛ばすことができるのかが私たちは気になった。

以上のことから本研究は、「カールじいさんの空飛ぶ家」がパラダイスフォールまでの距離 6125km を、風船だけでたどり着くことは可能なのか検証することを目的として行った。

### 2, 仮説

映画のように、風船のみで家ごと目的地にたどり着くことはできないと考える。その理由は次の2点である。第一に、ヘリウムの分子がとても小さく風船から抜けるはやさが空気よりもはやいため、浮力が小さくなり、3日間も家を浮かせることはできないのではないかと考えたからである。第二に、自然に発生する風の力だけでは、6125km 先の目的地にたどり着くのにそもそも3日以上かかってしまうと考えたからである。以上の仮説について、実験を通して検証した。

### 3, 研究方法

(1)ヘリウムを封入した風船が3日間でどれだけしぼむのかを調べる

使用した風船 材質：ラテックス 質量：25g 厚さ 0.7mm

大きさ：縦 32cm 横 22cm

測定方法：上記の風船1つをヘリウムガスで膨らませ、糸をつけて水の入ったペットボトルにくくり付け固定した。そして、由利高校物理室にて3日間、午後6時に風船を観察し、定点からの撮影及び風船の縦横の長さの測定を行った。風船の体積の記録については、風船の形を球とみなして風船の縦と横の直径をそれぞれ測定して、それらの平均した値の半分を風船の半径  $r$  とし、その値をもとに風船のおおよその体積  $V = 4/3 \pi r^3$  を求めた。また、理論上は、1 l のヘリウムで1 g のおもりを浮かせることができるため、浮力の大きさから風船の体積を逆算することも可能だが、実際

には風船中のヘリウムがだんだん空気と混合してしまう。そこで、空気とヘリウムが混合した風船ではどの程度の浮力が得られるのかという点についての参考にするため、風船に重りをつけ、何 g まで浮かせることができるのかも併せて記録した。

(2) 気温や湿度で、ヘリウムが封入された風船のしぼむ早さは変わるのか調べる

使用した風船 材質：ラテックス 質量：2 g 厚さ：0.3mm

大きさ：縦 11cm 横 6cm

測定方法：2つの風船をヘリウムで同じ大きさに膨らませ、(1)と同様に糸を用いてペットボトルに固定し、車庫及び室内の窓の開け閉めがないところにそれぞれ放置した。その際、同じ大きさの風船2組をピンク2つ及び白2つで用意した。車庫及び室内にはそれぞれ、ピンクと白の風船を1つずつ放置し、2時間後に、風船の縦・横の長さと、車庫及び室内の気温を記録した。

(3) ある高さを保ったまま、風船は風の力でどの程度の速さで進むのか調べる

使った風船 (1)(2) で使ったものと同じ風船を各2個ずつ用意した。

条件：ピンク：縦 13cm 横 14cm 白 (サイズ小)：縦 26cm 横 23cm

青：縦 43cm 横 42cm 白 (サイズ大)：縦 56cm 横 51cm

扇風機の風速[m/s]：弱 2.443 中 3.271 強 4.041

※扇風機の風速はデジタル風速計を用いて計測した。

測定の仕方：床にメジャーを貼り付け、1mの地点に目印をつけた。0mのところに風船を置き、横から弱中強の順番に風をあてると同時に、ストップウォッチで風船が1m地点を通過するのにかかった時間を測定する。ここで使用した風船は、上記の仕様の風船を呼気で膨らませたものである。

本来はヘリウムガスで風船を膨らませて実験を行いたかったが、風船が浮かんで上空に行ってしまうため、風船を一定方向の風にあて続け計測するというのが再現できなかった。そこで、呼気を封入し、地表での風船の運動を調べることで置き換えようと考えた。このとき、床と風船が接することにより、瞬間的には摩擦力が生じているが、常に接地して運動するわけではなかったため、摩擦による大きな影響はないものとみなした。

以上、(1)(2)(3)の方法で検証するにあたっての、その他の条件設定については以下のように定めた。

- ・ 3日間快晴
- ・ カラスや飛行機などの障害がない
- ・ 向かい風がない
- ・ 風速は変化しない
- ・ ジェット気流は発生しないものとする
- ・ 高度は1000mとする (目的地であるパラダイスフォールの高さが998m)
- ・ 実験で扱う風速は日本の気象庁風力階級の中の軟風 疾風 強風 とする

