生活の中の物理学
Physics in Everyday Phenomena

第3回　2026/10/5

第2章　力学ーNewtonの運動法則



真貝　寿明
Hisaaki Shinkai

https://www.oit.ac.jp/labs/is/system/shinkai/mukogawa/

真貝の武庫川講義ページtop

前回のミニッツペーパーから

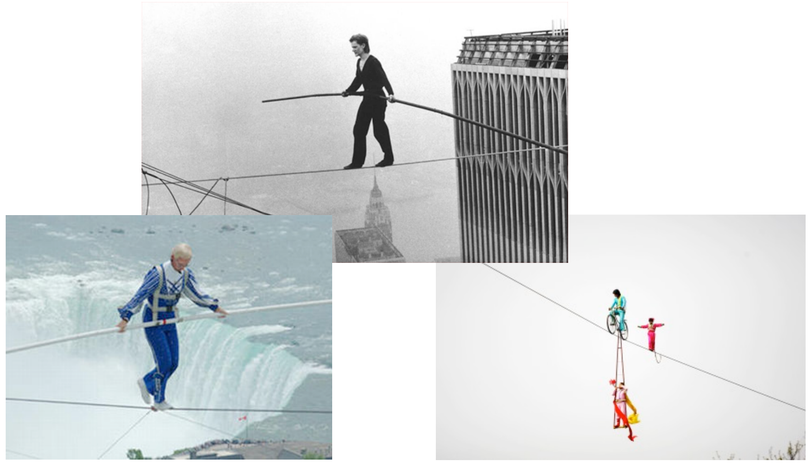
(2-4) ミニッツペーパーでクイズに間違えると、減点されますか？
重心の実験など、本日の講義はすごくおもしろかったです。
物理を身近に感じられそうになりそうです！！

物理を身近に感じられそうになりそうです！！

今回の講義で「時計はなぜ右回りか」や「100kmのトラックから100kmのボールをなげるとどうなるか」などがおもしろかったので、もっと取り上げてほしいなと思いました。



【物理】 topic **綱渡りで長い棒を持つ理由は？** 教科書 p44



長い棒ほど，回転させるのに大きなモーメントを必要とする．

→ 長い棒を持てば，自分自身が回転せず制御しやすい．

57

〈感想〉 綱渡りや平均台渡りで咄嗟に手を横に伸ばすという動作も、「本能的なもの」で片付けるのではなく物理で説明出来ると知り、面白いと思いました。

◀ 実に良い着眼点です！

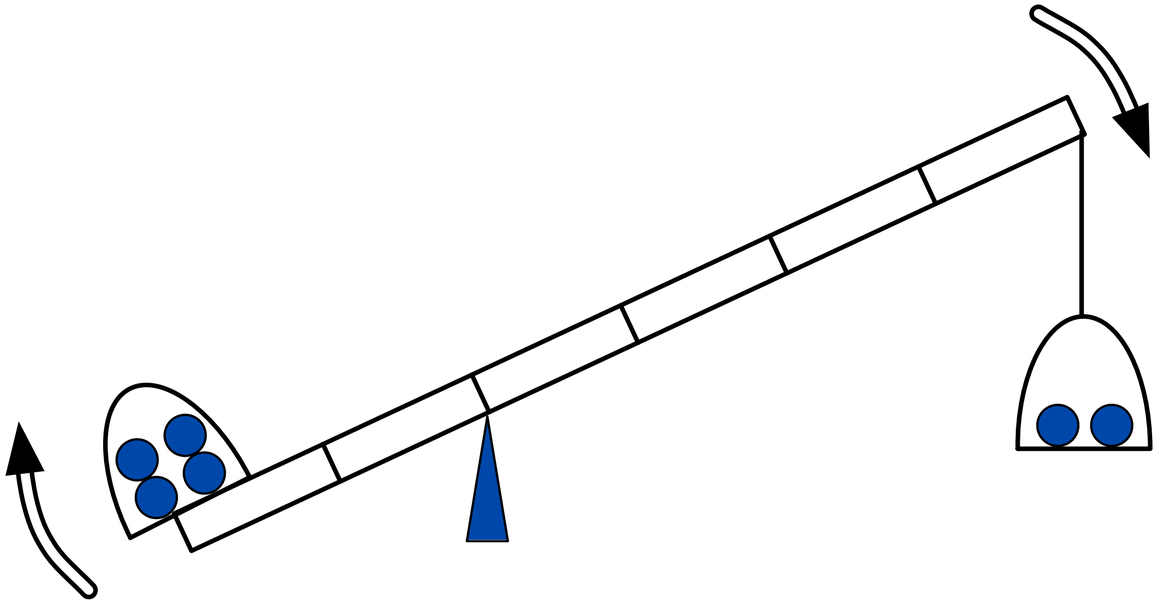
前回のミニッツペーパーから

正座とてこの原理の関係についてさらにくわしく知りたいです。

力のモーメントの話で、なぜ回転という表現をつかうのか疑問に思いました。



正座がつらい理由



右回りのモーメント＝（長さ）4 ×（おもり）2

左回りのモーメント＝（長さ）2 ×（おもり）4

前回のミニッツペーパーから

話がおもしろく聞いていておもしろかったです。
"やじろべえ"で思い出しました。ポルトガルの有名な建築家の
アルバロ・シザが設計した競馬場の構造がバランスをとることで
柱のない空間をつくる、「やじろべえ」と同じ性質を用いています。
よかったら見てみてください。

サルスエラ競馬場
2010.01.19 Tuesday



マドリード郊外にあるサルスエラ競馬場（Hipódromo de la Zarzuela, Zarzuela Hippodrome）は、スペインが生んだ偉大なエンジニア・アーキテクト、エドゥアルド・トロハ（Eduardo Torroja（1899-1961））の代表作の一つです。コンクリートシェル構造の屋根が、もの凄くかっこいいです。



なんと軽快な屋根



屋根を支えている柱は、たったのこれだけ。日本では考えられませんね(^^;)

http://blog.enviro-studio.net/?eid=304

前回のミニッツペーパーから

速さと重さの関係を知りたいです．10階のビルの屋上から落とすのと3階から落とした時はもし人間に当たった時に痛さが違うと思うのでなぜそうなるか知りたいです．

当然，高いところからモノを落とすと，地上に到達するときには加速されて，大きな速さになります．
人間に当たって痛さを感じるのは，どれだけモノが**「力」を与えるのか**，という話なので，どれだけ**「運動量」や「エネルギー」をもっているのか**，という話になります．

「力」　＝「質量」 x 「加速度」
force

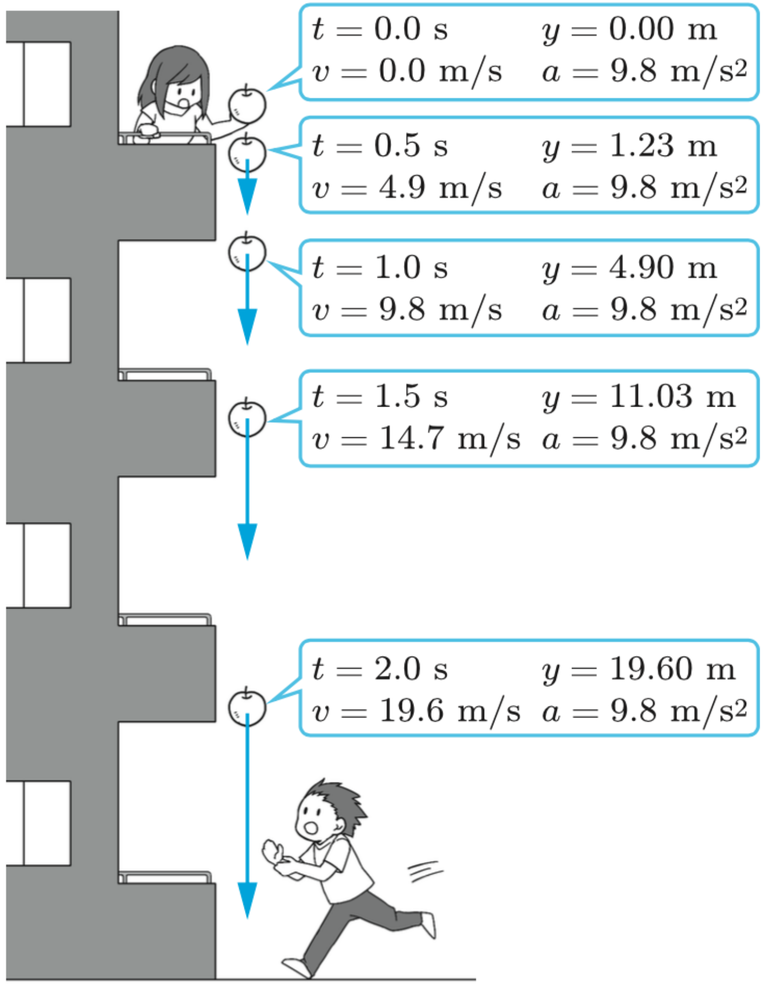
$$F = ma$$

「運動量」＝「質量」 x 「速度」
momentum

$$p = mv$$

「エネルギー」＝「質量」 x 「速度^2」 / 2
energy

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



教科書 p26

速さの定義

定義　速さ (1)

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

定義　速さ (2)

速さ v を，次式で定義する．

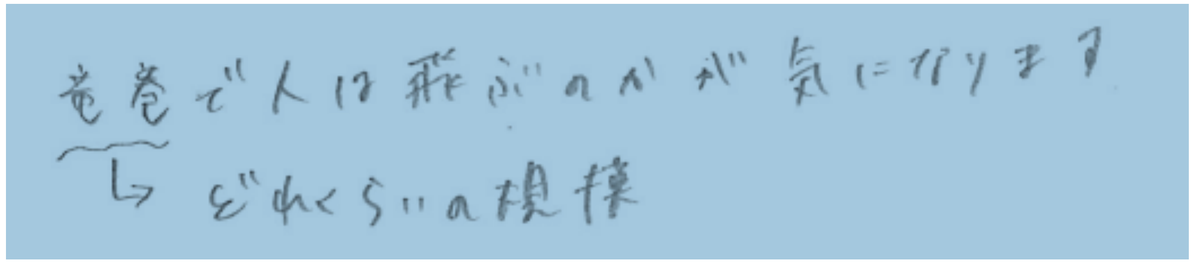
$$v = \frac{\Delta x}{\Delta t} \qquad \text{速さ} = \frac{\text{移動した距離}}{\text{かかった時間}} \qquad (2.3)$$

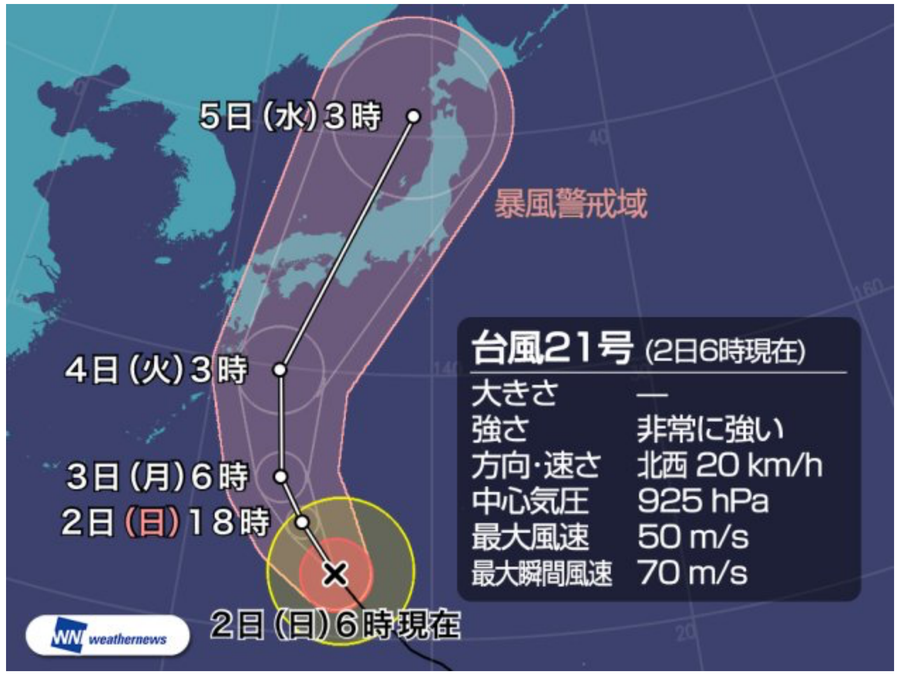
知っておくと便利な速度（基準とされる速度）

表 2.1　知っておくと便利な速さ

人の歩く速さ	分速 80 m（不動産広告で徒歩○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）

前回のミニッツペーパーから

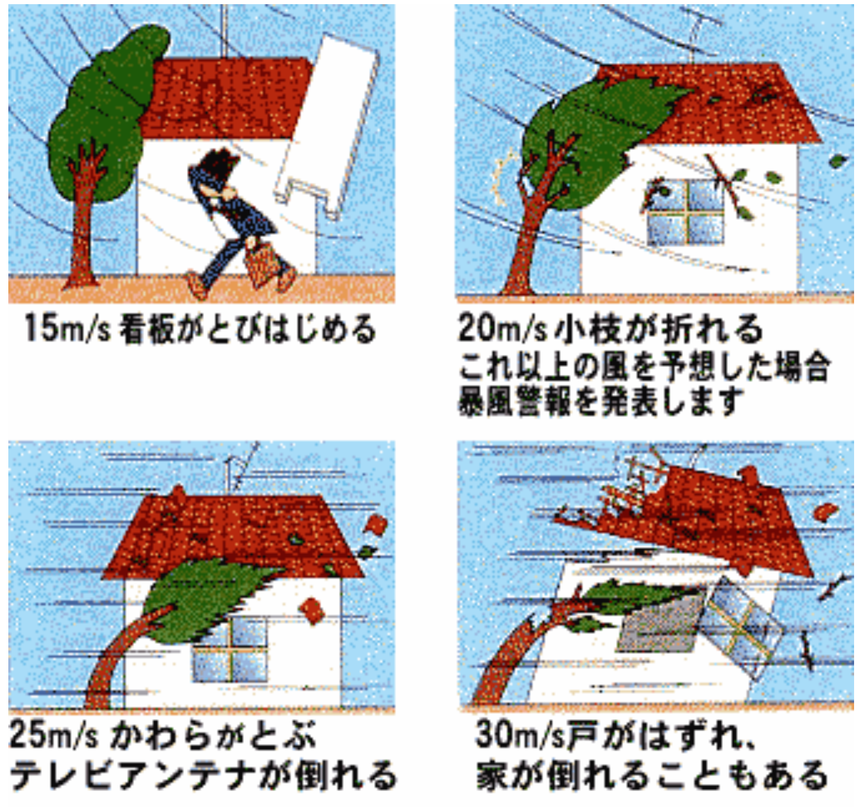








台風の風速の目安



http://www.ctv.co.jp/emg/taifu/mame3.html

前回のミニッツペーパーから

光と音の伝わる速さが違うのはなぜですか？

音は空気分子を振動させて伝わります. 温度が高いほど音速が大きい.
光は, 光子という粒子の移動です. 真空中でも伝わり, 光速は一定です.



