

平成 27 年 (2015 年) 度「宮水学園」マスター講座〈前期〉

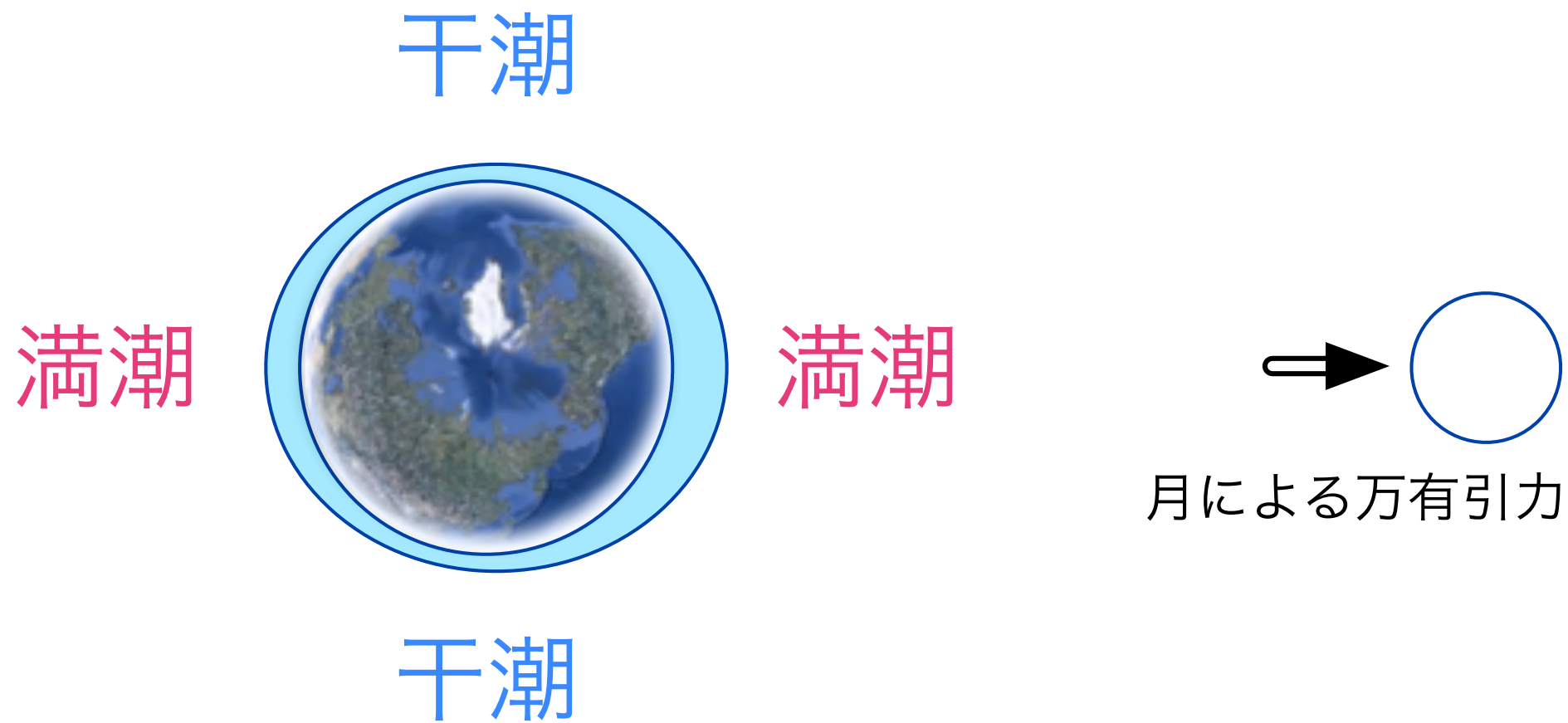
日常は物理で満ちている —こんなところに自然法則—



真貝寿明

- | | | |
|-------|----------|--------------------|
| 第 2 回 | 5 月 22 日 | おもちゃの物理——長く回転続けるコマ |
| 第 3 回 | 6 月 5 日 | 乗り物の物理——空気抵抗と闘う乗り物 |
| 第 4 回 | 6 月 19 日 | 気象の物理——ペットボトルで雲を作る |

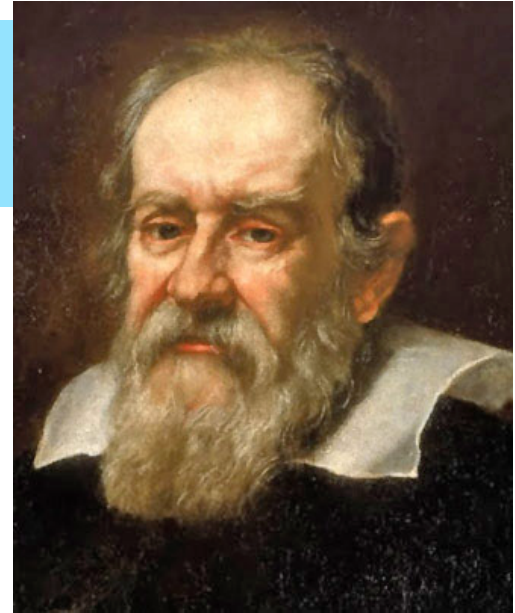
潮の満ち引きの原因は月の重力



地球の自転によって、一日に2回、潮の干満がおきる。
新月のときは、月の方向に太陽もあるので、大潮になる。

2.4 運動の法則 — 力を加えると，生じるのは加速度だった

第1法則：慣性の法則



Galileo Galilei
(1564-1642)

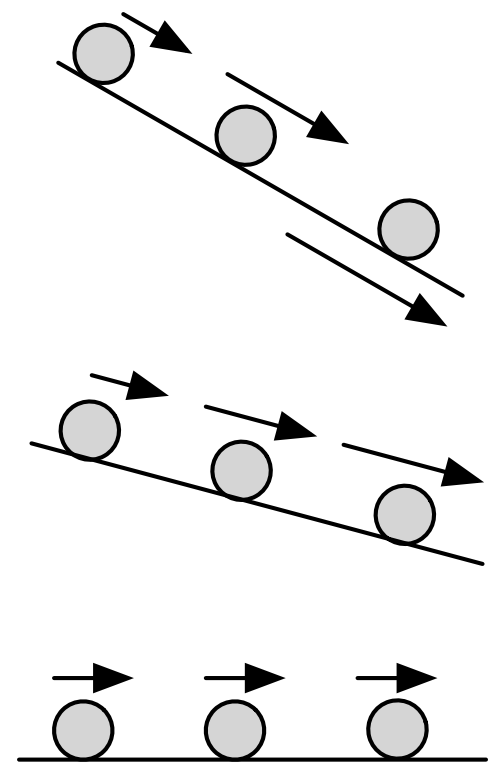
ニュートンの運動法則 (1)

第1法則 慣性の法則 (law of inertia)

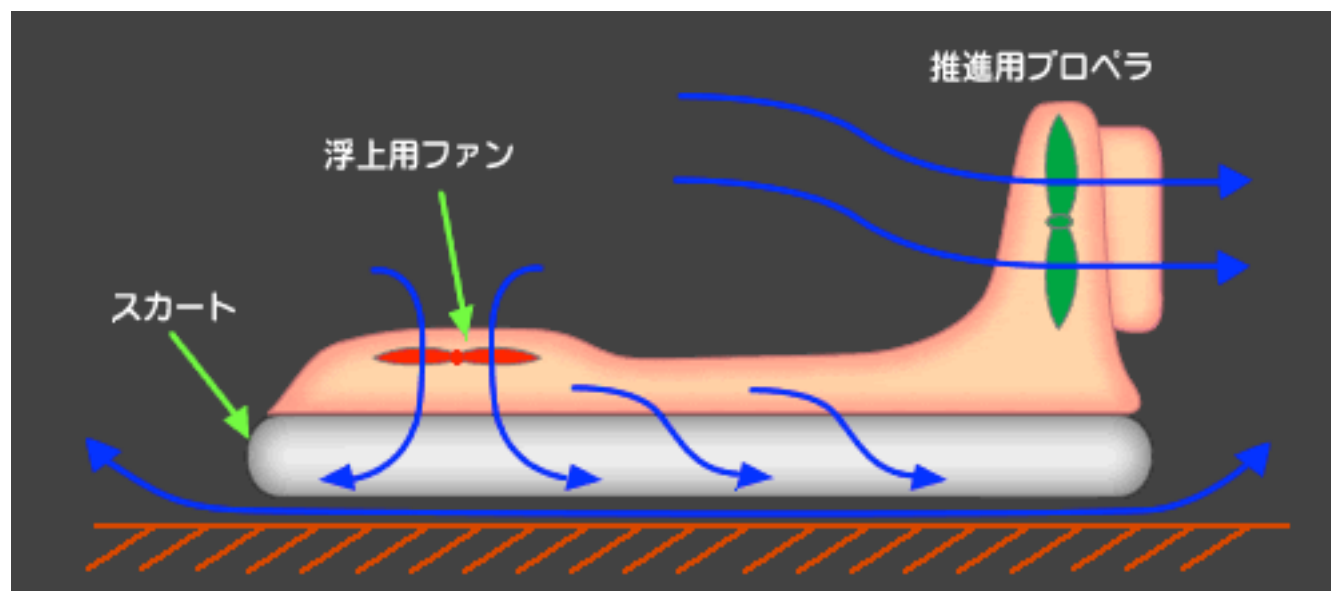
物体は慣性を持つ（そのままの運動状態を保とうとする）。

力を加えなければ，物体は等速直線運動を行う。

斜面に球を置いて手をはなすと，球は加速しながら転がり落ちる。斜面の角度を急にすれば加速は一層速くなる。一方で斜面の上向きにボールを放つとボールは減速してゆく。この場合も減速は斜面の角度に依存する。それでは，水平面ならば，ボールはどのように動くだろうか。—加速も減速もせず，そのままの運動を保ち続けると考えるのが自然である。（『天文対話』1632年）



CDホバークラフトで実験しよう



GRAVITY

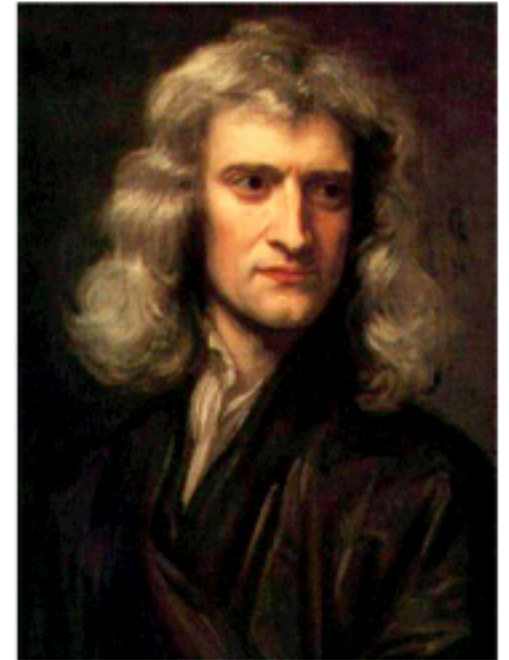
Gravity (2013)

<http://www.youtube.com/watch?v=xgGPTa7-vIE>

(start on click, 1:16)

2. 力学 >> 2.3 運動の法則 力を加えると加速度が生じる

Isaac Newton
(1642–1727)



ニュートンの運動法則

- 第1法則 **慣性の法則** (law of inertia)
物体は慣性を持つ（そのままの運動状態を保とうとする）。
力を加えなければ、物体は等速直線運動を行う。
- 第2法則 **運動方程式** (equation of motion)
物体に力 F を及ぼすと、物体の質量 m に反比例した加速度 a が生じる。
- 第3法則 **作用反作用の法則** (law of action-reaction)
物体に力 F を及ぼすと、同じ大きさで逆向きの反作用 $-F$ がその物体から及ぼされる。

ニュートンの運動方程式

第2法則を式で表すと次のようになる。力を F 、質量を m 、加速度を a とする。

$$F = ma \quad (2.4)$$

質量 m の単位は [kg]
加速度 a は [m/s²]
力 F は [N]

第2法則：運動の法則

ニュートンの運動法則 (2)：運動方程式

第2法則 **運動方程式** (equation of motion)

物体に力 F を及ぼすと、物体の質量 m に反比例した加速度 a が生じる。

$$F = ma \quad (2.28)$$

2つ以上の力が加わっていたとしても、その合力で加速度が決まる。

$$\sum_i F_i = ma \quad (2.29)$$

【少し高級な疑問】

第2法則があれば、第1法則はいらない？

運動方程式 (Newton第2法則)

力を加えると

重力 (万有引力)

摩擦力 (抵抗力)

抗力

弾性力

張力

浮力

大気圧の力

電気力

磁石の力

.....

大きさだけでなく、
向きを含めて成り立つ

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

加速度が生じる

運動がわかる！

速度がわかる

位置がわかる

第3法則：作用・反作用の法則

ニュートンの運動法則 (3)

第3法則 作用・反作用の法則 (law of action-reaction)
物体に力 F を及ぼすと、同じ大きさで逆向きの反作用 $-F$ がその物体から及ぼされる。

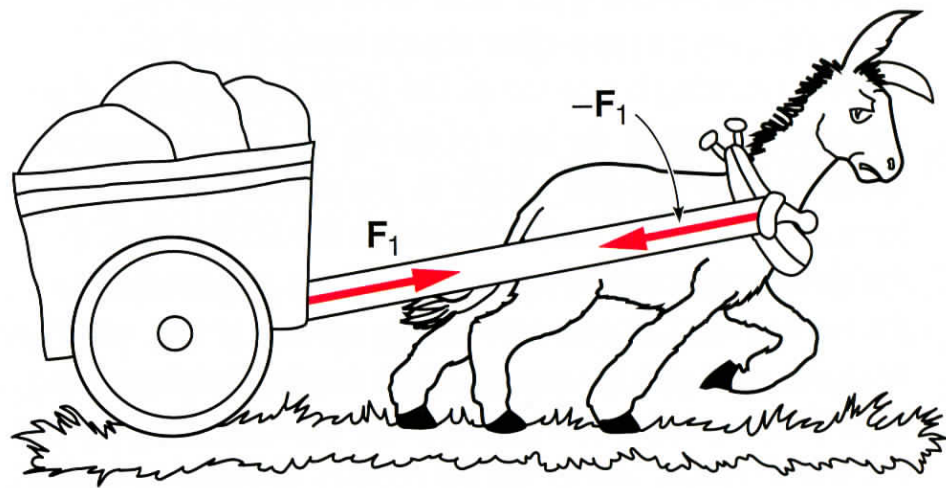


figure 4.13 A mule and a cart. Does Newton's third law prevent the mule from moving the cart? There are additional forces that are not shown here (see discussion).

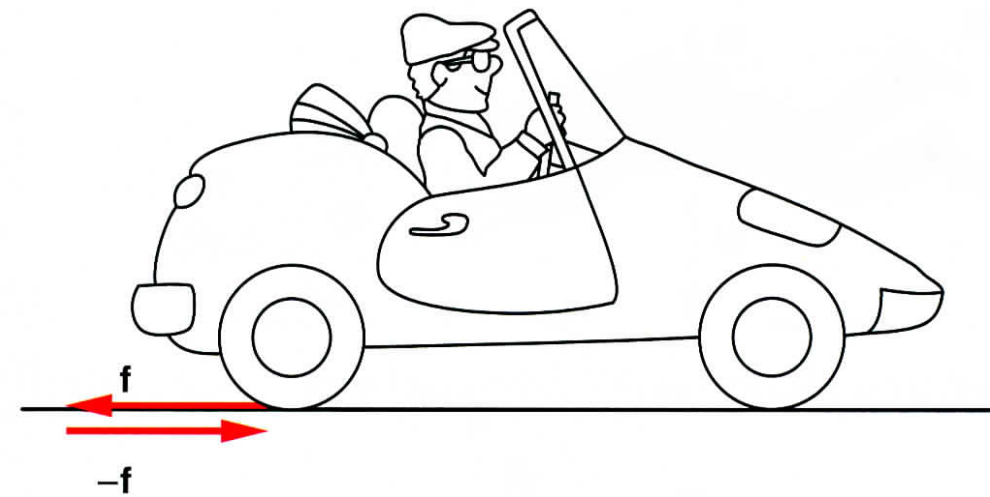


figure 4.14 The car pushes against the road, and the road, in turn, pushes against the car.

