

# 生活の中の物理学

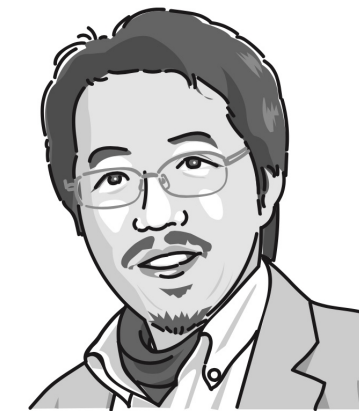
## Physics in Everyday Phenomena

第4回 2025/10/13

### 第2章 力学ー保存則という考え方

真貝 寿明

Hisaaki Shinkai



真貝の武庫川講義ページtop



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

レポート課題締め切り10月31日 詳細は前回プリント配布



## 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（金） 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。）



## “電気回路における巨視的な量子力学的トンネル効果とエネルギー量子化の発見”

The Royal Swedish Academy of Sciences has decided to award the Nobel Prize in Physics 2024 to

John Clarke (U. California, USA)

Michel H. Devoret (Yale U. & U. California, USA)

John M. Martinis (U. California, USA)

**“for the discovery of macroscopic quantum mechanical tunnelling and energy quantisation in an electric circuit”**



NOBELPRISET I FYSIK 2025  
THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2025

KUNGL. VETENSKAPS-  
AKADEMIEN  
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

Photo: University of California  
**John Clarke**  
University of California,  
USA

Photo: Yale University  
**Michel H. Devoret**  
Yale University &  
University of California, USA

Photo: Rocco Ceselin, Nature  
**John M. Martinis**  
University of California,  
USA

*“för upptäckten av makroskopisk kvantmekanisk tunnling och energikvantisering i en elektrisk krets”*  
*“for the discovery of macroscopic quantum mechanical tunnelling and energy quantisation in an electric circuit”*

#NobelPrize

THE NOBEL PRIZE

ジョン・クラーク 米カリフォルニア大

ミシェル・デボレ 米イェール大, カリフォルニア大

ジョン・マルティニス 米カリフォルニア大



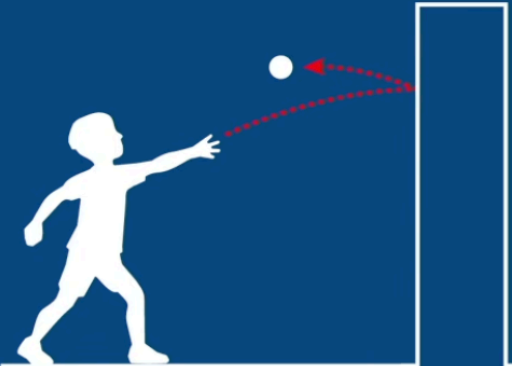
“電気回路における巨視的な量子力学的トンネル効果とエネルギー量子化の発見”



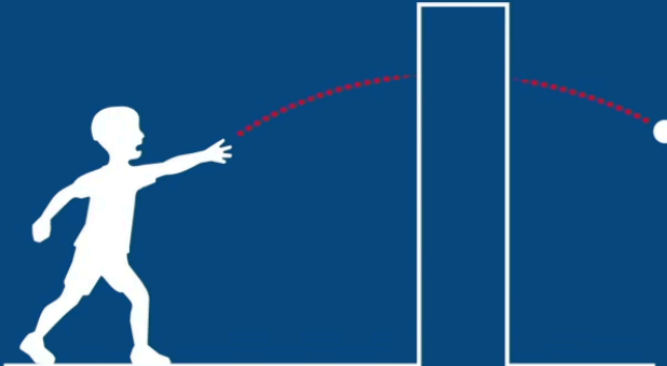
NOBELPRISET I FYSIK 2025  
THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2025



KUNGL.  
VETENSKAPS  
AKADEMIEN  
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES



Classical physics



Quantum tunnelling

#NobelPrize

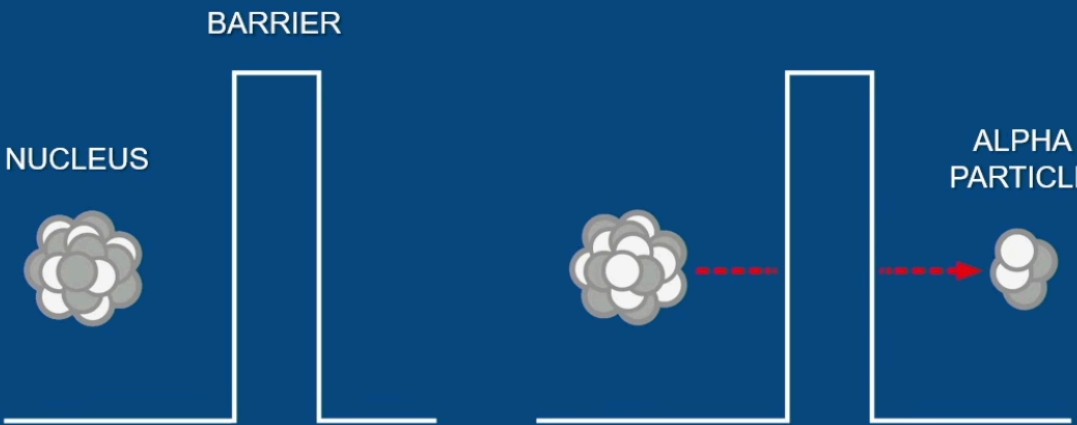
THE NOBEL PRIZE



NOBELPRISET I FYSIK 2025  
THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2025



KUNGL.  
VETENSKAPS  
AKADEMIEN  
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES



Radioactive decay

#NobelPrize

THE NOBEL PRIZE





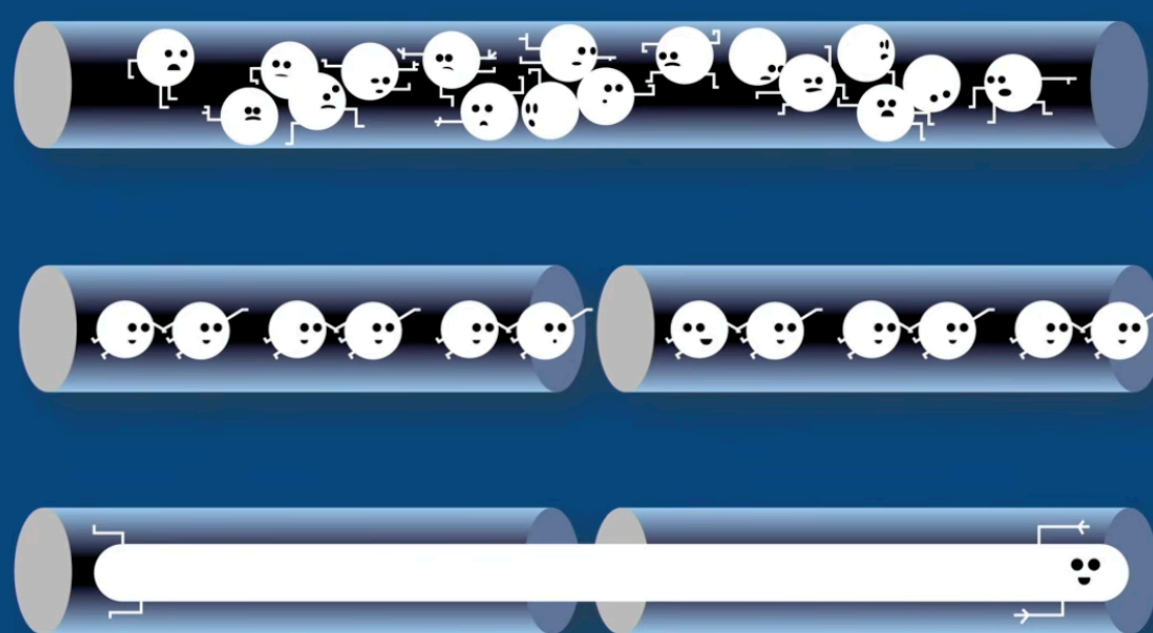
“電気回路における巨視的な量子力学的トンネル効果とエネルギー量子化の発見”



NOBELPRISET I FYSIK 2025  
THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2025



KUNGL.  
VETENSKAPS-  
AKADEMIEN  
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES



Josephson junction

#NobelPrize

THE NOBEL PRIZE

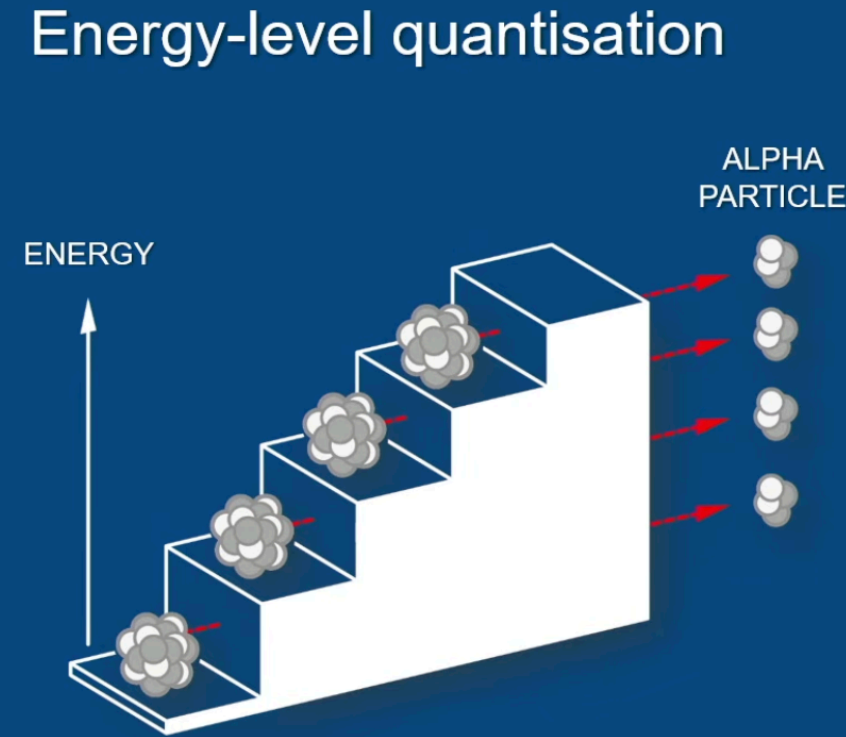


NOBELPRISET I FYSIK 2025  
THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2025

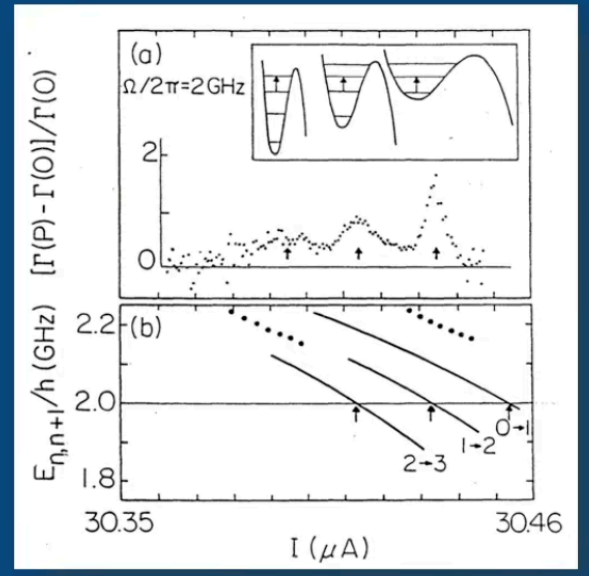


KUNGL.  
VETENSKAPS-  
AKADEMIEN  
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES

Energy-level quantisation



ALPHA PARTICLE



Martinis, Devoret, Clarke  
*Physical Review Letter* 1985

#NobelPrize

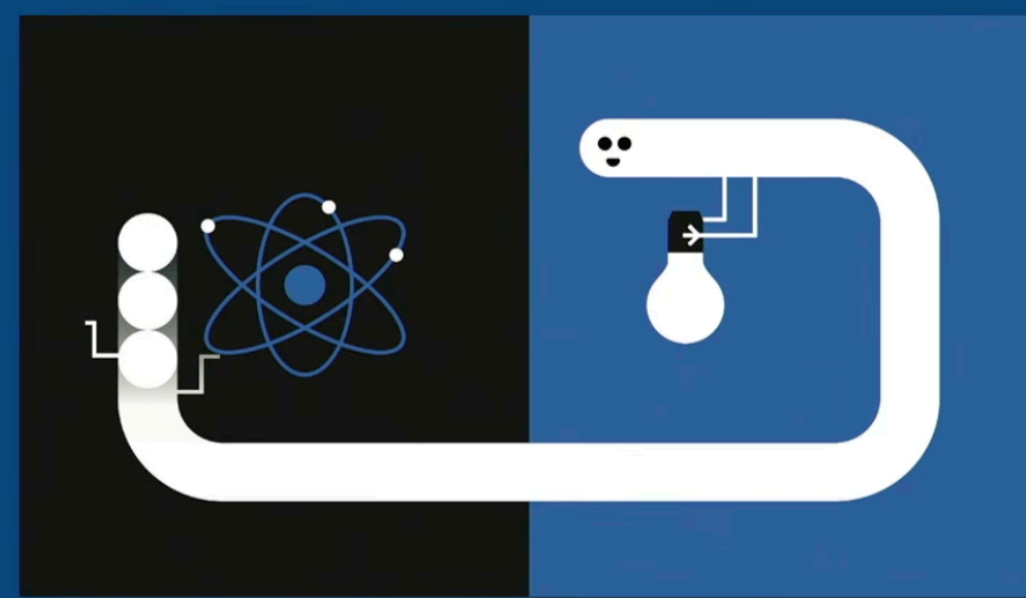
THE NOBEL PRIZE



NOBELPRISET I FYSIK 2025  
THE NOBEL PRIZE IN PHYSICS 2025



KUNGL.  
VETENSKAPS-  
AKADEMIEN  
THE ROYAL SWEDISH ACADEMY OF SCIENCES



- Quantum physics on a chip
- Engineerable artificial atoms
- Probe quantum properties of mechanical oscillators
- One of the platforms for quantum computers



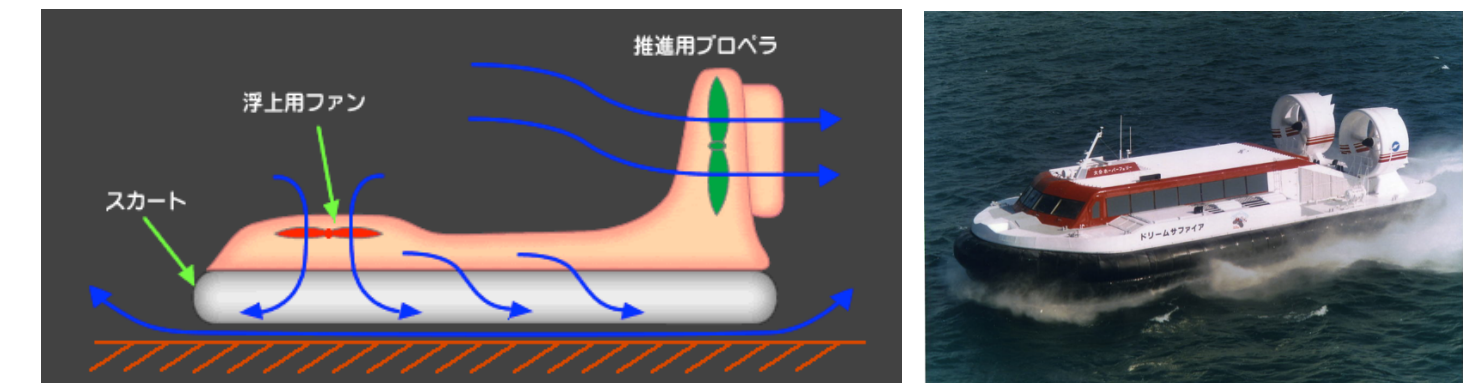
# 本日のミニッツーパーパー記入項目

2. 力学 》 2.3 運動の法則

CDホバークラフトで実験しよう

今日もおもしろかった。

風船の実験で、机の端と反対方向に進んだのですが、たまにまじコンの風船そうだったんですか、それとも何か理めりますか？



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

中秋の名月があるように、  
秋の月はきれいに見えるのはなぜですか？

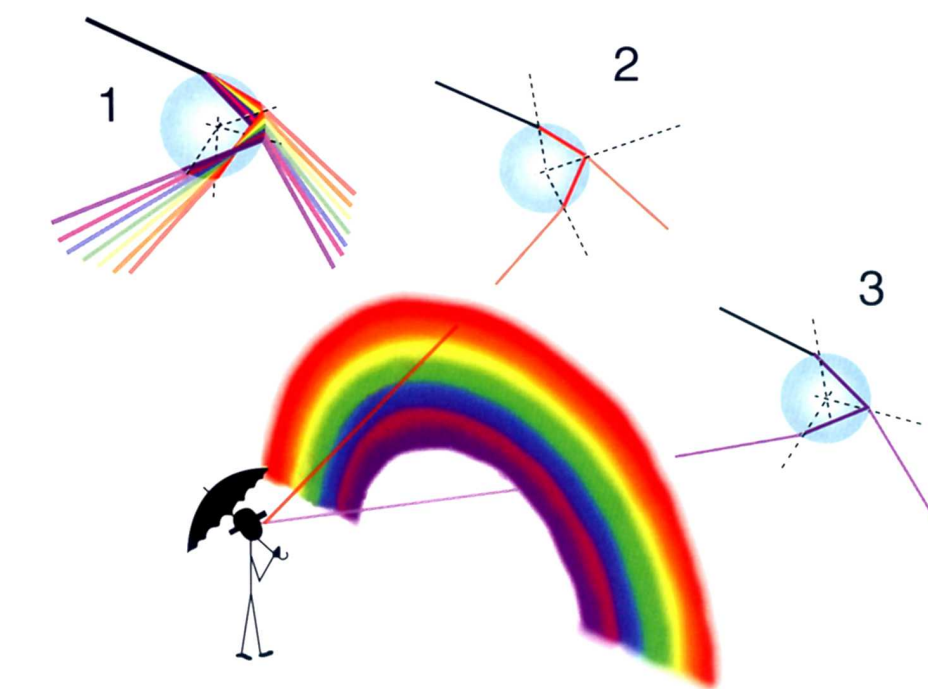
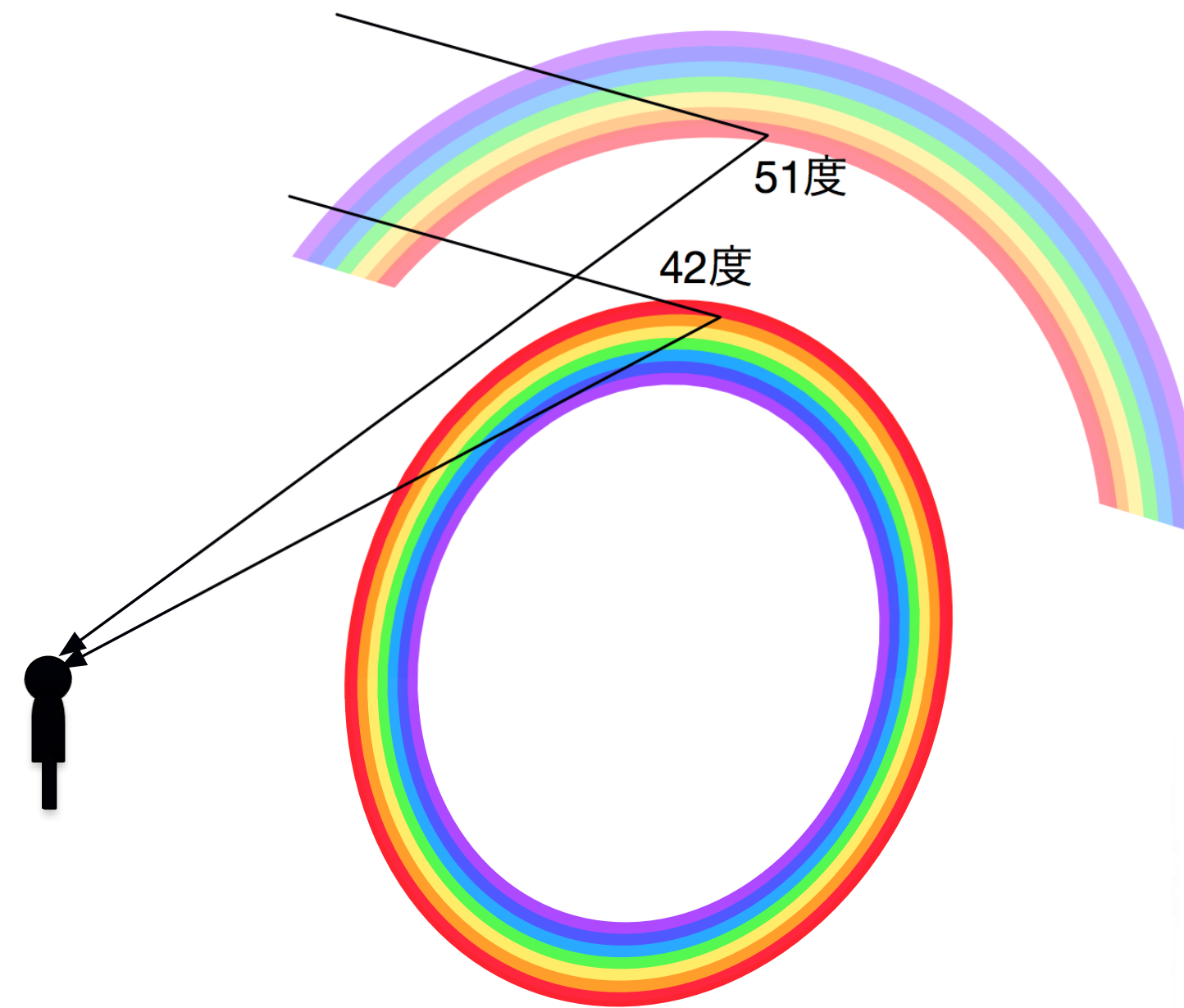
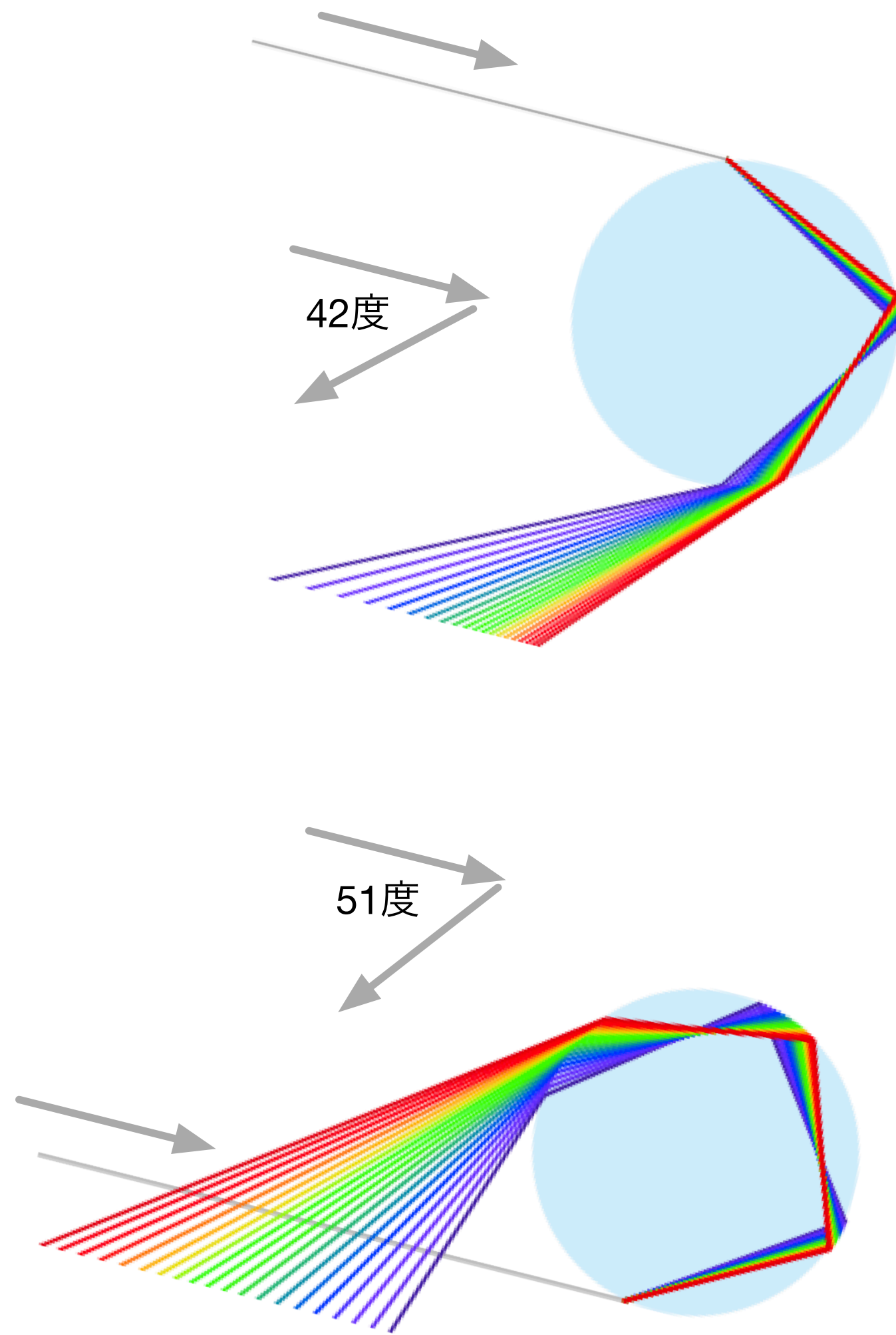
秋は空気が乾燥しているから、星や月がくっきり見える。