音の速さを見てみようー大科学実験 https://www2.nhk.or.jp/school/watch/clip/?das_id=D0005300840_00000#in=0&out=204

加速度の定義

定義　加速度

速度の増減の具合を加速度として定義する．

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

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　$g = 9.8\ [\mathrm{m/s^2}]$　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）

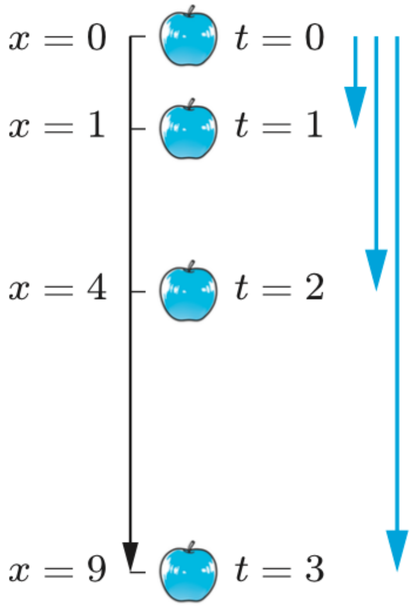


表 2.2　おもな加速度の大きさ

乗り物	加速度 $[\mathrm{m/s^2}]$	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．

$$a(t)=0 \tag{2.10}$$

$$v(t)=v \quad （一定値） \tag{2.11}$$

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



加速度ゼロ　　**速度一定**

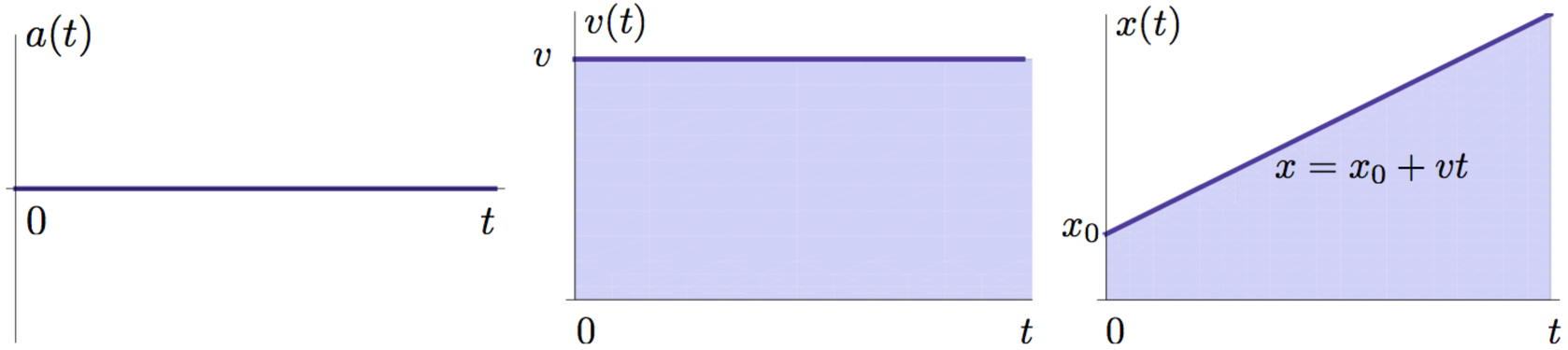


図 2.1: 等速運動の a-t グラフ，v-t グラフ，x-t グラフ．

教科書 p34

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．

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

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

$$x(t)=x_0+v_0t+\frac{1}{2}at^2 \quad \text{（放物線の式）} \tag{2.15}$$

加速度一定　　**速度次第に速く**

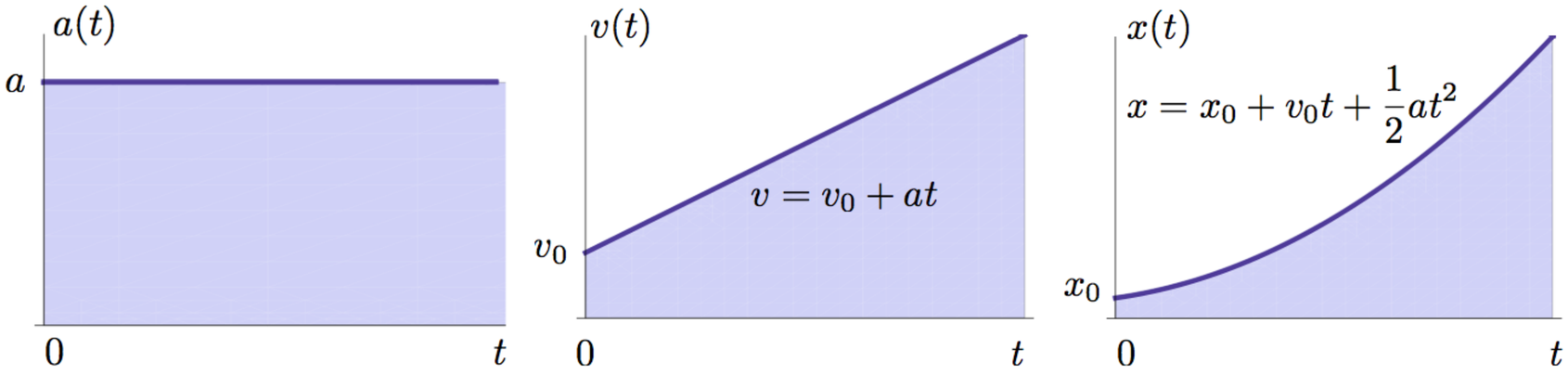


図 2.2: 等加速度運動の a-t グラフ，v-t グラフ，x-t グラフ．

速度・加速度　高級な理解

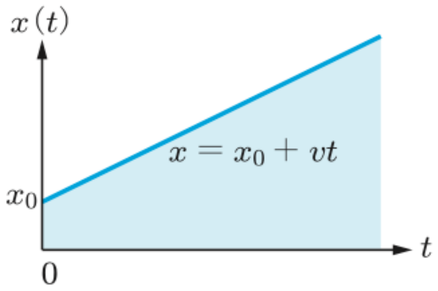
$x = x(t)$　　x-t グラフ

微分 ↓↑ 積分　　傾き ↓↑ 面積

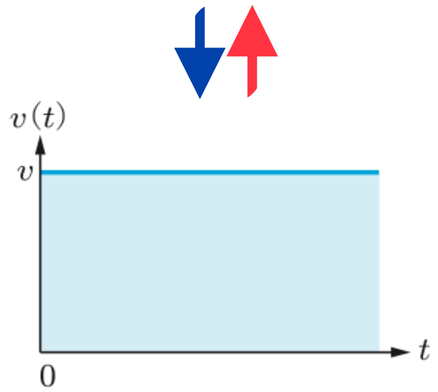
$v = v(t)$　　v-t グラフ

微分 ↓↑ 積分　　傾き ↓↑ 面積

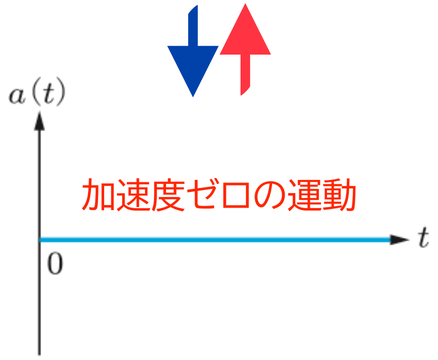
$a = a(t)$　　a-t グラフ



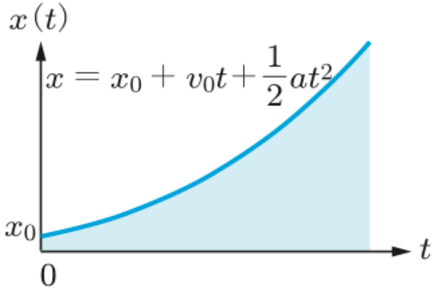
（c）$x-t$ グラフ



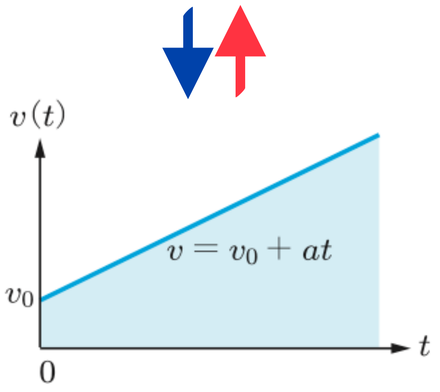
（b）$v-t$ グラフ



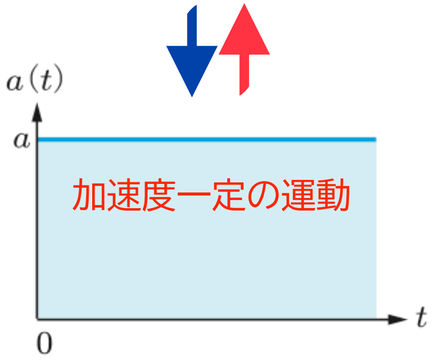
（a）$a-t$ グラフ



（c）$x-t$ グラフ



（b）$v-t$ グラフ

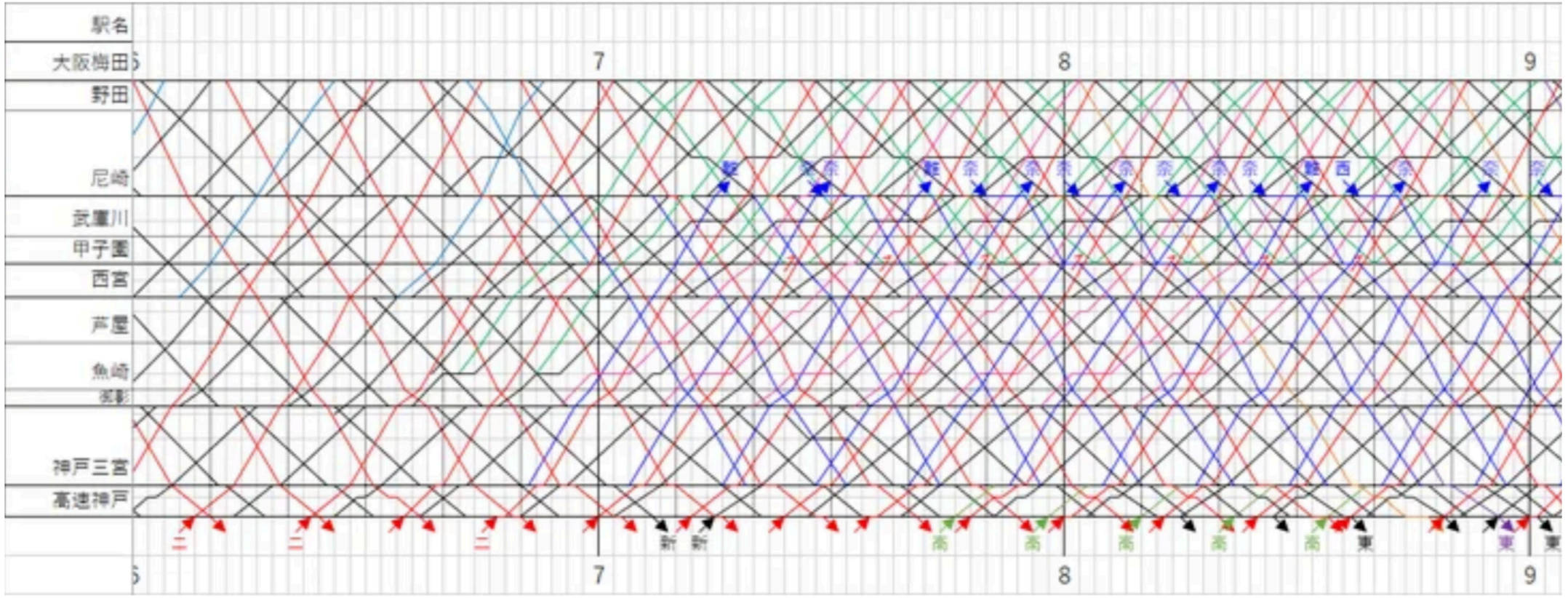


（a）$a-t$ グラフ

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．



https://ameblo.jp/tetu310/image-12788827729-15246038083.html

実験 1　神経の反応時間を測ろう

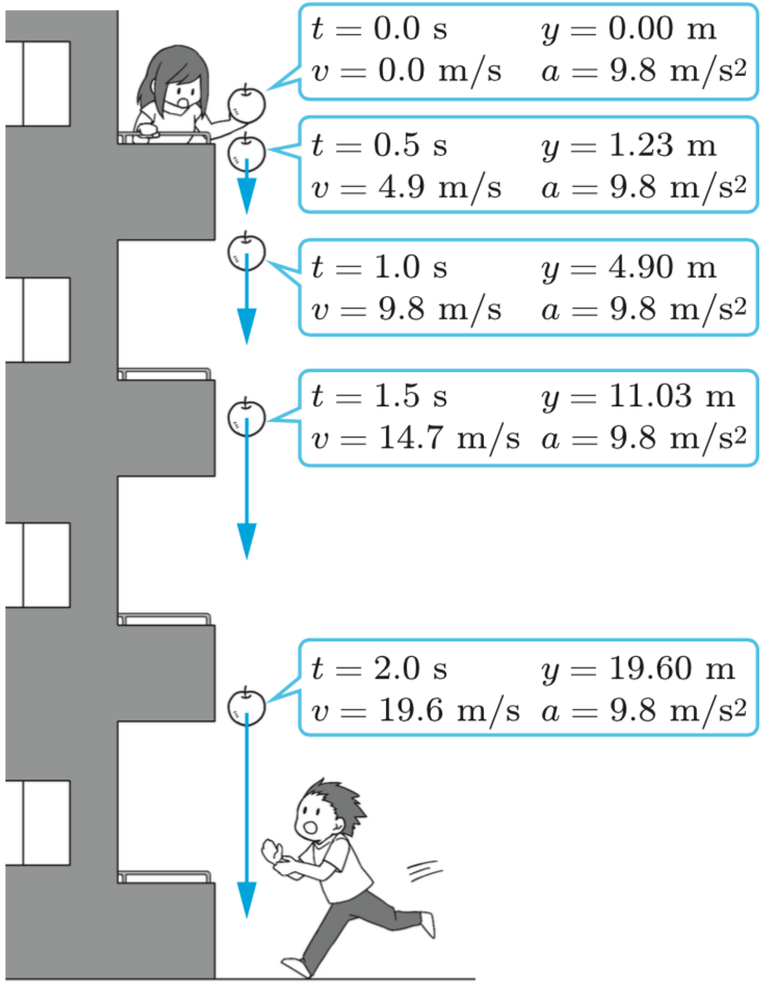
友達に鉛筆の上端を持ってもらい，自分はその鉛筆の下の端を，人差し指と親指で挟めるように待つ状態にする．友達が鉛筆を落下させてから，何 cm のところで指を挟んで止められるだろうか．目でみてから指先までに命令が伝わる神経の反応時間 t を測る実験だ．

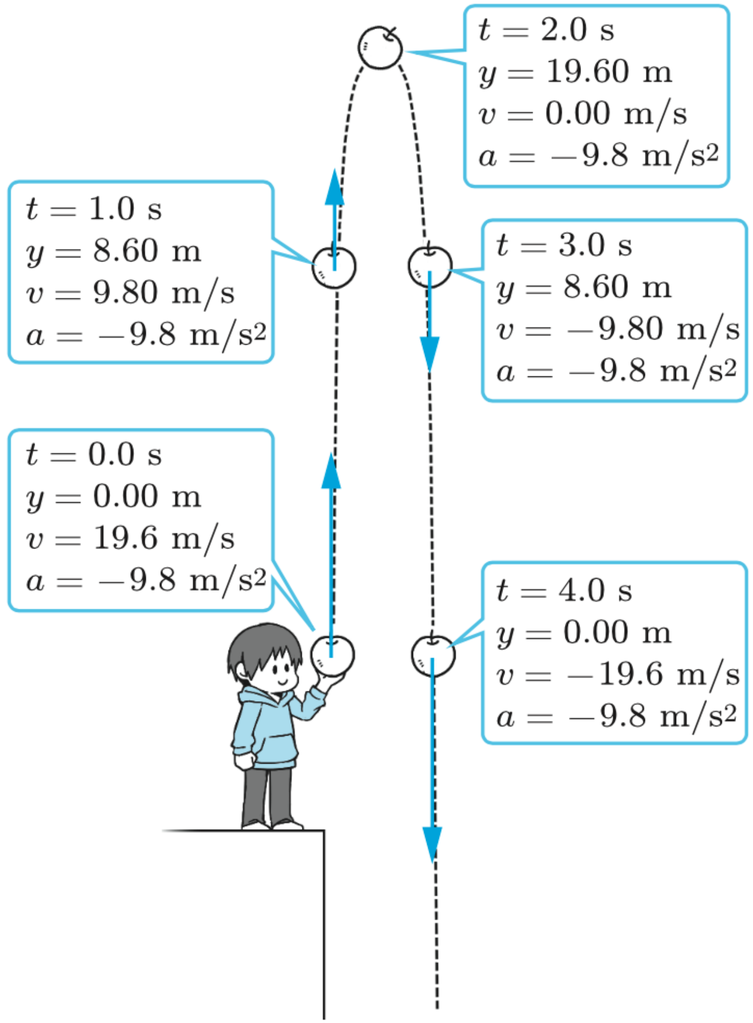
x [cm] でつかめたら，自由落下する長さは $x = \dfrac{1}{2}gt^2$ なのだから，$t = \sqrt{2x/g}$ である．$x = 10\,\mathrm{cm}$ なら $t = \sqrt{2 \cdot 0.1/9.8} = 0.143\,\mathrm{s}$，$x = 15\,\mathrm{cm}$ なら $t = \sqrt{2 \cdot 0.15/9.8} = 0.175\,\mathrm{s}$ となる．