3.1 重力による運動 — リンゴの落下から惑星運動まで

万有引力（すべての物体は引き合う）

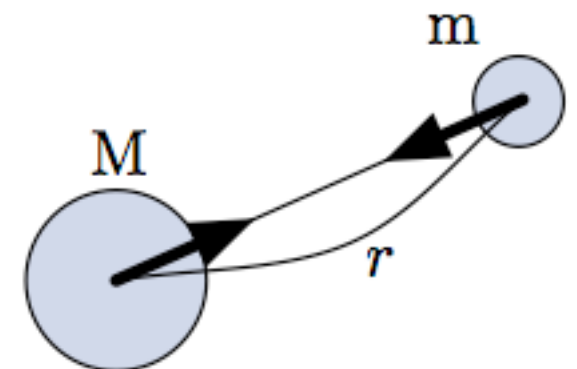
質量があるすべての物体は、互いに引き合う、と考えることにすれば、重力で動く物体の運動が説明できる。生じる引力を**万有引力**とよぶ。

万有引力の法則

すべての物体は引力で引き合う。質量 M と m の物体が距離 r だけ離れているとき、万有引力の大きさ F は

$$F = G \frac{Mm}{r^2} \quad (2.32)$$

である。 G は万有引力定数で、 $G = 6.67 \times 10^{-11} [\text{Nm}^2/\text{kg}^2]$ である。

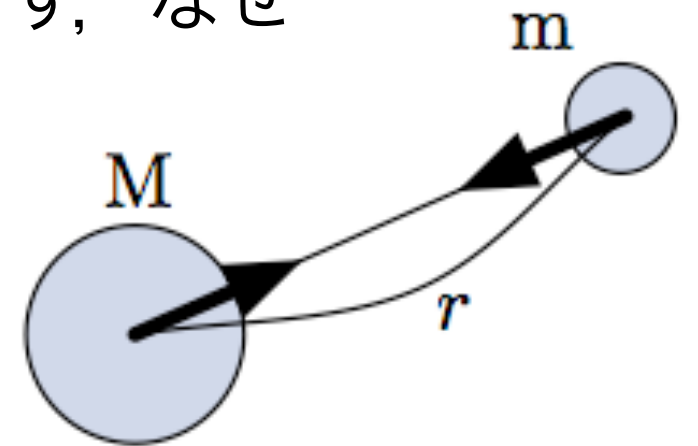


なぜ月は地球に落下してこないのか

万有引力を考えると、すべての物体は近づいてゆくように思える。地球と月も万有引力で引っ張り合っているのにも関わらず、なぜ月が地球に落下してこないのだろうか。

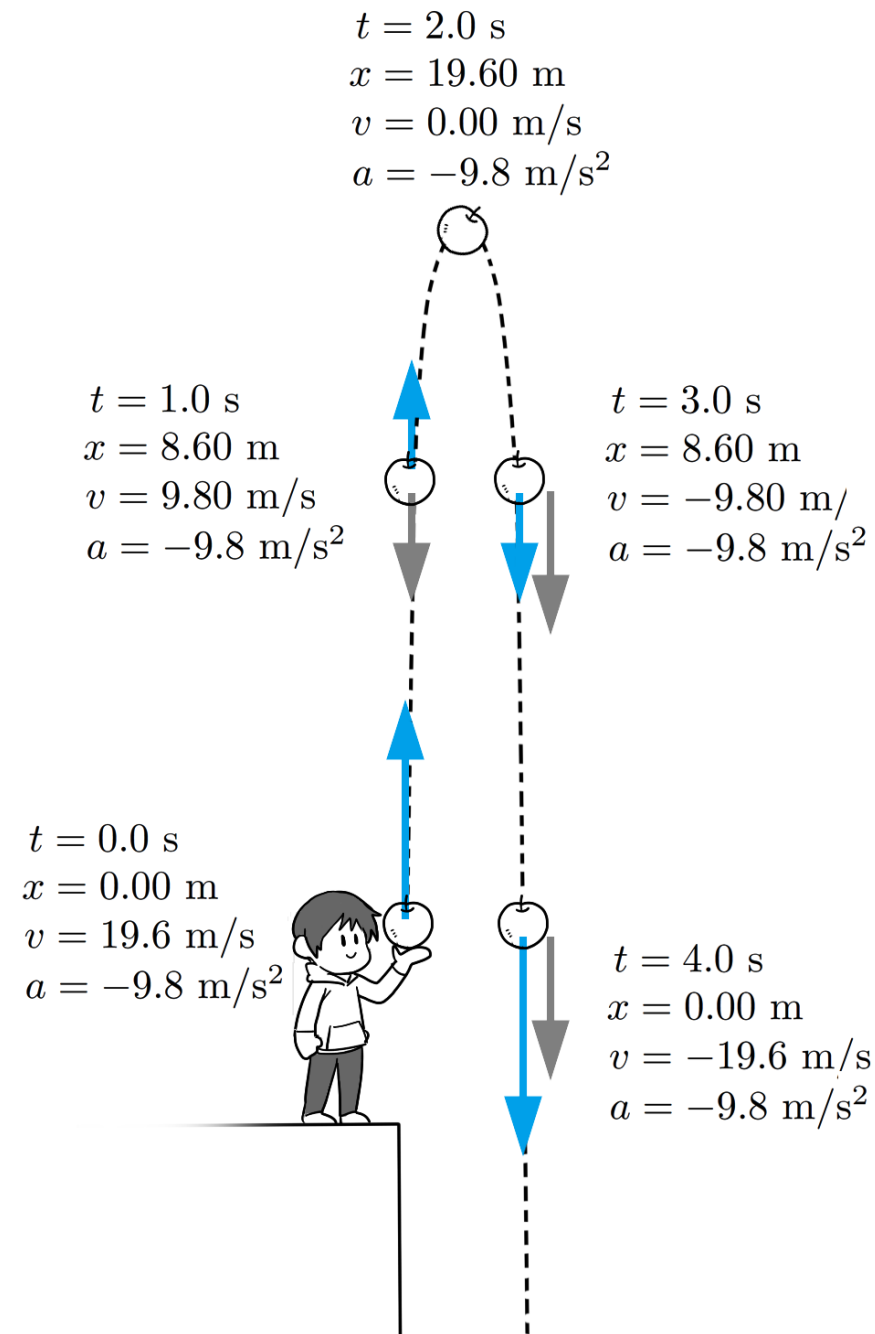
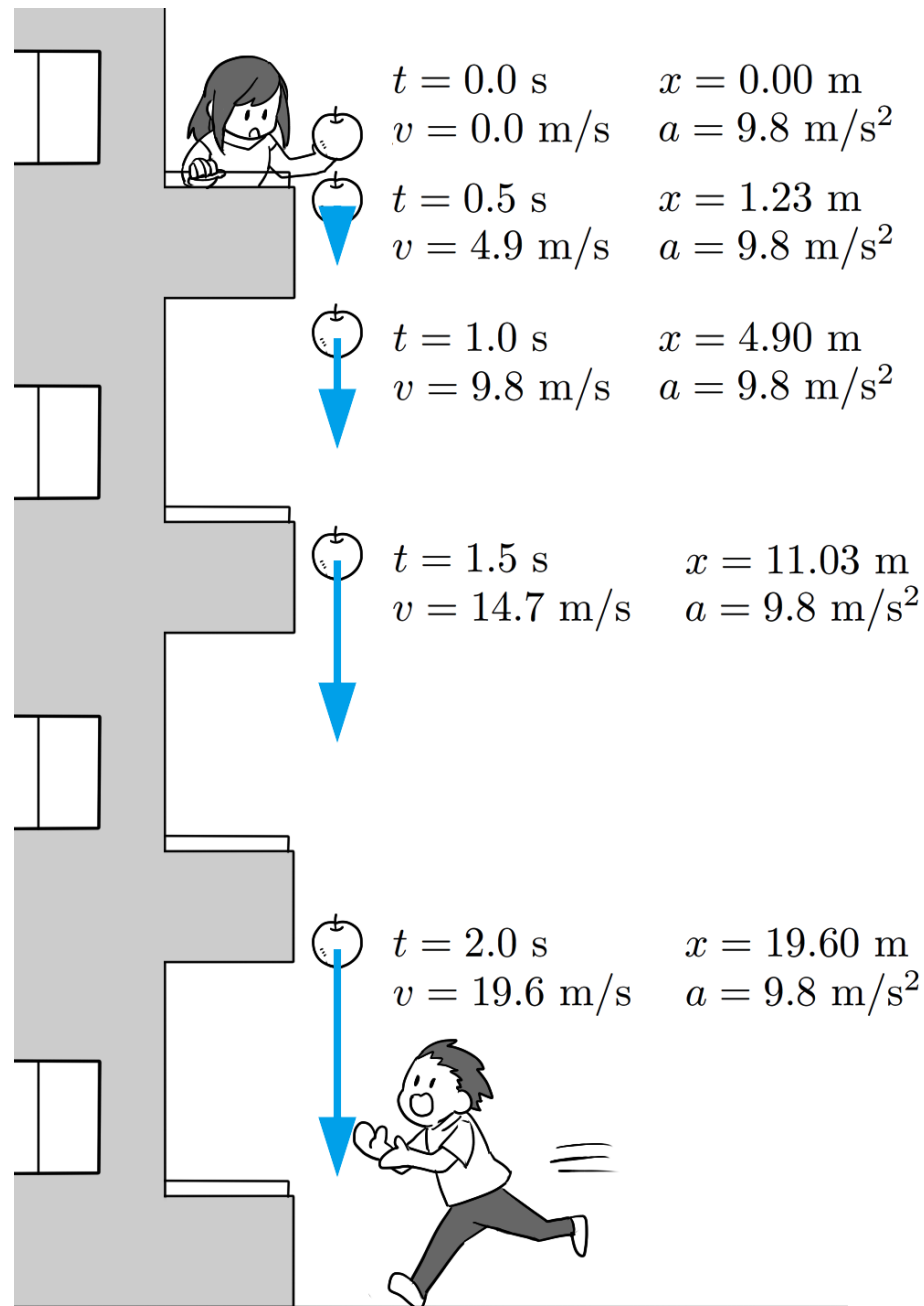


figure 5.17 In a diagram similar to this, Newton imagined a projectile fired from an incredibly high mountain. If fired with a large enough horizontal velocity, the projectile falls toward the Earth but never gets there.



自由落下運動は、等加速度運動

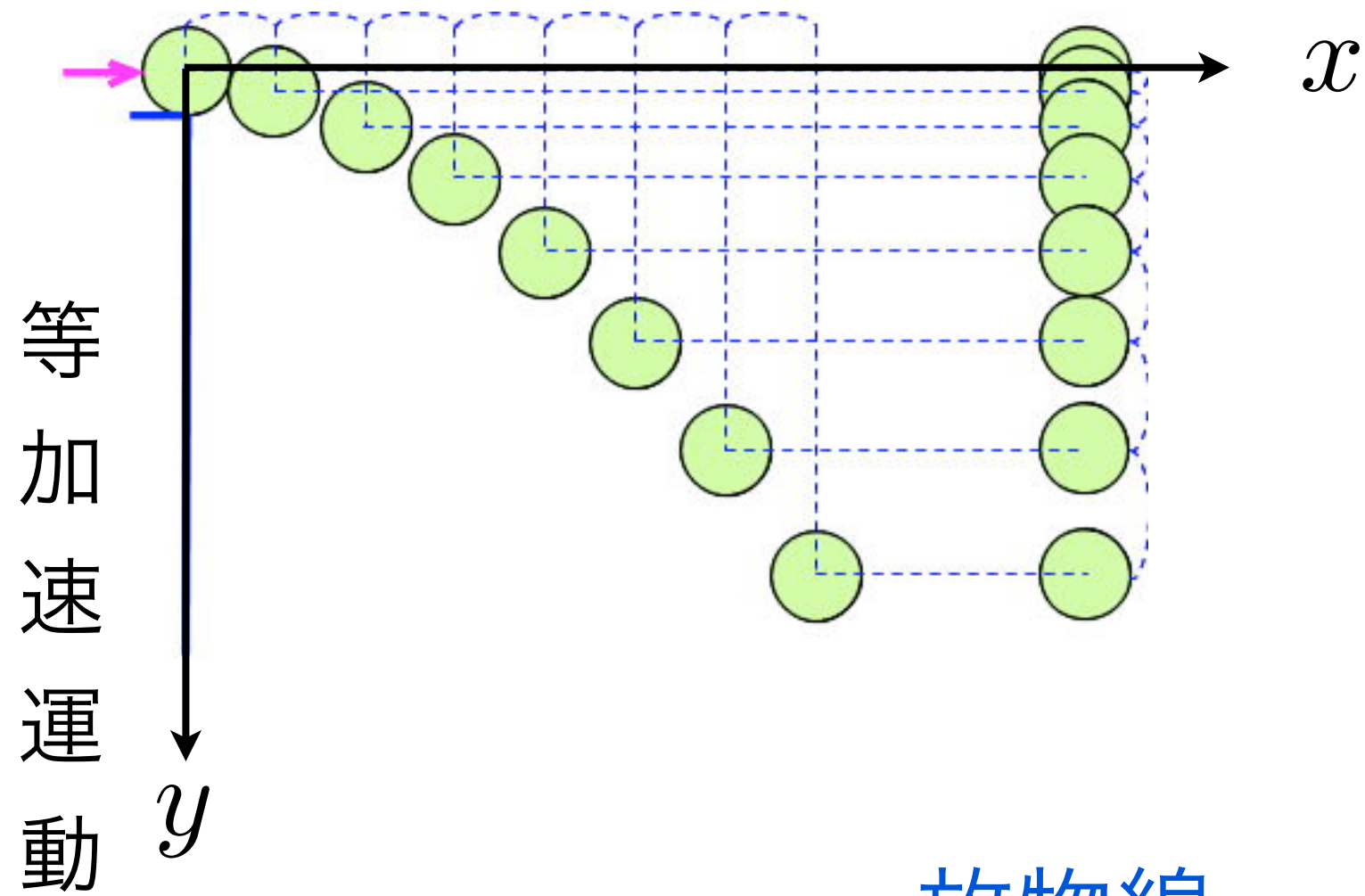
重力加速度 $g = 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$



放物運動

$$x(t) = v_x t$$

等速運動



$$y(t) = \frac{1}{2}gt^2$$

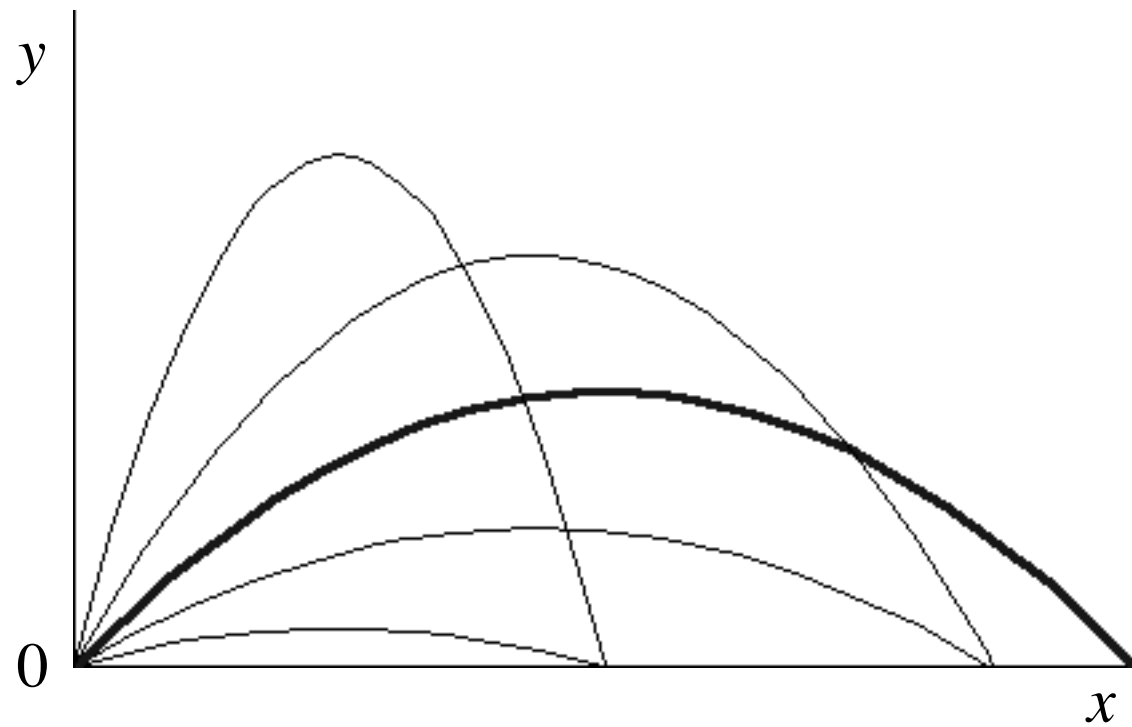
放物線

$$y = \frac{g}{2v_x^2}x^2$$

放物運動（斜め方向への投射）

斜方投射

空気抵抗がないとき
45度の方向へ投げると、
一番遠くまで届く。



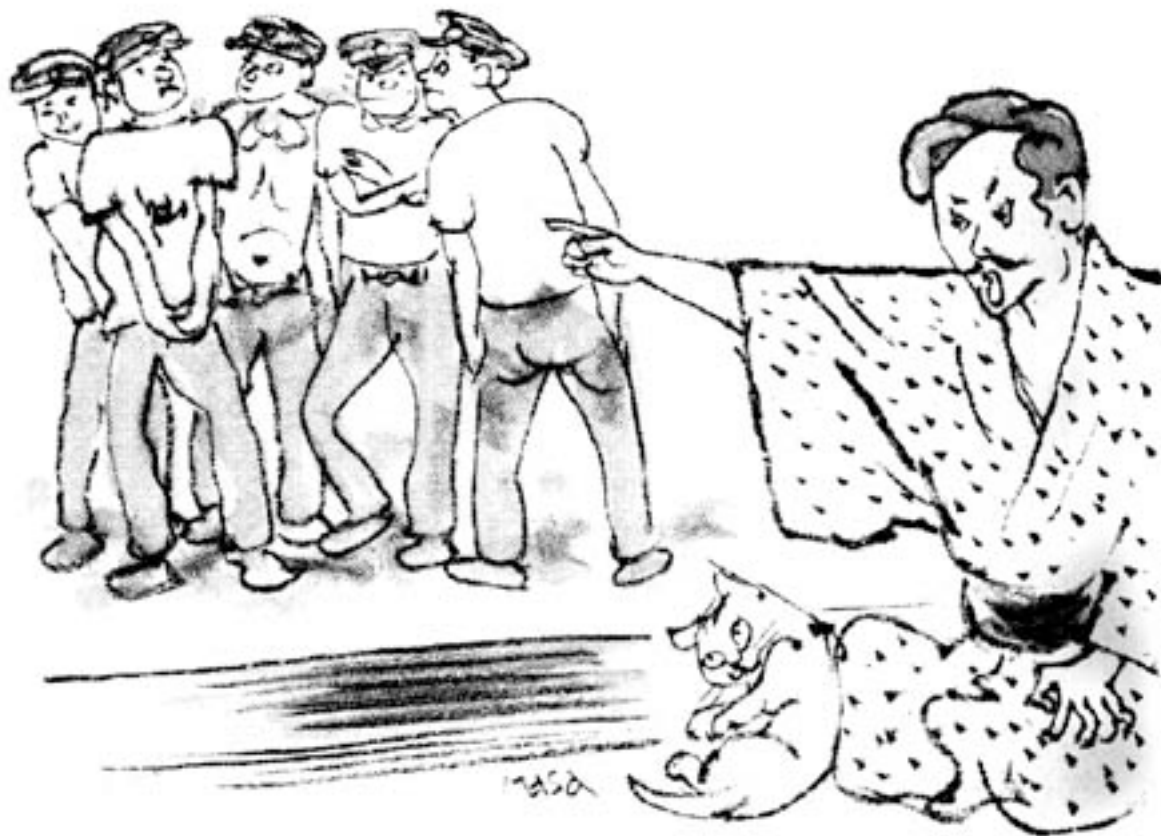


丸山定夫 (主人、珍野苦沙弥)
(吾輩)

