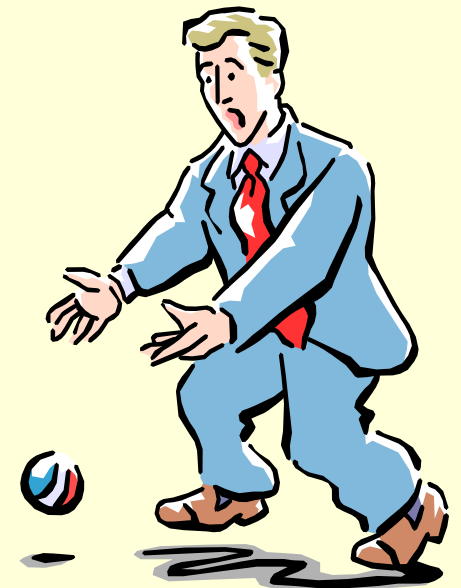
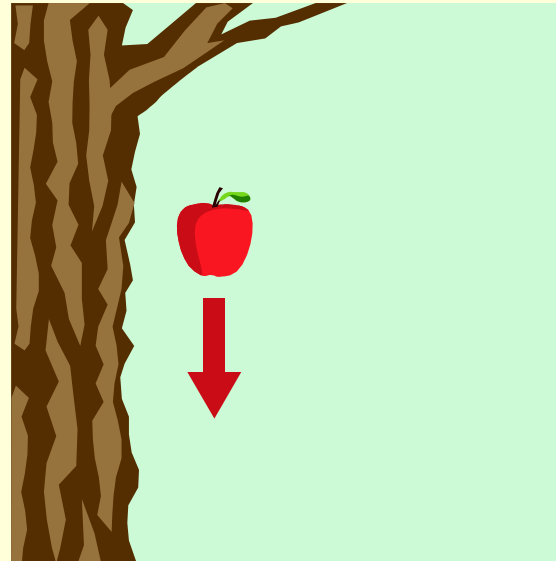
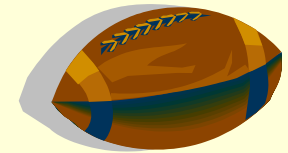


# 第4章 ニュートンの法則の 応用

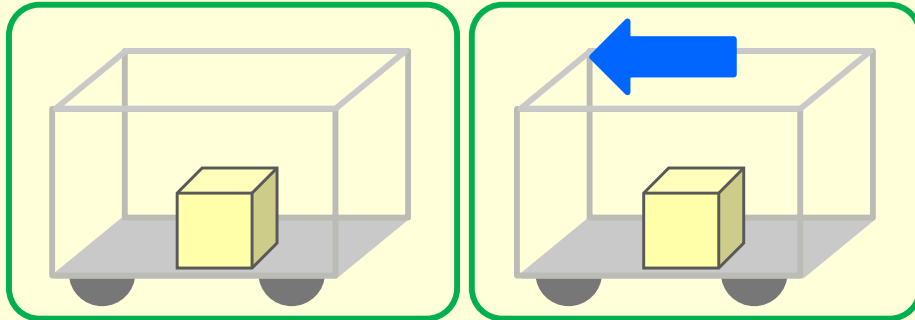
慣性力



# 誰が見ても運動方程式は成り立つか？

例 床が滑らか（摩擦がない）な電車の中の観測者

停車中または定速走行中



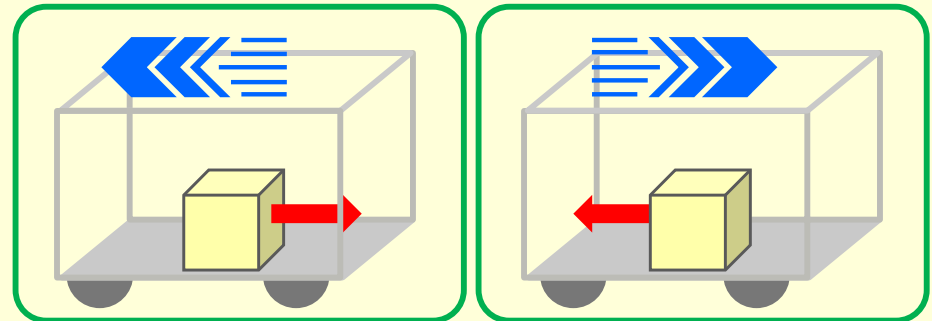
床に置いた物は...

**止まったまま**

重力と垂直抗力がつり合うため合力が0⇒加速度0

**運動方程式が成り立つ**

加速中または減速中



床に置いた物は...

**力を加えてないのに動く！**

**（加速→後、減速→前）**

**運動方程式が成り立たない**

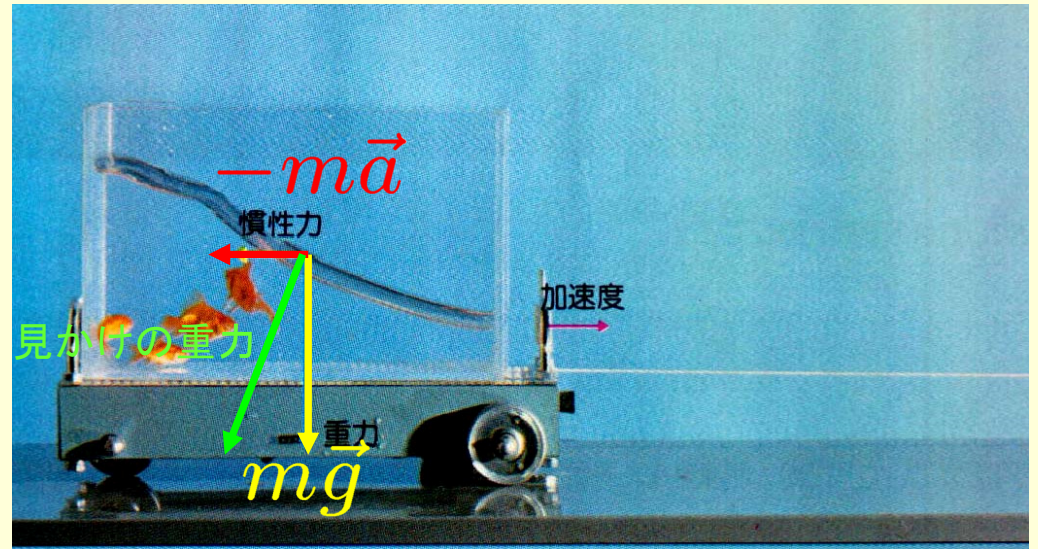
観測者の問題 電車の外から見れば、物体は等速度運動している

# 慣性力の例

車を引く(力を与える)と、その**反作用の力**が働くため、見かけの重力は斜めに働き、水槽の水面は斜めになる。



ところが...