# 虹のしくみ

虹はどこまで遠くから見えますか。

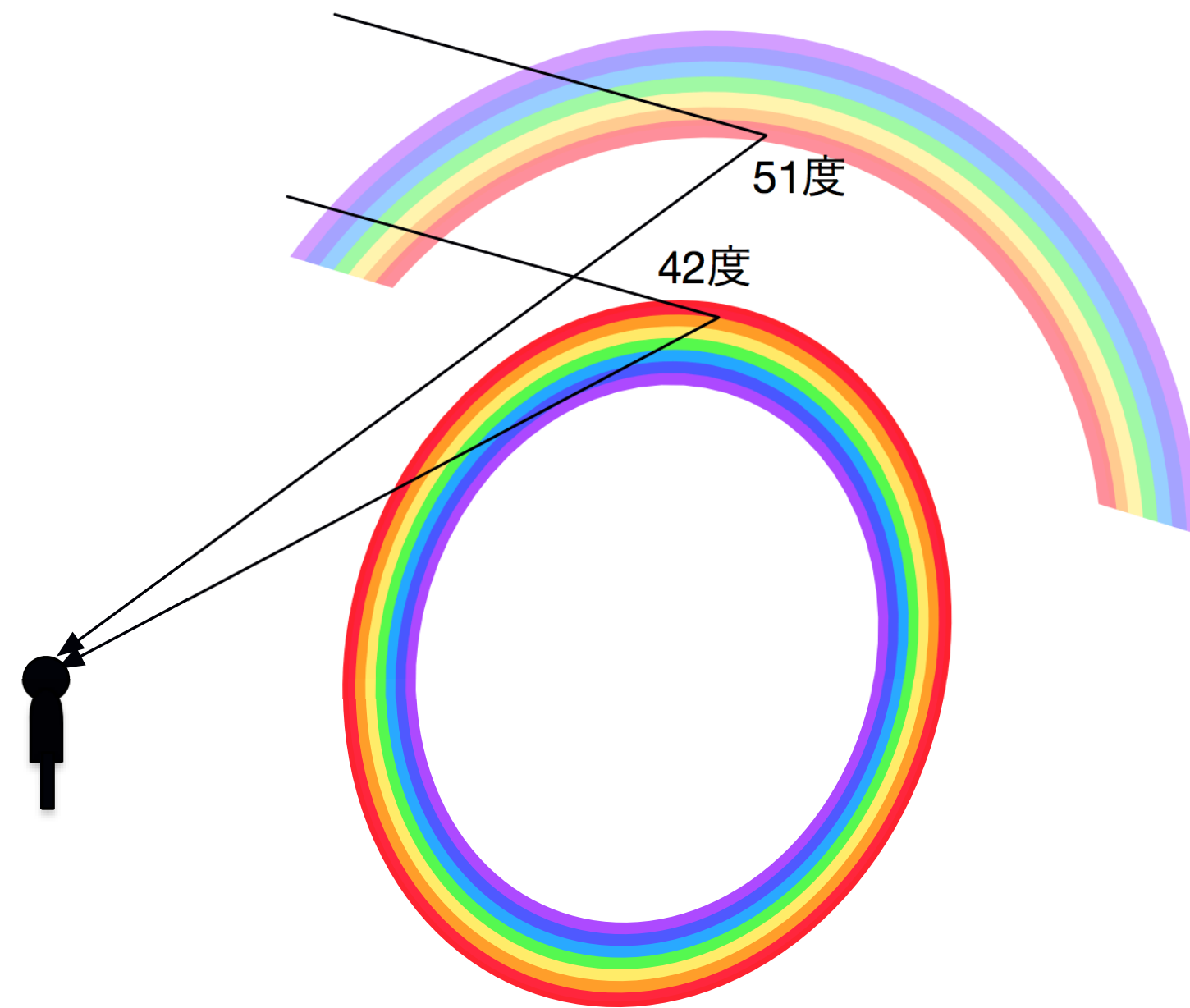
虹は上空近くの水滴を見ているだけ



**FIGURE 2.19** ► How the rainbow forms. Each water droplet, schematically represented by a sphere, is penetrated by white light, which is dispersed, then partly refracted outside the droplet, partly internally reflected.



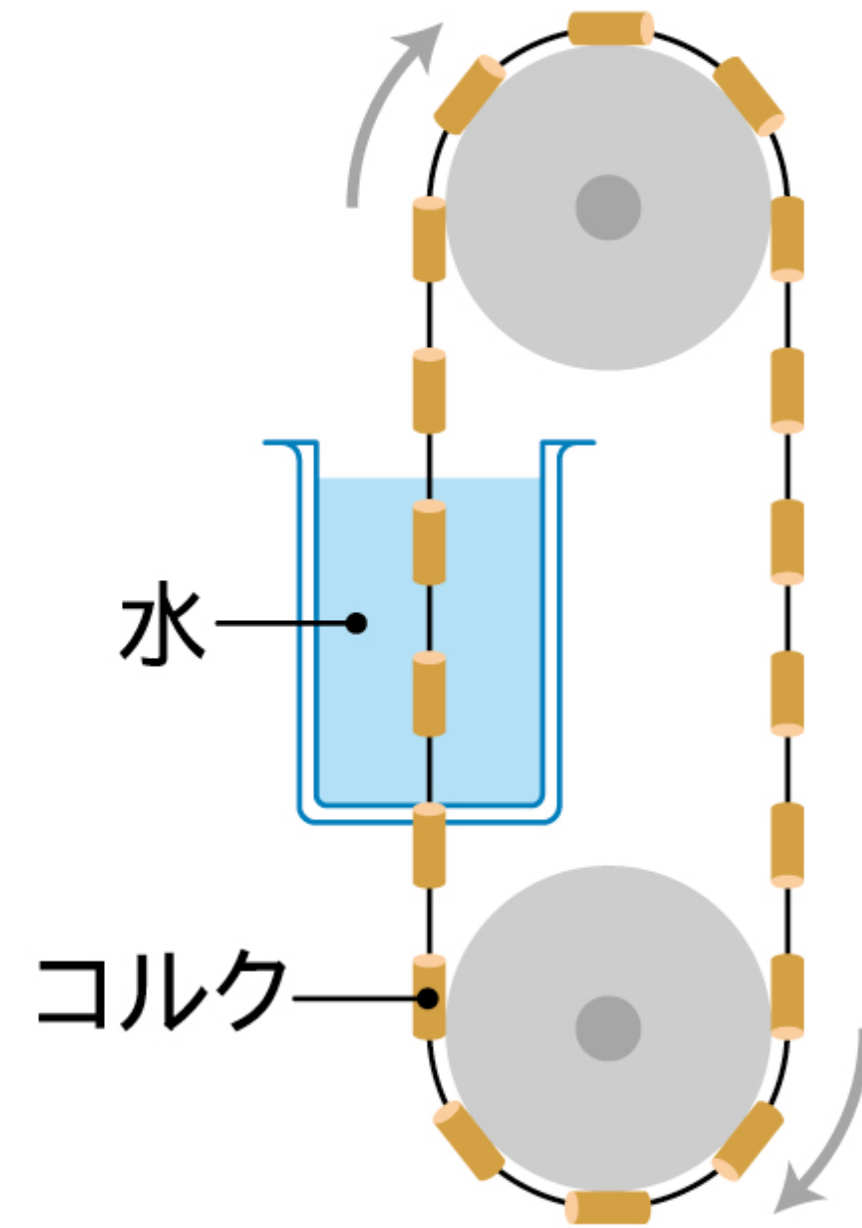
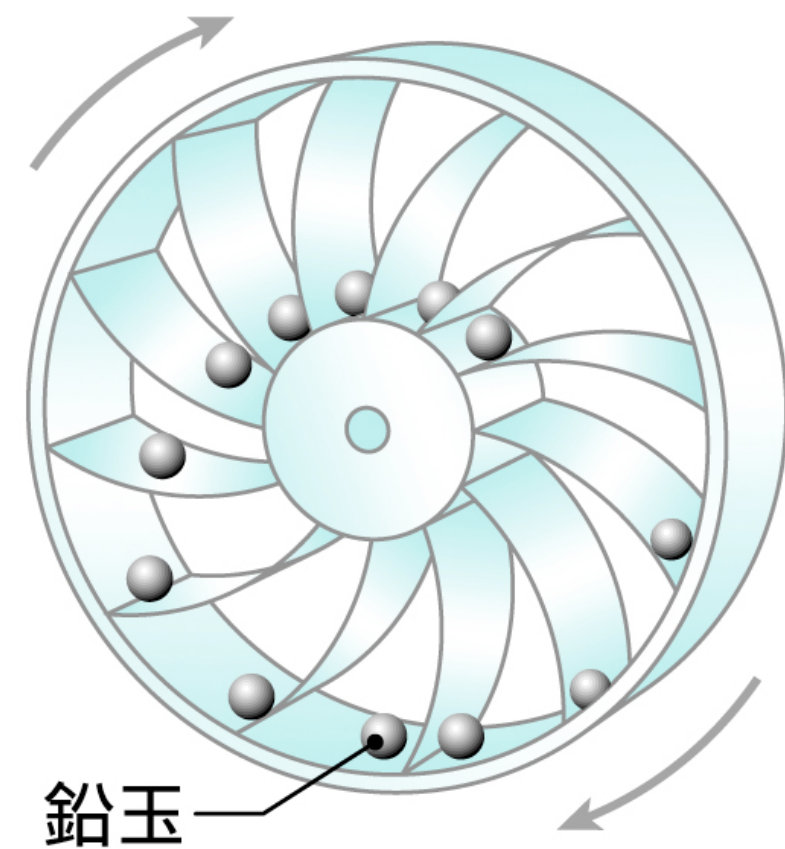
# ブロッキン現象 (Brocken spectre/Solar Glory)





# 本日のミニツツパー記入項目

永久機関は実現不可能といわれるが、逆にどこを補うことができれば可能になるのでしょうか。



スライディングは摩擦ががががっているからせ"速い"から!

公開日：2018/09/12(水)

## 野球で有利なのはどっち？ 「ヘッドスライディング」 vs 「駆け抜け」

深世古峻一 (2018年5月8日付 東京新聞朝刊)



永久機関, 不老不死, 錬金術... 不可能  
必ず摩擦があって, エネルギー減少

飛び込むから速い. 怪我に注意.



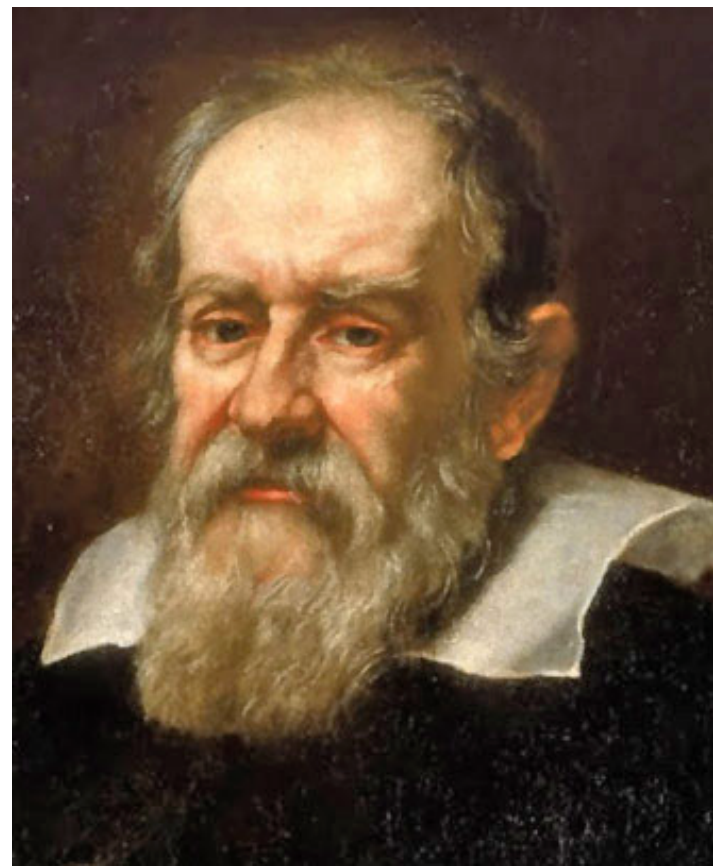
|      |                                |    |
|------|--------------------------------|----|
| ○第2章 | 力学—つりあいと運動                     | 25 |
| 2.1  | 速度・加速度—「いつ・どこにある」：運動を決める基本ツール  | 26 |
| 2.2  | いろいろな運動・いろいろな力—名前を聞けば想像がつく運動状態 | 33 |
| 2.3  | 運動の法則—力を加えると、生じるのは加速度だった       | 48 |
| 2.4  | 重力による運動—リンゴの落下から惑星運動まで         | 58 |
| 2.5  | 保存則という考え方—世の中には保存する量がある        | 67 |
| 2.6  | 回転する運動—遠心力は見かけの力               | 75 |



## 第1法則： 慣性の法則 (law of inertia)

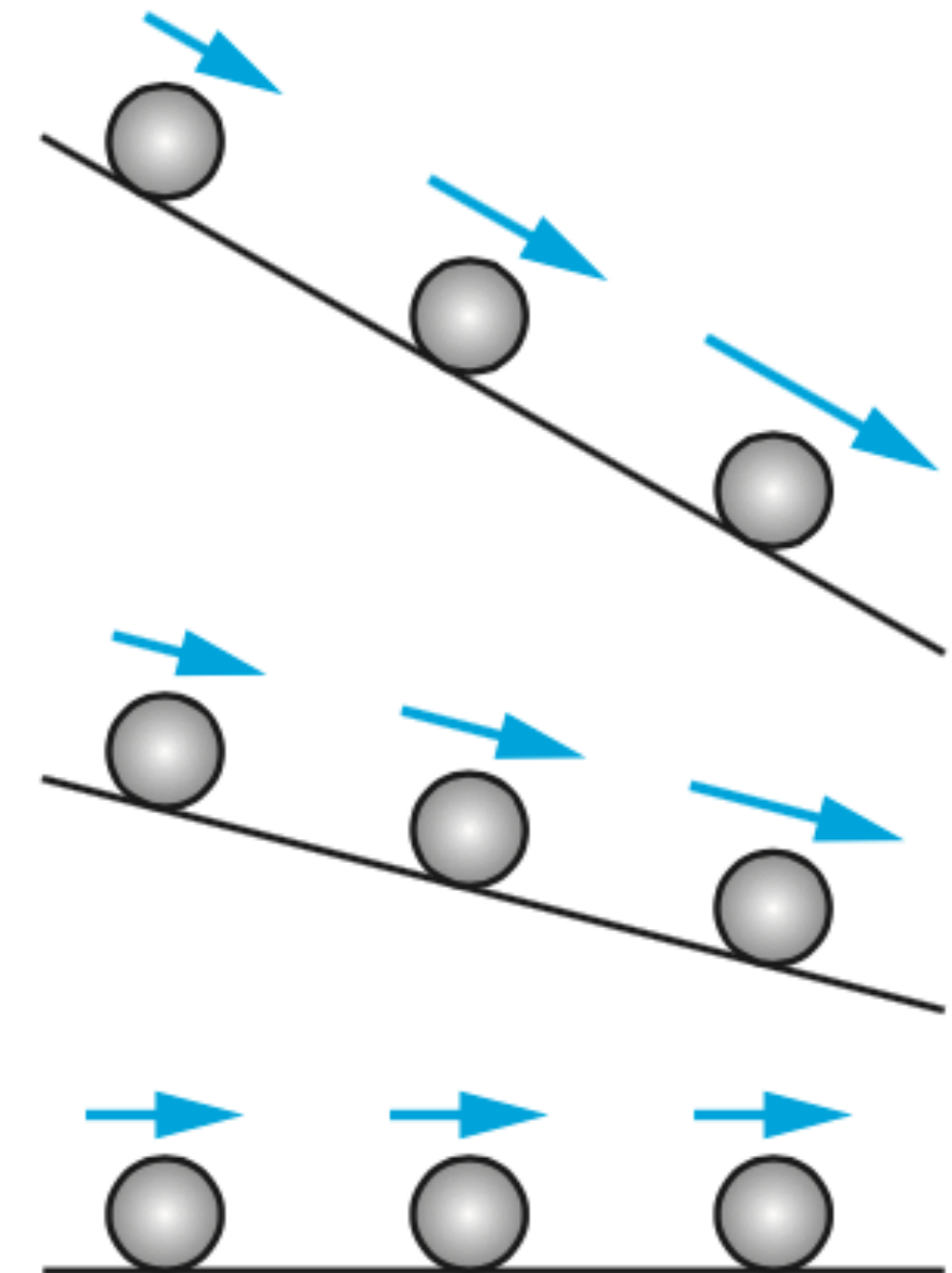
### 法則 ニュートンの運動法則 (第1法則)： 慣性の法則

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)





