

生活の中の物理学 (2022)

Physics in Everyday Phenomena

第3回 2022/10/3

第2章 力学—Newtonの運動法則



真貝 寿明

Hisaaki Shinkai

<http://www.oit.ac.jp/is/shinkai/mukogawa>

前回のミニッツペーパーから

期限をもう少し延ばしてほしいです。必修の課題に追われているのでもう少し延ばしてくれると有難いです。

もともと、リアルタイムで受講して、3分くらいで書いてもらうものを想定していますので、ご容赦。

ガリレオの小説やドラマを見ていると物理的な説明をしている事が多々ありますが、あれらは全て科学的(物理的?)には正しいものなののでしょうか。完全な文系の私からするとどこか間違っているのも恐らく全くわからないため理系の人が見るとどういう風に見えるのかが気になります。

ガリレオには一応、物理の監修者がいるようです。でもときどき怪しいこともあり。

動画など途中にあり、飽きずに楽しく物理を学ぶことができます。

日常生活の中でふとした時に気になる疑問が授業内で解決していくので、授業が楽しいです。

面白かったです。楽しかったです

ワンちゃんかわいいですね。

犬がめっちゃ可愛いです

わんちゃん可愛かったです！

犬可愛いですね。

わんちゃんかわいいです。



国際宇宙ステーション(ISS)が見える！



天空経路情報

	時刻	仰角	方位角	ISSとの距離
見え始め	19:01:30	12°	319° 北西	1381km
最大仰角 (最接近)	19:04:30	66°	34° 北東	458km
見え終わり	19:04:30	66°	34° 北東	458km

<https://lookup.kibo.space>

◀ 神戸でのデータ

国際宇宙ステーション(ISS)が見える！



天空経路情報

	時刻	仰角	方位角	ISSとの距離
見え始め	18:13:00	13°	332° 北北西	1345km
最大仰角 (最接近)	18:15:30	34°	28° 北北東	700km
見え終わり	18:18:30	12°	103° 東南東	1374km

<https://lookup.kibo.space>

◀ 神戸でのデータ



	時刻	仰角	方位角	ISSとの距離
見え始め	5:02:00	17°	221° 南西	1132km
最大仰角 (最接近)	5:04:30	78°	123° 東南東	424km
見え終わり	5:07:30	12°	50° 北東	1370km

<https://lookup.kibo.space>

◀ 神戸でのデータ

前回のミニッツペーパーから

私は宇宙エレベーターで宇宙に行くことが夢です。

宇宙エレベーターで宇宙に行くことが将来本当に実現できるようになると思われませんか。

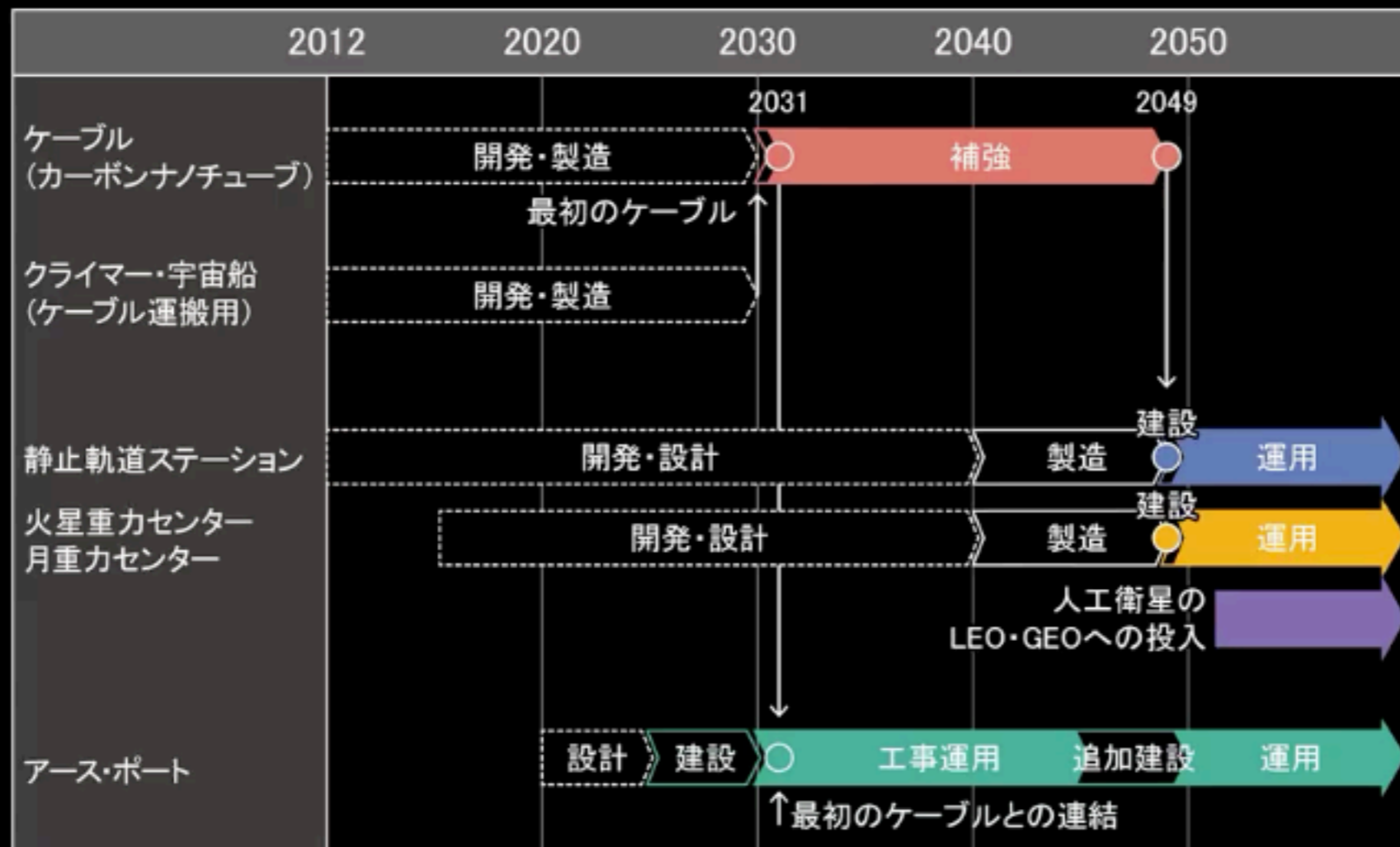


前回のミニッツペーパーから

私は宇宙エレベーターで宇宙に行くことが夢です。

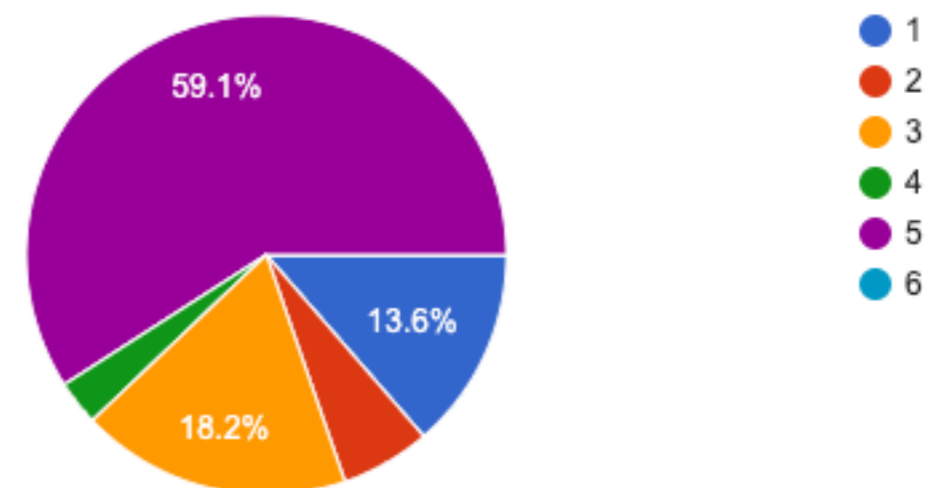
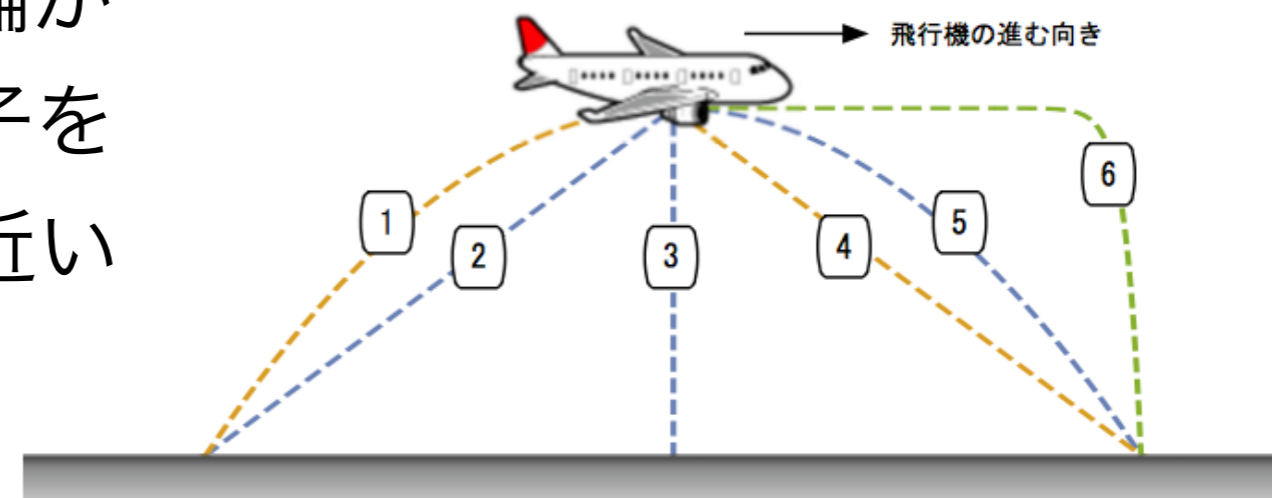
宇宙エレベーターで宇宙に行くことが将来本当に実現できるようになると思われませんか。

建設スケジュール



前回のミニッツペーパーから

1 水平に飛行している飛行機から車輪が落下した。地面に立って落下の様子を見たとき、車輪の落下する軌跡に近いものはどれか。



速度の定義

定義 速さ (1)

$$\text{速さ [m/s]} = \frac{\text{移動した距離 [m]}}{\text{かかった時間 [s]}} \quad (2.1)$$

定義 速さ (2)

速さ v を，次式で定義する．

$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad \text{速さ} = \frac{\text{移動した距離}}{\text{かかった時間}} \quad (2.3)$$

知っておくと便利な速度（基準とされる速度）

人の歩く速さ	分速 80 m（不動産広告で徒歩〇分というときの基準） 時速 4 km（江戸時代の距離の単位 = 1 里）
マラソン選手 の走る速さ	分速 280 m（= 42.195 km / 150 分）
新幹線の速さ	時速 180 km = 3000 m/分 = 50 m/s
旅客機の速さ	時速 900 km
音速	340 m/s（温度 T によって若干変化する）
光速	30 万 km/s（1 秒間で地球を 7.5 周する）

加速度の定義

速度が変化するとき，その増減具合を加速度として定義する。

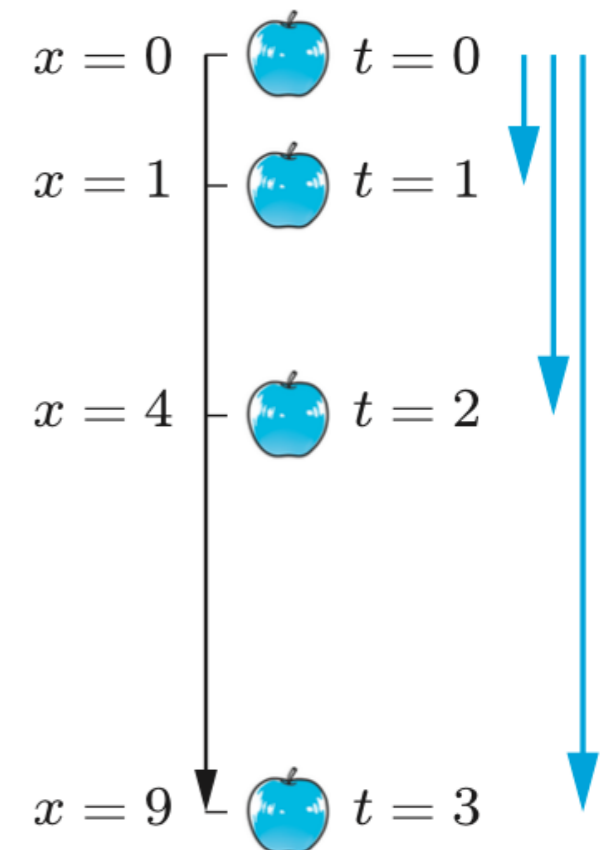
加速度の定義

- 加速度 a (acceleration)

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\text{速度の変化 [m/s]}}{\text{かかった時間 [s]}} \quad \text{単位は [m/s}^2\text{]} \quad (2.9)$$

物理では， 加速度が重要！

- ① 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
- ② 力を加えると， 加速度が生じる
(ニュートンの運動方程式)



加速度の定義

表 2.2 おもな加速度の大きさ

乗り物	加速度 [m/s^2]	加速度 [G]
通勤電車（発進時）	0.7~1.5	0.71~0.15
エレベータ	< 1.0	< 0.10
乗用車（発進時）	1.5~2.0	0.15~0.20
旅客機（離陸時）	2.0	0.20
ジェットコースター	< 60	< 6.12
スペースシャトル（打ち上げ時）	30~40	3.06~4.08

運動1

等速直線運動

等速運動する物体の位置

はじめ (時刻 $t = 0$), 物体の位置が $x(0) = x_0$ であったとする. 一定の速度 v で運動すると, 時刻 t での加速度, 速度, 位置は次の式で表される.