車(に乗っている人)から見ると、水に**慣性力**が働き、水槽の水面が斜めになる。

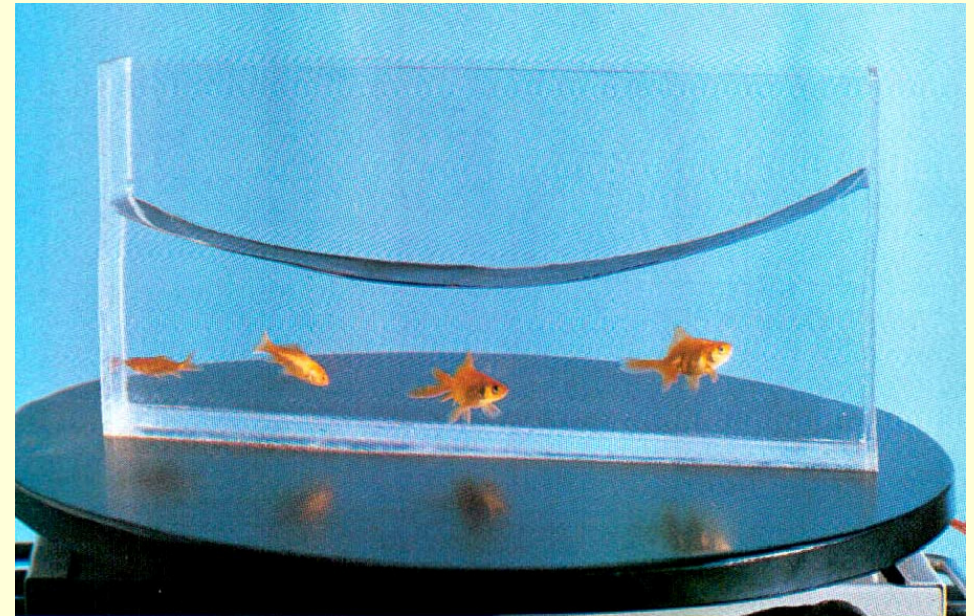
慣性の法則で等速運動をし続けることを「慣性力」で説明するしかない。



# 遠心力の例

外側の方が遠心力が大きい  
・・・外側の方が向心力が大きい  
ため

$$F = ma = m \frac{v^2}{r} = mr\omega^2$$

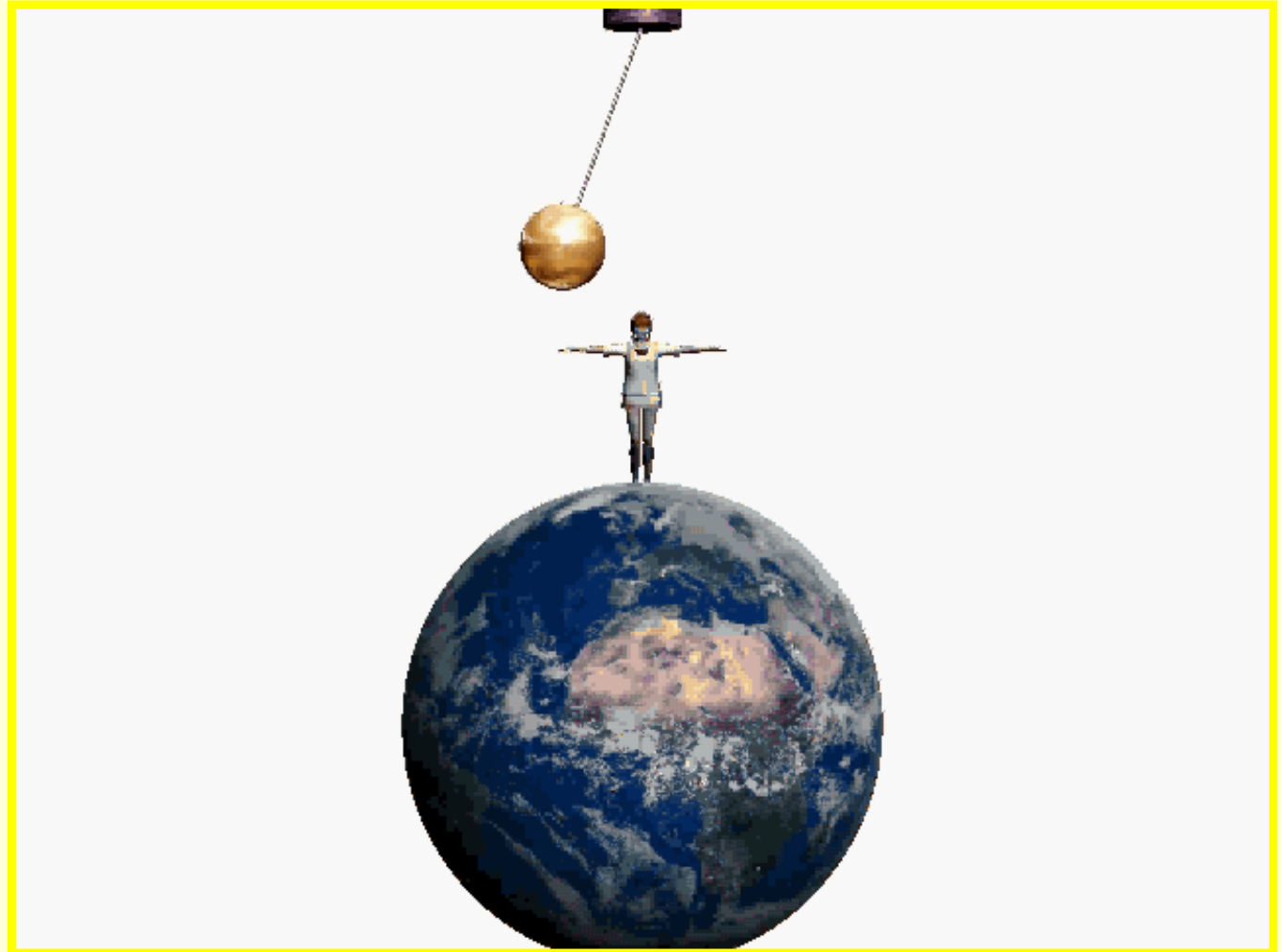


遊園地等の回転式のアトラクション・・・乗ってる人は外向きの力を感じる



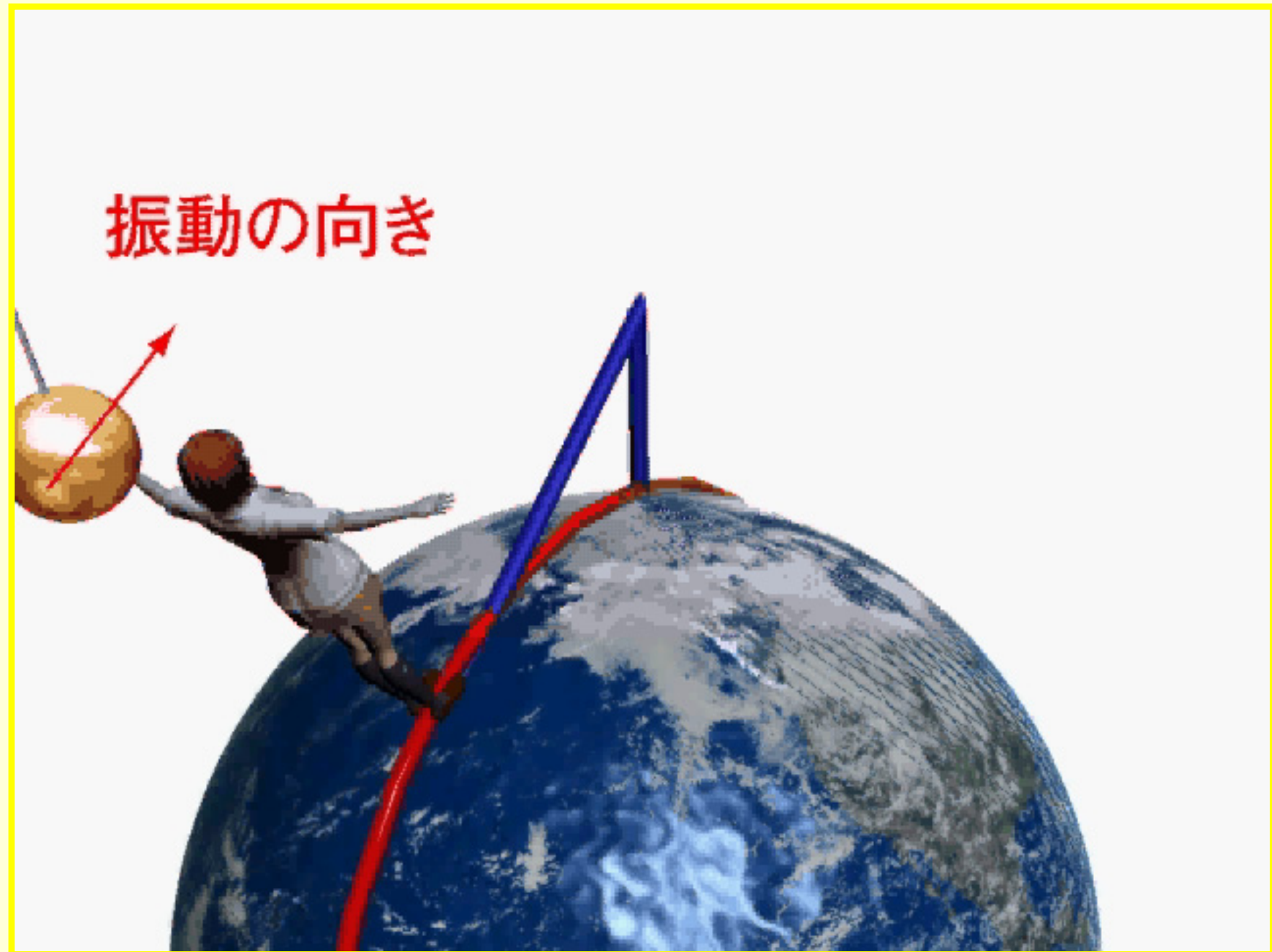
# フーコー振り子

外力の働かない振り子の振れる面(振動面)は一定である。北極点では、振り子から見ると、地球は自転により左に回転する。地球の人から見ると、振り子が右に回転するように見える。



