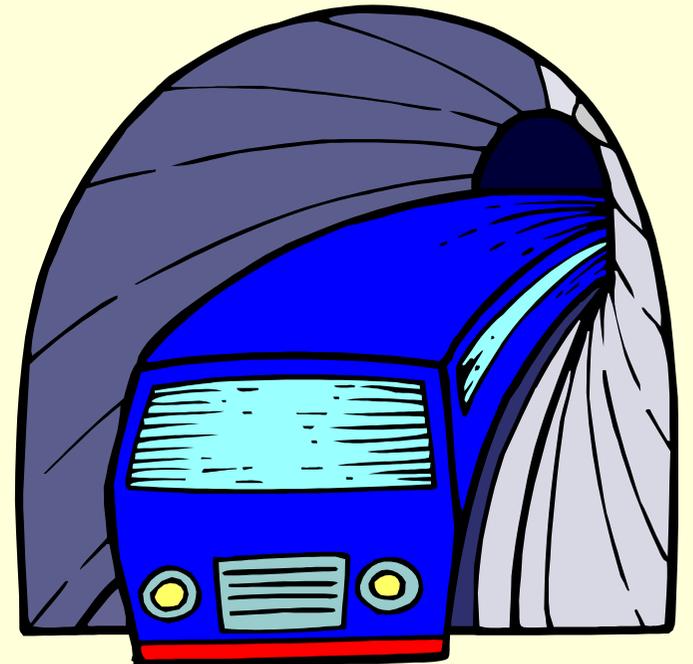
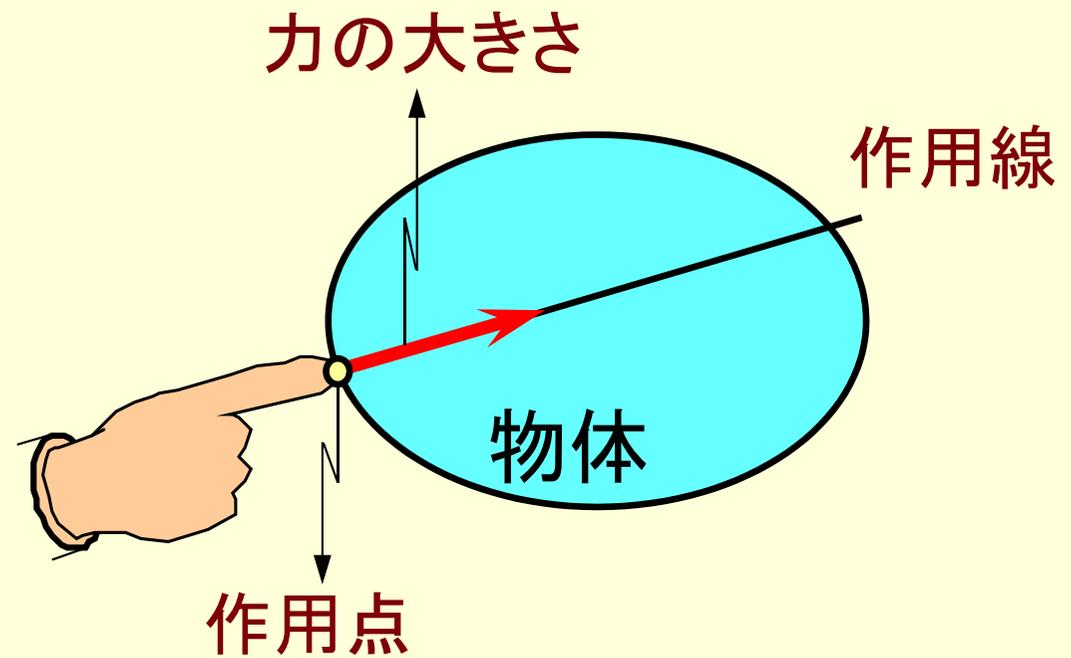


第3章 運動の法則と力

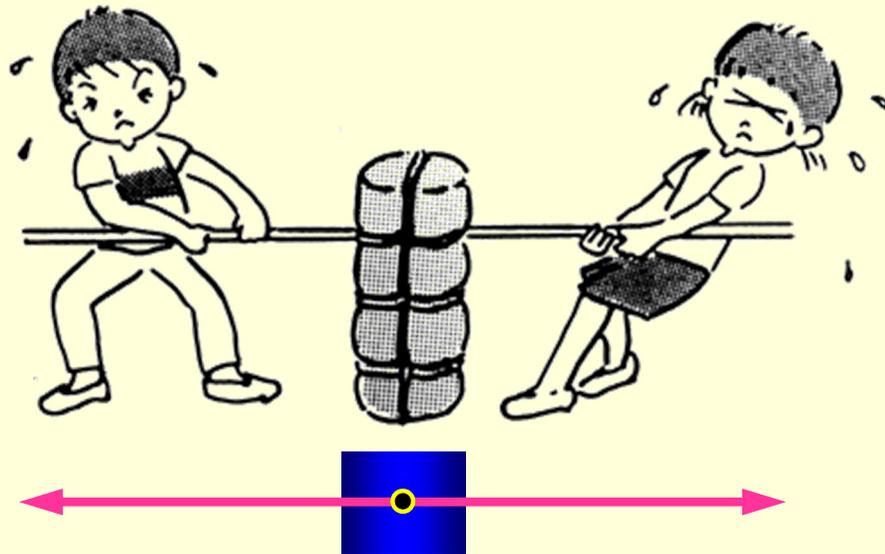


力の表し方

図のように物体に力を与えたとき、その力が作用する点を**作用点**、力の方向を向いた矢印を**作用線**という。作用線上の矢印が力の**向き**と**大きさ**(**ベクトル**)を表している。