徳川夢声 (迷亭)

藤原釜足 (越智東風)

北沢彪 (水島寒月)



今しも敵軍から打ち出した一弾は、照準誤らず、四つ目垣を通り越して桐の下葉を振り落して、第二の城壁即ち竹垣に命中した。随分大きな音である。ニュートンの運動律第一に曰く**もし他の力を加うるにあらざれば、一度び動き出したる物体は均一の速度をもって直線に動くものとす**。もしこの律のみによって物体の運動が支配せらるるならば主人の頭はこの時にイスキラスと運命を同じくしたのである。幸にしてニュートンは第一則を定むると同時に第二則も製造してくれたので主人の頭は危うきうちに一命を取りとめた。運動の第二則に曰く**運動の変化は、加えられたる力に比例す、しかしてその力の働く直線の方角において起るものとす**。これは何の事だか少しくわかり兼ねるが、かのダムダム弾が竹垣を突き通して、障子を裂き破って主人の頭を破壊しなかったところをもって見ると、ニュートンの御蔭に相違ない。

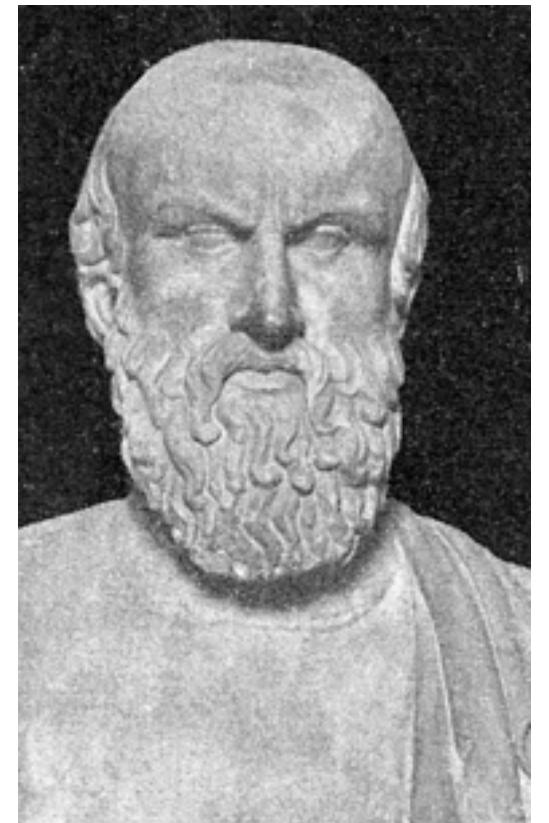
もしこの律のみによって物体の運動が支配せらるるならば主人の頭はこの時にイスキラスと運命を同じくしたのであろう。

漱石、我が輩は猫である (八) より

イスキラス = アイスキュロス

ギリシャ三大悲劇詩人の一人アイスキュロスは占い師から

「しかじかの日に、頭の上に何か落ちてきて死ぬだろう」と予言されたので、その日は、危険な建物や樹木などから離れ、広い野原の真ん中に避難した。ところが鷲が、爪に掴んでいた亀を空高くから落とし、アイスキュロスは甲羅で脳味噌を割られた（ラブレ 『パンタグリユエル物語』 第四之書）。



BC525-496

夏目漱石『吾輩は猫である』8では、鷲が下界にぴかと光ったものをねらって亀を落とすと、それはイスキラスの禿げ頭だった、と語られる。

<http://nikitoki.blog.so-net.ne.jp/2009-06-17-4>



丸山定夫 (主人、珍野苦沙弥)
(吾輩)

徳川夢声 (迷亭)

藤原釜足 (越智東風)

北沢彪 (水島寒月)

「首縊りの力学」

漱石『我が輩は猫である』より

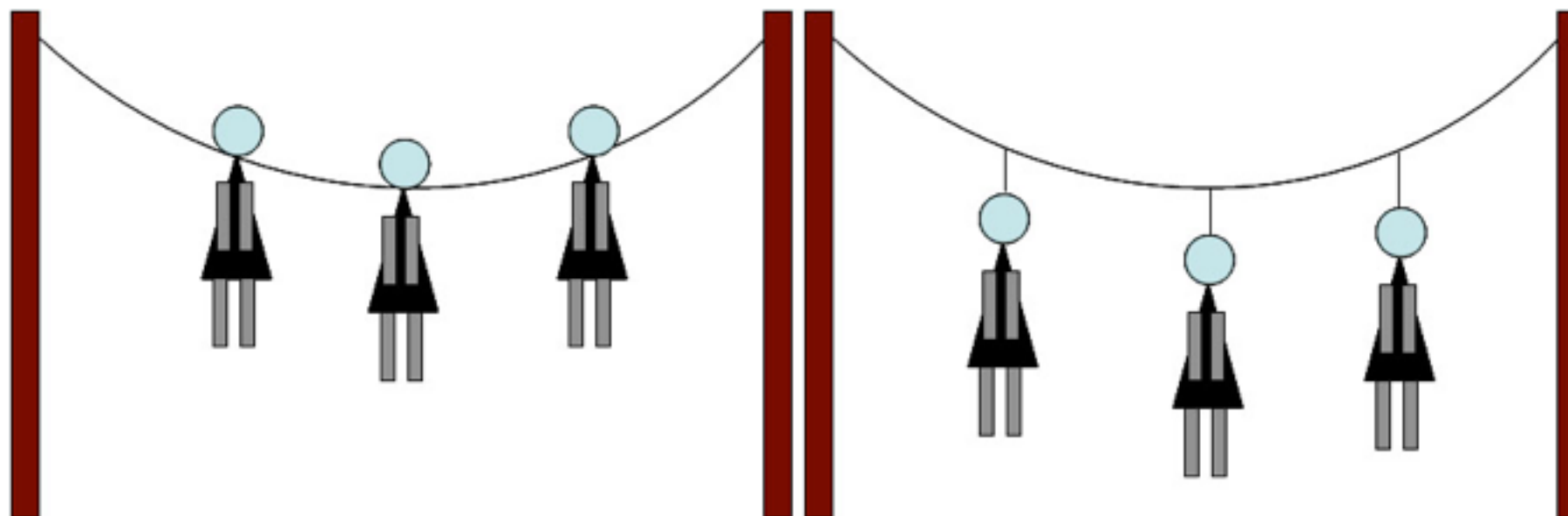
「この絞殺を今から想像して見ますと、これを執行するに二つの方法があります。第一は、彼《か》のテレマカスがユーミアス及びフヒリー シャスの援《たすけ》を藉《か》りて縄の一端を柱へ括《くく》りつけます。そしてその縄の所々へ結び目を穴に開けてこの穴へ女の頭を一つずつ入れておいて、片方の端をぐいと引張って釣し上げたものと見るのです」

「つまり西洋洗濯屋のシャツのように女がぶら下ったと見れば好いんだろう」

「その通りで、それから第二は縄の一端を前のごとく柱へ括り付けて他の一端も始めから天井へ高く釣るのです。そしてその高い縄から何本か別の縄を下げて、それに結び目の輪になったのを付けて女の頸《くび》を入れておいて、いざと云う時に女の足台を取りはずすと云う趣向なのです」

「たとえば云うと縄暖簾《なわ のれん》の先へ提灯玉《ちょうちんだま》を釣したような景色と思えば間違はあるまい」

「提灯玉と云う玉は見た事がないから何とも申されませんが、もしあるとすればその辺のところかと思えます。——それでこれから力学的に第一の場合は到底成立すべきものでないと云う事を証拠立てて御覧に入れます」



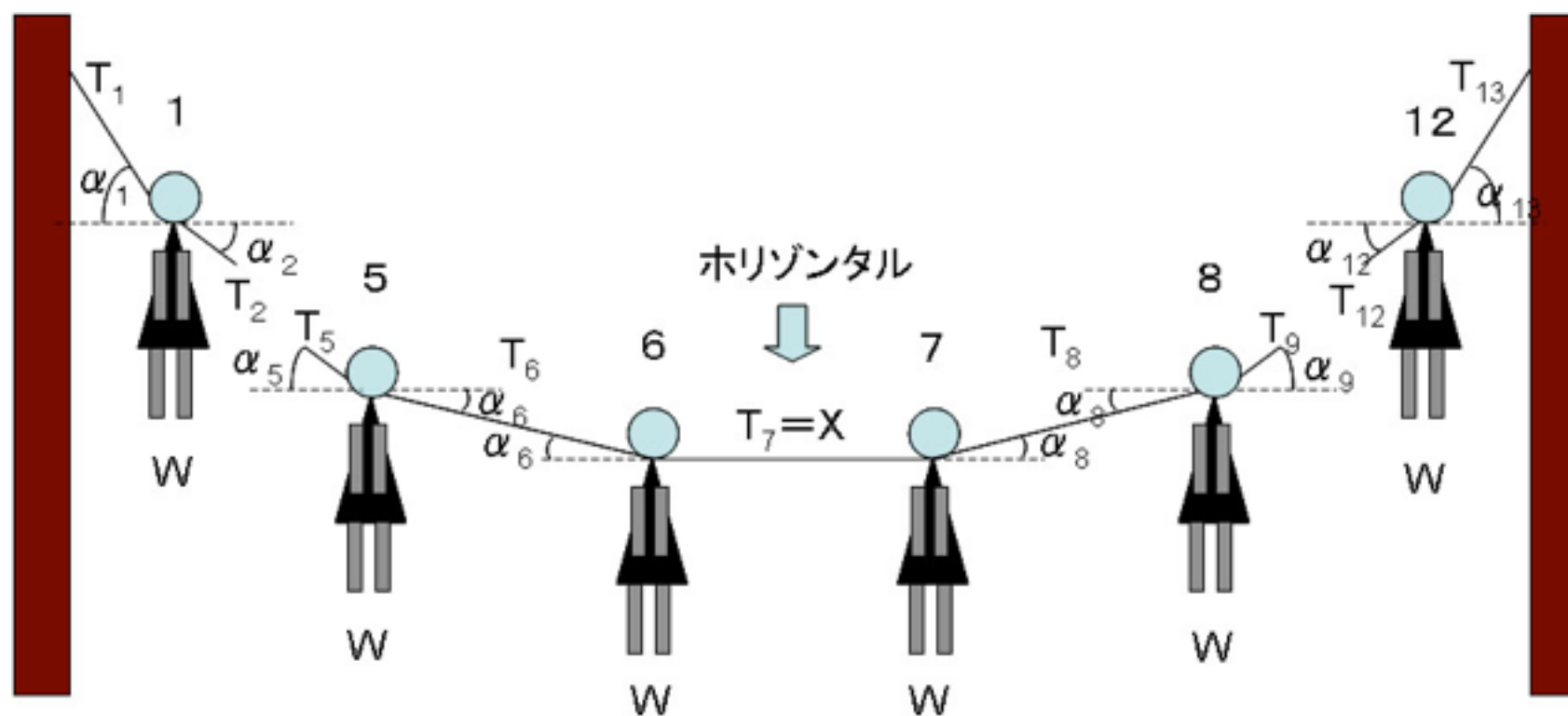
寒月君は左の方法は力学的に成立し得ないと言っている。

「首縊りの力学」

漱石『我が輩は猫である』より

「まず女が同距離に釣られると仮定します。また一番地面に近い二人の女の首と首を繋いでいる縄は水平と仮定します。そこで $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_6$ を縄が地平線と形づくる角度とし、 T_1, T_2, \dots, T_6 を縄の各部が受ける力と見做し、 $T_7 = X$ は縄のもっとも低い部分の受ける力とします。 W は勿論女の体重と御承知下さい。どうです御分りになりましたか」

迷亭と主人は顔を見合せて「大抵分った」と云う。但しこの大抵と云う度合は両人が勝手に作ったのだから他人の場合には応用が出来ないかも知れない。



「首縊りの力学」

漱石『我が輩は猫である』より

「さて多角形に関する御存じの平均性理論によりますと、下のごとく十二の方程式が立ちます。

$$T_1 \cos \alpha_1 = T_2 \cos \alpha_2 \cdots \cdots (1) \quad T_2 \cos \alpha_2 = T_3 \cos \alpha_3 \cdots \cdots (2) \quad \cdots \cdots$$