このように、物体が回転することによって、速度の方向を曲げるように働く力を**コリオリ力**という。

# フーコー振り子





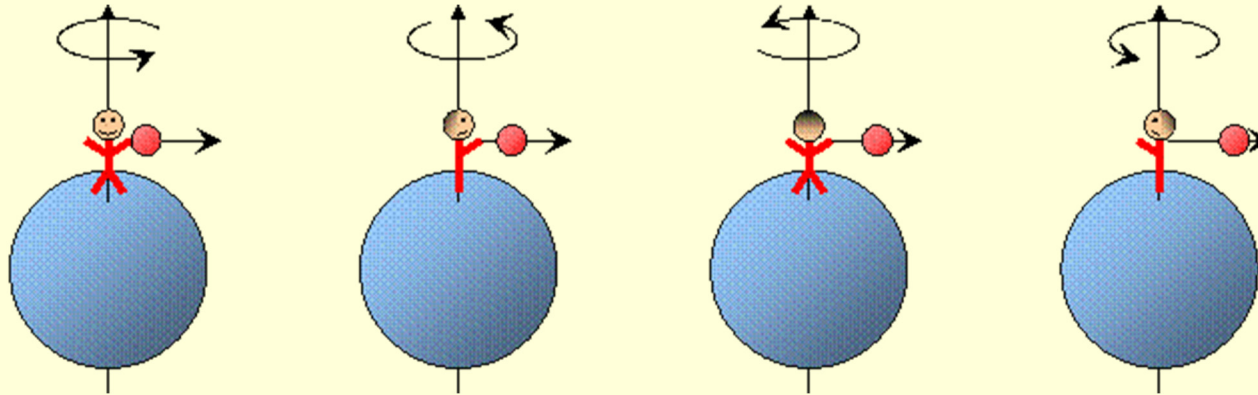
# フーコー振り子を使った時計

シカゴの産業科学博物館にあるもの。吹き抜けを利用して、天井から釣り下げられ、ゆっくりと振動している。

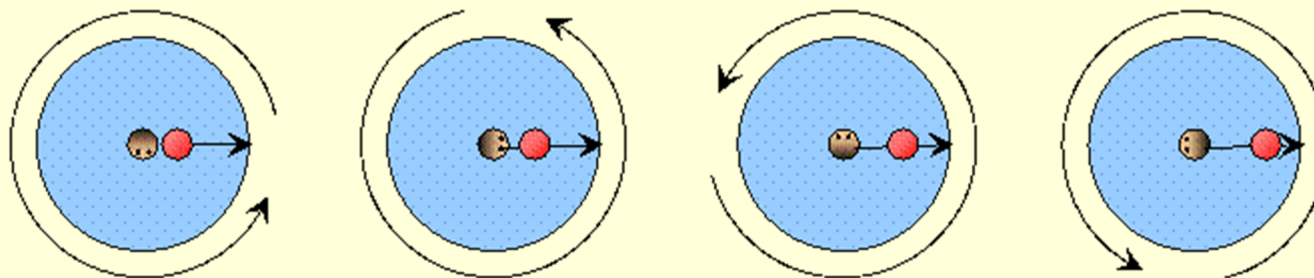


# コリオリ力

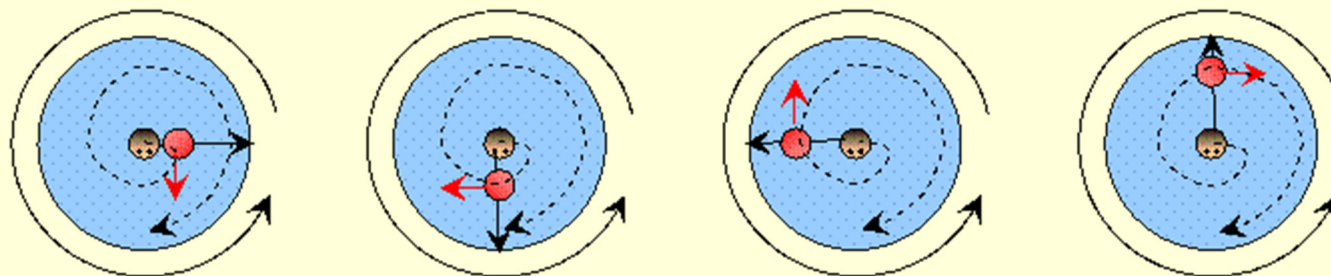
簡単のため北極から投げる



北極上空から見ると



投げた人から見ると右に逸れて行く





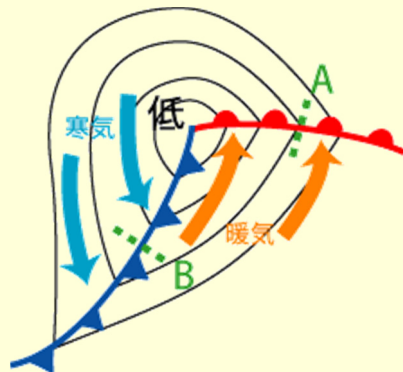
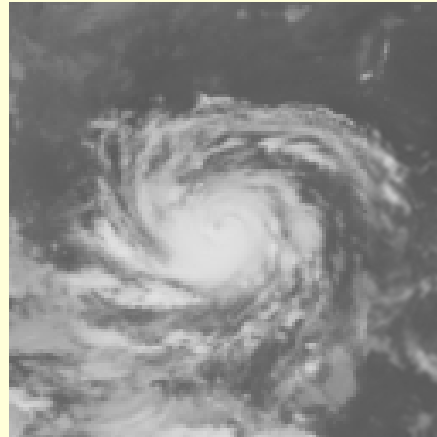
# コリオリ力による気象

