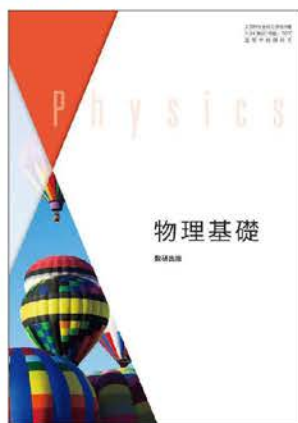


# ダイジェスト版

物基/707

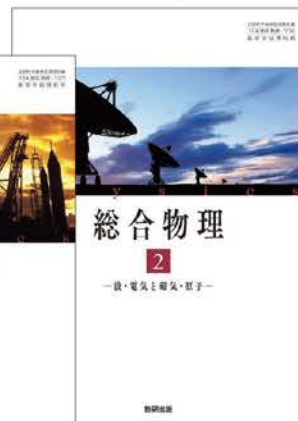


物理/706



物理/707

物理/708



## 教科書『物理基礎』

- 1 教科書の特徴
- 8 教科書紙面の紹介
- 63 『物理基礎』『新編 物理基礎』教科書2点比較

## 教科書『物理』

- 65 教科書の特徴
- 66 教科書紙面の紹介

## 教科書『総合物理』

- 96 教科書の特徴
- 98 教科書紙面の紹介
- 118 QRコンテンツ一覧
- 122 著作者・編集協力者/授業時間配分表
- 124 教授資料
- 134 副教材
- 135 Studyaid D.B.
- 136 デジタル教科書/デジタル副教材



教科書の詳細は  
こちら！



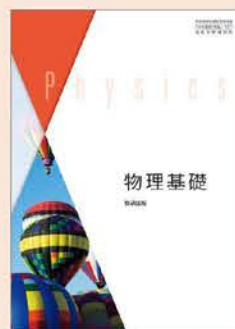
紹介動画は  
こちら！

# 数研出版の物理教科書



紹介動画は  
こちら！

新課程用  
(低学年用)



	物理基礎	新編 物理基礎
特徴	学びやすく, 「自ら考える力」を養える教科書	日常生活とのつながりを感じながら, 無理なく基本が身につく教科書
基本情報	物基/707 A5判・296ページ+折込付録	物基/708 B5判・216ページ+折込付録

新課程用  
(高学年用)



	物理	総合物理
特徴	学びやすく, 「自ら考える力」を養える教科書	高校物理が系統的に学べる教科書
基本情報	物理/706 A5判・456ページ	物理/707, 708 A5判・280ページ, 368ページ+折込付録

## 教科書『物理基礎』の特徴

詳しくは次のページから

POINT

1 「主体的・対話的で深い学び」を実現

POINT

2 つまずき解消のための工夫が充実

POINT

3 数学知識を手厚くフォロー

POINT

4 実験を通じて学びを深めます

POINT

5 知識を活用する「力」を養います

## 新課程数研理科教科書の新たな試み！

QRコンテンツで、新たな学びへ！ **NEW!**

紙面のQRコードからアクセス可能なQRコンテンツが合計**153**点

QRコンテンツの場所には  
Linkアイコンを配置

紙面右下の  
QRコードから  
タブレットや  
スマートフォンで  
手軽にアクセス!

→コンテンツの内容など詳しくは、本冊子**118**~**119**

教科書の解説動画をご用意します！ **NEW!**

- 自学自習をサポートします。
- 反転学習にも活用できます。
- 対面授業が難しい状況下でも  
学習が進められます。

各単元の解説動画 41本  
例題の解説動画 30本

教科書の解説動画のイメージ画面

力のつりあい  
力の分解  
1つの力はいくつかの力に分けることができる  
→ 分力 という

$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

サンプルはこちら!▲

→ご利用方法など詳しくは、本冊子**125**



## POINT1 「主体的・対話的で深い学び」を実現

●生徒が「目標」を意識し、見通しをもって学ぶことができます。

### 1 速度

普段のペースで1分間歩くと、あなたは何m進むだろうか。  
この節では、物体の運動を表すときに基本となる量「速度」について理解しよう。

#### A 速さ

①速さ 運動する物体の「速い」「遅い」を比較するには、同じ時間内でどれだけ移動したかを調べるとよい。そこで、単位時間当たりの移動距離

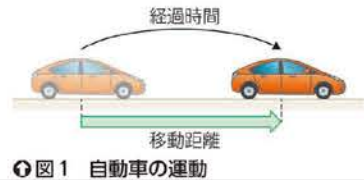


図1 自動車の運動

#### 単元冒頭の「目標」

「身近な話題+学習目標」により、目的意識をもって主体的に学習が始められます。 **NEW!**

▲p.12 「速度」の単元の冒頭(→本冊子16)

#### 学んだことを説明してみよう

### 1 速度

- (1) 速さ 10m/s の等速直線運動をする物体は、時間とともにどのように進むか。
- (2) 東向きに 50km/h の速さで走る自動車の前方に、バスが東向きに 30km/h の速さで走っている。自動車から見てバスはどのように進むように見えるか。

▲p.24 「速度」の単元末(→本冊子22)

#### 単元末の「学んだことを説明してみよう」

学んだことを自分の言葉で説明することで、「何を理解できたのか」を振り返ることができます(解答例は巻末に掲載)。 **NEW!**

## ●表現活動をサポートする記事

「物理をわかりやすく表現する」を新たに掲載しました。 **NEW!**

### 論理的な文章を書く

#### ●科学的な根拠を意識しよう

物理では、個人の主観ではなく、法則や実験データなどに基づいて、「科学的」に説明することが求められる。科学的な根拠がなければ、どんなに趣のある文章であっても、物理においてはよい文章とはいえない。物理に関する文章を書くときには、次のことを特に意識してみよう。

関係する物理の法則や現象があれば、それを明示しているか?

Q. 電車が急進すると、乗客は進行方向と逆向きに倒れそうになる。その理由を答えよ。

A.  乗客が踏ん張りきれずに、バランスを崩してしまったから。

慣性の法則により、乗客はその場に静止し続けようとするから。

量の変化(増える、減るなど)は、数式に基づいて述べているか?



▲後見返し(→本冊子60)

## POINT2 つまづき解消のための工夫が充実

●理解を助ける補足囲みにより、自学自習をサポートします。

④加速度が負の場合 小球を斜面にそって上向きに転がす運動を考える。斜面にそって上向きに  $x$  軸をとると、初め小球の速さは減少するため、加速度は負である。やがて時刻  $t_1$  で速度が 0 になると、今度は負の向きに進むようになる。このとき負の向きに速さが増加するため、加速度は負である。

#### 「注意」囲み

生徒が誤解しやすい点に注意喚起しました。 **NEW!**

「[加速度が負] →「速さが減る」とは限らない。」 **注意**

▲p.32(→本冊子26)

#### ●m/s → km/h の換算例

「台風の中心付近の風速 30m/s」  
(1秒間に 30m 進む速さ)

1時間に、 $30\text{m} \times 3600 = 108000\text{m}$  進むから、速さは 108km/h

単位間の関係を用いる。 **Point**  
1km = 1000m  
1h = 60 × 60s = 3600s

▲p.13(→本冊子17)

#### 「Point」囲み

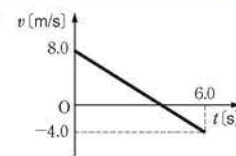
基礎知識をこまめに補足しました。 **NEW!**

●「例題+類題」がさらに取り組みやすくなりました。

#### 例題3 等加速度直線運動のグラフ

図は、 $x$  軸上を等加速度直線運動している物体が、原点を時刻 0s に通過した後の 6.0 秒間の速度と時間の関係を表す  $v-t$  図である。

- (1) 物体の加速度  $a$  [m/s<sup>2</sup>] を求めよ。
- (2) 物体が原点から最も速ざかるときの時刻  $t_1$  [s] と、その位置  $x_1$  [m] を求めよ。
- (3) 6.0 秒後の物体の位置  $x_2$  [m] を求めよ。
- (4) 経過時間  $t$  [s] と物体の位置  $x$  [m] の関係をグラフに表せ。



指針  $v-t$  図の傾きは加速度を表す。また、 $v-t$  図の面積から変位が求められる。

解 (1)  $a$  は、 $v-t$  図の傾きで表されるので

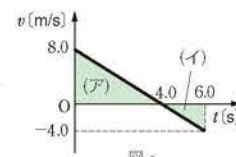
$$a = \frac{(-4.0) - 8.0}{6.0 - 0} = \frac{-12.0}{6.0} = -2.0 \text{ m/s}^2$$

(2) 速度が 0m/s となるとき、物体は最も速ざかる。「 $v = v_0 + at$ 」(p.30(13)式)より

$$0 = 8.0 + (-2.0) \times t_1$$

よって  $t_1 = 4.0\text{s}$

$x_1$  は、図 a の (ア) の面積に等しいので



「最も速ざかるとき」→速度 0 (それ以上、先には進まない)

#### 「指針」

「指針」を新設し、解法の要点をつかみやすくしました。 **NEW!**

#### 「補足説明囲み」

生徒が疑問に感じやすい点を、ピンポイントで補足しました。 **NEW!**

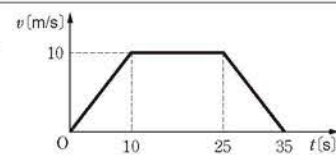
#### 「ヒント」

例題とのつながりが、スムーズになりました。 **NEW!**

#### 類題3 図は、エレベーターが上昇するとき

速度と経過時間の関係を表す  $v-t$  図である。

- (1) この運動の、加速度と経過時間の関係を表す  $a-t$  図をつくれ。
- (2) エレベーターが 35 秒間に上昇した高さ  $h$  [m] を求めよ。



ヒント グラフの縦軸は、エレベーターの高さではなく、速度  $v$  であることに注意する。

▲p.34(→本冊子28)



●新設した「特集」, 「ドリル」で, つまずきを解消します。

特集「力学的エネルギー保存則の立て方」

3ステップで分かりやすく解説。NEW!

### 特集 力学的エネルギー保存則の式の立て方

**Step 1** 力学的エネルギー保存則が成り立つか確認する。  
条件: 物体に保存力(重力や弾性力など)だけがはたらくとき, または保存力以外の力(垂直抗力や糸が引く力など)ははたらいても仕事をしない(仕事が0)のとき

**Step 2** 2つの場所のエネルギーを書きだす。

点	運動エネルギー	重力による位置エネルギー
A	0	mgh
B	$\frac{1}{2}mv^2$	0

**Step 3** 力学的エネルギー保存則の式を立てる。

$$0 + mgh = \frac{1}{2}mv^2 + 0$$

運動エネルギー  $K = \frac{1}{2}mv^2$     重力による位置エネルギー  $U = mgh$  (基準水平面を明確に)    弾性力による位置エネルギー  $U = \frac{1}{2}kx^2$

▲p.112 (→本冊子 48)

▲p.113 (→本冊子 49)

反復演習コーナー「ドリル」

つまずきやすい内容は, 反復演習で定着。「相対速度」「力の見つけ方」など全7か所掲載。NEW!

### ドリル 等加速度直線運動の式

物理の問題では, 起こっている現象を考えずに, いきなり式を立てようとしてはいけません。問題文をていねいに読み, 状況を把握した上で, 式や法則を用いることが大切です。

**Step 1** 問題文から物理量を読み取る(状況を図に表すとよい)。

$v_0 = 4.0 \text{ m/s}$   
物体が, 右向きに  $4.0 \text{ m/s}$  の速さで原点を通過したのち, 左向きに  $0.50 \text{ m/s}^2$  の一定の加速度で運動した。原点を通過してから  $3.0$  秒後の物体の速度はどの向きに何  $\text{m/s}$  か。  
 $a = -0.50 \text{ m/s}^2$      $t = 3.0 \text{ s}$      $v$  (求めたい量)

**Step 2** 問題文に出てくる物(時間)に式を代入する。

時間  $t$  を含む → 速度  $v$  を含む → ①  $v = v_0 + at$   
時間  $t$  を含む → 変位  $x$  を含む → ②  $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$   
時間  $t$  を含まない → ③  $v^2 = v_0^2 + 2ax$

**Step 3** 符号に注意して式に代入する。

**問題** x軸上等加速度直線運動する物体について, 次の問いに答えよ。  
(1) 加速度が正の向きに  $1.5 \text{ m/s}^2$  とする。正の向きに  $2.0 \text{ m/s}$  の速さで原点を通過してから  $4.0$  秒後の速度はどの向きに何  $\text{m/s}$  か。

**問題文には, 物体の運動を知るために必要な情報が書かれています。次のような表現に注意しましょう。**  
「静止していた物体が動き始めた」 → 初速度は 0  
「物体が停止した」 → 最終的な速度が 0  
「物体がもとの位置にもどった」 → 物体の変位は 0

**問題 b** x軸上等加速度直線運動する物体について, 次の問いに答えよ。  
(1) 静止していた物体が下の向きに  $5.0 \text{ m/s}^2$  の加速度で動き始めた。速度が正の向きに  $16 \text{ m/s}$  となるまでの時間は何秒か。  
(2) 加速度が負の向きに  $1.2 \text{ m/s}^2$  のとき, 原点を通過してから  $5.0$  秒後の速度が負の向きに  $2.0 \text{ m/s}$  となった。初速度はどの向きに何  $\text{m/s}$  か。

**問題 c** x軸上等加速度直線運動する物体について, 次の問いに答えよ。  
(1) 正の向きに  $10 \text{ m/s}$  の速さで原点を通過してから,  $4.0$  秒間で  $60 \text{ m}$  進んだ。この運動の加速度はどの向きに何  $\text{m/s}^2$  か。  
(2) 正の向きに  $20 \text{ m/s}$  の速さで原点を通過してから  $5.0$  秒後にもとの位置にもどった。この運動の加速度はどの向きに何  $\text{m/s}^2$  か。

**問題 d** x軸上等加速度直線運動する物体について, 次の問いに答えよ。  
(1) 正の向きに  $4.0 \text{ m/s}$  の速さで原点を通過してから  $16 \text{ m}$  進んだ所で停止した。この運動の加速度はどの向きに何  $\text{m/s}^2$  か。  
(2) 正の向きに  $5.0 \text{ m/s}$  の速さで原点を通過した物体が, 負の向きに  $4.0 \text{ m/s}^2$  の加速度で運動し, やがて速度は負の向きに  $3.0 \text{ m/s}$  になった。この間の変位はどの向きに何  $\text{m}$  か。

▲p.36~37 (→本冊子 30~31)

POINT3 数学知識を手厚くフォロー

●数学の学習進度に応じた柔軟な指導を可能にしました。

### 例題 7 力のつりあい①

軽い糸1に重さ(重力の大きさ)  $10 \text{ N}$  の小球をつけ, 天井からつるす。小球を軽い糸2で水平方向に引き, 糸1が天井と  $30^\circ$  の角をなす状態で静止させた。糸1, 糸2が小球を引く力の大きさ  $T_1 [\text{N}]$ ,  $T_2 [\text{N}]$  をそれぞれ求めよ。