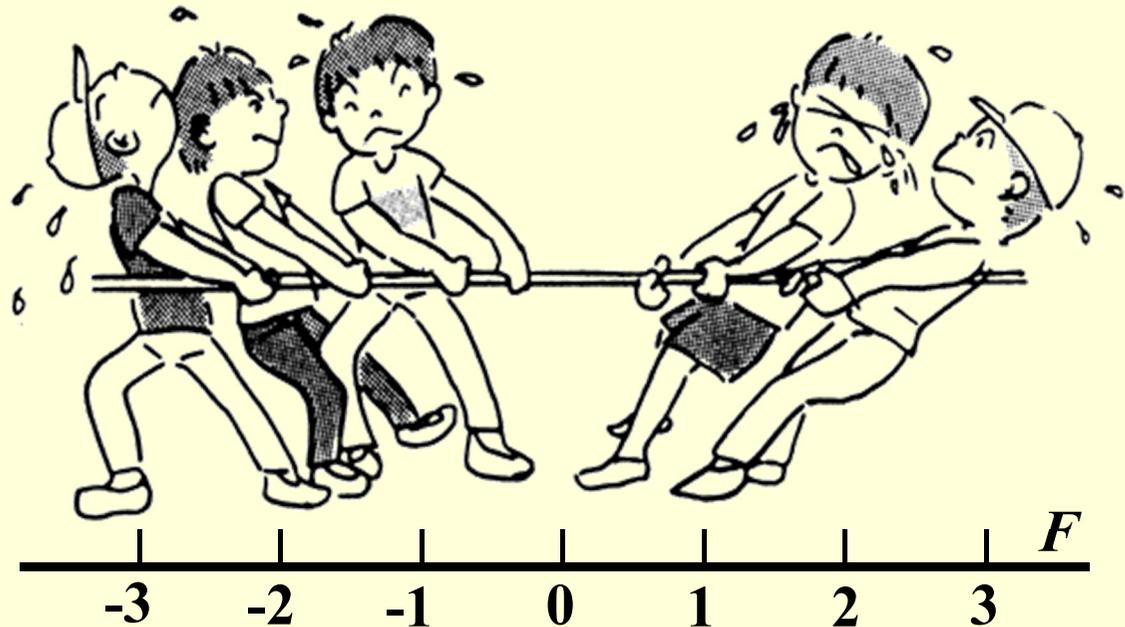
力の性質



同じ力で反対に引っ張っても物は動かない

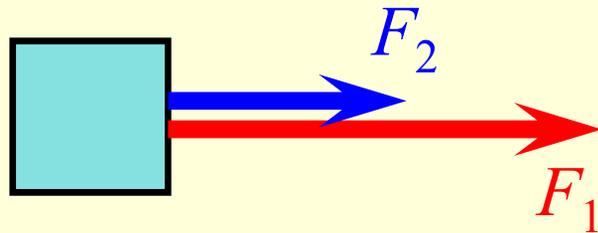
一直線上の力はそのまま計算できる

$$-3 + 2 = -1$$

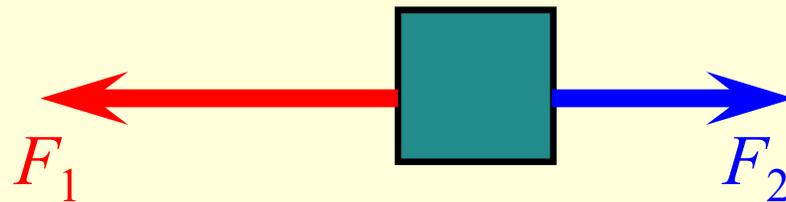


力の合成

同一線上に働く2つの力の場合、2つの力と同じ作用をする1つの力を求めることを「**力の合力**」という。2つの力が同じ向きの力 F_1 、 F_2 のときは $F_1 + F_2$ 、反対のときは差としての $F_1 - F_2$ となる。すなわち、合力は単純な足し引きで決まる。