#### 4, 実験に必要な数値

$$\begin{aligned} \text{風船内のヘリウムの体積} &= 4/3 \times 3.14 \times 36.75 = 2.07797.54625 \text{ [cm}^3\text{]} \\ &= 0.2078 \text{ [m}^3\text{]} \end{aligned}$$

↓

$$207.8 \text{ [L]}$$

$$\text{風船1個が受ける浮力} \cdots \cdots \text{大気の密度 } \rho : 1.293 \text{ [kg/m}^3\text{]}$$

$$\text{重力加速度 } g : 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$$

$$\text{風船1個に働く浮力 } F = \rho V g$$

$$= 1.293 \times 0.2078 \times 9.8$$

$$\approx 2.6 \text{ [N]}$$

$$\text{風船すべての浮力(1万297個)} = 2.6 \times 10297$$

$$= 26772.2 \text{ [N]}$$

$$\text{高度1000mでの風船が受ける浮力} = \rho V g$$

$$= 1.2 \times 0.2 \times 9.8$$

$$\approx 2.4 \text{ [N]}$$

#### 5, 実験1の結果及び考察



図1 風船の大きさについての定点記録

入れた日の風船の体積

$$\begin{aligned} 4/3 \times 3.14 \times 36.8^3 &= 207797.54625 \quad [\text{cm}^3] \\ &= 0.207797 [\text{m}^3] \\ &= 207.797 [\text{L}] \\ &\doteq 2.08 \times 10^5 [\text{L}] \end{aligned}$$

1日目の風船の体積

$$\begin{aligned} 4/3 \times 3.14 \times 34.0^3 &= 164552.74666 [\text{cm}^3] \\ &= 0.16455274666 [\text{m}^3] \\ &= 164.552 [\text{L}] \\ &\doteq 1.64 \times 10^5 [\text{L}] \end{aligned}$$

2日目の風船の体積

$$\begin{aligned} 4/3 \times 3.14 \times 30.0^3 &= 113040 [\text{cm}^3] \\ &= 0.113040 [\text{m}^3] \\ &= 113.040 [\text{L}] \\ &\doteq 1.13 \times 10^5 [\text{L}] \end{aligned}$$

3日目の風船の体積

$$\begin{aligned} 4/3 \times 3.14 \times 23.0^3 &= 50939.17333 [\text{cm}^3] \\ &= 0.050939 [\text{m}^3] \\ &= 50.939 [\text{L}] \\ &= 5.09 \times 10^4 [\text{L}] \end{aligned}$$

以上の結果から、風船の体積と経過した日数との関係については、図2のようになった。

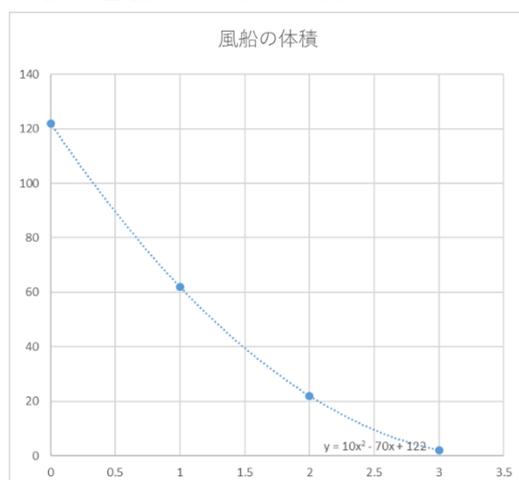


図2 時間経過に伴う風船の体積の変化

#### 考察1

図2のグラフから、日数が経過するごとに、風船の体積が減少する速度は徐々に小さくなっていくことが確認された。このことから、特に1日目の時点で風船の浮力はぐっと小さくなると考えられる。また、1日経過した時点で1個当たり62gを浮かすことができたため、1万297個の風船では638kgまで浮かせることが可能である。以上のことから、家屋を風船で飛ばす際の目安として、浮力を維持できる1日間のうちにカールじいさんは目的地を目指さなければならないといえる。

なお、この結果はガス透過の理論とも一致するものであった。ヘリウムは空気よりも分子が小さいため、空気が風船内に入る速度よりも外に出る速度が大きい。そのため、始めはヘリウムで満たされているから体積が急激に減少するものの、次第に抜けた風船内のヘリウムの部分に周りの空気が侵入し、風船内のヘリウムが空気によって希釈され分圧差が小さくなるため、体積減少のグラフは緩やかになる。こ