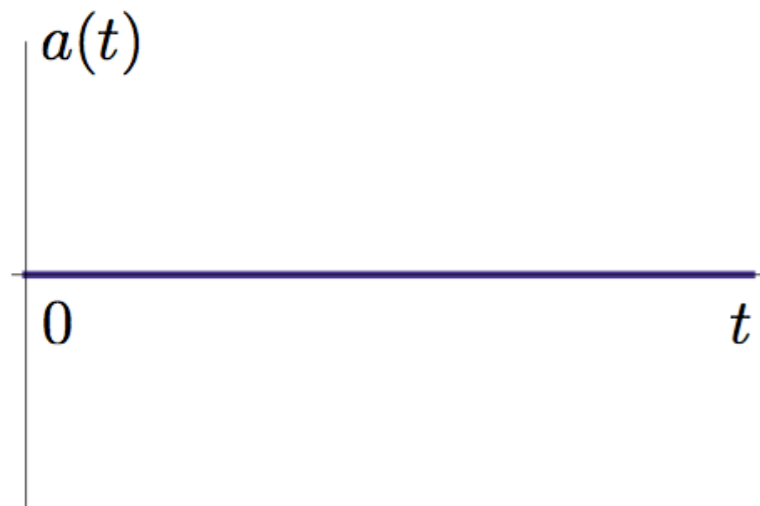
$$a(t) = 0 \quad (2.10)$$

$$v(t) = v \quad (\text{一定値}) \quad (2.11)$$

$$x(t) = x_0 + vt \quad (\text{直線の式}) \quad (2.12)$$



加速度ゼロ



速度一定

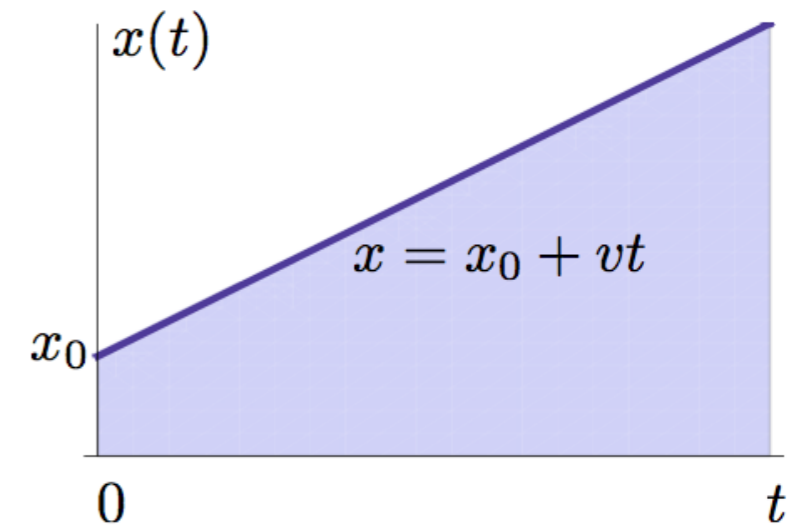
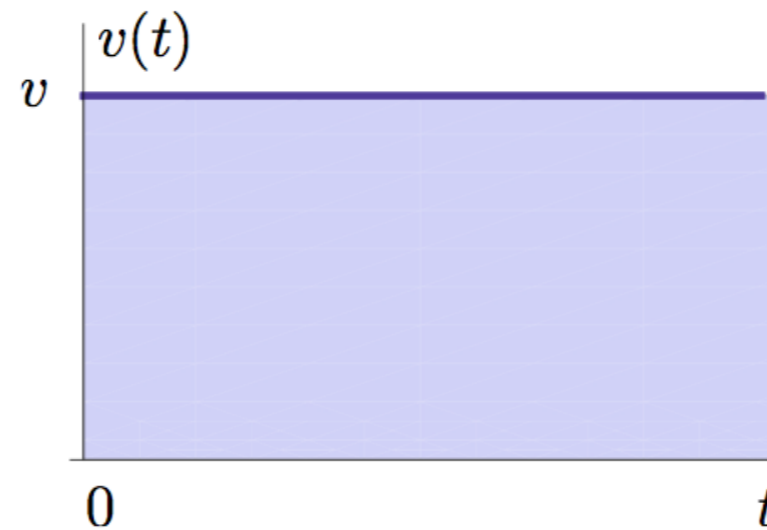


図 2.1: 等速運動の $a-t$ グラフ, $v-t$ グラフ, $x-t$ グラフ.

運動1

等加速度直線運動

等速運動する物体の位置

はじめ (時刻 $t = 0$), 物体の位置が $x(0) = x_0$ であったとする. 一定の速度 v で運動すると, 時刻 t での加速度, 速度, 位置は次の式で表される.

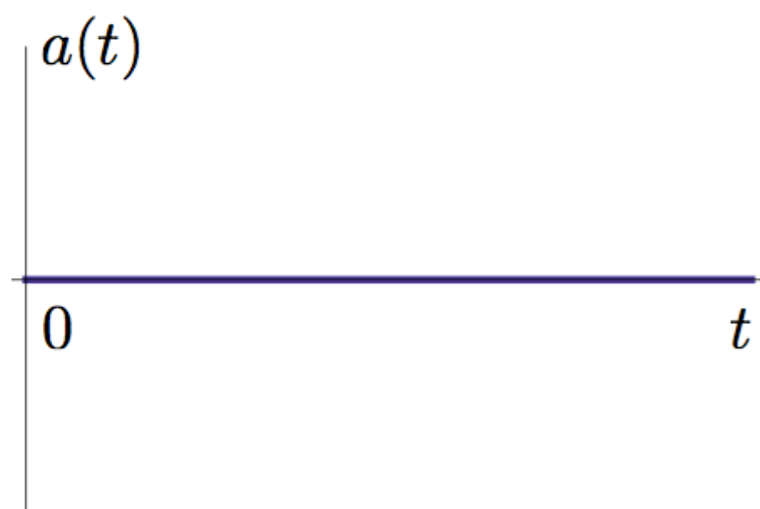
$$a(t) = 0 \quad (2.10)$$

$$v(t) = v \quad (\text{一定値}) \quad (2.11)$$

$$x(t) = x_0 + vt \quad (\text{直線の式}) \quad (2.12)$$



加速度ゼロ



速度一定

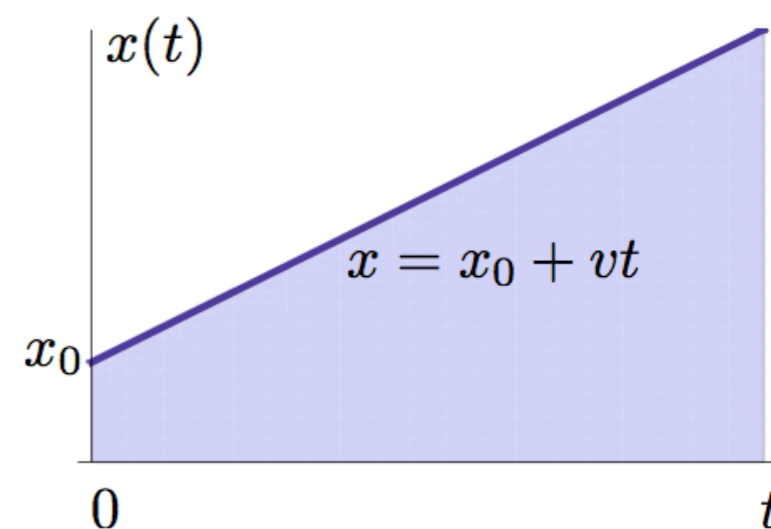
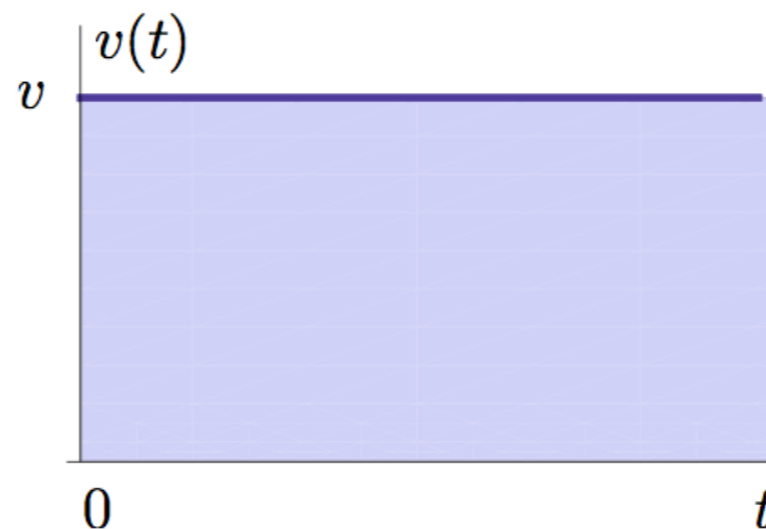


図 2.1: 等速運動の $a-t$ グラフ, $v-t$ グラフ, $x-t$ グラフ.

運動1

等加速度直線運動

等加速度運動する物体の位置と速度

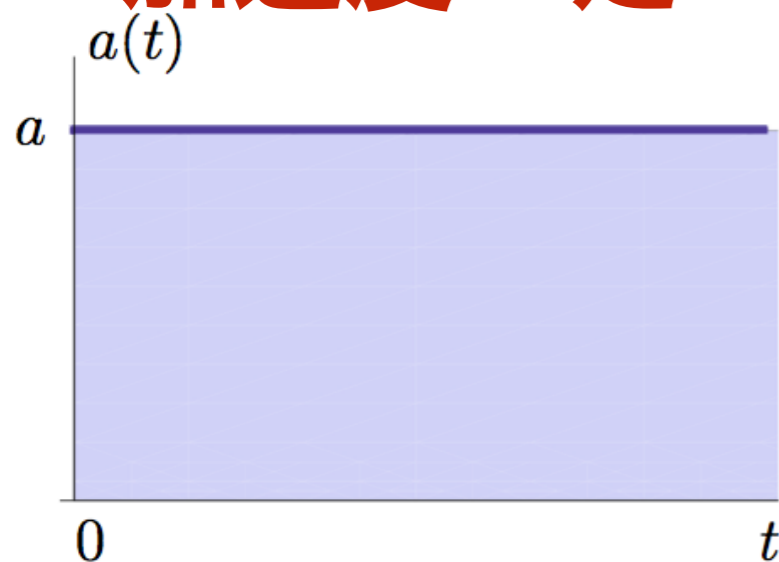
はじめ（時刻 $t = 0$ ）、物体の位置が $x(0) = x_0$ 、速度が $v(0) = v_0$ であったとする。一定の加速度 a で運動すると、時刻 t での加速度、速度、位置は次の式で表される。

$$a(t) = a \quad (\text{一定値}) \quad (2.13)$$

$$v(t) = v_0 + at \quad (\text{直線の式}) \quad (2.14)$$

$$x(t) = x_0 + v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad (\text{放物線の式}) \quad (2.15)$$

加速度一定



速度次第に速く

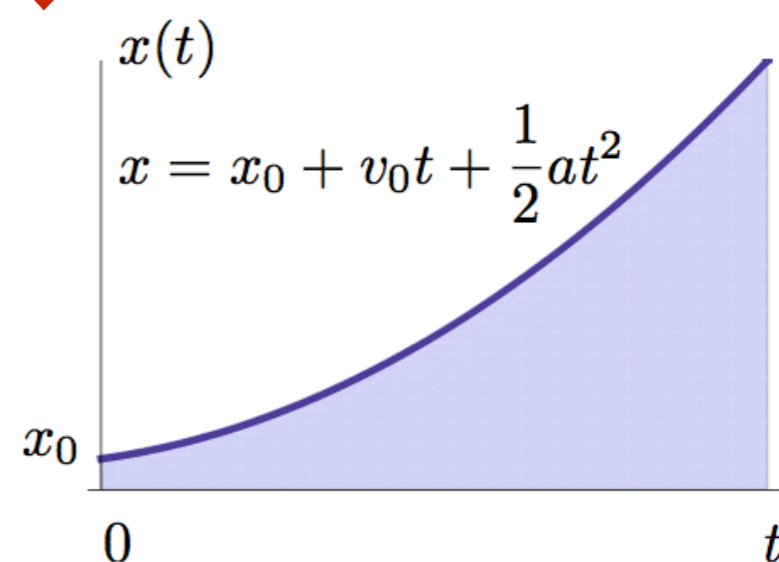
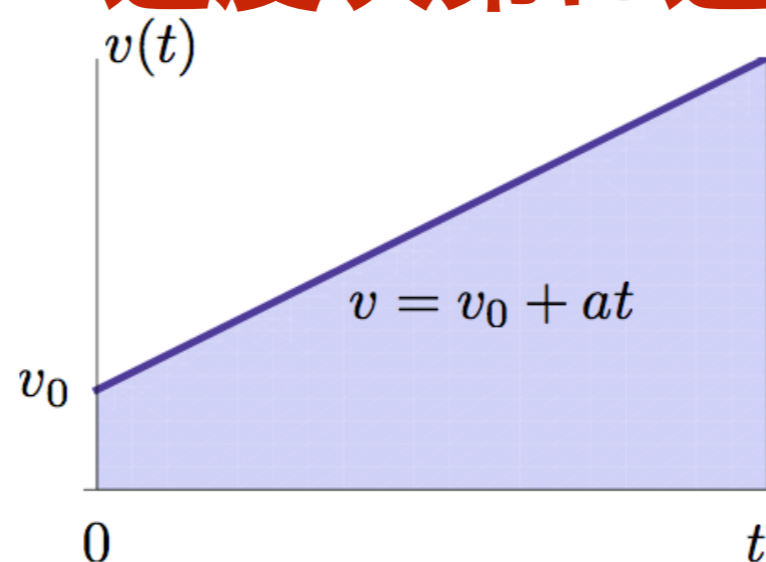


図 2.2: 等加速度運動の $a-t$ グラフ, $v-t$ グラフ, $x-t$ グラフ.

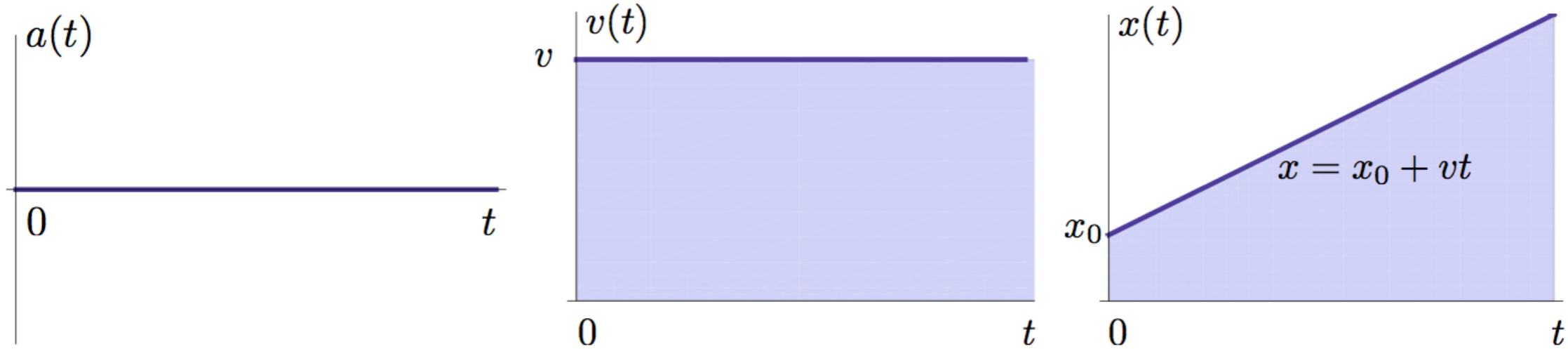


図 2.1: 等速運動の $a-t$ グラフ, $v-t$ グラフ, $x-t$ グラフ.