**指針** 糸1が引く力を水平方向と鉛直方向に分解する。

**解** 鉛直方向の力のつりあいより  
 $T_1 \sin 30^\circ - 10 = 0$   
よって  $T_1 = 20 \text{ N}$   
水平方向の力のつりあいより  
 $T_2 - T_1 \cos 30^\circ = 0$   
よって  $T_2 = 20 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 17 \text{ N}$

**別解** 2本の糸が引く力の合力が重力とつりあう。直角三角形の辺の長さの比より  
 $T_1 : 10 = 2 : 1$   
よって  $T_1 = 20 \text{ N}$   
 $T_2 : 10 = \sqrt{3} : 1$   
よって  $T_2 = 10\sqrt{3} \approx 17 \text{ N}$

「三角比」への配慮  
数学の進度に配慮し, 三角比  $\sin, \cos$  を用いた解法に加え, 三角比を使わない解法を別解として掲載。  
NEW!  
「ベクトル」へのフォローも万全  
数学Cに移行したベクトルの内容も2ページ分にわたって, しっかりフォローしています。

▲p.63 (→本冊子 37)

### 参考 ベクトルの扱い方

「速度」「変位」そして後で学ぶ「加速度」「力」のように, 大きさと向きで定まる量をベクトルという。ここでは, 物理現象を理解する上で役に立つ数学の知識, ベクトルの基本について確認しよう。

**ベクトルの表し方**  
ベクトルは, その大きさに相当した長さの矢印をその向きに合わせた図で表す。また, 文字と矢印を用いて,  $\vec{a}$  のように表す。ベクトル  $\vec{a}$  の大きさは,  $|\vec{a}|$  などと表される(図A)。  
2つのベクトル  $\vec{a}, \vec{b}$  の向きが同じで大きさも等しいとき, これらは等しいといひ,  $\vec{a} = \vec{b}$  と書く。また,  $\vec{a}$  と大きさが等しく向きが反対のベクトルを,  $\vec{a}$  の逆ベクトルといひ,  $-\vec{a}$  で表す。  
大きさが0のベクトルを零ベクトル(またはゼロベクトル)といひ,  $\vec{0}$  と表す。零ベクトルの向きは考えない。

**ベクトルの和**  
 $\vec{a}, \vec{b}$  を合成したベクトルは,  $\vec{a}, \vec{b}$  を隣りあう辺とする平行四辺形の対角線によって表される。これを平行四辺形の法則といひ(図B), 合成したベクトルを  $\vec{a} + \vec{b}$  で表し, これを  $\vec{a}$  と  $\vec{b}$  の和といひ。  
**ベクトルの差**  
 $\vec{b}$  の向きを反対にしたベクトルを,  $-\vec{b}$  と書く。 $\vec{a}$  と  $\vec{b}$  の差  $\vec{a} - \vec{b}$  は,  $\vec{a} + (-\vec{b})$  と同じである(図C)。

**ベクトルの分解と成分**  
1つのベクトル  $\vec{a}$  をいくつかのベクトルに分けることを, ベクトルの分解といひ。  
ベクトルの分解方法は何通りもあるが, 互いに垂直なx軸, y軸方向に分解することが多い。それぞれの方向に分解されたベクトル  $\vec{a}_x, \vec{a}_y$  の大きさを, 向きを表す正・負の符号をつけた値  $a_x, a_y$  を, それぞれx成分, y成分といひ(図D)。ベクトルは成分を用いて  $\vec{a} = (a_x, a_y)$  のように表すことができる。ベクトル  $\vec{a} = (a_x, a_y)$  の大きさ  $|\vec{a}|$  は, 図Dの直角三角形について, 三平方の定理を用いることにより  $|\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$  となる。また, ベクトルの成分を用いると, ベクトルの和を求めることができる。  
 $\vec{a} = (a_x, a_y), \vec{b} = (b_x, b_y)$  の和  $\vec{a} + \vec{b}$  の成分は, それぞれ各成分の和で求められる。つまり,  $\vec{a} + \vec{b} = (a_x + b_x, a_y + b_y)$  となる。

**問題** 図のベクトル  $\vec{a}, \vec{b}$  について, 次の問いに答えよ。  
(1) 各ベクトルのx成分, y成分をそれぞれ求めよ。  
(2) 各ベクトルの大きさをそれぞれ求めよ。  
(3) ベクトル  $\vec{a} + \vec{b}$  のx成分, y成分を求めよ。  
(4) ベクトル  $\vec{a} + \vec{b}$  の大きさを求めよ。

▲p.20~21 (→本冊子 20~21)



## POINT4 実験を通じて学びを深めます

- 実験を、デジタルコンテンツや教授資料でトータルにサポートします。

**実験1 斜面を降下する台車の運動**

**目的** 記録タイマーを用いて、斜面上の台車の運動を調べる。

**見方・考え方** 物体の速度と時間の関係について考える。

**準備**  
力学台車、板、記録タイマー(図A)、記録用の紙テープ、フッシャ(ぞうきんなど)、方眼紙、ものさし

**手順**

- ① 紙テープの端を斜面(傾き10°程度)の上端付近に固定した記録タイマーに通し、台車の後部に取り付ける。
- ② 記録タイマーのスイッチを入れてから、台車を降下させる。
- ③ 打点された紙テープについて、動き始めたのははっきりとした打点を基準点(時刻0)に定めて一定の打点間隔(例えば5打点)で基準点からの長さをはかる。
- ④ 各区間の平均の速さを求め(→次ページ 参考)、横軸に時間、縦軸に台車の速さをとったグラフをかく。

**考察** 台車の速さと時間の間にはどのような関係があるだろうか。



実験映像を  
完備しています

すべての実験に映像をご用意。  
紙面のQRコードから。

NEW!



サンプルは  
こちら!

▲p.28 (→本冊子24)

- 実験手法の扱いを丁寧にし、「探究」をサポートします。

**参考 記録タイマーと運動の分析**

**記録タイマー**  
記録タイマーは、一定の時間間隔で記録用の紙テープに点を配す(打点する)装置である(図A)。打点間隔が、時間間隔ごとの移動距離に対応する。

**運動の分析**  
図Bのように、紙テープに記録された打点から、各区間における平均の速さを求めることができる。下のような表を作成し、図Cをかく。

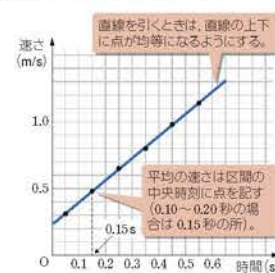
**図A 記録タイマーの打点間隔と台車の移動距離**

**図B 打点の例** はっきりした点を基準にとり、一定の打点間隔で基準点からの距離をはかる。

時刻 (s)	基準点からの距離 (m)	各区間の移動距離 (m)	各区間の平均の速さ (m/s)
0	0	0.031	0.31
0.10	0.031	0.048	0.48
0.20	0.079	0.065	0.65
0.30	0.144	0.080	0.80
0.40	0.224	0.098	0.98
0.50	0.322	0.114	1.14
0.60	0.436		

直線を引くときは、直線の上下に点が均等になるようにする。

平均の速さは区間の中央時刻に点を記す(0.10~0.20秒の場合は0.15秒の所)。



記録タイマーを用いた運動の分析  
方法を丁寧に解説

運動の分析で用いられる「記録タイマー」のしくみを解説しました。「実験データの分析方法」も丁寧に説明しました。

NEW!

教授資料でのサポートを  
充実させました

実験の注意点や結果例を掲載。  
実験に役立つデータが充実。


▲p.29 (→本冊子25)

## POINT5 知識を活用する「力」を養います

- 新要素「思考学習」などを通じて、知識を活用する「力」を養うことができます。

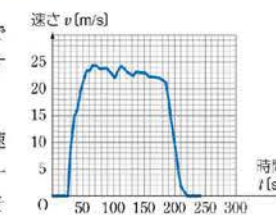
**思考学習 電車の走行区間の推定**

Kさんは、スマートフォンの機能を利用して、電車の速さと経過時間の関係を記録しようと考えた。Kさんが乗車した電車は、P駅から発車したのち、Q駅、R駅、S駅、T駅で停車をした。図Aは、これらの駅を地図上に表している。



駅名	P駅からの距離 (km)
P駅	0
Q駅	3.9
R駅	5.8
S駅	8.0
T駅	10.5

**図A 電車の路線**  
Kさんは、ある駅からある駅の区間でデータを記録した。それをグラフに表すと図Bのようになった。



**考察1** 電車が停車しようとして減速する間の加速度の大きさは、ほぼ一定とみなせる。その大きさはおよそ何  $m/s^2$  だろうか。

**考察2** Kさんがデータを記録した区間はどの駅とどの駅の間だろうか。

「思考学習」

データや資料をもとに考察させる問題を掲載(解答例は巻末に掲載)。知識を活用する能力を育成できます。全5か所掲載。大学入学共通テスト対策にも使えます!

NEW!

「考えてみよう！」

知識を活用する発問を、演習問題の最後に掲載しました(解答例は巻末に掲載)。グループ学習にも活用できる、身近で興味深い話題を扱っています。

NEW!

▲p.35 (→本冊子29)

### 考6 考えてみよう!

- (1) 「1Nとは？」 そう聞かれたら、どう答えるか。学んだ知識を用いて、表現してみよう。
- (2) 氷上で、スケートをはいた子どものAさん(体重40kg)と大人のBさん(体重80kg)が押しあったところ、2人はそれぞれ後方にすべったが、Aさんのほうが速くなった。作用反作用の法則によれば、AさんがBさんを押し出す力と、BさんがAさんを押し出す力の大きさは同じであるのに、Aさんの速さのほうが大きくなったのはなぜだろうか。
- (3) 水の入ったコップに氷を浮かべる。氷がすべてとけると、水面の高さはどうなるだろうか。

▲p.95 (→本冊子47)

### その他のPOINT

- 「持続可能性とSDGs」(教科書p.242)  
(→本冊子52)

- 働く人のインタビュー記事(教科書p.245)  
(→本冊子55)



# 目次

物理量の扱い方 ..... 6

## 第1編 運動とエネルギー

### 第1章 運動の表し方

- 1. 速度 ..... 12
- 2. 加速度 ..... 25
- 3. 落体の運動 ..... 38
- 演習問題 ..... 52

### 第2章 運動の法則

- 1. 力とそのはたらき ..... 54
- 2. 力のつりあい ..... 58
- 3. 運動の法則 ..... 70
- 4. 摩擦を受ける運動 ..... 82
- 5. 液体や気体から受ける力 ..... 87
- 演習問題 ..... 94

### 第3章 仕事と力学的エネルギー

- 1. 仕事 ..... 96
- 2. 運動エネルギー ..... 102
- 3. 位置エネルギー ..... 105
- 4. 力学的エネルギーの保存 ..... 109
- 演習問題 ..... 120

## 第2編 熱

### 第1章 熱とエネルギー

- 1. 熱と物質の状態 ..... 122
- 2. 熱と仕事 ..... 132
- 演習問題 ..... 142

## 物理学が拓く世界

## 第3編 波

### 第1章 波の性質

- 1. 波と媒質の運動 ..... 144
- 2. 波の伝わり方 ..... 160
- 演習問題 ..... 173

### 第2章 音

- 1. 音の性質 ..... 174
- 2. 発音体の振動と共振・共鳴 ..... 180
- 演習問題 ..... 192

## 第4編 電気

### 第1章 物質と電気

- 1. 電気の性質 ..... 194
- 2. 電流と電気抵抗 ..... 199
- 3. 電気とエネルギー ..... 214
- 演習問題 ..... 217

### 第2章 磁場と交流

- 1. 電流と磁場 ..... 218
- 2. 交流と電磁波 ..... 223
- 演習問題 ..... 229

## 第5編 物理学と社会

### 第1章 エネルギーの利用

- 1. エネルギーの移り変わり ..... 230
- 2. エネルギー資源と発電 ..... 232

- 55 スポーツと物理学 ..... 244
- 防災と物理学 ..... 246
- 自動車と物理学 ..... 248

探究の流れをつかむことができる記事を掲載(→56)。

### 本文補足 発展

- 1. 剛体にはたらく力のつりあい ..... 250
- 2. 正弦波の式 ..... 259
- 3. 音のドップラー効果 ..... 263

56

- 探究の進め方 ..... 266
- ガリレオ・ガリレイに学ぶ「探究」 ..... 268

### 物理のための数学

- 1. 三角比と三角関数 ..... 272
- 2. その他の数学の知識 ..... 276

### 本文資料

- 1. 量の表し方 ..... 279
- 2. 表 ..... 281
- 略解 ..... 284
- 索引 ..... 292

- 元素の周期表 ..... 294
- 物理定数・単位の $10^{\#}$ の接頭語  
・物理で用いられる表現 ..... 296

※本文中、一部の用語には、英語による表記をそえた。  
なお、( )は省略してもよい部分、[ ]は別の英

すべての「実験」に映像をテロップ・音声付きで用意。  
該当紙面の右下のQRコードから、実際に映像をご覧ください。

### 実験

24

- 1. 斜面を降下する台車の運動 ..... 28
- 2. 重力加速度の大きさ $g$ の測定 ..... 40
- 3. 動く発射台からの投射 ..... 51
- 4. 力のつりあい ..... 63
- 5. 作用反作用の法則 ..... 65
- 6. 台車に力を加えるときの運動 ..... 71

37

- 7. 静止摩擦力 ..... 84
- 8. 浮力の測定 ..... 91
- 9. 重力による位置エネルギー ..... 106
- 10. 力学的エネルギー保存則 ..... 111

39

- 11. 力学的エネルギー保存則の検証 ..... 115
- 12. ブラウン運動 ..... 122

- 13. 比熱の測定 ..... 128
- 14. 仕事による熱の発生 ..... 133
- 15. 横波と縦波の発生 ..... 158
- 16. 音の波形 ..... 175
- 17. 弦の振動と音階の関係 ..... 181
- 18. 気柱の振動と音階の関係 ..... 183
- 19. おんさの振動数の測定 ..... 186
- 20. 振り子の共振 ..... 189
- 21. オームの法則 ..... 205
- 22. 抵抗値の測定 ..... 206
- 23. ジュールの法則 ..... 216
- 24. 赤外線観測 ..... 227
- 25. 手回し発電機 ..... 231
- 26. 放射線の測定 ..... 236

### Zoom

34

- 三角比と力の成分 ..... 60
- 物体が「受ける力」に注目 ..... 67
- 運動に関する法則のまとめ ..... 118
- 気体がされた仕事・気体がした仕事 ..... 135
- 電気回路の見方 ..... 210

