

自由落下による物体のみかけの重さの変化

3630 丸山 高輝 3616 杉山 裕 3519 佐竹 晴伍 3525 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、非慣性系において、物体のみかけの重さが実際よりも小さく観測される現象である。微小重力を地上で確認するには、物体を自由落下させる必要がある。私たちは、このみかけの重さを測定したいと考えた。ばねの弾性力を測定することで、みかけの重さを求めることができるようにした。実験機体を4機作成し、実験を行った。結果、落下の運動が自由落下に近づくほど、みかけの重さが小さくなると分かった。

1. 目的

自由落下中の箱の中のみかけの重さが0[N]に近づくことをばねの弾性力を利用して調べる。

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)
〈実験 1, 2 で使用〉
- ・スマートフォン(iPhone7)
〈実験 3, 4 で使用〉



図1 おもり



図2 カメラ

機体①

自然長 $l=2.5\text{cm}$ のばね、質量 $m=0.40\text{kg}$ のおもりを使用した。



図3 外見



図4 内部

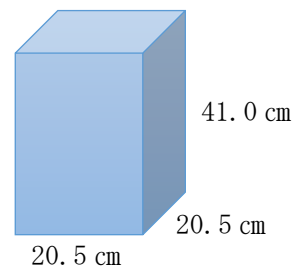


図5 機体①のサイズ



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 外見

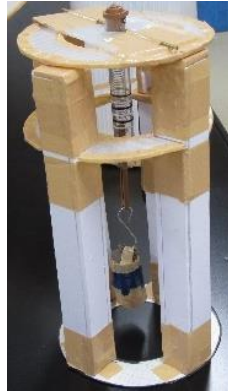
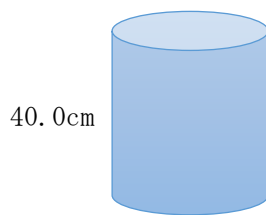


図 8 内部



※底面の半径 $r=15.5\text{cm}$

図 9 機体②のサイズ

機体③

実験 1, 2 の考察を受けて、ばね定数 $1.5 \times 10^2\text{N/m}$ のばねから、ばね定数 50N/m のばねに変更した。そのばねにつるすおもりも、質量 $m=0.20\text{kg}$ に変更した。

また、機体④と対照実験を行うにあたり、断面積が空気抵抗に関係していると考えられたため、底面積がほぼ同じになるように設計した。(機体③の底面積は $1.4 \times 10^2\text{cm}^2$ 、機体④の底面積は $1.5 \times 10^2\text{cm}^2$)



図 10 ばね



図 11 内部

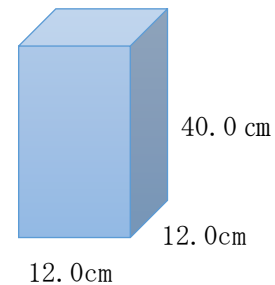


図 12 機体③のサイズ

機体④

機体③と同じばねとおもりを使用する。

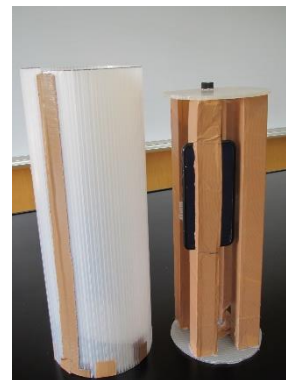
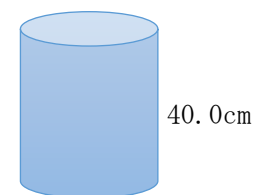


図 13 機体



※底面の半径 $r=6.8\text{cm}$

図 14 機体④のサイズ

4. 実験

理論

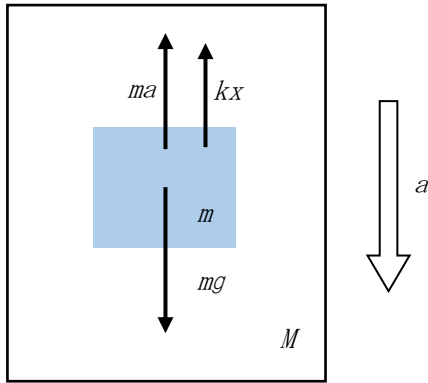


図 15 加速度運動している機体に働く力の関係

m : おもりの質量(kg)
 g : 重力加速度(9.8m/s²)
 a : 落下の加速度(m/s²)
 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、

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

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

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

② ④より $\frac{kx_1}{g} g' = kx_2$

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

よって x_1 、 x_2 を測定することで g' が求められる。

手順

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。

実験 3

機体③と機体④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スマートフォンで撮影し、ばねの自然長からのばねの伸び x_2 を測る。