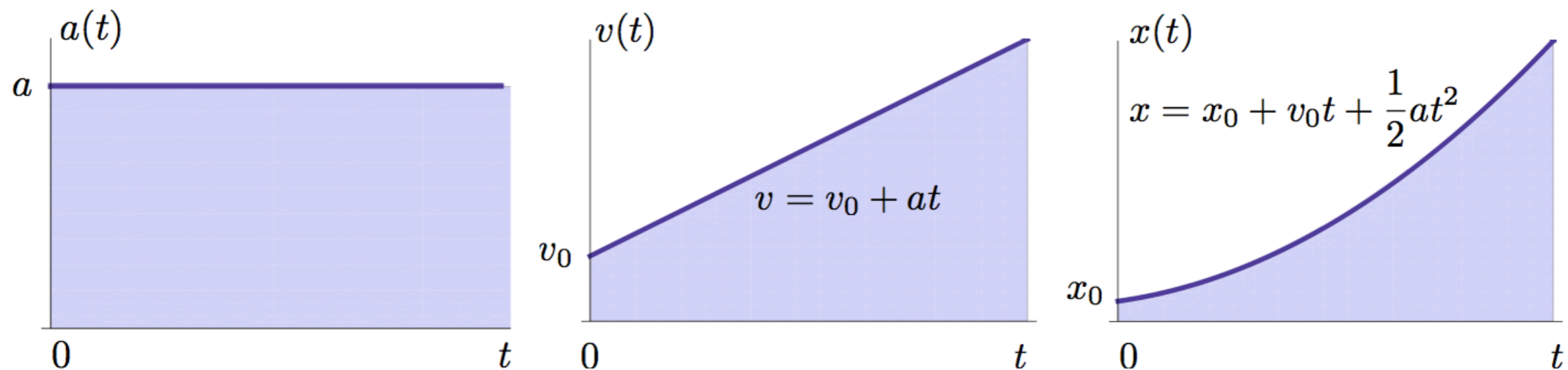
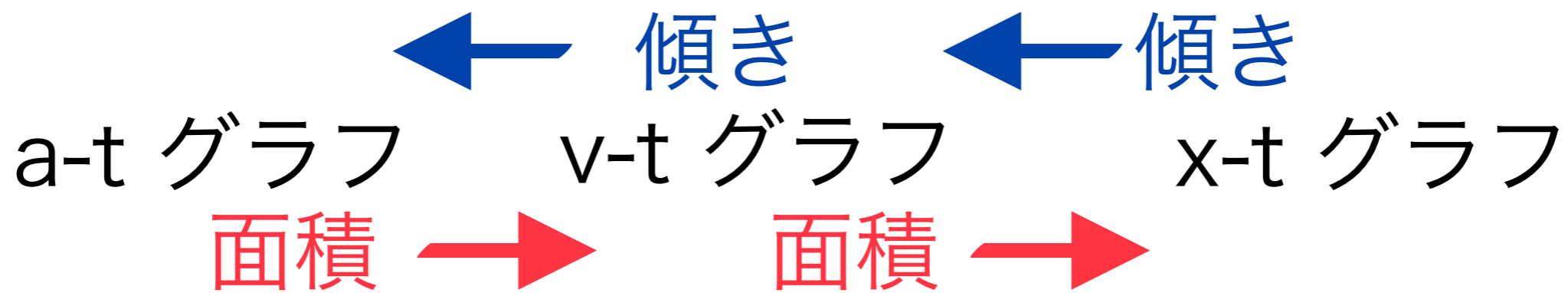


図 2.2: 等加速度運動の $a-t$ グラフ, $v-t$ グラフ, $x-t$ グラフ.

$$x = x(t)$$

微分 ↓ ↑ 積分

x-t グラフ

傾き ↓ ↑ 面積

$$v = v(t)$$

微分 ↓ ↑ 積分

v-t グラフ

傾き ↓ ↑ 面積

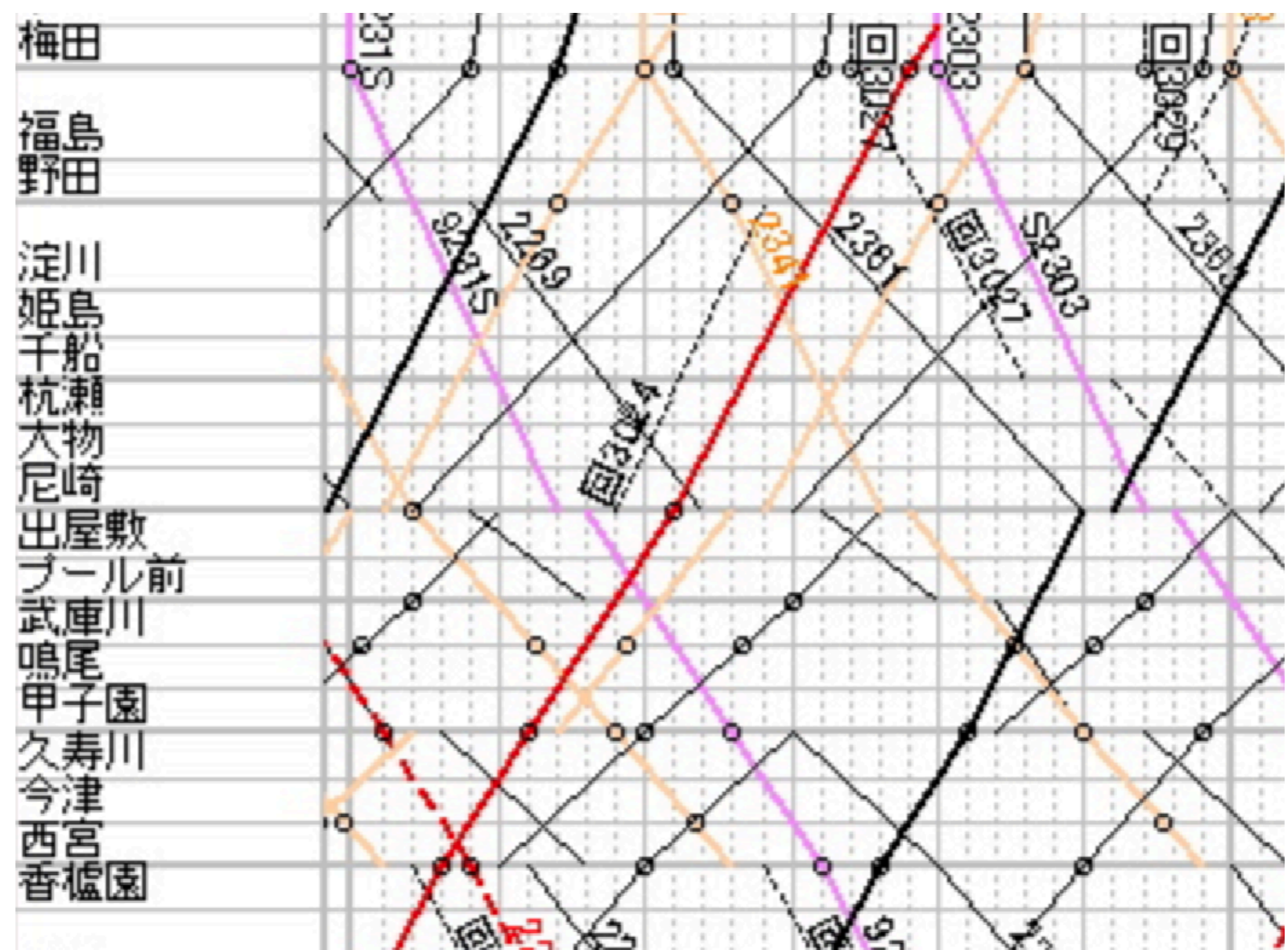
$$a = a(t)$$

a-t グラフ

Topic

「ダイヤの乱れ」のダイヤとは

列車の時刻表を $x-t$ グラフで一覧できるように表したものをダイヤグラムという。上下の列車をすべて書いていくと，図面がダイヤモンド型に見えるからである。荒天や事故などで列車の運行が乱れるときには「ダイヤの乱れ」が生じた，という言葉がよく使われる。



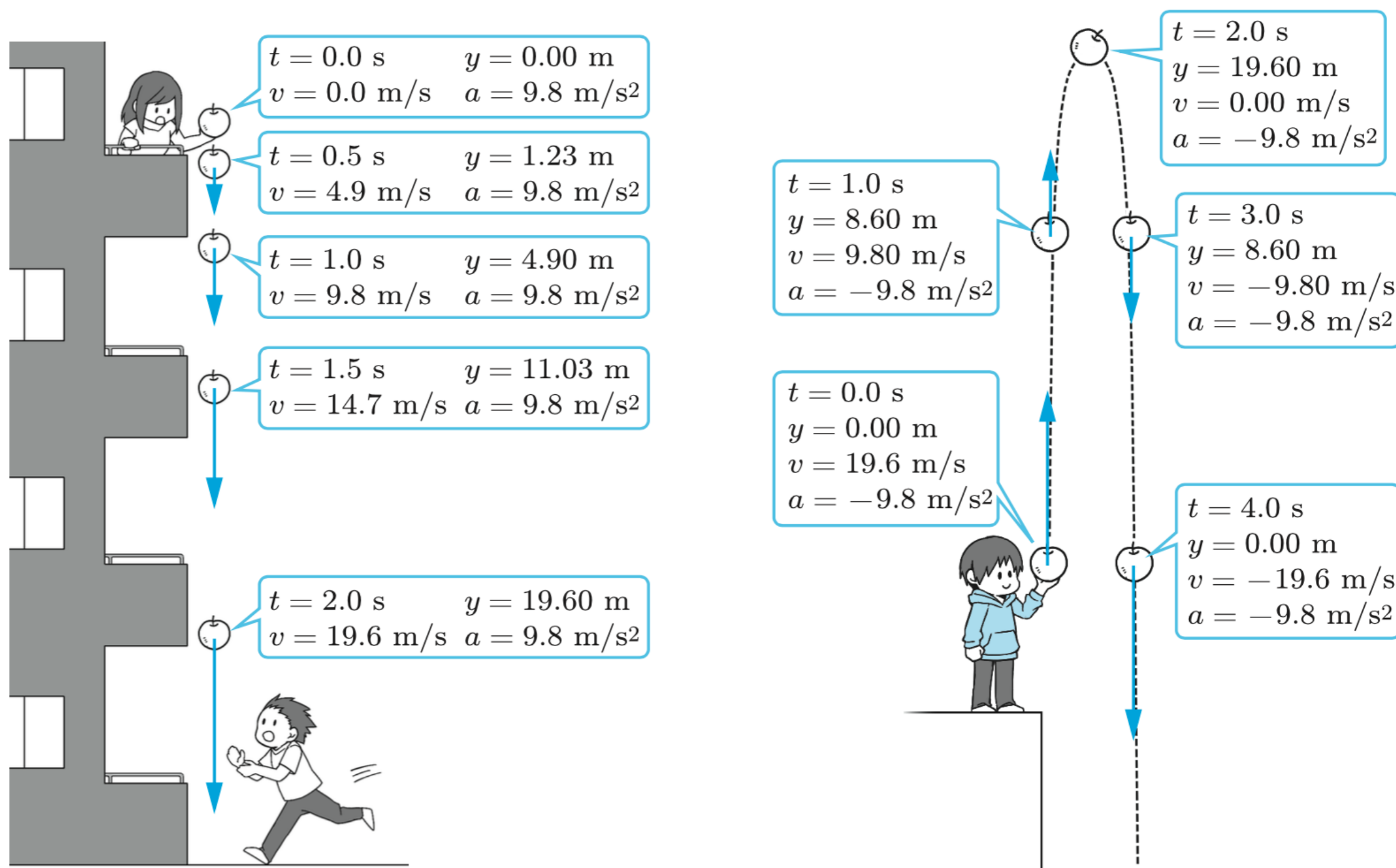
実験 1 神経の反応時間を測ろう

友達に鉛筆の上端を持ってもらい、自分はその鉛筆の下の端を、人差し指と親指で挟めるように待つ状態にする。友達が鉛筆を落下させてから、何 cm のところで指を挟んで止められるだろうか。目でみてから指先までに命令が伝わる神経の反応時間 t を測る実験だ。

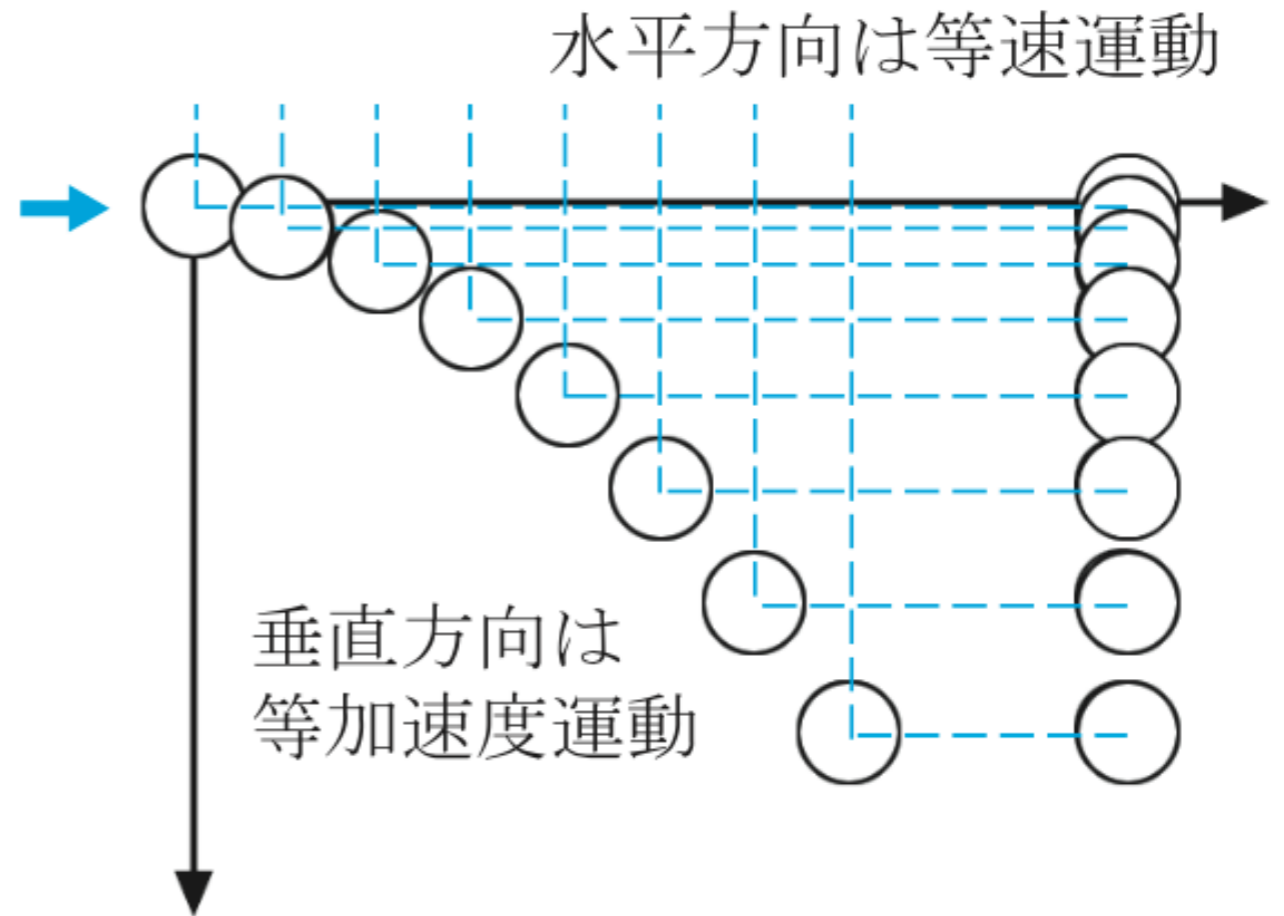
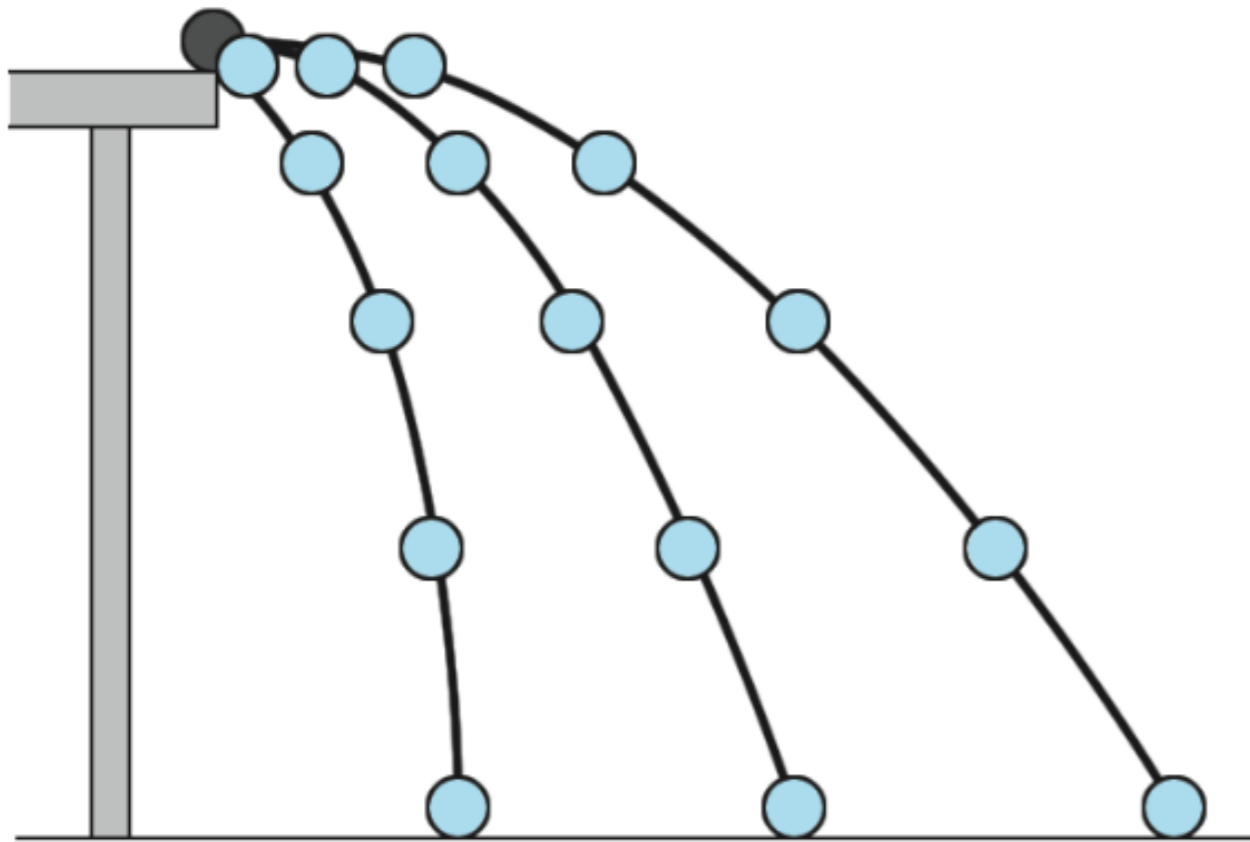
x [cm] でつかめたら、自由落下する長さは $x = \frac{1}{2}gt^2$ なのだから、 $t = \sqrt{2x/g}$ である。 $x = 10$ cm なら $t = \sqrt{2 \cdot 0.1/9.8} = 0.143$ s, $x = 15$ cm なら $t = \sqrt{2 \cdot 0.15/9.8} = 0.175$ s となる。