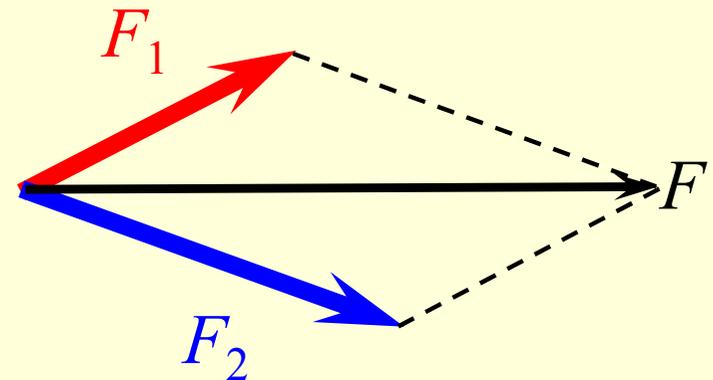


$$F = F_1 + F_2$$



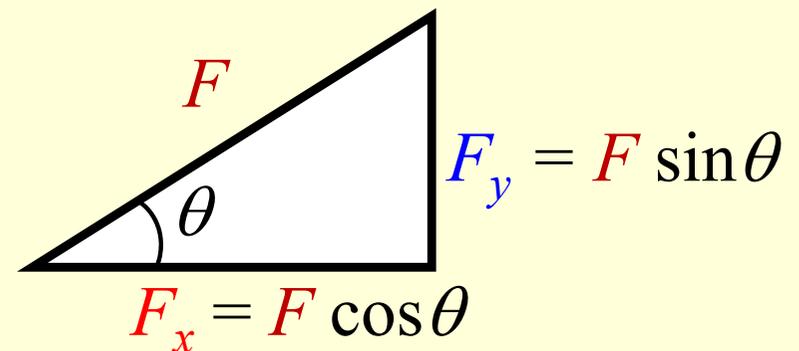
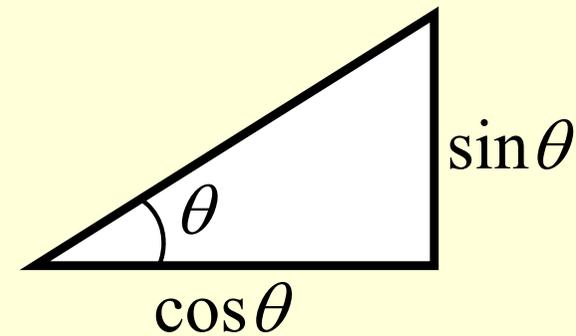
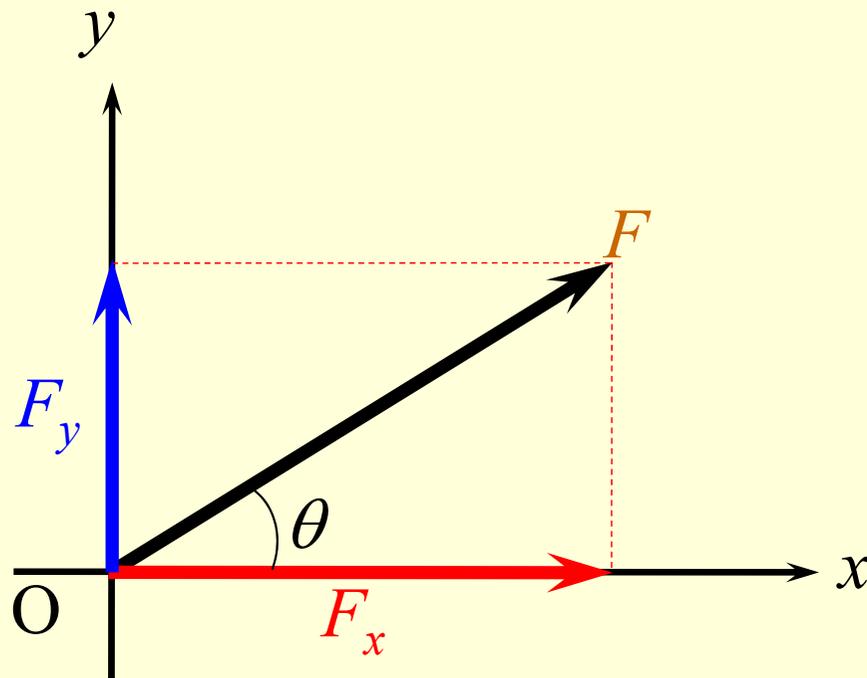
$$F = F_1 - F_2$$

角度をもった2つの力の場合、それぞれを辺とした**平行四辺形の対角線**で合力を求めることができる。すなわち、力の方向性を考慮しなければならない。



力の分解

力の分解とは、ある方向をもった力を x 軸と y 軸といった決まった方向に分けることをいう。例えば、 F という力があり、これを x 軸と y 軸に分けると、図のように x 軸と y 軸上に F_x と F_y をつくることができる。つまり、力 F は F_x と F_y に分解されたことになる。



ニュートンと運動の法則

ウールズソープ(Eng.)生まれ、1661年にケンブリッジ大学に入学。錬金術師・物理学者・数学者・天文学者→最大の近代科学者。

万有引力の法則と運動方程式から、天体の運動を解明した。ゴットフリート・ライプニッツとは別個に**微積分法**(流率法)を発明。反射望遠鏡の発明や、光学における光のスペクトル分析等。力学分野において、

運動の第1法則 「慣性の法則」

運動の第2法則 「運動の法則」

(狭義の運動の法則)

運動の第3法則 「作用・反作用の法則」



の「ニュートンの運動の法則」が有名。

サー・アイザック・ニュートン
(Sir Isaac Newton)