## 自由落下運動

THE GREATEST FALL  
BLUE FALL

ブルーフォール

驚異の107mからの垂直落下に  
チャレンジ！

垂直落下型スリルライドでは驚異の高さを誇る「ブルーフォール」。高層ビル約35F、107mの高さから落下する最高速度は

125km/h、最大加重4G、さらに"フェイント・ドロップ"という2段落としの仕掛けで、スリルたっぷり。

ここがポイント！

スリルライドが大好きな人は、最初から靴を脱いでおくのがおすすめ。足の裏からじかに風圧を感じて、より恐怖感が増すんだって。ぜひ試してみて！

# 自由落下

## ブルーフォール

### （横浜・八景島シーパラダイス）

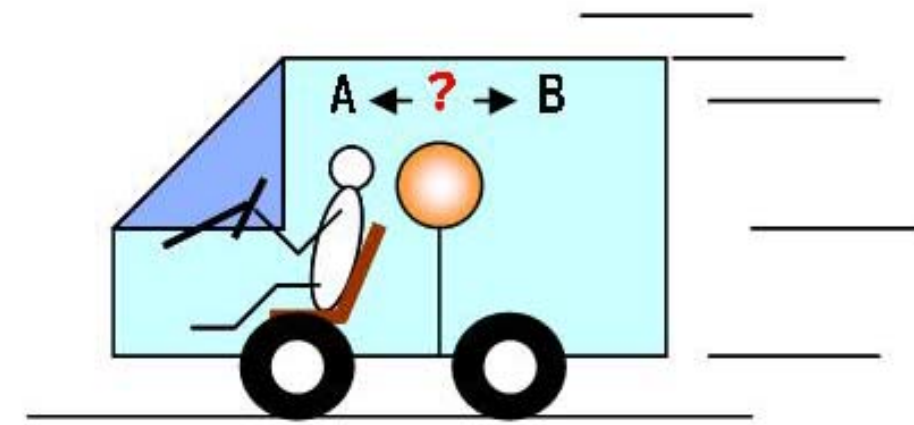
© 数研出版



# 前回のミニッツペーパーから

〔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。

前へ 18名  
後ろへ 6名



前へ

車は前に進んでいたって、慣性の法則が働いて前に行く。

車は前に進み続けているから車内の風船は前に動くと思う。

前に進んでいた車が、進まなくなっても風船は慣性の法則で前に進み続けようとするから。

急ブレーキがかかると人が前に動くのと同様に風船も前に動くから。

慣性の法則により、車の進行方向へ動き続けようとするから

後ろへ

後ろへ行く。

急ブレーキがかかると車と空気は前に減速するけど、風船は空気の流れに押されて後ろに移動するから。

(後ろへ。)風船は空気より軽く、空気の重さに浮く。車内の空気は前に押されて、風船は軽くな未空気の後ろへ動く。

風船は空気より軽い条件で満たされているから。

車内に人がいた場合は、その人たちが急ブレーキの勢いで前へ倒れる時に生じる風が摩擦になると思うから。



## 第2法則： 運動の法則 (equation of motion)

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



# 前回のミニッツペーパーから

## 【少し高級な疑問】 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。

教科書 p50

私たちが実験しても  
本当に正確に「力がはたらかない」  
世界はありえないが、  
理想的な座標系を一つ宣言する  
ことで後で自由に数学を使って  
議論することができるようから。

慣性 = ゼロという概念がないと  
さっぱり法則を説明できない  
そもそも加速度があるときは  
慣性がないところから別概念？

第1法則は、第2法則が正しく使える基準を  
決めるために必要

第2法則をつかうには「力が働いていないとき」にだけ運動方程式を適用する  
を定義しないといけないから。

第1法則は、慣性座標系を定義するために不可欠であり、第2法則が成り立つのは  
慣性座標系においてのみであるため、第1法則は必要である。

第1法則は第2法則を適用する座標系を決める基準だから必要

実験上としても、本当に力がはたらかない世界はないので、理想的な座標を宣言することで議論できるように  
なるから。

第2法則の前提条件を定めるために、第1法則が必要。



# 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  $F$  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。

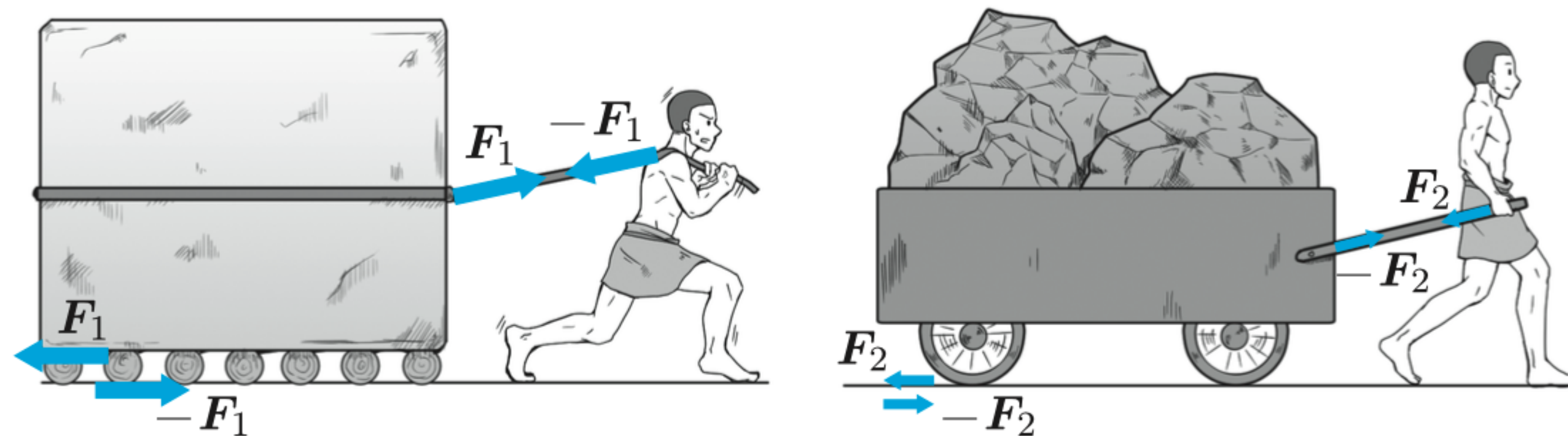


図 2.55 作用・反作用の法則 力は必ず二つの物体間で生じていて、お互いが力を介して運動する。



**Topic 無重量状態で頬をひっぱたく**

宇宙ステーション内部では無重量状態となっていて（⇒81ページ）、作用・反作用の結果が簡単に理解できる。無重量状態で浮いた状態の二人の宇宙飛行士 A と B が喧嘩を始めて、A が B の頬をひっぱたいたとしよう。B は頬に力を受けて回転を始めるが、A も反作用で同じ力を B から受けるので、A も逆に回転を始めることになる。

# 宇宙での作用・反作用の 実験(お手つき)



## 第3法則：作用・反作用の法則



大きなカブが抜けない理由

おじいさんが悪い





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



# 前回のミニッツペーパーから

2. 力学 》 2.3 運動の法則 》 いろいろな力(2)

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。



スケート はなぜ"あんなに"スイスイ 滑っていきるんですか？





# SCIENCE OF STUPID

「バ科学」の世界へ  
ようこそ

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

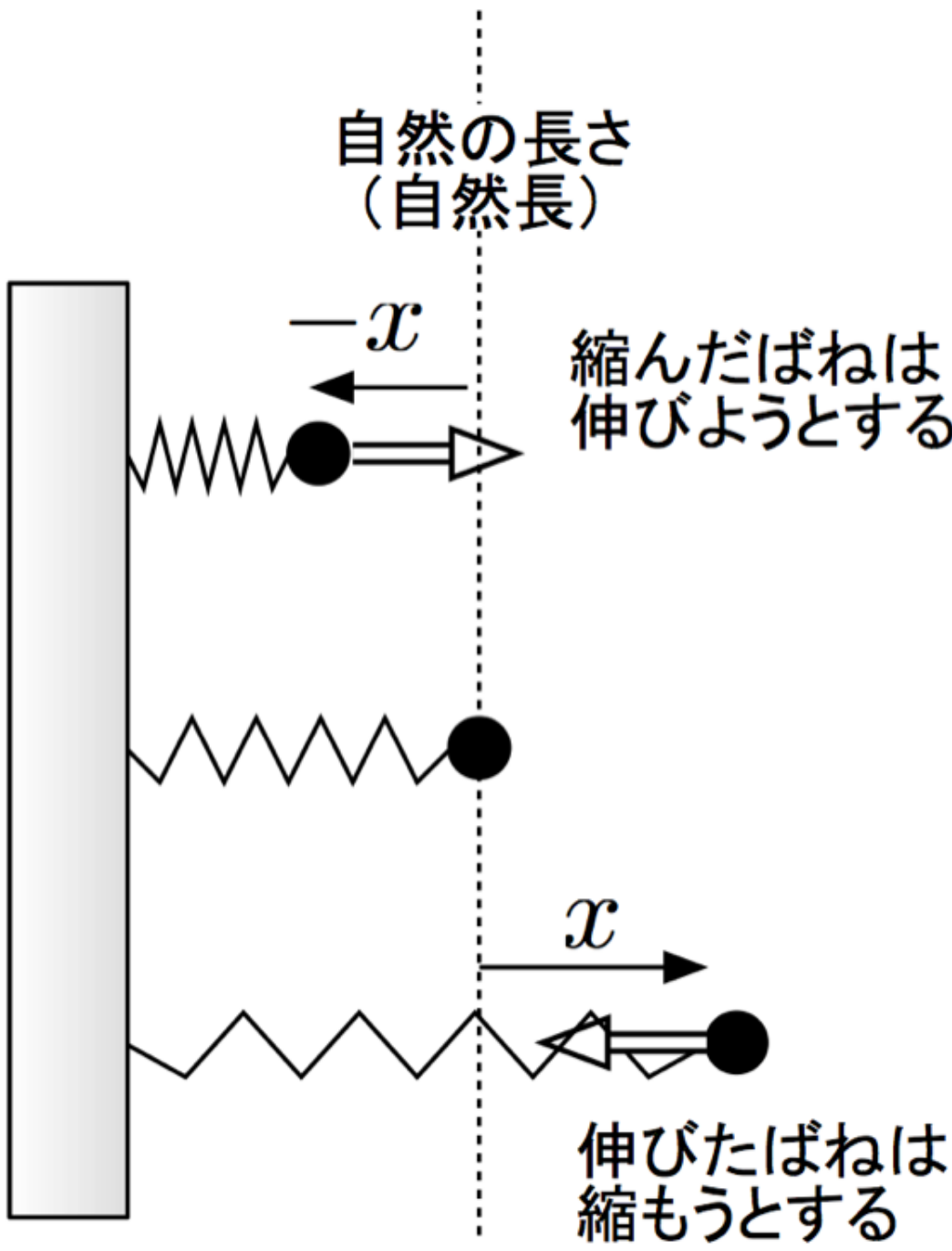


力5

弾性力（元に戻ろうとする力）

法則 フックの法則

ばねは、自然長からの変位（伸びや縮み）に比例した復元力を及ぼす。



Advanced ばねの弾性力の正確な表現

ばねの弾性力を向きを含めて式で表すと、自然長の位置を  $x = 0$ （伸ばす方向を  $+$ ，縮む方向は  $-$ ）として、

$$F = -kx \quad (k \text{ は正の定数}) \quad (2.36)$$

となる．式 (2.36) の右辺にマイナス記号をつけた理由は、こうしておくと、伸びたときも縮んだときも弾性力の向きを含めて表せるからだ． $x > 0$  で伸びているときは  $-kx < 0$  で縮む向きの力に、 $x < 0$  で縮んでいるときは  $-kx > 0$  で伸びる向きの力になる．



## 運動5

## 単振動

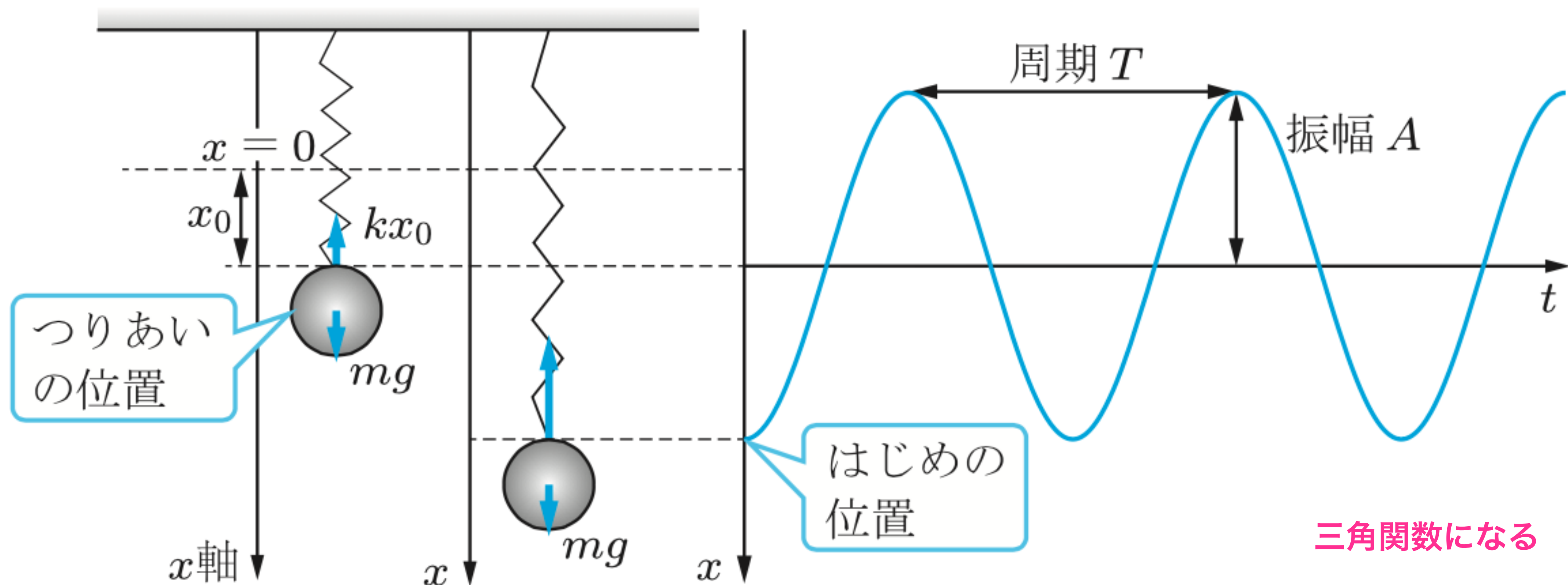


図 2.6 ばねによる振動の時間変動は、単純な三角関数のグラフで書ける。振動の中心はつりあいの位置である。ばねを伸ばして初速度ゼロで手をはなすと、はじめの位置から振動中心までが振幅  $A$  になる。一往復する時間を周期という。





24時刊

新着

社会

経済

政治

国際

文化

科学

スポーツ

エンタメ

ライフ

天気

朝日新聞

THE ASAHI SHIMBUN DIGITAL

社会

現在位置： 朝日新聞デジタル > 社会 > その他・話題 > 記事

2012年8月28日11時46分



264



ブログに利用



15



+1

28

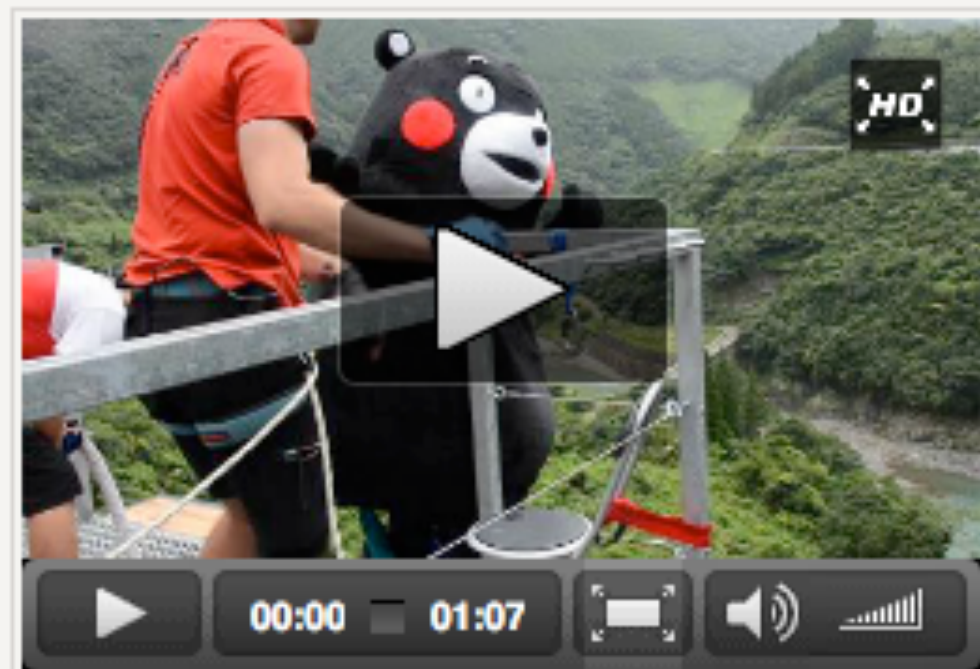


おすすめ

501



## くまモンも副知事も飛んだ バンジーで観光PR 熊本



【動画】くまモン、バンジージャンプに挑戦＝山本恭介撮影



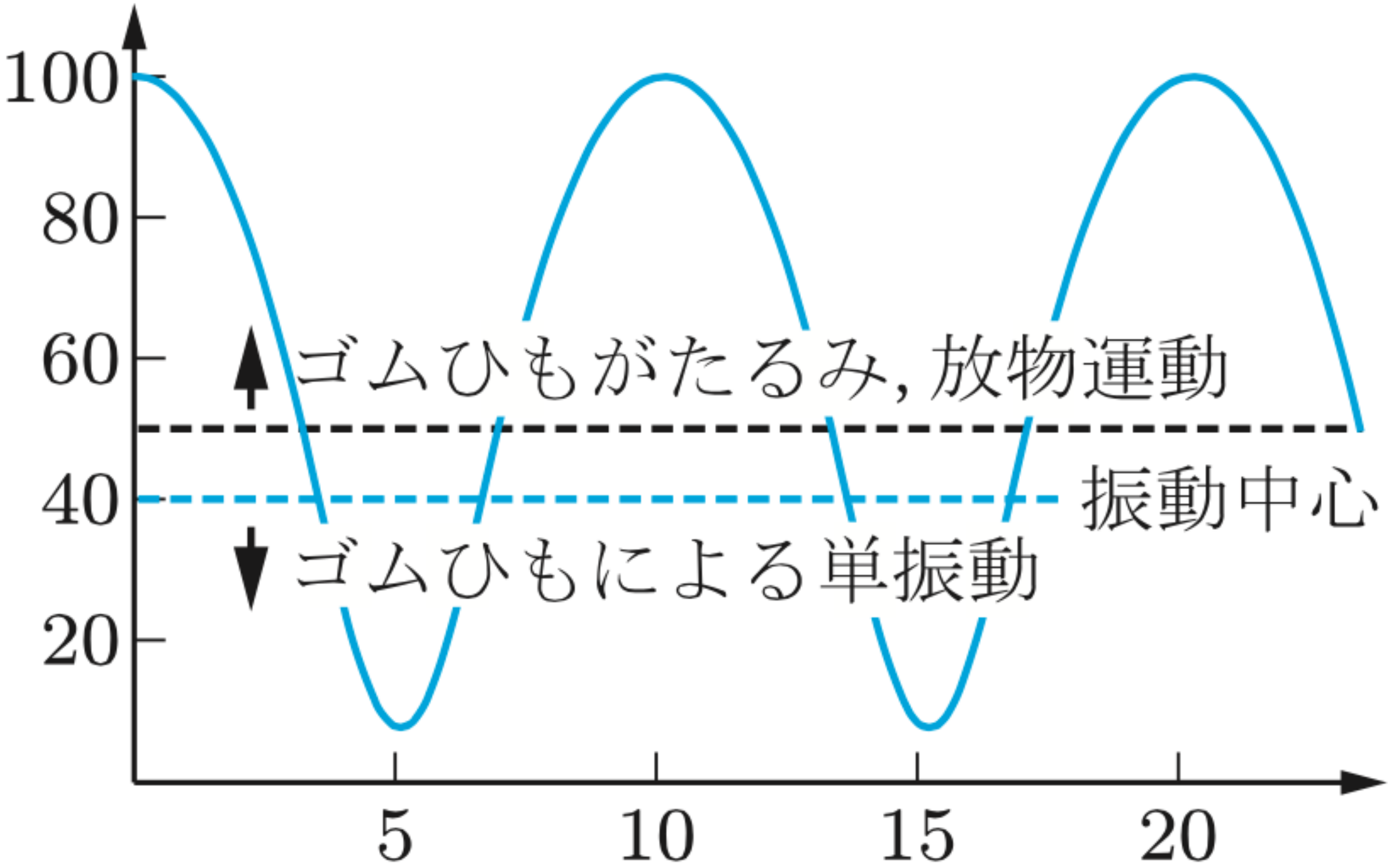
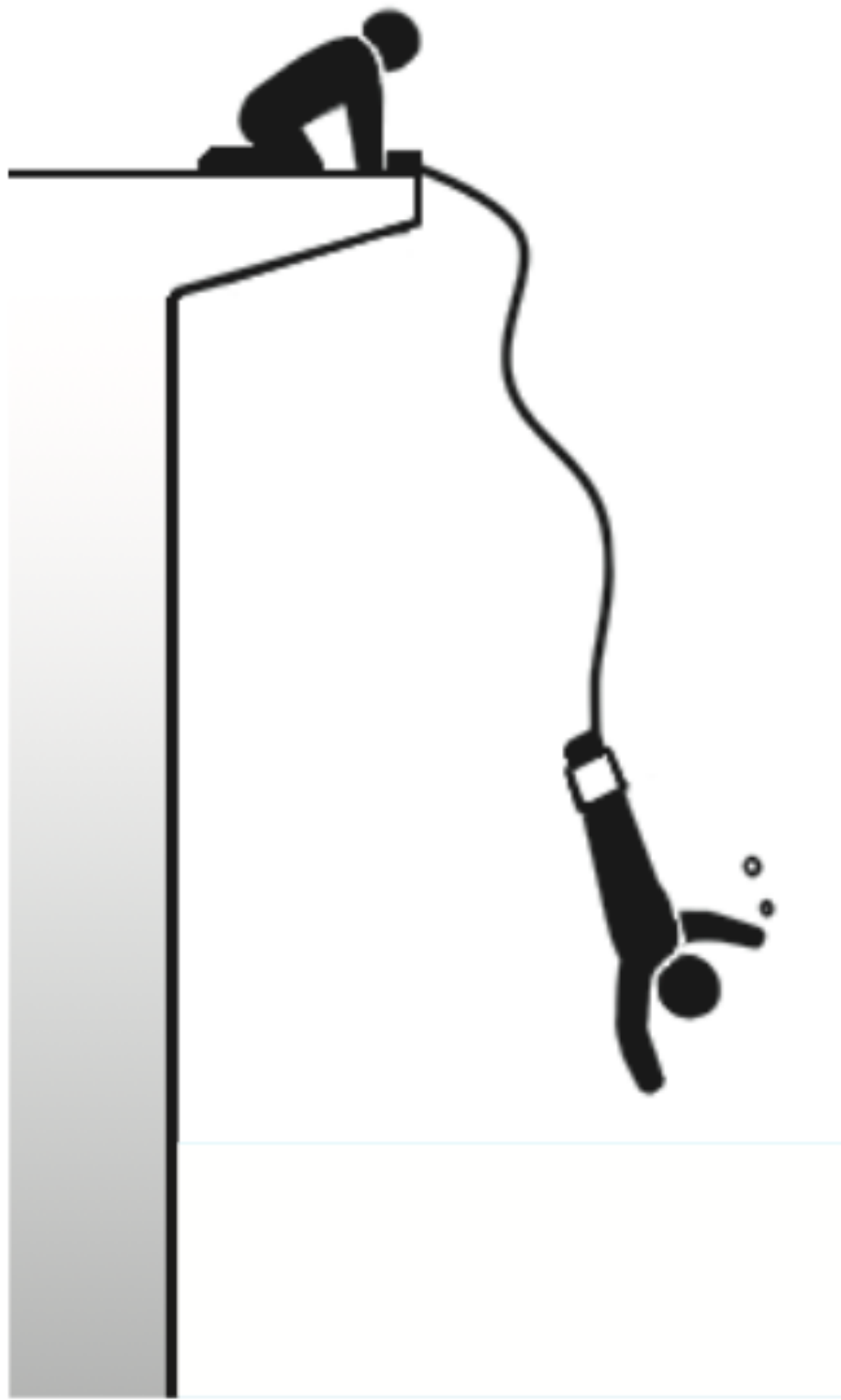
77メートル下方の川辺川の川面に向かって飛んだ木下丈二副村長＝五木村野々脇地区