れと同様の結果が、実験1からも得ることができた。

## 6, 実験2の結果及び考察

表1 車庫及び室内での風船のしぼみ方の違い

ピンク	部屋27°C	車庫15°C	白	部屋27°C	車庫15°C
縦	22cm	22cm	縦	26cm	26cm
横	19cm	19cm	横	21cm	21cm
↓2時間後			↓2時間後		
ピンク	部屋27°C	車庫15°C	白	部屋27°C	車庫15°C
縦	18.5cm	18cm	縦	22cm	22cm
横	18cm	17.5cm	横	20cm	20cm

### 考察

地表と比べて上空は気温が小さくなるため、実験2の結果を、その影響について考える参考にした。温度差が10°C以上あったが寒い場所と温かい場所では差があまりなかった。このことから、今回の実験からは温度による影響はあまりないと考えられる。そのため、実験1で考察した、1日間が飛行の目安になるということについても影響がないといえるだろう。しかし、この実験は通常の大サイズの風船で行ったため、もう少し大きい風船で長時間おいていたら、より差が大きくなっていたかもしれない。

## 7, 実験3の結果及び考察

表2 風を受けた風船の進む速度

風船の種類	扇風機の風力	1回目	2回目	3回目	平均	風船の秒速(平均) [m/s]	時速[km/h]
ピンク	弱	2.91	2.93	2.97	2.94	0.340522134	1.22588
	中	1.97	1.34	1.31	1.31	0.649350649	2.337662
	強	1.22	1.37	1.06	1.06	0.821917808	2.958904
白小	弱	1.66	1.94	2.12	2.12	0.524475524	1.888112
	中	1.94	1.37	1.56	1.56	0.616016427	2.217659
	強	1.22	1.13	1.34	1.34	0.81300613	2.926829
青	弱	4.78	3.19	3.93	3.97	0.25210084	0.907563
	中	1.78	1.63	2.09	1.83	0.545454545	1.963636
	強	1.93	2.41	1.56	1.97	0.508474576	1.830508
白大	弱	3.91	4.72	3.71	4.11	0.243111831	0.875203
	中	2.38	2.96	3.00	2.78	0.875203	1.294964
	強	2.18	2.06	2.25	2.16	0.462249615	1.664099

ピンク、白小、青、白大の4つの風船でそれぞれ調べた結果、風を強くすると風船の速度が上がった。風船の大きさは大きくするほど速度が下がった。

しかし、ピンクと白小は家をつるすには体積が小さすぎ、青は計測した数値がこれまでの傾向から誤差が生じていたため、白大で回数を増やし精密な数値をだすことにした

表3 風船（白大）の進む速度

回数[回]	1m進むのに要した時間[s]		
	扇風機 弱	扇風機 中	扇風機 強
1	3.69	2.15	1.50
2	3.28	2.19	1.65
3	3.91	1.94	1.50
4	4.31	2.16	1.84
5	4.75	2.31	1.87
6	4.35	2.31	1.53
7	3.28	2.28	1.50
8	3.44	2.31	1.75
9	3.82	2.16	1.72
10	4.50	2.31	1.56
平均	3.933	2.212	1.642
風船の秒速 (m/s)	0.254258835	0.452079566	0.609013398
時速 (m/s)	0.915331806	1.627486438	2.192448233