運動3 鉛直方向への自由落下運動

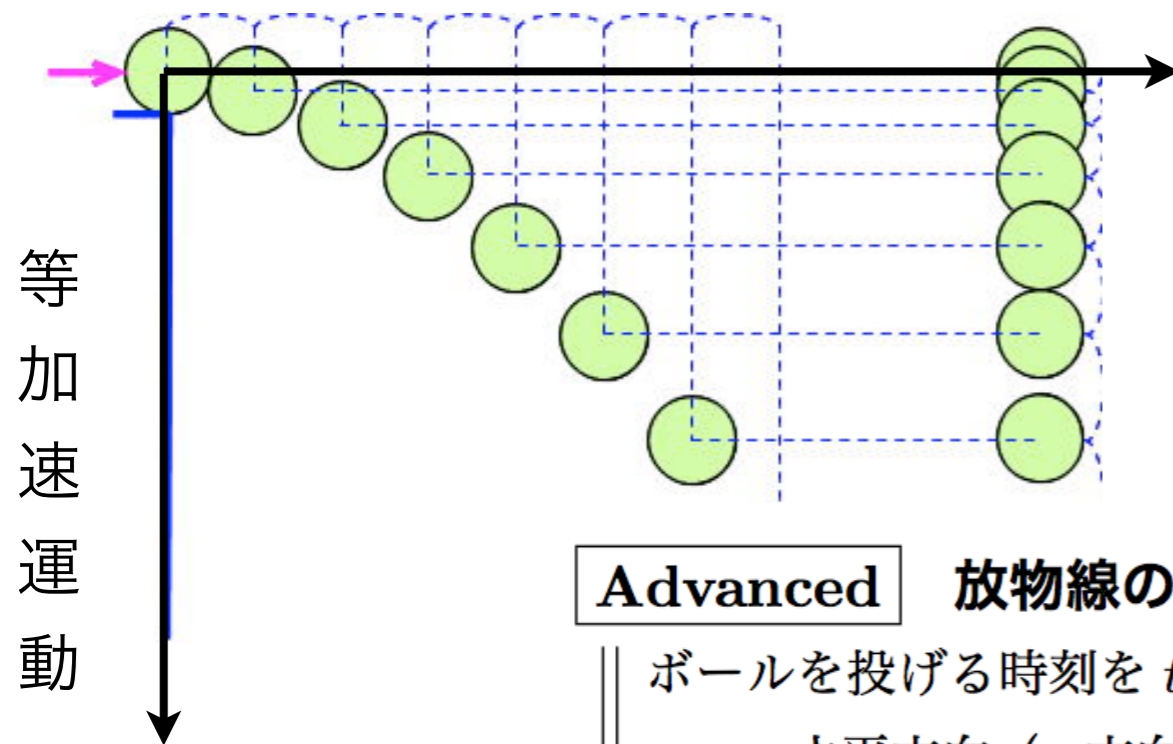
自由落下運動は等加速度運動！



自由落下運動 + 水平等速運動 = 放物運動



等速運動

**Advanced** 放物線の軌道方程式

ボールを投げる時刻を $t = 0$, ボールを投げる位置を $(x, y) = (0, 0)$ とすれば,

- 水平方向 (x 方向) は, 等速運動. 初速度を v_{0x} とすれば, t 秒後の位置 $x(t)$ は,

$$x(t) = v_{0x}t \quad (2.26)$$

- 鉛直方向 (y 方向) は, 等加速度運動. 初速度を v_{0y} とすれば, t 秒後の位置 $y(t)$ は,

$$y(t) = v_{0y}t - \frac{1}{2}gt^2 \quad (2.27)$$

となる. この2本の式から, t を消去すると,

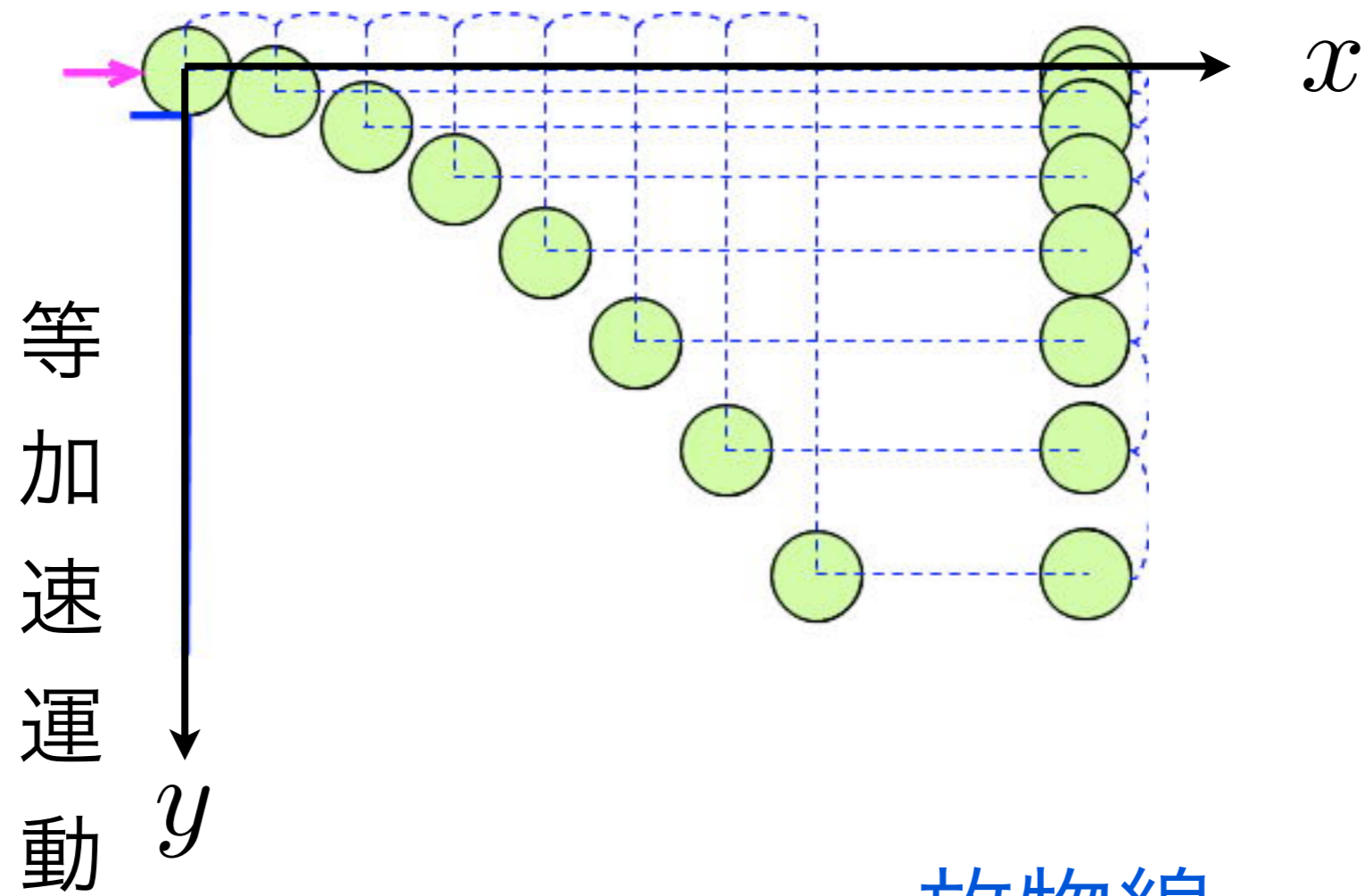
$$y = \frac{v_{0y}}{v_{0x}}x - \frac{g}{2v_{0x}^2}x^2 \quad (2.28)$$

となって, 2次曲線 (放物線) になる. 総じて, $y = x^2$ の2次曲線のことを放物線というようになった.

放物運動

$$x(t) = v_x t$$

等速運動



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

放物線

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

いろいろな運動 p33

運動1	等速直線運動
運動2	等加速度直線運動
運動3	鉛直方向の自由落下
運動4	放物運動（水平投射）
運動5	単振動
運動6	放物運動（斜め投射）
運動7	放物運動（空気抵抗）
運動8	減衰振動
運動9	円運動

いろいろな力 p40

力1	重力
力2	張力
力3	抗力
力4	摩擦力
力5	弾性力
力6	万有引力
力7	遠心力・慣性力
力8	コリオリ力・転向力
力9	圧力
力10	表面張力
力11	浮力

力1 重力

法則 地球表面での重力の大きさ

質量 m [kg] の物体には，重力加速度 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ がはたらく．重力の大きさ W は，次のようになる．

$$W = mg \quad (2.29)$$

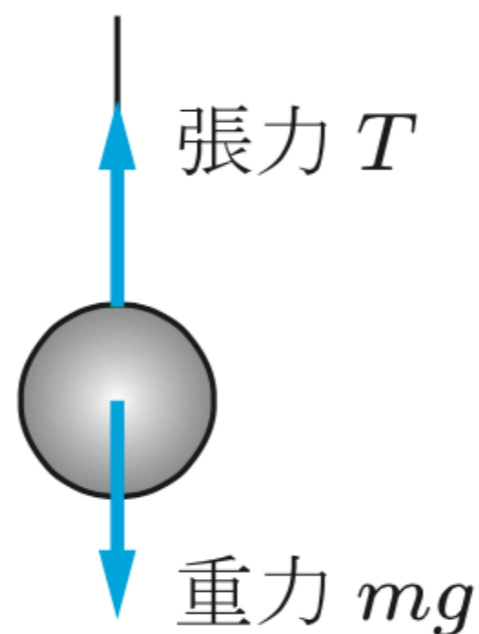
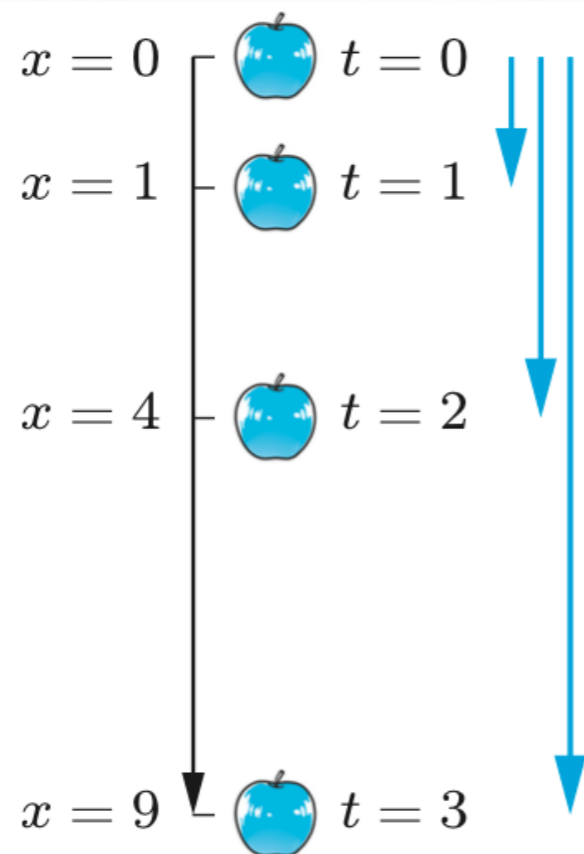
$$\text{重力 [N]} = \text{質量 [kg]} \times \text{重力加速度 [m/s}^2\text{]}$$

単位

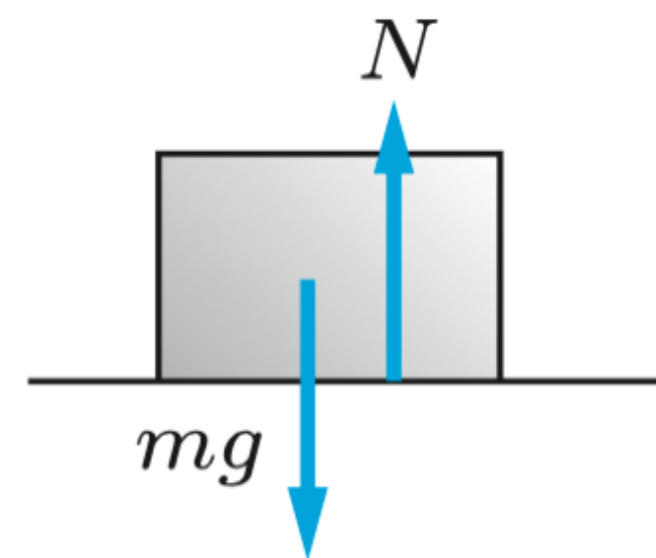
力は [N] (ニュートン)．

重力には [kg 重] (キログラム重) も使う．

$1 \text{ kg 重} = 9.8 \text{ N}$



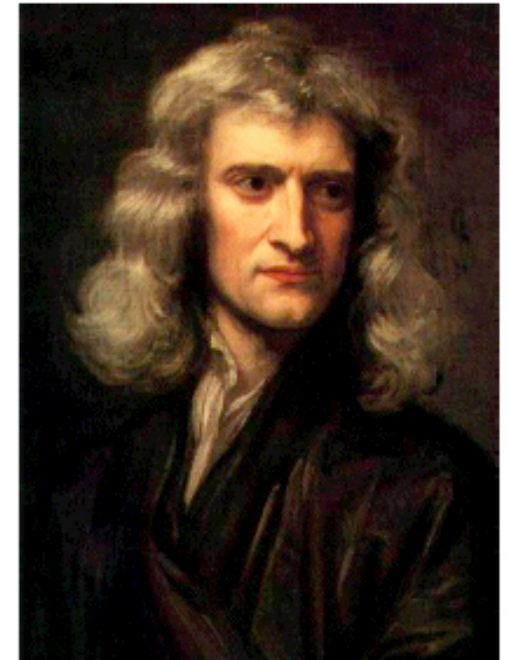
力2 張力



力3 抗力

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.