1642年12月25日 - 1727年3月20日

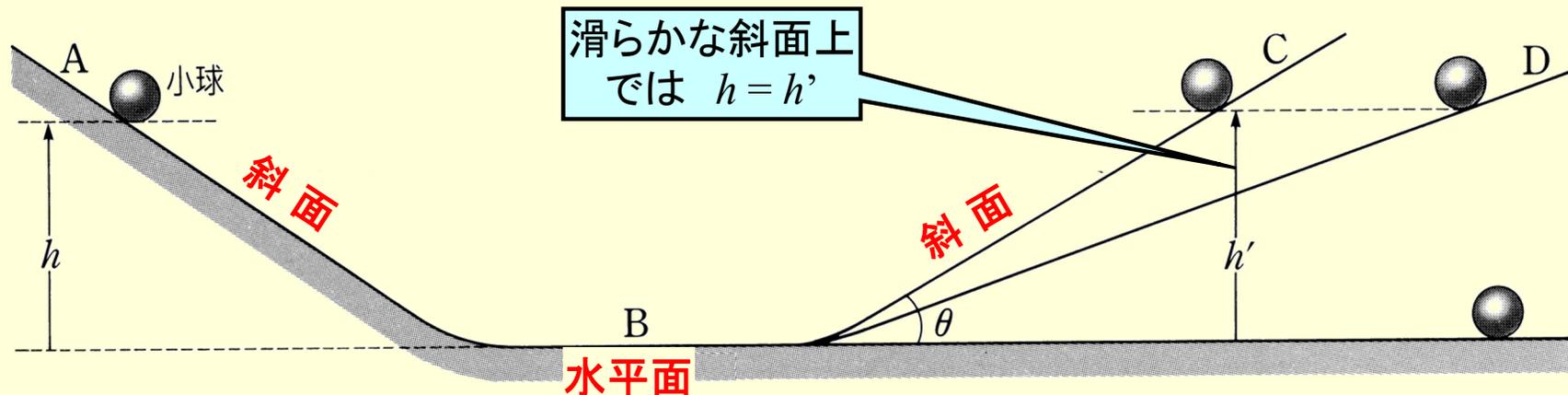
ニュートンの第一法則

物体は、力が働かない場合、等速直線運動する。



慣性の法則：運動の第1法則

物体が他から力を受けないか、あるいはいくつかの力を受けてもそれらの力が釣りあっていれば、静止している物体は静止し続け、運動している物体は等速直線運動を続ける。これを運動の第1法則、または「**慣性の法則**」という。



斜面A上の高さ h の所から小球を静かに離すと、小球はAを滑り下り、水平面Bを經由して、斜面C上の高さ h' の所まで上がる。斜面A、B、Cが滑らかであれば $h = h'$ となる。また、水平面と斜面Cがなす角度 θ を小さくしていくと、高さ h まで上がるために、小球は遠くまで進む。以上から、 θ をゼロにすると小球は一定の速さで無限に遠くまで進むとガリレイは考えた。(ガリレイの思考実験)

慣性

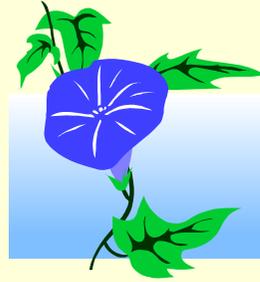
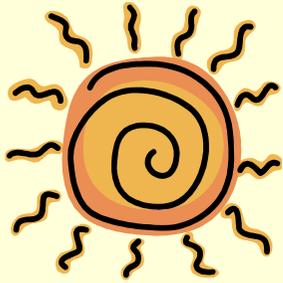
停車している車を急に発進させようとしても、車は急に動かない。また、動いている車を急停車しても車は急に止まらない。動いている電車を急に加速しようとする、電車の中に乗っている人は進行方向と逆方向に倒れるかも知れない。このように、物体は静止している時も含めて、その時の**運動状態を保ち続けようとする性質**をもっている。この性質を物体の**慣性**という。