### ドリル

- 相対速度 ..... 23
- 加速度 ..... 27
- 等加速度直線運動の式 ..... 36
- 自由落下と鉛直投射 ..... 44
- 物体が受ける力の見つけ方 ..... 68
- 波のグラフ ..... 152
- 電気回路の問題 ..... 211

30

物理学にかかわる仕事をしている人へのインタビュー記事を掲載(→55で「スポーツと物理学」の例を紹介)。

「Zoom」…つまずきやすい内容を丁寧に解説しています(→34)。  
「ドリル」…反復演習で基本を定着させることができます(→30)。



## 本書の構成要素について

**実験 00** 物理の現象の規則性や法則性を見出して理解するための実験や、学習内容と関連づけて理解を深めるための実験などを本文で扱った。

いずれの実験も、先生の指導を受けて安全に注意して行うことが重要である。けがをしたり、器具を壊すおそれのある実験については、右のマーク(または



注意 マーク)で注意を促した。

**問 00** 学習したばかりの内容を復習し、確実な理解をはかる問題。思考力を要するものには**考**をつけた。

**例題 00** 学習した法則や公式をしっかり理解するための問題。  
**解**としてその解き方も示した。

問・類題・演習問題の略解は巻末にまとめた(→p.284)。※**発展**に含まれる問・類題については、問題文の末尾に[ ]で略解を示した(ただし、作図問題などについては略解を省略した)。

**類題 00** 例題をもとにして、自力で考察する問題。

**演習問題** 学習の仕上げとして、学習内容をもとに考察する問題。思考力を要するものには**考**をつけた。また、学習内容を活用させる問題を**考えてみよう!**で扱った。

**Zoom** 理解しづらいところや間違えやすいところを、重点的に説明した。

**ドリル** 学習内容の理解のための基本的な問題を、重点的に扱った。

**思考学習** 学習内容をもとに、思考力をはたらかせながら考察する問題を扱った。巻末に解答をまとめて掲載した(→p.290)。

**コラム** 学習内容に関連した、身近な話題などを取り上げた。

**参考** 本文の記述をより深く理解するための内容を扱った。

**発展** 「物理基礎」の学習指導要領に示されていない事項で、本文の理解を深める内容を扱った。必要に応じて取り組むとよい。「物理」で扱う内容には、**物理**をつけた。

**学んだことを説明してみよう** 学習内容を振り返るための問いかけを扱った。学んだことを自分の言葉で表現してみよう。巻末に解答例をまとめて掲載した(→p.290)。

この教科書に関連した参考資料、理解を助ける映像やアニメーションなどが利用できる目印。これらの資料は、左下のアドレスまたは二次元コードからアクセスできるので、必要に応じて活用してほしい。

**注意** インターネット接続に際し発生する通信料は、使用される方の負担となりますのでご注意ください。



<https://www.chart.co.jp/qr/22sp1/>

### コラム

猿はみかんをキャッチできる? ... 51	地震波 ..... 159
ストローでジュースが飲めるのはなぜ? ..... 89	ビルのかげにも電波が届くのは... ..... 172
人のからだは水に浮く? ..... 92	ビルや橋の設計と共振の防止 ..... 189
馬力 ..... 101	楽器から出る音 ..... 191
自動車が停止するまでに進む距離 ..... 103	白熱電球とLED電球 ..... 216
水のふしぎな性質 ..... 131	放射線から身を守るには ..... 236
永久機関 ..... 141	揚水発電 ..... 240
	持続可能性とSDGs ..... 242

### 参考

20 速さの単位の換算 ..... 13	線膨張率・体膨張率 ..... 131
ベクトルの扱い方 ..... 20	ウェーブマシン ..... 151
25 記録タイマーと運動の分析 ..... 29	水面を伝わる波 ..... 157
等加速度直線運動と2次関数 ..... 35	ホイヘンスの原理による反射の法則 ・屈折の法則の説明 ..... 170
ストロボ写真の分析 ..... 39	電気抵抗の原因は? ..... 205
三角比の値の調べ方 ..... 61	電気の測定器の使い方 ..... 212
定滑車と動滑車 ..... 64	半減期 ..... 237
仕事の式の見方 ..... 98	青色発光ダイオードが照らす未来 ..... 243
熱の伝わり方 ..... 127	

### 発展

平面上の速度の合成・速度の分解 ・速度の成分 ..... 18	クーロンの法則 ..... 195
平面上の相対速度 ..... 24	電気量保存の法則 ..... 196
平面運動の加速度 ..... 27	静電誘導 ..... 198
水平投射の式 ..... 46	抵抗率の温度変化 ..... 208
斜方投射 ..... 48	キルヒホッフの法則 ..... 209
終端速度の式 ..... 93	電流のする仕事 ..... 215
気体の法則と気体の状態変化 ..... 136	フレミングの左手の法則 ..... 221
熱力学第二法則 ..... 140	レンツの法則 ..... 222
正弦波における位相 ..... 151	交流の実効値の式 ..... 223
波の強さの式 ..... 159	半減期の式 ..... 237
波の波面・波の干渉 ・波の反射と屈折・波の回折 ..... 166	核反応により放出される エネルギー ..... 238
音の屈折・音の回折・音の干渉 ..... 177	剛体にはたらく力のつりあい ..... 250
弦を伝わる波の速さの式 ..... 183	正弦波の式 ..... 259
	音のドップラー効果 ..... 263

### 思考学習

29 電車の走行区間の推定 ..... 35	ギターの音の振動数 ..... 190
記録タイマーで生じる抵抗力 ..... 86	ダイオードの抵抗値 ..... 209
水の状態図 ..... 129	



「物理量の扱い方」について、わかりやすくまとめました。学習の途中で、必要に応じて参照することができます。

## 物理量の扱い方



物理では、さまざまな現象を調べて、距離や時間などの量の関係を数式で表したり、実験データを分析したりします。「物理基礎」の学習を始める前に、物理量の表し方やデータの扱い方を身につけましょう。

### 1 物理量の表し方

#### A 単位

国際単位系（略称 SI）は、メートル（m：長さの単位）、キログラム（kg：質量の単位）、秒（s：時間の単位）などの7種を基本単位とする単位系である。速さなどの量は、基本単位を組み合わせた組立単位を用いて表される。組立単位の中には、ニュートン（N：力の単位）のように固有の名前がつけられているものもある。

一般に、物理で扱われる物理量は、1.5m、0.80m/s など、「数値」と「単位」の積で表される。同じ物理量でも、単位を変えれば数値も変わってしまう。物理量を比較するときには、単位を共通にそろえるなどの工夫が必要となる。

例：100cm = 1m  
1000g = 1kg  
1時間 = 60分 = 3600s  
1000mA = 1A

#### 物理で扱う単位の例

種類	物理量	単位	
		名称	記号
基本単位	長さ	メートル	m
	質量	キログラム	kg
	時間	秒	s
	電流	アンペア	A
組立単位	速さ	メートル毎秒	m/s
	力	ニュートン	N



デジタルコンテンツの場所には Link アイコンを配置。



#### ワーク 1

- 160cm の身長は何 m か。
- 500g の台車に 1kg のおもりをのせた。質量はあわせて何 kg か。
- お湯を入れて 3 分でカップ麺を作るには、何秒待てばよいか。
- 電流計の針が 150mA を示した。流れた電流は何 A か。



本書では、表記を簡潔にするため、計算の過程などで単位を省略して数値のみで表すことがある。また、物理量を記号（時間  $t$  など）で表す場合は、記号は数値と単位の積を表すとみなせるので、記号の後に単位をつける必要はない。ただし、その物理量があつた単位を明示したほうがわかりやすい場合、本書では、記号の後に [ ] で単位を示した（時間  $t$  [s] など）。

#### B 数式の表し方

巻末付録（ブックマーク）

物理では、物体の運動などを扱うときに、通常、数式を用いて考察する。このような数式では、それぞれの物理量は記号（文字）で表される。

例えば、豆電球に電流を流すとき、豆電球の抵抗を  $R$ 、流れる電流を  $I$  とすれば、豆電球の両端に加わる電圧  $V$  は次のように表される。

$$\text{電圧} = \text{抵抗} \times \text{電流} \quad \rightarrow \quad V = RI$$

それぞれの物理量について、よく用いられる記号の例を下に示した。これらの記号には、英語表記の頭文字が使われている場合が多い。記号のもととなる英語にも目をとめながら、学習を進めていこう。

#### 数式で用いられるおもな記号（文字）の例

物理量	距離	質量	時間	速さ	加速度	力	仕事	温度	抵抗	電流	電圧
英語	—	mass	time	—*	acceleration	Force	Work	Temperature	Resistance	—**	Voltage
おもな記号	$x$	$m$	$t$	$v$	$a$	$F$	$W$	$T$	$R$	$I$	$V$

\* 速度 (velocity) の頭文字がよく使われる。 \*\* 電流の大きさ (強さ: Intensity) からとの説もある。

#### ワーク 2

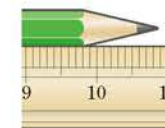
次の数式を、上の表に示した記号（文字）で表してみよう。

- 距離 = 速さ × 時間
- 質量 × 加速度 = 力
- 仕事 = 力 × 距離
- 抵抗 =  $\frac{\text{電圧}}{\text{電流}}$

## 2 物理量の測定と有効数字

#### A 目盛りの読み方

測定においては、測定器具についている最小目盛りの10分の1までを目分量で読み取る。例えば、日常使用するものさしでは1mmが最小目盛りなので、0.1mmの位まで読み取ればよい。



#### B 誤差

ものさしで長さをはかったり、はかりで重さをはかったりするとき、ものさしやはかりの精度には限界があり、また目盛りの読み取りは正確にはできない。そのため、真の値と測定値との間に差が生じる。この差を誤差という。誤差には次の2種類がある。

(a) 絶対誤差（ふつう「誤差」というと、絶対誤差のことをいう）

$$\text{絶対誤差 (誤差)} = \text{測定値} - \text{真の値}$$

(b) 相対誤差（「誤差何%」というときに使う）

$$\text{相対誤差} = \frac{|\text{誤差}|}{\text{真の値}} \times 100\%$$

誤差を小さくするには、何度も測定して、測定値の平均を求めるなどの方法がある。



紙面右下の QR コードから、デジタルコンテンツをご利用いただけます。



編の冒頭は、学習内容のイメージがわくような興味深い写真で構成しました。

# 第1編 運動とエネルギー

第1章 運動の表し方 ..... p.12  
 第2章 運動の法則 ..... p.54  
 第3章 仕事と力学的エネルギー ... p.96



このQRコードから、**中学校の復習コンテンツ**をご利用いただけます。

移動する

移動手段の発達



月面への着陸を達成したアポロ11号の乗組員

山ニアモーターカーの走行試験(山梨県笛吹市)

人類文化の発展は、人の移動範囲を大きく拡大した。現在、私たちは、世界中のあらゆる所へ行くことができ、宇宙空間にさえ到達することが可能である。移動手段の発達過程において、物理学者たちによる「運動」や「エネルギー」の研究・理解は、その根本を支えるたいへん重要な役割を担っていた。

## 3 データの分析

### A データのまとめ方

図のように、人が歩く運動を記録タイマーを使って調べることを考える。紙テープを分析していく(→p.29)、移動距離や速さなど多くのデータを得ることができる。このようにデータの数が多い場合には、結果を表にまとめてみると整理しやすい。



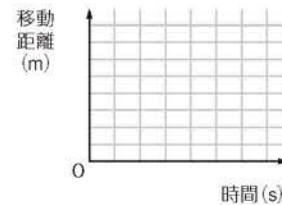
① 時刻(s)	0	0.10	0.20	0.30	0.40	0.50	0.60	0.70
② 移動距離(m)	0	0.010	0.039	0.091	0.169	0.262	0.329	0.384
③ 中央の時刻(s)		0.05	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65
④ 各区間の速さ(m/s)		0.10	0.29	0.52	0.78	0.93	0.67	0.55

### B グラフのかき方

実験結果をグラフにかいてみると、物理量の変化を理解しやすい。表だけではわからなかった新たな「気づき」を得られることもある。

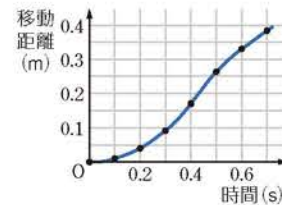
#### Step 1. 縦軸・横軸を決める

変化させた物理量(時間や電圧など)を横軸にとることが多い。仮説を立てた場合には、それをもとに軸を決めてもよい(例えば、「○は△に比例する」と予想したなら、○を縦軸、△を横軸とするなど)。軸には物理量と単位を必ず書いておく。



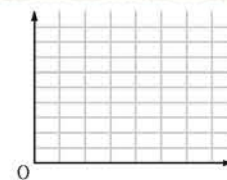
#### Step 2. 測定値をプロットし、線を引く

それぞれの軸に目盛りを入れ、測定値を点で記す(プロットするともいう)。すべての点のなるべく近くを通るように、曲線または直線を引く。物理量はなめらかに変化することが多いので、折れ線グラフにはしない。



#### ワーク⑤

上の表のデータについて、「③中央の時刻」と「④各区間の速さ」との関係グラフをかいてみよう。また、グラフを見てわかることを、まわりの人と話しあってみよう。





単元冒頭に示した「学習目標」で、目的意識をもって主体的に学習が始められます。  
→単元末の「学んだことを説明してみよう」(→22)で、振り返りが可能です。

NEW!

「Point」囲みで、基礎知識をこまめに補足しました。  
つまづきを防ぎ、「自学自習」もしっかりとサポートします。

NEW!

# 第1章

## 運動の表し方

Expression of motion



私たちは、ボールを投げたときに、どのあたりに落ちるかを予想することができる。これは、ボールがある法則に従って運動するためである。それでは、その法則とはどのようなものだろうか。それを理解するための準備として、この章ではまず、運動を表す方法について学んでいこう。

### 中学校での学習内容

平均の速さと瞬間の速さ  
等速直線運動  
斜面上の物体の運動  
自由落下

第1編

運動とエネルギー

### 参考 速さの単位の換算

#### ● km/h → m/s の換算例

「ピッチャーの球速 150 km/h」  
(1 時間に 150 km 進む速さ)

$$\text{速さ} = \frac{150 \text{ km}}{1 \text{ h}} = \frac{150000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} \approx 42 \text{ m/s}$$

1 秒間に  
約 42 m 進む速さ!