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！

重力加速度 $g = 9.8\ [\mathrm{m/s^2}]$





宿題（任意）

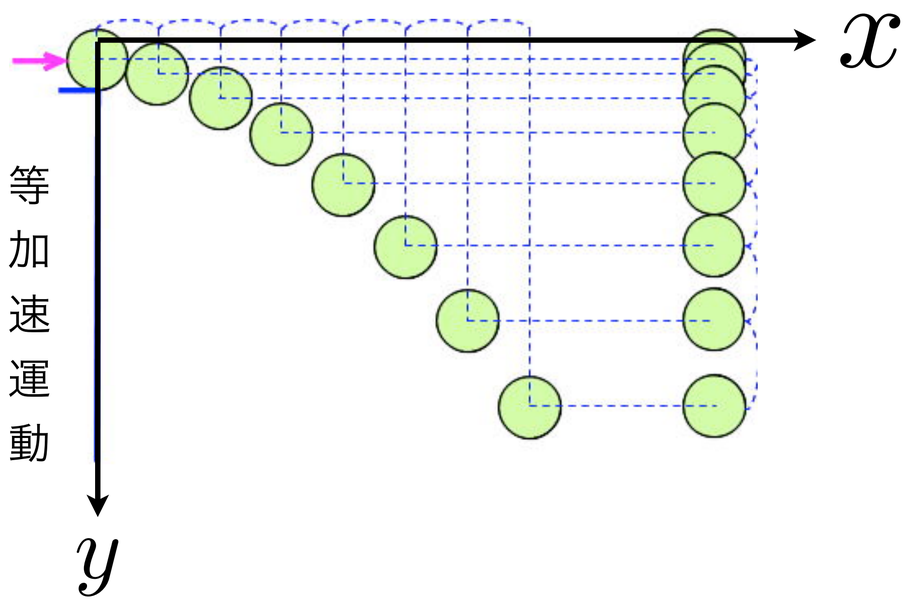
問2.1 国際宇宙ステーション (ISS) は約 90 分で地球を 1 周する．地球の半径は 6370 km，ISS の高度は地表から約 370 km である．ISS の速度はどのくらいか．

問2.2 地球は自転により，24 時間で 1 周する．地球が半径 6370 km の球であるとして，赤道上での自転の速さはいくらか．

問2.3 地球は公転により，太陽のまわりを 1 年間で 1 周する．軌道が半径 1 億 5000 万 km の円であるとして，公転速度はいくらか．

問2.4 流れる速さが 10 [m/s] の川がある．上流から下流まで 5 km の距離を秒速 20 [m/s] の速さを出せるエンジンをつけた船で往復した．経過した時間はどのくらいか．

$x(t) = v_x t$ 等速運動



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

放物線

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

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，

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

- 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，

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

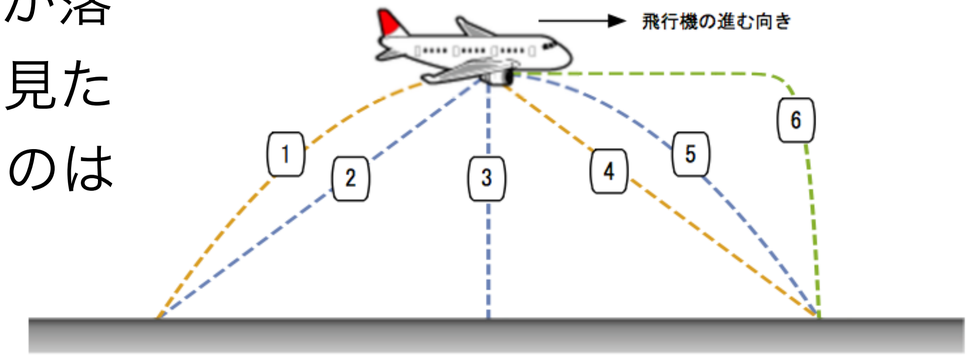
となる．この 2 本の式から，t を消去すると，

$$y = \frac{v_{0y}}{v_{0x}}x - \frac{g}{2v_{0x}^2}x^2 \tag{2.28}$$

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．

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．





1と思う　3人
2と思う　3人
3と思う　3人
4と思う　0人
5と思う　14人
6と思う　0人

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**

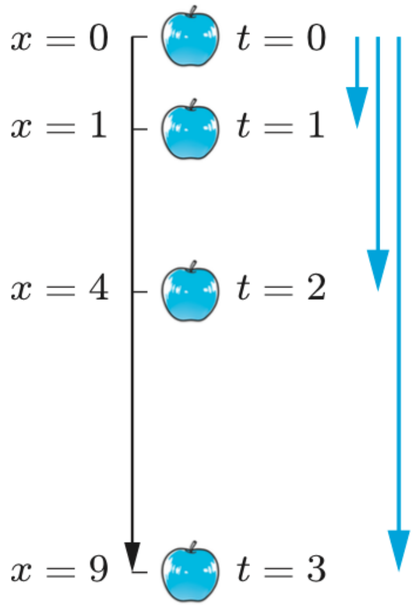
質量 m [kg] の物体には，重力加速度 $g = 9.8\,\mathrm{m/s^2}$ がはたらく．重力の大きさ W は，次のようになる．

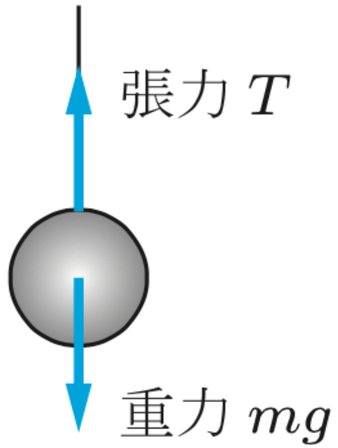
$$W = mg \qquad (2.29)$$

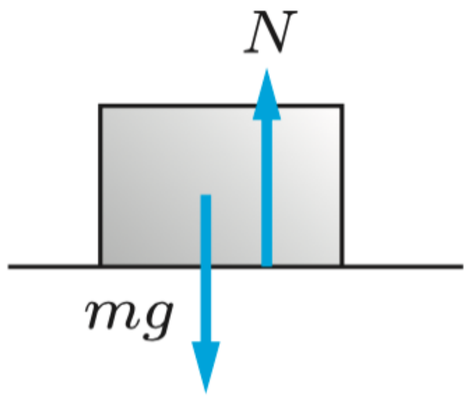
重力 [N] ＝ 質量 [kg] × 重力加速度 [m/s^2]

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 kg 重 ＝ 9.8 N



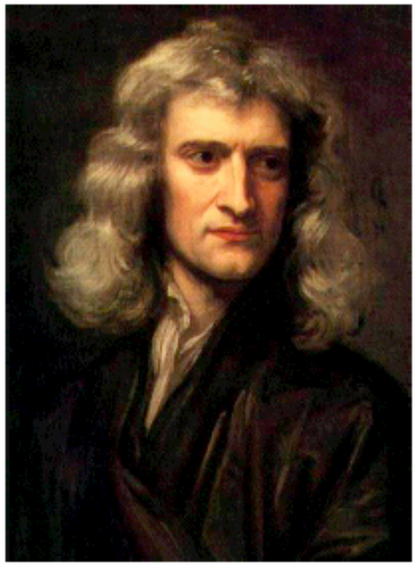




力2 **張力**　　力3 **抗力**

2.3 ニュートンの運動法則

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 $\boldsymbol{F}$ を及ぼすと，物体の質量 m に反比例した加速度 $\boldsymbol{a}$ が生じる.

第 3 法則　**作用反作用の法則** (law of action-reaction)
物体に力 $\boldsymbol{F}$ を及ぼすと，同じ大きさで逆向きの反作用 $-\boldsymbol{F}$ 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.