乗り物がカーブにさしかかった時、外側に倒れようとする動作も同じ慣性である。



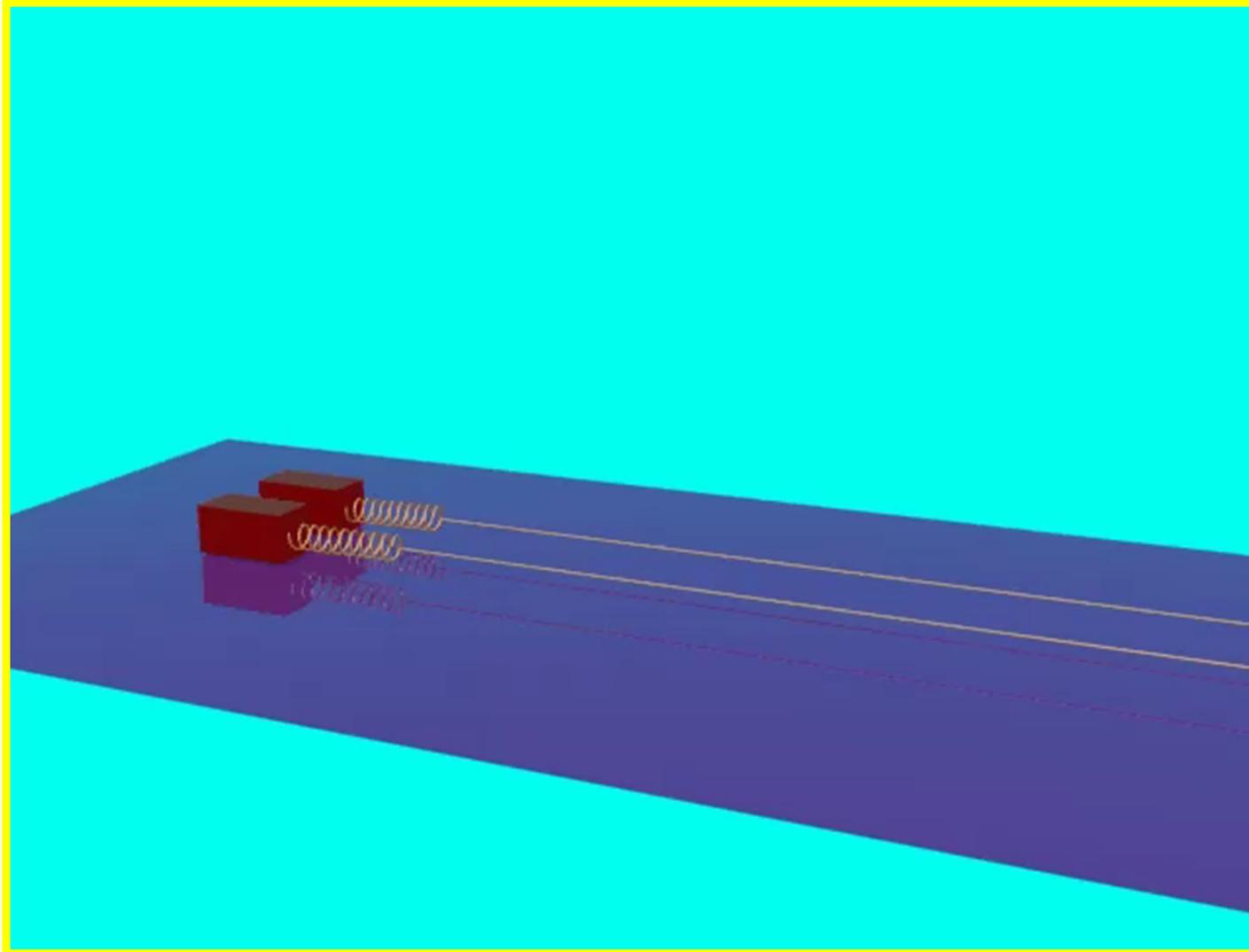
ちよつと言



慣性とは読んで字のごとく「**ならない性**」であり、いつもやっていることと違う行動をとろうとするには**非常な努力**がいる。朝寝坊が早起きするのは義務感か楽しいことがあるときだが、そのためには時計や起こす人が必要となる。このことは自然界の現象と共通する点である。