#### ● m/s → km/h の換算例

「台風を中心付近の風速 30 m/s」  
(1 秒間に 30 m 進む速さ)

1 時間に、 $30 \text{ m} \times 3600 = 108000 \text{ m}$   
進むから、速さは 108 km/h

単位間の関係を用いる。  
1 km = 1000 m  
1 h = 60 × 60 s = 3600 s

Point

## 1 速度

普段のペースで 1 分間歩くととき、あなたは何 m 進むだろうか。  
この節では、物体の運動を表すときに基本となる量「速度」について理解しよう。

### A 速さ

①速さ 運動する物体の「速い」、「遅い」を比較するには、同じ時間内でどれだけ移動したかを調べるとよい。そこで、単位時間当たりの移動距離(移動距離を経過時間でわった量)を考え、これを **速さ** という。図 1 のような運動の場合、速さは

$$\text{速さ} = \frac{\text{移動距離}}{\text{経過時間}} \quad (1)$$

と表される。

距離の単位をメートル(m)、時間の単位を秒(s)とすると、速さの単位は **メートル毎秒**(記号 **m/s**)となる。日常生活では、**キロメートル毎時**(記号 **km/h**)もよく用いられる。

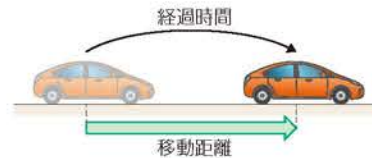


図1 自動車の運動

### 用語 単位時間当たり

1 秒当たり、1 時間当たり、など、「決められた時間当たり」という意味。  
(→ p.296 用語一覧)

### 長さの単位

m:メートル(meter) 1km = 1000m  
km:キロメートル

### 時間の単位

s:秒(second) 1h = 60 × 60 s = 3600 s  
h:時間(hour)

Point

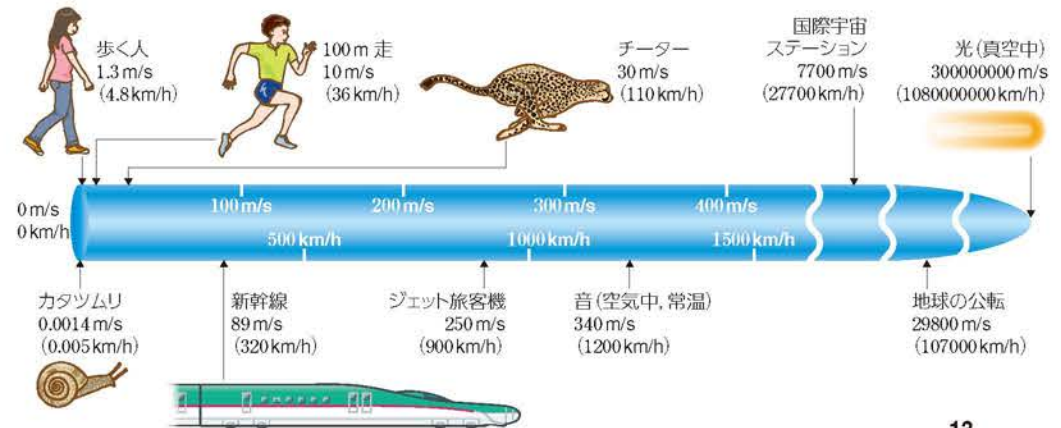
②瞬間の速さと平均の速さ 東北新幹線の速さは最高 320 km/h に達する。しかし、新幹線は常にこの速さで走行しているわけではなく、速さは時間とともに変化している。そこで、ある時刻における速さのことを、瞬間の速さという。ふつう、速さというときは、瞬間の速さをさすことが多い。自動車のスピードメーターは、瞬間の速さを表示している。

一方、(1)式のように、移動距離を経過時間でわって得られる速さのことを平均の速さという。

問1 30 秒間に歩いた距離が 36 m であったとき、平均の速さは何 m/s か。

問2 72 km/h は何 m/s か。また、15 m/s は何 km/h か。

### 図2 いろいろな速さの例(おおよその値)



NEW!

「Point」囲みで、単位の間関係を補足しました。



**G 速度の合成**



**1 直線上の速度の合成** 図9③のように、船が川の流に対して平行に、下流に向かって進んでいる。水の流がないとき(これを静水時という)の船の速度を  $v_1$ [m/s]、流水の速度を  $v_2$ [m/s]とすると、川岸で静止している人から見た船の速度  $v$ [m/s]は次のように表される。

$$v = v_1 + v_2 \quad (4)$$

速度  $v$  を、速度  $v_1$  と速度  $v_2$  の **合成速度** resultant velocity といい、合成速度を求めることを **速度の合成** という。上流に向かう場合には、同図④のようになる。

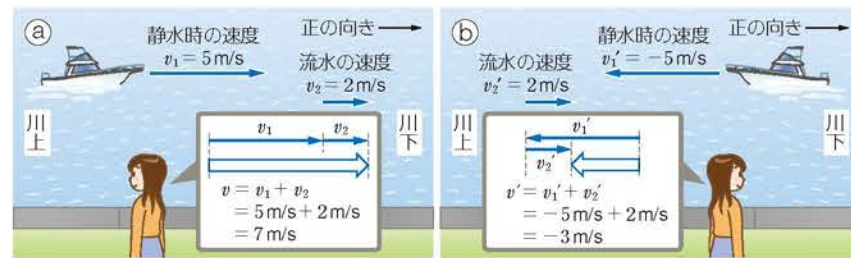


図9 川の流に対して平行に進む船の速度

**問10** 流水の速さが 1.5 m/s のまっすぐな川を静水時の速さが 5.0 m/s の船が進んでいる。下流に向かって進んでいるときと、上流に向かって進んでいるときの、川岸で静止している人から見た船の速さ(速度の大きさ)はそれぞれ何 m/s か。

発展 物理

**2 平面上の速度の合成** 図10のように、船が川を横切って進む場合を考える。静水時の船の速度を  $\vec{v}_1$  [m/s]、流水の速度を  $\vec{v}_2$  [m/s]とする。

A にいた船が、船首を B へ向けて出発する。船は流水によって下流側に流されるので、1秒後には図の

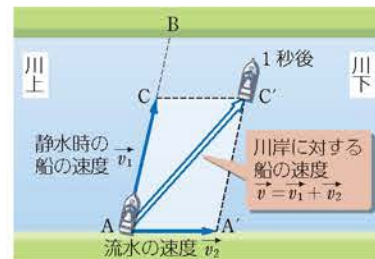


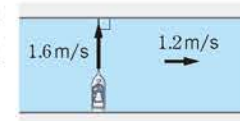
図10 川を横切って進む船の速度

C ではなく C' へ到達する。よって、川岸で静止している人から見た船の速度(合成速度)  $\vec{v}$  [m/s]の大きさは線分 AC' の長さ、向きは A から C' に向かう向きで表される。つまり

$$\vec{v} = \vec{v}_1 + \vec{v}_2 \quad (5)$$

ベクトルの扱い方については p.20 参照。

**問11** 流水の速さが 1.2 m/s のまっすぐな川を、船が川岸に対して垂直な方向へ船首を向けて出発する。静水時の船の速さを 1.6 m/s とするとき、川岸で静止している人から見た船の速さは何 m/s か。 [2.0 m/s]



**3 速度の分解** (5)式は、「1つの速度  $\vec{v}$  を2つの速度  $\vec{v}_1, \vec{v}_2$  に分解できる」ということを表していると考えてもよい。このような場合、速度を **分解** するといひ、分解した2つの速度を **分速度** components of the velocity という。

**4 速度の成分** 速度の分解は、分解する2方向のとり方によって何通りでも考えられるが、図11のように、垂直な2方向(x軸方向とy軸方向)に分解すると、わかりやすくなることが多い。このとき、分速度  $\vec{v}_x, \vec{v}_y$  の大きさに、向きを表す正・負の符号をつけた値  $v_x, v_y$  を、速度  $\vec{v}$  の **x成分**, **y成分** という。

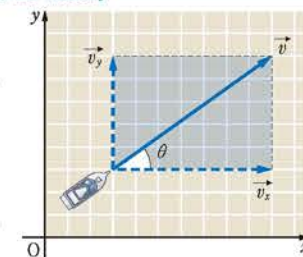


図11 速度の成分

速度  $\vec{v}$  (大きさ  $v$ ) が x 軸の正の向きとなす角を  $\theta$ 、 $\vec{v}$  の x 成分, y 成分をそれぞれ  $v_x, v_y$  とするとき、これらの間には次の関係が成り立つ( $\cos \theta, \sin \theta$  は三角関数)。

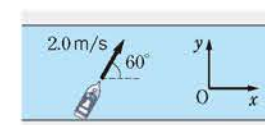
$$v_x = v \cos \theta, \quad v_y = v \sin \theta \quad (6)$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad (7)$$

また、2つの速度  $\vec{v}_1$  (x成分  $v_{1x}$ , y成分  $v_{1y}$ ),  $\vec{v}_2$  (x成分  $v_{2x}$ , y成分  $v_{2y}$ ) の合成速度  $\vec{v}$  の成分  $v_x, v_y$  は、各成分の和で求められる。

$$v_x = v_{1x} + v_{2x}, \quad v_y = v_{1y} + v_{2y} \quad (8)$$

**問12** 水の流がない水路を、船が図のような向きに速さ 2.0 m/s で進む。座標軸を図のように定めるとき、船の速度の x 成分  $v_x$  [m/s], y 成分  $v_y$  [m/s] を求めよ。 [ $v_x: 1.0$  m/s,  $v_y: 1.7$  m/s]



三角関数(→ p.272)

三角関数の公式より  
 $\sin \theta = \frac{v_y}{v}, \quad \cos \theta = \frac{v_x}{v}$   
 よって  
 $v_y = v \sin \theta, \quad v_x = v \cos \theta$

三平方の定理(→ p.277)

$v^2 = v_x^2 + v_y^2$





参考 ベクトルの扱い方

「速度」、「変位」、そして後で学ぶ「加速度」、「力」のように、大きさと向きで定まる量を **ベクトル** という。ここでは、物理現象を理解する上で役に立つ数学の知識、ベクトルの基本について確認しよう。

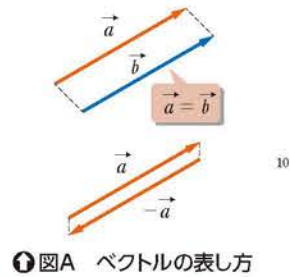


ベクトルの表し方

ベクトルは、その大きさに相当した長さの矢印をその向きに合わせて図示する。また、文字と矢印を用いて、 $\vec{a}$  のように表す。ベクトル  $\vec{a}$  の大きさは、 $|\vec{a}|$  などと表される(図A)。

2つのベクトル  $\vec{a}$ 、 $\vec{b}$  の向きが同じで大きさも等しいとき、これらは等しいといい、 $\vec{a} = \vec{b}$  と書く。また、 $\vec{a}$  と大きさが等しく向きが反対のベクトルを、 $\vec{a}$  の **逆ベクトル** といい、 $-\vec{a}$  で表す。

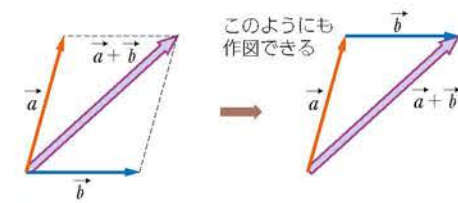
大きさが0のベクトルを **零ベクトル**(またはゼロベクトル) といい、 $\vec{0}$  と表す。零ベクトルの向きは考えない。



図A ベクトルの表し方

ベクトルの和

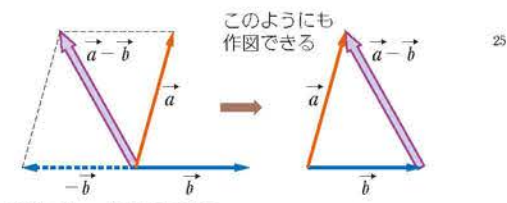
$\vec{a}$ 、 $\vec{b}$  を合成したベクトルは、 $\vec{a}$ 、 $\vec{b}$  を隣りあう辺とする平行四辺形の対角線によって表される。これを **平行四辺形の法則** という(図B)。合成したベクトルを  $\vec{a} + \vec{b}$  で表し、これを  $\vec{a}$  と  $\vec{b}$  の和という。



図B ベクトルの和

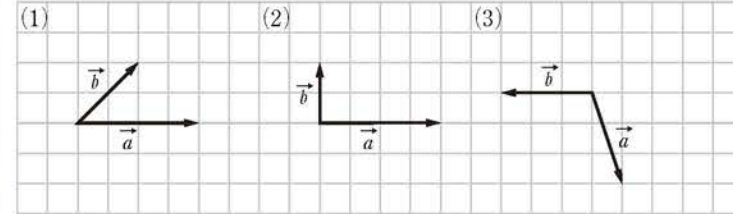
ベクトルの差

$\vec{b}$  の向きを反対にしたベクトルを、 $-\vec{b}$  と書く。 $\vec{a}$  と  $\vec{b}$  の差  $\vec{a} - \vec{b}$  は、 $\vec{a} + (-\vec{b})$  と同じである(図C)。

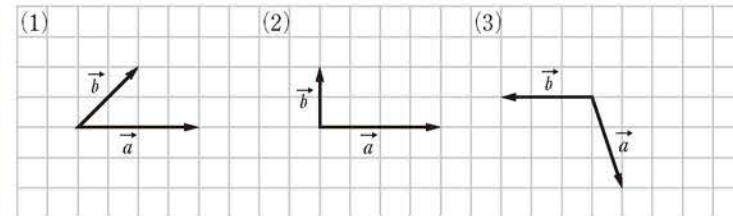


図C ベクトルの差

問 a 次の各場合について、2つのベクトルの和  $\vec{a} + \vec{b}$  を図示せよ。



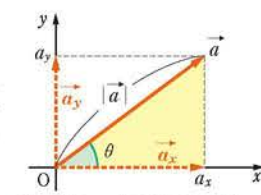
問 b 次の各場合について、2つのベクトルの差  $\vec{a} - \vec{b}$  を図示せよ。



ベクトルの分解と成分

1つのベクトル  $\vec{a}$  をいくつかのベクトルに分けることを、ベクトルの **分解** という。

ベクトルの分解方法は何通りもあるが、互いに垂直な  $x$  軸、 $y$  軸方向に分解することが多い。それぞれの方向に分解されたベクトル  $\vec{a}_x$ 、 $\vec{a}_y$  の大きさに、向きを表す正・負の符号をつけた値  $a_x$ 、 $a_y$  を、それぞれ **x成分**、**y成分** という(図D)。ベクトルは成分を用いて  $\vec{a} = (a_x, a_y)$  のように表すことができる。ベクトル  $\vec{a} = (a_x, a_y)$  の大きさ  $|\vec{a}|$  は、図Dの直角三角形について、三平方の定理を用いることにより



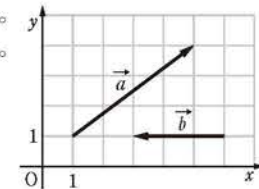
図D ベクトルの成分

$$|\vec{a}| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2}$$

となる。また、ベクトルの成分を用いると、ベクトルの和を求めることができる。 $\vec{a} = (a_x, a_y)$ 、 $\vec{b} = (b_x, b_y)$  の和  $\vec{c} = \vec{a} + \vec{b}$  の成分は、それぞれ各成分の和で求められる。つまり、 $\vec{c} = (a_x + b_x, a_y + b_y)$  となる。