5. 結果

実験 1

機体①内のばねの様子

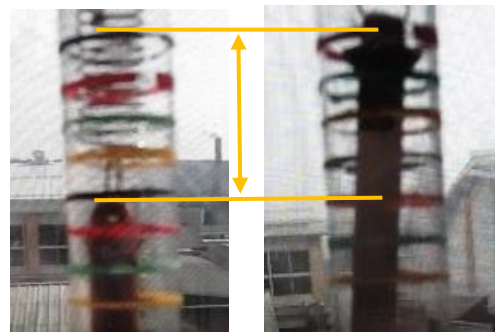


図 16 静止中 図 17 自由落下中

表 1 機体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 は2.7cm。

実験結果より、 $x_1=2.7$ cm、 $x_2=0.4$ cmである。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。

落下していた時間は、2.4秒間であった。
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。

実験 2

機体②内のばねの様子

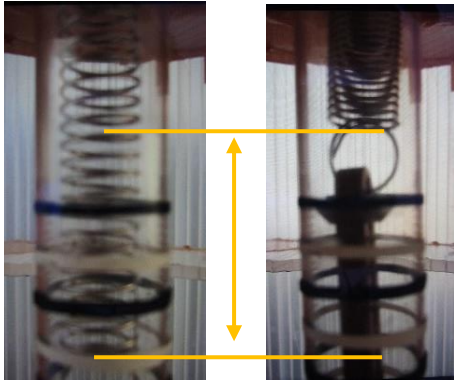


図 18 静止中 図 19 自由落下中

表 2 機体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 は 3.5 cm。

実験結果より、 $x_1' = 3.5$ cm、 $x_2' = 0.21$ cm
である。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。

落下していた時間は 1.9 秒間であった。

実験 3

機体③内ばねの様子



図 20 静止中 図 21 自由落下中

表 3 機体③のばねの伸び

回数(回)	1	2	3
ばねの伸び x_2 (cm)	0	0	0
回数(回)	4	5	平均
ばねの伸び x_2 (cm)	0	0	0

自然長からの伸びを x_1 とする。

実験結果より、 $x_2 = 0$ cm である。⑤の式に代入すると、

$$g_3' = 0 / x_1g$$

$$= 0g \text{ [m/s}^2\text{]}$$

よってみかけの重さの割合は、0%と求めることができる。

落下していた時間は 1.7~1.8 秒間であった。

機体④内のばねの様子

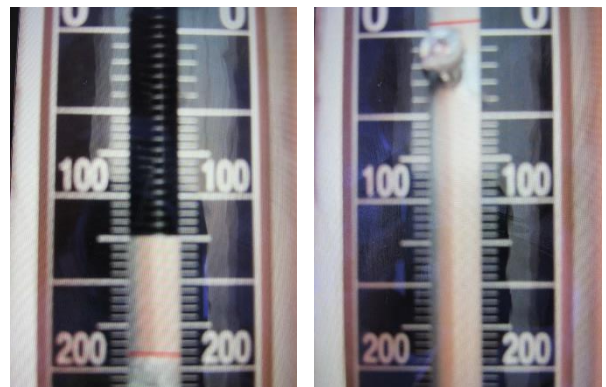


図 22 静止中 図 23 自由落下中

表4 機体④のばねの伸び

回数(回)	1	2	3
ばねの伸び x_2 (cm)	0	0	0
回数(回)	4	5	平均
ばねの伸び x_2 (cm)	0	0	0

自然長からの伸びを x_1 とする。

実験結果より、 $x_1=0$ cmである。⑤の式に代入すると、

$$g_4' = 0/x_1g \\ = 0g[m/s^2]$$

よってみかけの重さの割合は、0%と求めることができる。

落下していた時間は、1.7~1.8秒間であった。

6. 考察

実験1, 2

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ないで落下した。

ばねは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のにも関わらず、機体②のみかけの重さが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 $7.55 \times 10^2 \text{ cm}^2$ である。また、機体①の平均落下時間は 2.4 秒なのに対し、機体②の平均落下時間は 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の加速度が小さくなるため式①より、みかけの重さの割合が大きくなったと考えられる。

次にばね定数が小さいばねを使い、誤差を少なくして実験を行う。

実験3

実験1, 2の考察を踏まえ、空気抵抗を減らすために底面積を小さくし、実験3を行った。その結果、機体③と機体④のみかけの重さの割合は、0%であった。

また、落下時間が実験1, 2と比べて、短くなったことから、機体に働く空気抵抗がより小さくなったと考えられる。

7. 展望

実験3, 4でばねばかりが0より小さい値を示した理由について、今後深い考察を加えていきたい。

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](http://www.space-koshien.com/cansat2018/guide/wakayama.html)

落下・航空機実験ガイドブック

-3. 微小重力環境の実現方法

<https://www.jsforum.or.jp/technic/su/w4/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>