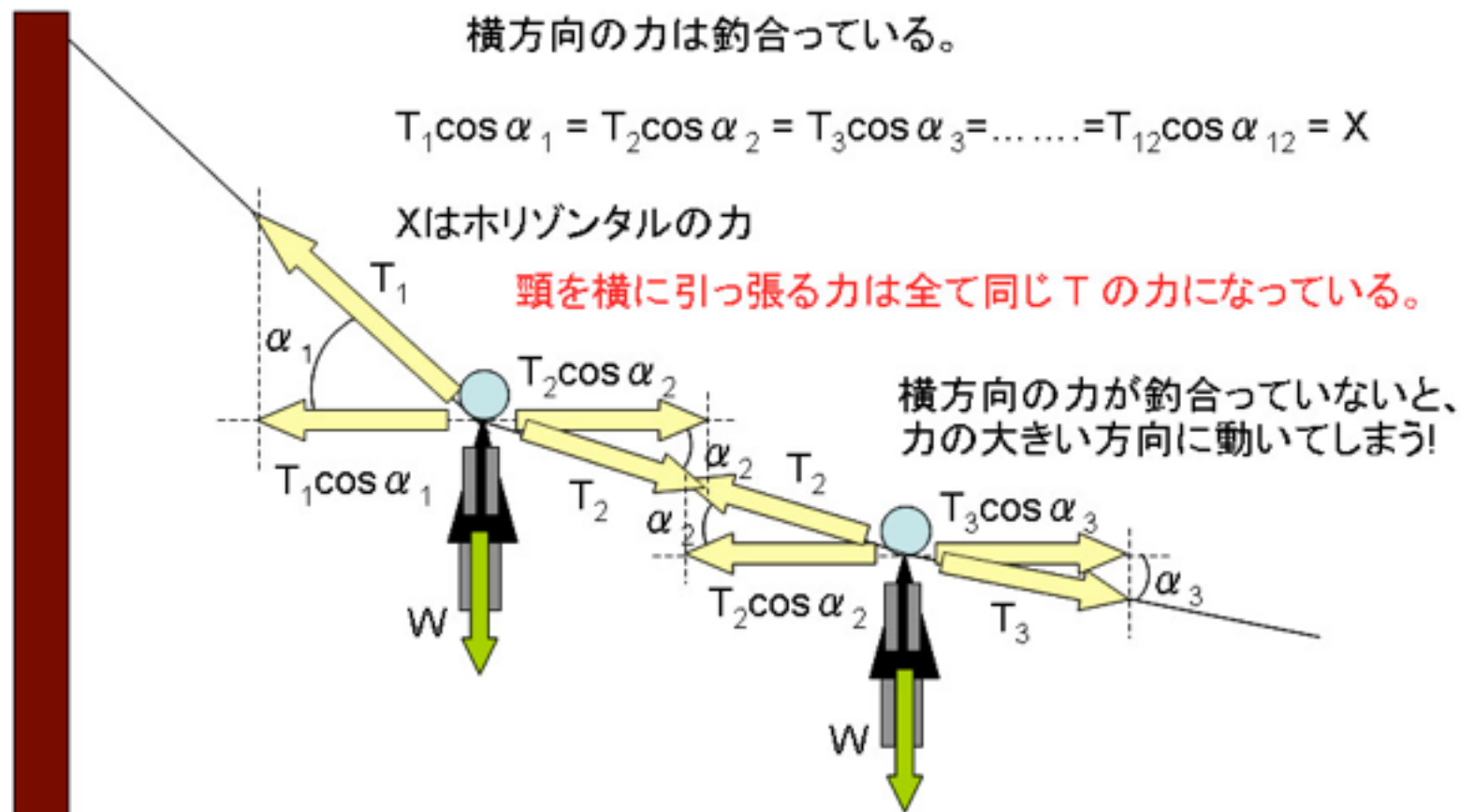
「方程式はそのくらいで沢山だろう」と主人は乱暴な事を云う。

「実はこの式が演説の首脳なんですが」と寒月君ははなはだ残り惜し気に見える。

「それじゃ首脳だけは逐《お》って伺う事にしようじゃないか」と迷亭も少々恐縮の体に見受けられる。

「この式を略してしまおうとせっかくの力学的研究がまるで駄目になるのですが……」

「何そんな遠慮はいらんから、ずんずん略すさ……」と主人は平気で云う。



「首縊りの力学」

漱石『我が輩は猫である』より

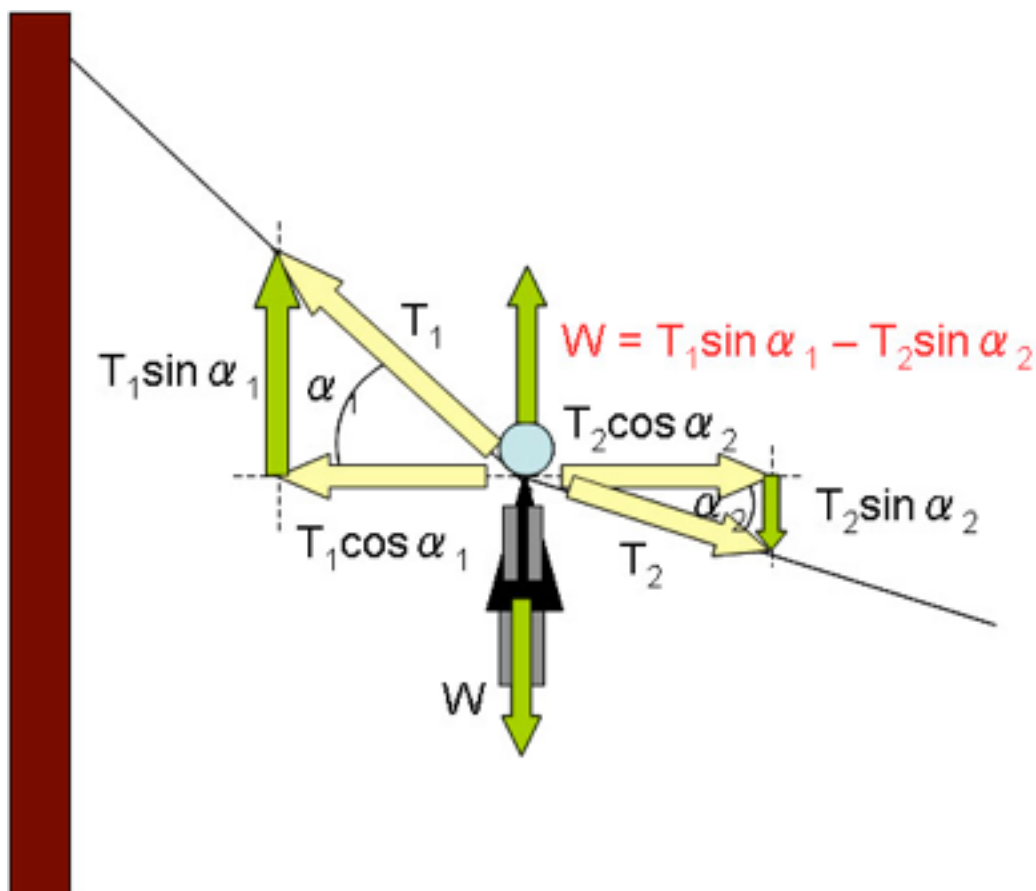
寒月君が言いたかったこと。

鉛直方向を考えると、12人それぞれの重力をWとして、つりあいの式が右のようになる。

寒月君が言うように全体が対称なら、 $T_1 = T_{13}$, $\alpha_1 = \alpha_{13}$ なので、

$$12W = 2T_1 \sin \alpha_1$$

となる。W=40 kg重、 $\alpha_1=30^\circ$ とすると、 $\sin 30^\circ=0.5$ なので、綱を引っ張っている力 $T_1=12W$ となる。結局、綱を引っ張る力は480kg重となる。可能なのか??



$$\begin{aligned}
 W &= T_1 \sin \alpha_1 - T_2 \sin \alpha_2 \\
 W &= T_2 \sin \alpha_2 - T_3 \sin \alpha_3 \\
 W &= T_3 \sin \alpha_3 - T_4 \sin \alpha_4 \\
 W &= T_4 \sin \alpha_4 - T_5 \sin \alpha_5 \\
 W &= T_5 \sin \alpha_5 - T_6 \sin \alpha_6 \\
 W &= T_6 \sin \alpha_6 - T_7 \sin \alpha_7 \\
 W &= T_7 \sin \alpha_7 + T_8 \sin \alpha_8 \\
 W &= -T_8 \sin \alpha_8 + T_9 \sin \alpha_9 \\
 W &= -T_9 \sin \alpha_9 + T_{10} \sin \alpha_{10} \\
 W &= -T_{10} \sin \alpha_{10} + T_{11} \sin \alpha_{11} \\
 W &= -T_{11} \sin \alpha_{11} + T_{12} \sin \alpha_{12} \\
 + \quad W &= -T_{12} \sin \alpha_{12} + T_{13} \sin \alpha_{13} \\
 \hline
 12W &= T_1 \sin \alpha_1 + T_{13} \sin \alpha_{13}
 \end{aligned}$$

夏目漱石と寺田寅彦



(1867-1916)

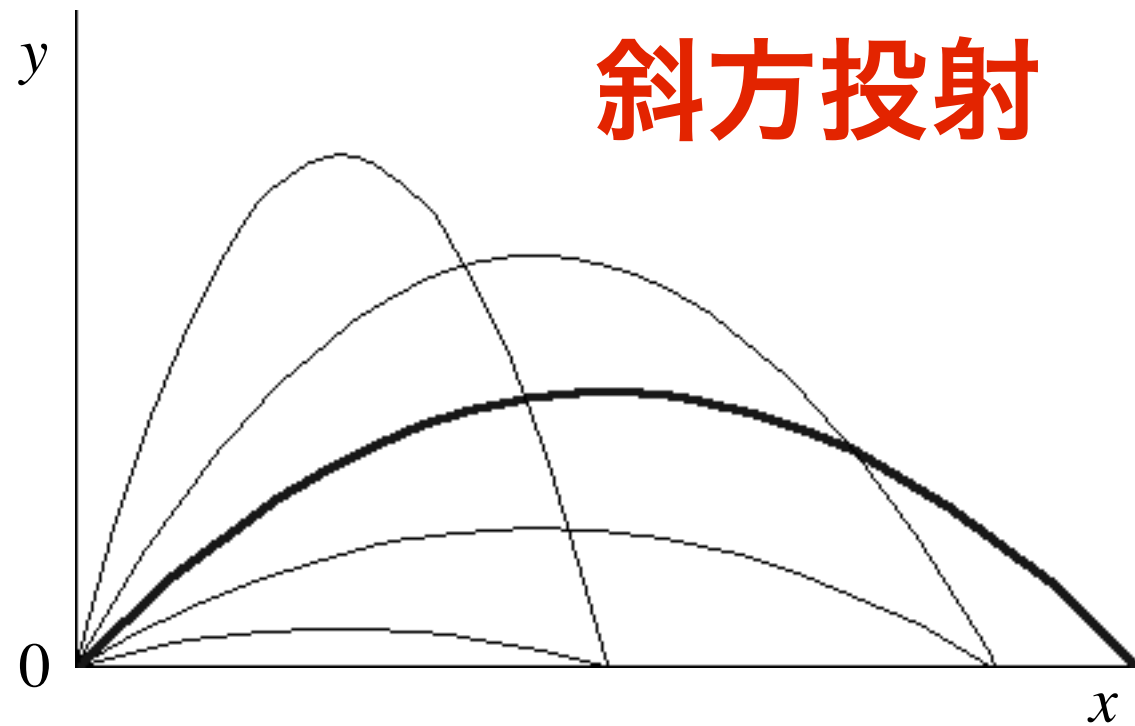


(1878-1935)



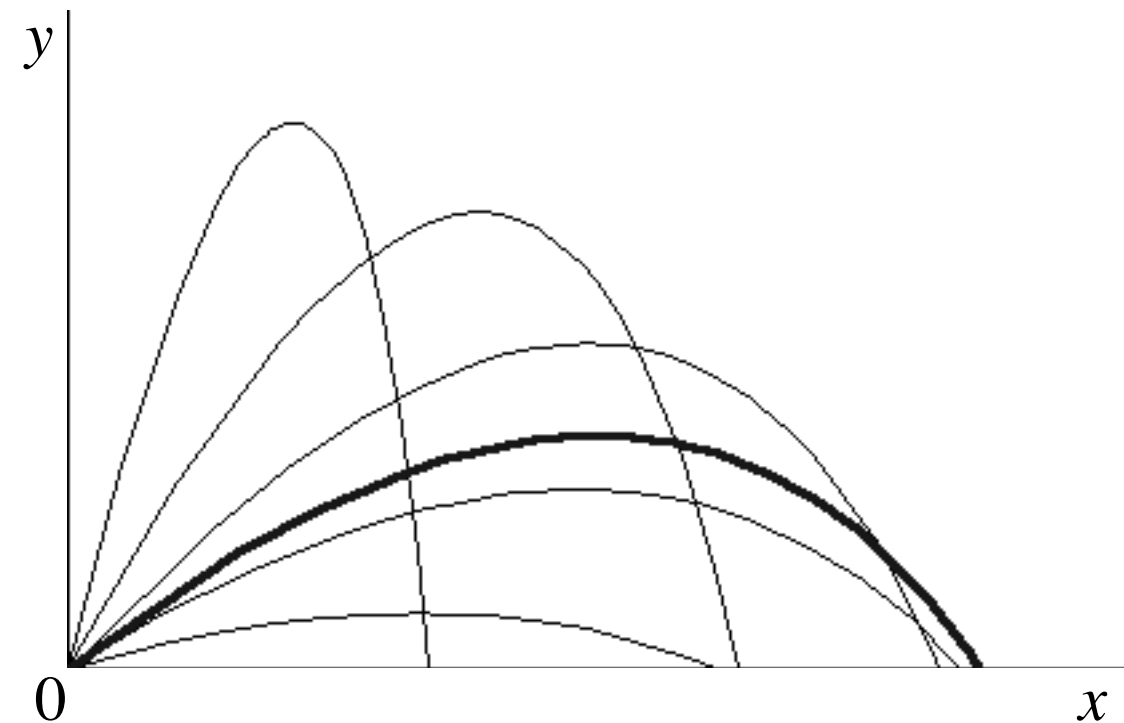
多摩川上水畔にて。桜並木下で昼食。撮影：須賀太郎、昭和9年4月。
左より、大瀬嬢（女子大の水泳選手）、寺田寅彦、日比谷夫人（某重役夫人）、黒田初子夫人
（料理研究家、登山家）、黒田正夫

放物運動（斜め方向への投射）



空気抵抗がないとき
45度の方向へ投げると、
一番遠くまで届く。

放物運動（空気抵抗がある場合）



空気抵抗があるとき
高さも低く、到達位置も短
くなる。

2.2.3 自由落下運動

■鉛直方向への自由落下運動

重力による自由落下は、加速度の大きさ $g = 9.8 \text{ [m/s}^2\text{]}$ の等加速度運動である。地面の高さをゼロとして、上向きを y 軸とした式にすると、時刻 t での速さ v_y と位置 y は、時刻 $t = 0$ での初速度を v_0 、位置を y_0 とすると、

$$v_y(t) = v_0 - gt \quad (8)$$

$$y(t) = y_0 + v_0 t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (9)$$

問題 何秒後に落下するか。落下したときの速さはいくらか。

- (1) 高さ10m (3階) から鉄球を落とす。
- (2) 高さ100m (30階) から卵を落とす。
- (3) 高さ2000m (雲) から雨滴。

Topic

終端速度

空気抵抗があるときの自由落下では，重力による下向きの方と，空気抵抗による上向きの方が，次第につりあって相殺するようになり，雨滴の速度は最終的には一定値に近づく．この速度を**終端速度**という．

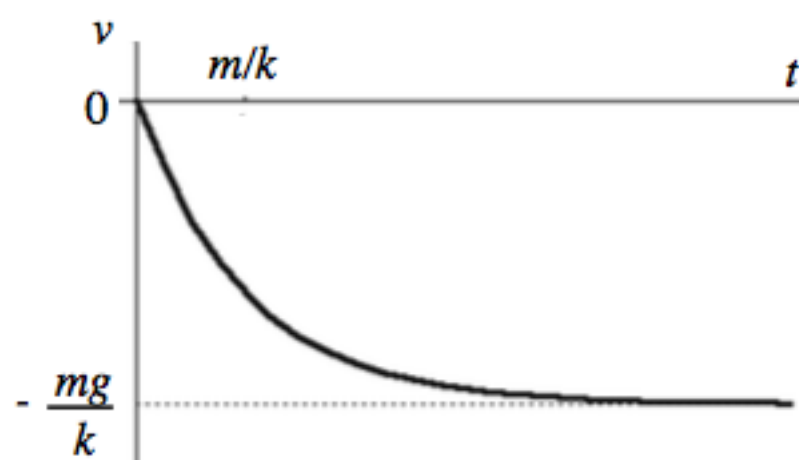
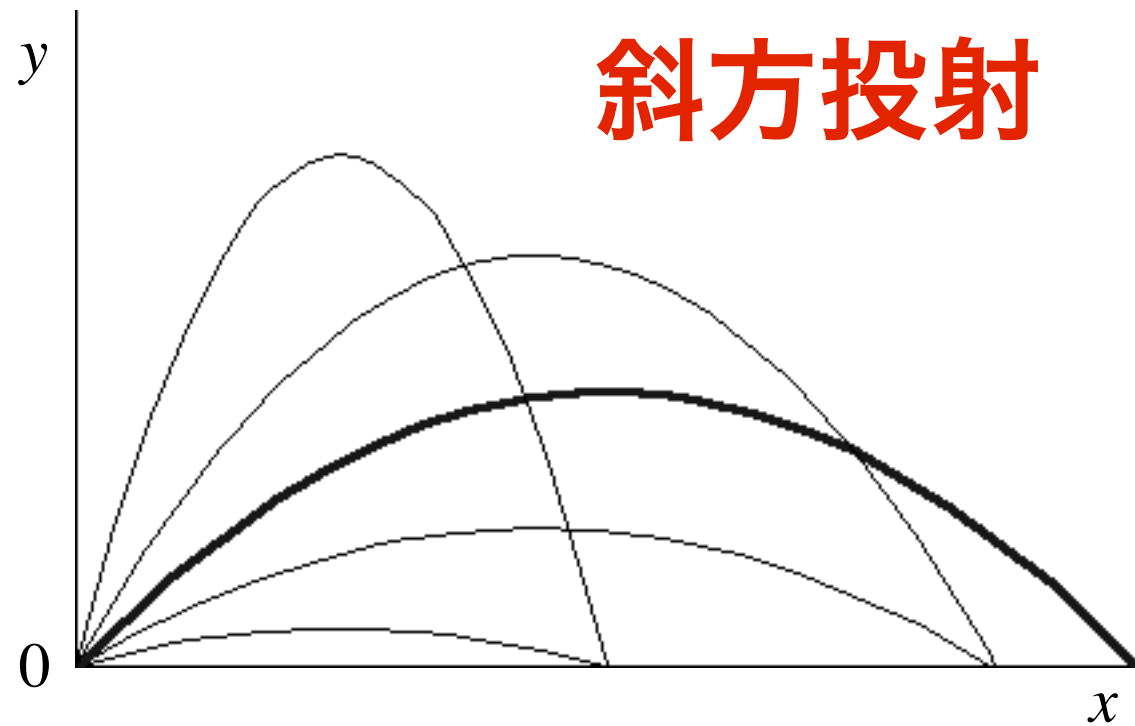


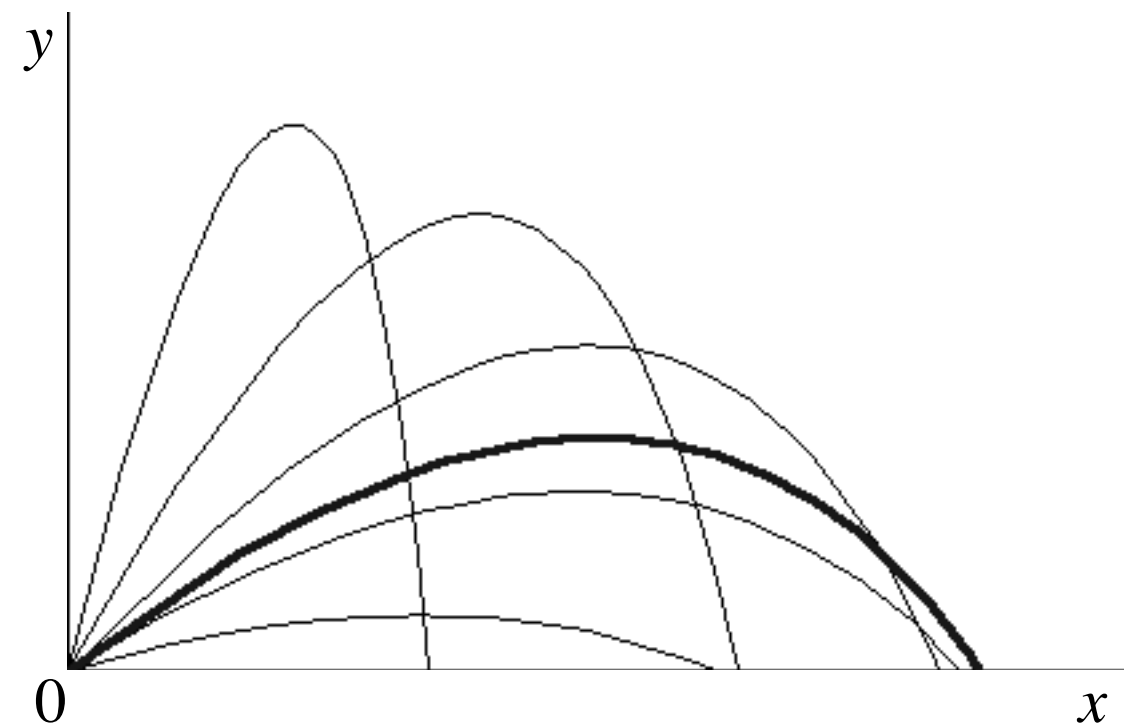
図 7: 雨滴の速度は抵抗力によって終端速度に落ち着く．

放物運動（斜め方向への投射）



空気抵抗がないとき
45度の方向へ投げると、
一番遠くまで届く。

放物運動（空気抵抗がある場合）



空気抵抗があるとき
高さも低く、到達位置も短
くなる。

3.2 摩擦力

静止摩擦 (static friction)

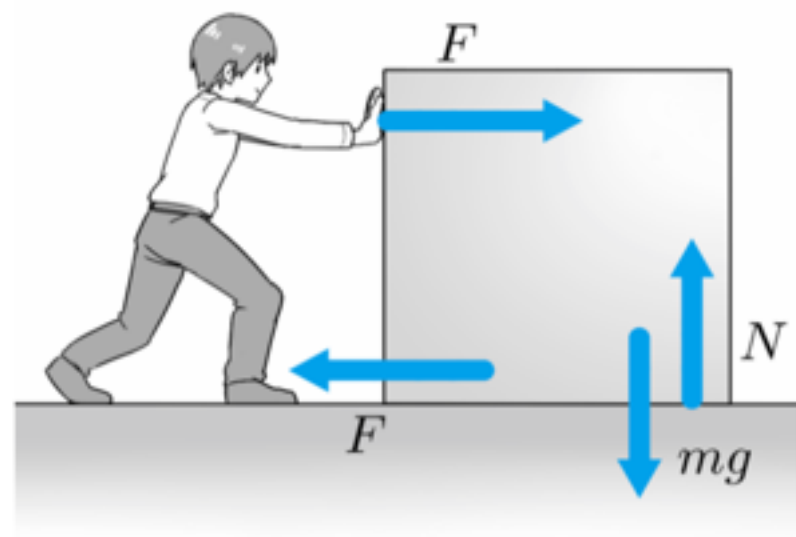


図 9: 物体を押しても動かないとき，静止摩擦力に勝っていない。

摩擦はある方がいい？ない方がいい？

Topic

摩擦はある方がいい？ 無い方がいい？

モノを動かすときには、摩擦があるとそれだけ力を余計に加えなければならない。畳の上で家具を滑らせて動かすときには、段ボールなどを敷くと摩擦が減る（これは、ざらざらの面よりも滑らかな面にしたほうが、摩擦が少なくなるからだ）。車輪の発明は、モノと地面の接触面積を減らす工夫の1つともいえる（面積が少なければ、摩擦は少なくなる）。

しかし、滑りすぎても困ることがある。自動車や自転車は、走ったら止まらなければならない。タイヤには溝があるが、これは雨天時に排水性を持たせるためだ。タイヤと地面の間に水の膜ができてしまうと、ハンドル操作もブレーキも利かなくなってしまう（ハイドロプレーン現象）。濡れた手ではモノがすべってもちにくい、ビンのふたがあげにくいときはゴム手袋を着けるとよい、冬に凍結した道路には砂をまく…。日常見られるさまざまな現象には、摩擦力で説明できることが結構存在している。

エジプトの砂に水を含ませると，滑りやすくなる

Did slippery sand help Egyptians build the pyramids?