副知事が、副村長が、くまモンが飛んだ！ 川辺川の上空77メートルから川面めがけて飛ぶバンジージャンプの試験営業が27日、熊本県五木村野々脇地区の水没予定地に架かる銀杏（いちょう）橋で始まった。川辺川ダム計画で疲弊した村が、「観光で新機軸を」と導入を企図し、群馬県みなかみ町のバンジージャンプ運営団体に委託した。

この日はオープニングを祝い、木下丈二副村長や小野泰輔副知事、さらに村のPRキャラクター「いつきちゃん」と県の「くまモン」らが記念ジャンプ。ゴム製の命綱を足に固定し、次々に空中に飛び出した。

9月2日までで、客層や採算性などを分析し、来年度の本格営業に向けた可能性を

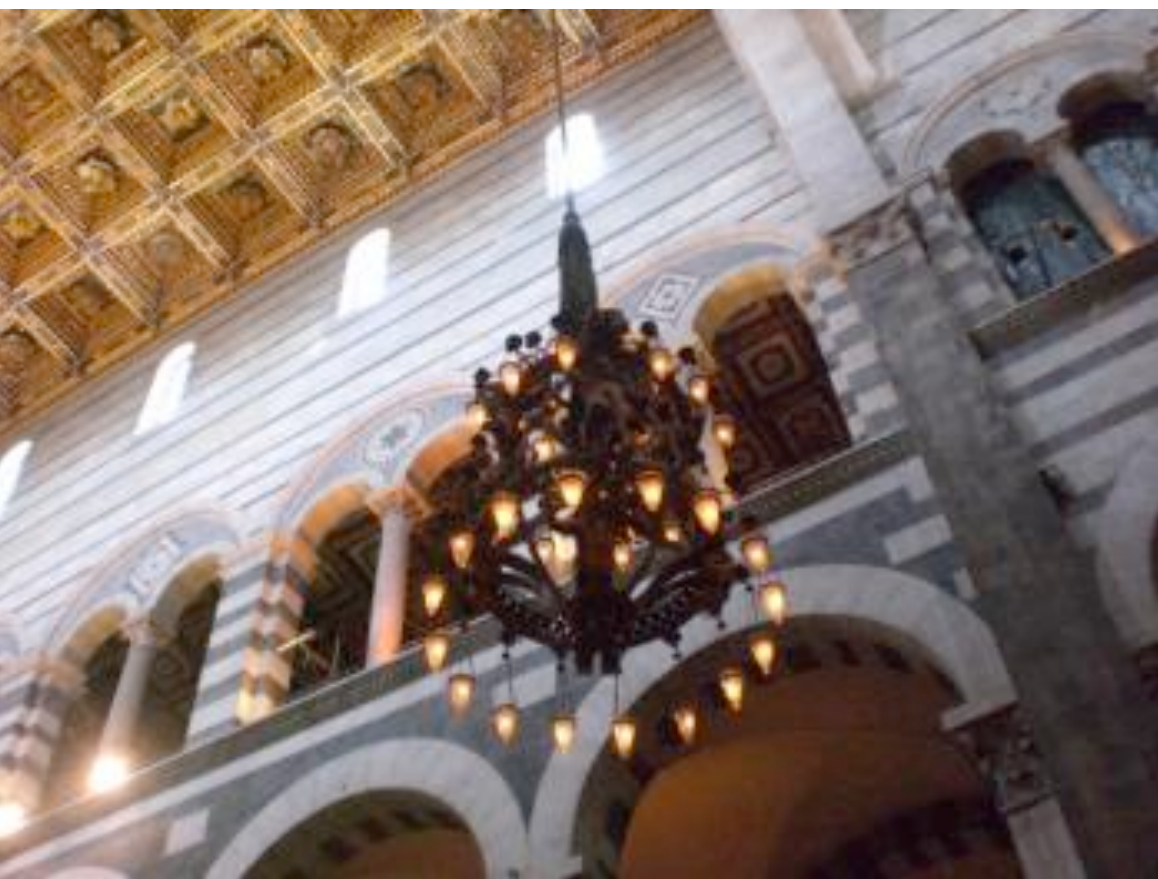




放物線

三角関数





周期 [s]

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\ell}{g}}$$

長さ [m]

重力加速度  
9.8 [m/s<sup>2</sup>]

$$\ell = \frac{gT^2}{4\pi^2}$$

|             |                   |
|-------------|-------------------|
| $T = 1[s]$  | $\ell = 0.248[m]$ |
| $T = 2[s]$  | $\ell = 0.994[m]$ |
| $T = 10[s]$ | $\ell = 24.8[m]$  |





## 万有引力(すべての物体は引き合う)

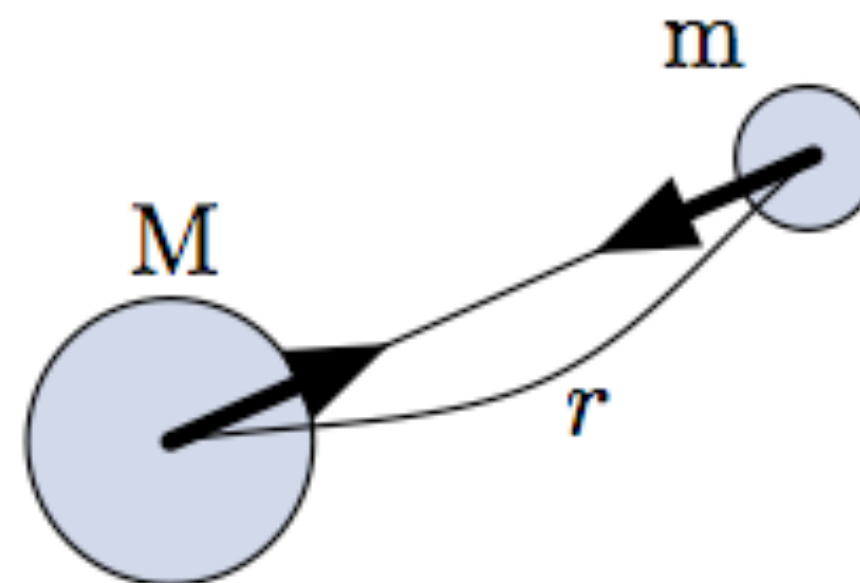
質量があるすべての物体は、互いに引き合う、と考えることにすれば、重力で動く物体の運動が説明できる。生じる引力を**万有引力**とよぶ。

### 法則 万有引力の法則

すべての物体は引力で引きあう。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

$$F = G \frac{Mm}{r^2} \quad (2.39)$$

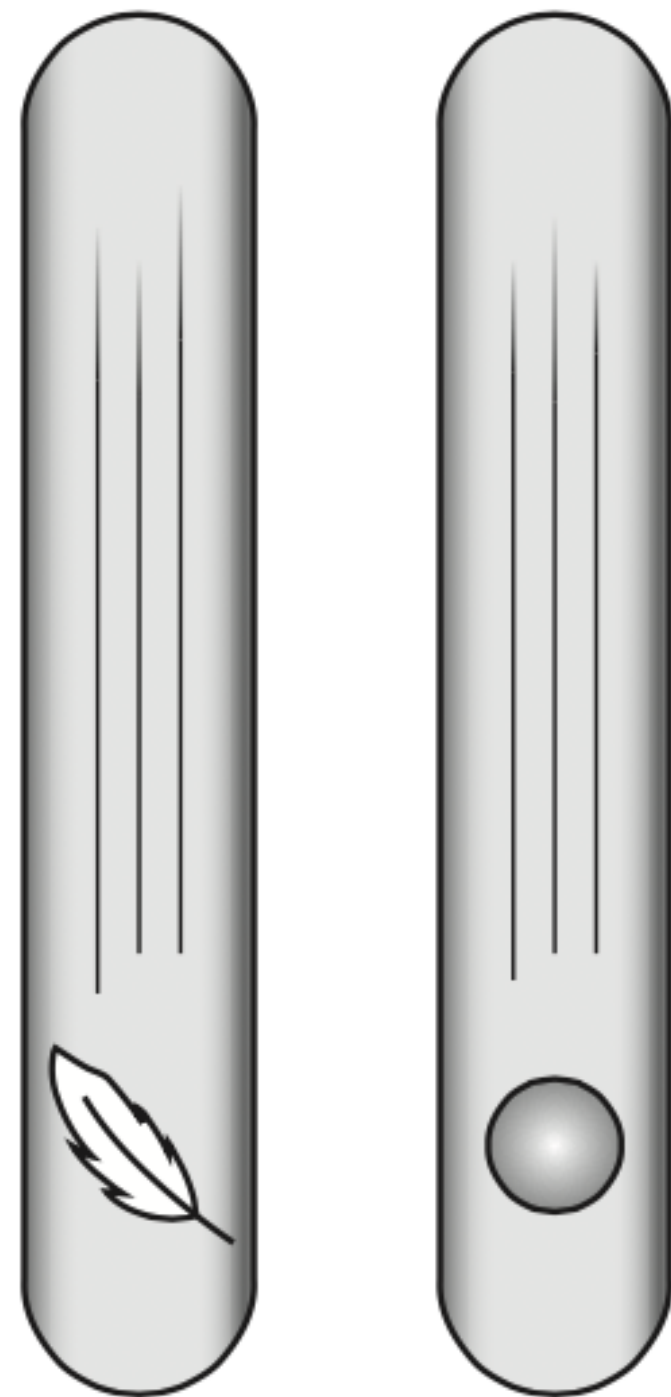
である。  $G$  は定数で  $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$  である。





## Topic すべてのものは同じ時間で落下する

式 (2.40) は、どんな物体でも質量  $m$  によらず同じ加速度で落下することを示している。大きな重い鉄球も小さな軽い鉄球も同じ時間で落下することを、ガリレイがピサの斜塔で確かめたというのは、伝記作家の創作らしい。だが、空気抵抗がなければ羽も鉄球も同じ時間で落下するのは事実だ。真空中でこれを示したのは、気体の法則を発見したボイル (Boyle, R.) だった。







Brian Cox visits the world's biggest vacuum chamber  
- Human Universe: Episode 4 Preview - BBC Two

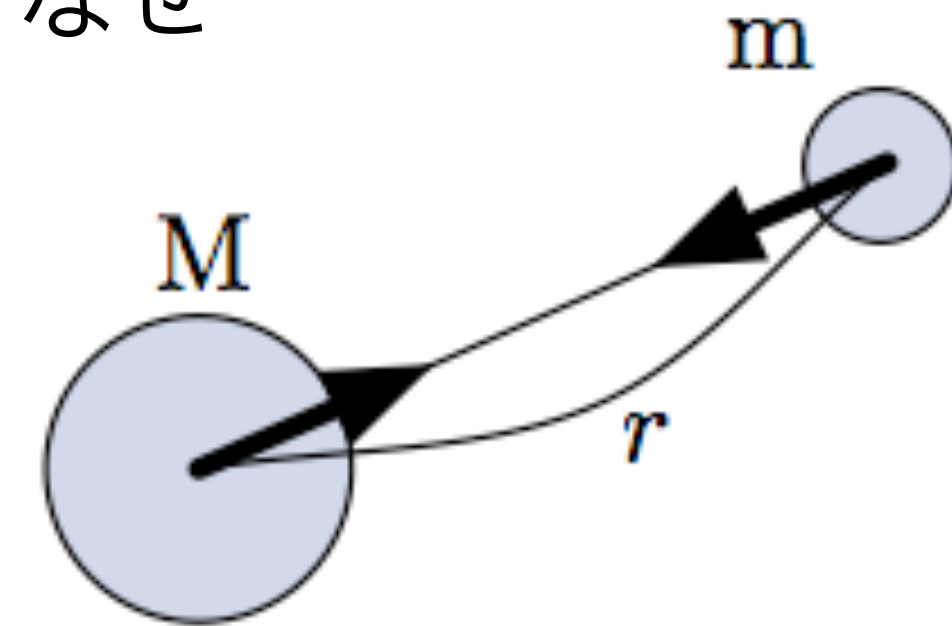
<https://www.youtube.com/watch?v=E43-CfukEgs>

(4'40")



## なぜ月は地球に落下してこないのか

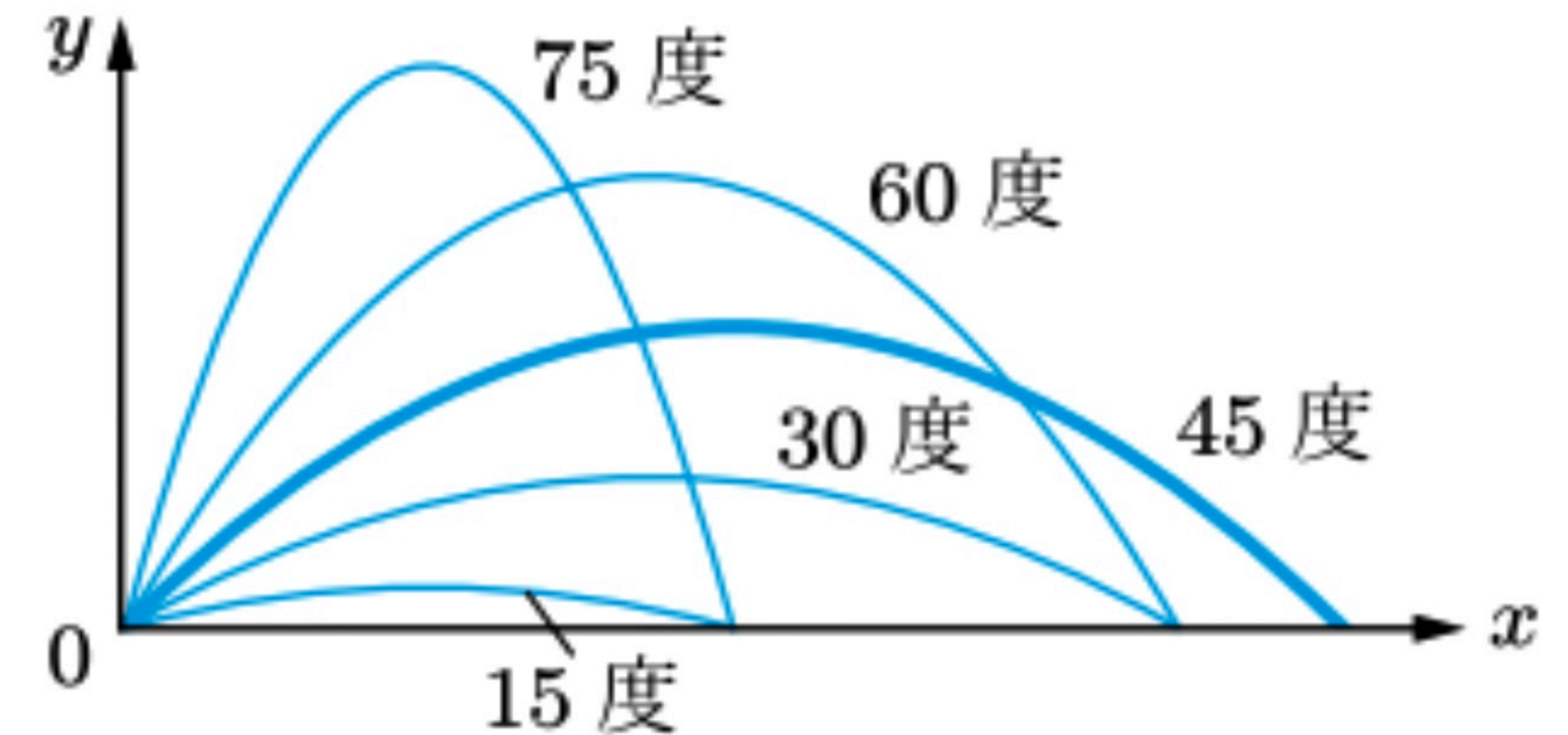
万有引力を考えると、すべての物体は近づいてゆくように思える。地球と月も万有引力で引っ張り合っているのにも関わらず、なぜ月が地球に落下してこないのだろうか。





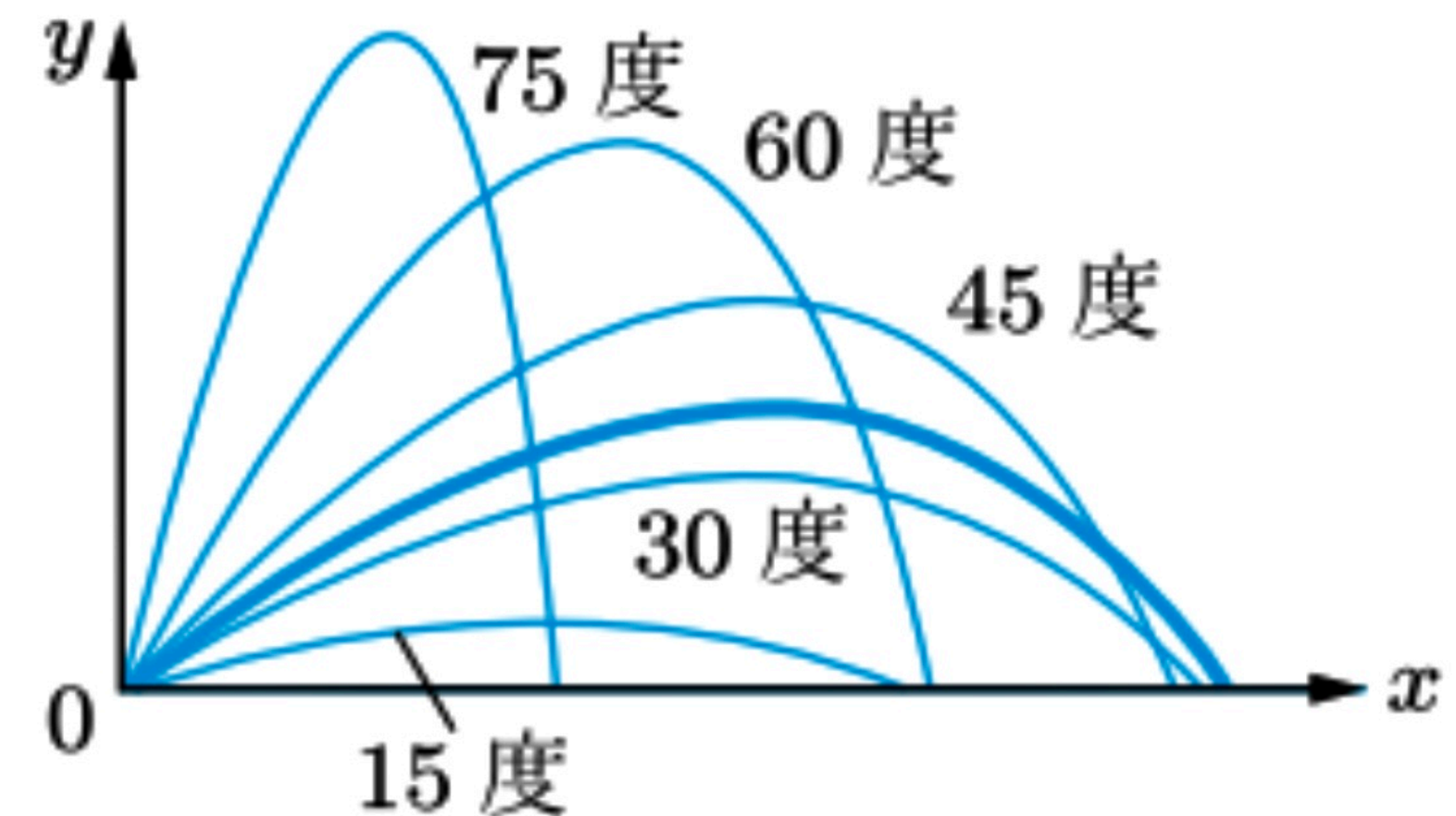
## 斜方投射

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。



## 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。





## Topic 終端速度

空気抵抗があるときの雨滴の運動も，式 (2.49) を解くことによって得られる．この式から，雨滴の速度は最終的には一定値に近づき，しだいに  $|v_y| = mg/k$  になることがわかる．この速度を終端速度という．逆に，雨滴の質量  $m$  がわかれば，空気抵抗の係数  $k$  がこの式からわかることになる．