## 台風・低気圧（前線）

上昇気流で気圧が低下

⇒流れ込む気流は左巻きの渦

北半球



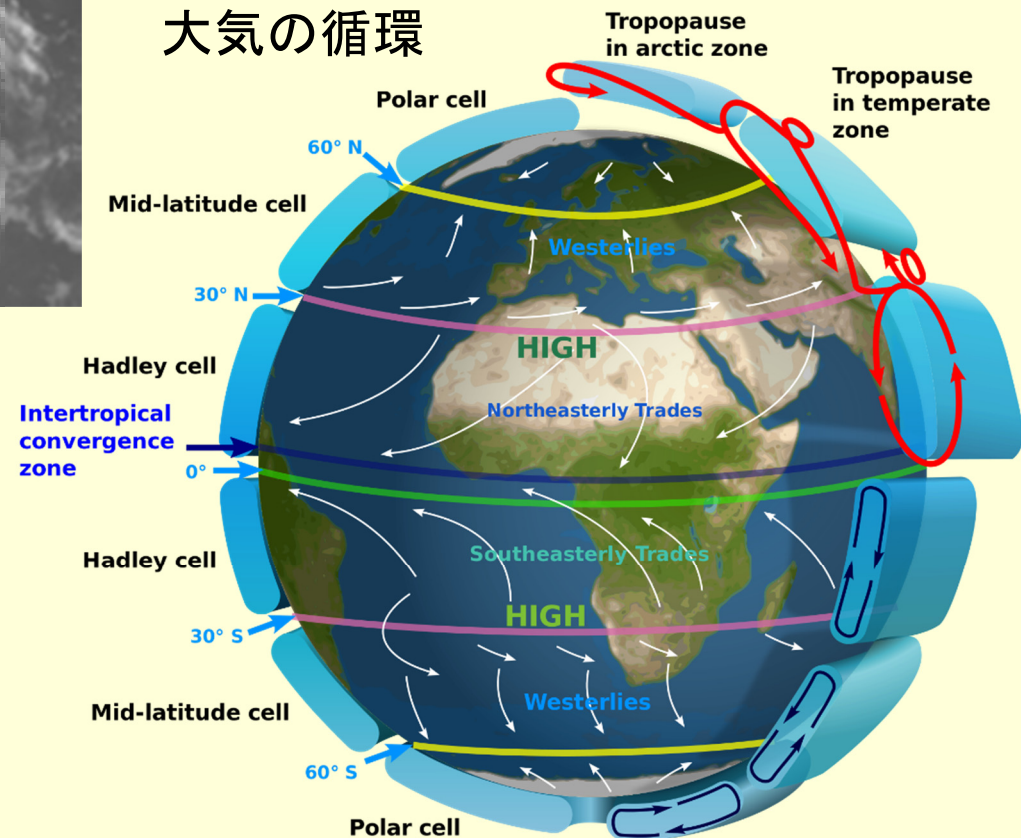
大気循環、偏西風、貿易風

教科書参照

排水口の渦

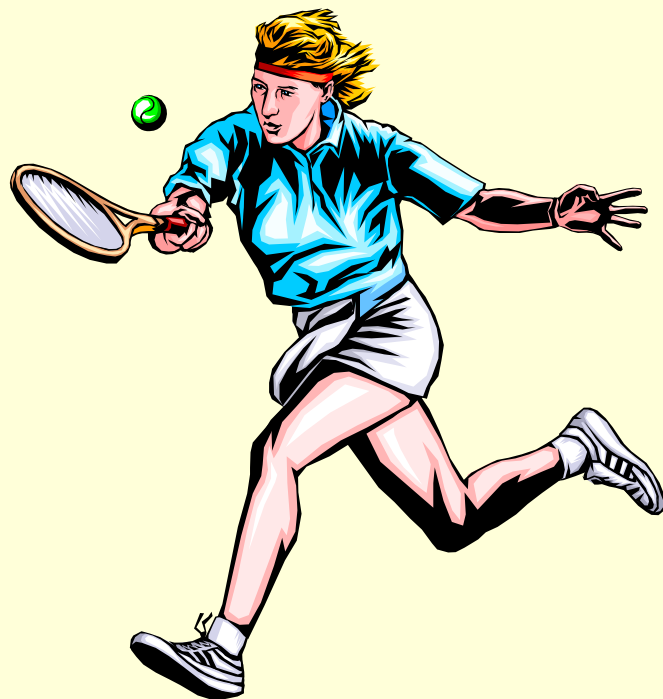


大気の循環



# 第5章 仕事とエネルギー

仕事・エネルギー



# 仕事

---

力学における仕事

英語でのWork  
workbookなど

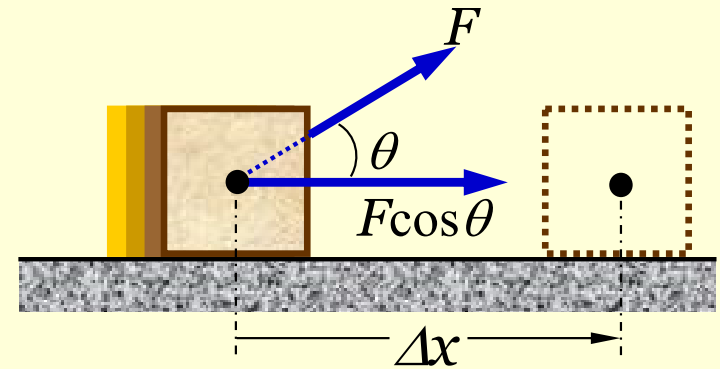
日本語の  
「すること」



# 仕事

図のように滑らかな床の上で、一定の力  $F$ 、床に対して角度  $\theta$  である物体を引くと、物体は床に沿って変位  $\Delta x$  だけ動いた。

このように一定の力が作用して変位を生じるとき、変位の方向における力の成分と、その変位の大きさの積を「仕事」という。すなわち、



仕事 = [力の大きさ] × [力の向きへの物体の移動距離]

$F$  の  $x$  方向成分は  $F \cos \theta$  であるから、 $F$  のした仕事  $W$  は、

$$W = F \cos \theta \times \Delta x = F \Delta x \cos \theta = \vec{F} \cdot \vec{\Delta x}$$

$F$  が物体にする仕事の条件

(1) 物体が変位をする。

物体が移動しないとき ( $\Delta x = 0$ )、物体には仕事がなされない

(2)  $F$  が  $x$  の方向にゼロでない成分を有する。

力が変位と垂直のとき仕事はゼロである



# 摩擦力と仕事

物体が粗い面上を水平に変位するときは、垂直抗力 $N$ および重力 $mg$ は仕事をしない。

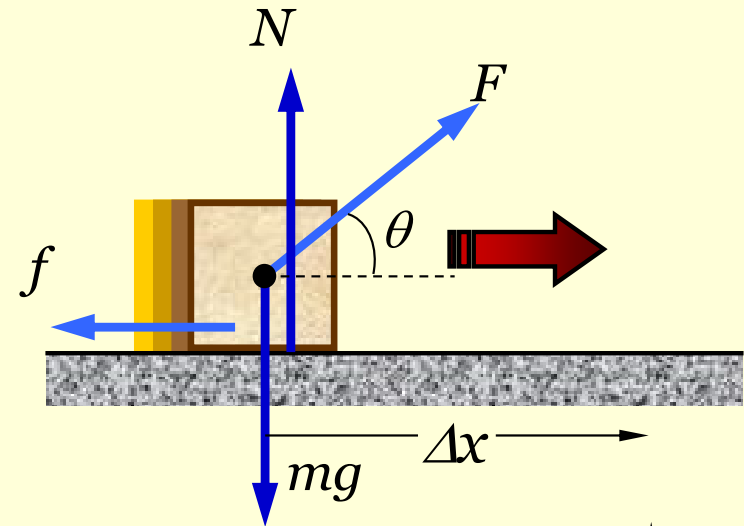
図のような構成の場合、 $F$ がした仕事 $W$ は、

$$W = F\Delta x \cos \theta$$

であり、摩擦力 $f$ がした仕事 $W_f$ は、

$$W_f = -f\Delta x = -\mu N\Delta x = -\mu mg\Delta x$$

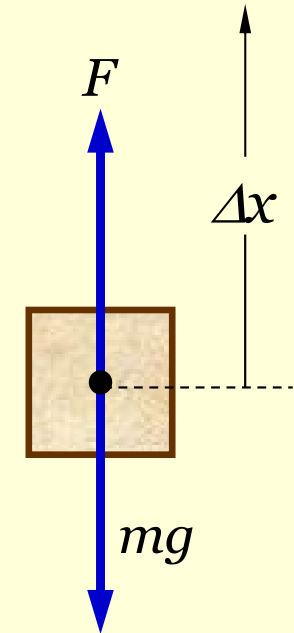
となる。



このように $W$ が負となる例はよくある。物体を上昇させようとするとき、物体に加えられた力がなす仕事は正である。なぜならば、上昇させる力は上向きで、その変位と同方向にあるからである。この場合、重力がした仕事は負である。

