

— 微小重力状態の観察 II —

本教材は宇宙とのつながりを軸として科学を身近に感じてもらうために作った科学教材です。本教材の利用による事故等については一切責任を持ちかねますので、本教材の利用は、経験のある指導者の指導の下に行ってください。



●教材提供●
日本宇宙少年団
福岡分団 麻生茂氏

2006年3月31日 発行
2013年4月1日 改訂

目標とねらい

箱が落下すると箱の中のもの（例えばせんべい）がフワッと浮いています。したがって落下中は、せんべいが置いてある箱の床にせんべいの重さはかかっていません。このとき、この箱の中はどうなっているのだろうか考えてみます。この教材では、中学生以上を対象にして、この箱の中がどうなっているのかを簡単な実験を追加して考察を行うことにより、微小重力状態の理解を深めることをめざします。

対象学年

中学生以上

所要時間

2～4時間

ここで必要なものは、手のひらに乗せることのできるもの（本教材では仮に消しゴムにしています）だけです。

1 実験と考察

実験1 手のひらの消しゴム

(1) 手のひらに消しゴムを乗せた状態で、以下のような条件で（急に）手を下げてみましょう。このとき、手のひらを感じる消しゴムの重さが変化したかどうかを体験します。

- ① ゆっくり降ろしてみる
→ 手のひらを感じる消しゴムの重さは変化したかな？
- ② 一定の速度（ずっと同じ速度で）で降ろしてみる
→ 手のひらを感じる消しゴムの重さは変化したかな？
- ③ やや急に降ろしてみる
→ 手のひらを感じる消しゴムの重さは変化したかな？
- ④ 急に降ろしてみる
→ 手のひらを感じる消しゴムの重さは変化したかな？

●結果は？ 同じ実験を何人かで繰り返してみましょう。

①では、同じ重さを感じる

②では、同じ重さを感じる

③では、少し軽く感じる

④では、短い時間だがまったく重さを感じない

となったでしょうか？

(2) じつは、「微小重力状態の観察Ⅰ」の実験に使った箱の中の空間も、手のひらの消しゴムを囲む空間も同じ状態であると考えられるのです。

①～④で、手のひらの消しゴムを囲む空間の加速度（時間とともに速さが変化する率）を考えてみましょう。

① 加速度は 0cm/sec^2

② 加速度は 0cm/sec^2

③ 加速度は小さい

④ 加速度は大きい

●わかったことは、

空間が静止または一定の速さで動いている場合は、消しゴムの重さは軽くならない。

消しゴムの重さは『空間が加速度を持っているかで決まる』ということです。

(3) このことから③と④で手のひらが感じる重さが違う理由もわかります。

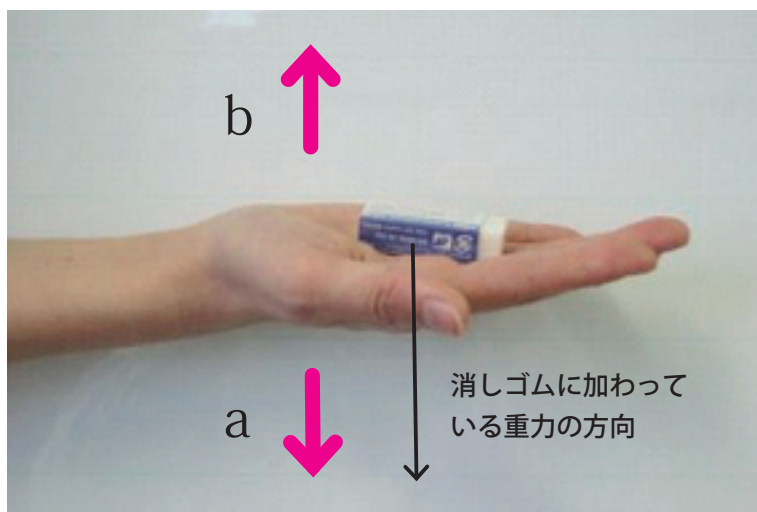
つまり

空間の加速度が0 → 消しゴムの重さは変わらない

空間の加速度が0でないとき → 消しゴムの重さが変わる

ということです。

実験2 重力加速度と自由落下



消しゴムに加わっている重力の方向と同じ向きに手のひらを急に動かした場合（図の a）と、反対の方向に急に動かした場合（図の b）で、手のひらはどのように感じるでしょうか。（*消しゴムでわかりにくいときは、石など少し重いもので勢いよく持ち上げてみましょう。）