問 c 図のベクトル  $\vec{a}$ 、 $\vec{b}$  について、次の問いに答えよ。

- (1) 各ベクトルの  $x$  成分、 $y$  成分をそれぞれ求めよ。
- (2) 各ベクトルの大きさをそれぞれ求めよ。
- (3) ベクトル  $\vec{a} + \vec{b}$  の  $x$  成分、 $y$  成分を求めよ。
- (4) ベクトル  $\vec{a} + \vec{b}$  の大きさを求めよ。





発展 物理

② 平面上の相対速度 両物体の進む方向が異なる場合の相対速度は、(9)式を速度ベクトルに置きかえることによって得られる。

図13のように、速度  $\vec{v}_A$  で走行しているバスAと、速度  $\vec{v}_B$  で走行しているバスBを考える。このとき、Aに乗っている人が見るBの速度、すなわちAに対するBの相対速度  $\vec{v}_{AB}$  は、次のように求められる。

$$\vec{v}_{AB} = \vec{v}_B - \vec{v}_A \quad (10)$$

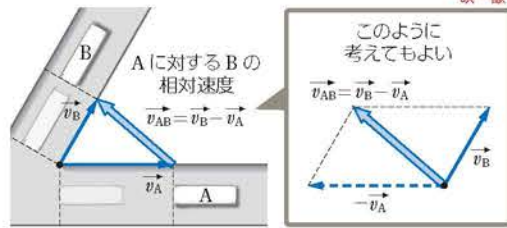


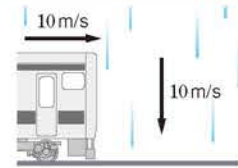
図13 平面上の相対速度

● p.22 相対速度  
 $v_{AB} = v_B - v_A \quad (9)$



例題1 相対速度

雨が鉛直(真下)に降る中を、電車がまっすぐな線路上を一定の速さ 10m/s で水平に走っている。雨滴の落下の速さを 10m/s とすると、電車内の人から見た雨滴の相対速度は、雨滴の速さと、雨滴の落下方向と鉛直方向とがなす角の大きさを求めよ。



指針 電車の速度を  $\vec{v}_A$ 、雨滴の速度を  $\vec{v}_B$  とすると、電車内の人から見た雨滴の相対速度は  $\vec{v}_{AB} = \vec{v}_B - \vec{v}_A$  となる。

解 図より、雨滴の落下方向と鉛直方向とがなす角の大きさは  $45^\circ$  である。 $\vec{v}_{AB}$  の大きさは  
 $10 \times \sqrt{2} = 10 \times 1.41 \dots$   
 $\approx 14 \text{ m/s}$

$\vec{v}_{AB} = \vec{v}_B + (-\vec{v}_A)$  より、ベクトル  $\vec{v}_B$  と  $-\vec{v}_A$  を合成。

類題1

雨が鉛直に降る中を、電車がまっすぐな線路上を一定の速さで水平に走っている。このとき、電車内の人が見る雨滴の落下方向は、鉛直方向と  $60^\circ$  の角をなしていた。雨滴の落下の速さを 10m/s とするとき、電車の速さを求めよ。 [17m/s]

ヒント まず、電車の速度を  $\vec{v}_A$ 、雨滴の速度を  $\vec{v}_B$  とおき、各ベクトルを図に表す。

学んだことを説明してみよう

1 速度

- (1) 速さ 10m/s の等速直線運動をする物体は、時間とともにどのように進むか。
- (2) 東向きに 50km/h の速さで走る自動車の前方に、バスが東向きに 30km/h の速さで走っている。自動車から見てバスはどのように進むように見えるか。

2 加速度

短距離走の選手と新幹線が同時にスタートした直後に、先を走るのどちらだろうか。この節では、速度が変化する物体の運動の表し方を理解しよう。

A 加速度

① 直線運動の加速度 人と新幹線の速さは、最大値になったとき、それぞれおよそ 10m/s、90m/s になる。同時にスタートして2秒後に先を走るのどちらだろうか。先を走るの、意外にも人である(図14)。これは、人の速さが短時間で最大値になるのに対し、新幹線は長い時間をかけて速さを増していき、最大値になるためである。このように物体の運動では、速度が時間とともにどのように変化するかを調べることも重要である。そこで、単位時間当たりの速度の変化を考え、これを **加速度** acceleration という。速度が時間とともに変化する運動を **加速度運動** という。

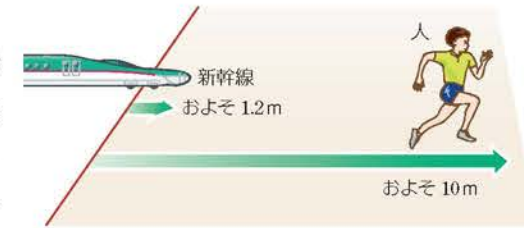


図14 人・新幹線の加速のようす  
 スタート直後の2秒間に進む距離を表す。

図15のように、一直線上を運動している物体を考える。時刻  $t_1$  [s] での物体の速度を  $v_1$  [m/s]、 $t_2$  [s] での速度を  $v_2$  [m/s] とする。



図15 加速度

経過時間  $\Delta t = t_2 - t_1$  の間に速度が  $\Delta v = v_2 - v_1$  だけ変化しているから、この間の1秒当たりの速度の変化、つまり平均の加速度  $\bar{a}$  は

$$\bar{a} = \frac{\text{速度の変化}}{\text{経過時間}} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t} \quad (11)$$

となる。加速度の単位は **メートル毎秒毎秒** (記号  $\text{m/s}^2$ ) である。

例えば、加速度が  $2\text{m/s}^2$  の場合、1秒間に  $2\text{m/s}$  の割合で速度が増える。

問14 新幹線が速さ 50m/s のままで10秒間まっすぐに進むときの加速度を求めよ。

問15 一直線上を正の向きに  $4.0\text{m/s}$  の速さで進む物体が、2.0秒後に正の向きに  $7.0\text{m/s}$  の速さになった。このときの物体の平均の加速度  $\bar{a}$  [ $\text{m/s}^2$ ] を求めよ。





すべての「実験」に映像をテロップ・音声付きで用意。(→詳しくは118)  
紙面の右下のQRコードから、実際に映像をご覧いただけます。

NEW!

## B 等加速度直線運動

① 斜面を降下する運動 図19のように、斜面を降下する小球を観察してみよう。小球が徐々に速くなっていくようすがわかる。このとき小球の速度はどのように変化しているのだろうか。

台車を用いて、斜面を降下する物体の運動を調べてみよう。

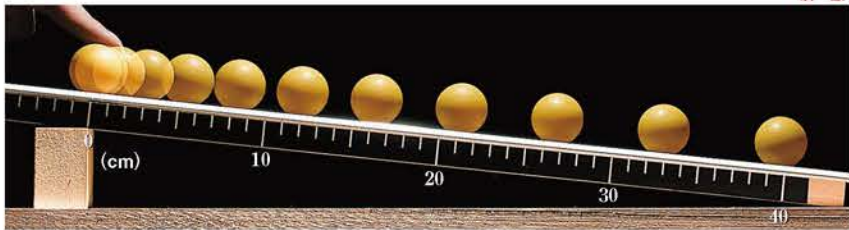


図19 斜面を降下する小球の運動(発光間隔0.10秒)

### 実験1 斜面を降下する台車の運動

【目的】記録タイマーを用いて、斜面上の台車の運動を調べる。

【見方・考え方】物体の速度と時間の関係について考える。

【準備】

力学台車、板、記録タイマー(図A)、記録用の紙テープ、クッション(ぞうきんなど)、方眼紙、ものさし

【手順】

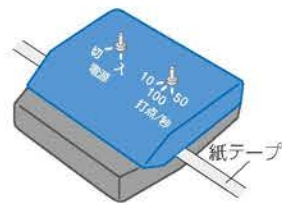
①紙テープの端を斜面(傾き10°程度)の上端付近に固定した記録タイマーに通し、台車の後部に取りつける。

②記録タイマーのスイッチを入れてから、台車を降下させる。

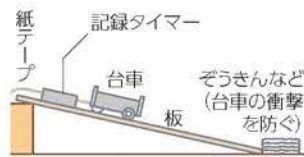
③打点された紙テープについて、動き始めたのははっきりとした打点を基準点(時刻0)に定めて一定の打点間隔(例えば5打点)で基準点からの長さをはかる。

④各区間の平均の速さを求め(→次ページ 参考)、横軸に時間、縦軸に台車の速さをとったグラフをかく。

【考察】台車の速さと時間の間にはどのような関係があるだろうか。



図A 記録タイマー



図B 斜面上の台車

図20に、実験1の結果の一例を示す。台車の速さが一定の割合で増加していることから、台車の加速度(単位時間当たりの速度の変化)は一定であることがわかる。このように、一直線上を一定の加速度で進む運動を等加速度直線運動という。

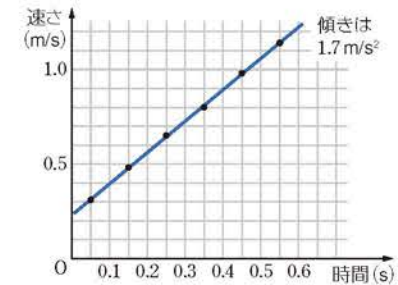
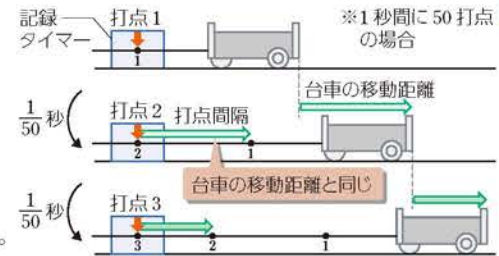


図20 台車の速さと時間の関係

### 参考 記録タイマーと運動の分析

#### 記録タイマー

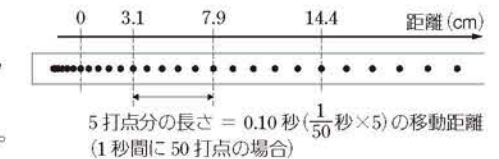
記録タイマーは、一定の時間間隔で記録用の紙テープに点を記す(打点する)装置である(図A)。打点間隔が、時間間隔ごとの移動距離に対応する。



図A 記録タイマーの打点間隔と台車の移動距離

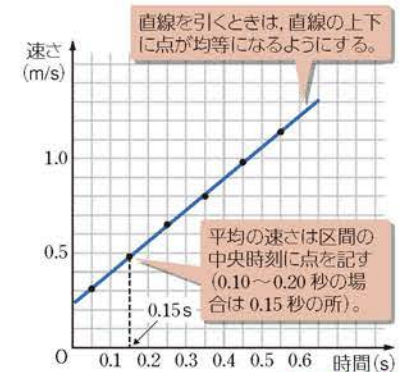
#### 運動の分析

図Bのように、紙テープに記録された打点から、各区間における平均の速さを求めることができる。下のような表を作成し、 $v-t$ 図をかく。



図B 打点の例 はっきりした点を基準にとり、一定の打点間隔で基準点からの距離をはかる。

時刻 (s)	基準点からの距離 (m)	各区間の移動距離 (m)	各区間の平均の速さ (m/s)
0	0	0.031	0.31
0.10	0.031	0.048	0.48
0.20	0.079	0.065	0.65
0.30	0.144	0.080	0.80
0.40	0.224	0.098	0.98
0.50	0.322	0.114	1.14
0.60	0.436		



NEW!  
実験手法について、丁寧に解説しました。

実験での着目点を「見方・考え方」として、明示しました。「理科の見方・考え方」が身につけられます。

NEW!

紙面右下のQRコードから、実験映像がご覧いただけます。





「注意」囲みで、生徒が誤解しやすい点を注意喚起しました。つまずきを防ぎ、「自学自習」をしっかりとサポートします。

NEW!

④ 加速度が負の場合 小球を斜面にそって上向きに転がす運動を考える。斜面にそって上向きに  $x$  軸をとると、初め小球の速さは減少するため、加速度は負である。やがて時刻  $t_1$  で速度が 0 になると、今度は負の向きに進むようになる。このとき負の向きに速さが増加するため、加速度は負である。

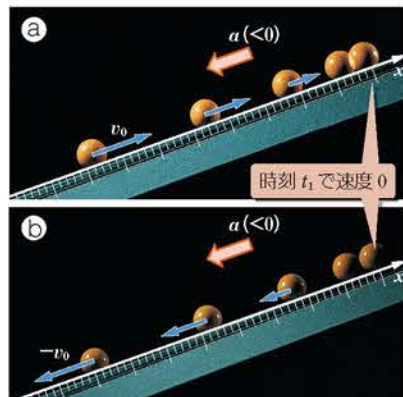


図 24 小球の運動 ( $a < 0$ ) 一定時間ごとに撮影した写真を重ねたもの。

「加速度が負」  
→「速さが減る」とは限らない。

注意

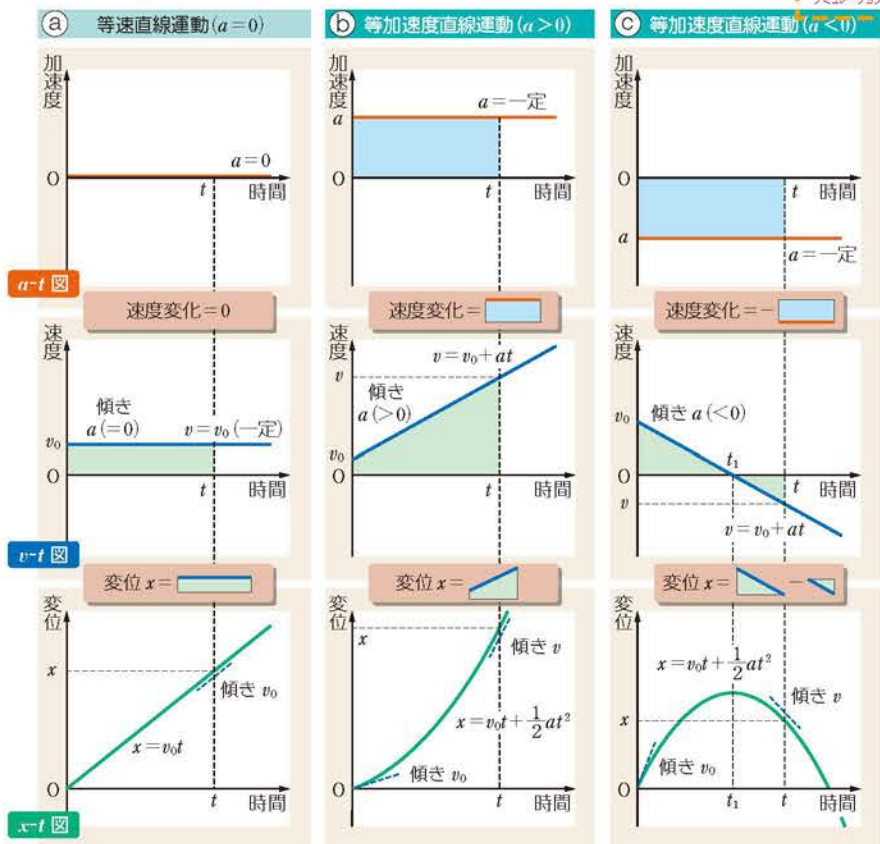


図 25 等速直線運動、等加速度直線運動のグラフ

「注意」囲みで、誤解しやすい点を注意喚起。

NEW!