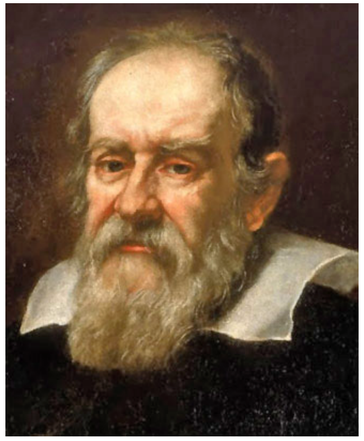
$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a} \tag{2.4}$$

質量 m の単位は [kg]
加速度 a は [m/s^2]
力 F は [N]

第1法則: 慣性の法則 （law of inertia）

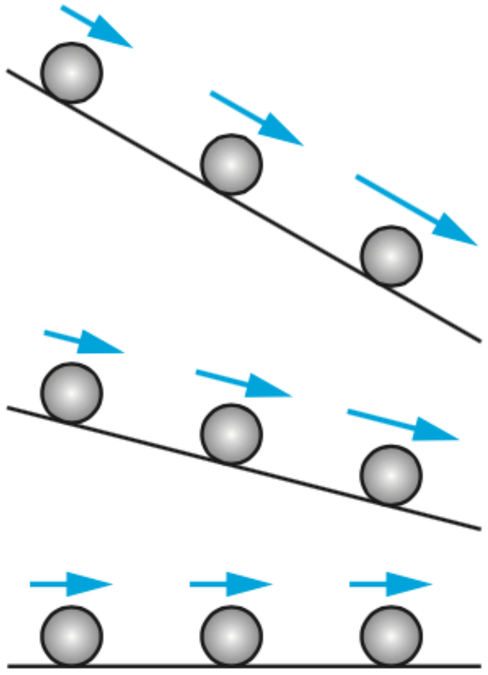
法則 ニュートンの運動法則（第１法則）：慣性の法則

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．

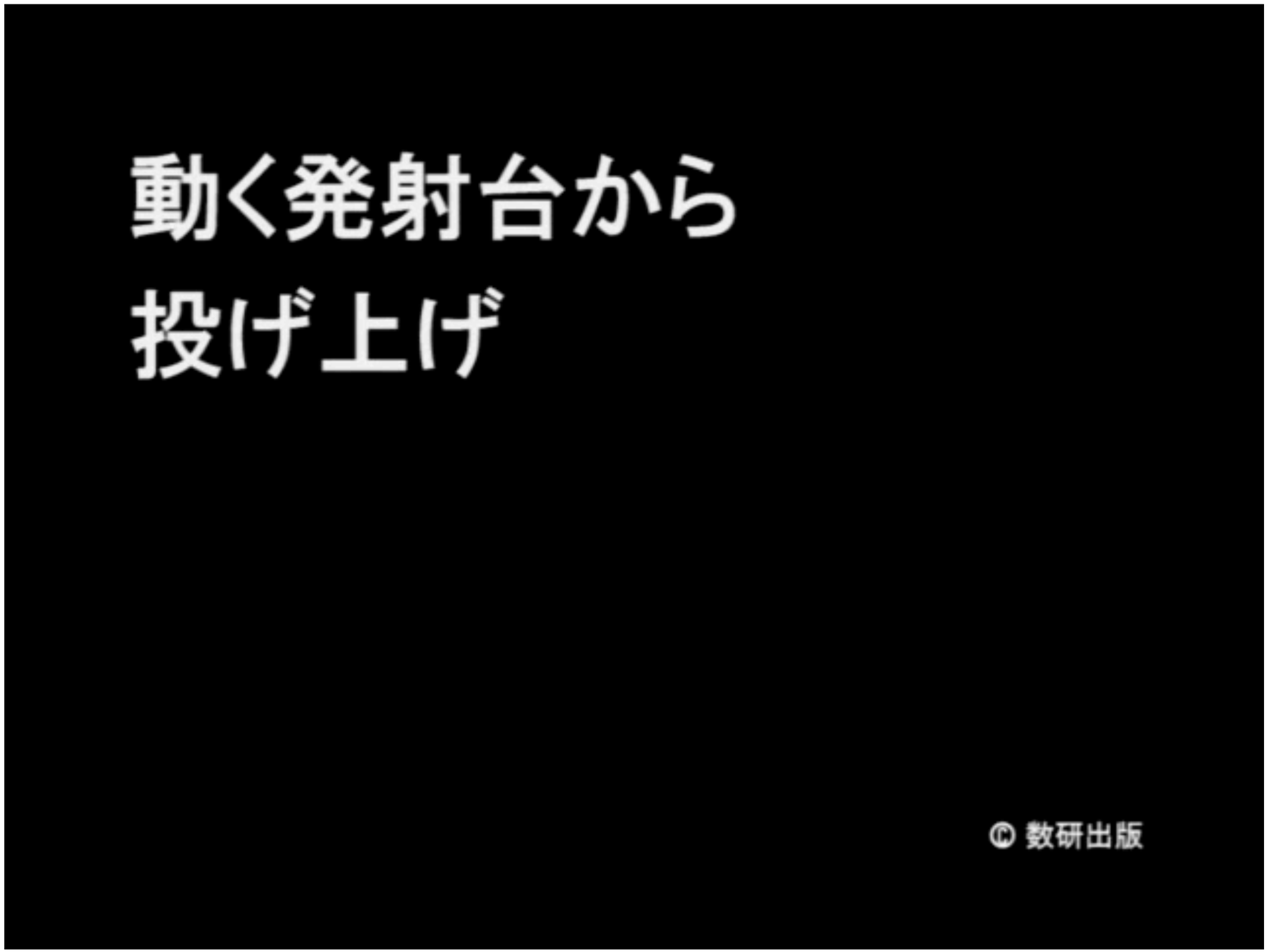


Galileo Galilei
(1564-1642)

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）



第1法則： 慣性の法則



動く発射台から投げ上げ　　（数研出版「物理図録」）

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？

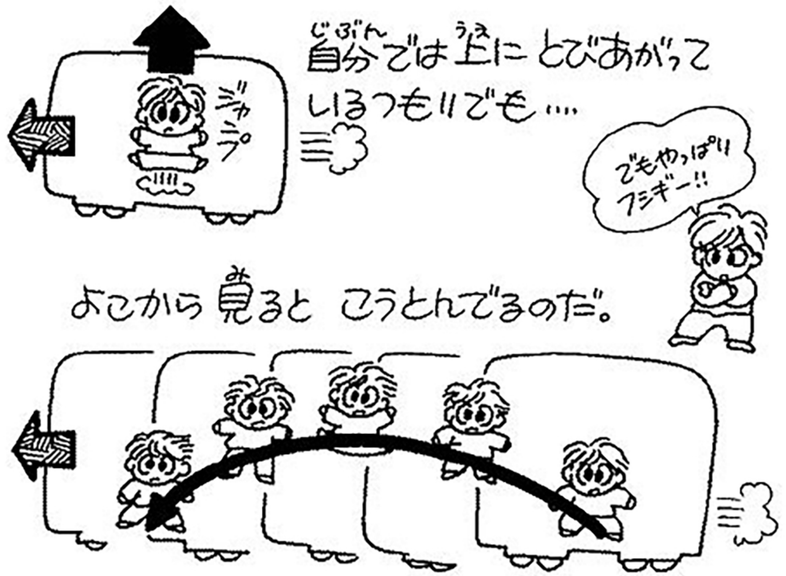
前方に落ちる・・・ 2名
→ 足元に落ちる・・・ 20名
後方に落ちる・・・ 1名

減速している列車内で物を落とすと？

→ 前方に落ちる・・・ 14名
足元に落ちる・・・ 4名
後方に落ちる・・・ 5名

どちらも正解　13名（23名中）





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

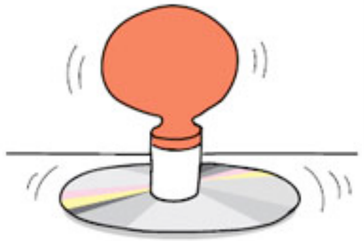


Gravity (2013)

http://www.youtube.com/watch?v=xgGPTa7-vlE

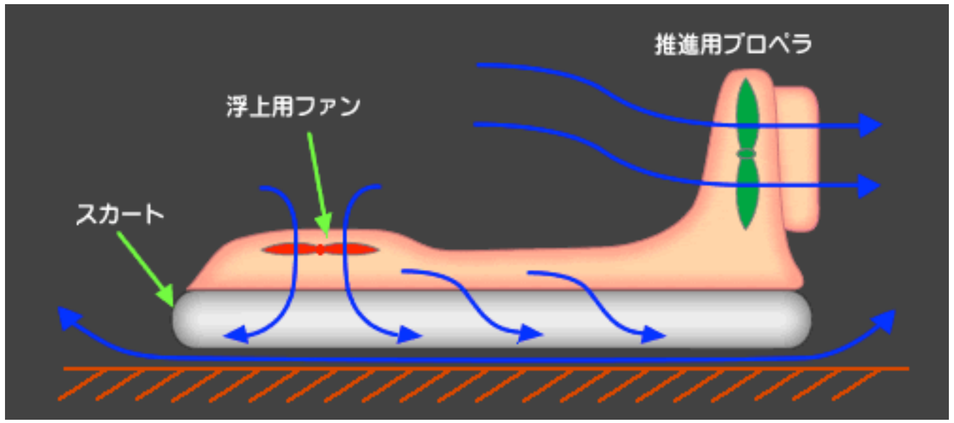
(start on click, 1:16)

CDホバークラフトで実験しよう











http://www.aqm-hovercraft.com/hovercraft2+index.htm

第2法則: 運動の法則 （equation of motion）

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 $\boldsymbol{F}$ を及ぼすと，物体の質量 m に反比例した加速度 $\boldsymbol{a}$ が生じる．

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

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．

$$\sum_i \boldsymbol{F}_i = m\boldsymbol{a}$$

【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．

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

この式は，$\boldsymbol{a} = 0$ 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，$\boldsymbol{v} =$ 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
電気の力
磁石の力
.. ..

大きさだけではなく，
向きを含めて成り立つ

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

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
電気の力
磁石の力
.. ..

大きさだけではなく，
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 （law of action-reaction）

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 $\boldsymbol{F}$ を及ぼすと，同じ大きさで逆向きの反作用 $-\boldsymbol{F}$ が，その物体から及ぼされる．

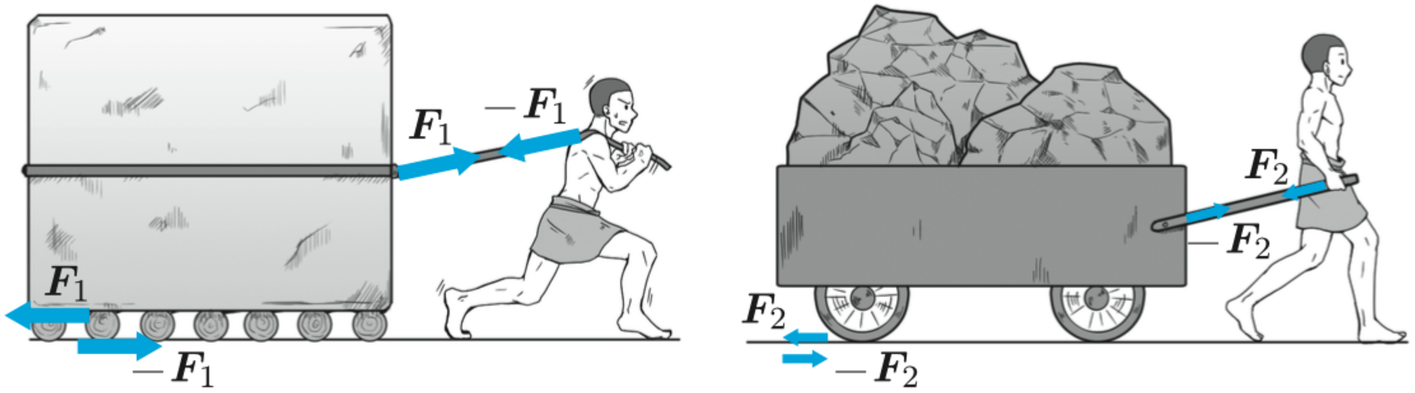


図 2.55 作用・反作用の法則 力は必ず二つの物体間で生じていて，お互いが力を介して運動する．

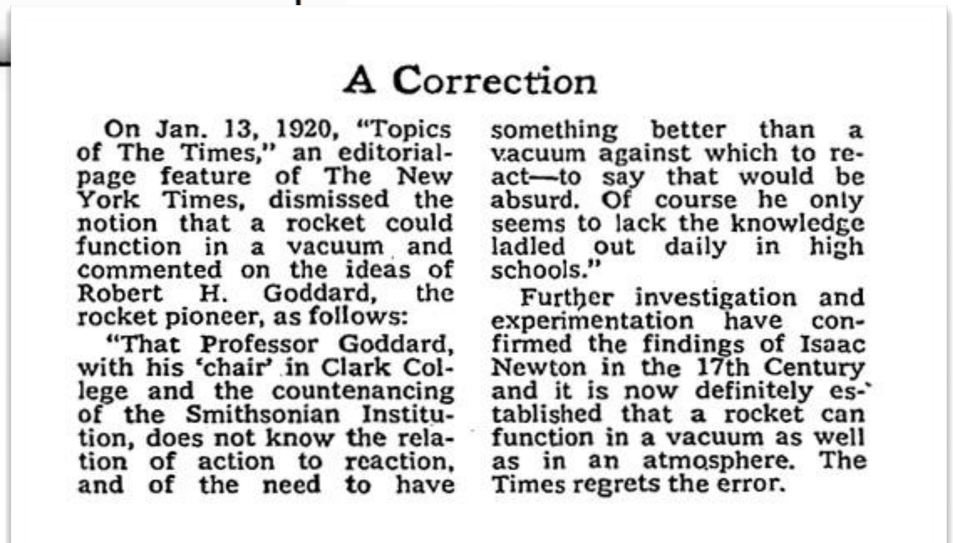
第3法則:作用・反作用の法則

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．



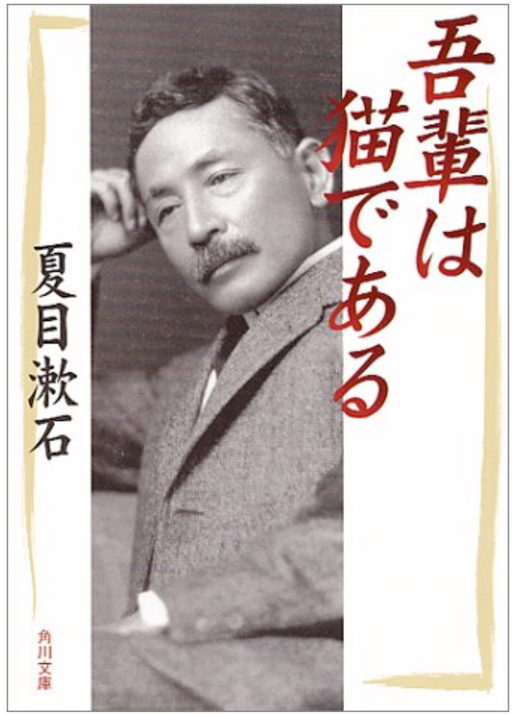
A Correction

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."