2014/5/6



FIG. 1 (color online). Wall painting from 1880 B.C. on the tomb of Djehutihotep [1]. The figure standing at the front of the sled is pouring water onto the sand.

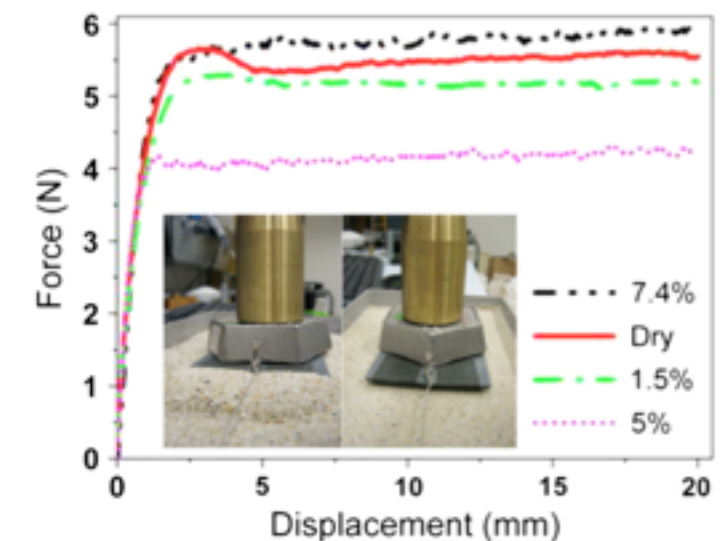


FIG. 2 (color online). Force-displacement curves for wet and dry Iranian sand. Inset: Picture of the setup. The picture on the left was taken while sliding over dry normalized sand. The picture on the right was taken while sliding over normalized sand wetted with 5% water. In the dry sand, a heap clearly builds up in front of the sled. The 11×7.5 cm sled is made out of PVC with rounded edges (as the Egyptian sled) and a roughness of $35 \mu\text{m}$ with sandpaper on its bottom; the results were qualitatively similar but less reproducible with a smooth bottom.

<http://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.112.175502>

<http://physicsworld.com/cws/article/news/2014/may/06/did-slippery-sand-help-egyptians-build-the-pyramids>

<http://physicsworld.com/cws/article/news/2007/dec/03/wet-sand-flows-better-than-dry>

カ4 摩擦力 (運動に抵抗する力)

「この世に摩擦がなければどうなるのか」



小柴昌俊 (2002)
ニュートリノ天文学の
先駆的な貢献に対して
jointly to Raymond Davis Jr. and
Masatoshi Koshiba "for pioneering
contributions to astrophysics, in
particular for the detection of cosmic
neutrinos" and the other half to
Riccardo Giacconi "for pioneering
contributions to astrophysics, which
have led to the discovery of cosmic X-
ray sources".

Topic

もし摩擦がなかったら

ノーベル物理学賞を受賞した小柴昌俊氏のエピソードには、「この世に摩擦がなければどうなるのか」という問題を試験に出したことがあるという。摩擦がないと鉛筆の先が滑って紙に文字は書けなくなる。そのため、この問題の正解は何も解答欄に記入しない白紙答案だった、という。解答を記入すると不正解になる超難問といえよう。

3.3 保存則という考え方 — 世の中保存する量がある

運動方程式で考える

$$\vec{F} = m \vec{a}$$

保存則で考える

質量保存則

エネルギー保存則

運動量保存則

角運動量保存則

エネルギー = 物体を動かす能力

重力による位置エネルギー

質量 m [kg] の物体が、高さ h [m] にあるとき、

$$E_P = mgh \quad (2.46)$$

の量を**重力による位置エネルギー**という。 g は重力加速度である。 エネルギーの単位は、 [J] (ジュール) である。

運動エネルギー

質量 m [kg] の物体が、速度 v [m/s] で動いているとき、

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.48)$$

の量を**運動エネルギー**という。

仕事(work) = 力 x 動いた距離

仕事・仕事率

- 力 F [N] を加えて、その方向に、物体 x [m] 移動したとき、

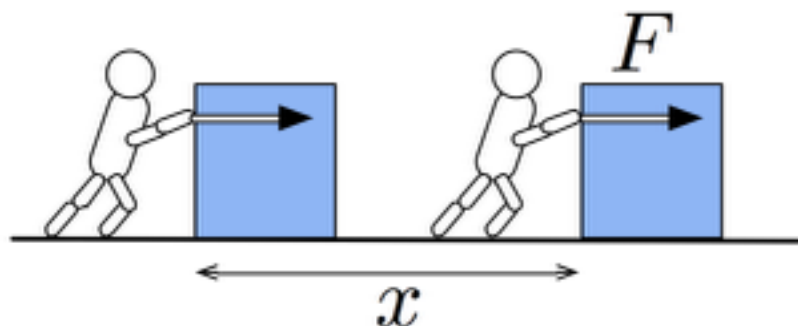
$$W = Fx \quad \text{仕事 [J] = 移動方向の力 [N] \times 移動距離 [m]} \quad (2.43)$$

の量を**仕事**という。仕事の単位は、[J] (ジュール) である。

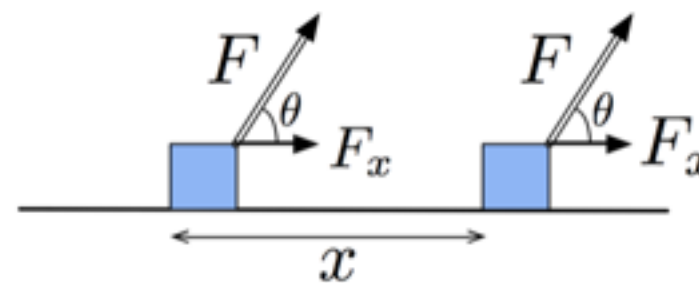
- 単位時間あたり (1 秒あたり) の仕事を**仕事率**という。単位は [W] (ワット) である。

$$P = \frac{W}{t} \quad \text{仕事率 [W] = } \frac{\text{仕事 [J]}}{\text{時間 [s]}} \quad (2.44)$$

力の向きに移動する場合の仕事は $W = Fx$.



力の向きと異なる方向へ移動するときの仕事は $W = F_x x$



エネルギーは保存する

力学的エネルギー保存則 (energy conservation)

重力だけがはたらくとき、位置エネルギーと運動エネルギーの和は一定値で保存する。すなわち、

$$(\text{位置エネルギー}) + (\text{運動エネルギー}) = (\text{一定}) \quad (2.49)$$

となる。これを力学的エネルギー保存則という。

$$mgh_0 + 0 = mgh_1 + \frac{1}{2}mv_1^2 = mgh_2 + \frac{1}{2}mv_2^2 = 0 + \frac{1}{2}mv_3^2$$

位置エネルギー + 運動エネルギー = 一定

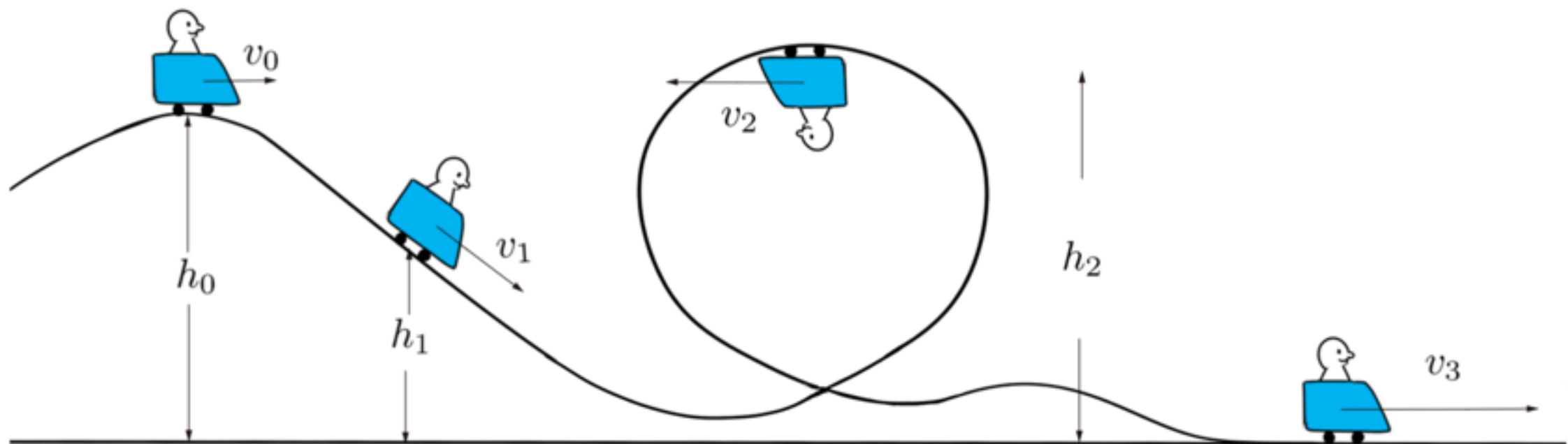


図 13: ジェットコースターの速さは、最初の高さだけで決まる。

ジェットコースターはどこが一番怖い？

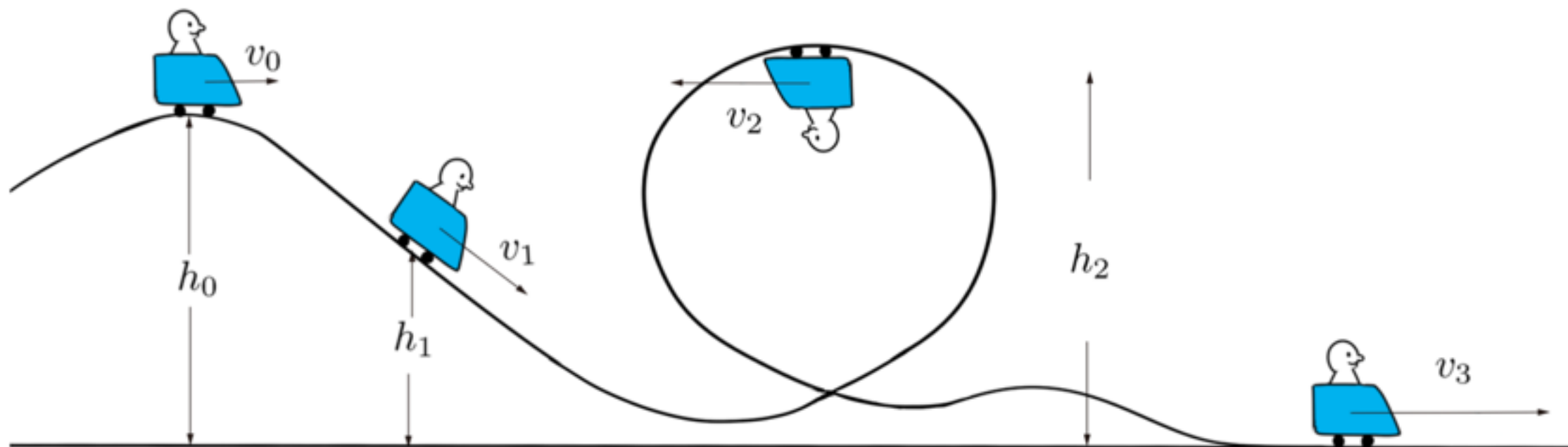
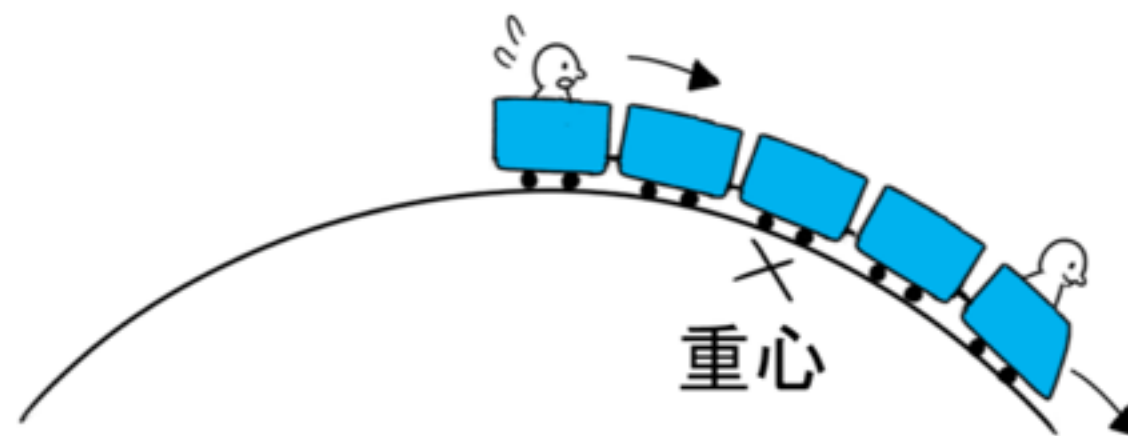
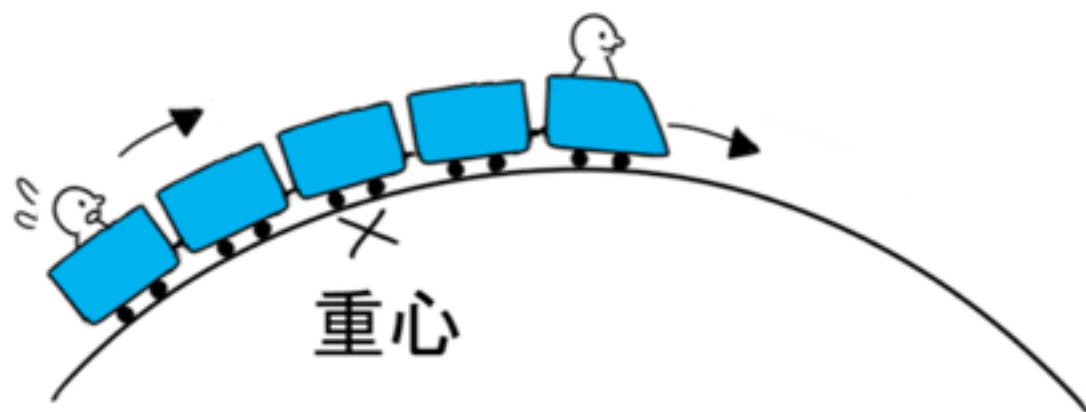