## 仕事の単位

仕事の単位は、定義から[Nm]となるが、一般には組立単位である[J(ジュール)]を用いる。



# ものを持ち上げる時の仕事

---

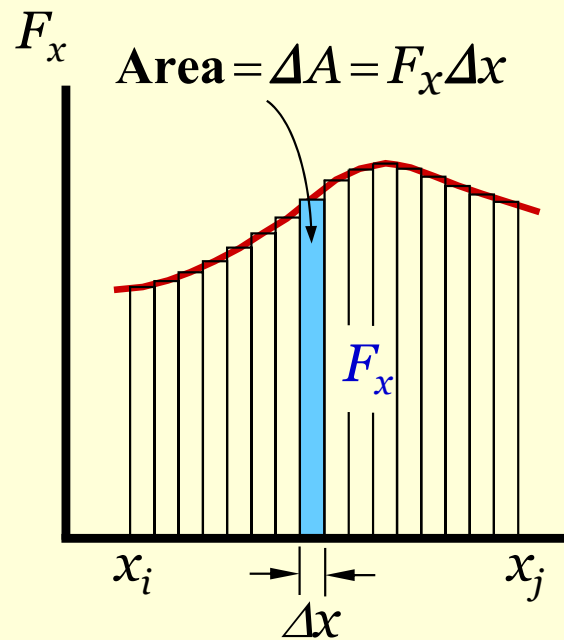


# 掃除

---



# 変化する力の仕事

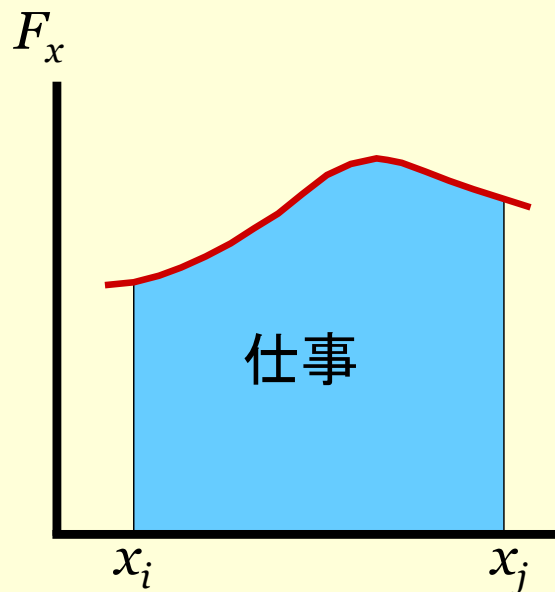


変化する力を受けて  $x$  軸 ( $x_i \sim x_j$ ) に沿って変位する物体を想定するとき、小さな変位  $\Delta x$  について力  $F_x$  がした仕事は、

$$\Delta W = F_x \Delta x$$

となる。これは上図の青色長方形の面積に等しい。したがって、質点が  $x_i$  から  $x_j$  まで運動するときの全仕事は、全ての長方形の和となり以下のように表せる。

$$W = \sum_{x_i}^{x_j} F_x \Delta x$$



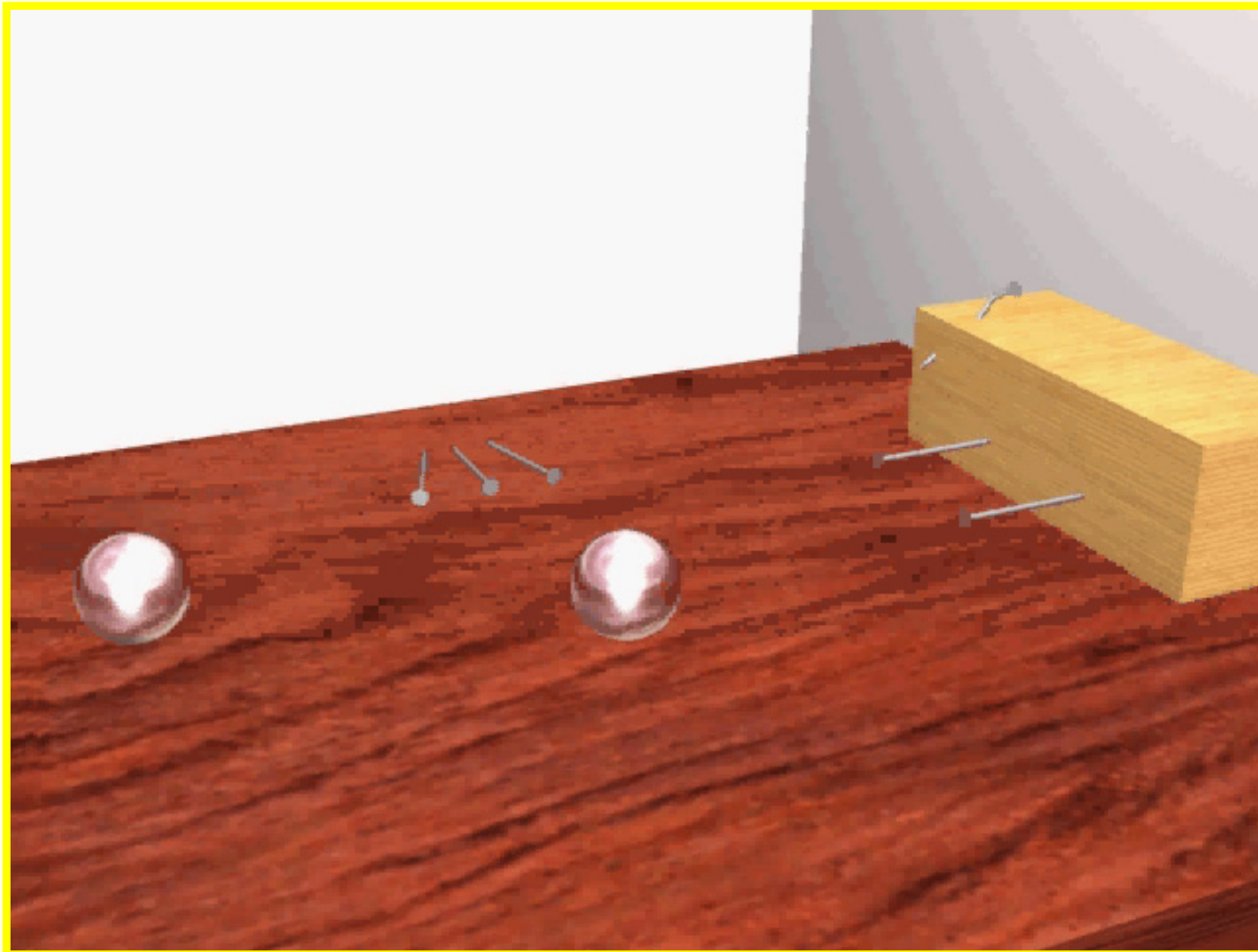
したがって、下図のように  $x_i$  から  $x_j$  まで連続的に変化する力の仕事は下式で与えられる。