図 24 のような斜面上の運動では、上昇中でも、降下中でも常に一定の負の加速度  $a$  となっている。物体の加速度が負の場合にも、等加速度直線運動の式は成り立つ。

図 25 に、等速直線運動と等加速度直線運動について、 $a-t$  図、 $v-t$  図、 $x-t$  図を示す。

● p.30 等加速度直線運動

$$v = v_0 + at \quad (13)$$

$$x = v_0t + \frac{1}{2}at^2 \quad (14)$$

$$v^2 - v_0^2 = 2ax \quad (15)$$

運動の向きが変わる場合、変位  $x$  と移動距離は異なる。

注意

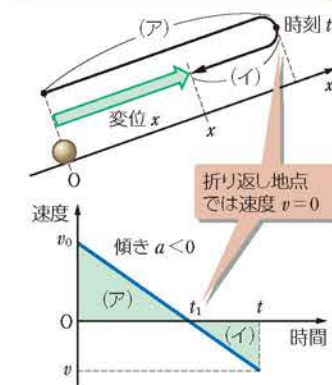


図 26 運動の向きが変わる場合

第1編

運動とエネルギー

例題 2 等加速度直線運動の式

速さ 10.0 m/s で進んでいた自動車が一一定の加速度で速さを増し、3.0 秒後に 16.0 m/s の速さになった。

- (1) このときの加速度の大きさを求めよ。
- (2) 自動車が加速している間に進んだ距離を求めよ。
- (3) こののち自動車が急ブレーキをかけて、一定の加速度で減速し、40 m 進んで停止した。このときの加速度の向きと大きさを求めよ。

指針 初速度の向きを正とおいて、速度や加速度の符号に注意して式に代入する。

- 解
- (1) 加速度を  $a$  [m/s<sup>2</sup>] とする。「 $v = v_0 + at$ 」(p.30(13)式)より  
 $16.0 = 10.0 + a \times 3.0$  よって  $a = 2.0 \text{ m/s}^2$
  - (2) 進んだ距離を  $x$  [m] とする。「 $x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$ 」(p.30(14)式)より  
 $x = 10.0 \times 3.0 + \frac{1}{2} \times 2.0 \times 3.0^2$  よって  $x = 39 \text{ m}$
  - (3) 加速度を  $a'$  [m/s<sup>2</sup>] とする。「 $v^2 - v_0^2 = 2ax$ 」(p.30(15)式)より  
 $0^2 - 16.0^2 = 2a' \times 40$   
 よって  $a' = -3.2 \text{ m/s}^2$   
 ゆえに、運動の向きと逆向きに大きさ 3.2 m/s<sup>2</sup>

「停止した」  
→最終的な速度は 0

類題 2 速さ 4.0 m/s で右向きに進み始めた物体が、等加速度直線運動をして 3.0 秒後に左向きに速さ 2.0 m/s となった。

- (1) 物体の加速度の向きと大きさを求めよ。
- (2) 物体の速さが 0 m/s になるのは、物体が進み始めてから何秒後か。
- (3) 物体が速さ 0 m/s になるまでに進む距離を求めよ。

正の向きを決め、速度や加速度の符号に注意して式に代入する。



紙面右下の QR コードから、等加速度直線運動のシミュレーションコンテンツをご利用いただけます。

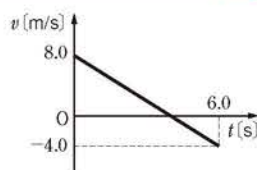


「例題+類題」のセットがさらに取り組みやすくなりました。**NEW!**  
 「基本の定着」と「自学自習」をしっかりサポートします。

データや資料をもとに考察させる問題を掲載しました(全5か所)。**NEW!**  
 「思考力・判断力・表現力」の育成に役立ちます(解答例は巻末に掲載)。

**例題 3** 等加速度直線運動のグラフ

図は、 $x$ 軸上で等加速度直線運動している物体が、原点を時刻0sに通過した後の6.0秒間の速度と時間の関係を表す $v-t$ 図である。



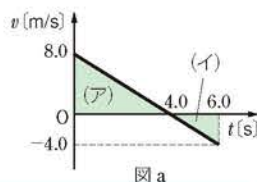
- (1) 物体の加速度  $a$  [m/s<sup>2</sup>] を求めよ。
- (2) 物体が原点から最も遠ざかる時の時刻  $t_1$  [s] と、その位置  $x_1$  [m] を求めよ。
- (3) 6.0秒後の物体の位置  $x_2$  [m] を求めよ。
- (4) 経過時間  $t$  [s] と物体の位置  $x$  [m] の関係をグラフに表せ。

**指針**  $v-t$ 図の傾きは加速度を表す。また、 $v-t$ 図の面積から変位が求められる。

**解** (1)  $a$  は、 $v-t$ 図の傾きで表されるので

$$a = \frac{(-4.0) - 8.0}{6.0 - 0} = \frac{-12.0}{6.0} = -2.0 \text{ m/s}^2$$

- (2) 速度が0m/sとなるときの、物体は最も遠ざかる。 $[v = v_0 + at]$  (p.30(13)式)より  
 $0 = 8.0 + (-2.0) \times t_1$   
 よって  $t_1 = 4.0 \text{ s}$



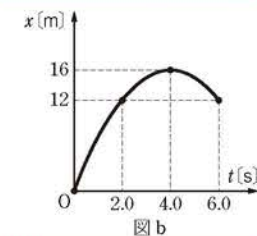
$x_1$  は、図aの(ア)の面積に等しいので

$$x_1 = \frac{1}{2} \times 4.0 \times 8.0 = 16 \text{ m}$$

- (3)  $x_2$  は図aの「(ア)の面積-(イ)の面積」より

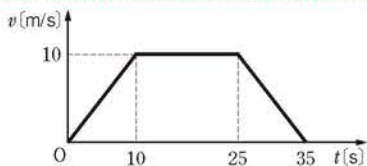
$$x_2 = 16 - \frac{1}{2} \times 2.0 \times 4.0 = 12 \text{ m}$$

- (4)  $t = 0 \text{ s}, 2.0 \text{ s}, 4.0 \text{ s}, 6.0 \text{ s}$  での  $x$  の値を求め、 $x-t$ 図に点を記して各点を結ぶと、図bのような放物線(→次ページ)の一部となる。



「最も遠ざかるとき」→速度0 (それ以上、先には進まない)

**類題 3** 図は、エレベーターが上昇するときの速度と経過時間の関係を表す $v-t$ 図である。



- (1) この運動の、加速度と経過時間の関係を表す $a-t$ 図をつくれ。
- (2) エレベーターが35秒間に上昇した高さ  $h$  [m] を求めよ。

**ヒント** グラフの縦軸は、エレベーターの高さではなく、速度  $v$  であることに注意する。

学んだことを説明してみよう

**2** 加速度

- (1) 「自動車の発進時の加速度の大きさが  $2.0 \text{ m/s}^2$ 」とはどういう意味か。
- (2)  $x$ 軸上の原点を正の向きに通過した物体が、負の加速度で等加速度直線運動をする。物体の速度は時間とともにどのように変化するか。

**参考** 等加速度直線運動と2次関数

等加速度直線運動の変位の式  
 $[x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2]$  は、 $t$  の2次関数である  
 (2次関数のグラフの曲線を放物線という)。

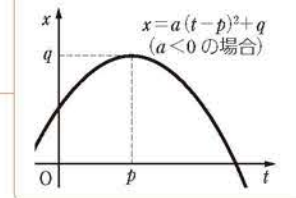
例えば、例題3では  $v_0 = 8.0 \text{ m/s}$ 、  
 $a = -2.0 \text{ m/s}^2$  を変位  $x$  の式に代入すると

$$x = 8.0 \times t + \frac{1}{2} \times (-2.0) \times t^2$$

$$x = -(t - 4.0)^2 + 16$$

となる。この式より、 $t = 4.0 \text{ s}$  において、  
 $x$  は最大値  $16 \text{ m}$  となることがわかる。

2次関数のグラフ  
 $x = a(t-p)^2 + q$  のグラフの  
 軸は  $t = p$ 、頂点は点  $(p, q)$   
 $a > 0$  → 下に凸の放物線  
 $a < 0$  → 上に凸の放物線



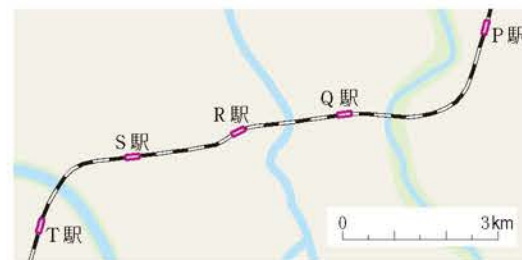
「指針」を新設し、  
 解法の要点をつか  
 みやすくしました。

生徒が疑問に感じ  
 やすい点を、ピン  
 ポイントで補足し  
 ました。

類題に「ヒント」を  
 新設。例題とのつ  
 ながりが、スムー  
 ズになりました。

**思考学習** 電車の走行区間の推定

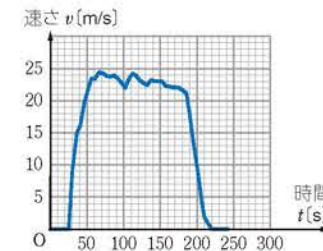
Kさんは、スマートフォンの機能を利用して、電車の  
 速さと経過時間の関係記録しようと考えた。Kさんが  
 乗車した電車は、P駅から発車したのち、Q駅、R駅、S  
 駅、T駅で停車をした。図Aは、これらの駅を地図上に表している。



駅名	P駅からの距離(km)
P駅	0
Q駅	3.9
R駅	5.8
S駅	8.0
T駅	10.5

図A 電車の路線

Kさんは、ある駅からある駅の区間で  
 データを記録した。それをグラフに表す  
 と図Bようになった。



- 考察1** 電車が停車しようとして減速  
 する間の加速度の大きさは、ほぼ一  
 定とみなせる。その大きさはおよそ  
 何  $\text{m/s}^2$  だろうか。

図B 電車の速さの時間変化

**考察2** Kさんがデータを記録した区間はどの駅とどの駅の間だろうか。

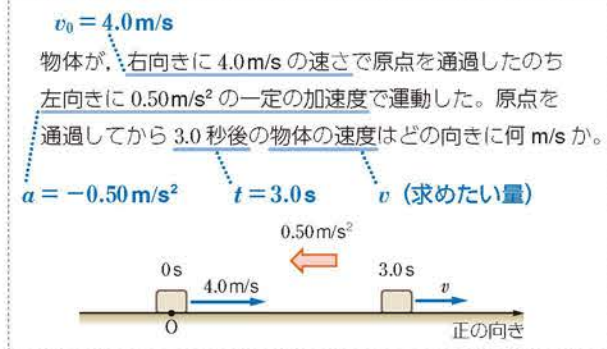


## ドリル 等加速度直線運動の式



物理の問題では、起こっている現象を考えずに、いきなり式を立てようとしてはいけません。問題文をていねいに読み、状況を把握した上で、式や法則を用いることが大切です。

**Step 1** 問題文から物理量を読み取る(状況を図に表すとよい)。



**Step 2** 問題文に出てくる物理量(特に時間  $t$ )に応じて式を選ぶ。

- |              |                                  |  |
|--------------|----------------------------------|--|
| 時間 $t$ を含む   | → 速度 $v$ を含む → ① $v = v_0 + a t$ | → 変位 $x$ を含む → ② $x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$ |
| 時間 $t$ を含まない |                                  |  |

**Step 3** 符号に注意して式に代入する。

**問 a**  $x$  軸上を等加速度直線運動する物体について、次の問いに答えよ。

- 加速度が正の向きに  $1.5 \text{ m/s}^2$  とする。正の向きに  $2.0 \text{ m/s}$  の速さで原点を通過してから  $4.0$  秒後の速度はどの向きに何  $\text{m/s}$  か。
- 加速度が負の向きに  $3.0 \text{ m/s}^2$  とする。正の向きに  $8.0 \text{ m/s}$  の速さで原点を通過してから  $2.0$  秒間運動した。この間の変位はどの向きに何  $\text{m}$  か。
- 正の向きに  $10.0 \text{ m/s}$  の速さで原点を通過してから  $8.0 \text{ m}$  進んだとき、正の向きに  $6.0 \text{ m/s}$  の速さであった。この運動の加速度はどの向きに何  $\text{m/s}^2$  か。

問題文には、物体の運動を知るために必要な情報が書かれています。次のような表現に注意しましょう。

- |                  |               |
|------------------|---------------|
| 「静止していた物体が動き始めた」 | → 初速度は $0$    |
| 「物体が停止した」        | → 最終的な速度が $0$ |
| 「物体がもとの位置にもどった」  | → 物体の変位は $0$  |

**問 b**  $x$  軸上を等加速度直線運動する物体について、次の問いに答えよ。

- 静止していた物体が正の向きに  $5.0 \text{ m/s}^2$  の加速度で動き始めた。速度が正の向きに  $16 \text{ m/s}$  となるまでの時間は何秒か。
- 加速度が負の向きに  $1.2 \text{ m/s}^2$  のとき、原点を通過してから  $5.0$  秒後の速度が負の向きに  $2.0 \text{ m/s}$  となった。初速度はどの向きに何  $\text{m/s}$  か。

**問 c**  $x$  軸上を等加速度直線運動する物体について、次の問いに答えよ。

- 正の向きに  $10 \text{ m/s}$  の速さで原点を通過してから、 $4.0$  秒間で  $60 \text{ m}$  進んだ。この運動の加速度はどの向きに何  $\text{m/s}^2$  か。
- 正の向きに  $20 \text{ m/s}$  の速さで原点を通過してから  $5.0$  秒後にもとの位置にもどった。この運動の加速度はどの向きに何  $\text{m/s}^2$  か。