図 13: ジェットコースターの速さは、最初の高さだけで決まる。

なかなか加速せず
宙ぶらりん

加速しながら
山を越える



運動量 = 質量 × 速度

運動量・力積

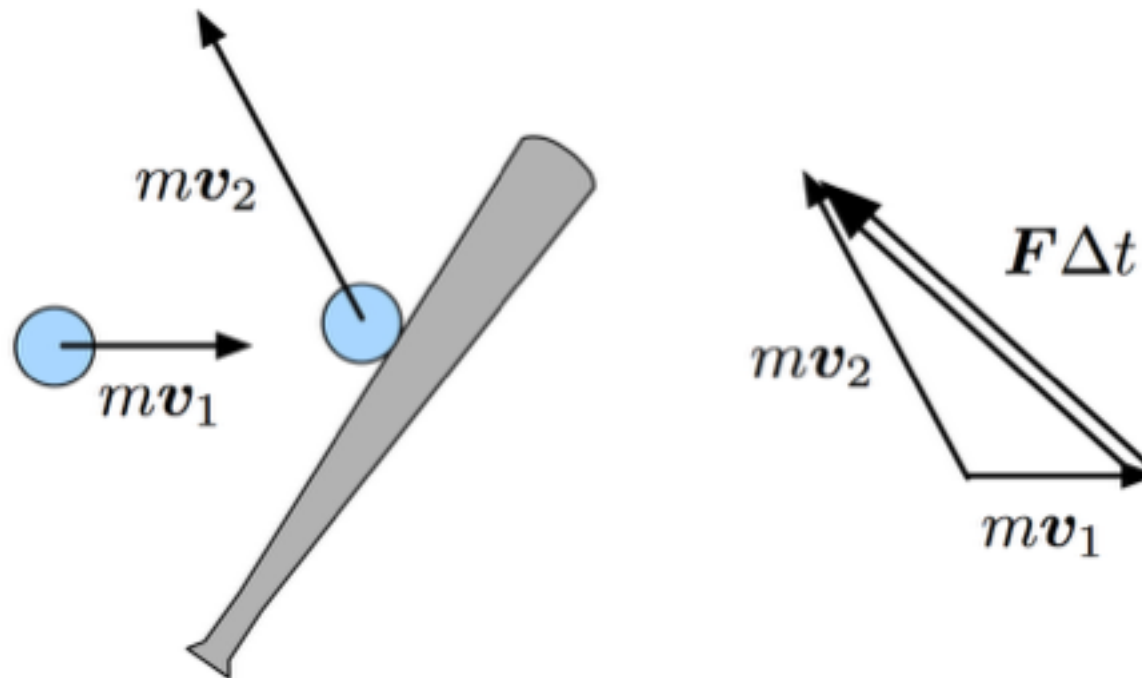
- 質量 m [kg] の物体が、速度 v [m/s] で動いているとき、

$$p = mv \quad \text{運動量 [kg m/s] = 質量 [kg] × 速度 [m/s] (2.54)}$$

を**運動量**という。

- 物体に一定の力 F [N] を時間 Δt [s] だけ作用させたとき、

を**力積**と



運動量 = 質量 × 速度

■運動量

運動の勢い（激しさ）を表す量として考えだされたのが、**運動量**である。

定義 運動量

質量 m [kg] の物体が、速度 v [m/s] で動いているとき、**運動量**を次のように定義する。

$$p = mv \quad (16)$$

$$\text{運動量 [kg m/s]} = \text{質量 [kg]} \times \text{速度 [m/s]}$$

■運動量保存則

法則 運動量保存則

2つの物体が互いに力を及ぼしあうとき（すなわち、衝突・合体・分裂・貫通するようなとき）、その前後で、2物体の運動量の和は保存する。

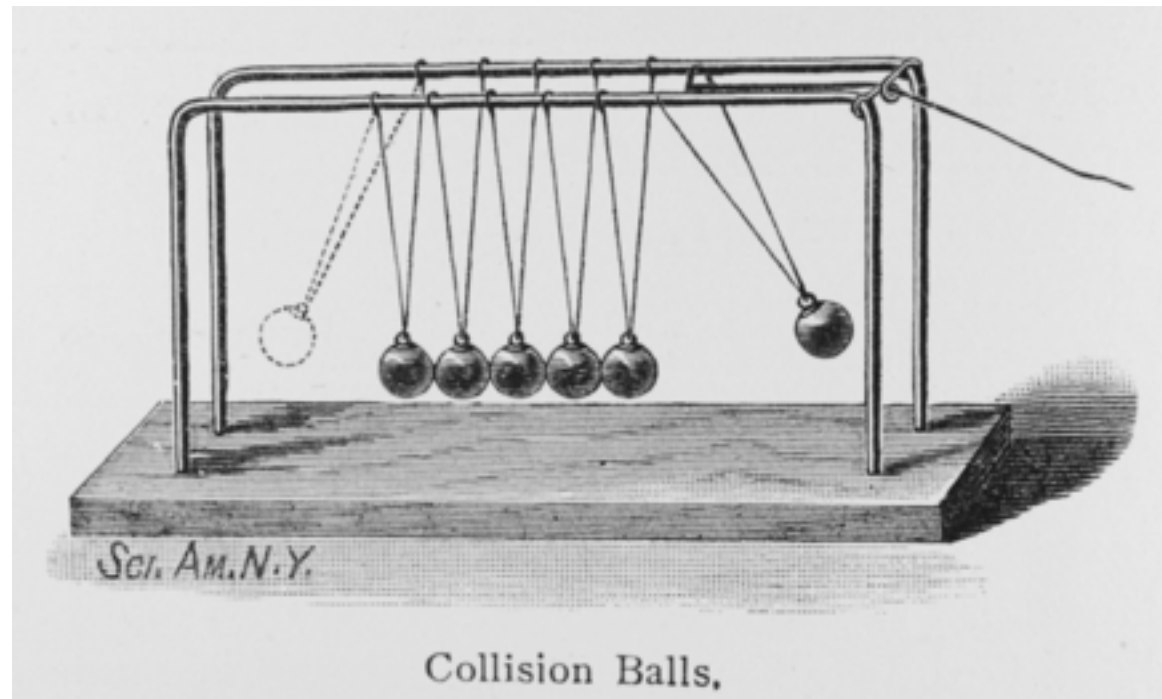
$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v'_A + m_B v'_B \quad (17)$$

運動量保存則（作用反作用の帰結）

法則 運動量保存則

2つの物体が互いに力を及ぼしあうとき（すなわち、衝突・合体・分裂・貫通するようなとき）、その前後で、2物体の運動量の和は保存する。

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v'_A + m_B v'_B \quad (17)$$



Newton's Cradle

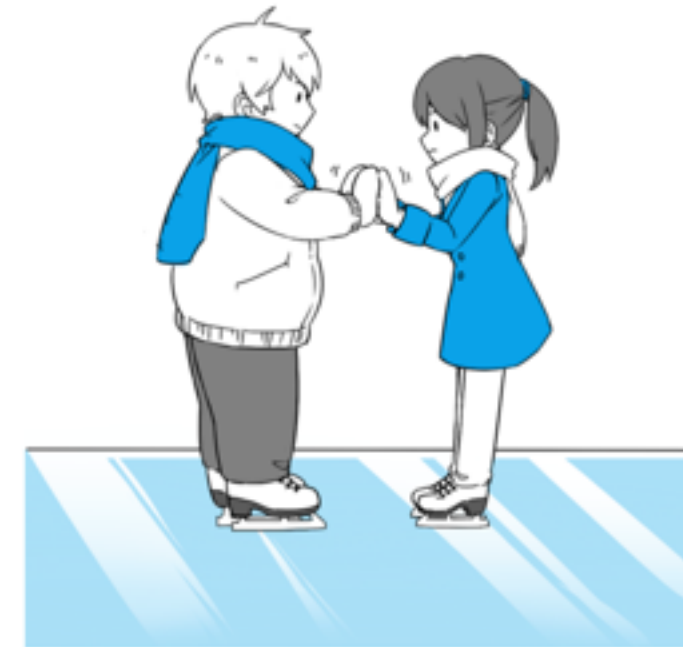


図 14: 体重の違う氷の上の2人が互いに力を入れて押すと？

宇宙での作用・反作用の 実験(お手つき)

© JAXA
© NASA

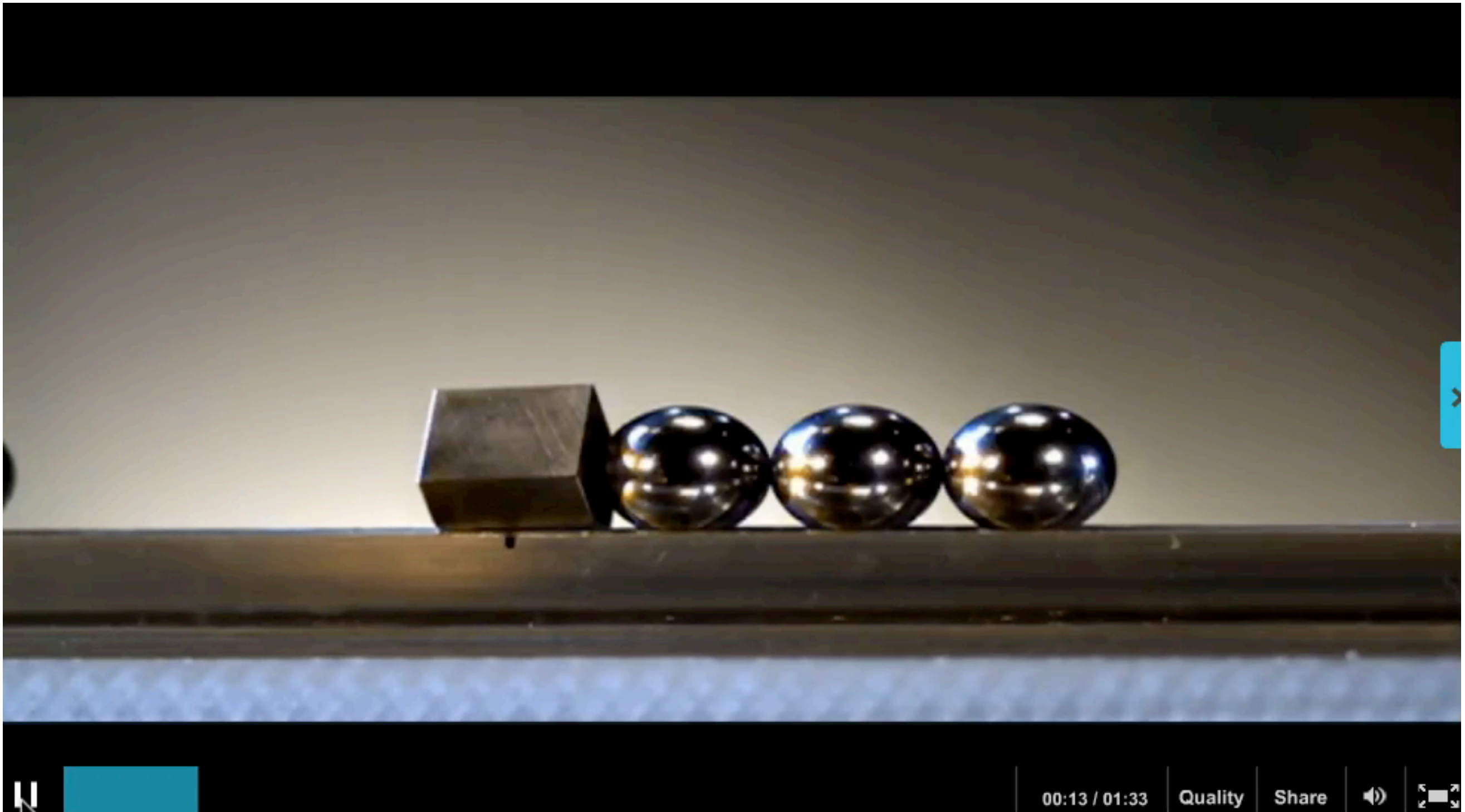
宇宙での作用・反作用の実験

(図録 p.15)

Gauss gan



Gauss gan



[Time Warp: Gauss Gun : Video : Discovery Channel](#)

空気も水も流体 . . . 多数の分子の衝突現象

■圧力

水や大気などの流体は、物体をまんべんなく押す力をもつ。水圧や大気圧が物体に与える力は、接している面積が大きいほど大きくなる。単位面積あたり（1 m² あたり）にはたらく力を**圧力**といい、次のように定義する。

定義 圧力

単位面積あたりにはたらく力を**圧力** p という。

$$\text{圧力 } p = \frac{F}{S} = \frac{\text{加わる力 [N]}}{\text{面積 [m}^2\text{]}} \quad \text{単位は } [\text{N/m}^2] = [\text{Pa}] \quad (19)$$

圧力

D 液体や気体から受ける力 単位面積当たりにはたらく力の大きさを圧力といい、単位 Pa(パスカル)で表す。

圧力

$$p = \frac{F}{S} \quad \text{圧力(Pa)} = \frac{\text{力(N)}}{\text{面積(m}^2\text{)}}$$

水 圧 $p = \rho hg$
 水中での圧力 $p' = p_0 + \rho hg$
 ρ [kg/m³] : 水の密度, h [m] : 水深
 g [m/s²] : 重力加速度の大きさ, p_0 [Pa] : 大気圧

●面積による圧力の違い



新雪の上では、スキー板をはいていると圧力は小さく沈まないが、スキー板をはいていないと圧力は大きく沈んでしまう。

●大気圧によって押しつぶされる缶



缶に水を入れて沸騰させて水蒸気で満たし、ふたをする。缶に空気はほとんど残っていない。冷えると水蒸気は水になるため、缶は大気圧によって押しつぶされる。

●圧力によって縮んだ容器



水深 11600 m に相当する圧力を加えて縮んだ発泡ポリスチレンの容器(右側)

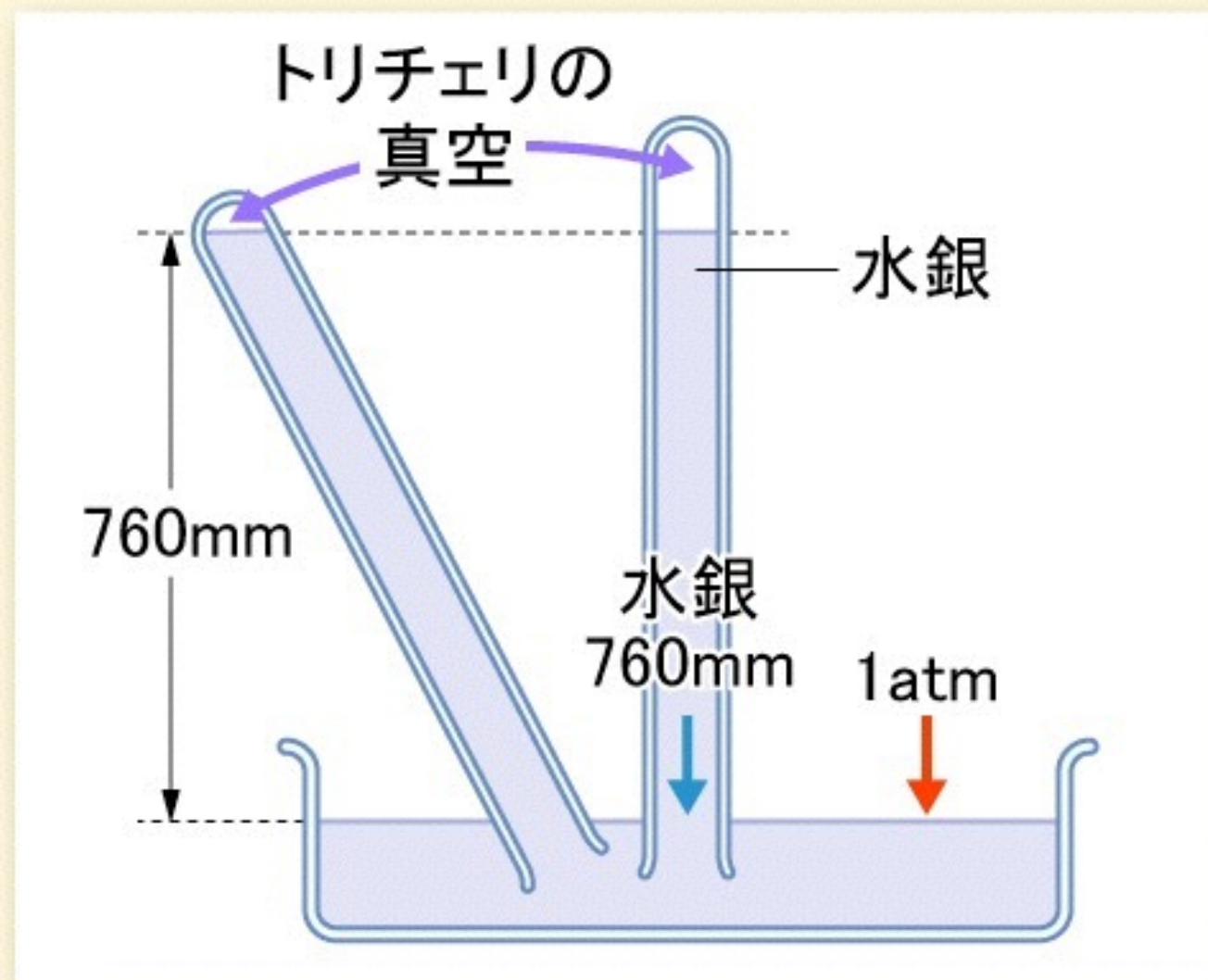
(図録 p.15)

トリチェリの実験



Evangelista Torricelli
(1608-47)