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

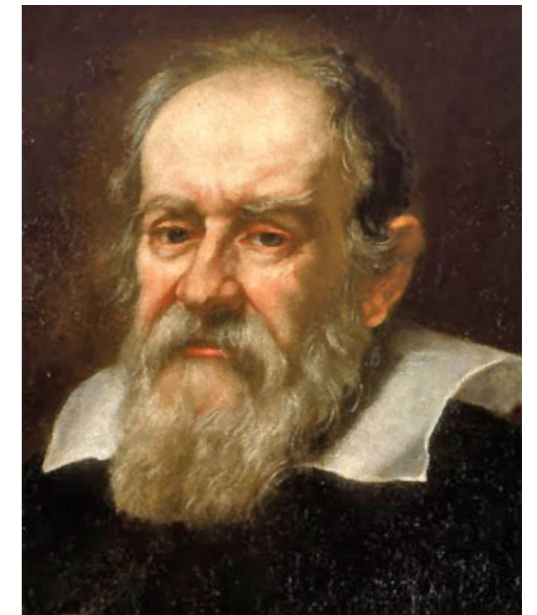
質量 m の単位は [kg]
加速度 a は [m/s²]
力 F は [N]

第1法則：慣性の法則

法則 ニュートンの運動法則（第1法則）：慣性の法則

物体は慣性をもつ（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）



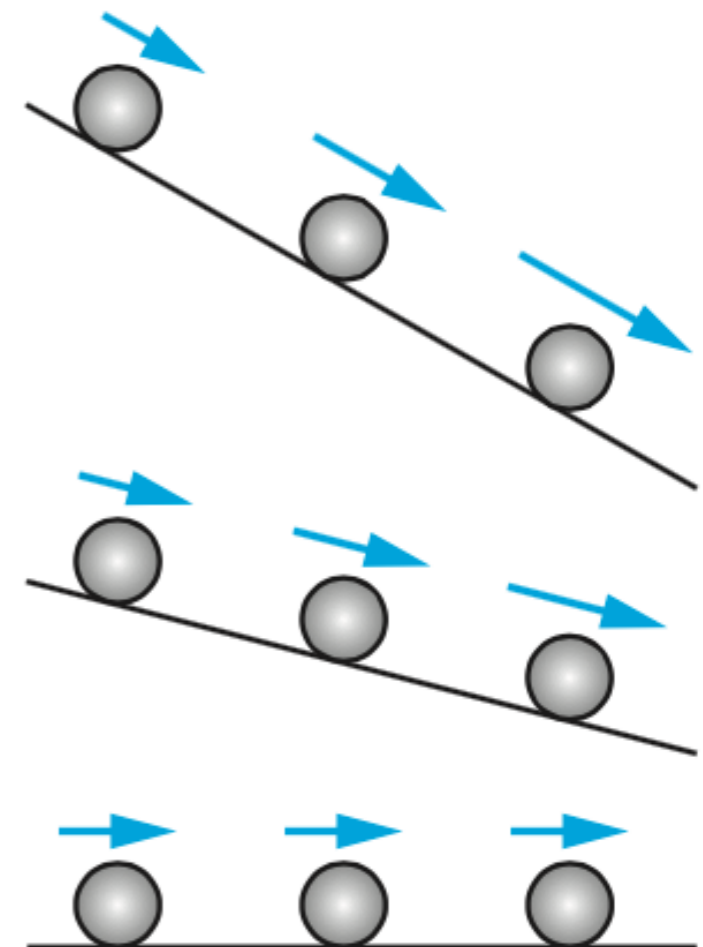
Galileo Galilei
(1564-1642)

第1法則：慣性の法則

法則 ニュートンの運動法則（第1法則）：慣性の法則

物体は慣性をもつ（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。

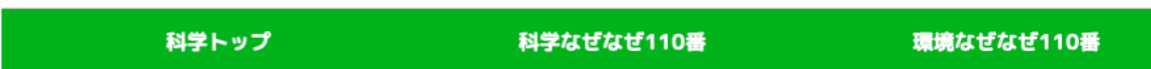
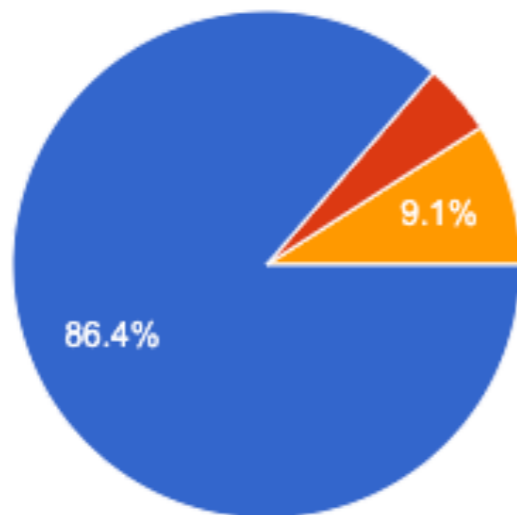
斜面に球を置いて手をはなすと、球は加速しながら転がり落ちる。斜面の角度を急にすれば加速は一層速くなる。一方で斜面の上向きにボールを放つとボールは減速してゆく。この場合も減速は斜面の角度に依存する。それでは、水平面ならば、ボールはどのように動くだろうか。—加速も減速もせず、そのままの運動を保ち続けると考えるのが自然である。（『天文対話』1632年）



前回のミニッツペーパーから

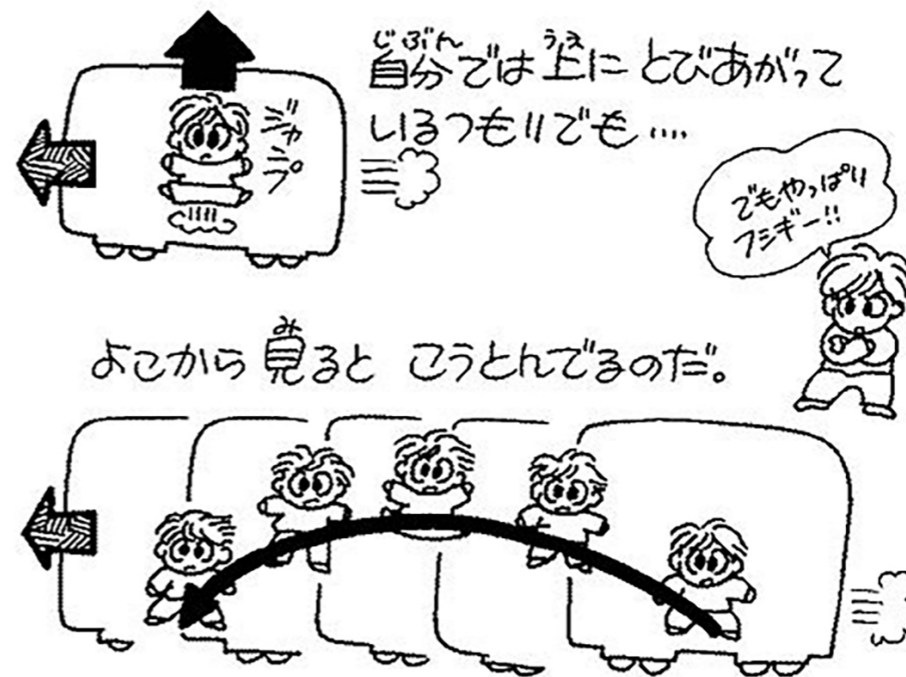
2 等速で動いている列車内で物を落とすと？

- 足元に落ちる
- 進行方向に落ちる
- 後方に落ちる



電車の中でジャンプしてもどうして同じところに落ちるの

理科の実験



〔2-2〕足元に落ちる”
慣性の法則で物も等速で動き続けている。
落とす時に新たに加わる力は重力の下に向かう力だけなので足元に落ちる。

<https://kids.gakken.co.jp/kagaku/kagaku110/science0586/>

第1法則：慣性の法則

動く発射台から投げ上げ

動く発射台から
投げ上げ

© 数研出版

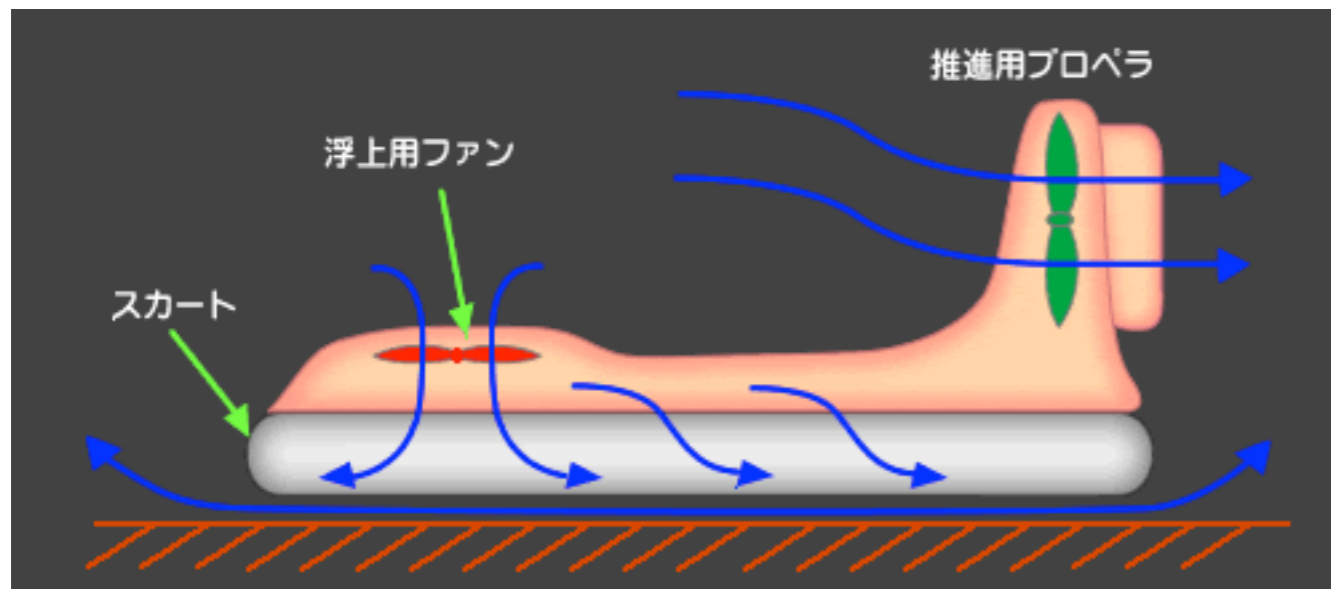
GRAVITY

Gravity (2013)

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

(start on click, 1:16)

CDホバークラフトで実験しよう



第2法則：運動の法則

法則 ニュートンの運動法則（第2法則）：運動方程式。

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。

$$F = ma \quad (2.34)$$

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。

$$\sum_i F_i = ma$$

【少し高級な疑問】

第2法則があれば、第1法則はいらない？

第2法則があれば，第1法則はいらない？

Advanced 第1法則は不要か？

力がつりあって，合力がゼロであるときを考えよう。

$$\sum_i \mathbf{F}_i = 0$$

この式は， $\mathbf{a} = 0$ となり，加速度がゼロであることを意味する。積分すると，この場合の物体の速度は， $\mathbf{v} = \text{一定}$ となり，等速直線運動をすることになる。

聡明な読者は、「それでは，ニュートンの運動方程式は，慣性の法則も含んでいるので，慣性の法則は不要ではないか」と心配されるかもしれない。だが，慣性の法則が第1法則として君臨しているのには，相応の理由がある。

ニュートンは，まず慣性の法則を宣言して，「力がはたらかない場合には，等速直線運動をする座標系（慣性座標系）を考えましょう」と密かにメッセージを送っているのだ。実際には地球は自転しているし，太陽のまわりを公転している。太陽も銀河系を周回しているし，銀河系も銀河団として運動している。私たちが実験しても，本当に正確に「力がはたらかない」世界はありえない。しかし，まず，理想的な座標系を一つ宣言してしまえば，後は自由に数学を使って議論することが可能になる。慣性座標系を定義することが，第1法則の本当の意味だったのである。