$$W = \int_{x_i}^{x_j} F_x dx$$

# 運動と仕事

---

ボールを転がして釘にぶつけると、釘を打つことができる！  
→運動している物体は仕事をすることができる！





# 仕事と運動エネルギー

質量 $m$ の質点が  $x$  軸上を距離  $s$  だけ一定の加速度 $a_x$ で変位するとき、力 $F_x$ がする仕事 $W$ は、

$$W = F_x s = m a_x \cdot s$$

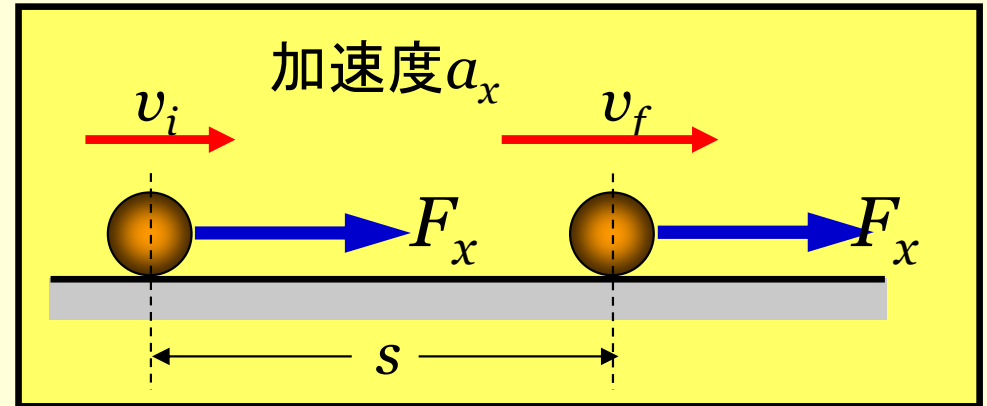
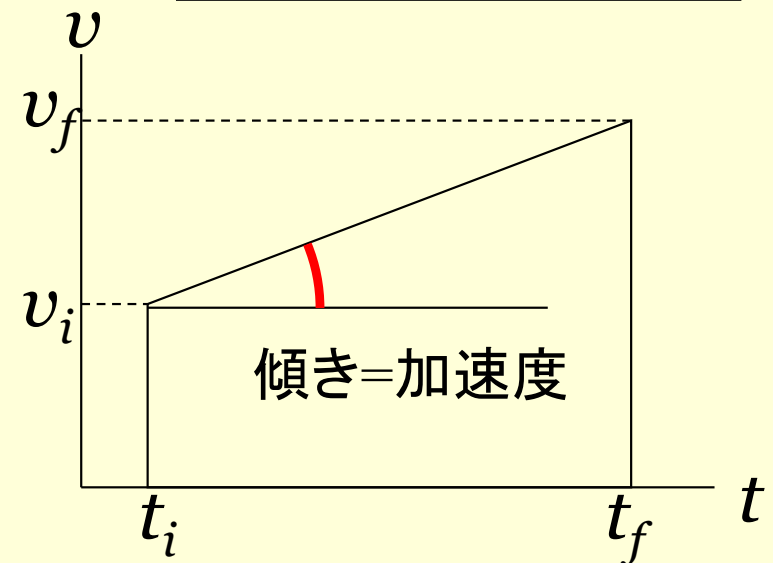
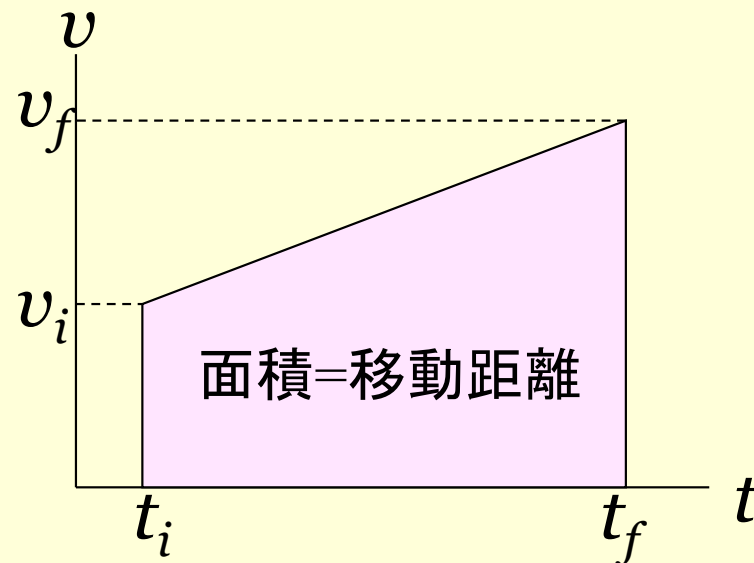
となり、 $s$  および  $a_x$  は、

$$s = \frac{(v_i + v_f) \cdot (t_f - t_i)}{2}, \quad a_x = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

距離＝速さ×時間

加速度＝速さ÷時間

となる。



# 仕事と運動エネルギー

$$W = F_x s = m a_x \cdot s$$

と、

$$s = \frac{(v_i + v_f) \cdot (t_f - t_i)}{2}, \quad a_x = \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i}$$

から、

$$W = m \cdot \frac{v_f - v_i}{t_f - t_i} \cdot \frac{(v_i + v_f) \cdot (t_f - t_i)}{2} = \frac{1}{2} m v_f^2 - \frac{1}{2} m v_i^2$$

となる。

この「**質量の1/2と速さの2乗との積を質点の運動エネルギーと定義する**」。すなわち、**質量** $m$ で**速さ** $v$ の質点の**運動エネルギー** $K$ は以下のように表すことができる。

$$K = \frac{1}{2} m v^2$$

# 運動エネルギー



ハンマーが釘に  
当たるときの  
運動エネルギー

$\frac{1}{2}mv^2$

釘を押し込む  
(釘のされた仕事)

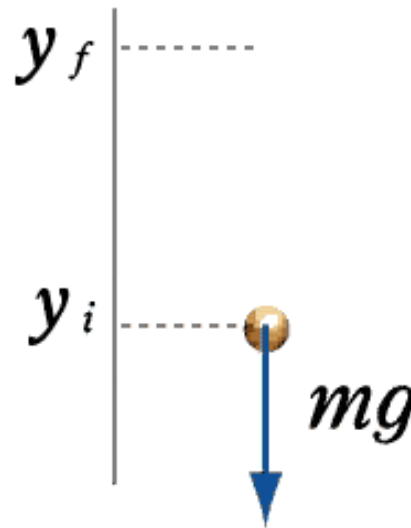
エネルギーと仕事  
は同じもの？

単位は・・・  
同じ[J(ジュール)]  
を使う！

# ポテンシャルエネルギー

運動エネルギーに変えることのできる潜在的エネルギーをポテンシャルエネルギーという。

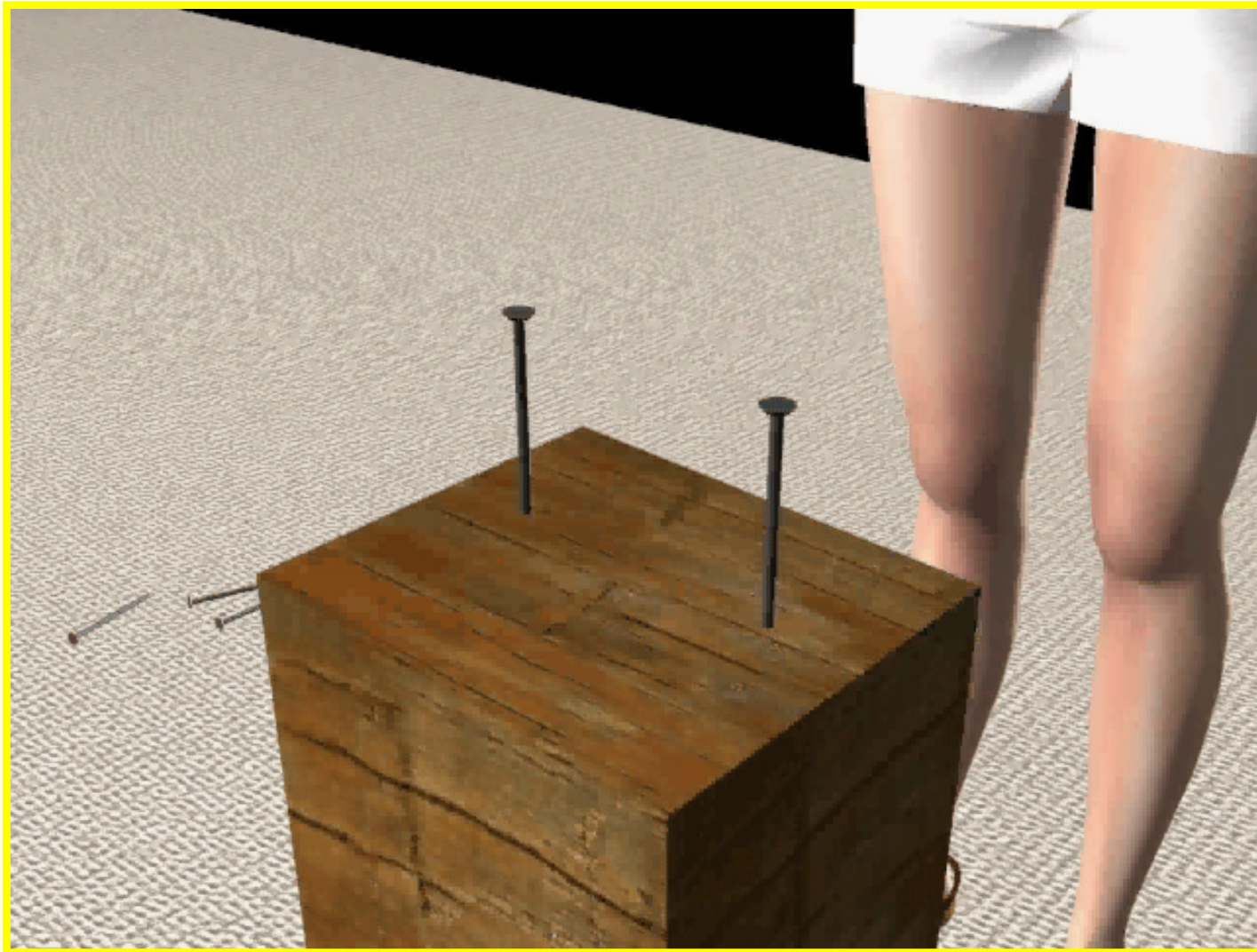
重力のある  
中で持ち上  
げられた物  
体は、(重力  
の)ポテン  
シャルエネ  
ルギーをもつ。