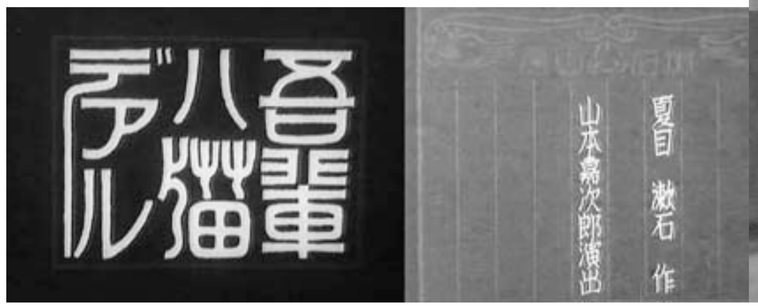
Further investigation and experimentation have confirmed the findings of Isaac Newton in the 17th Century and it is now definitely established that a rocket can function in a vacuum as well as in an atmosphere. The Times regrets the error.

猫 (1905年，映画化1936年)

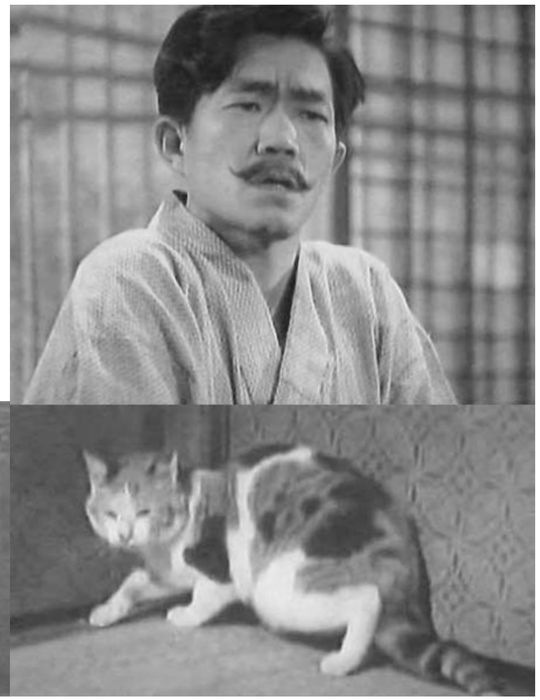


吾輩は猫である。名前はまだ無い。

どこで生まれたか頓と見當がつかぬ。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惡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。



https://www.youtube.com/watch?v=RwCGXFbN7yo



丸山定夫 (主人、珍野苦沙弥)

(吾輩)



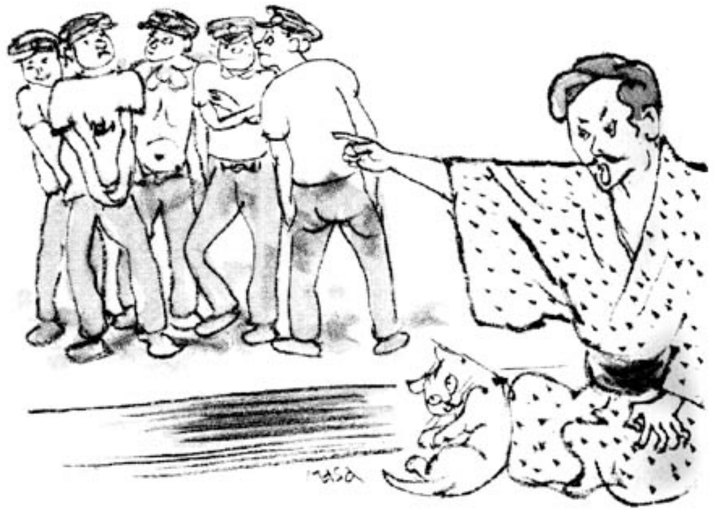
徳川夢声 (迷亭)

藤原釜足 (越智東風)　　**北沢彪** (水島寒月)

吾輩は猫である　（八）ダムダム弾　の話









http://neko.koyama.mond.jp/?day=20070423

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い落して、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であろう。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。

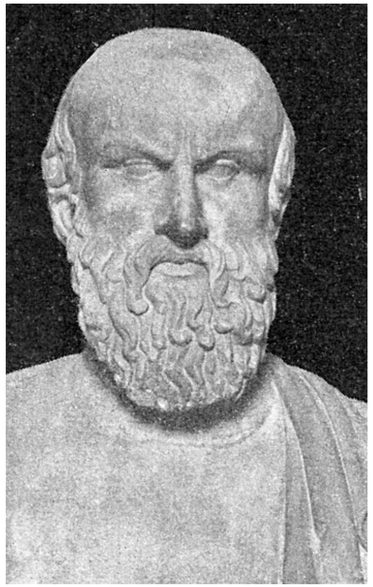
漱石，吾輩は猫である　（八）より

吾輩は猫である　（八）ダムダム弾　の話

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であろう。

漱石，吾輩は猫である　（八）より

イスキラス = アイスキュロス



BC525–496

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（ラブレー『パンタグリュエル物語』第四之書）。

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

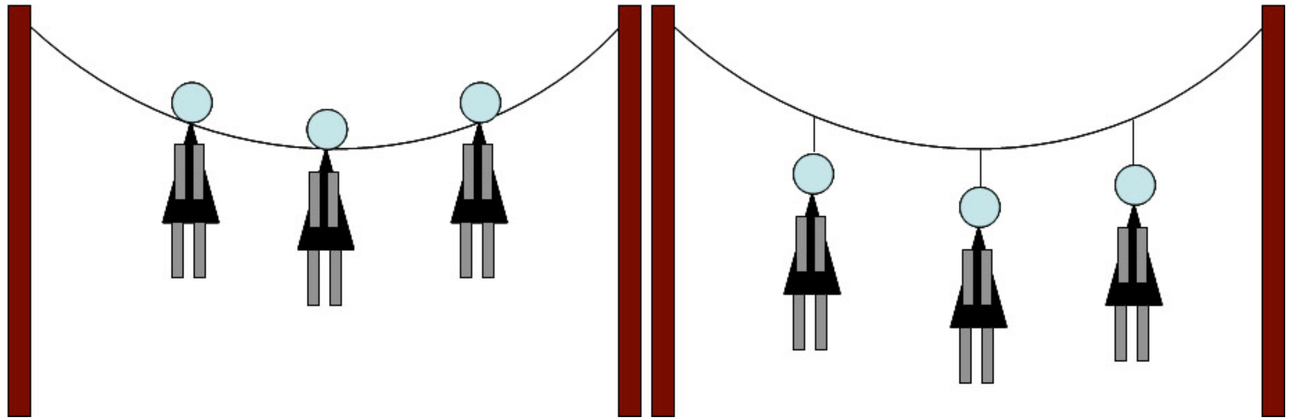
「この絞殺を今から想像して見ますと、これを執行するに二つの方法があります。第一は、彼《か》のテレマカスがユーミアス及びフヒリー　シャスの援《たすけ》を藉《か》りて縄の一端を柱へ括《くく》りつけます。そしてその縄の所々へ結び目を穴に開けてこの穴へ女の頭を一つずつ入れておい　て、片方の端をぐいと引張って釣し上げたものと見るのです」「つまり西洋洗濯屋のシャツのように女がぶら下ったと見れば好いんだろう」

「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」

「たとえて云うと縄暖簾《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います。――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.

北沢彪 (水島寒月)

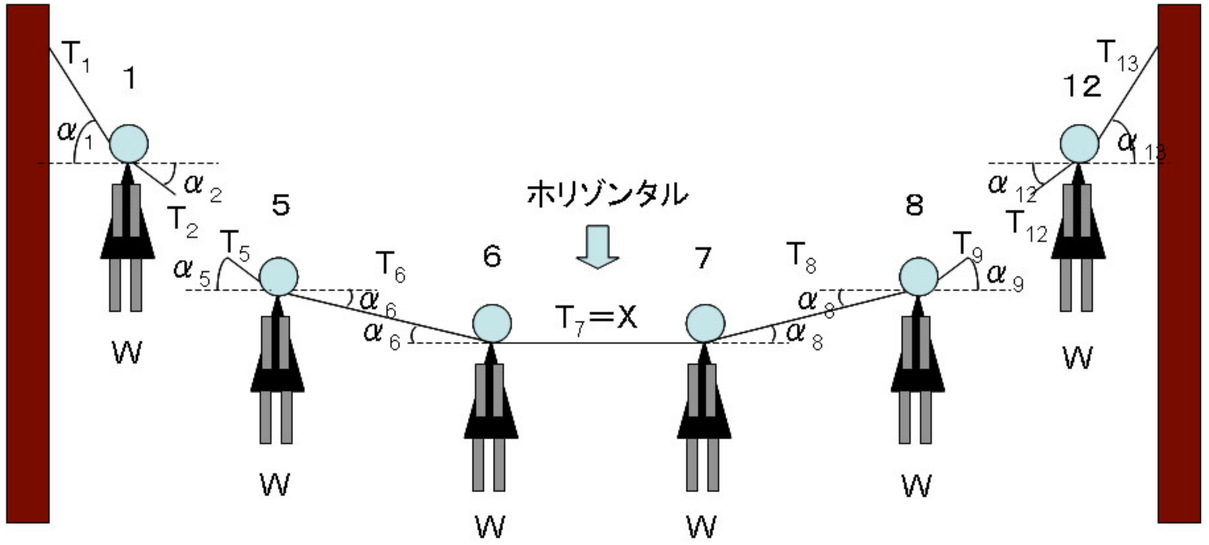
http://luna-physics.cocolog-nifty.com/blog/2011/09/post-cb4c.html

「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ホリゾンタルと仮定します。そこでα１α２……α６を縄が地平線と形づくる角度とし、Ｔ１Ｔ２……Ｔ６を縄の各部が受ける力と見做し、Ｔ７＝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。



http://luna-physics.cocolog-nifty.com/blog/2011/09/post-cb4c.html

「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。

$T_1 \cos\alpha 1 = T_2 \cos\alpha 2$…… (1) $T_2 \cos\alpha 2 = T_3 \cos\alpha 3$…… (2) ……」

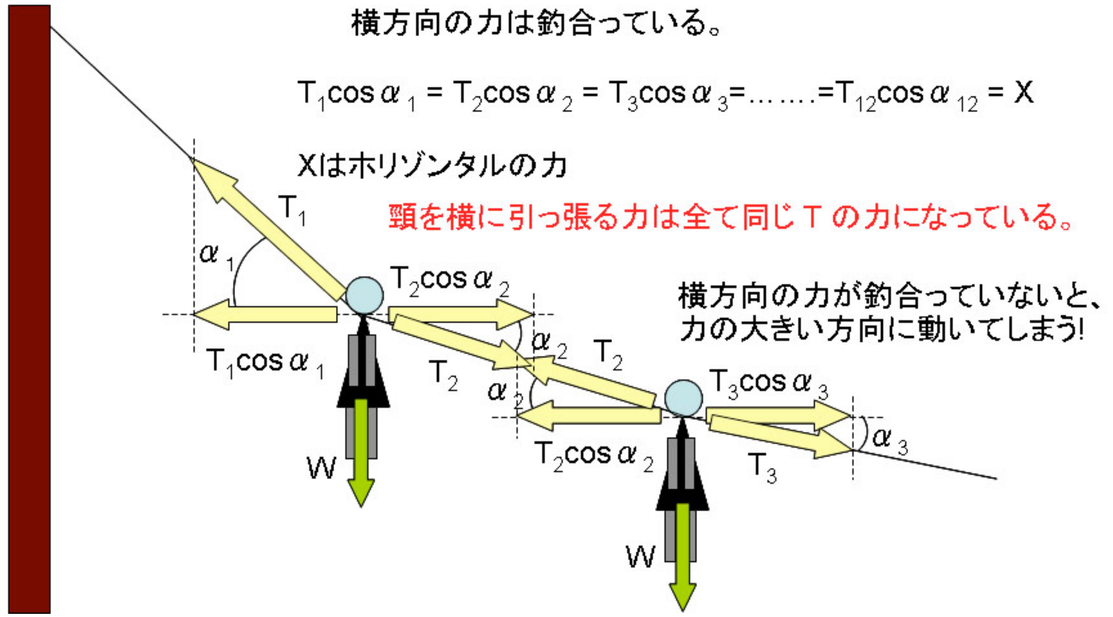
「方程式はそのくらいで沢山だろう」と主人は乱暴な事を云う。

「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。



http://luna-physics.cocolog-nifty.com/blog/2011/09/post-cb4c.html

「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.