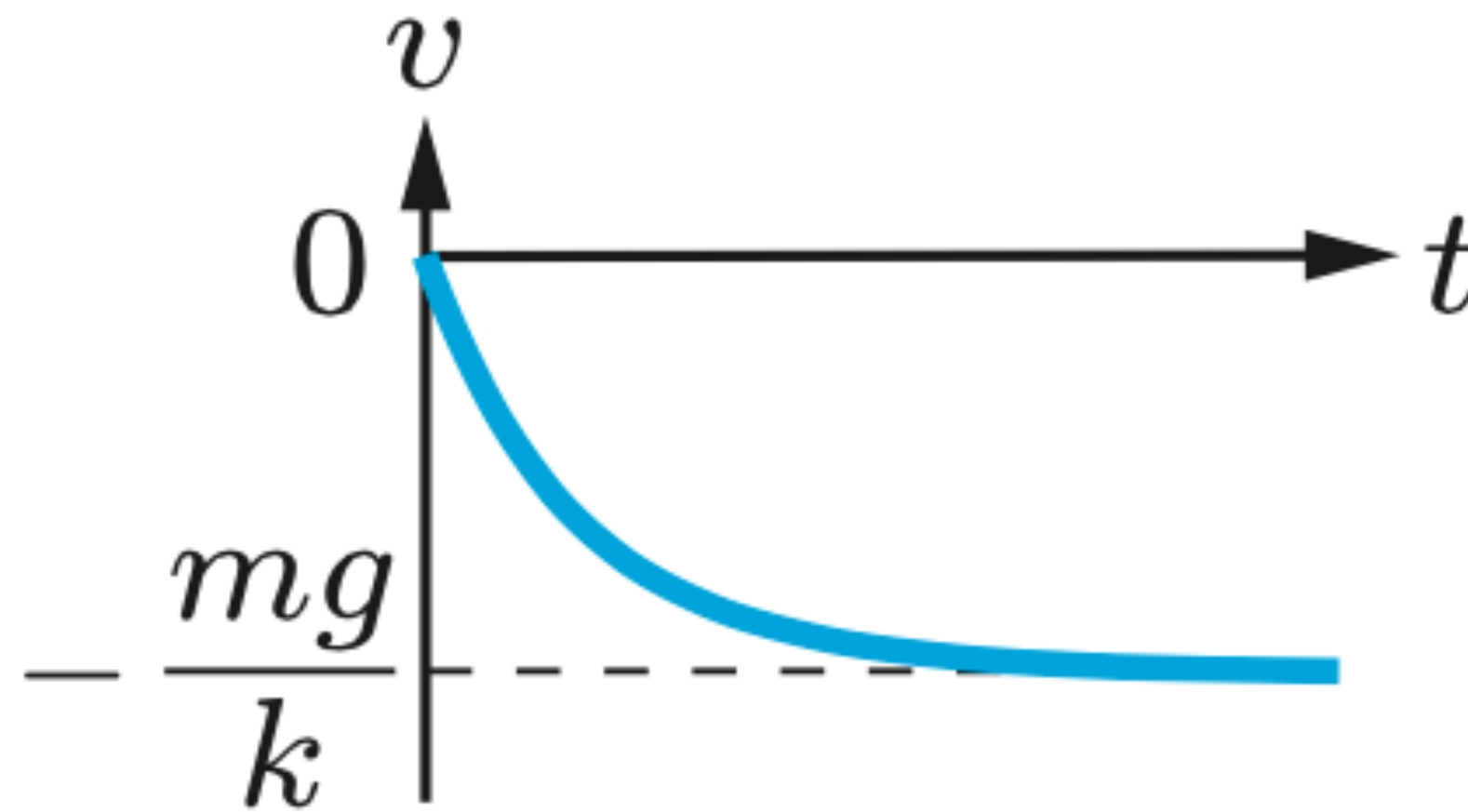


図 7: 雨滴の速度は抵抗によって終端速度に落ち着く．



# 仕事(work) = 力 x 動いた距離

## 定義 仕事・仕事率

- 力  $F$  [N] を加えて、その方向に、物体が  $x$  [m] 移動したとき、仕事を

$$W = Fx \quad (2.50)$$

仕事 [J] = 移動方向の力 [N] × 移動距離 [m]

と定義する．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．

$$P = \frac{\Delta W}{\Delta t} \quad \text{仕事率 [W]} = \frac{\text{仕事 [J]}}{\text{時間 [s]}} \quad (2.51)$$

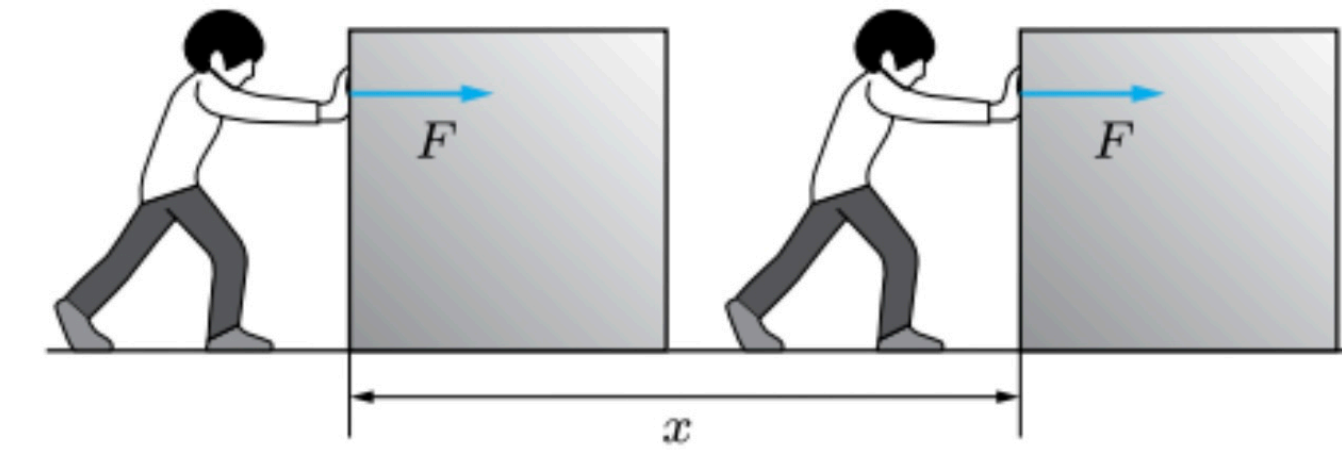
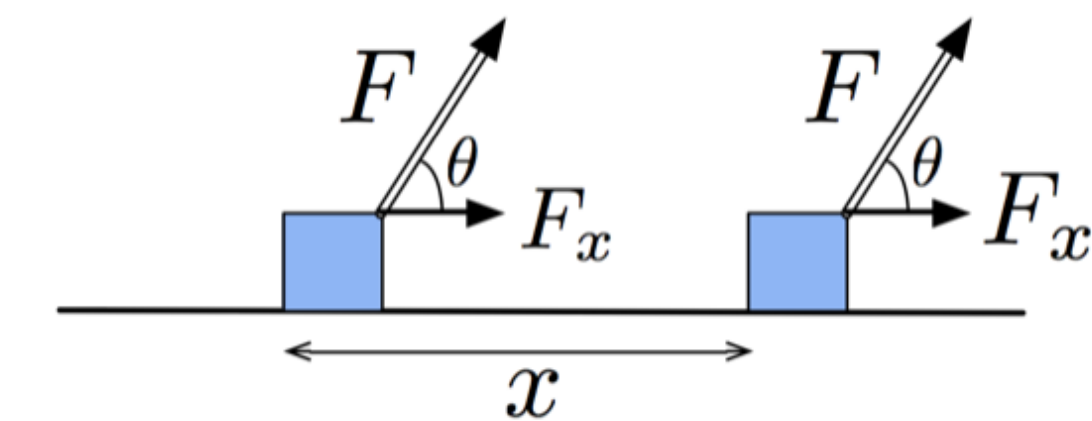


図 2.87 力の向きに移動する場合の仕事は  $W = Fx$

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(モノを動かす能力)

## エネルギー = 仕事する能力

### 公式 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、

$$E_P = mgh \quad (2.53)$$

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。

### 定義 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、

$$E_K = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.54)$$

の量を運動エネルギーという。

力学的エネルギー  
= 運動エネルギー + 位置エネルギー

# 力学的エネルギーは保存する

### 法則 力学的エネルギー保存則

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、

$$E_P + E_K = (\text{一定})$$

$$(\text{位置エネルギー}) + (\text{運動エネルギー}) = (\text{一定}) \quad (2.55)$$

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

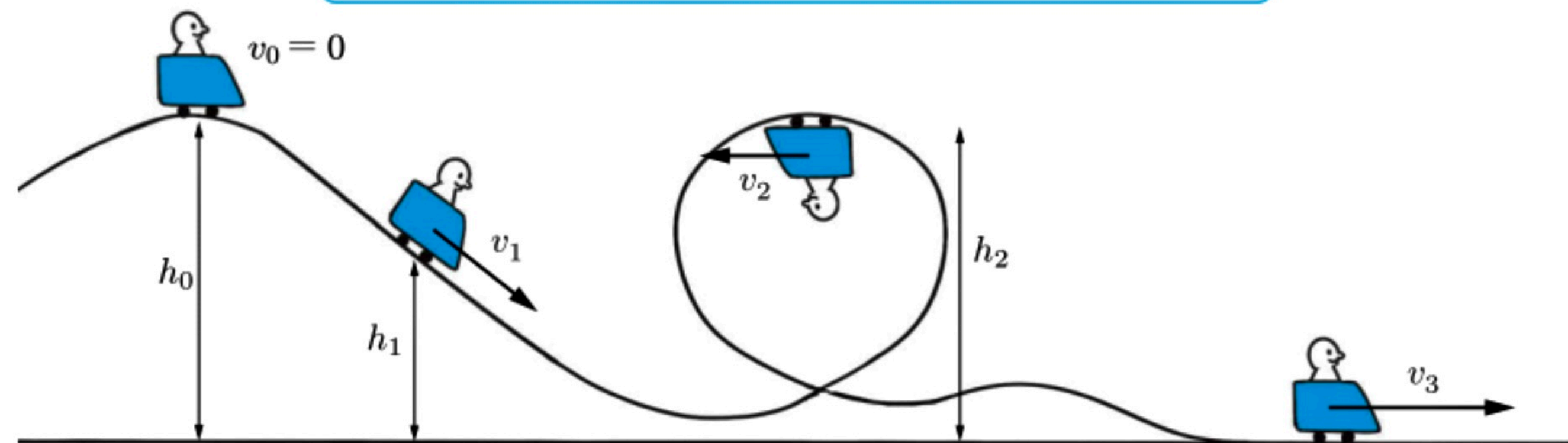


図 2.90 ジェットコースターの速さは、最初の高さだけで決まる



日本のジェットコースター 怖そうなもの一覧

| アトラクション名                      | 最高速度     | 全長     | 所要時間  | 最大斜度 | 最高部  | 加重力    |
|-------------------------------|----------|--------|-------|------|------|--------|
| スチールドラゴン2000<br>(ナガシマスパーランド)  | 153 km/h | 2479 m | 210 秒 | 68 度 | 97 m | 3.50 G |
| ドドンパ<br>(富士急ハイランド)            | 172 km/h | 1189 m | 60 秒  | 90 度 | 52 m | 4.25 G |
| FUJIYAMA<br>(富士急ハイランド)        | 130 km/h | 2045 m | 216 秒 | 65 度 | 79 m | 3.50 G |
| 恐竜コースターGAO<br>(グリーンランド遊園地)    | 98 km/h  | 1735 m | 210 秒 | ?    | 40 m | ?      |
| ハイブリッドコースター白鯨<br>(ナガシマスパーランド) | 107 km/h | 1500 m | 160 秒 | 80 度 | 55 m | 4.0 G  |
| ええじゃないか<br>(富士急ハイランド)         | 126 km/h | 1153 m | 120 秒 | 回転   | 76 m | 3.67 G |
| ザ・フライング・ダイナソー(USJ)            | 非公開      | 1124 m | 180 秒 | 回転   | 非公開  | 非公開    |
| ハリウッド・ドリーム・ザ・ライド<br>(USJ)     | 89 km/h  | 1267 m | 180 秒 | 59 度 | 44 m | 3.57 G |
| ヴィーナスGP<br>(スペースワールド 閉園)      | 90 km/h  | 1530 m | 180 秒 | 60 度 | 40 m | 5.26 G |

ジェットコースターの速さは何で決まるだろうか。  
ジェットコースターが満員のときと、ガラガラするとき、どちらが怖いだろうか。  
ジェットコースター、前に乗るのと後ろに乗るのでは、どちらが怖いだろうか。



# 富士急ハイランド ええじゃないか



「前後左右、東西南北、驚天動地の大回転」



|       |                                         |
|-------|-----------------------------------------|
| 最高部高度 | 76.00 m                                 |
| コース全長 | 1,153.01 m                              |
| 最高速度  | 126.0 km/h                              |
| 回転    | 14回（レールのループ2回+<br>レールのひねり5回+<br>座席回転7回） |
| 最大傾斜角 | 89°                                     |



# コロナ時代の正しいジェットコースターの乗り方



富士急ハイランド社長  
岩田 大昌

富士急行社長  
堀内 光一郎



Fuji-Q Highland Official富士急ハイランド公式  
チャンネル登録者数 3.05万人

富士急ハイランドが誇る“キングオブコースターFUJIYAMA”

遊園地の感染防止ガイドラインでは大声での発声を控えていただくようお願いしておりますが「厳しい」「不可能だ」といったお声を頂戴しましたので、弊園では両社長からお手本動画をお届けいたします。

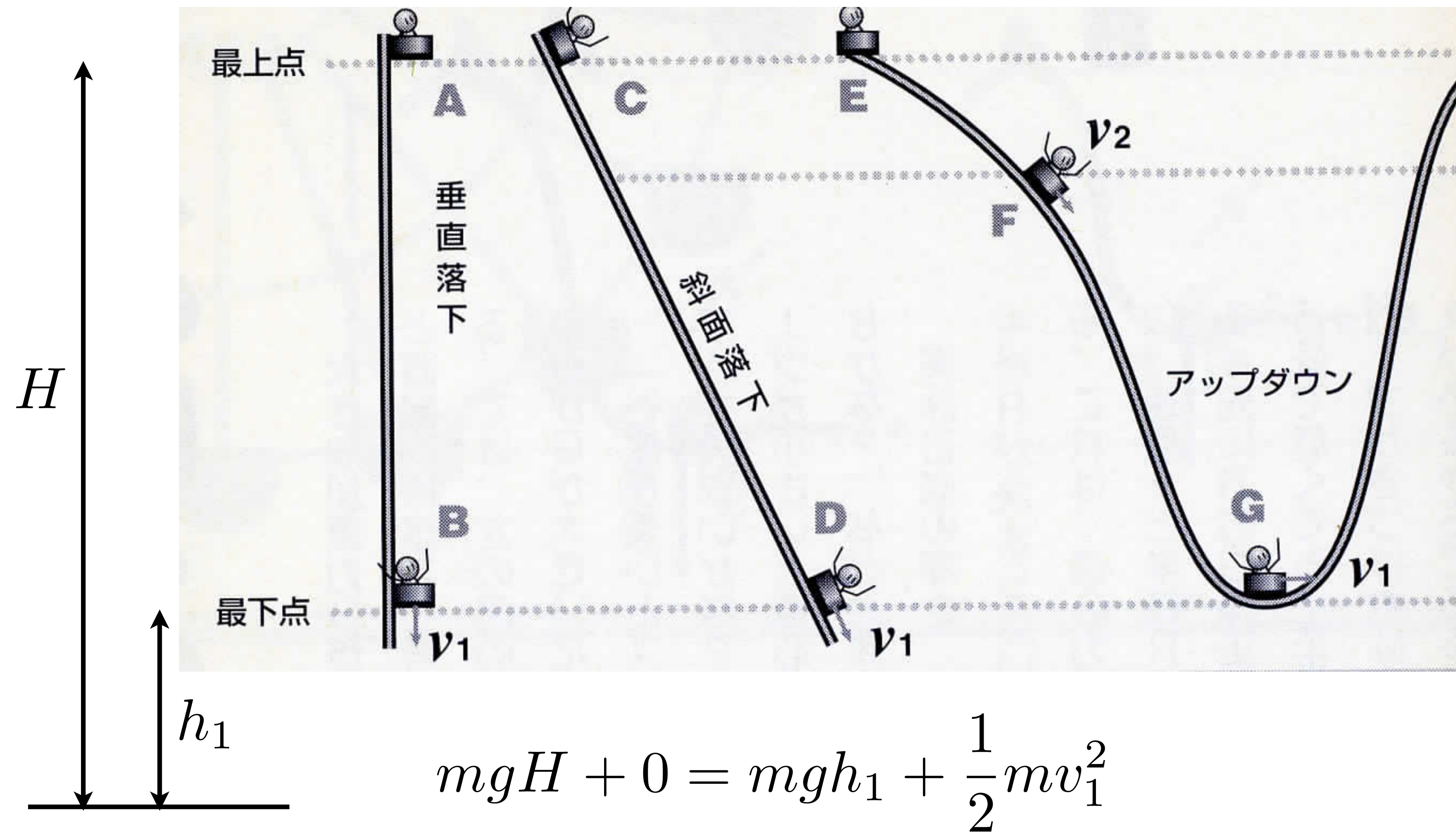
短編にて、「ずっと真顔ではなかったでしょう」とお言葉を頂戴いたしましたので、3分30秒のFUJIYAMAをご覧ください。

みなさんの挑戦お待ちしております...

<https://www.youtube.com/watch?v=PMm5QVZ6QeY>



# ジェットコースターの速さは何で決まる？

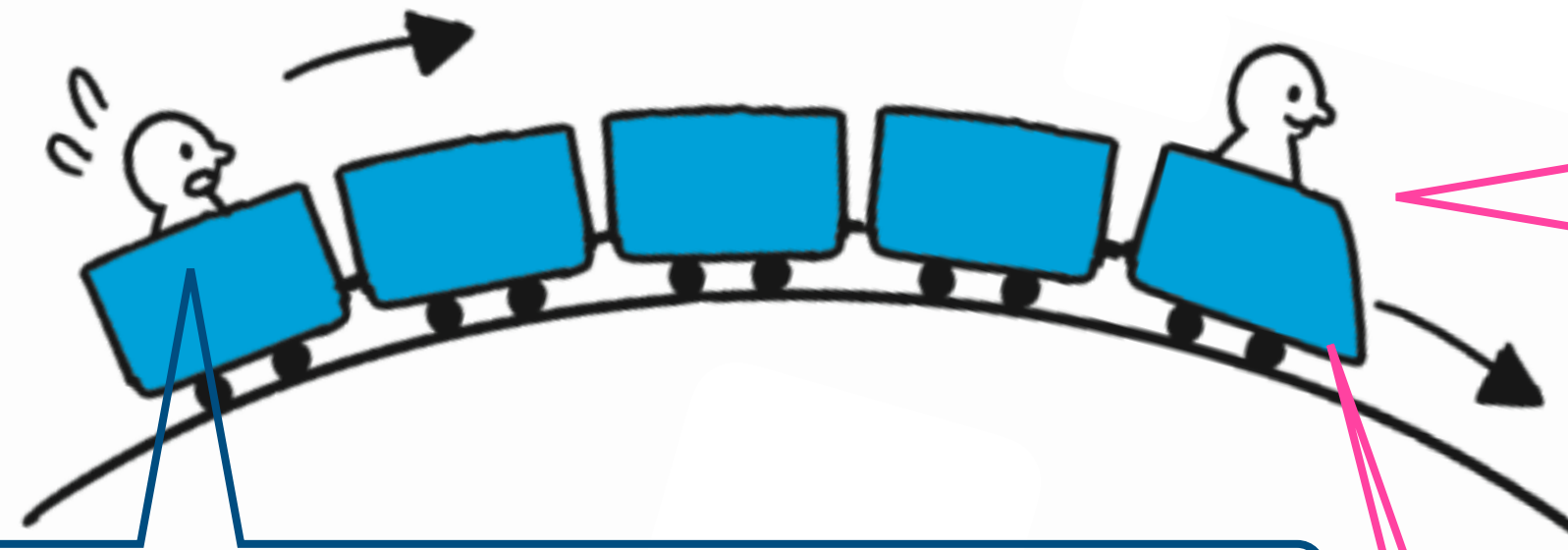


→ 摩擦や空気抵抗がなければ, 落差で決まる.  
垂直落下, 斜面落下 どちらも同じ.



# 前回のミニツツペーパーから

〔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？



二つくてのねえせん...