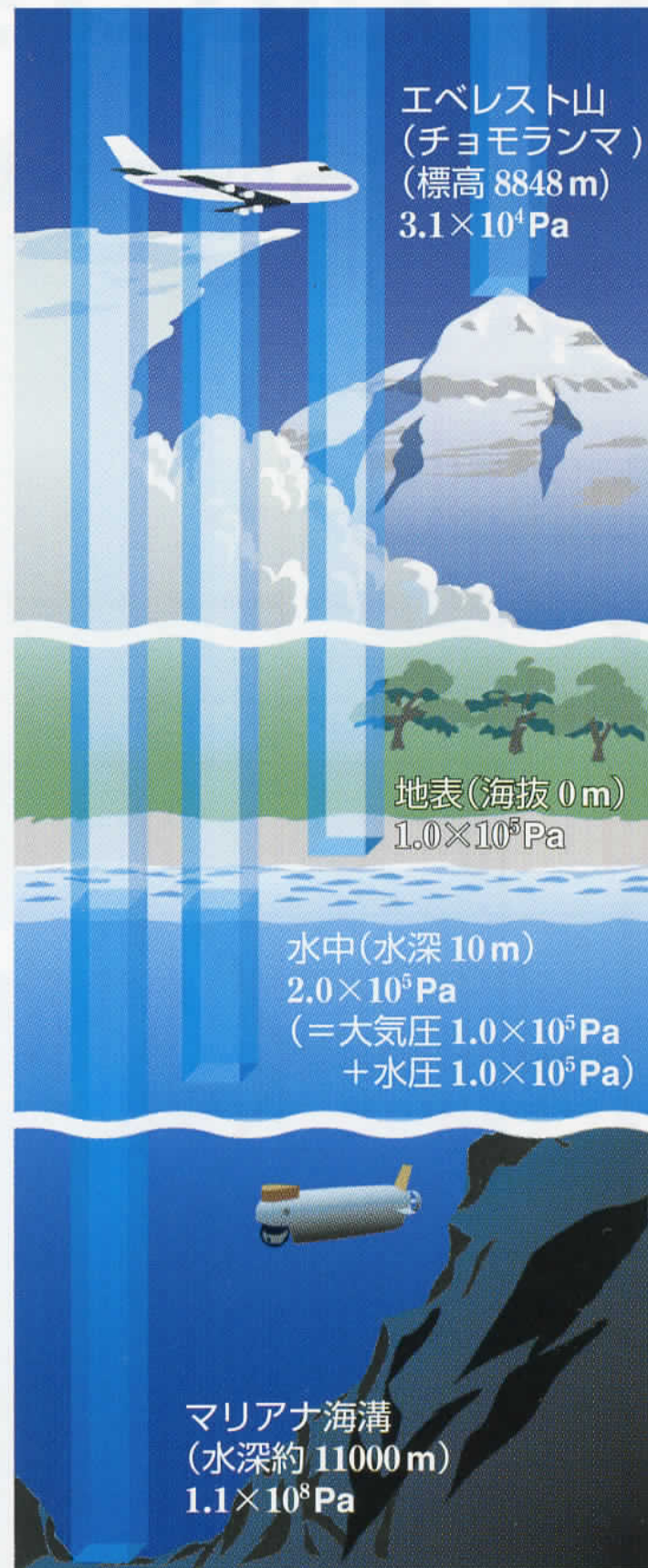
空気の圧力



海拔0mにおける大気圧は通常1atm
(760mmHg = 1.01325×10^5 Pa)

大気圧

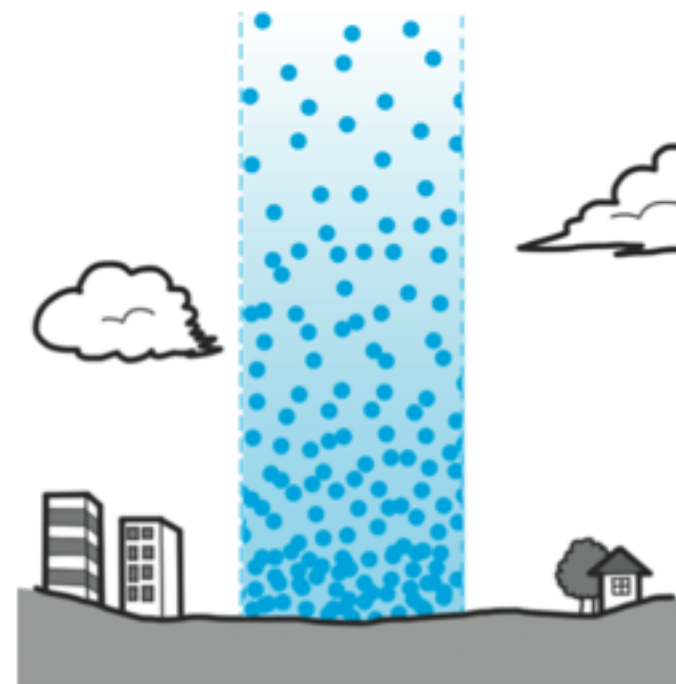
●大気圧と水圧



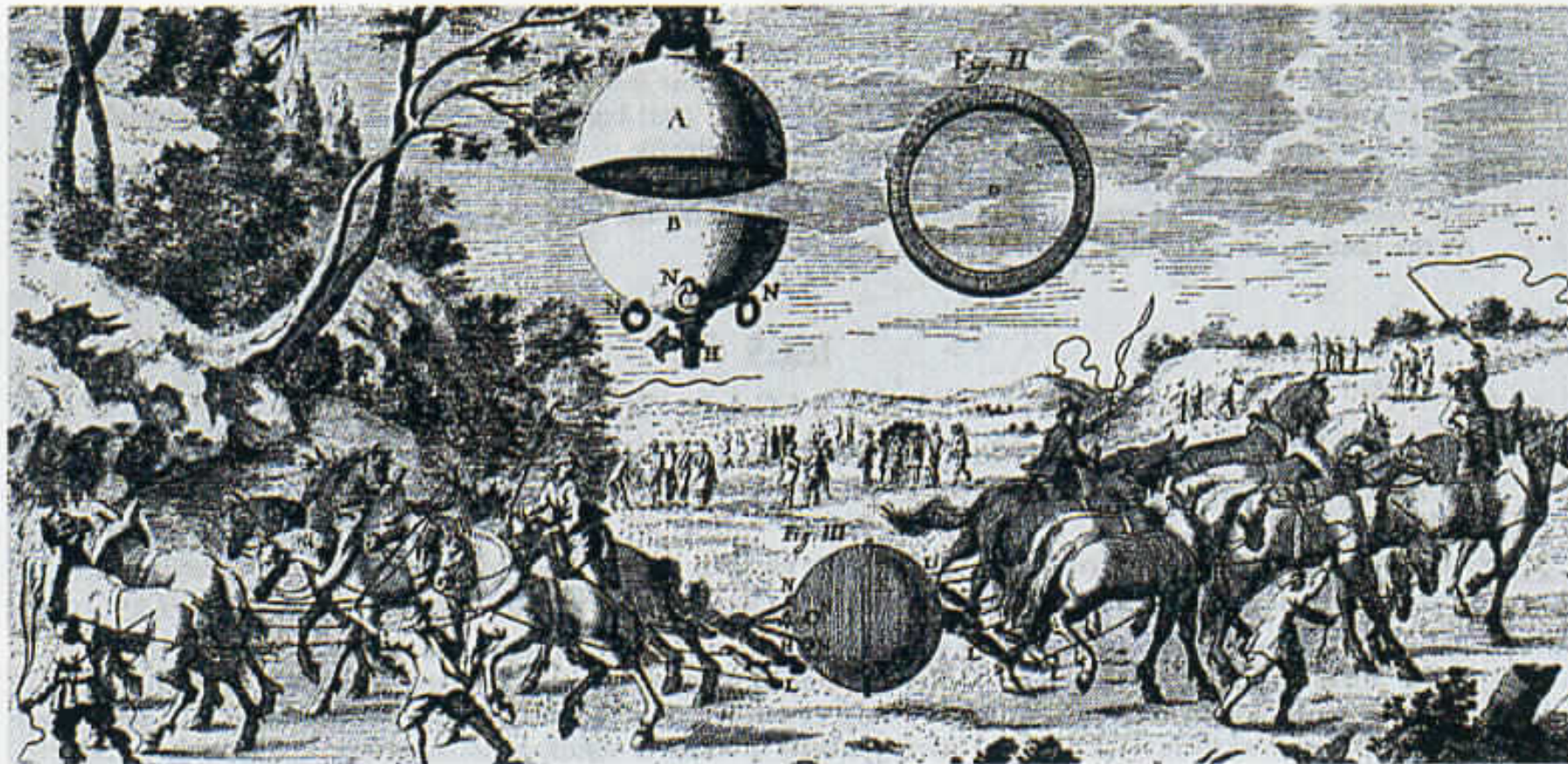
1 気圧 = 「親指の爪(1 cm 四方) に1kg くらい力」

【大気圧】

大気圧は空気の重さによって大気中にはたらく圧力のこと。



マグデブルグの半球の実験



ドイツのゲーリケ(当時のマグデブルグ市長)が17世紀半ばに行った大気圧の大きさを示す実験。2つの金属製半球容器を合わせて中の空気を抜くと、ぴったりくっついて外れなくなった。図には、馬8頭ずつで双方から引っ張ってもなかなか外れないようすが描かれている。

Topic

血圧計

血圧は、血管内の血液（一般には動脈）の圧力のことで、心臓の動きにあわせて血圧の最高値と最低値を計ることになる。心臓が収縮しているときは、血液を押し出しているので、最高血圧（収縮期血圧）になり、逆に心臓の拡張期は最低血圧（拡張期血圧）になる。血圧が高すぎると、動脈が痛みやすく、心臓にも負担が高い。

血圧計は、一度動脈をぐっと空気圧で押さえ、次第に緩めてゆく。そして圧迫を緩めながら、脈音が聞こえだすところが最高血圧、さらに緩めてゆき、脈音がしなくなるところが最低血圧と判定する。

血圧 (blood pressure)

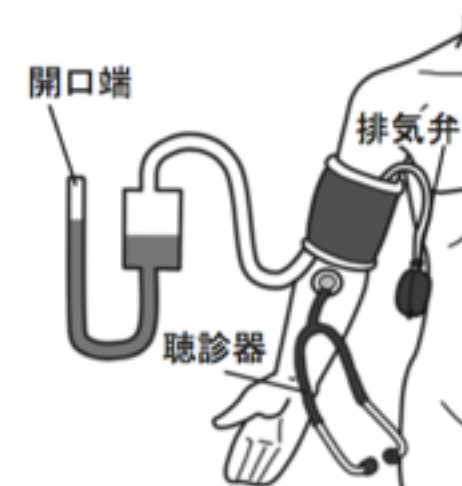
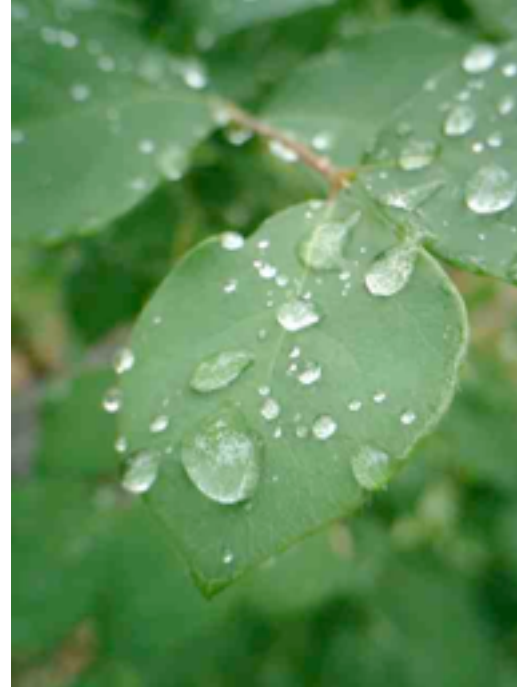


図 19: 血圧計.

表面張力



表面をできるだけ小さくしようとする傾向を持つ液体の性質のこと。



浮力 (buoyancy)

流体中（水中，空気中）では，物体の体積に比例した浮力が生じる．この原理を発見したのはアルキメデスである．

法則 アルキメデスの原理 (Archimedes' principle)

流体中の物体が受ける浮力は，その物体が押しのけた流体の重さ（重力）と同じ大きさである．

式で表現すると，次のようになる．浮力の大きさ F は，物体が押しのけた流体の重さに等しい．すなわち，流体の密度を ρ [kg/m³] とすれば，物体の体積を V [m³]，重力加速度を g [m/s²] として

$$F = \rho V g \quad (21)$$

となる．押しのける体積が大きければ，鉄の船も実現することになる．

Topic 氷山の一角

氷の密度は水の密度 $\rho=1[\text{g}/\text{cm}^3]$ の約 92% である。断面積 S 、高さ h の氷柱があるとき、水中にある部分の高さを d とすると、つりあいの式は、

$$\underbrace{0.92\rho Shg}_{\text{下向きの力}} = \underbrace{\rho Sdg}_{\text{浮力}}$$

となるので、 $d = 0.92h$ となる。つまり、氷はわずか 8% だけ水面から顔を出す。「氷山の一角」という言葉がよく使われるが、氷山が見えてもその大部分は見えていない、ということだ。



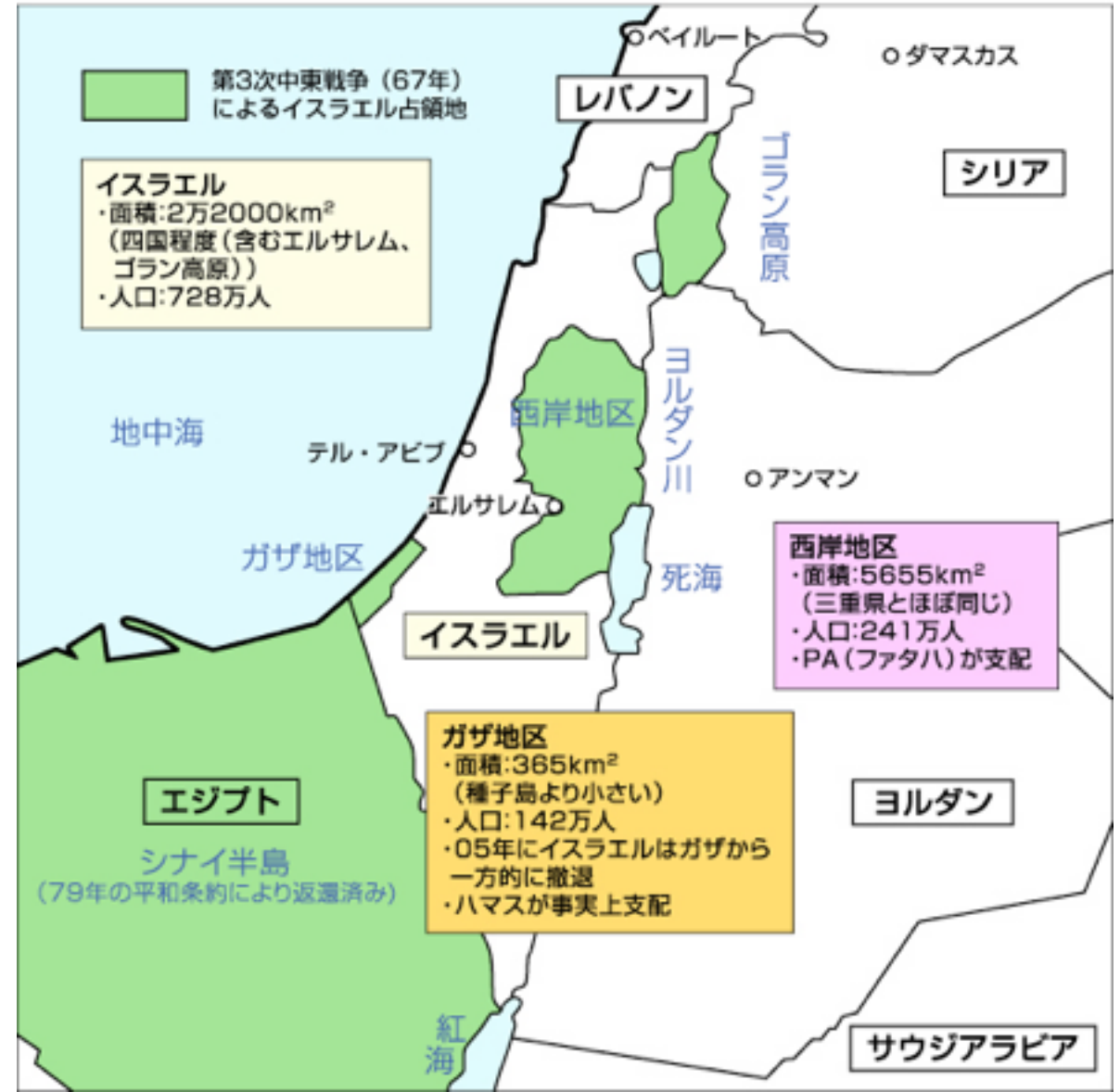
図 23: 氷山の一角

卵を浮かせる 実験

新鮮な卵は水に沈む。沈んだ状態で水に塩を加えていくと、卵は浮き始める。理由はアルキメデスの原理から明らかだろう。ところで、浮かばせることで全重量はどうなるのだろうか。コップに水を入れて重量を量る。卵も重量を量る。さて、卵をコップ内に浮かばせると、全重量は？