ニュートンの第2法則

物体が力を受けるとき、力の向きに力の大きさに比例した加速度が生じる。

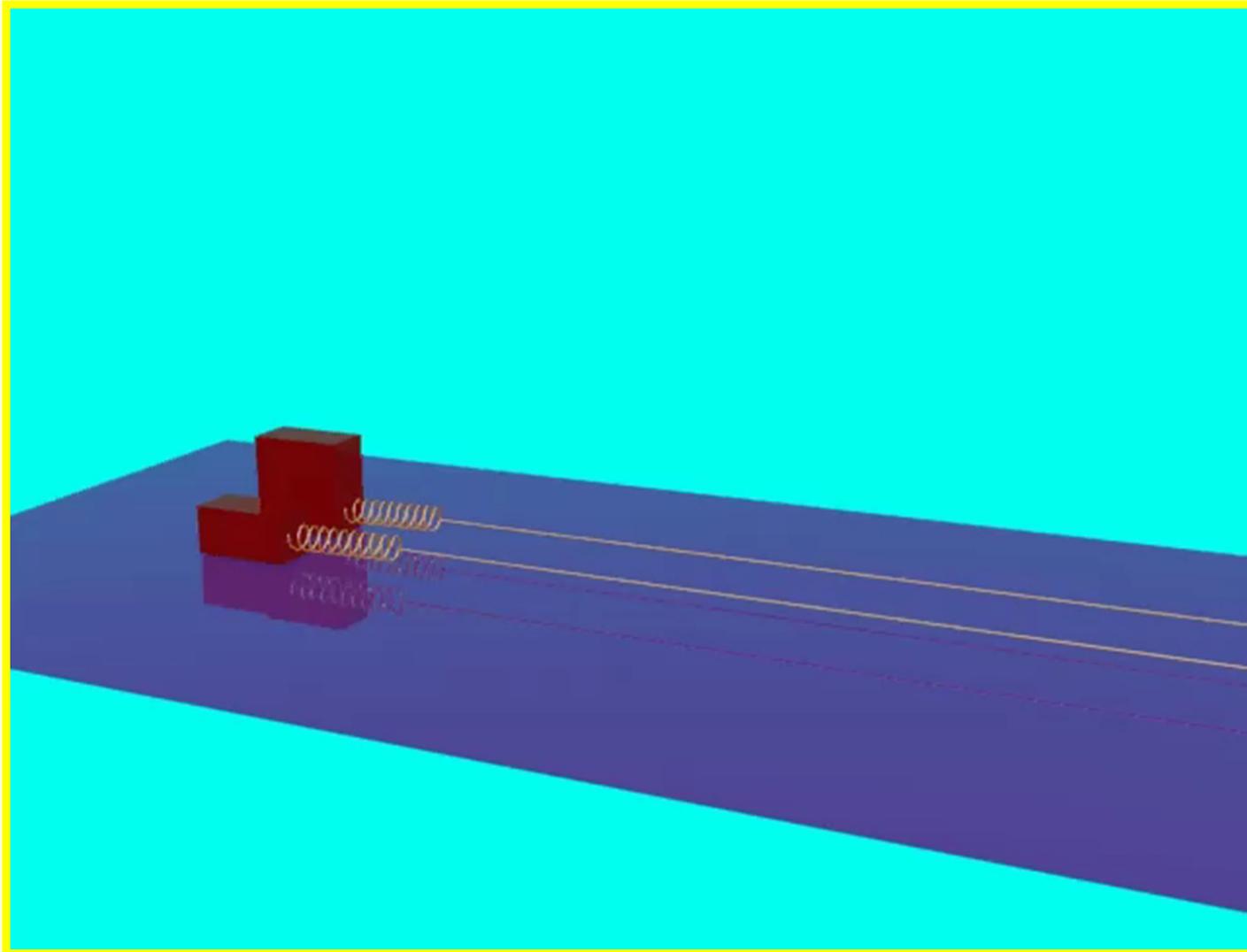


同じ質量、2倍の力

2倍の質量と2倍の力

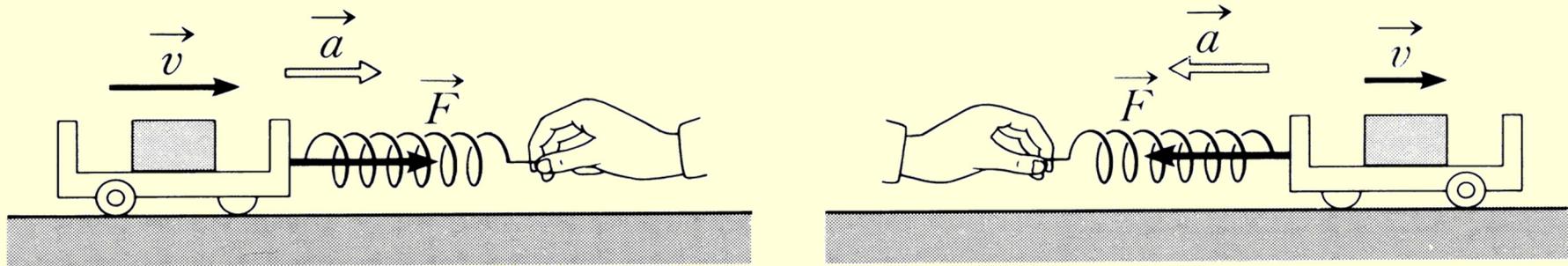
力を2倍
質量を2倍

にすると、加
速度は？



2倍の質量、2倍の力

運動の法則(狭義): 運動の第2法則



図のように、台車が進行する向きと同じ向きに力を受けると台車の速度は増加し、反対向きの力を受けると減少する。このことから、台車に働く力の向きと台車の加速度の向きは同じであることがわかる。この実験結果から、「物体に生じる加速度の向きは、物体が受けている力の向きと同じで、加速度の大きさは力の大きさに比例し、物体の質量に反比例する。」

これを運動の第2法則または**運動の法則**という。この関係は加速度 a 、質量 m 、力 F を用いて、次のように表される。

力 = 質量 × 加速度 [$F = ma$] : 運動方程式

質量1[kg]の物体を加速度1[m/s²]だけ加速するのに必要な力を**1[N]**(ニュートン)と表す。

ニュートンの第3法則

いすに乗った人を押すとどうなるか？



作用・反作用の法則：運動の第3法則

「物体Aが物体Bに力を及ぼすとき、物体Aは物体Bから反対の力を受ける。このとき、前者を作用、後者を反作用とよぶ。両者の力は大きさが等しく、作用する向きが反対である。」

上記のような性質を運動の第3法則、または**作用・反作用の法則**とよぶ。右図のように、ロケットの推進力は燃料を燃やしてガスを吹き出し、その反作用でガスはロケットを押し返す。したがって、ロケットは上方へ強く押されて発進することとなる。また、後ろから「ワッ！」と押されると、一時的に体は逆方向に動く。



身の回りの力(重力)