後ろ派  
ジェットコースターが怖いから 前の景色を見たくない。

後ろ。スリルがあるから

うしろに乗る派  
前は自分がいちばん最初にスリルを感じてしまっただけで準備できていないから。

うしろ  
浮遊感が苦手だからうしろのほうがいいと思うから。

ジェットコースター乗る派ですが、前の人をいじめるのが  
安心できず気がおさまるので、後ろに乗る派です。

うしろ。スピードが速いから。

後ろ。ジェットコースターを最後まで楽しめる気がするから。

うしろ。高所恐怖症で下が見えたら  
怖いが、前だと落ちる直前に  
下が見えてしまうから。

後ろに乗る派。動きがダイレクトに伝わるため。

乗ったことしかが後ろ。前はなにかに衝突した感じが怖いから。

最前列です。  
空気抵抗を一身に  
受けるのが好きです。

最前列  
景色がキレイに見えるから。

最前列。ジェットコースターの速さを最大限に感じたいから。

最前列  
ジェットコースターのルートや周りの景色を見れたり、また、最後列の方が怖いと聞いているから。

最前列に乗る。  
前の人が落ちるスピードが小さいと思うから。絶対系が苦手なから。

前列に乗る派  
前の人の悲鳴が聞こえてから  
落ちるのがいいから。

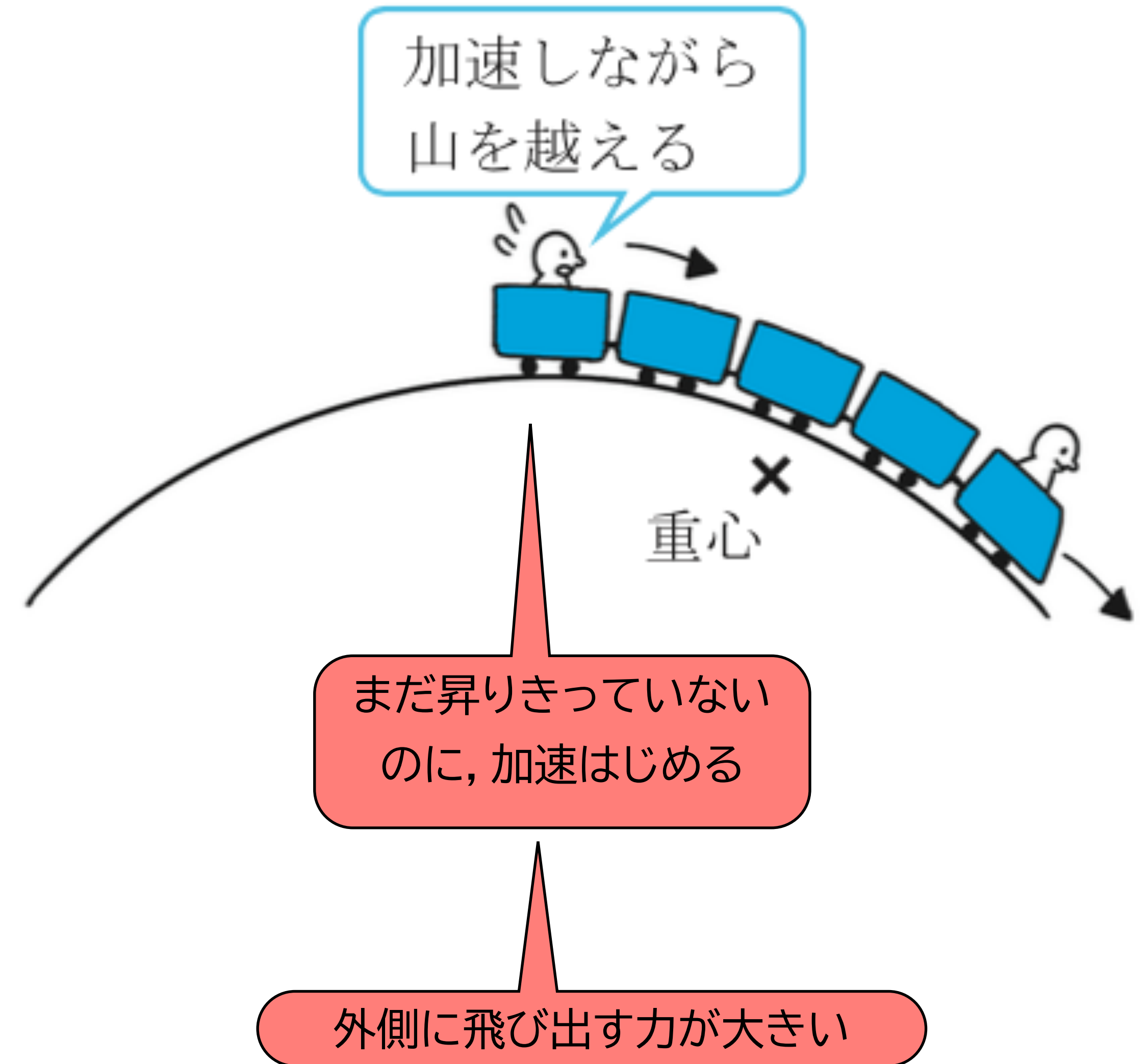
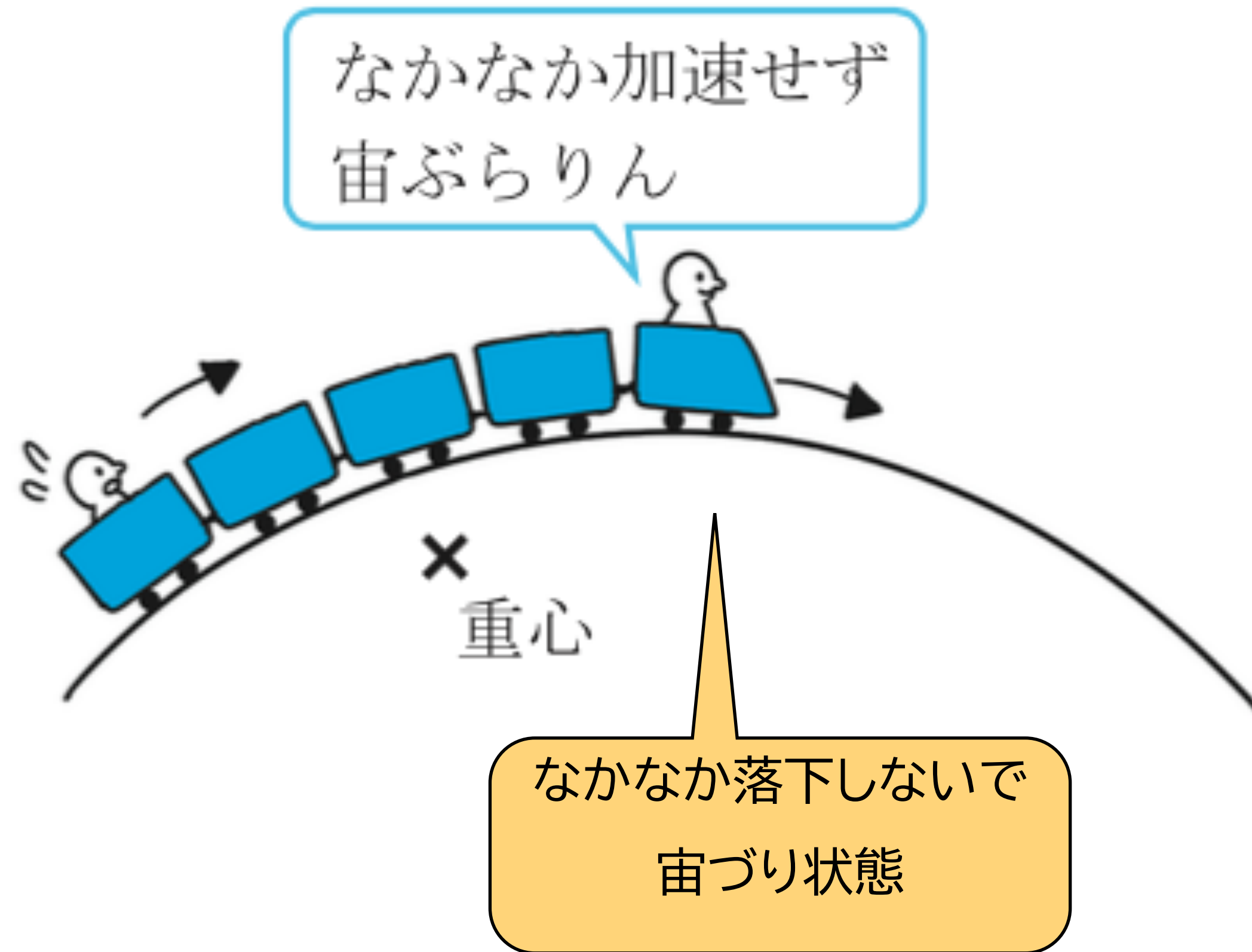
前はさえずりものがたくさんあって、フリスクリンク  
が楽しいから。

ジェットコースターがあまり得意ではないので、次おこす車への  
心の準備ができるよう 前のほうに座りたい派。

先生はジェットコースターは  
最前列派ですか、  
後列派ですか。



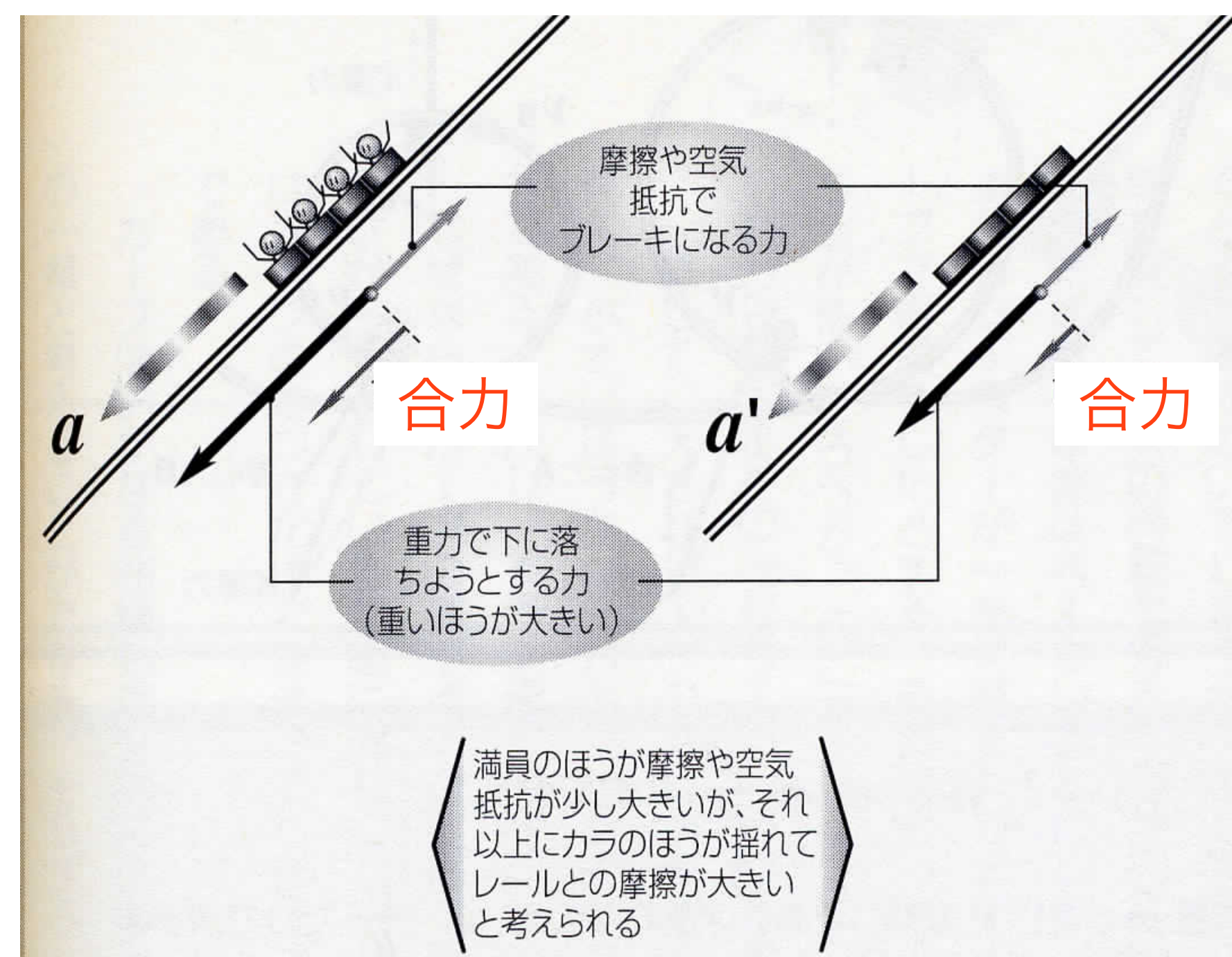
# 先頭と後ろ, どちらが怖い？





# 満員とガラガラ, どちらが怖い？

$mg + Mg$   
(台車+人)  
の重力



$mg$   
台車の重力

速度は加速度の大きさで決まる。  
加速度は力の和で決まる。

→ 摩擦や空気抵抗を考えるとすれば, 人数の多い  
ジェットコースターの方がスピードが出る。



# 先頭と後ろ, どちらが怖い?

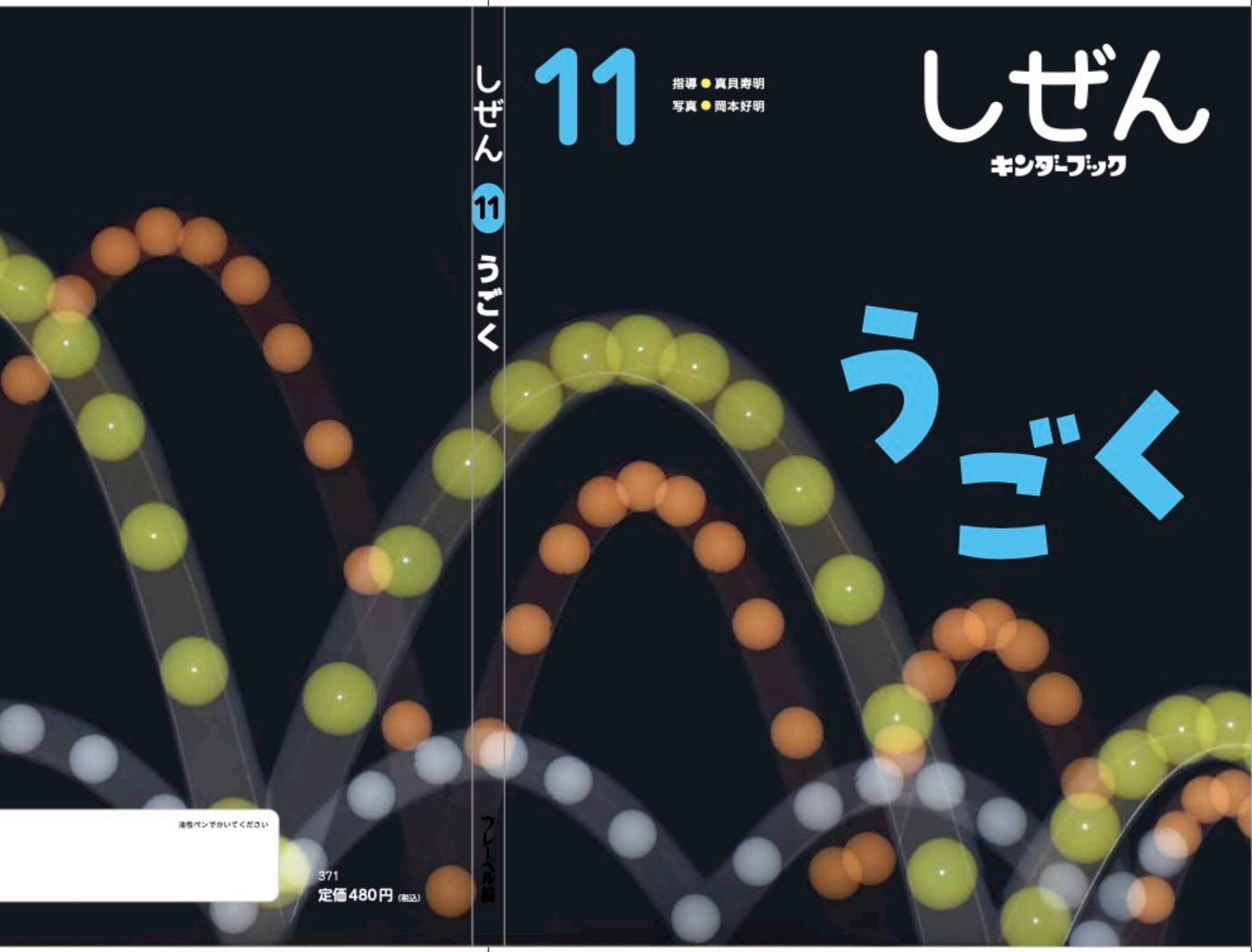


林先生が驚く初耳学 2015年8月16日放送

3分20秒



**キンダーブック**  
創刊94周年 フレーベル館の月刊保育絵本『キンダーブック』  
フレーベル館の月刊保育絵本 キンダーブック トップページ > しぜん キンダーブック



対象：4・5歳児

**しぜん**  
キンダーブック

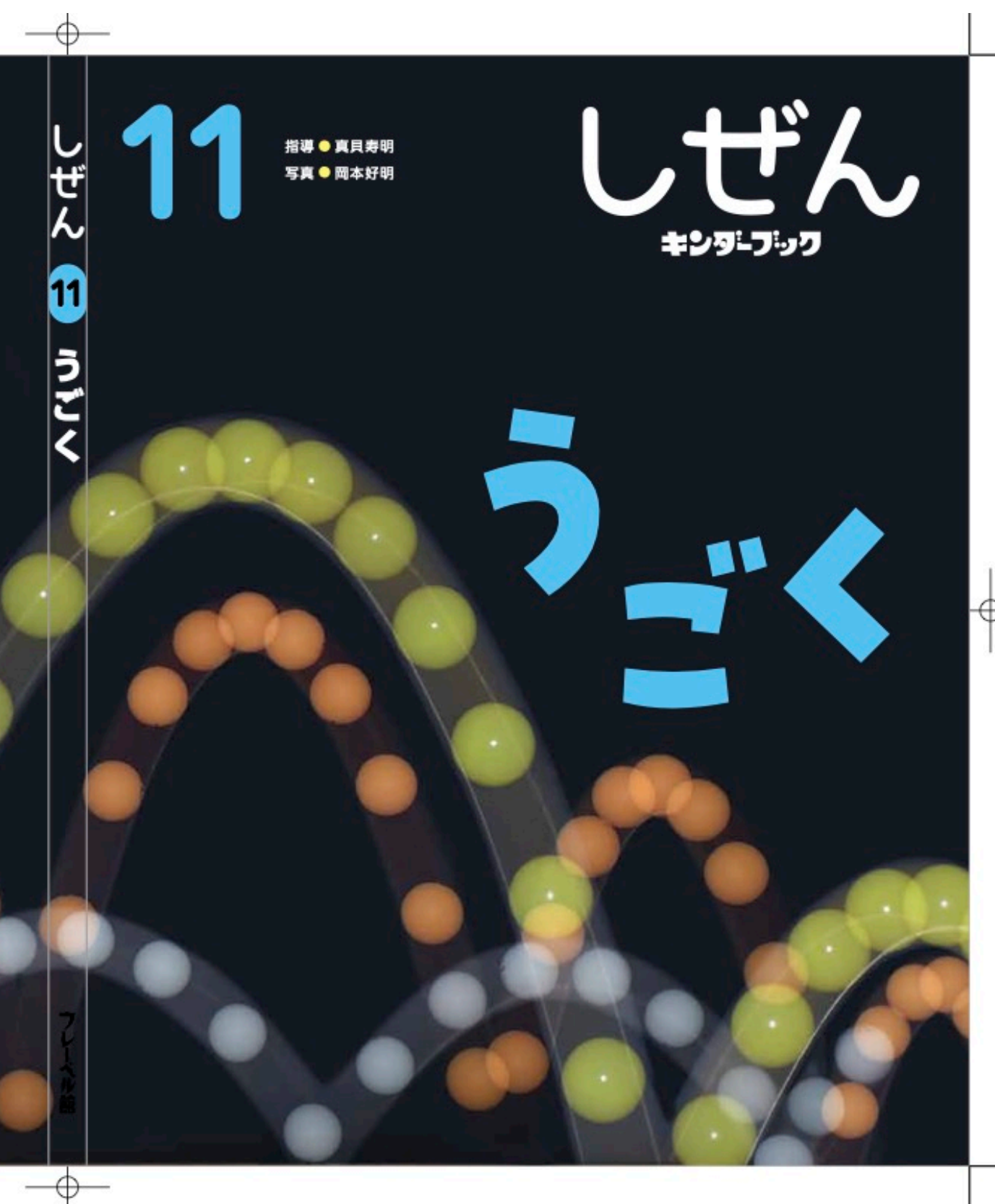
自然のしくみを伝え、子どもの「なぜ？」  
に答える科学絵本

定価 480円（税込）

[購入ページ](#)

[年間構成・内容／定期購読ページ](#)





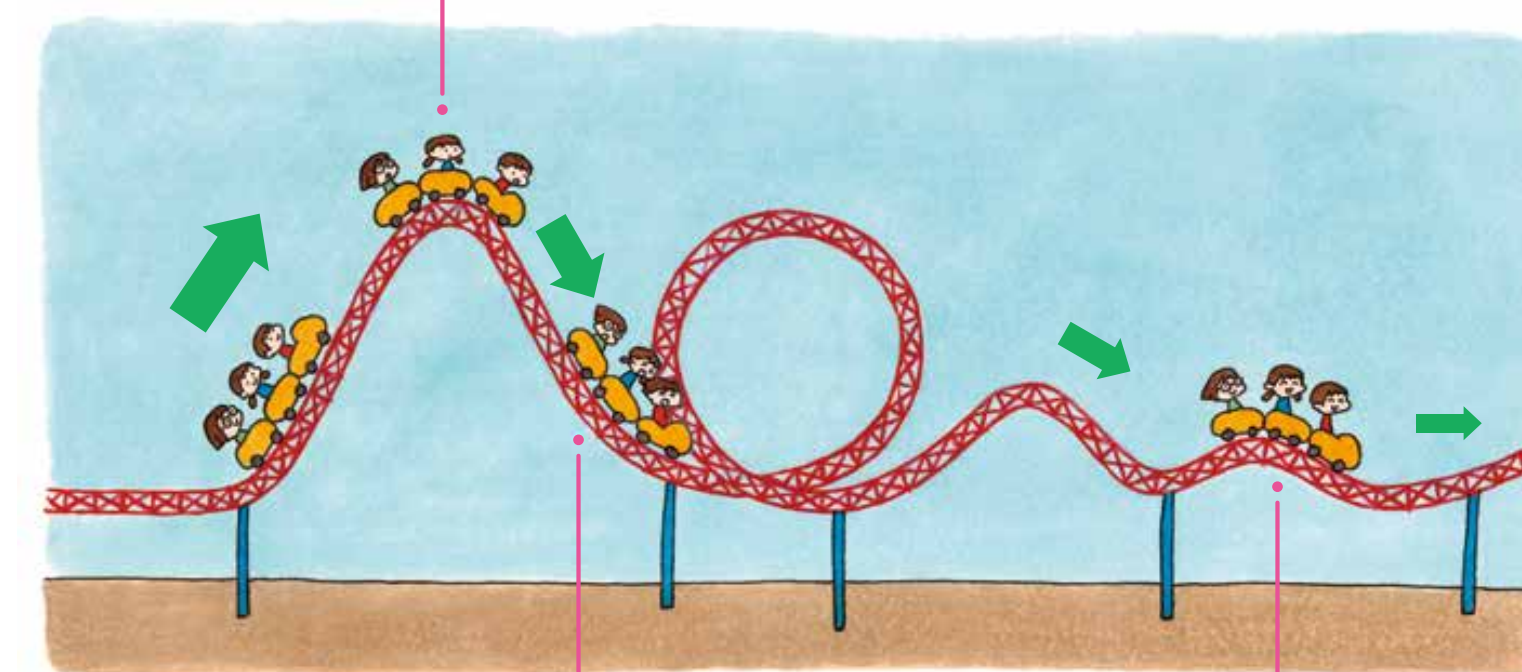
ジェットコースターで さかさに なっても  
えんしんりよくが はたらくので だいじょうぶ。