(a) の方向：軽く感じる

(b) の方向：より重たく感じる

(1) 図の b の方向に加速度 α で消しゴムを上を上げるとき、下向きに $m\alpha$ の慣性力がはたらくので、手のひらにはたらく力 f は、重力加速度を g (* 1) と置くと、

$$f = mg + m\alpha = m(g + \alpha)$$

となります。したがって、 $\alpha = g$ のとき $f = 2mg$ となり、手のひらは消しゴムの 2 倍の重さを感じます。

(2) 逆に、図の a のように、加速度 β で消しゴムを下に下げると、上向きに $m\beta$ の慣性力がはたらくので、手のひらにはたらく力 f は、

$$f = mg - m\beta = m(g - \beta)$$

となります。したがって、 $\beta = 0.5g$ のとき $f = m(g - 0.5g) = 0.5g$ となり、手のひらは消しゴムの半分の重さを感じます。

(3) $\beta = g$ のときは $f = m(g - g) = 0$ となり、手のひらは消しゴムの重さを感じません。

(4) つまり、**重力加速度と同じ加速度で重力の方向に落下している（これを自由落下と呼びます）空間では、物体は重さを感じないこと**になります。

* 1:「 g 」は重力加速度と呼ばれる量で、地球上の地面では 9.8m/s^2 という値になります。地球の質量を M 、地球の中心から考えている空間までの距離を r 、重力定数（万有引力定数）を G とすると、

$$g = \frac{GM}{r^2} \text{ です。}$$

2 自由落下と人工衛星

(1) 地球上のある点から水平にボールを投げるとボールは地面に落ちますね。これはきみたちがふだん体験していることですね。それでは、ボールを投げる速さをどんどん速くしていくとどんなことが起こるでしょうか？

ボールはより遠くに落ちることになります。このとき、ボールを水平に投げ、地面に届くまでの時間 t (投げたから地面に届くまでの時間) を測ってください。

静かに落としたときは 秒、

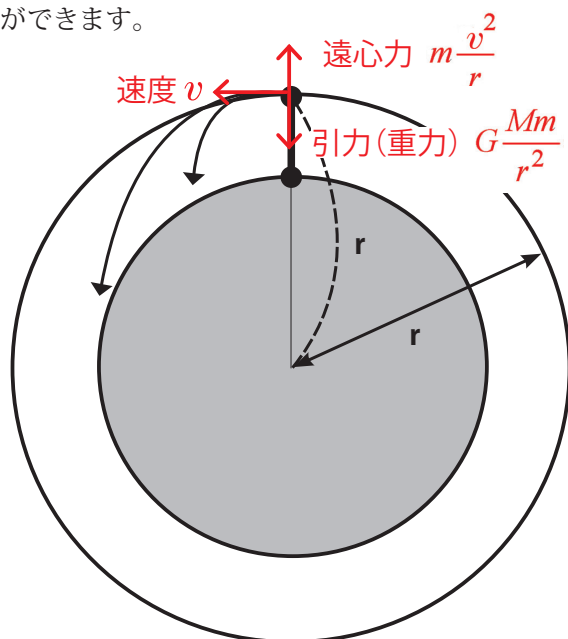
10m くらい投げたときは 秒、

40m くらい投げたときは 秒 (水平にこんなに遠くまで投げられないかもしれませんが……)

(2) 投げたボールが届いた距離は違って、投げたから地面に届くまでの時間は変わりません。

つまり、ボールはどんな場合も地面に向かって自由に落下しているのです。水平に投げる速度が速いほど、地面に届くまでの時間のあいだに、より遠くまで届くのです。

(3) では、このボールをもっともっと速くしたらどうでしょうか。……ボールは地球を回りはじめます。このときの速さは、ボールにかかる地球の引力とボールが地球を回るときに生じる遠心力がつりあっているとして求めることができます。



v : ボールの速度
 m : ボールの質量
 r : 地球の中心からボールまでの距離
 M : 地球の質量
 G : 重力定数 (万有引力定数)