中東和平関連地図



死海
 標高 -427m
 塩分濃度 30%



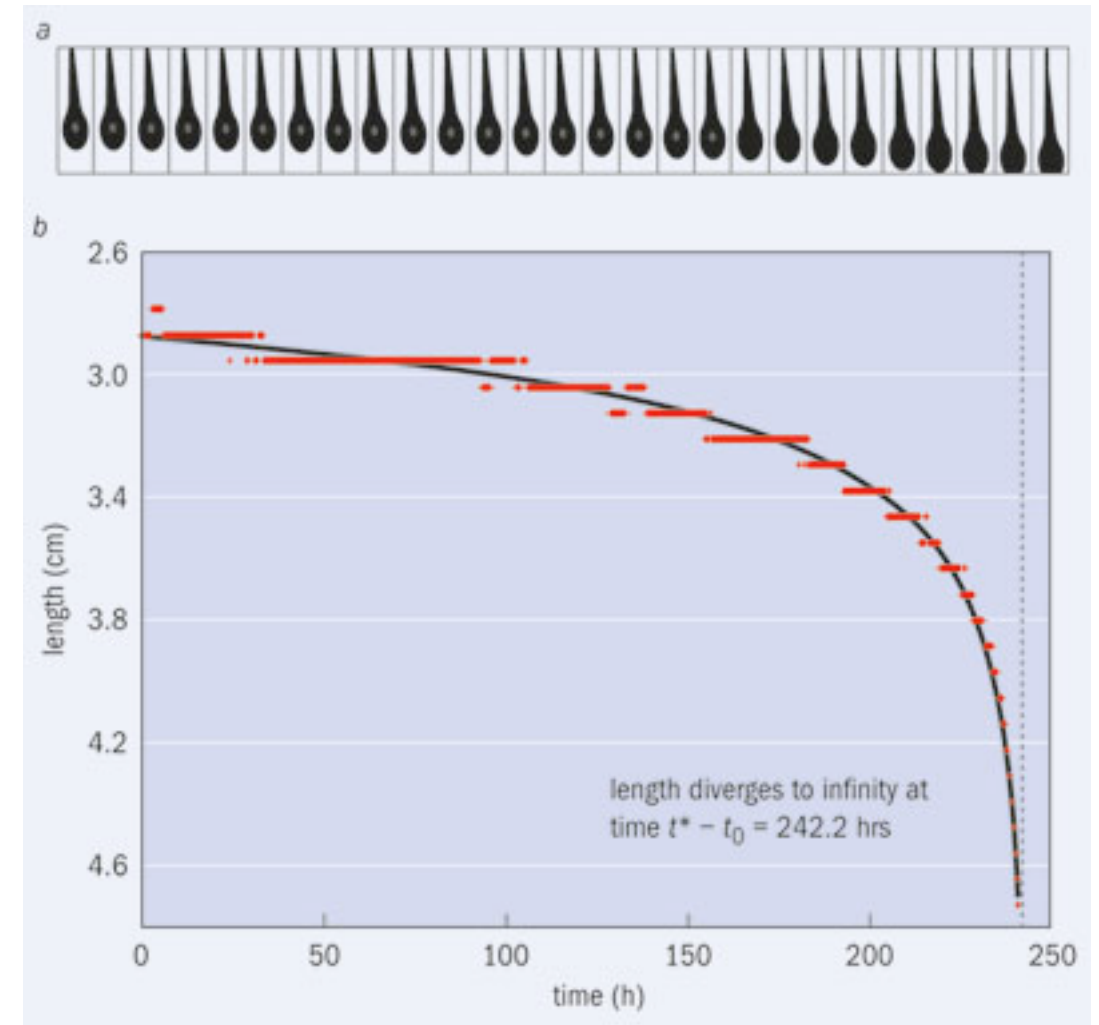
69年かかって、1滴落下

2014/5/15

イギリスのTrinity College Dublinのグループが実験した、超粘性液体の落下の動画視聴が、200万回に達した、という。

(Physics World 2014年5月号)

蜂蜜の200万倍の粘性をもつ液体が1滴落ちる瞬間は、1ヶ月前に予言されたように、2013年6月11日に生じた。1944年10月に始まった実験で69年かかった。



$$L = L_1 - L_0 \frac{t^*}{(t + t_0)} \ln \left[1 - \frac{(t + t_0)}{t^*} \right],$$

<http://physicsworld.com/cws/article/indepth/2014/may/01/the-drop-heard-round-the-world>

<http://www.tcd.ie/Physics/tar-experiment/>

69年かかって、1滴落下

The drop heard round the world

2014/5/15

イギリスのTrinity College Dublinのグループが実験した、超粘性液体の落下の動画視聴が、200万回に達した、という。

(Physics World 2014年5月号)

蜂蜜の200万倍の粘性をもつ液体が1滴落ちる瞬間は、1ヶ月前に予言されたように、2013年6月11日に生じた。1944年10月に始まった実験で69年かかった。



<http://www.youtube.com/watch?v=vZ5Vm4vABH4>

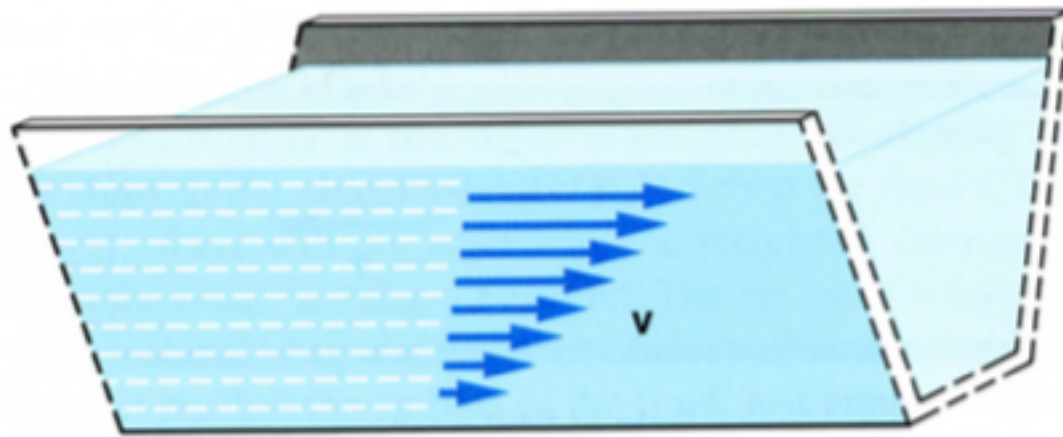


figure 9.19 Because of the frictional or viscous forces between layers, each layer of fluid flowing in the trough moves more slowly than the layer immediately above.

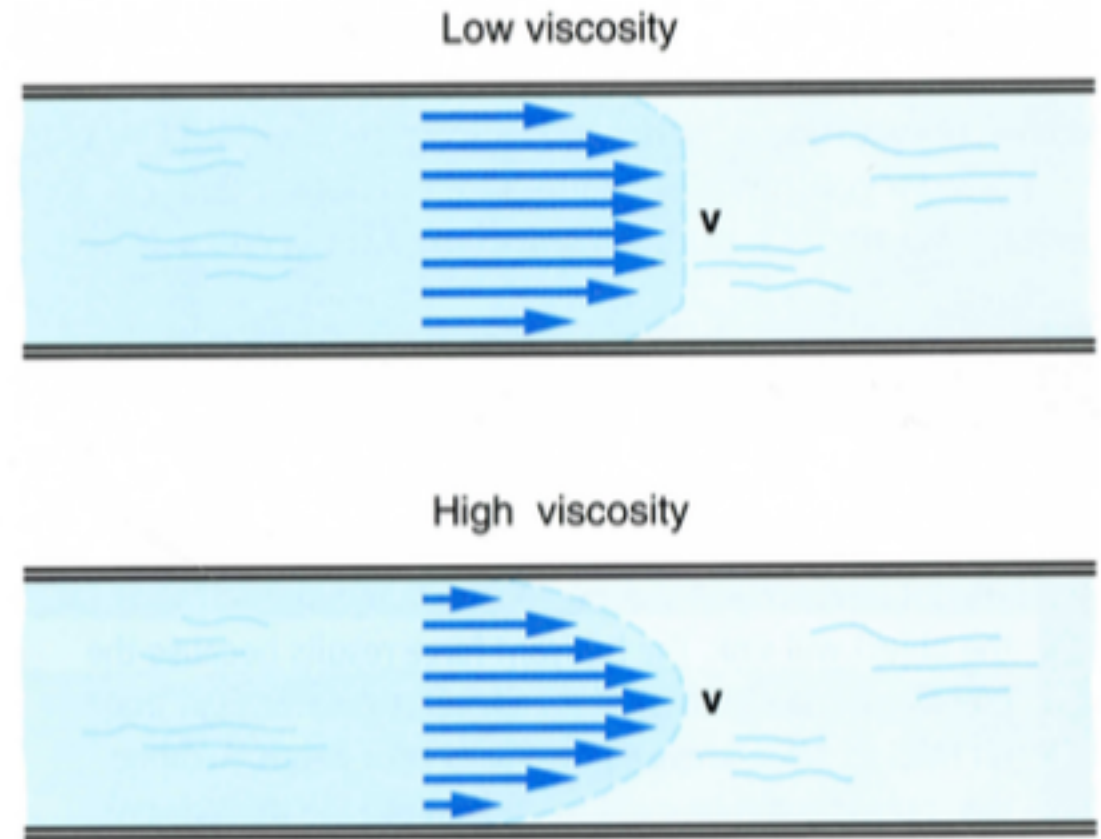


figure 9.20 The velocity increases rapidly from the wall inward for a low-viscosity fluid but more gradually for a high-viscosity fluid.

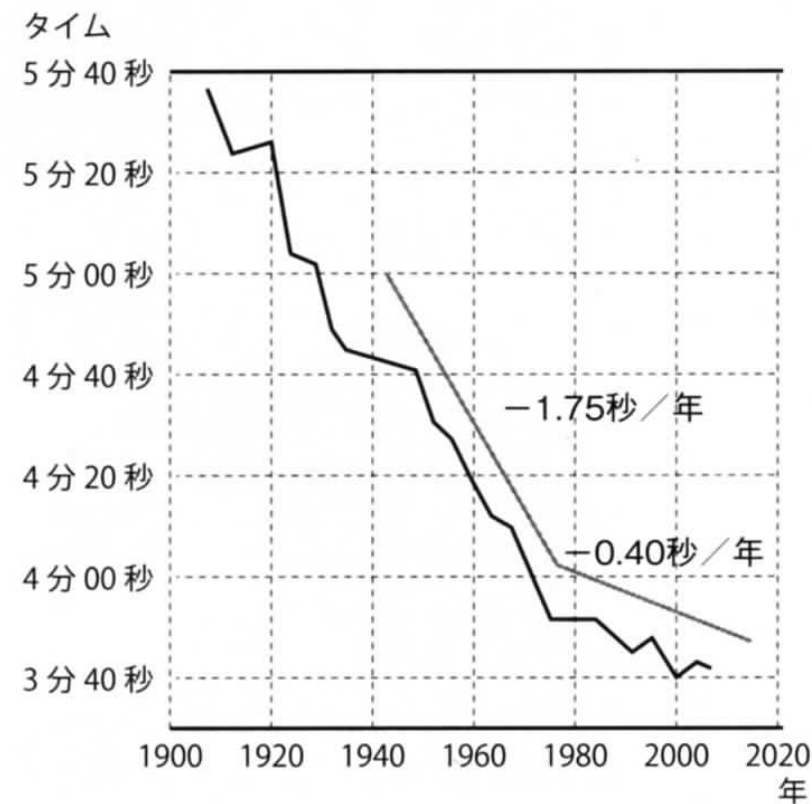
図 26: 川の流れと粘性の影響.

流体中の抵抗をどうやって減らすか？



流体中の抵抗をどうやって減らすか？

「泳法の改善で勝てる時代は、1976年で終わった」



1 - 1 400m自由形の記録の推移

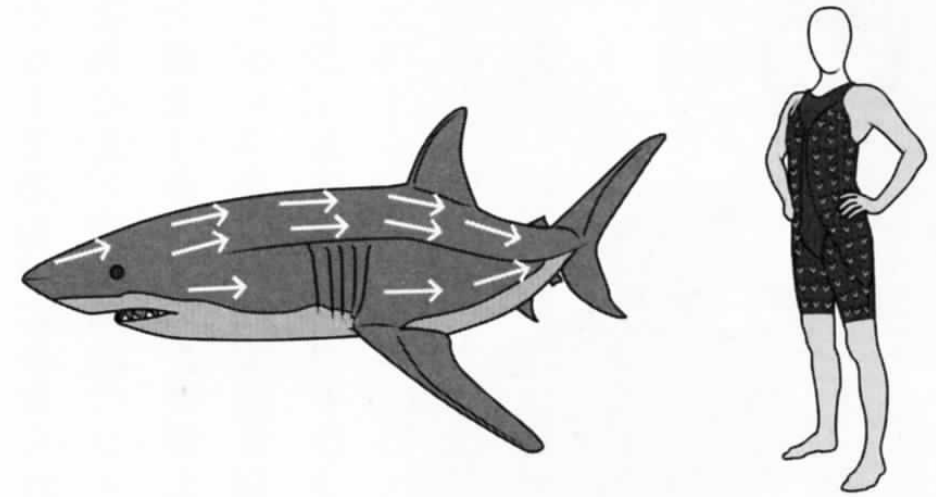


シドニー、アテネ五輪で計5個の金メダルを獲得した元競泳選手のイアン・ソープ
オリンピックで100-200-400の組合せでメダルを獲得したのはソープただ一人

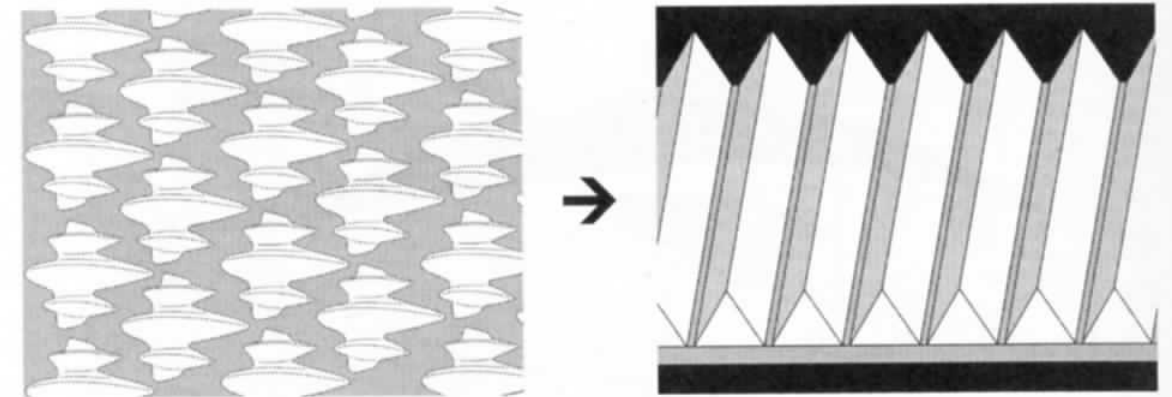
流体中の抵抗をどうやって減らすか？

流れ方向	物体	投影形状	抵抗係数
→			$C_D=0.16$
→			$C_D=0.09$
→			$C_D=0.47$
→			$C_D=1.12$ ($t/d=0.01$)
→			$C_D=0.76$ ($t/d=2$)
→			$C_D=1.14$ ($t/d=0.01$)
→			$C_D=1.15$ ($t/d=2$)

1 - 8 物体の形が変わると抵抗係数も変化する

















1 - 3 サメのうろこの縦溝の方向と、それを模してつくられたサメ肌水着



1 - 14 サメのうろこ (左) と、その構造を模したリブレット (右)

「オリンピックに勝つ物理学」
(望月修, 講談社ブルーバックス, 2012)

流体中の抵抗をどうやって減らすか？

流れ方向	物体	投影形状	抵抗係数
→			$C_D=0.16$
→			$C_D=0.09$
→			$C_D=0.47$
→			$C_D=1.12$ ($t/d=0.01$)
→			$C_D=0.76$ ($t/d=2$)
→			$C_D=1.14$ ($t/d=0.01$)
→			$C_D=1.15$ ($t/d=2$)

1 - 8 物体の形が変わると抵抗係数も変化する



かわせみ

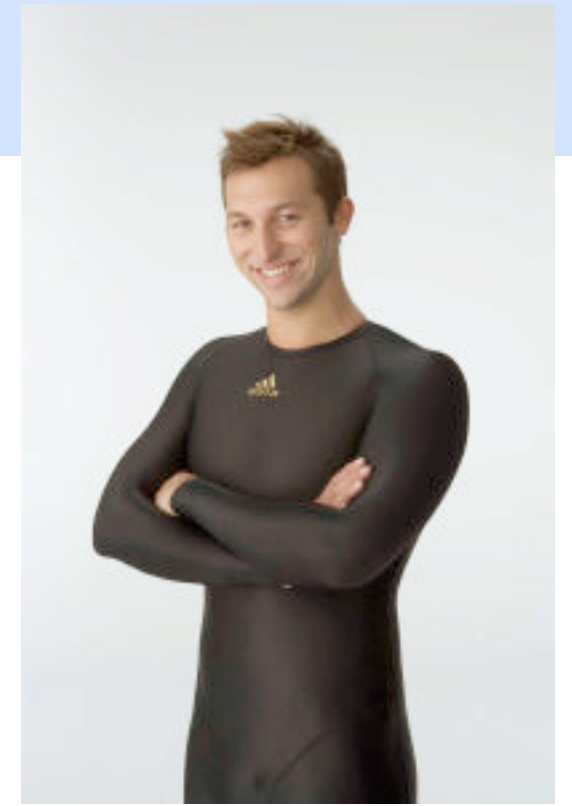


イルカ

「オリンピックに勝つ物理学」
(望月修, 講談社ブルーバックス, 2012)

新型水着の栄枯盛衰

2000年 シドニーオリンピック
体全体を覆う水着の登場
抵抗力を減らす



2008年 北京オリンピック
SPEEDO社レーザレーサー
縫い目なし，撥水加工された生地
体を締め付けて凹凸を減らす

新記録続出

新型水着の栄枯盛衰

2008年 新型水着 「たこ焼きラバー」

ポリウレタンやラバーなどのフィルム状の素材を貼り合わせた水着



国際水泳連盟 (FINA) 2010年からの着用禁止

- ★水着の布地は「繊維を織る・編む・紡ぐという工程でのみ加工した素材」に限定
- ★水着が体を覆う範囲も、プール競技では男性用はヘソから膝まで、女性用は肩から膝まで
- ★オープンウォーター競技では男性用、女性用とも肩から踝までに制限



平成 27 年 (2015 年) 度「宮水学園」マスター講座〈前期〉

日常は物理で満ちている —こんなところに自然法則—

真貝寿明

次回は、6月19日（金）です。

- | | | |
|-------|----------|--------------------|
| 第 3 回 | 6 月 5 日 | 乗り物の物理——空気抵抗と闘う乗り物 |
| 第 4 回 | 6 月 19 日 | 気象の物理——ペットボトルで雲を作る |
| 第 5 回 | 7 月 3 日 | 台所の物理——山の上でご飯を炊く方法 |