第2法則：運動の法則

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

法則 ニュートンの運動法則（第3法則）：作用・反作用の法則

物体に力 F を及ぼすと、同じ大きさを逆向きの反作用 $-F$ が、その物体から及ぼされる。

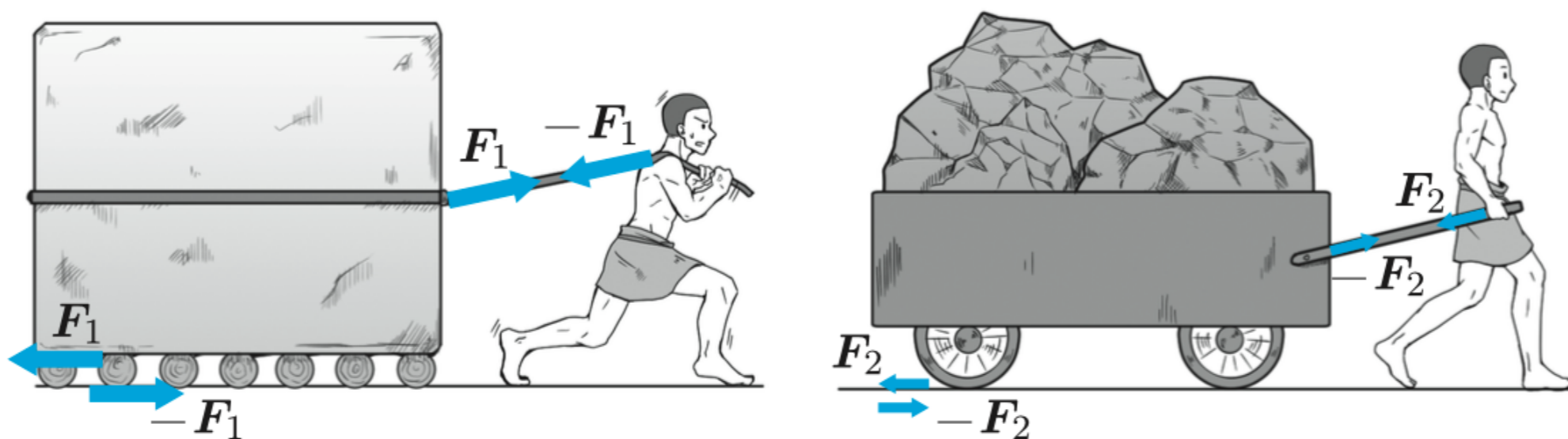


図 2.55 作用・反作用の法則 力は必ず二つの物体間で生じていて、お互いが力を介して運動する。

第3法則：作用・反作用の法則

コラム 8 作用・反作用を考えるとロケットは飛ぶはずがない？

ロケット開発研究が進む 1920 年 1 月 23 日、ニューヨーク・タイムズ紙は、ゴダード博士 (Robert H. Goddard, 1882–1945) の研究に対して、社説で次のように批判した。「真空の宇宙では、後ろへ押すものがないために、ロケットは前に進むことができない。ゴダード博士たちは、高校で習う作用・反作用の法則すら理解していないようだ。」

しかし、いまではわれわれは、ロケットは宇宙で飛行できることを十分に知っている。作用・反作用の法則を拡張すると運動量保存則 (⇒ 2.5.2 項) になるが、運動量保存則によれば、ガスを後方に噴射すれば、ロケットは逆に前方への推進力を得られる。そして、一度速度をもてば慣性の法則によってロケットはその速度で飛行を続ける。

ニューヨーク・タイムズ紙は、人類が初めて月面に立つ 3 日前 (アポロ 11 号が打ち上げられた翌日) の 1969 年 7 月 17 日、この社説の誤りを認め謝罪文を掲載した。ゴダード博士の死から 24 年が経っていた。

A Correction

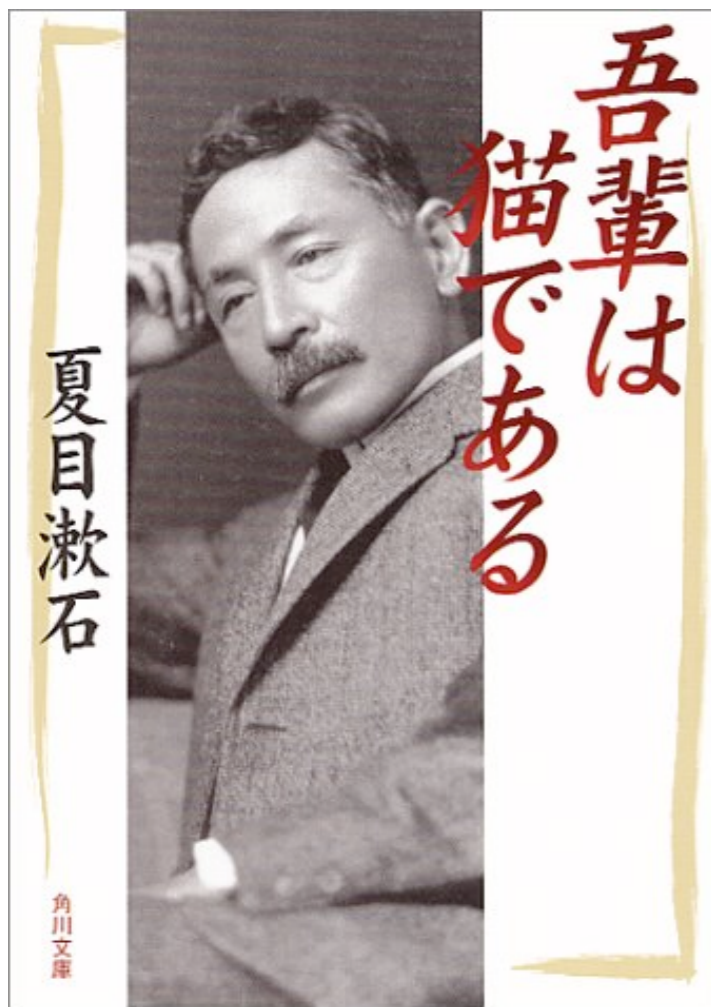
On Jan. 13, 1920, "Topics of The Times," an editorial-page feature of The New York Times, dismissed the notion that a rocket could function in a vacuum and commented on the ideas of Robert H. Goddard, the rocket pioneer, as follows:

"That Professor Goddard, with his 'chair' in Clark College and the countenancing of the Smithsonian Institution, does not know the relation of action to reaction, and of the need to have

something better than a vacuum against which to react—to say that would be absurd. Of course he only seems to lack the knowledge ladled out daily in high schools."

Further investigation and experimentation have confirmed the findings of Isaac Newton in the 17th Century and it is now definitely established that a rocket can function in a vacuum as well as in an atmosphere. The Times regrets the error.

猫 (1905年, 映画化1936年)



吾輩は猫である。名前はまだ無い。

どこで生まれたか頃と見當がつかぬ。何でも暗薄いじめじめした所でニャー／＼泣いて居た事丈は記憶して居る。吾輩はこゝで始めて人間といふものを見た。然もあとで聞くとそれは書生といふ人間で一番獰悪な種族であつたさうだ。此書生といふのは時々我々を捕へて煮て食ふといふ話である。然し其當時は何といふ考もなかつたから別段恐しいとも思はなかつた。

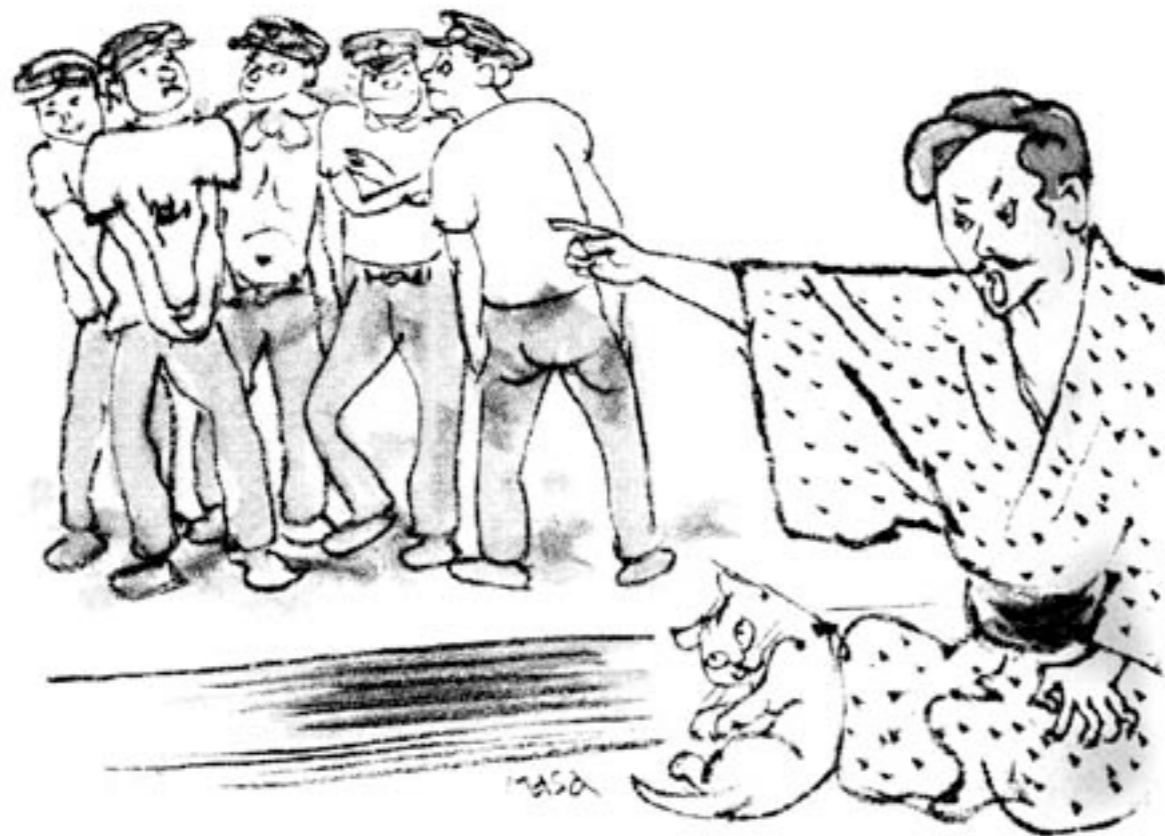


丸山定夫 (主人、珍野苦沙弥)
(吾輩)

徳川夢声 (迷亭)

藤原釜足 (越智東風)

北沢彪 (水島寒月)



Newtonの運動法則

今しも敵軍から打ち出した一弾は、照準誤たず、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****向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。

漱石, 吾輩は猫である (八) より

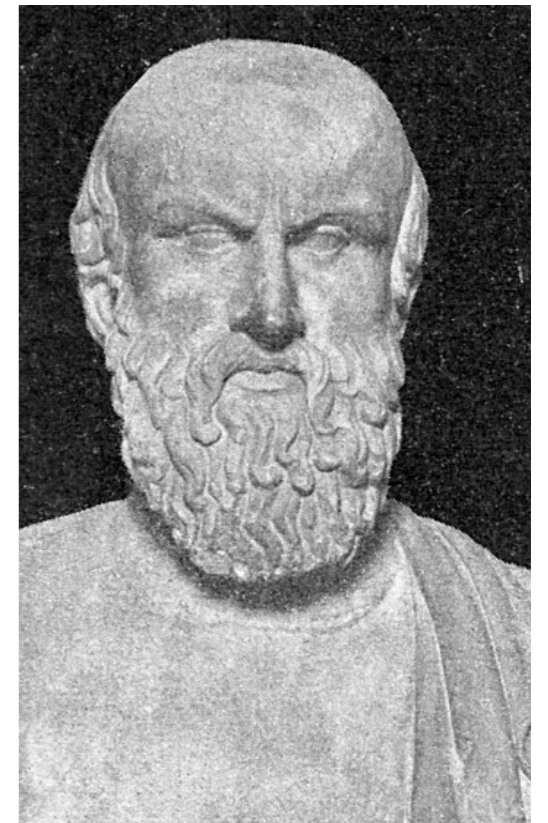
もしこの律のみによって物体の運動が支配せらるるならば主人の頭はこの時にイスキラスと運命を同じくしたのである。

漱石, 吾輩は猫である (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、頭の上に何かが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>

「首縊りの力学」

漱石『吾輩は猫である』より

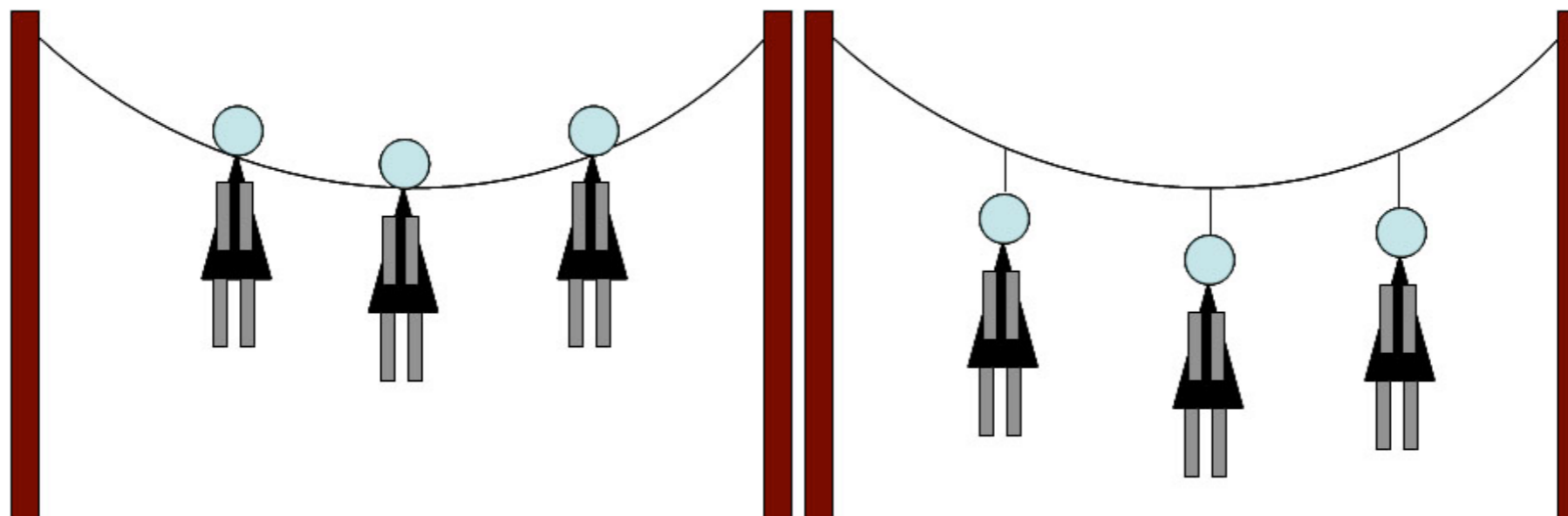
「この絞殺を今から想像して見ますと、これを執行するに二つの方法があります。第一は、彼《か》のテレマカスがユーミアス及びフヒリー シャスの援《たすけ》を藉《か》りて縄の一端を柱へ括《くく》りつけます。そしてその縄の所々へ結び目を穴に開けてこの穴へ女の頭を一つずつ入れておいて、片方の端をぐいと引張って釣し上げたものと見るのです」