**問 d**  $x$  軸上を等加速度直線運動する物体について、次の問いに答えよ。

- 正の向きに  $4.0 \text{ m/s}$  の速さで原点を通過してから  $16 \text{ m}$  進んだ所で停止した。この運動の加速度はどの向きに何  $\text{m/s}^2$  か。
- 正の向きに  $5.0 \text{ m/s}$  の速さで原点を通過した物体が、負の向きに  $4.0 \text{ m/s}^2$  の加速度で運動し、やがて速度は負の向きに  $3.0 \text{ m/s}$  になった。この間の変位はどの向きに何  $\text{m}$  か。

**問 e**  $x$  軸上を運動する物体を考える。正の向きに  $6.0 \text{ m/s}$  の速さで原点を通過した物体が、一定の加速度で運動し、 $12 \text{ m}$  進んで停止した。

- このときの加速度はどの向きに何  $\text{m/s}^2$  か。
- $12 \text{ m}$  進むのにかかる時間は何秒か。





## 2 力のつりあい

→ベクトルの扱いは20ページ参照

綱引きで勝負がつかないとき、力いっぱい引いているのに綱が動かないのはなぜだろうか。この節では、「力がつりあう」とはどういうことか理解しよう。

### A 力の合成・分解



**①力の合成** 1つの物体に複数の力が同時にはたらくとき、これらの力の組と同じはたらきをする1つの力を求めることができる。これを**力の合成**といい、合成された力を**合力** ごうりき resultant force という。

2力  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  が平行でないときの合力  $\vec{F}$  は、図44①のように、 $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  を隣りあう辺とする平行四辺形の対角線によって表される。合力を式で書くと次のようになる。

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 \quad (37)$$

**②力の分解** 合成とは逆に、1つの力を、それと同じはたらきをするいくつかの力の組に分けることを**力の分解**といい、分けられた力を**分力** ぶんりき components of the force という(図45①)。力の分解では、垂直な2方向に分解すると便利ことが多い(同図②)。

**③力の成分** 図45②のように、力  $\vec{F}$  を、互いに垂直な  $x$  軸,  $y$  軸方向に分解する。分力  $\vec{F}_x$ ,  $\vec{F}_y$  の大きさに、向きを表す正・負の符号をつけた値  $F_x$ ,  $F_y$  を、それぞれ  $\vec{F}$  の  $x$  成分,  $y$  成分 という。

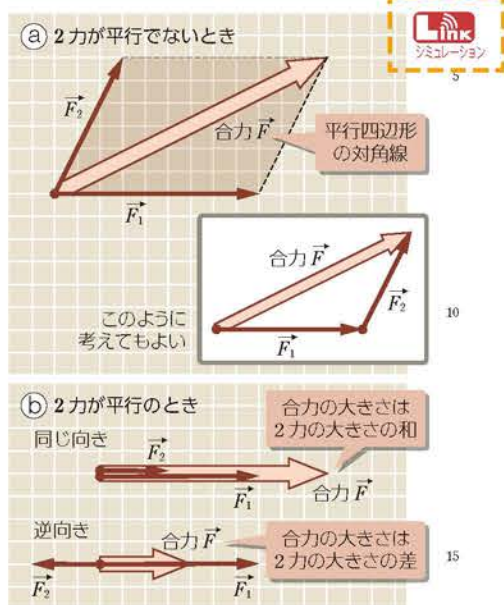


図44 力の合成

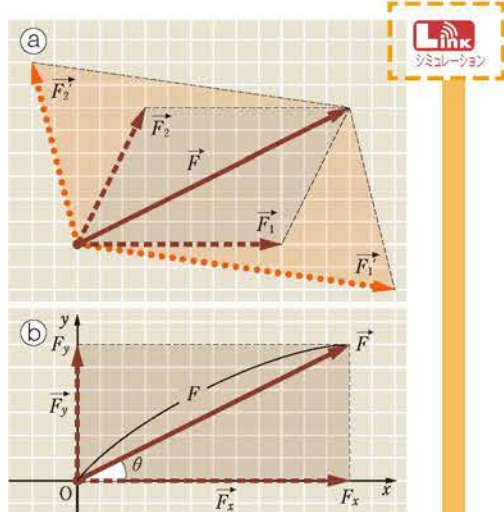


図45 力の分解 分解する2方向のとり方によって分解の方法は何通りもある。

$\vec{F}$  (大きさ  $F$ ) が  $x$  軸の正の向きとなす角を  $\theta$  とするとき、 $\vec{F}$  の  $x$  成分  $F_x$ ,  $y$  成分  $F_y$ , および  $\vec{F}$  の大きさ  $F$  は、次のように表される。

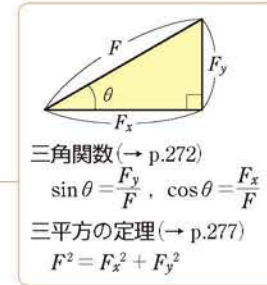
$$F_x = F \cos \theta, \quad F_y = F \sin \theta \quad (38)$$

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \quad (39)$$

→ p.278 数の平方根の求め方

また、2力  $\vec{F}_1$  ( $x$  成分  $F_{1x}$ ,  $y$  成分  $F_{1y}$ ),  $\vec{F}_2$  ( $x$  成分  $F_{2x}$ ,  $y$  成分  $F_{2y}$ ) の合力  $\vec{F}$  の成分  $F_x$ ,  $F_y$  は、各成分の和で求められる(図46)。

$$F_x = F_{1x} + F_{2x}, \quad F_y = F_{1y} + F_{2y} \quad (40)$$



三角関数(→ p.272)  
 $\sin \theta = \frac{F_y}{F}, \quad \cos \theta = \frac{F_x}{F}$   
 三平方の定理(→ p.277)  
 $F^2 = F_x^2 + F_y^2$

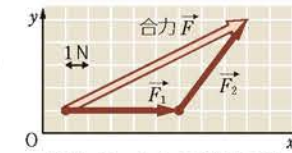
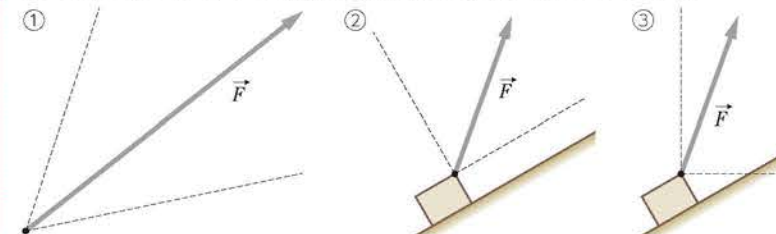


図46 合力の成分の例  
 $\vec{F}$  の  $x$  成分:  $5\text{N} + 3\text{N} = 8\text{N}$   
 $\vec{F}$  の  $y$  成分:  $0\text{N} + 4\text{N} = 4\text{N}$

問28 ①~③について、合力を図にかきこめ。

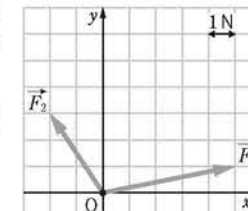


問29 ①~③について、力  $\vec{F}$  を破線の2方向に分解し、分力をかきこめ。

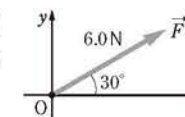


問30 (1) 図の力  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  について、 $x$  成分,  $y$  成分をそれぞれ求めよ。ただし、方眼の1目盛りが  $1\text{N}$  に対応しており、整数値で答えてよい。

(2) 力  $\vec{F}_1$ ,  $\vec{F}_2$  の合力の  $x$  成分,  $y$  成分と、合力の大きさをそれぞれ求めよ。



問31 図の力  $\vec{F}$  (大きさ  $6.0\text{N}$ ) の  $x$  成分,  $y$  成分をそれぞれ求めよ。



紙面右下のQRコードから、力の合成・分解のシミュレーションコンテンツをご利用いただけます。





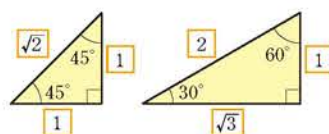
## 三角比と力の成分



力を互いに垂直な2方向に分解する場合、力の成分は  $\sin\theta$  や  $\cos\theta$  を用いて表すのが一般的である(→ p.59)。ただし、角  $\theta$  が具体的に与えられた場合には、 $\sin\theta$ 、 $\cos\theta$  を使わずに力の成分を求めることもできる。

### 力の成分の求め方 ① 直角三角形の辺の長さの比を用いる方法

特別な角 ( $30^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $60^\circ$ ) の場合には、直角三角形の辺の長さの比を用いて、力の成分を求めることができます。



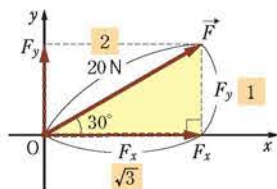
右の図の場合、力  $\vec{F}$  の  $x$  成分  $F_x$  は

$$F_x : 20 = \sqrt{3} : 2 \text{ より}$$

$$F_x \times 2 = 20 \times \sqrt{3}$$

ゆえに

$$F_x = 10\sqrt{3} \approx 17\text{N}$$



同様に、 $y$  成分  $F_y$  は

$$F_y : 20 = 1 : 2 \text{ より}$$

$$F_y = 10\text{N}$$

と求められます。

#### 補足 比例式の計算

$$p : q = r : s \text{ のとき } p \times s = q \times r$$

平方根の値(→ p.283)

$$\sqrt{2} = 1.41\cdots \quad \sqrt{3} = 1.73\cdots$$

### 力の成分の求め方 ② 三角比を用いる方法

力の成分を求めるとき、数学の知識「三角比」が役に立ちます。

右下の図のような直角三角形では、角  $\theta$  が決まると、三角形の大きさとは関係なく、辺の長さの比が決まります。そこで

$$\text{辺の長さの比 } \frac{a}{c} = \sin\theta$$

$$\text{辺の長さの比 } \frac{b}{c} = \cos\theta$$

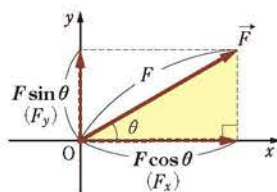
$$\text{辺の長さの比 } \frac{a}{b} = \tan\theta$$

とし、これらを **三角比** といいます。

力  $\vec{F}$  の大きさ  $F$  と角  $\theta$  がわかれば、力の成分を求めることができます。

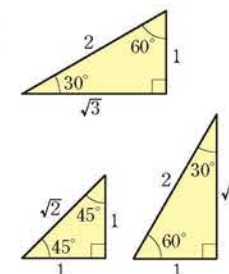
$$\cos\theta = \frac{F_x}{F} \text{ より } F_x = F \cos\theta$$

$$\sin\theta = \frac{F_y}{F} \text{ より } F_y = F \sin\theta$$

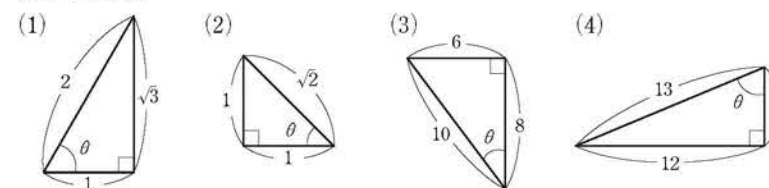


表A 三角比の値の例  $\theta = 90^\circ$ では  $\tan\theta$  を定義しない。

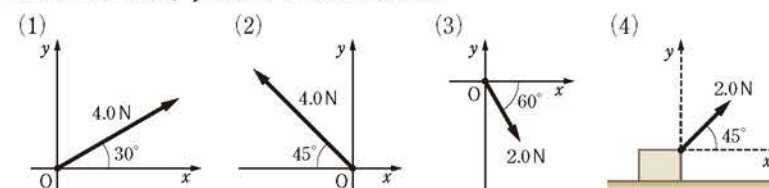
$\theta$	$0^\circ$	$30^\circ$	$45^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$
$\sin\theta = \frac{a}{c}$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
$\cos\theta = \frac{b}{c}$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{2}$	0
$\tan\theta = \frac{a}{b}$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$	



問A 次の角  $\theta$  について、 $\sin\theta$ 、 $\cos\theta$ 、 $\tan\theta$  を求めよ(答えの分数、根号はそのままよい)。



問B 次の力の  $x$  成分、 $y$  成分をそれぞれ求めよ。



### 参考 三角比の値の調べ方

実験などでは  $30^\circ$ 、 $45^\circ$ 、 $60^\circ$

以外の角について扱うことも

多い。そのような場合、282ペー

ジの三角比の表を用いると便

利である。例えば  $25^\circ$  の場合、

$$\sin 25^\circ = 0.42262$$

$$\cos 25^\circ = 0.90631$$

と調べることができる。

三角比の値は、インターネットや関数電卓を用いて調べることができる

(関数電卓の機能が搭載されたスマートフォンもある)。

角の単位 rad については p.274 参照

角	度	rad	正弦 sin	余弦 cos	正接 tan
0°	0.00000	0.00000	1.00000	0.00000	0.00000
1°	0.01745	0.01745	0.99985	0.01746	0.03492
2°	0.03491	0.03491	0.99939	0.03492	0.05241
3°	0.05236	0.05236	0.99863	0.05241	0.07175
23°	0.40143	0.39073	0.92050	0.42447	0.45231
24°	0.41888	0.40674	0.91355	0.44523	0.46631
25°	0.43633	0.42262	0.90631	0.46631	0.48773
26°	0.45379	0.43837	0.89879	0.48773	0.51057





**B 力のつりあい**

1つの物体にいくつかの力が同時にはたらくても、それらの合力が  $\vec{0}$  であるときには、これらの力はつりあっているという。

① **2力のつりあい** 図47のように、糸でつるして静止したおもりには、重力  $\vec{F}_1$  と、糸が引く力  $\vec{F}_2$  がはたらき、2力がつりあう。このとき

つりあう2力は、同じ作用線上にあり、大きさが等しく反対向きである。つまり、 $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$  より

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 = \vec{0} \quad (41)$$

② **3力のつりあい** 図48のように、おもりを2本の糸でつるして静止させると、おもりには重力  $\vec{F}_1$  と、2本の糸が引く力  $\vec{F}_2$ ,  $\vec{F}_3$  がはたらき、3力がつりあう。このとき、糸が引く力  $\vec{F}_2$  と  $\vec{F}_3$  の合力が、重力  $\vec{F}_1$  とつりあっている。また、3力の合力は  $\vec{0}$  だから

$$\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 = \vec{0} \quad (42)$$

力を水平方向の成分と鉛直方向の成分とに分解することにより、(42)式は

$$\text{水平方向 } F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} = 0 \quad (43)$$

$$\text{鉛直方向 } F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} = 0 \quad (44)$$

と表される。3力のつりあいの関係を、実験で確認してみよう。

一般に、物体にいくつかの力がはたらくとき、次の関係が成りたつと、これらの力はつりあっている。

**力のつりあい**

力の総和(合力)が  $\vec{0}$   $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots = \vec{0} \quad (45)$