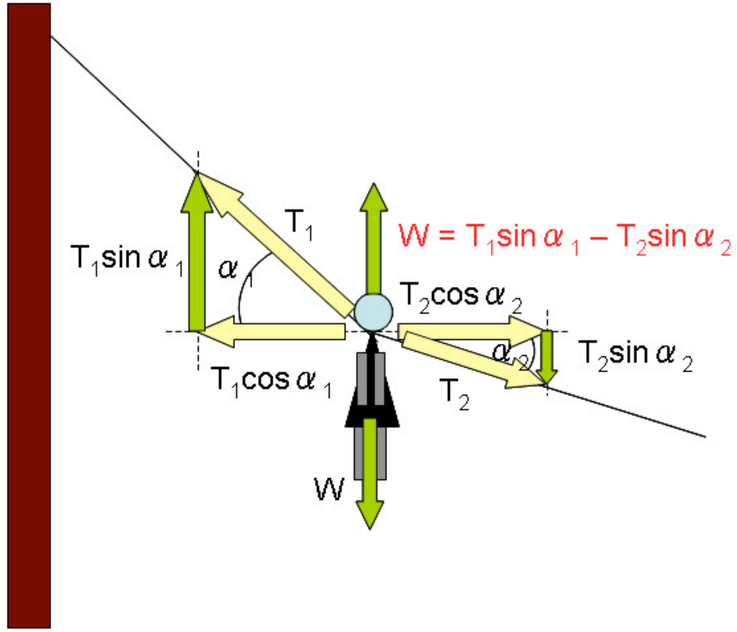
鉛直方向を考えると，12人それぞれの重力をWとして，つりあいの式が右のようになる.

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、

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

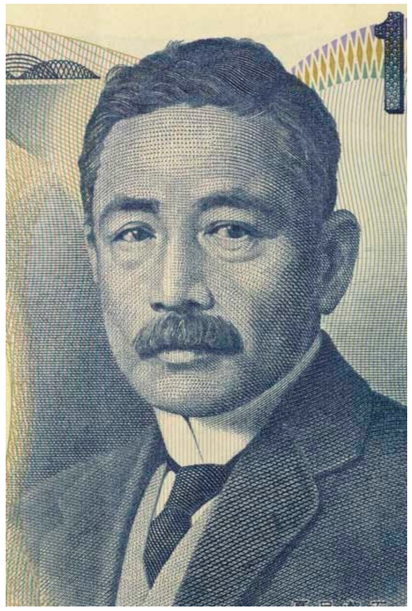
となる．W＝40 kg重，α_1＝30°とすると，sin 30°= 0.5なので，綱を引っ張っている力　T_1＝12W　となる．結局，綱を引っ張る力は480kg重となる．可能なのか？？



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

http://luna-physics.cocolog-nifty.com/blog/2011/09/post-cb4c.html

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『○○○』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（土）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 XXXXXXX ○○○○」の形式とすること．（XXXXXXX は学籍番号，○○○○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．）

レポート課題

たとえば，，，



第一章、自然と生物　18編

どんぐり
竜舌蘭
花物語
芝刈り
球根
簑虫と蜘蛛
ねずみと猫
子猫
解かれた象
からすうりの花と蛾
藤の実
とんびと油揚
あひると猿
日本人の自然観
池
路傍の草
小浅間
小爆発二件

第二章、科学について　30編

アインシュタイン
アインシュタインの教育観
科学者と芸術家
物理学と感覚
相対性原理側面観
怪異考
比較言語学における統計的
　研究法の可能性について
化け物の進化
ルクレチウスと科学
火山の名について
日常身辺の物理的諸問題
量的と質的と統計的と
物理学圏外の物理的現象
ロプ・ノールその他
鐘に鬱《ちぬ》る
自然界の縞模様
物質群として見た動物群
感覚と科学
鎖骨
神話と地球物理学
科学と文学
科学者とあたま
人魂の一つの場合
疑問と空想
時の観念とエントロピーならびに
　プロバビリティ
茶わんの湯
数学と語学
蒸発皿
試験管
北氷洋の氷の割れる音

教科書 p54

力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．

「バナナは滑る」Ig Nobel物理学賞

「人々を笑わせ、そして考えさせてくれる研究」に毎年贈賞している，イグ・ノーベル賞の発表と授賞式が行われた．2014年の物理学賞は，北里大学の馬渕清資教授ら4人で，**「人間が床に置かれたバナナの皮を踏んでしまった際の、バナナの皮と靴の間の摩擦、およびバナナの皮と床の間の摩擦の大きさを計測したことに対して」**

馬渕教授は、数十本のバナナを買い込み、むいた皮を測定器の上で踏みつけて、摩擦係数を測定した。その結果、皮の内側を下にして踏みつけると、皮がないときの約６倍も滑りやすくなることが判明した。

皮の内側には、小さな粒状の「小胞ゲル」と呼ばれる物質が無数に集まり、踏みつけるとヌルヌルした粘液が出て摩擦が小さくなるという。バナナの皮の滑りやすさは、リンゴやオレンジの皮より数倍高く、雪の上に乗せたスキー板の滑りやすさに迫るほどだった。バナナは、甘みを増すために品種改良を重ねたことで、粘液成分が多く含まれるという。

馬渕教授は、人の関節が滑らかに動く仕組みなどを研究する「バイオトライボロジー」（生体摩擦学）が専門。研究成果は、人工関節への応用に役立てている。





http://digital.asahi.com/articles/ASG9L2Q33G9LUHBI00S.html
http://ryukyushimpo.jp/news/storyid-231813-storytopic-1.html

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?

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．

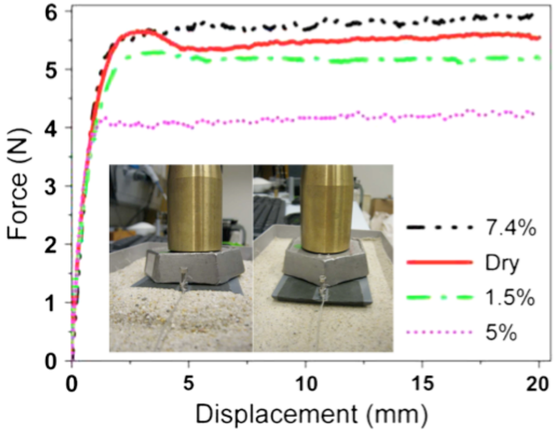


FIG. 2 (color online). Force-displacement curves for wet and dry Iranian sand. Inset: Picture of the setup. The picture on the left was taken while sliding over dry normalized sand. The picture on the right was taken while sliding over normalized sand wetted with 5% water. In the dry sand, a heap clearly 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 μm with sandpaper on its bottom; the results were qualitatively similar but less reproducible with a smooth bottom.

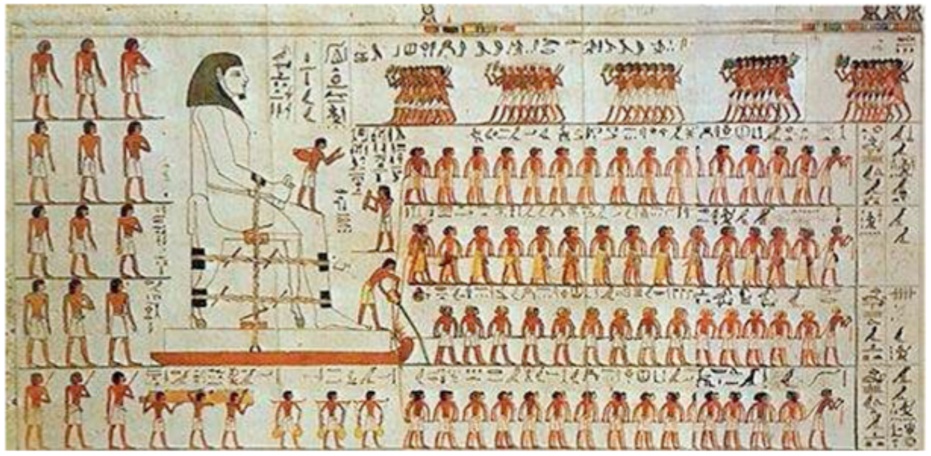


FIG. 1 (color online). Wall painting from 1880 B.C. on the tomb of Djehutihotep [1]. The figure standing at the front of the sled is pouring water onto the sand.

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. Bonn[1]
[1]*Van der Waals-Zeeman Institute, IoP, University of Amsterdam, Science Park 904, 1098XII Amsterdam, Netherlands*
[2]*Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, P.O. Box 45195-1159 Zanjan, Iran*
[3]*Material Imaging, UR Navier, 77420 Champs-sur-Marne, France*
[4]*Experimental Physics, Saarland University, D-66123 Saarbrücken, Germany*
[5]*Gravitation 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。



http://www.nhk.or.jp/school/keyword/?kw=大科学実験　(1:50)

【実験ですよ】

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。



http://www.nhk.or.jp/school/keyword/?kw=大科学実験　(3:10)

10月第2週は，ノーベル賞ウィーク



5日（月）Physiology or Medicine
6日（火）Physics
7日（水）Chemistry
8日（木）Literature
9日（金）Peace
12日（月）Economic science

https://www.nobelprize.org

ノーベル賞

Nobel Prize



- 安全に運搬・保管できる爆薬のダイナマイトの発明などで巨万の富を築いたスウェーデンの実業家、アルフレッド・ノーベルの遺産を基に、1901年に創設された賞
- 創設当初は物理学、化学、生理学・医学、文学、平和の5賞、69年に経済学が加わり6賞となった.

- ノーベル賞を運営するのはスウェーデンのストックホルムに本部がある「ノーベル財団」
- ノーベル財団は基金を株式や国債、不動産などで運用し、賞金や運営費用を確保することが主な役割で、賞の選考には関わらない. 経済学賞の賞金だけはスウェーデン国立銀行が用意する.

賞	選考組織
物理学賞	スウェーデン王立科学アカデミー
化学賞	スウェーデン王立科学アカデミー
生理学・医学賞	カロリンスカ研究所
文学賞	スウェーデンアカデミー
平和賞	ノルウェー・ノーベル委員会
経済学賞	スウェーデン王立科学アカデミー

- 授賞式はノーベルの命日である12月10日に、平和賞以外の5賞はスウェーデンのストックホルムで、平和賞はノルウェーのオスロで開かれる. 賞金額は2001～11年まで1000万スウェーデン・クローナ（現行レートで約1億4000万円）だったが、運用益の減少などを理由に12年からは800万クローナ（同約1億1000万円）に減額された。

ノーベル賞の選考過程

Nobel Laureates: Japanese Laureates



https://www.nikkei4946.com/

賞	選考組織
物理学賞	スウェーデン王立科学アカデミー
化学賞	スウェーデン王立科学アカデミー
生理学・医学賞	カロリンスカ研究所
文学賞	スウェーデンアカデミー
平和賞	ノルウェー・ノーベル委員会
経済学賞	スウェーデン王立科学アカデミー

- 受賞者の選考過程は受賞の50年後まで明かされない.
- 専門家が「推薦された研究者が本当に最初に手掛けたものか」「同様の成果を挙げた研究者が他にいないか」などを調査し、候補者を絞り込む. 特に自然科学3賞は「最初」にこだわる.

最近のノーベル物理学賞　受賞者

Nobel Laureates in Physics

年度	受賞者	分野	顕彰タイトル
2025	John Clarke, Michel H. Devoret John M. Martinis	量子実験	電気回路における巨視的量子力学的トンネル効果およびエネルギーの量子化の発見に対して
2024	John J. Hopfield Geoffrey E. Hinton	情報工学	人工ニューラルネットワークによって機械学習を可能にする基礎の発見と改良
2023	Pierre Agostini, Ferenc Krausz Anne L’ Huillier	量子光学	物質中の電子の動きを研究するためのアト秒光パルスを発生させる実験方法の確立
2022	Alain Aspect, John F. Clauser Anton Zeilinger	量子実験	量子もつれの光子の実験, ベルの不等式の破れの実証と量子情報科学の創設
2021	眞鍋淑郎, Klaus Hasselmann Giorgio Parisi	複雑系	「地球気候の物理モデル化, 地球温暖化の確たる予言と量的変動への貢献(真鍋, Hasselmann)」 「原子から惑星スケールに及ぶ無秩序と擾乱の相互作用の発見 (Parisi)」
2020	Roger Penrose, Reinhard Genzel Andrea Ghez	宇宙物理	「ブラックホール形成が一般相対性理論の枠組みでごく自然な帰結となることの発見(Penrose)」 「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(Genzel, Ghez)」
2019	James Peebles, Michel Mayor Didier Queloz	宇宙物理	「物理的宇宙モデルにおける理論的な発見(Peebles)」 「太陽系外惑星の発見 (Mayor, Queloz)」
2018	Arthur Ashkin, Gerard Mourou Donna Strickland	物性物理	レーザー物理学の分野における革命的な発明
2017	Rainer Weiss, Barry C. Barish Kip S. Thorne	宇宙物理	LIGO検出器と重力波観測への決定的な貢献
2016	David Thouless, Duncan Haldane Michael Kosterlitz	物性物理	物質のトポロジカル相転移とトポロジカル相の理論的な発見
2015	梶田隆章 Arthur B. McDonald	素粒子物理	ニュートリノが質量を持つことを示すニュートリノ振動の発見
2014	赤崎勇, 天野浩, 中村修二	物性物理	高輝度でエネルギー効率のよい白色光を実現する青色発光ダイオードの開発