「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」



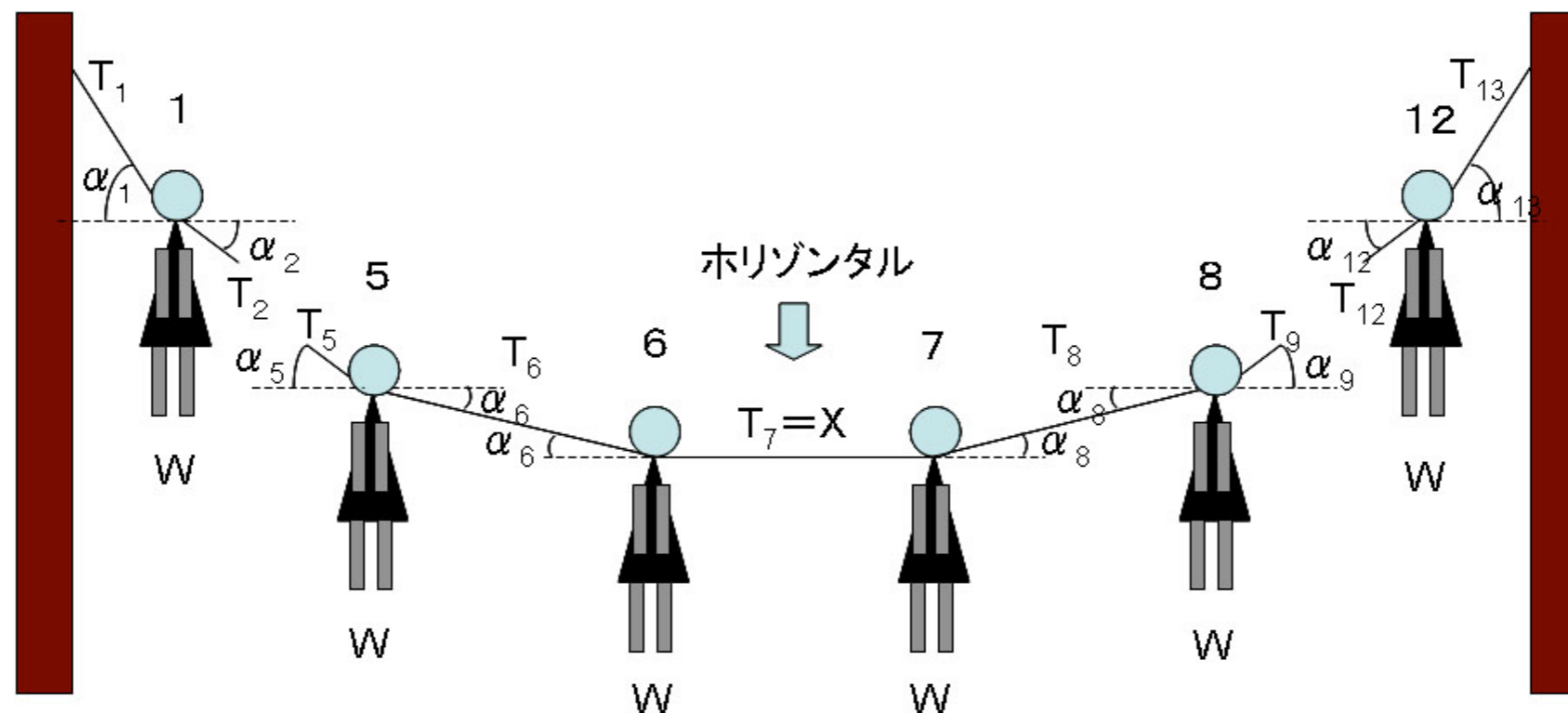
寒月君は左の方法は力学的に成立し得ないと言っている。

「首縊りの力学」

漱石『吾輩は猫である』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『吾輩は猫である』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。

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

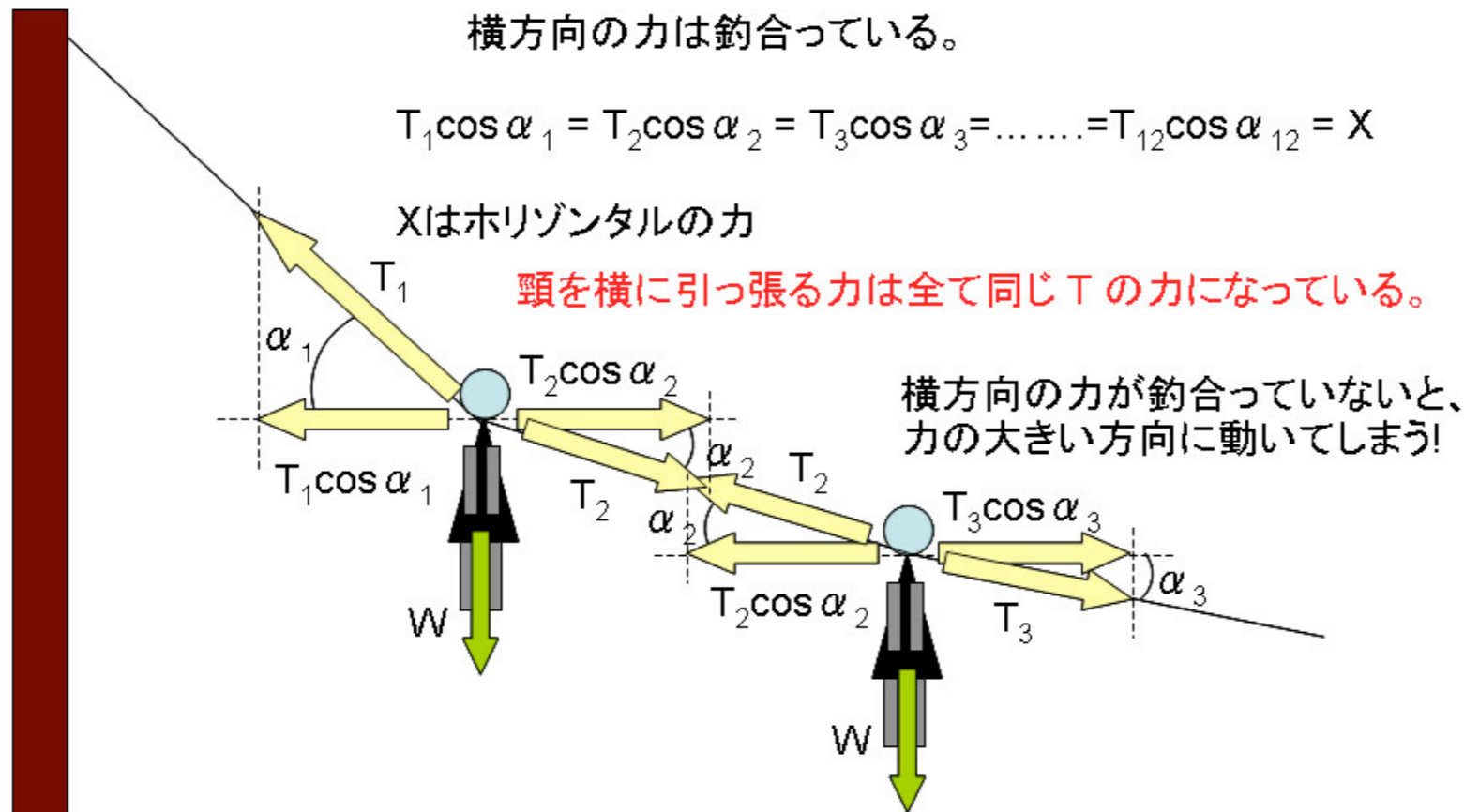
「方程式はそのくらいで沢山だろう」と主人は乱暴な事を云う。

「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『吾輩は猫である』より

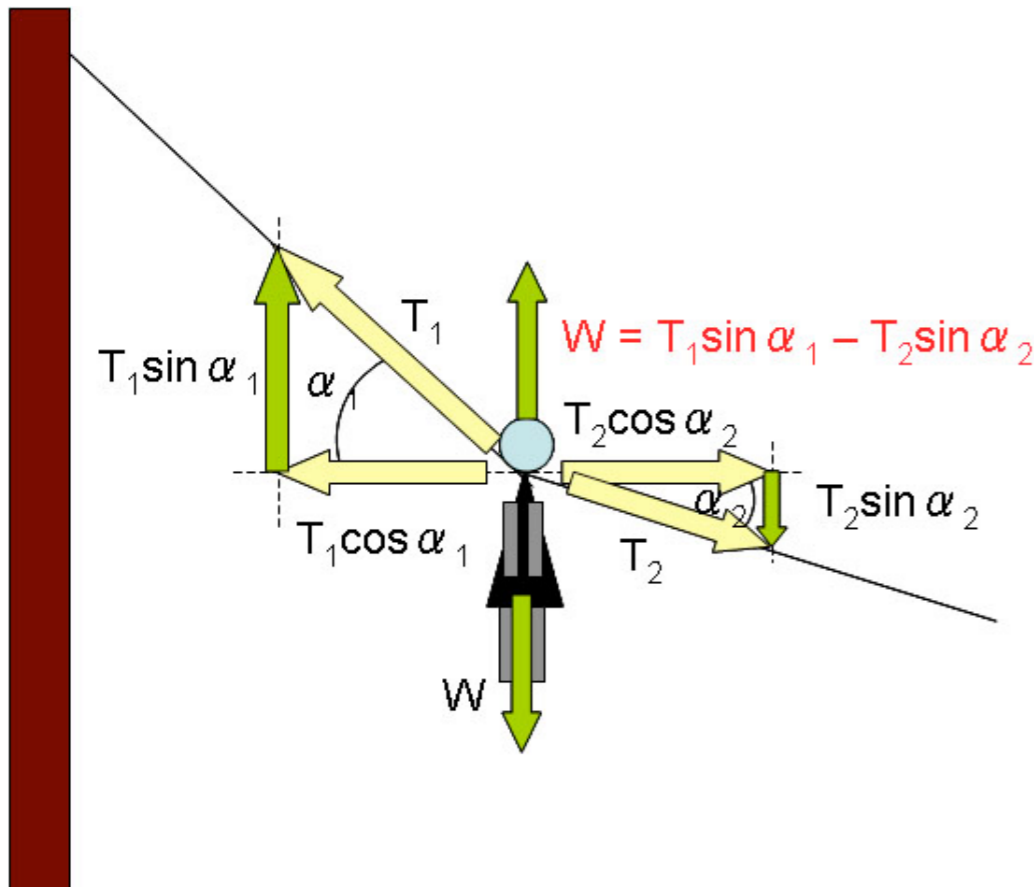
寒月君が言いたかったこと。

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？



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

$$12W = T_1 \sin \alpha_1 + T_{13} \sin \alpha_{13}$$

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

レポート課題

課題

- 課題タイトル 寺田寅彦『〇〇〇』を読んで
- 内容を簡単にまとめた後、自身で考えたこと（調べたこと・研究したこと）を述べよ。
（絶賛する必要はない。寺田のコメントに異論があれば、そのようにレポートして欲しい。）

提出手順

- A4用紙3-4枚程度。手書き・PC印刷どちらも可。表紙は不要。（手書きの場合は写真撮影したものを提出）
- 必要であれば、図や表を添付してよい。（上記のページ枚数に含める）。
- 〆切は、**10月31日（月）22:59**
Google Classroom の課題として提出。
- 提出ファイルの名前は、「P 大日 XXXXXXXX 〇〇〇〇」の形式とすること。（XXXXXXX は学籍番号、〇〇〇〇は氏名）とすること。本文中にも学籍番号と氏名を記入すること。
- 参考とした文献（web ページ含む）などがあれば、**必ず**記すこと。剽窃行為が認められる場合は評価を下げます。（参考文献から引用するのは構いませんが、引用範囲は必ずそう明記すること。）



「花火」 「金平糖」 「とんぼ」 「風呂の寒暖計」 「電車の混雑について」
「新星」 「茶碗の湯」 「瀬戸内海の潮と潮流」 「科学者とあたま」……

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。

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

エジプトに残された絵画には、石像を運ぶ列に水を持つ人々が描かれていた。宗教的なものと考えられていたが、この理由を考えた物理学者は、潤滑油であるとの説を論文発表した。少量の（5%程度の）水を加えると、物質を引く力は20%ほど小さくて済む、という。加えすぎると逆に粘性が生じることもわかった。

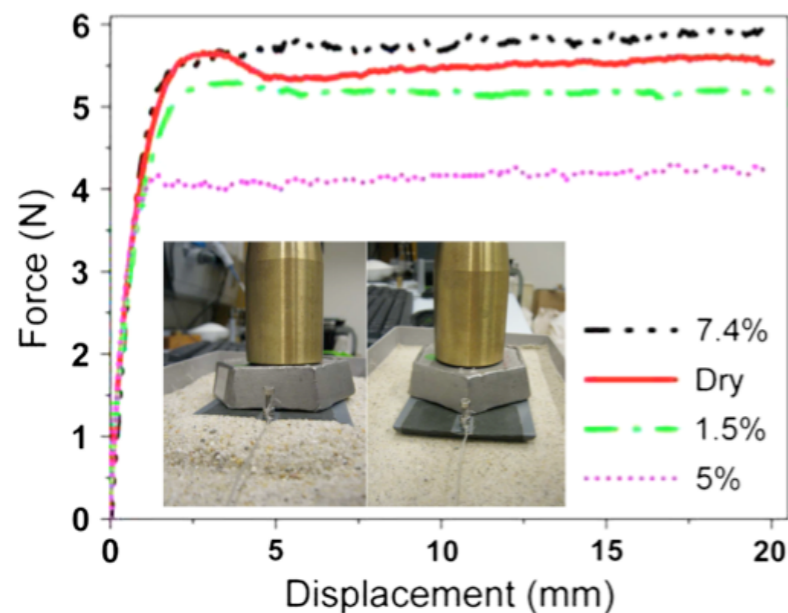


FIG. 2 (color online). Force-displacement curves for wet and dry Iranian sand. Inset: Picture of the setup. The picture on the left was taken while sliding over dry normalized sand. The picture on the right was taken while sliding over normalized sand wetted with 5% water. In the dry sand, a heap clearly 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.

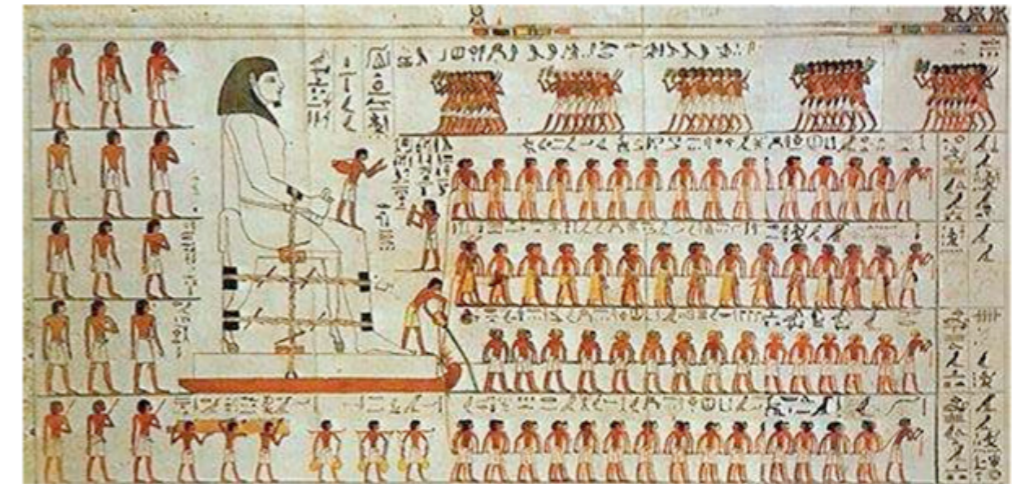


FIG. 1 (color online). Wall painting from 1880 B.C. on the tomb of Djehutihotep [1]. The figure standing at the front of the sled is pouring water onto the sand.