自由落下の時は重力
加速度 $g = -9.8[\text{m/s}^2]$
という等加速度運動を
する。

1[kg]の物体に働く重
力の大きさは？

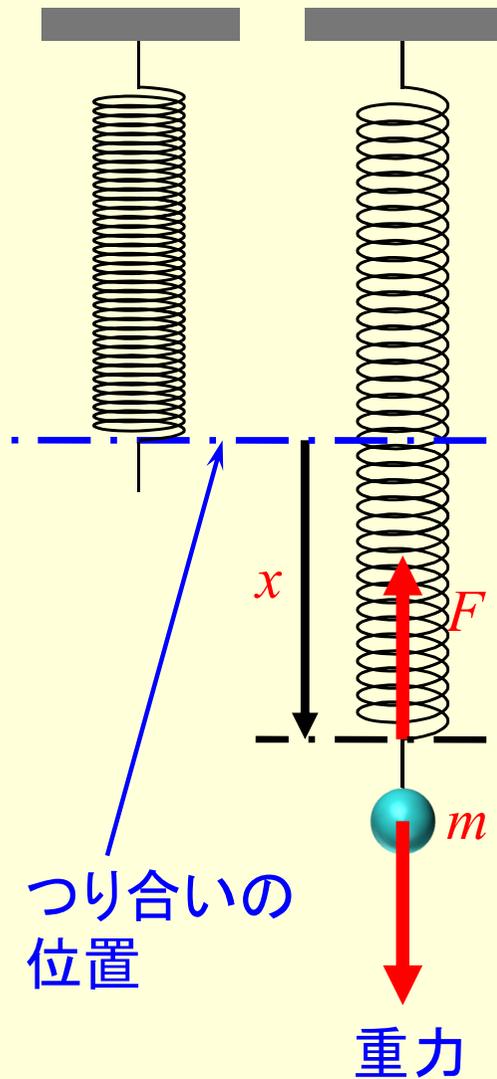


身の回りの力(バネ)

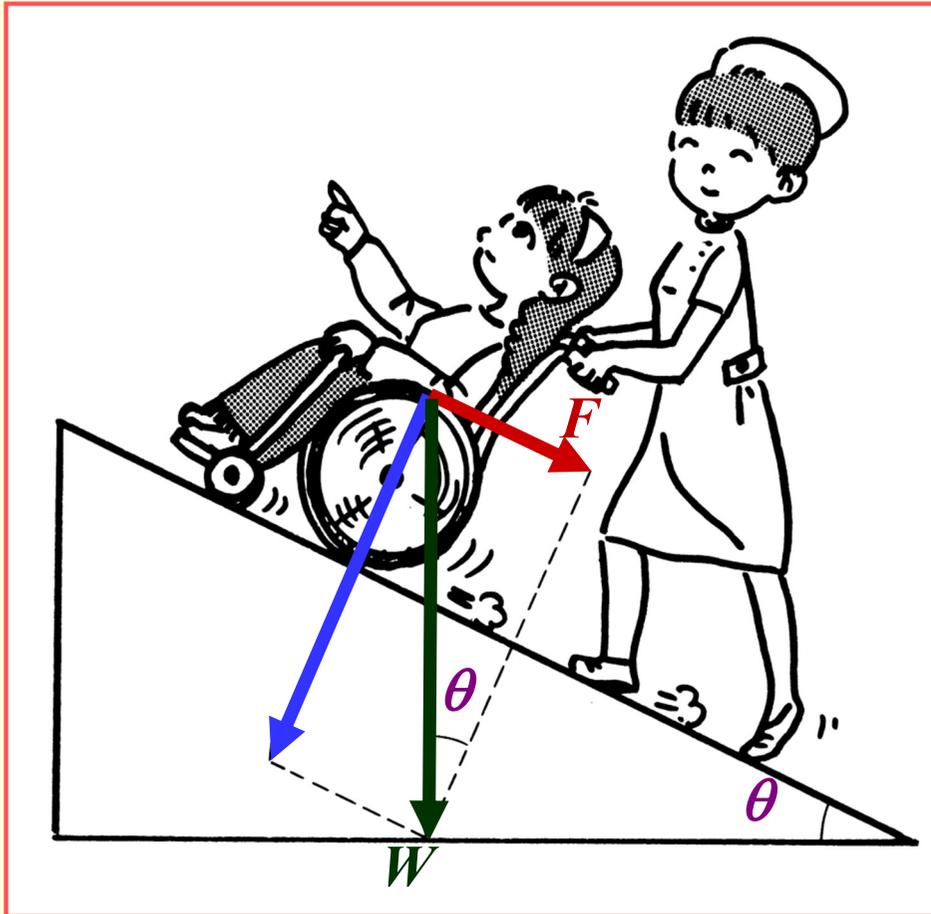
おもりを付けたバネを天井からつるすと、バネは伸びてやがて静止する。これはバネの戻ろうとする力(弾性力)とおもりに働く重力が釣り合っていることを意味する。おもりを2倍、3倍とすると、伸びも2倍、3倍となり、弾性力とバネの伸びが比例することが分かる。これを**フックの法則**といい、比例定数を**バネ定数**という。

