

自由落下による物体のみかけの重さの変化

2632 丸山高輝 2520 杉山裕 2615 佐竹晴伍 2625 早川萌詩

要旨

微小重力状態とは、物体にはたらく重力が小さくなることで、物体のみかけの重さが小さくなるように内側から見えることである。微小重力を地上で確認するには、物体を自由落下させればよい。

自由落下状態を利用して、みかけの重さを測定するために、ばねの弾性力を測定することで、みかけの重さを求める方法を考え実験を行った。その結果、落下中の容器内では、みかけの重さが6.0%～20%程度になることが分かった。

1. 目的

自由落下する箱の中のおもりのみかけの重さと重力加速度を測定する。

2. 仮説

落下時にはみかけの重さがもとの重さが10%になる。

みかけの重さとは、ばねばかりで観測できた重さとする。

理由は現在行われている落下式の微小重力実験において計測できる最大の値が10%だからである。

3. 使用した器具・機体など

- ・ばね
- ・おもり(質量 $m=0.40\text{kg}$)
- ・カメラ(SQ11 MINI DV CAMERA)



図1 おもり



図2 カメラ

機体①

自然長 $l=2.5\text{cm}$ のばねを使用した。



図3 外見



図4 内部

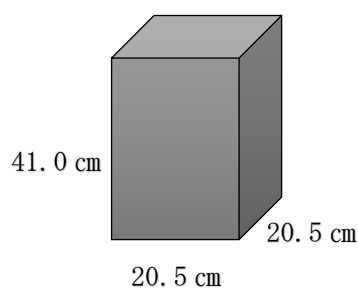


図5 機体①のサイズ



図6 ばね

機体②

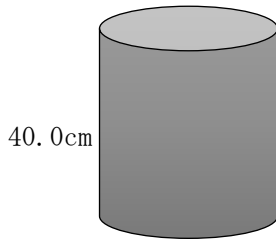
機体①で使用したばねが伸びてしまったため自然長 $l=2.9\text{cm}$ のばねに変更し、そのばねにつるすおもりは質量 $m=0.40\text{kg}$ のままとした。落ちる時の機体の傾きをなくすため、形状を円柱に改善した。(図7, 8, 9)



図7 外見



図8 内部



40.0cm

※底面の半径 $r=15.5\text{cm}$

図9 機体②のサイズ

4. 実験

(1) 理論

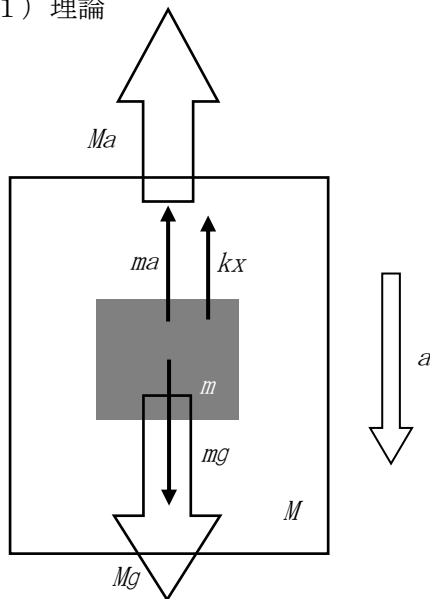


図10 加速度運動している機体に働く力の関係

- M : 機体の質量 (kg)
- m : おもりの質量 (kg)
- g : 重力加速度 (9.8m/s^2)
- a : 加速度 (m/s^2)
- k : ばね定数 (N/m)
- x : ばねの伸び (cm)

外側から見た機体の内部の運動方程式は

$$ma = mg - kx$$

内側から見た機体の内部の力のつり合いは

$$mg = ma + kx$$

$$m(g - a) = kx \quad \dots \textcircled{1}$$

となるため、 $g - a$ を g' 、重力下でのばねの伸びを x_1 、自由落下中のばねの伸びを x_2 とすると、

$$Mg = kx_1 \quad \dots \textcircled{2}$$

$$mg' = kx_2 \quad \dots \textcircled{3}$$

$$\textcircled{2} \text{より} \quad m = \frac{kx_1}{g} \quad \dots \textcircled{4}$$