PRL 112, 175502 (2014)

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
2 MAY 2014

Sliding Friction on Wet and Dry Sand

A. Fall,¹ B. Weber,¹ M. Pakpour,^{1,2} N. Lenoir,³ N. Shahidzadeh,¹ J. Fiscina,^{4,5} C. Wagner,⁴ and D. Bonn¹
¹Van der Waals-Zeeman Institute, IoP, University of Amsterdam, Science Park 904, 1098XH Amsterdam, Netherlands
²Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, P.O. Box 45195-1159 Zanjan, Iran
³Material Imaging, UR Navier, 77420 Champs-sur-Marne, France
⁴Experimental Physics, Saarland University, D-66123 Saarbrücken, Germany
⁵Gravitation Group, TATA Institute of Fundamental Research, 1 Homi Bhabha Road, 400005 Mumbai, India
 (Received 28 August 2013; revised manuscript received 13 November 2013; published 29 April 2014)

We show experimentally that the sliding friction on sand is greatly reduced by the addition of some—but not too much—water. The formation of capillary water bridges increases the shear modulus of the sand, which facilitates the sliding. Too much water, on the other hand, makes the capillary bridges coalesce, resulting in a decrease of the modulus; in this case, we observe that the friction coefficient increases again. Our results, therefore, show that the friction coefficient is directly related to the shear modulus; this has important repercussions for the transport of granular materials. In addition, the polydispersity of the sand is shown to also have a large effect on the friction coefficient.

<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>

エジプトに残された絵画には、石像を運ぶ列に水を持つ人々が描かれていた。宗教的なものと考えられていたが、この理由を考えた物理学者は、潤滑油であるとの説を論文発表した。少量の（5%程度の）水を加えると、物質を引く力は20%ほど小さくて済む、という。加えすぎると逆に粘性が生じることもわかった。

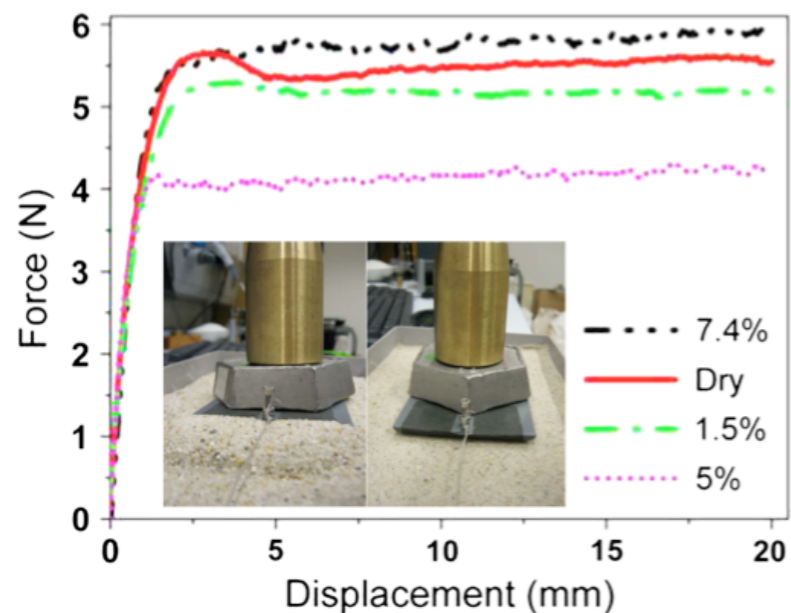


FIG. 2 (color online). Force-displacement curves for wet and dry Iranian sand. Inset: Picture of the setup. The picture on the left was taken while sliding over dry normalized sand. The picture on the right was taken while sliding over normalized sand wetted with 5% water. In the dry sand, a heap clearly 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.

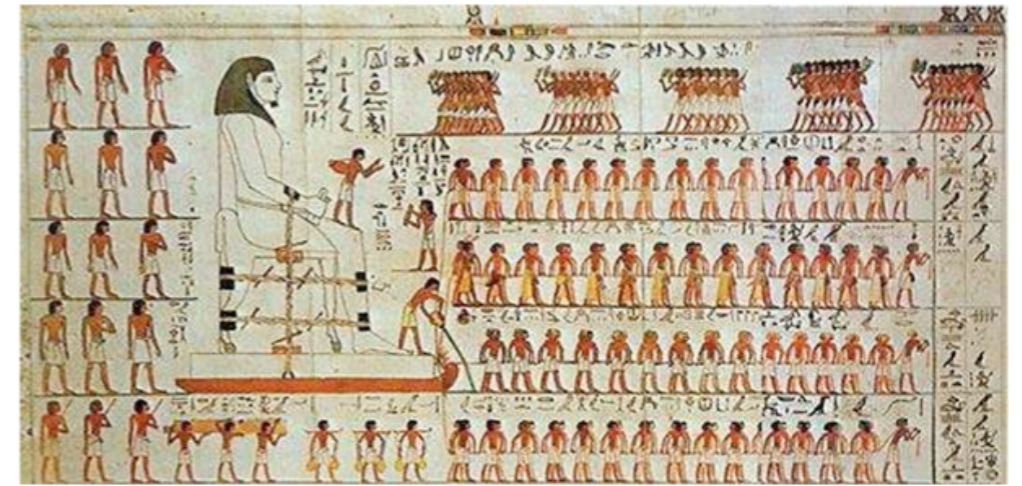


FIG. 1 (color online). Wall painting from 1880 B.C. on the tomb of Djehutihotep [1]. The figure standing at the front of the sled is pouring water onto the sand.

PRL 112, 175502 (2014)

PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
2 MAY 2014

Sliding Friction on Wet and Dry Sand

A. Fall,¹ B. Weber,¹ M. Pakpour,^{1,2} N. Lenoir,³ N. Shahidzadeh,¹ J. Fiscina,^{4,5} C. Wagner,⁴ and D. Bonn¹
¹Van der Waals-Zeeman Institute, IoP, University of Amsterdam, Science Park 904, 1098XH Amsterdam, Netherlands
²Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, P.O. Box 45195-1159 Zanjan, Iran
³Material Imaging, UR Navier, 77420 Champs-sur-Marne, France
⁴Experimental Physics, Saarland University, D-66123 Saarbrücken, Germany
⁵Gravitation Group, TATA Institute of Fundamental Research, 1 Homi Bhabha Road, 400005 Mumbai, India
 (Received 28 August 2013; revised manuscript received 13 November 2013; published 29 April 2014)

We show experimentally that the sliding friction on sand is greatly reduced by the addition of some—but not too much—water. The formation of capillary water bridges increases the shear modulus of the sand, which facilitates the sliding. Too much water, on the other hand, makes the capillary bridges coalesce, resulting in a decrease of the modulus; in this case, we observe that the friction coefficient increases again. Our results, therefore, show that the friction coefficient is directly related to the shear modulus; this has important repercussions for the transport of granular materials. In addition, the polydispersity of the sand is shown to also have a large effect on the friction coefficient.

<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>

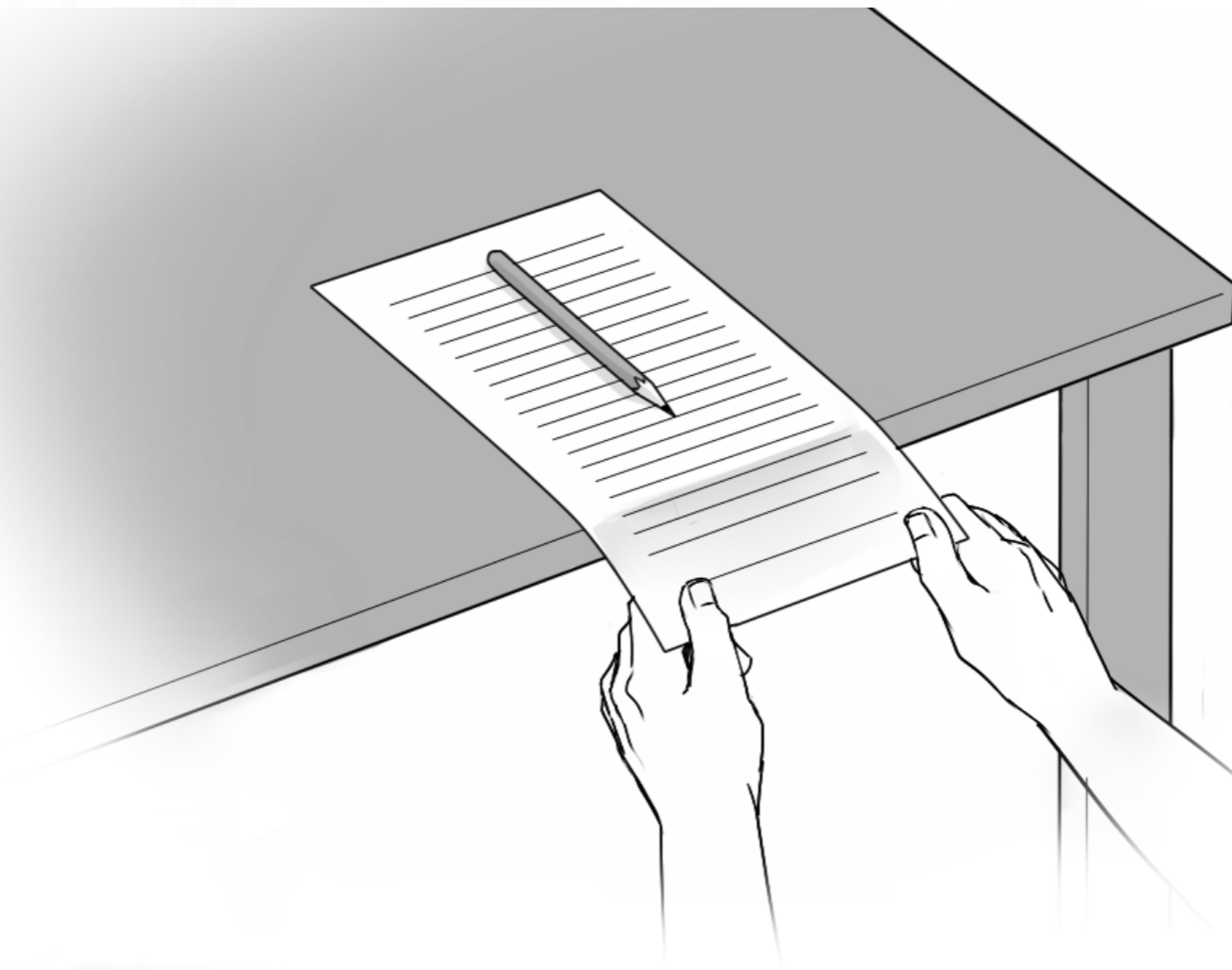
<http://physicsworld.com/cws/article/news/2007/dec/03/wet-sand-flows-better-than-dry>

実験4 テーブルクロス引き

だるま落としでは、一番下のブロックを勢いよくたたいても上のブロックが慣性の法則により留まり、そのまま下に落下する。テーブルクロス引きの芸も同様である。勢いよく引いたクロスの上の皿やコップがそのまま残るのは慣性の法則である。被害を最小にするため、慣れるまでは皿やコップを使う代わりに、机の上でペンなどを載せた紙を引っ張って確かめよう。



図 2.51 テーブルクロス引き



NHK「大科学実験」 リンゴは動きたくない！？

成功したテーブルクロス引きから、布を引き抜くスピードによって摩擦の大きさがことなることを知る実験。



NHK「大科学実験」 リンゴは動きたくない！？-ハイライト

時速140kmで走るレーシングカーを使い、10mの巨大テーブルクロス引きをする実験。



本日のミニッツペーパー記入項目

〔3-1〕 車が急ブレーキを踏んだ。車内で浮かんでいる風船は、前へ？それとも後ろへ？理由もつけて答えよ。

〔3-2〕（本日の講義から）ニュートンの運動の第2法則で、力をゼロとすれば加速度がゼロ（すなわち等速運動）となって、第1法則（慣性の法則）を再現する。だから第1法則は不要と考える人に、その必要性をどう説明しますか？

〔3-3〕 ジェットコースター、あなたは最前列に乗る派？後ろに乗る派？その理由は？

〔3-4〕 通信欄。（講義で取り上げて欲しい疑問・要望・連絡事項など、何かあれば）

生活の中の物理学第3回

Google Formから回答

<https://forms.gle/VdL5eFBvZHw4dZEp8>

手書きのものを写真にして添付するのもよい。

出席票を兼ねます。提出期限 4日(火) 23:59



The graphic features a light grey background with a pattern of gold circles and thin gold lines of varying sizes and orientations, creating a network-like or molecular structure. The text is centered in the middle of the image.

**THE NOBEL PRIZE
ANNOUNCEMENTS
3-10 OCTOBER 2022**

3日 (月) Physiology or Medicine

4日 (火) Physics

5日 (水) Chemistry

6日 (木) Literature

7日 (金) Peace

10日 (月) Economic science

<https://www.nobelprize.org>

“ブラックホール”

ロジャー・ペンローズ (89) 英オックスフォード大

「ブラックホール形成が一般相対性理論におけるごく自然な帰結となることの発見に対して」

ラインハルト・ゲンツェル (68) 独マックスプランク研究所

アンドレア・ゲズ (55) 米カリフォルニア大ロサンゼルス校

「天の川銀河の中心に超大質量なコンパクト天体を発見したことに対して」



Roger Penrose “for the discovery that black hole formation is a robust prediction of the general theory of relativity”

Reinhard Genzel and Andrea Ghez “for the discovery of a supermassive compact object at the centre of our galaxy”.





政治・国際

経済・雇用

社会・スポーツ

科学・環境

文化・エン

[科学政策](#) [科学者論](#) [テクノロジー](#) [基礎科学](#) [宇宙](#) [生命・医療](#) [原発](#) [地球環境](#) [生態系](#) [自然史・進化](#)
[論座](#) > [科学・環境](#) > [記事一覧](#) > [記事](#)

科学・環境

「ブラックホール」でまとめたノーベル物理学賞

理論家ペンローズの並外れた業績と、「謎」を「実在」に転換させた長年の天文観測

真貝寿明 大阪工業大学教授（相対性理論、宇宙物理学、天文学史）

[ノーベル賞](#) | [ブラックホール](#) | [基礎科学](#) | [宇宙](#)

2020年10月13日

ツイート

おすすめ 221

シェア

B! 0

コメント 0件

印刷

list

真貝寿明 大阪工業大学教授（相対性理論、宇宙物理学、天文学史）

[ノーベル賞](#) | [ブラックホール](#) | [基礎科学](#) | [宇宙](#)

2020年10月13日

ツイート

おすすめ 221

シェア

B! 0

コメント 0件

印刷

list



イラストはNASA提供

2020年のノーベル物理学賞は、ブラックホールの研究業績をテーマとして、英オックスフォード大のロジャー・ペンローズ（89）、独マックスプランク研究所のラインハルト・ゲンツェル（68）、米カリフォルニア大ロサンゼルス校のアンドレア・ゲズ（55）の3氏に贈られると発表された。贈賞理由は、ペンローズは「ブラックホール形成が一般相対性理論におけるごく自然な帰結となることの発見に対して」、ゲンツェルとゲズは「天の川銀河の中心に超大質量なコンパクト天体を発見したことに対して」となっている。

<https://webronza.asahi.com/science/articles/2020101000005.html>

NATIONAL
GEOGRAPHIC
CHANNEL

SCIENCE OF STUPID

「バ科学」の世界へ
ようこそ

ScienceOfStupid1.mov (1:20)
sled.mov (2:30)