ノーベル物理学賞受賞者 2023年

Nobel Laureates in Physics 2023

http://www.nobelprize.org/

“物質中の電子の動きを研究するためのアト秒光パルスを発生させる実験方法の確立”



Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach

Pierre Agostini

Prize share: 1/3



Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach

Ferenc Krausz

Prize share: 1/3



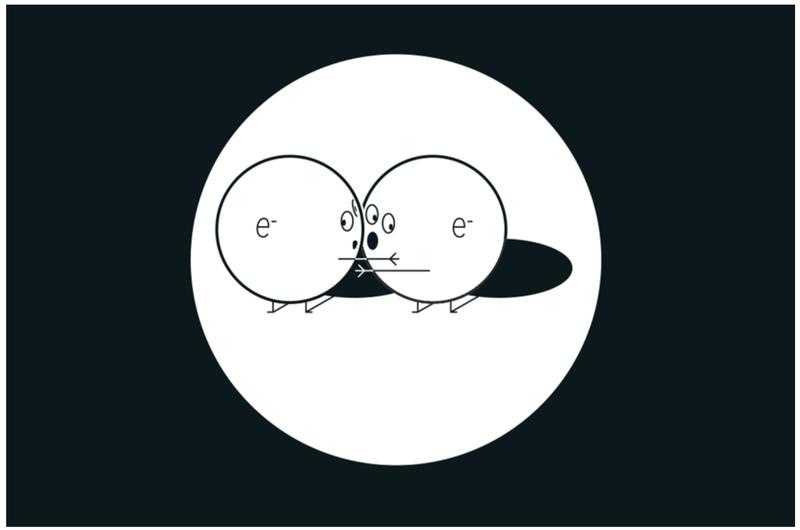
Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach

Anne L’Huillier

Prize share: 1/3

ピエール・アゴスティーニ (82)　米オハイオ州立大
フェレンツ・クラウス (61)　独ミュンヘン大
アンヌ・リュイリエ (65)　　スウェーデン・ルンド大

The Nobel Prize in Physics 2023 was awarded jointly to Pierre Agostini, Ferenc Krausz and Anne L’Huillier **"for experimental methods that generate attosecond pulses of light for the study of electron dynamics in matter"**



© Johan Jarnestad/The Royal Swedish Academy of Sciences

10進数　大きさを表す接頭語

表 1.3　大きさを表す接頭語

大きさ		接頭語		記号		
10^{24}	1,000,000,000,000,000,000,000,000	ヨッタ	yotta	Y		
10^{21}	1,000,000,000,000,000,000,000	ゼッタ	zetta	Z		
10^{18}	1,000,000,000,000,000,000	エクサ	exa	E		100 京
10^{15}	1,000,000,000,000,000	ペタ	peta	P		1000 兆
10^{12}	1,000,000,000,000	テラ	tera	T	Trillion	1 兆
10^{9}	1,000,000,000	ギガ	giga	G	Billion	10 億
10^{6}	1,000,000	メガ	mega	M	Million	100 万
10^{3}	1,000	キロ	kilo	k	Thousand	千
10^{2}	100	ヘクト	hecto	h	Hundred	百
10	10	デカ	deca	da	Ten	十
1	1				One	一
10^{-1}	0.1	デシ	deci	d	Tenth	
10^{-2}	0.01	センチ	centi	c	Hundredth	
10^{-3}	0.001	ミリ	milli	m	Thousandth	
10^{-6}	0.000001	マイクロ	micro	μ	Millionth	
10^{-9}	0.000000001	ナノ	nano	n	Billionth	
10^{-12}	0.000000000001	ピコ	pico	p	Trillionth	
10^{-15}	0.000000000000001	フェムト	femto	f		1000兆分の1
10^{-18}	0.000000000000000001	アト	atto	a		100京分の1
10^{-21}	0.000000000000000000001	ゼプト	zepto	z		
10^{-24}	0.000000000000000000000001	ヨクト	yocto	y		

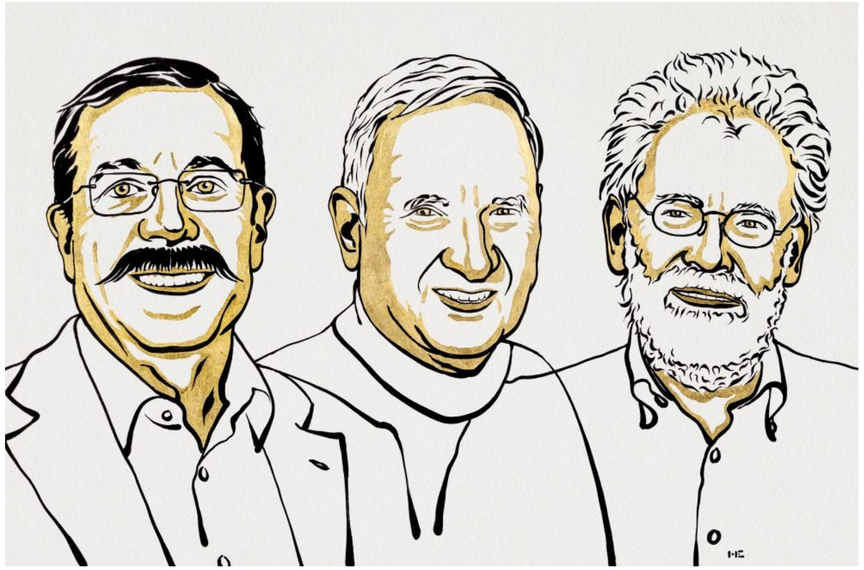
ノーベル物理学賞受賞者 2022年

Nobel Laureates in Physics 2022

http://www.nobelprize.org/

“量子もつれの実験，Bell不等式の破れの確認による量子情報科学の創始”

量子もつれ（エンタングルメント, entanglement）



Alain Aspect
Université Paris-Saclay and
École Polytechnique, Palaiseau, France

John F. Clauser
J.F. Clauser & Assoc.,
Walnut Creek, CA, USA

Anton Zeilinger
University of Vienna, Austria

アラン・アスペ（75）仏パリ・サクレー大
ジョン・クラウザー（79）米　クラウザーアソシエイツ社
アントン・ツァイリンガー（77）　オーストリア・ウィーン大

The Nobel Prize in Physics 2022 was awarded to Alain Aspect, John F. Clauser and Anton Zeilinger “**for experiments with entangled photons, establishing the violation of Bell inequalities and pioneering quantum information science**”.

Their results have cleared the way for new technology based upon quantum information.

ノーベル物理学賞受賞者 2021年

Nobel Laureates in Physics 2021

http://www.nobelprize.org/

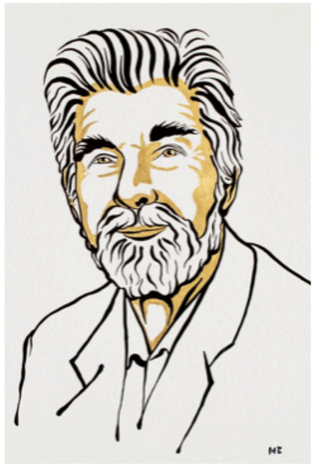
“複雑系システムの理解へのブレークスルー”



Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach

Syukuro Manabe

Prize share: 1/4



Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach

Klaus Hasselmann

Prize share: 1/4



Ill. Niklas Elmehed © Nobel Prize Outreach

Giorgio Parisi

Prize share: 1/2

This year’s Nobel Prize in Physics is awarded with one half jointly to Syukuro Manabe, Klaus Hasselmann and the other half to Giorgio Parisi. They have laid the foundation of our knowledge of the Earth’s climate and how humanity influences it, as well as revolutionized the theory of disordered materials and random processes.

真鍋淑郎（90）米プリンストン大

クラウス・ハッセルマン（90）独マックスプランク研究所

「地球の気候変動の物理的なモデル化，変動の見積もり，地球温暖化の確たる予言に対して」

Prize motivation: "for the physical modelling of Earth's climate, quantifying variability and reliably predicting global warming.”

ジョージオ・パリージ（73）　伊ローマ・サピエンザ大学

「原子から惑星スケールにおよぶ物理系における非秩序と揺らぎの関係を発見したことに対して」

Prize motivation: "for the discovery of the interplay of disorder and fluctuations in physical systems from atomic to planetary scales."

ノーベル物理学賞受賞者 2020年

Nobel Laureates in Physics 2020

http://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".



ノーベル物理学賞受賞者 2020年

Nobel Laureates in Physics　2020

論座 RONZA

19450 本の記事が読み

論座とは？ | よくある質問 | お問い合わ

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

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

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。

ノーベル物理学賞受賞者 2020年

Nobel Laureates in Physics　2020

科学・環境

無料

「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 | list | おすすめ 28 | シェア | B! 0 | noteで書く | コメント 0件 | 印刷



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。

物理学賞は、ここのところ、宇宙・素粒子分野と物性物理分野が毎年交互に選ばれてきた。昨年は宇宙分野だったため、私は（他の多くの方と同じように）今年は宇宙以外の分野を想定していた。個人的には光格子時計に期待していて、学生にもその説明を発表の前週にしていたところだ。発表中継をインターネットで見ていて、まず、分野が宇宙だと知って驚き、さらに純粋な理論研究者であるペンローズが受賞したとわかり、想定外の嬉しさを隠せない。ここでは、ペンローズの業績を中心に紹介しながら、ブラックホール研究の歴史を振り返ってみたい。

ブラックホールにアインシュタインは拒絶反応を示していた

質量の大きな星が燃え尽きると、最終的には中性子の塊（中性子星）か、ブラックホールになると考えられている。ブラックホールとは、重力が強すぎて、光でさえも抜け出せない領域のことである。昨年4月には、イベント・ホライズン・テレスコープ（EHT）のチームが、M87銀河の中心にある「黒い穴」の撮影に成功したことを発表し、話題となった。



日米欧の研究チームが2019年4月に発表した、M87銀河のブラックホールの画像。黒い穴の部分がブラックホール＝©EHT collaboration

強い重力場のふるまいを描くのは、アインシュタインの一般相対性理論である。この理論は、重力の正体を「空間のゆがみ」で説明し、時間も空間も絶対的なものではなく、伸びたり縮んだりすることを結論する。理論的な整合性を突き詰めて得られた「アインシュタイン方程式」から導かれることになるのは、ブラックホール・膨張宇宙・重力波の存在といった現象である。しかし、アインシュタイン自身がこの3つのいずれにも当初拒絶反応を示したことは面白い。

一般相対性理論が発表された直後にシュヴァルツシルトがアインシュタイン方程式を解き、解を見つけたが、その中には無限大となってしまう奇妙な空間の点（時空特異点と座標特異点）が含まれていた。アインシュタインはその理解に苦しみ、この解は簡略化された仮定のもとに得られたものであったため、「実際にはあり得ない話」と解釈したようである。ブラックホールという言葉が生まれたのは、アインシュタインの没後である。

相対論研究でもっとも貢献したペンローズ



オックスフォード大学のR・ペンローズ教授＝1995年10月6日、オックスフォード大の研究室、尾関章撮影

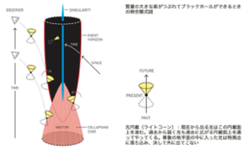
アインシュタイン以降、相対性理論の研究でもっとも貢献した3名を挙げよ、という問いかけがあったとしよう。相対性理論の研究者なら、答えは「ペンローズ、ペンローズ、ペンローズ」となる。これは研究者間でウケる冗談だが、ある意味本当だ。

一般相対性理論は、時空を対象とする物理であって、身の回りの現象とはかけ離れた理論であり、1950年代の終わりまでは研究者からも避けられていた。60年代になって、正体不明のクエーサーという天体の存在が報告され、一方で回転している時空でのブラックホール解が発見され、研究が一気に花開くことになる。この「ルネッサンス期」を牽引したのがペンローズである。

ブラックホールの解には、時空特異点が存在している。特異点（無限大の発散点）が物理的な現象を扱う微分方程式の解に生じるのは不思議である。現実世界には無限大は存在しないからだ。当時多くの研究者は、原因は解を導く時に課した時空の対称性にあると考えていた。ところが、ペンローズは「重力崩壊の状況では時空特異点の発生が避けられない」ことを時空の対称性を課さずに数学的に証明する。1965年に発表した「特異点定理」である。

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

ペンローズは、重力崩壊する星から外側に広がっていこうとする光の経路を考えた。重力がある程度強くなると、光は無限遠まで到達できずに、ある距離までしか進めなくなるだろう。そしてその内側にある光は再び星に落下せざるをえず、特異点を形成する。ペンローズの用いた「光の捕捉面」というアイデアは、その最大到達する境界が「事象の地平面（イベント・ホライズン）」と呼ばれるようになり、ブラックホール領域を表す境界面として理解されるようになった。このようにして、ペンローズは、ブラックホールはごく自然な帰結として導かれることを示したのである。そして、数年後にはホーキングと共に、膨張宇宙を考えるならば、宇宙初期にも特異点が存在することを定理にした。

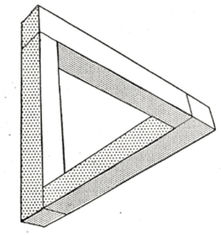


ノーベル財団の発表資料から

ペンローズの受賞理由となったのは特異点定理の業績であるが、この他にもペンローズの名前がつく業績は多々ある。すぐ思いつくだけで、無限遠の領域を含めて時空を扱うために座標変換して得られる「ペンローズ・ダイアグラム」、4次元時空を空間＋時間と分解せずに光の進行方向を基準にして扱う「ニューマン・ペンローズ形式」、回転するブラックホールからエネルギーを取り出す「ペンローズ過程」、彼の名前はついていないものの重要な業績として、ループ量子重力理論に引き継がれた「スピンネットワーク」、そして相対性理論と量子論を統合する可能性をもつ「ツイスター理論」などがある。