16

ジェットコースターには ほかに ひみつが あります。  
「たかさ」を「はやさ」に かえているのです。

### ジェットコースターの しくみ

- 1 チェーンなどで いちばん たかい ところに ひきあげる。  
たかい ところにある ものは  
ほかの ものを うごかす ちから (エネルギー) を もつ。



- 2 おちるにつれて、たかい ところでもっていた エネルギーが  
はやく うごく エネルギーに  
かわり、スピードが での。

- 3 のぼりおりを くりかえすうちに  
まさつて いきおいが  
よわまり とまる。

だから、ほとんどの ジェットコースターは  
さいしょの やまが いちばん たかくなっています。  
うごきの しくみを じょうずに つかっている  
のりものなんですね。

17



## ゆうめいな かがくしゃ

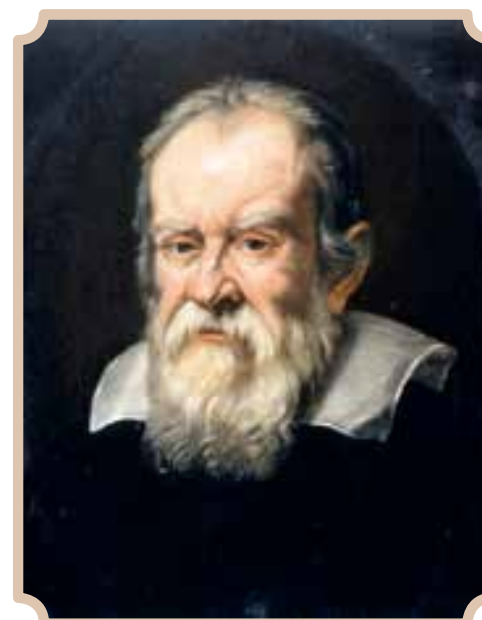
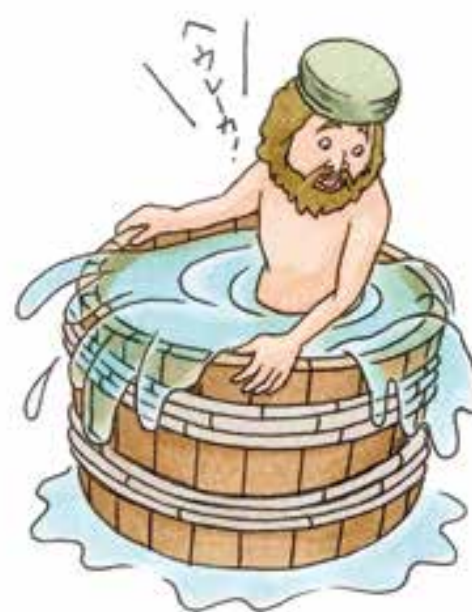
すごい はっけんを した ひとたちを  
しょうかいします。



## アルキメデス

ある き め で す  
(きげんぜん 287 ねんごろ～  
きげんぜん 212 ねん)  
ギリシャ

ある き め で す  
「アルキメデスの げんり」と いう  
ものが うく ちからの  
しくみを はっけんした。



## ガリレオ・ガリレイ

が り れ お が り れ い  
(1564～1642 ねん) イタリア

じぶんで つくった  
ぼうえんきょうで つきや わくせいを  
かんさつし、ちきゅうが  
たいようの まわりを  
まわっている ことを はっけんした。



## ニュートン

に ゅ う と ん  
(1642～1727 ねん) イギリス

りんごが きから おちるのを みて  
ばんゆういんりよくの ほうそくを  
はっけんした。



## もっと! うごくクイズ

みのまわりに かくれている しくみの  
クイズに ちょうせんしてみましょう。



1 バスが ひだりに まがる とき、  
なかの ひとは どちらむきに  
ちからを うける?

2 ジェットコースターは  
どこに のるのが  
いちばん こわい?

いちばん まえ、まんなか、  
いちばん うしろの ところが いちばん  
こわく かんじるかな?



3 カーリングで こおりを  
ごしごし こするのは なぜ?

カーリングは こおりの うえに  
ストーン (いし) を すべらせて きそう  
スポーツ。すべらせる ときに こおりを  
ブラシで こするのは どうしてかな?



こたえは さいごの ページを みてね。



おとなのための  
うごく講座

P.02～09 物体の運動と慣性の法則

物体がどう動いていくのかを説明するのが物理学です。動き方には、同じ速さで動いていく等速運動もあれば、速さが変化する加速運動や減速運動もあります。何も力が加わっていなければ、物体は止まったままだ、等速直線運動をします。

これは「慣性の法則」と呼ばれ、ガリレイが発見しました。だるま落としもハンカチ引きも、力を加えていない物体は、その位置に留まろうとすることをつかった遊びです。回転運動も同じです。回転するためにはきっかけとなる力が必要となります。

P.10～11 運動量保存則と角運動量保存則

物理法則には、一定の量が存在する、という法則もあります。ひとつめは運動量保存則で、「全体の運動量（質量と速度の積）は保たれる」というもの。おはじきが止まっているおはじきに正面衝突すると、それまで動いていたおはじきが止まります。ぶつかった瞬間に力がはたらいて、運動が伝わっていくのです。

回転運動では「全体の角運動量（半径と運動量の積）は保たれる」という角運動量保存則があります。これは、回転しているフィギュアスケーターが横に伸ばしていた手をからだにつけると高速に回転する原理です。

P.12～13 加速・減速と摩擦力

力がはたらくと、物体は加速・減速運動をしたり、向きを変えたりします。これがニュートンの「運動の法則」です。転がしたボールはいずれ止まりますが、これは摩擦力がはたらく減速運動です。摩擦力は物体の接触面の凹凸によって生じる力です。氷の上ですべりやすいのは、重みで氷がとけて水になり、接触面が動きやすくなるためです。摩擦がはたらかない理想的な場合を想定して慣性の法則を発見したガリレイの着想は画期的でした。

P.14～17 遠心力とエネルギー保存則

回転していると、外向きに力を受けるように感じます。この力を遠心力といいます。回転している速さが大き

いほど遠心力も強くなります。

エネルギー保存則は、「高いところにある位置エネルギーと、速度の大きさで決まる運動エネルギーの和はいつでも一定になる」という法則です。ジェットコースターは、始めは高いところへ引き上げられますが、あとはエンジンなしですべり降りるだけの乗り物です。ですから谷底では速く、山ではゆっくりになります。摩擦によって減速していくので、山の高さは次第に低くなっていきます。ジェットコースターで山を通過するとき、上に飛び出してしまうそうになるのは遠心力が原因です。

P.18～23 リンゴも月も万有引力で動く

リンゴが落ちるのを見て、万有引力を思いついたニュートンの逸話は、本人の自伝にある実話のようです。彼は、すべての物体どうしが引力を及ぼすことに考えを広げ、月が地球を回ること、地球が太陽を公転することが、同じ法則で説明できることを発見しました。互いに引っ張り合うなら、月はどうして地球にぶつからないのか、と質問されて、ニュートンは悩みました。そして、「月は地球に落ち続けているが、速度があるために、ぶつからずに一周できてしまう」と説明できることに気づきます。

おわりに

身のまわりの自然現象の裏には、物理法則があります。しかも、その法則は、指先の現象でも宇宙の現象でも共通です。親子でいつも「どうしてかな」と疑問をもって、観察や実験をしたり、共に悩んだりする時間が、子どもたちにとって貴重な経験になっていくことでしょう。（真貝寿明）

来月のテーマ

あめ

口に入れるとおいしさが広がる飴。飴の材料に欠かせない砂糖の不思議や、どうして固まるのか、なぜ舐めると溶けるのかななどの秘密に迫ります。ジュースで作る簡単な飴のレシピもあります。飴の甘～い世界をお楽しみに！



指導

真貝寿明 しんかい ひさあき

大阪工業大学教授。理論宇宙物理学研究者。ブラックホールや重力波を研究して、宇宙のしくみを解き明かすことに挑戦されています。物理のおもしろさを伝えたいと、ていねいにご指導いただきました。



写真

岡本好明 おかもと よしあき

物体の軌跡を写す特殊なストロボ撮影を、豊富な経験と知識で見事に実現してくださいました。真っ暗なスタジオでピンポン玉を落とし続け、シャッターを切り続けた成果は表紙に表れています。

写真●アフロ PIXTA NASA

制作・イラスト●kucci

デザイン●八木孝枝

※ 表紙、見返し、P.12-13のボールを転がす写真は同速度でシャッター撮影した写真を一枚に合成しています。

「やってみよう！」 こたえ

P.7 かいてんいすの じっけん

▶ あしを ゆかに つけずに まわす ことは できない  
回転運動はきっかけがないと始まりません。足を床につけて蹴らないと運動が始まらないので、足を床につけずに椅子を一回転することはできません。

P.13 まさつくらべ

▶ ボールが いちばん とまりやすいのは ③タオルの うえ  
すべりにくい＝抵抗が大きいものほど摩擦力が大きくなるので、③→②→①の順でボールは止まりやすい。

P.27 もっと！ うごくクイズ こたえ

① バスが ひだりに まがる とき、なかの ひとは どちらむきに ちからを うける？  
▶ なかの ひとは はんたいの みぎむきに ちからを うける

？ の こたえ

のっている くるまが  
ブレーキで とまると、  
からだは どうなる？  
→ 8～9ページを みてみよう！

うごいている ものが  
とまるのは なんの  
ちからが はたらくから？  
→ 12～13ページを みてみよう！

ニュートンは なにを みて  
ばんゆういんりよくを  
はっけんした？  
→ 26～27ページを みてみよう！

☺ このマークのところは、子どもたち自身が読んでより興味を深めるほか、おとなの方のことばかけの参考としておつかいください。

車が左に曲がっても、慣性の法則により、乗車している人はまっすぐに進もうとします。そのため、車内では右にからだが傾くようになるのです。

② ジェットコースターは どこに のるのが いちばん こわい？  
▶ いちばん うしろ

恐怖の感じ方には個人差がありますが、物理学的に解説すると、ジェットコースターが山を越えるとき、最減速するのはコースターの中心が最高地点に来たときです。うしろの人は加速しながら山を越えることになるので、怖さが増します。また、後部車両のほうがよく揺れるので安定性が悪く、その分怖いと考えられます。

③ カーリングで こおりを ごしごし こするのは なぜ？

▶ こおりが なめらかに なって、ストーンが すべりやすくなるから。  
氷をこすると表面がなめらかになり、摩擦が少なくなるのでストーンがよくすべります。また、ブラシでこすると熱が発生して氷の表面が溶け、水の膜ができるのでやはりストーンがすべりやすくなります。

しぜん  
キンダーブック

11月号  
うごく

第50集第8編 2021年11月1日発行

● この本は一般書店では販売しておりません。お申し込みは弊社オンラインショップ「つばめのおうち」へお願いします。⇒ [froebel-tsubame.jp](https://froebel-tsubame.jp)  
● 万が一不良本がございましたら、おとりかえいたします。

発行人 吉川隆樹  
編集人 長本 守  
企画編集 建石智子・藤咲明子・福本真紀子  
発行所 株式会社フレーベル館  
〒113-8611 東京都文京区本駒込6-14-9  
電話 編集／03 (5395) 6603  
営業／03 (5395) 6608  
印刷所 凸版印刷株式会社



本の紙で手などを切ることがあります。  
また投げたり振り回したりすると、  
思わぬケガや事故につながるがあるので、  
ていねいに扱いましょう。



「再生植物油インキ」を  
使用しています。



真貝寿明 様

【フジテレビ番組概要書】

取材依頼表

株式会社フジテレビジョン  
バラエティ制作センター  
『チャンハウス』

担当：宮井海名（Miyai Mina）

返信用 [TEL:080-1272-4292](tel:080-1272-4292)

返信用 MAIL:mina.miyai@with1.fujitv.co.jp

東京都港区台場 2-4-8 フジテレビオフィスタワー13 階

—取材依頼のご相談—

拝啓 ますますご清栄のこととお慶び申し上げます。

さて、このたび弊社運営の『チャンハウス』という番組内で雑学特集を企画しており  
雑学に関しまして聞き取り取材をお願いしたく、取材依頼書をお送りいたします。

下記内容について、ご検討賜りたくよろしくお願い申し上げます。

記

■掲載媒体：フジテレビ『チャンハウス』 10月12日（土） 11:00～11:50 放送予定

■企画概要：雑学を紹介する番組となります

■依頼内容：『ジェットコースターは前より後ろの方が怖い』を  
ご紹介したいのですが  
この雑学の正誤や、根拠を持ってご解説いただくことは可能でしょうか。

■場所：撮影等はございません。  
電話やメールでの聞き取りをもとに紹介させていただきたく存じます。

■日程：なるべく9月20日（金）までにご返答いただきたく存じます。

■取材スタッフ：ディレクター1名（メールまたは電話でのやり取りを希望いたします）

■謝礼・条件：取材謝礼のご用意はございません。  
番組内クレジット（協力）に記載をさせていただければと思います。

■ご不明点などございましたらお申し付けください

以上

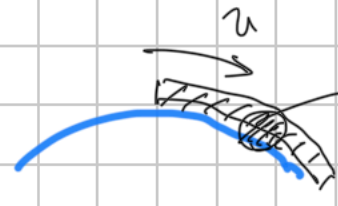
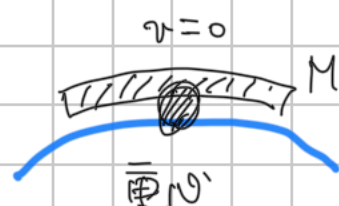
ジェットコースター

山を越えるコースターを考える



$r\theta = x$  とする  
( $x=10m, r=10m$  なら)  
 $\theta = 1 \text{ radian}$

全体の質量を  $M$  とする。全体の速さかは。  
重心の位置で決まる。



$r(1-\cos\theta)$   
下方。

簡単のため最上部で速度ゼロとすると。  
先端部が最高点に達したときの速度は

$$\frac{1}{2}Mv^2 = Mg r(1-\cos\theta) \quad \text{より}$$
$$v^2 = 2gr(1-\cos\theta)$$

質量  $m$  の乗客への遠心力  $m\frac{v^2}{r}$  は

$$m\frac{v^2}{r} = 2mg(1-\cos\theta)$$

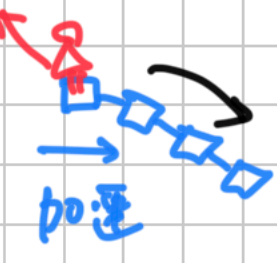
となり、体重  $mg$  の  $2(1-\cos\theta)$  倍になる。

$\theta = 1 \text{ radian}$  なら 0.92 倍

最高点での遠心力は  
同じでも。



前の人は  
減速し遠心力が。



後ろの人は遠心力が 増加

ジェットコースターの車両の長さや線路半径によって  
数値は変わるが、体重の10-20%に相当する  
遠心力の差は生じると考えられる。



# 運動量 = 質量 × 速度

## 定義 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、運動量を次のように定義する.

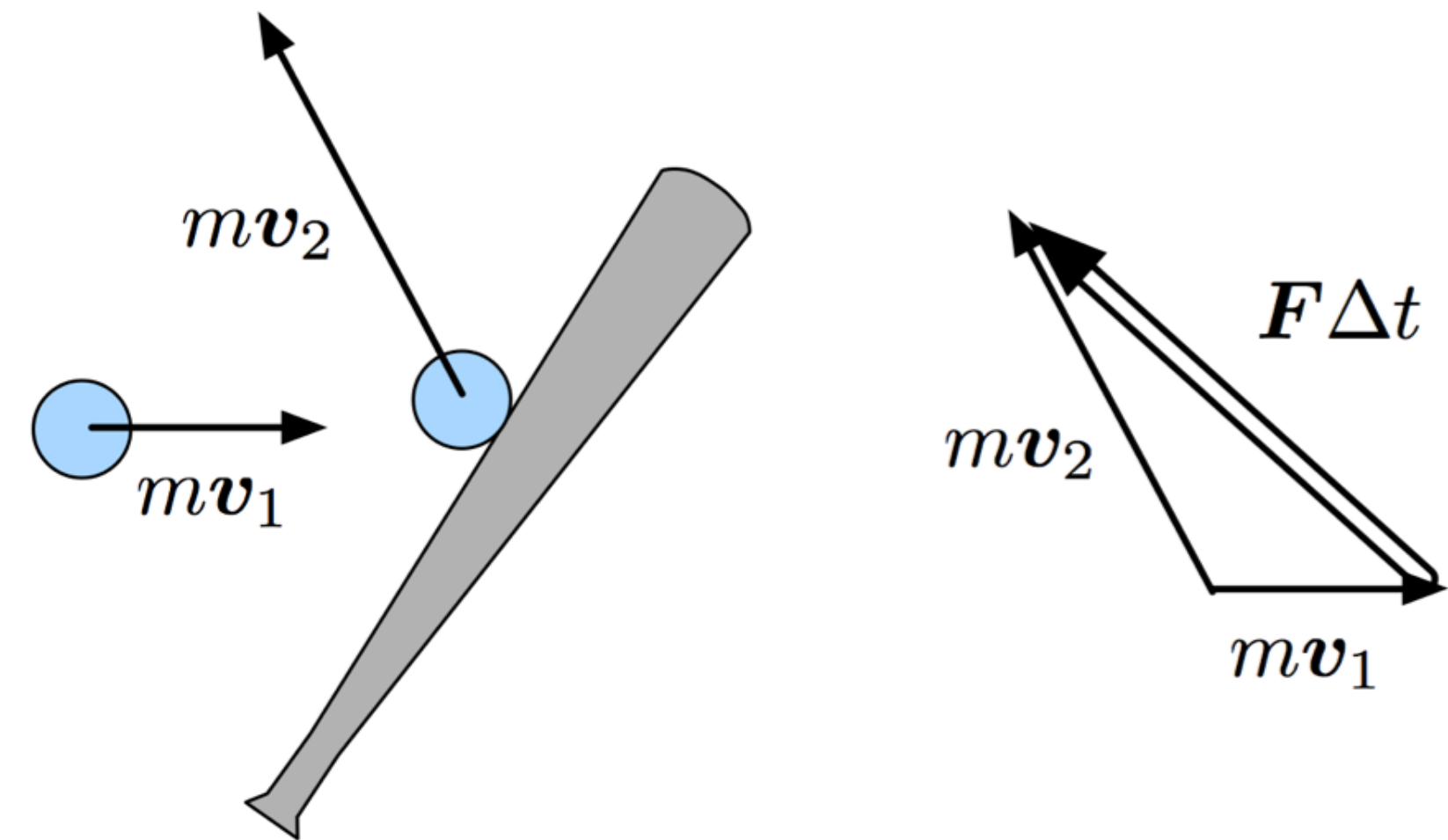
$$\boldsymbol{p} = m\boldsymbol{v} \quad (2.57)$$

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

- 物体に一定の力  $\boldsymbol{F}$  [N] を時間  $\Delta t$  [s] だけ作用させたとき、力積を次のように定義する.

$$\boldsymbol{I} = \boldsymbol{F}\Delta t \quad (2.58)$$

$$\text{力積 [Ns]} = \text{力 [N]} \times \text{時間 [s]}$$





# 運動量保存則(作用反作用の帰結)

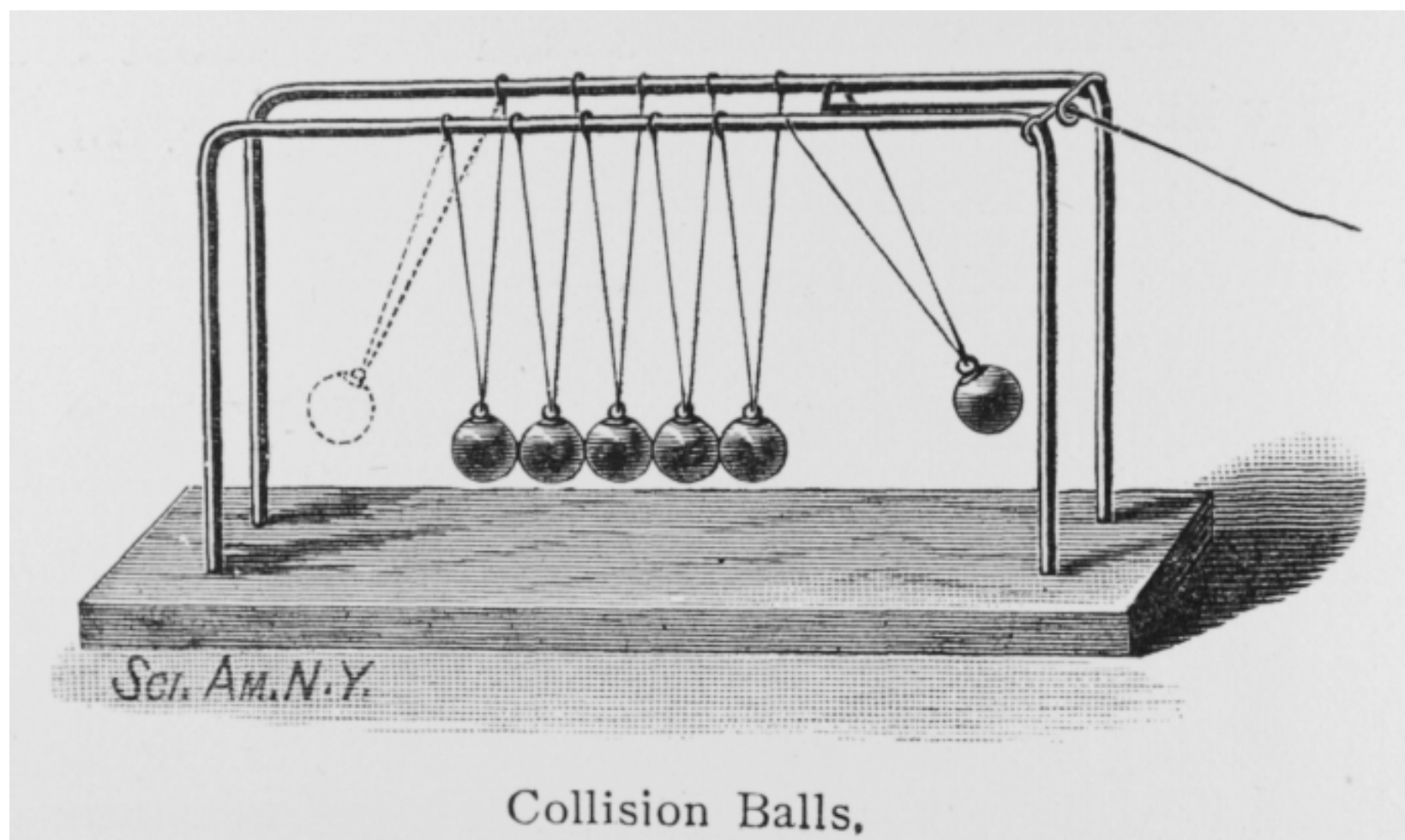
conservation law of momentum



Why science teachers  
should not be given  
playground duty.