弾性力 = バネ定数 × バネの伸び

$$[F = kx]$$



押せるかどうか？（摩擦力）



ある人が車椅子に乗った患者を，左図のように水平面から角度 θ の滑らかな坂道を移動するとき，この人が押す力 F はいくらになるか。

それぞれの力の関係は図のようになるので，

$$F = W \sin \theta$$

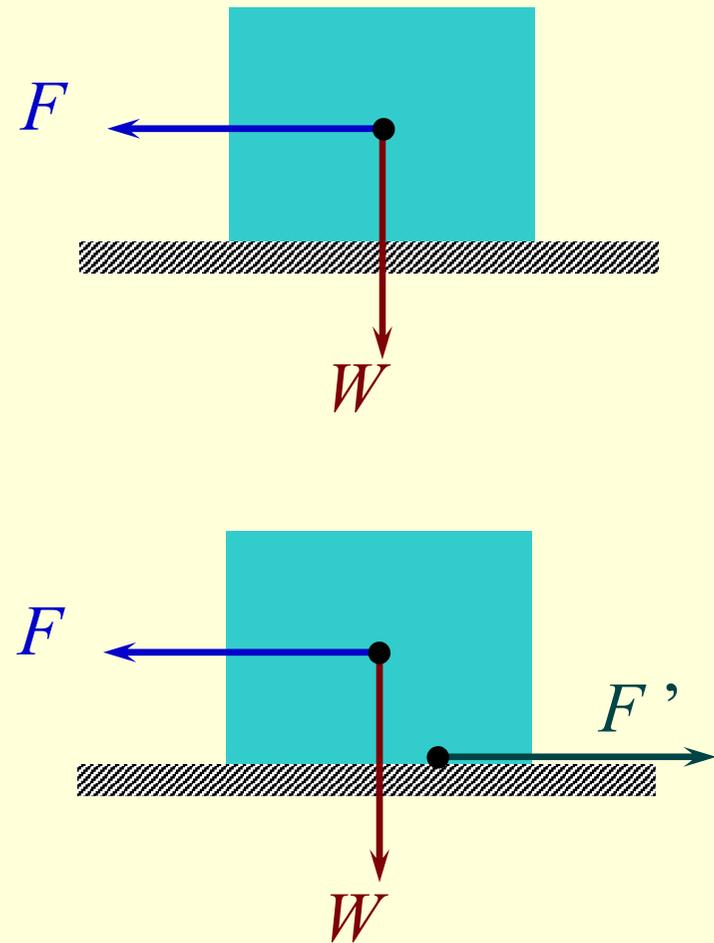
となる。ただし， W は車椅子と患者の重さを合わせたものとする。

摩擦

物体を板の上に置き、その板をゆっくり傾けると、板がある傾斜角になったとき、突然物体が滑りだす。傾斜がゆるいときに滑らないのは、物体と板の間に摩擦がはたらくからである ($F < F'$)。この摩擦は、物体が動こうとする方向と逆の方向にはたらく (図中の F' に相当)、その大きさは物体と平面の接触面に垂直な力に比例する。この比例定数 μ を「**摩擦係数**」とよぶ。なお、 F' は

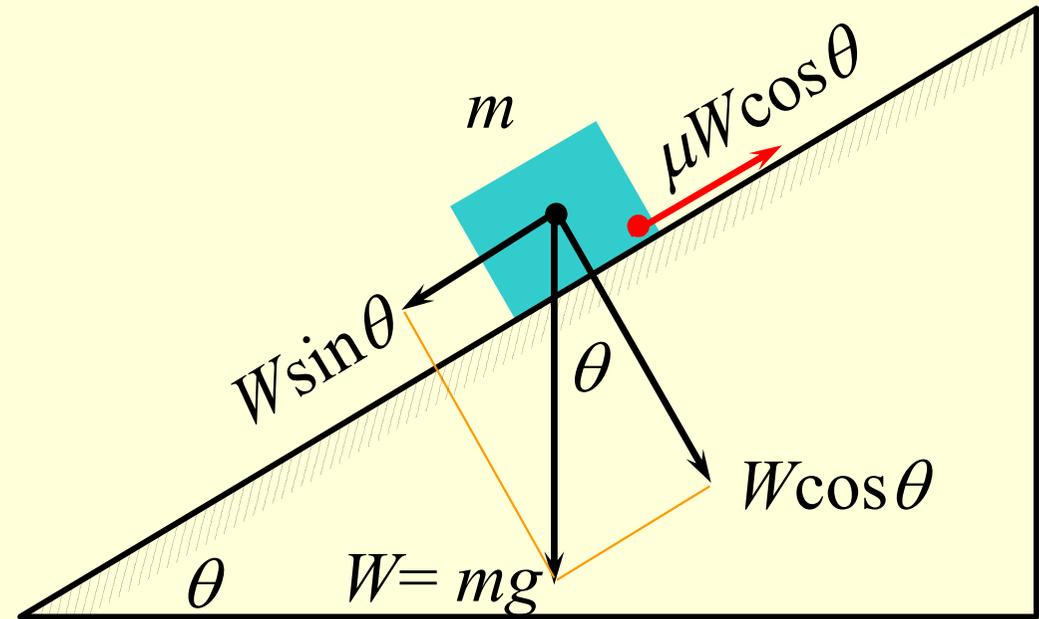
$$F' = \mu W$$

となる。



傾斜の摩擦

角度 θ の斜面を考える。
物体にはたらく重力は $W=mg$ なので、斜面下向きに $W\sin\theta$ 、斜面に垂直に $W\cos\theta$ の力がかかっていることになる。物体は下向きに滑ろうとするので、摩擦力は斜面上向きに $\mu W\cos\theta$ となる。角度 θ を大きくしていき、



$$W\sin\theta > \mu W\cos\theta$$

となったとき物体は滑り落ち始める。滑り始める直前では、

$$W\sin\theta = \mu W\cos\theta$$

が成り立ち、これより $\mu = \tan\theta$ となることがわかる。この角度 θ を摩擦角という。

ネジと坂道

ネジは坂道と摩擦力の応用である。傾斜を緩くして大きな力を出し、斜面の摩擦を利用して、締めた力のまま止まるように工夫されている。少ない力で大きな力を出すことができるが、ネジ回しを利用すると更に楽にネジを回せる。