# ポテンシャルエネルギーの大きさ

---

持ち上げる高さを変えるとポテンシャルエネルギーはどうなるか？

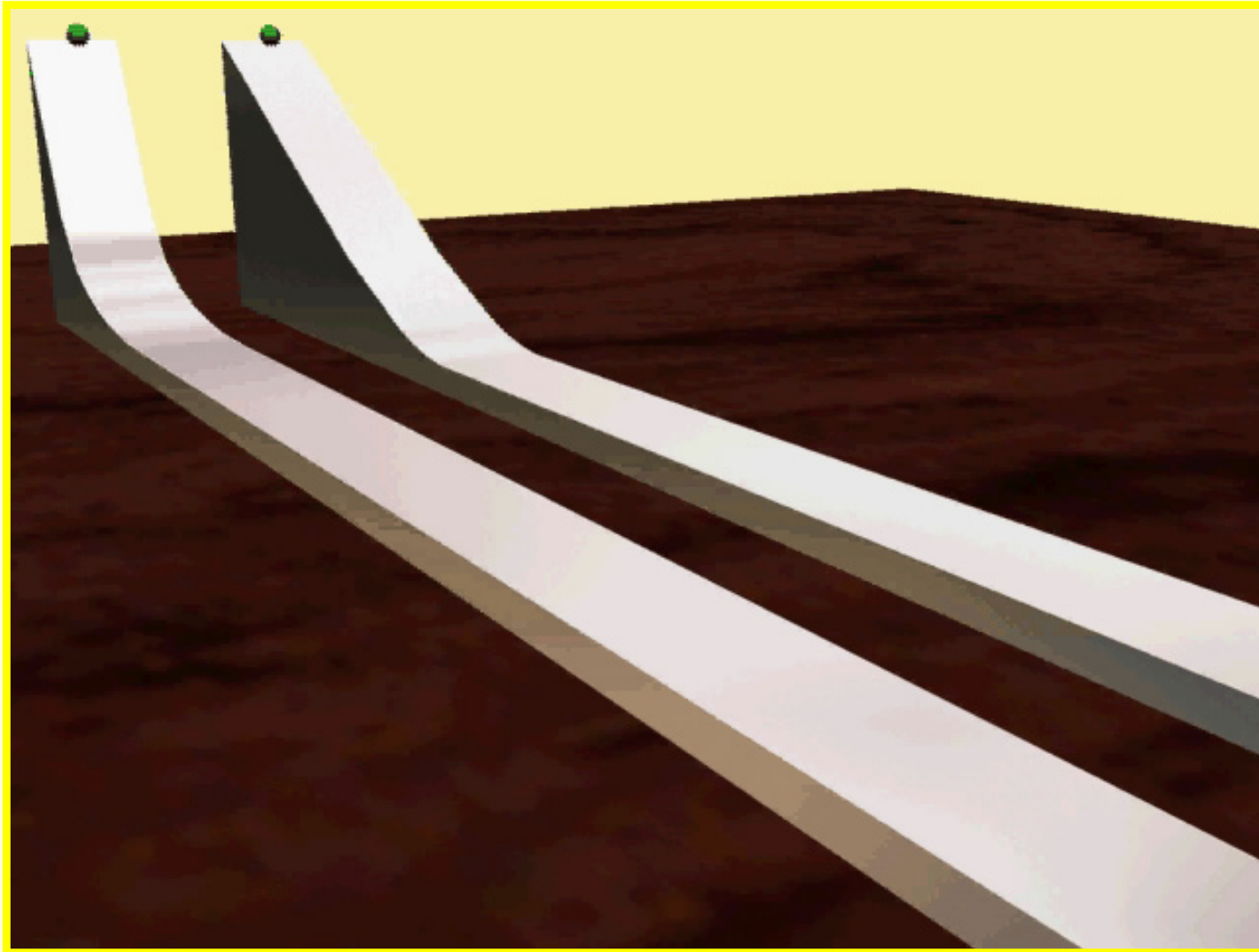




# 位置エネルギーと運動エネルギー

---

高さの同じ角度の違う斜面を転がる玉の運動エネルギーは？



# 位置エネルギーと運動エネルギー

ガリレイは、滑らかな斜面を転がり落ちた球が初めと同じ高さまで上って行き、坂を降りた地点で得られた運動は永久に続くとまとめた。

質量 $m$ の物体を、高さ $h$ まで運び上げたときの仕事 $W$ は、

$$W = mgh$$

である。これは $h$ の高さを走り降りる位置エネルギー（ポテンシャル・エネルギー）といえる。物体が $h$ だけ降りるのに時間 $t$ かかったとすると、速度 $v$

は、

$$v = gt$$

また、

$$h = \frac{1}{2}gt^2$$

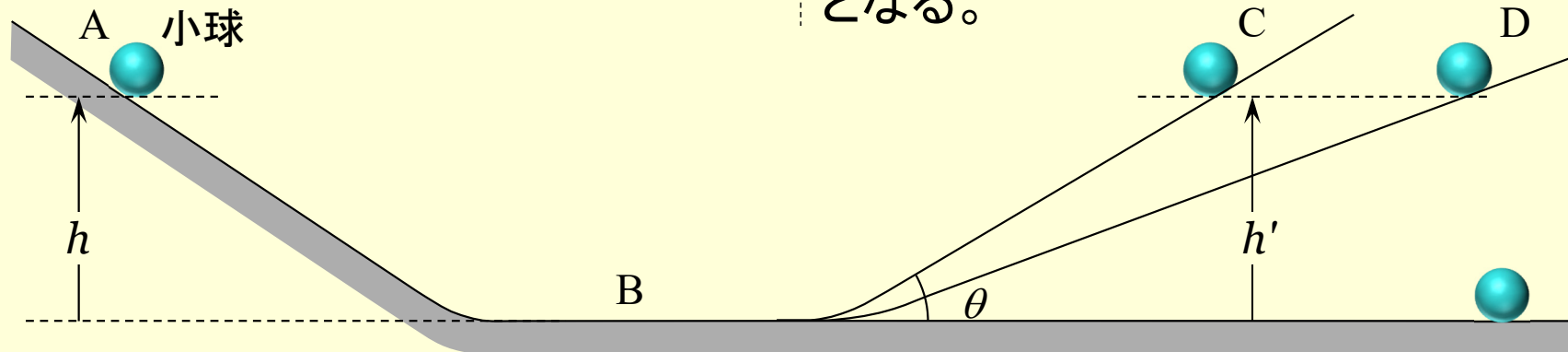
から、

$$gh = \frac{1}{2}v^2$$

両辺に質量 $m$ をかけると、

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

となる。



# エネルギー保存の法則



助走で蓄えられた運動エネルギーによって人は重力に逆らって上昇し、位置エネルギーを増す。最上点に達した後、加速されて落下する。落下後のショックをやわらげるためにクッションが使用される。

摩擦などのない転がり運動では以下の式が成立する。

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

落体は位置エネルギーを失って速度を得て、運動エネルギーの形となる。運動エネルギーを持った球は、上り坂があると $h$ の高さまで登る。摩擦などを無視すると位置エネルギーと運動エネルギーの和  $E$  は常に一定となる。これを**力学的エネルギー保存の法則**という。