エッシャーの作品に取り入れられた不可能立体

時空特異点がブラックホールの内側に隠れていないと因果関係が保証されず大問題だ。そこで、ペンローズはこれを「『裸の特異点』は禁止される」と表現し、「宇宙検閲仮説」と名付けた。裸の出現を検閲する管理官がどこかにいる、というユーモアも含んだ命名である。この仮説が成立するかどうかは、現在の研究テーマの1つとなっている。



不可能立体の一つ「ペンローズの三角形」

実現不可能な立体や、繰り返し図形で知られる画家エッシャーとの関係をご存知の方も多いだろう。ペンローズの考案した不可能立体の三角形や無限に続く階段はエッシャーの作品に取り入れられ、逆にエッシャーの図柄からペンローズは、非周期的に平面を充填するペンローズ・タイルを考案した。

私は20年ほど前に、米国ペンシルベニア州立大学でポスドクとして武者修行をしたが、ペンローズは毎年何カ月か、客員教授として招致され、隣の研究室に滞在していた。小さな子供を肩車して学内を笑顔で歩き回っていた。彼のプレゼンテーションは、決してパソコンを使わず、OHP（オーバーヘッドプロジェクター、手書きの透明シートを投影する装置で20年前までは学会発表の主流だった）を用意するスタイルだった。カラーのペンで、たくさんの絵が描かれているOHPを使った彼の講演は、数年前の国際会議でも同じだったので、おそらく今年のノーベル賞講演でもそうだろう。インターネット中継となるようなので、楽しみだ。

次は→見えないブラックホールがどうして観測でわかるのか

先頭 | 前へ | 1 | 2 | 次へ | 末尾

コメント 利用規約

コメントを入力する(最大500文字)

コメント投稿時には、利用規約を確認・同意したものとみなさせていただきます。

0/500　名前(任意30文字以内)　規約に同意して投稿する

Powered by ユーザーローカルAIコメント

全ジャンルパックなら15897本の記事が読み放題。

全ジャンルパックを購読する

論座ではこんな記事も人気です。もう読みましたか？

- 「オフレコ懇談会」を問い直す～菅首相と官邸記者の「パンケーキ朝食会」を機に
- 「下部構造」がないからアイデアも出ない～2大政党が育たない理由
- 「元・学者」が日本学術会議騒動に抱いた大いなる違和感

関連記事



科学・環境 **見えないはずのブラックホールがなぜ見えた？**
平林久　2019年04月16日



科学・環境 **続々見つかる重力波、高まるKAGRAへの期待**
高橋真理子　2019年05月31日



科学・環境 **スティーブン・ホーキング――上書きモードの達人**
尾関章　2018年03月26日



科学・環境 **重力波天文学が始まった**
須藤靖　2017年10月18日



科学・環境 **重力波の直接観測で宇宙の新しい窓が開いた**
大栗博司　2016年02月12日

筆者



真貝寿明（しんかい・ひさあき）　大阪工業大学教授（相対性理論、宇宙物理学、天文学史）

大阪工業大学情報科学部教授、理化学研究所客員研究員。1966年東京生まれ。早稲田大学大学院博士課程修了。主な研究分野は一般相対性理論と天文学史。著書に『ブラックホール・膨張宇宙・重力波』（光文社新書）、『現代物理学が描く宇宙論』『徹底攻略確率統計』（共立出版）、『日常の「なぜ」に答える物理学』（森北出版）など。

購読のご案内 | ログイン | 朝日新聞 DIGITAL

論座 RONZA

15897 本の記事が読み放題 | 文字サイズ 小 中 大 | マイコンテンツ

論座とは？ | よくある質問 | お問い合わせ | 検索

政治・国際 | 経済・雇用 | 社会・スポーツ | 科学・環境 | 文化・エンタメ | Journalism | 特集

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 | 地震・災害 | 脳・認知科学 | 情報

いいね！ 7,653 | フォローする

科学・環境

無料

「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 | list | おすすめ 31 | シェア | B! 0 | noteで書く | コメント 0件 | 印刷

天の川銀河中心の継続観測でわかったこと

同じく受賞となったゲンツェルとゲズは、私たちのいる銀河（天の川銀河）の中心に、超大質量なブラックホールがあることを突き止めた天文観測の人である。



ラインハルト・ゲンツェル氏＝ノーベル財団の公式ツイッターから

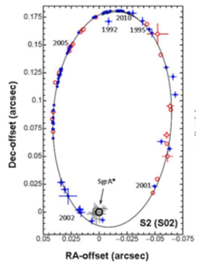


アンドレア・ゲズ氏＝ノーベル財団の公式ツイッターから

銀河の中心は我々から見て、いて座の方向にある。ゲンツェル率いるドイツのグループはチリにある南天天文台(ESO)を用いて、そしてゲズ率いるアメリカのグループはハワイにあるケック望遠鏡を用いて、すでに30年近く、天の川銀河の中心を継続的に観測している。どちらも、補償光学という技術を導入した。これは、地上からレーザー光を望遠鏡の視野に放ち、人工的な星をつくって大気の揺らぎを計測し、それを差し引くことで遠い天体のデータを修正する技術である。

このようにして得られた星の軌道は実に説得力があるものだった。例えばゲンツェルらがS2と名付けた（ゲズらはS02と名付けた）星は、16年の周期で楕円運動をしている（図参照）。この事実は、楕円の焦点に巨大な重力源が存在していることを示していて、この場所こそが、電波天文学者らによって命名されていた天の川銀河の中心（いて座Aスター、Sgr A*）だということがわかる。

天の川銀河の中心の位置は、その他の星の運動からも推測され、矛盾なく定まるようになった。何も見えないその場所に太陽質量の400万倍の質量があると考えられることから、超大質量ブラックホールが存在している、と結論された。



S2(S02)と名付けられた星は16年の周期で楕円運動をしている。焦点に相当する部分が天の川銀河の中心で、その質量が太陽質量の400万倍であることが見積もられた＝ノーベル財団による贈賞理由説明資料から。ゲンツェルらの2000年の論文を加工したもの

重力波で格段に進むであろうブラックホール研究

宇宙には星の数ほどの星があり、銀河の数ほどの銀河がある。そして、ほとんどすべての銀河の中心には超大質量ブラックホールがあると考えられている。昨年、ブラックホールの直接撮像に成功したEHTプロジェクトは、次に天の川銀河中心の撮像を計画しているそうである。ブラックホールがダイナミックに姿を表す動画が見られることを期待したい。

超大質量ブラックホールの成り立ちはまだ解明されていない。宇宙の初期にガスがつぶれて、はじめから巨大ブラックホールができたとする説がある。一方で、小さいブラックホールが合体を繰り返して成長していくとする説がある。最近は、どの銀河も中心ブラックホールとともに成長していく「共進化」と呼ばれる考えも出ており、今後さまざまな観測データと共に銀河形成のシナリオも更新されていくことになる。

ブラックホール研究に大きな力を発揮するのが重力波である。2015年9月には、欧米の重力波観測チームが、ブラックホールの合体による重力波を初めて直接観測した。先月には、太陽質量の150倍と見られるブラックホールの痕跡の発見を報告して注目を集めている。

重力波の観測は、これからも新しい情報を次々ともたらしていくだろう。筆者が関わっている日本の重力波観測装置KAGRA（かぐら）も、米欧との共同観測体制を整えて本年はじめに稼働したが、残念ながら新型コロナの影響で米欧の観測装置が先に止まり、共同観測が中断した。2022年に再開する次期共同観測での成果にご期待いただきたい。

よく指摘されることだが、ノーベル賞で顕彰されるのは、成果が定まった過去の仕事である。とくに理論的な仕事が評価されるまでには10年、20年と時間がかかる。今回のペンローズの業績は55年前の研究である。ノーベル賞を獲ることは科学研究の目的ではないし、国別のノーベル賞受賞者数で一喜一憂するのもおかしな話だと思う。しかし、試行錯誤を繰り返しながら、独創的なアイデアで進める科学研究を、どれだけ各国が応援していく体制になっているのかを示す指標にはなっているはずだ。

先頭 | 前へ | 1 | 2 | 次へ | 末尾

次の記事

コメント 利用規約

コメントを入力する(最大500文字)

コメント投稿時には、利用規約を確認・同意したものとみなさせていただきます。

0/500 | 名前(任意30文字以内) | 規約に同意して投稿する

Powered by ユーザーローカルAIコメント

全ジャンルパックなら15897本の記事が読み放題。

全ジャンルパックを購読する

論座ではこんな記事も人気です。もう読みましたか？

- 「オフレコ懇談会」を問い直す～菅首相と官邸記者の「パンケーキ朝食会」を機に
- 「下部構造」がないからアイデアも出ない～2大政党が育たない理由
- 「元・学者」が日本学術会議騒動に抱いた大いなる違和感

関連記事


科学・環境 見えないはずのブラックホールがなぜ見えた？
平林久　2019年04月16日


科学・環境 続々見つかる重力波、高まるKAGRAへの期待
高橋真理子　2019年05月31日


科学・環境 スティーブン・ホーキング――上書きモードの達人
尾関章　2018年03月26日


科学・環境 重力波天文学が始まった
須藤靖　2017年10月18日


科学・環境 重力波の直接観測で宇宙の新しい窓が開いた
大栗博司　2016年02月12日

筆者



真貝寿明（しんかい・ひさあき）　大阪工業大学教授（相対性理論、宇宙物理学、天文学史）

大阪工業大学情報科学部教授、理化学研究所客員研究員。1966年東京生まれ。早稲田大学大学院博士課程修了。主な研究分野は一般相対性理論と天文学史。著書に『ブラックホール・膨張宇宙・重力波』（光文社新書）、『現代物理学が描く宇宙論』『徹底攻略確率統計』（共立出版）、『日常の「なぜ」に答える物理学』（森北出版）など。

真貝寿明の記事

本日のミニッツペーパー記入項目

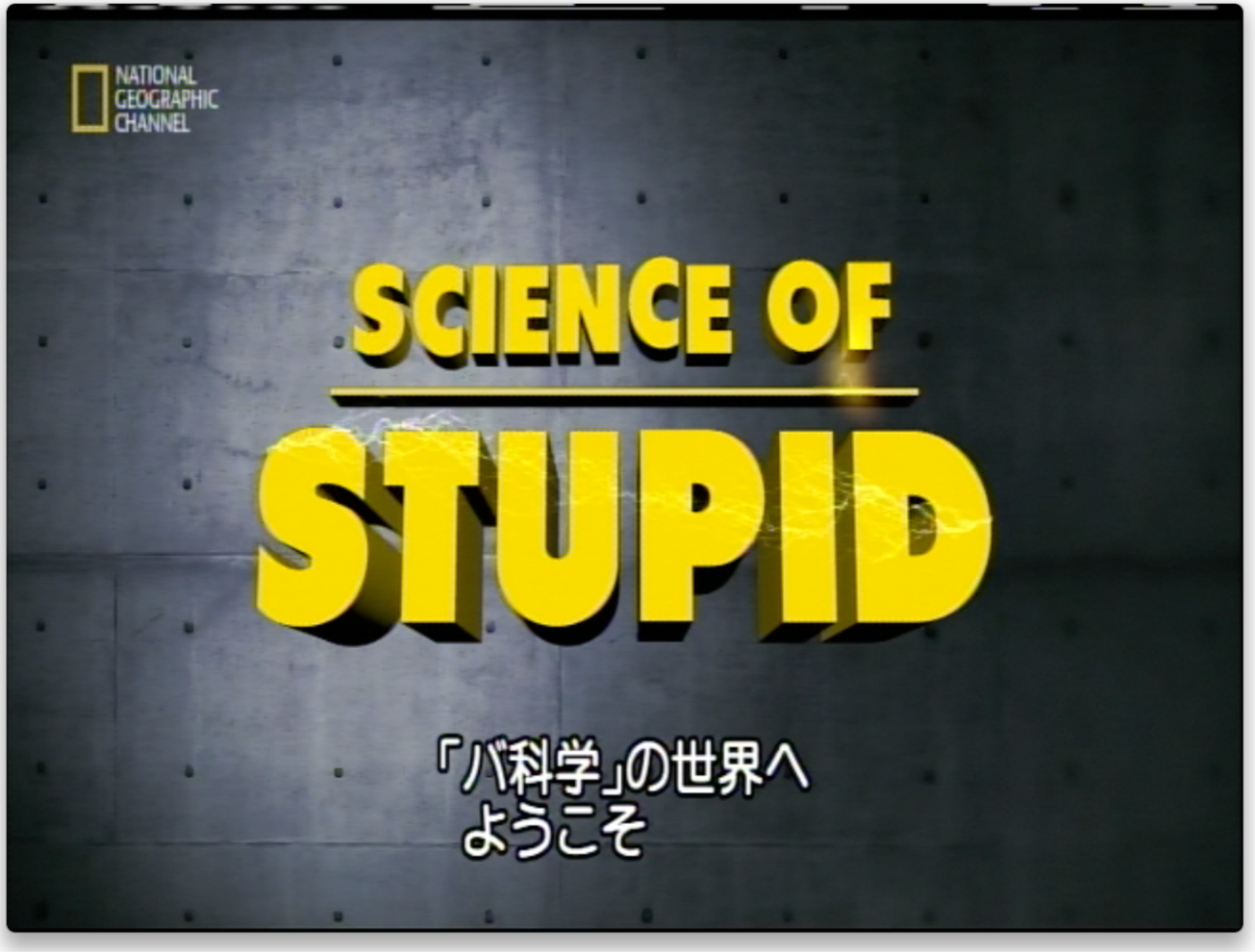
出席票を兼ねます.

〔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〕(次回講義のアンケート)
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)



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