**法則** 運動量保存則

二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．

$$m_A v_A + m_B v_B = m_A v'_A + m_B v'_B \quad (2.61)$$


Newton's Cradle

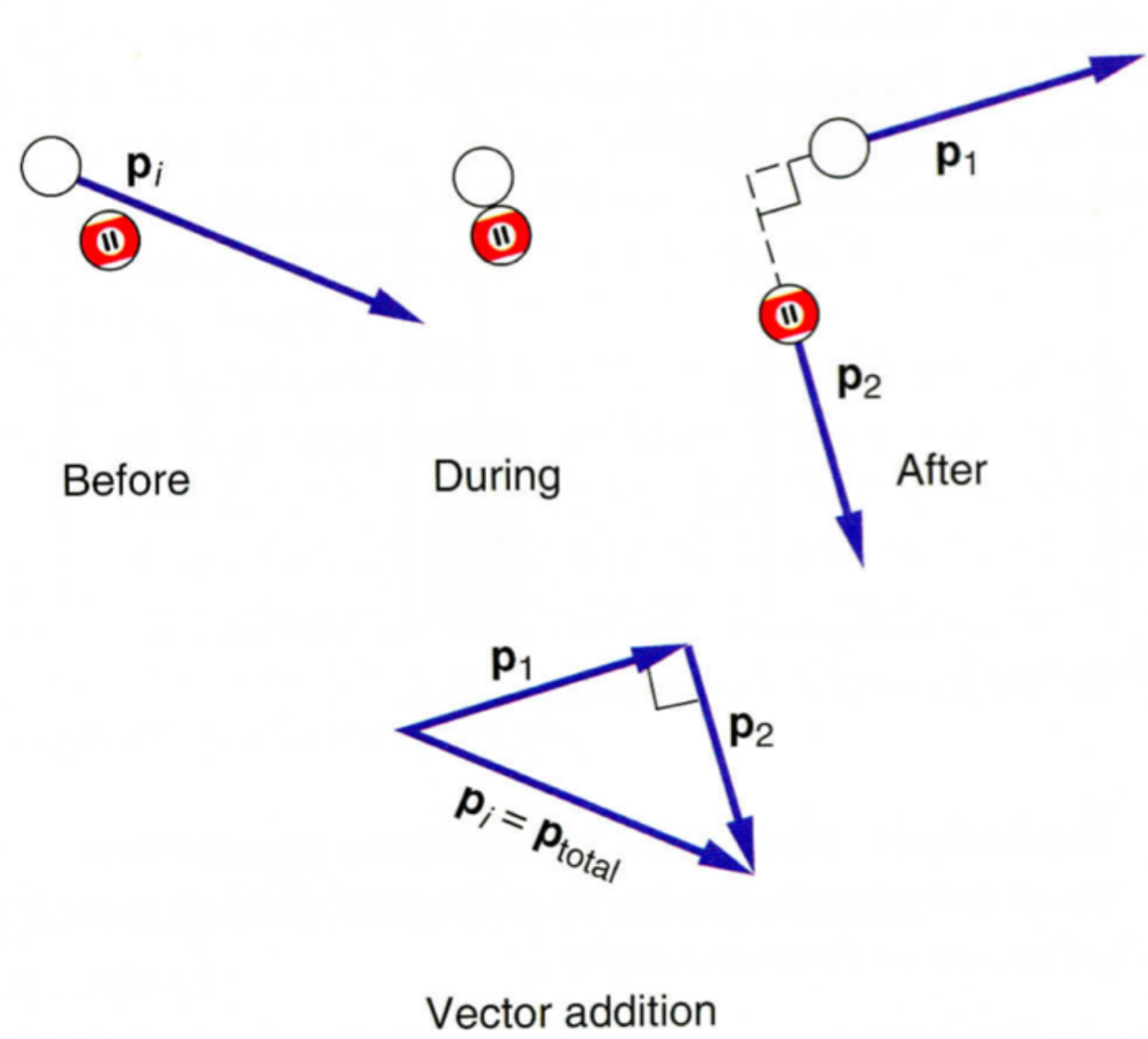
**Topic** ニュートンのゆりかご

「ニュートンのゆりかご」とよばれる実験装置がある．2個のボールをぶつけると反対側から2個のボールが飛び出し，3個のボールをぶつけると反対側から3個のボールが飛び出す．運動量保存則である．



# 運動量保存則(作用反作用の帰結)

conservation law of momentum



**figure 7.20** The momentum vectors of the two balls after the collision add to give the total (initial) momentum of the system. The paths of the two balls are approximately at right angles after the collision.

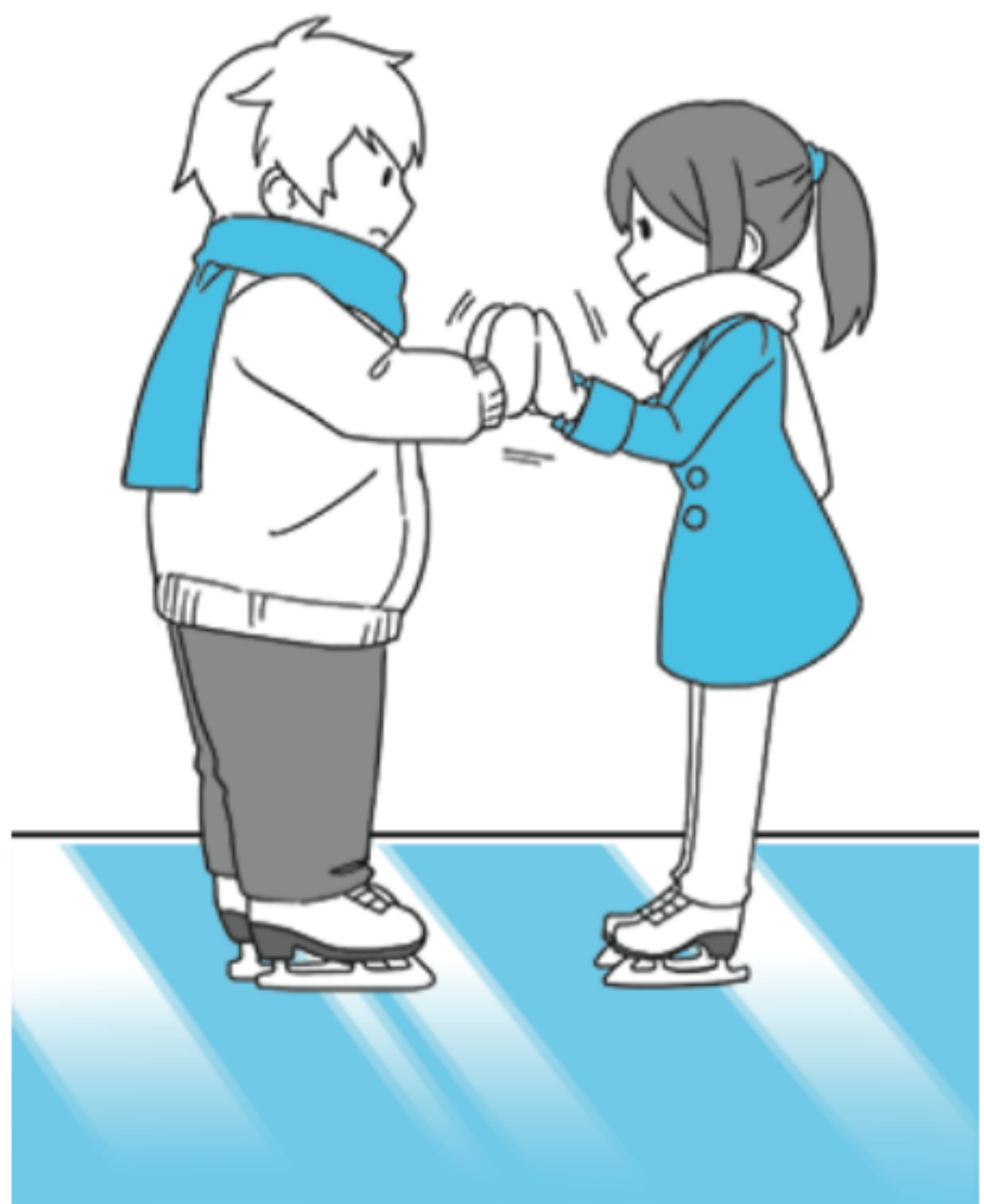


図 2.23: 〔左〕 ビリヤードの球の衝突前後で, 全運動量は保存する. 〔右〕 体重の違う氷の上の 2 人が互いに力を入れて押すと ?



問題 次元大介とゴルゴ 13 と天才バカボンに登場する警察官、いずれも著名なスナイパーだが、物理学的に正しい図はどれか。



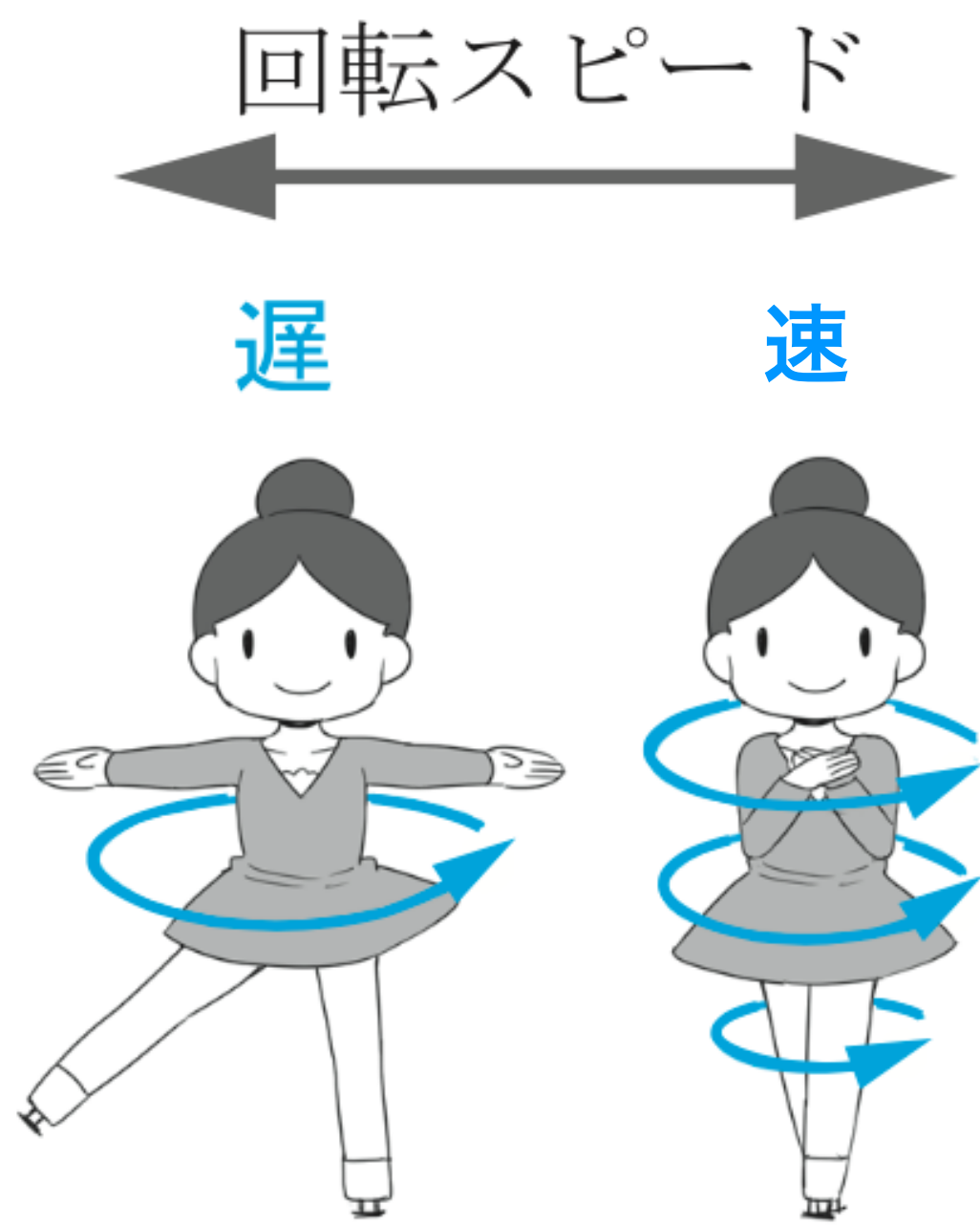
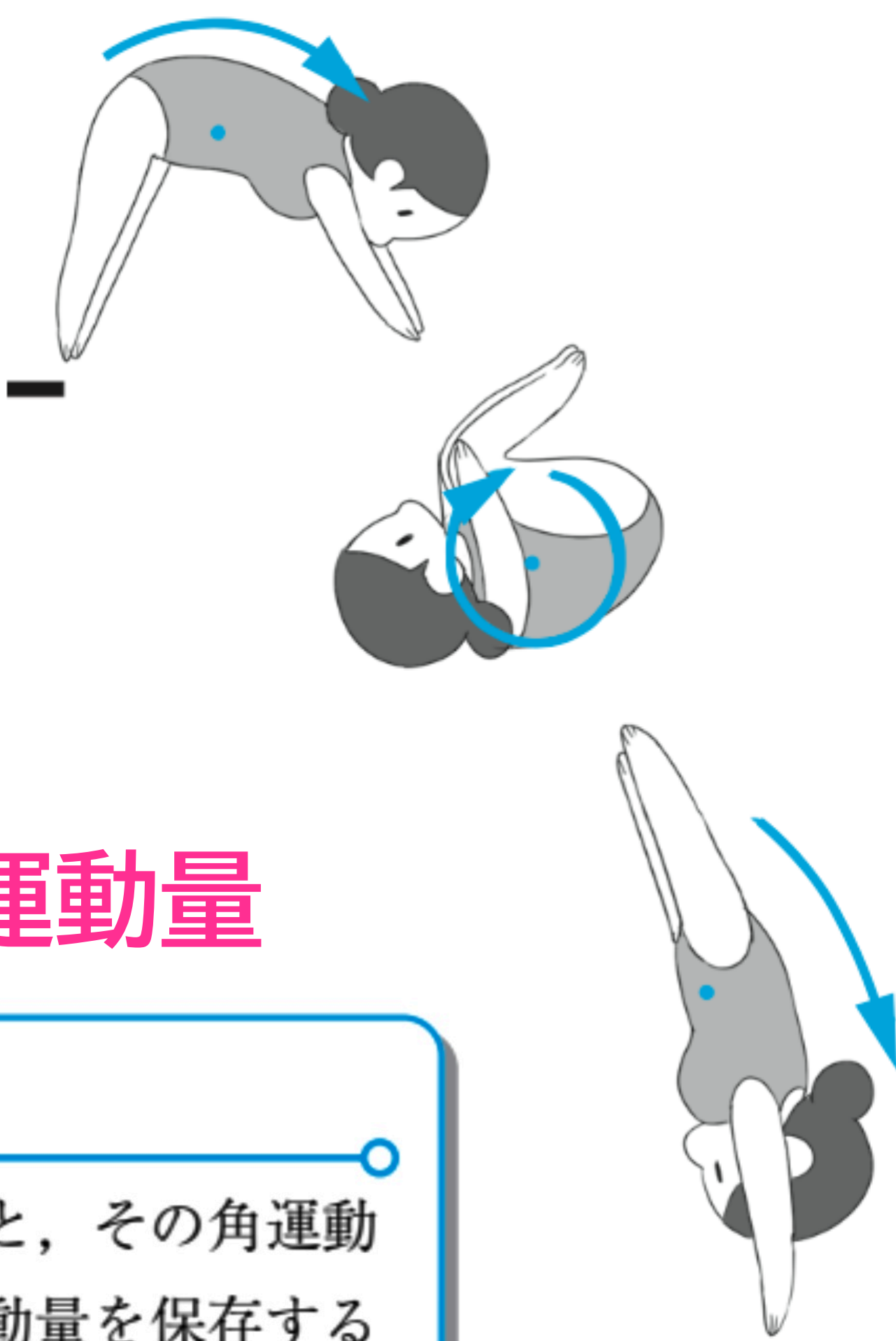
反作用を考えた、正しい銃の持ち方





# 角運動量は保存する

conservation law of angular-momentum



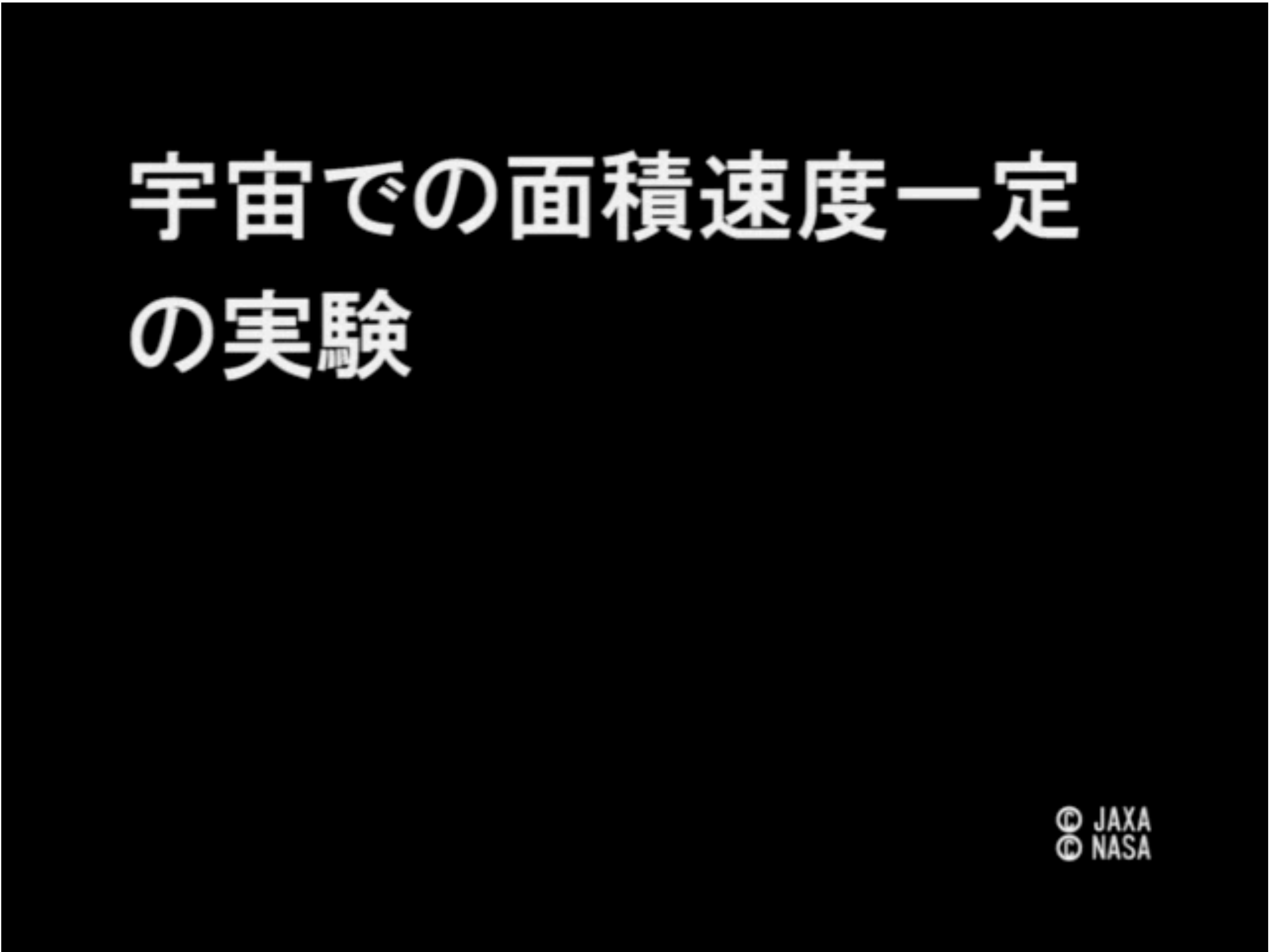
角運動量 = 回転半径 x 運動量

**法則** 角運動量保存則

回転させるために、初めに角運動量を与えると、その角運動量は保存する（回転運動している物体は、角運動量を保存するように運動する）。



# 角運動量は保存する



宇宙での面積速度一定の実験 (数研出版 物理図録 p.39)











〔4-1〕(本日の講義から)

運動を考えると、運動方程式と保存則(エネルギー保存則・運動量保存則など)の2つの考え方があるが、これらの違いは？

〔4-2〕(次回のネタ)身の回りで、遠心力を利用している道具の例を挙げよ

〔4-3〕(次回のネタ)ゆでた卵は、ゆでていない卵よりも回転する。その理由は？

〔4-4〕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)