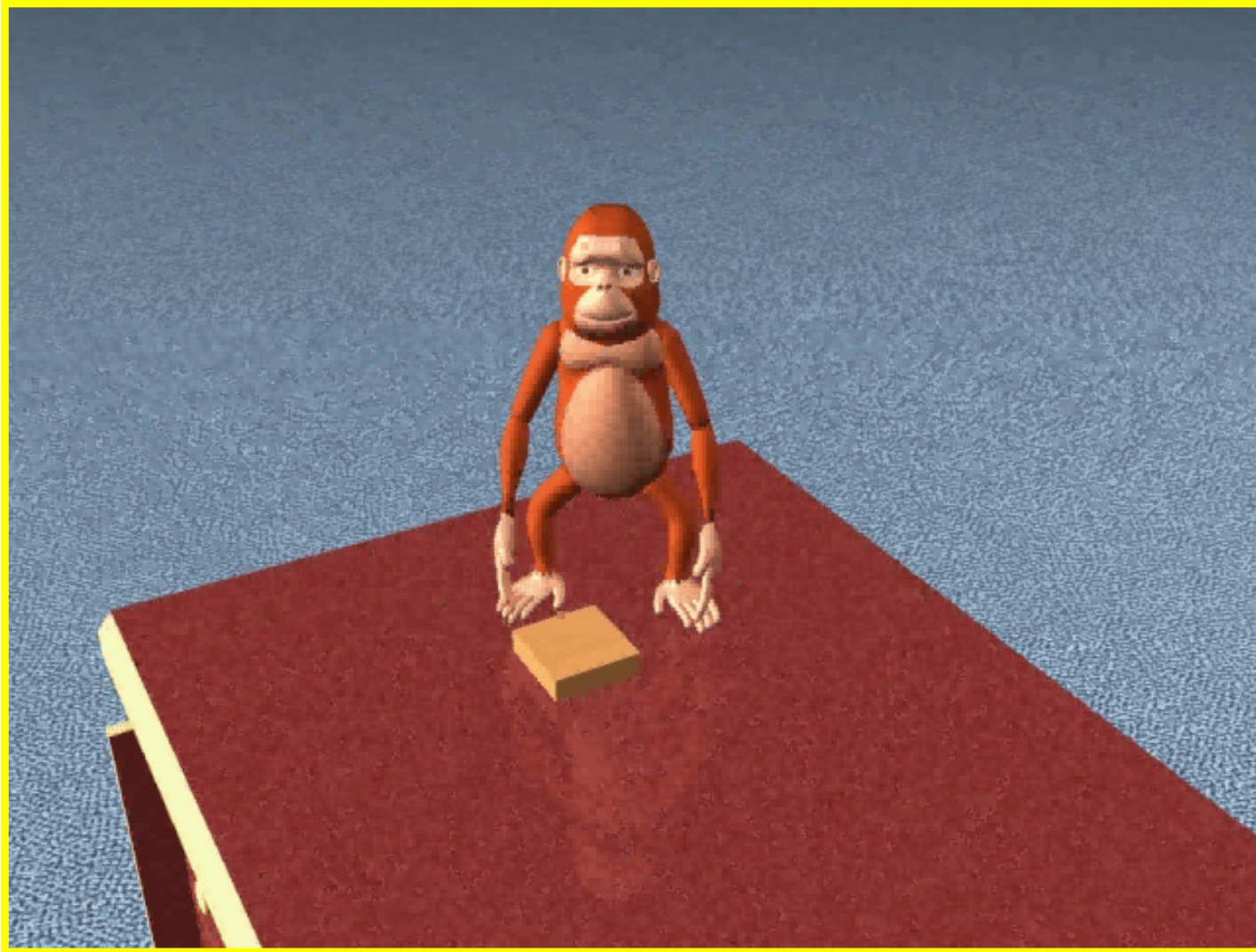
$$E = \frac{1}{2}mv^2 + mgh$$



# 保存しない力とエネルギー保存

---

摩擦のある床で物体を滑らせると・・・止まってしまう

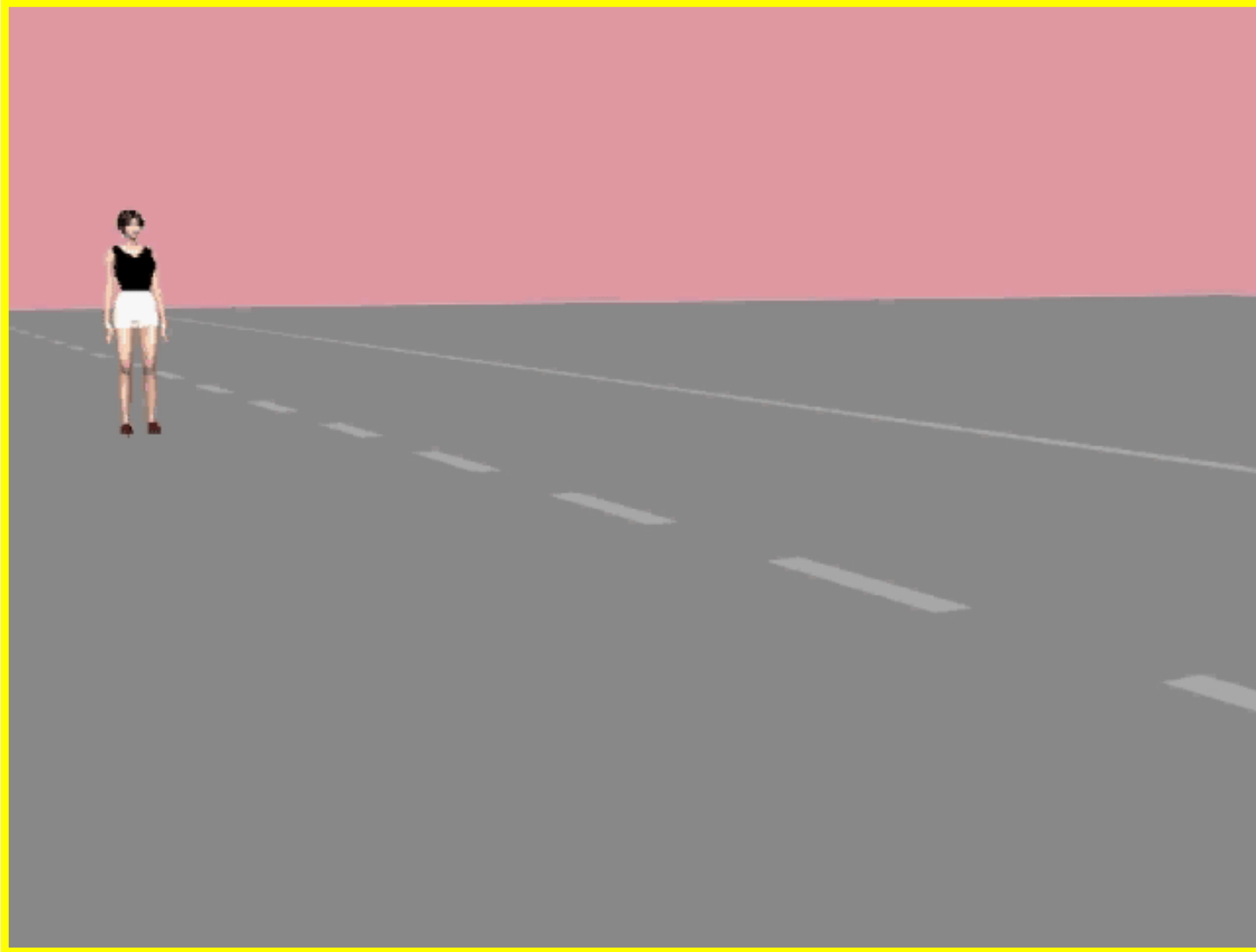


エネルギーはどこへ？・・・摩擦力→熱！（分子の運動）後期へ

# 保存しない力とエネルギー保存

---

空気抵抗のある中をランニングする



空気抵抗→ミクロに見ると、空気分子の運動Eになっている。