すなわち、地球がボールを引っ張っている力 (引力) $G \frac{Mm}{r^2}$ とボールに働く遠心力 $m \frac{v^2}{r}$ とがつりあっているので、

$$G \frac{Mm}{r^2} = m \frac{v^2}{r} \quad (1)$$

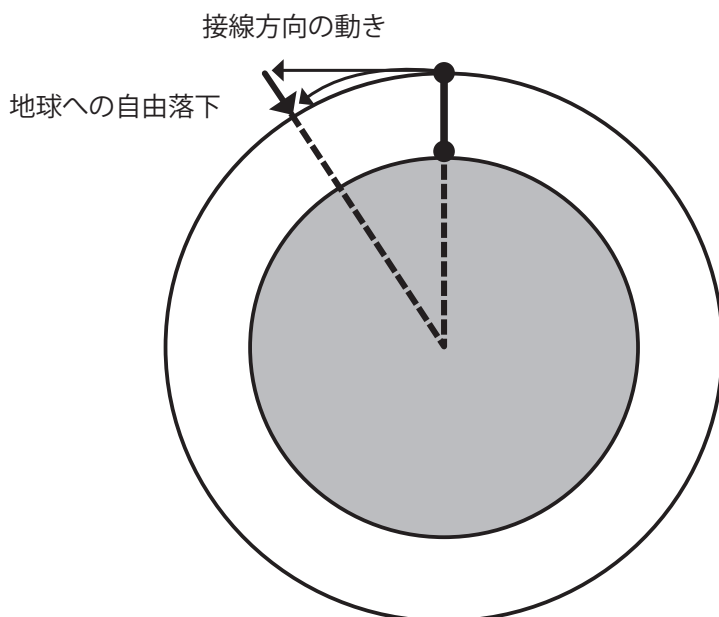
が成り立ちます。従って、このときのボールの速度は

$$v = \sqrt{\frac{GM}{r}} \quad (2)$$

となります。この式に $G=6.67 \times 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$ と地球の質量 $M=5.974 \times 10^{24} \text{kg}$ と地球の半径 $r = 6.378 \times 10^6 \text{m}$ (6378km) を入れると、 $v = 7900 \text{m/s} = 7.9 \text{km/s}$ となります。(自分で計算してみましょう。)

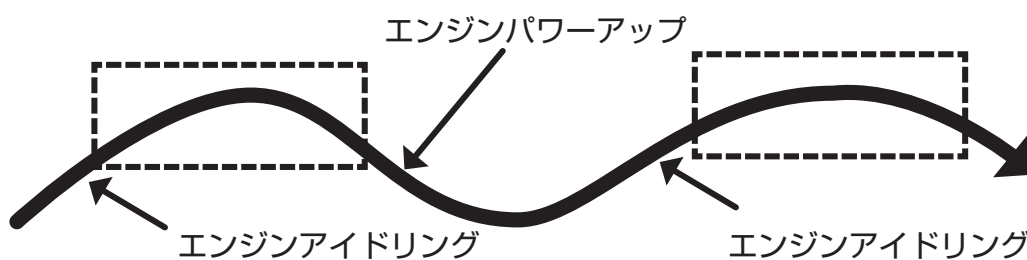
スペースシャトルや人工衛星はロケットなどで7900m/s以上までに加速しているので地球を回りつづけることができるのです。

それでもボールと同様に地球に向かって自由落下していることには変わりありません。例えば、秒速7900m/sで動いている人工衛星は1秒間で7900m進みますが、この間 $s = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{1}{2} \times 9.8\text{m/s}^2 \times 1\text{s}^2 = 4.9\text{m}$ だけ自由落下します。拡大して描くと下図のようになります。



したがって、地球を回っているスペースシャトルも常に地球に向かって自由落下しているのです。このためスペースシャトルの中も微小重力（重力がほとんどない状態）になっています。

また、宇宙飛行士の訓練によく用いられている方法として飛行機による方法があります。飛行機の速さを増して急上昇して、エンジンのパワーをアイドルにする（下図の点線で囲んだところ）と飛行機も自由落下に近い状態になります。このとき飛行機内は微小重力状態になっているのです。



科学する心を
育てよう

- ①スペースシャトルや宇宙ステーションの中のようなすをビデオで見せて、なぜふわふわ浮いているか考えさせる。宇宙船の中も、「手のひらの消しゴムのまわりの空間」と同じような状態になっているのだろうか。
- ②スペースシャトルや宇宙ステーションの中も同じように地球に向けて落下しているが、地球を速く回るために実際は地球に落ちないのだと気づかせる。

学習指導要領
との関連

小学校	3年	理科（粒子）	物と重さ
中学校	3年	理科（エネルギー）	運動の規則性
中学校	3年	数学（関数）	関数 $y=ax^2$

キーワード 微小重力、宇宙、加速度、自由落下、引力、遠心力、重力定数、万有引力定数

教材提供 : 日本宇宙少年団福岡分団 麻生茂氏
発行 : 宇宙航空研究開発機構 宇宙教育センター

協力 : 財団法人日本宇宙少年団 YAC 株式会社学習研究社
©JAXA2013 無断転載を禁じます