この結果から、風船の速度と風速との関係についてのグラフは、図3のようになる。

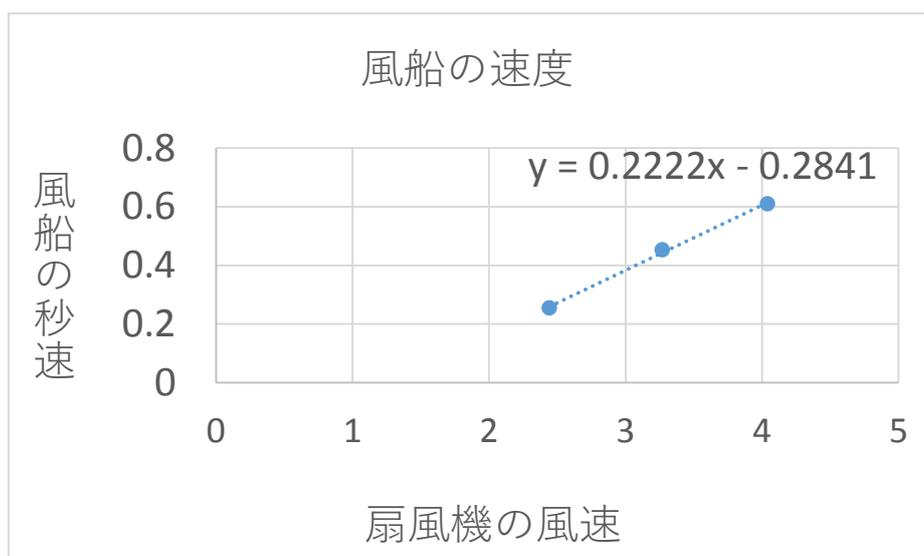


図3 風船の速度と扇風機の風速との関係

図3のグラフから求められた式に風速を代入することで、3日間で進む距離を求められる。

表4 各風速で3日間に進むことのできる距離

風速[m/s]	風船の速度[m/s]	風船の速度[km/h]	3日間進む距離[km]
軟風 4.4	0.63958	2.496888	179.775936
疾風 9.35	1.79347	6.456492	464.867424
強風 15.5	3.16	11.376	819.072

### 考察3

下記の計算から、目的地であるパラダイスフォールまでの距離6125kmを風船で移動するには、風速 $1.06 \times 10^2 \text{m/s}$ が必要になると見当がつく。

パラダイスフォールまで3日間で移動するときの、空飛ぶ家に必要な速度は  
 (目的地までの距離) ÷ (時間) =  $6125\text{km} / 72\text{h} = 85.0694444[\text{km/s}] \approx 85 [\text{km/h}]$   
 $85 \text{ km/h} = 85000\text{m/h} = 85000/3600 \text{ m/s} = 23.63040123 \text{ m/s} \quad \text{---①}$

図3より (風船の速度) =  $0.2222x + 0.2841$       これが①に等しいので、  
 $0.2222x + 0.2841 = 23.63040123$   
 よって必要な風速  $x = 106.315403 \approx 1.1 \times 10^2 \text{ m/s}$

このことから、気象庁風力階級による風力最大の12階級で風力32.7m/sであり、その風が3日間同じ向きにふき続けたとしても、風船が目的地にたどり着くために求められる風速はたどりつくことはできないだろう。

### 8.まとめ

劇中では、風船1万297個で家を浮かせているが実際には、1日後には638kgまでしか浮かせることができないため厳しいとおもわれる。

風速はこの実験で $1.1 \times 10^2 \text{ m/s}$ 必要だということが分かったが、気象庁風力階級で記されている最大の12階級の風力32.7m/sを越えなければいけないため、同じく厳しいと思われる。

そこで、もし3日以内でたどりつくならば、地図1の円内、半径388km以内からスタートしたら可能かもしれない。なおかつ、家と人を併せた質量が26kg以下の物体でなければならない。そのため、家だけをハリボテにして、かつ乗る人もごく軽量の幼児あるいは小人族なら可能なのかもしれない。(赤い矢印の地点は、パラダイスフォールのモデルとなったエンジェルフォールの場所である)



図4 パラダイスフォールの周囲半径 388 km以内の地域

## 9, 今後の課題

風船からヘリウムが1日にぬける量が予想よりも大きく、パラダイスフォールにたどり着くまでに風船の浮力はもたないことがわかり、目標達成とは言い難い結果に終わった。風船の数を増やしたり、風船につるす物体の重さを軽くしたりすることで、どのような条件だとたどり着けるのかを具体的に検証していきたい。

## 謝辞

研究に協力して下さった先生方、ありがとうございました。特に、秋田県立大学システム科学技術学部機械知能システム学科の助教 Stephanie Nix (ニックス ステファニー) 先生には、実験に必要な機器を快く貸していただき、大変助かりました。ありがとうございました。

## 参考文献

風速の目安 GPV 気象予報 (平成 29 年 11 月 12 日最終確認)

<http://weather-gpv.info/gw.php>

高度と気圧と温度の関係図表 (平成 29 年 11 月 12 日最終確認)

[http://www.bbweb-arena.com/users/et/kinabalu/kinabalu\\_005.htm](http://www.bbweb-arena.com/users/et/kinabalu/kinabalu_005.htm)

計算距離 (平成 29 年 11 月 12 日最終確認)

<http://www.kyori.info/>

Wikipedia カールじいさんの空飛ぶ家 (平成 29 年 11 月 12 日最終確認)

<https://ja.wikipedia.org/wiki/%E3%82%AB%E3%83%BC%E3%83%AB%E3%81%98%E3%81%84%E3%81%95%E3%82%93%E3%81%AE%E7%A9%BA%E9%A3%9B%E3%81%B6%E5%AE%B6>

MY MODERN NET (平成 29 年 11 月 12 日最終確認)

<http://mymodernmet.com/upinspired-floating-house-14>