$$\textcircled{3}\textcircled{4} \text{より} \quad \frac{kx_1}{g} g' = kx_2$$

$$g' = \frac{x_2}{x_1} g \quad \dots \textcircled{5}$$

よって x_1 、 x_2 を測定することで g' が求められる。

(2) 方法

実験1

機体①を9mの高さから5回落とす。落下中の装置の内部の様子をカメラで撮影し、ばねの自然長からの伸び x_2 を測る。

実験2

機体②を9mの高さから5回落とす。落下中の装置の内部の様子をカメラで撮影し、ばねの自然長からの伸び x_2' を測る。

5. 結果

機体①内のばねの様子

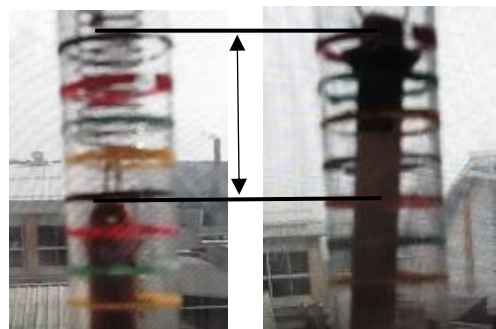


図11 静止中

図12 自由落下中

表1 実験1の自然長からのばねの伸び

回数 (回)	1	2	3
ばねの伸び x_2 (cm)	0.4	0.4	0.6
回数 (回)	4	5	平均
ばねの伸び x_2 (cm)	0.5	0.2	0.4

自然長からのばねの伸び $x_1 = 2.7$ cm。

実験結果より, $x_1 = 2.7$ cm, $x_2 = 0.4$ cm。

⑤の式に代入すると,

$$g_1' = 0.4/2.7g \\ = 0.2g \text{ [m/s}^2\text{]}$$

よってみかけの重さの割合は, $2 \times 10^1\%$ と求めることができる。

ただし, カメラが遠くにあったため, 小数点第一位までしか読み取れなかった。

機体②内のばねの様子

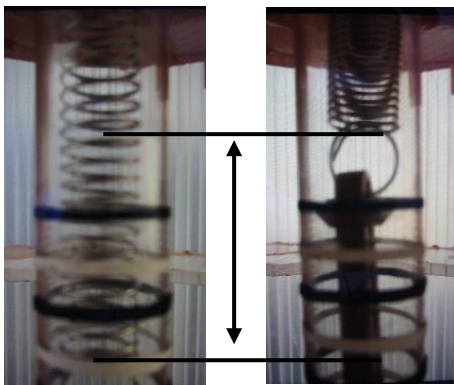


図13 静止中 図14 自由落下中

表2 実験2の自然長からのばねの伸び

回数 (回)	1	2	3
ばねの伸び x_2' (cm)	0.21	0.21	0.22
回数 (回)	4	5	平均
ばねの伸び x_2' (cm)	0.21	0.19	0.21

自然長からのばねの伸び $x_1 = 3.5$ cm。

実験結果より, $x_1' = 3.5$ cm, $x_2' = 0.21$ cm。

⑤の式に代入すると,

$$g_2' = 0.21/3.5g \\ = 0.060g \text{ [m/s}^2\text{]}$$

よってみかけの重さの割合は, 6.0% と求めることができる。

6. 考察

機体①で実験した際, 機体は大きく傾いて落下した。機体②で実験した際, 機体はほとんど傾かずに落下した。

ばねは鉛直からの傾きが大きいほど, 自然長からの伸びは短くなる。

機体①のみかけの重さの割合が $2 \times 10^1\%$ であったのに対して, 機体②のみかけの重さの割合は 6.0% であった。

機体①と機体②は, より傾いていた機体①のみかけの重さの割合が小さくなると考えられるにも関わらず, 機体②のみかけの重さの割合が小さくなったため他に理由があると考えられる。

ここで機体①の底面積は $4.20 \times 10^2 \text{ cm}^2$, 機体②の底面積は $240.25 \pi \approx 7.54 \times 10^2 \text{ cm}^2$ である。また, 機体①の落下時間の平均は 2.4 秒であるのに対し, 機体②の落下時間の平均は 1.9 秒である。

よって機体①の方が空気抵抗の影響が大きくなり, 落下中の加速度が小さくなったため, 式① $m(g - a) = kx$ より, みかけの重さの割合が大きくなったと考えられる。

7. 展望

ばね定数が小さいばねを使い, 誤差を少なくして仮説に沿った結果が出るか調べていきたい。

8. 謝辞

実験に協力, アドバイスしてくださった佐々木先生をはじめとする先生方, 誠にありがとうございました。

9. 参考文献, 引用文献

無重力と無重量の違いって何？

ファン!ファン!JAXA!

<https://fanfun.jaxa.jp/faq/detail/100.html>

近畿地方・和歌山大会缶サット甲子園 2018

<http://www.space-koshien.com/cansat2018/guide/wakayama.html>

落下・航空機実験ガイドブック

ー3. 微小重力環境の実現方法

<https://www.jsforum.or.jp/technic/su/www4/public/koubo/microgravity/contents/c03/index.html>

宇宙での研究 微小重力科学分野

<http://iss.jaxa.jp/utiliz/field/utiliz-mg.html>

なぜ缶詰は球体でも立方体でもなく円柱なのか

<https://gigazine.net/news/20141118-optimal-can-dimensions/>

空気抵抗を受ける鈍い物体の落下運動に関する解析と実験

<http://www.nagare.or.jp/download/noauth.html?d=35-1kenkyu.pdf&dir=43>