力の x 成分の総和が 0  $F_{1x} + F_{2x} + F_{3x} + \dots = 0 \quad (46)$

力の y 成分の総和が 0  $F_{1y} + F_{2y} + F_{3y} + \dots = 0 \quad (47)$



図47 2力のつりあい

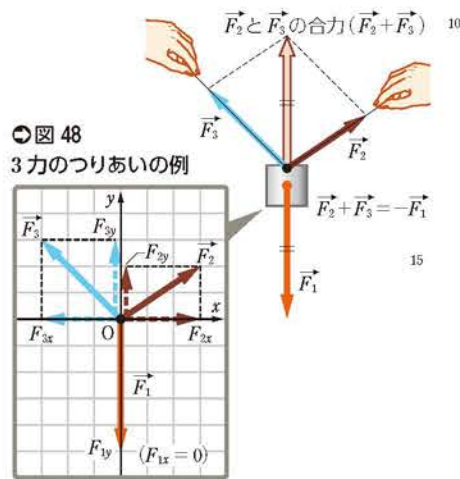


図48 3力のつりあいの例

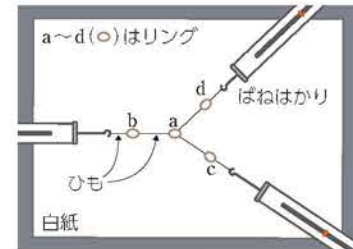
**実験4 力のつりあい**



第1編

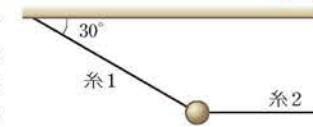
運動とエネルギー

- ばねはかりを水平にして、目盛りが0になるように調整する。
- 図のように、ばねはかりを用いてリングを水平な3方向に引いて静止させ、リングの位置を白紙に記録する。
- 3力の大きさをはかる。力の向きと大きさをふまえて矢印をかき、力のつりあいの関係が成りたっているか検証する。



**例題7 力のつりあい①**

軽い糸1に重さ(重力の大きさ)10Nの小球をつけ、天井からつるす。小球を軽い糸2で水平方向に引き、糸1が天井と30°の角をなす状態で静止させた。糸1, 糸2が小球を引く力の大きさ  $T_1$  [N],  $T_2$  [N] をそれぞれ求めよ。



指針 糸1が引く力を水平方向と鉛直方向に分解する。

解 鉛直方向の力のつりあいより

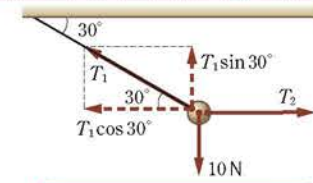
$$T_1 \sin 30^\circ - 10 = 0$$

$$\text{よって } T_1 = 20\text{N}$$

水平方向の力のつりあいより

$$T_2 - T_1 \cos 30^\circ = 0$$

$$\text{よって } T_2 = 20 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 17\text{N}$$



$\sin 30^\circ = \frac{1}{2}$ ,  $\cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2}$  の関係を用いる ( $\sqrt{3} = 1.73\dots$ )。

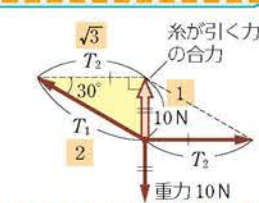
別解 2本の糸が引く力の合力が重力とつりあう。直角三角形の辺の長さの比より

$$T_1 : 10 = 2 : 1$$

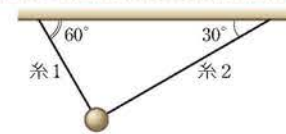
$$\text{よって } T_1 = 20\text{N}$$

$$T_2 : 10 = \sqrt{3} : 1$$

$$\text{よって } T_2 = 10\sqrt{3} \approx 17\text{N}$$



類題7 重さ(重力の大きさ)20Nの小球に軽い糸1, 糸2をつけ、図のように天井からつるして小球を静止させた。糸1, 糸2が小球を引く力の大きさ  $T_1$  [N],  $T_2$  [N] をそれぞれ求めよ。



ヒント 垂直な2方向について力のつりあいを考える。

1 ここでは、大きさが無視できる小さな物体(質点)を考える。大きさが無視できない場合は、物体の回転についても考える必要がある(→ p.250 発展)。

2  $\vec{0}$  は大きさが0で向きのないベクトルで零ベクトルという。

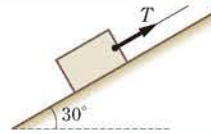


紙面右下のQRコードから、実験映像がご覧いただけます。



**例題 8** 力のつりあい②

傾きの角  $30^\circ$  のなめらかな斜面上に重さ  $20\text{N}$  の物体を置き、斜面にそって上向きに糸で引いて静止させる。糸が引く力の大きさ  $T[\text{N}]$  と、物体が斜面から受ける垂直抗力の大きさ  $N[\text{N}]$  を求めよ。



**指針** 物体にはたらく力をすべてかく。重力を斜面に平行な方向と垂直な方向に分解するとよい。図のように補助線を引いて直角三角形をつくり、角の関係を考える。

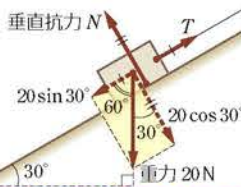
**解** 斜面に平行な方向の力のつりあいより

$$T - 20 \sin 30^\circ = 0 \quad \text{よって} \quad T = 10\text{N}$$

斜面に垂直な方向の力のつりあいより

$$N - 20 \cos 30^\circ = 0$$

$$\text{よって} \quad N = 20 \times \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 17\text{N}$$



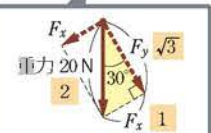
**別解** 重力の、斜面に平行な成分の大きさ  $F_x$

と、垂直な方向の成分の大きさ  $F_y$  は

$$F_x : 20 = 1 : 2 \quad \text{より} \quad F_x = 10\text{N}$$

$$F_y : 20 = \sqrt{3} : 2 \quad \text{より} \quad F_y = 10\sqrt{3} \approx 17\text{N}$$

これらを用いて、力のつりあいの式を立てる。

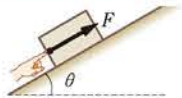


三角比を使わない解法を「別解」として掲載しました。

NEW!

**類題 8**

傾きの角  $\theta$  のなめらかな斜面上に質量  $m[\text{kg}]$  の物体を置き、斜面にそって上向きに力を加えて静止させる。加えた力の大きさ  $F[\text{N}]$  と、物体が斜面から受ける垂直抗力の大きさ  $N[\text{N}]$  を求めよ。重力加速度の大きさを  $g[\text{m/s}^2]$  とする。

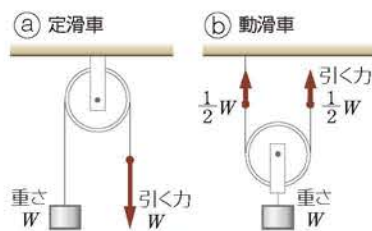


**ヒント** 重力(大きさ  $mg[\text{N}]$ )を斜面に平行な方向と垂直な方向に分解する。

**参考** 定滑車と動滑車

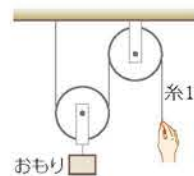
滑車は、物体を引く力の向きを変えることのできる道具である。

滑車には、図 A ③のように固定された定滑車や、同図 ④のように固定されていない動滑車がある。軽い動滑車では、2本の糸で支えるため、物体の重さの半分の大きさの力で支えることができる。



図A 定滑車と動滑車

**問 a** 図のような定滑車と動滑車を用いて、重さ  $4.0\text{N}$  のおもりを支えて静止させるには、糸1を何  $\text{N}$  の力で引けばよいか。滑車と糸の質量は無視する。



**C** 作用と反作用

**1** 作用反作用の法則 図 49 のように、氷上でスケートをはいた人 A が人 B を押すと、B は右向きに動きだすが、このとき同時に A は左向きに動き出す。これは、A も B から力を受けているためである。

このように、力は1つの物体に一方向的にはたらくのではなく、必ず2つの物体の間で互いに及ぼしあってはたらく。このような2つの力のうちの一方を **作用** といい、他方を **反作用** という。

一般に、次に示す **作用反作用の法則** (または **Newton's third law of motion** または **運動の第三法則**) が成り立つ。  
→ p.74



図 49 作用・反作用の例

**作用反作用の法則**

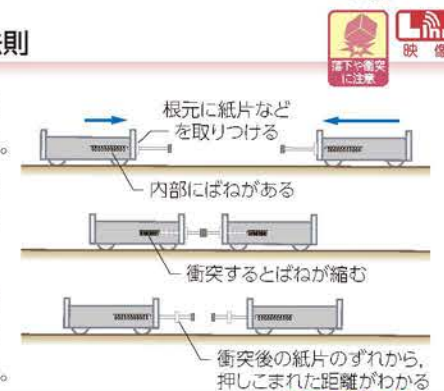
物体 A から物体 B に力をはたらかせているときには、物体 B から物体 A に、同じ作用線上で、大きさが等しく、向きが反対の力がはたらいている

作用・反作用の2力は「同時に」はたらく。  
例えば、「人が黒板を押した結果、黒板が人を押し返した」のではない。「人が黒板を押しているとき、同時に黒板も人を押し返している」のである。

作用反作用の法則が成りたっているかを、実験で確認してみよう。  
→ 実験 5

**実験 5** 作用反作用の法則

- ばねにつながれた棒が取り付けられた2台の同じ台車を衝突させる。棒が押しこまれた距離(ばねが縮んだ距離)が、台車が受ける力の大きさに比例する。
- 台車の質量や速さなどの条件を変え、台車が及ぼしあう力の大きさが常に等しいかを確認してみよう。



紙面右下の QR コードから、実験映像がご覧いただけます。



特集「運動方程式の立て方」では、「例題+類題」の数がさらに充実。  
 (→48「力学的エネルギー保存則の式の立て方」も特集)

## 特集 運動方程式の立て方

● 物体を糸で上向きに引くときの運動

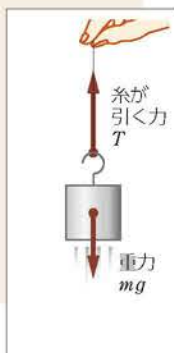
### Step 0

どの物体について運動方程式を立てるかを決める。



### Step 1

その物体が受けている力をかきこむ。  
 このとき、重力を見落とさないように注意する。  
 → p.68 物体が受ける力の見つけ方



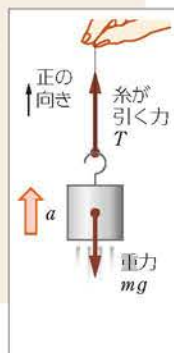
運動方程式  $[ma = F]$  (力  $F$  と質量  $m$  と加速度  $a$  の間に成り立つ関係式) により、ある瞬間で物体にはたらく力がわかれば、その物体の質量をふまえて、物体の運動 (加速度) を見抜くことができます。  
 この重要な事実を基礎にして、物体の運動を見抜く力を身につけましょう。



第1編 運動とエネルギー

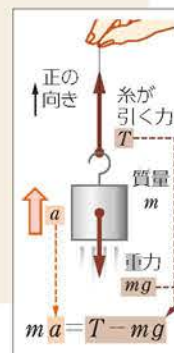
### Step 2

正の向きを定め、その向きの加速度を  $a$  とする。  
 (物体の運動の向きを正の向きとすることが多い)



### Step 3

物体が受ける力について、運動の方向の成分の和を求め、運動方程式  $ma = F$  を適用する。



ページ上部で、考え方の手順を、わかりやすく示しました。

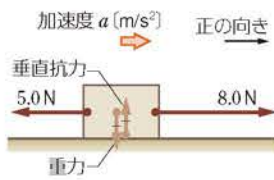
### 例題 9 1 物体の運動方程式①

なめらかな水平面上にある質量  $2.0\text{kg}$  の物体に、右向きに  $8.0\text{N}$  の力と、左向きに  $5.0\text{N}$  の力を加えて運動させた。物体の加速度はどの向きに何  $\text{m/s}^2$  か。



指針 物体が受ける力のうち、鉛直方向の力(重力と垂直抗力)はつりあっているため、水平方向についての運動方程式を立てる。

解 Step 1 物体が受ける力は図のようになる。  
 Step 2 右向きを正とし、物体の加速度を  $a[\text{m/s}^2]$  とする。



Step 3 物体が受ける力の合力  $F[\text{N}]$  は  $F = 8.0 - 5.0 = 3.0\text{N}$   
 ここで、質量  $m = 2.0\text{kg}$ 、合力  $F = 3.0\text{N}$  を  $[ma = F]$  (p.74(52)式) に代入して  $2.0 \times a = 3.0$  よって  $a = 1.5\text{m/s}^2$   
 加速度は 右向きに  $1.5\text{m/s}^2$

$a > 0$  より 加速度は右向き。

### 類題 9

なめらかな水平面上にある質量  $0.50\text{kg}$  の物体に、右向きに  $4.0\text{N}$  の力と、左向きに  $6.0\text{N}$  の力を加えて運動させた。物体の加速度はどの向きに何  $\text{m/s}^2$  か。



ヒント 正の向きを定め、力と加速度の正負に注意して運動方程式を立てる。

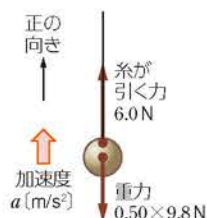
### 例題 10 1 物体の運動方程式②

質量  $0.50\text{kg}$  の小球をつるした軽い糸の上端を持って、 $6.0\text{N}$  の力で鉛直上向きに引き上げた。小球の加速度はどの向きに何  $\text{m/s}^2$  か。重力加速度の大きさを  $9.8\text{m/s}^2$  とする。



指針 小球が受ける力をすべてかきこむ。運動方程式  $[ma = F]$  の  $F$  には、合力を代入する。

解 Step 1 小球が受ける力は、重力と、糸が引く力の2力であり、向きと大きさは図のようになる。  
 Step 2 鉛直上向きを正とし、小球の加速度を  $a[\text{m/s}^2]$  とする。  
 Step 3 小球が受ける力の合力  $F[\text{N}]$  は  $F = 6.0 - 0.50 \times 9.8 = 1.1\text{N}$   
 これを  $[ma = F]$  (p.74(52)式) に代入して  $0.50 \times a = 1.1$  よって  $a = 2.2\text{m/s}^2$   
 加速度は 鉛直上向きに  $2.2\text{m/s}^2$

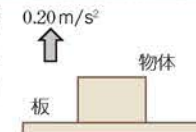


重力を忘れやすいので注意する。忘れた人は p.68 で復習しよう。

間違いやすい点を、ピンポイントで補足しました。

### 類題 10

図のように、質量  $1.5\text{kg}$  の物体を板の上のせて、鉛直上向きに一定の加速度  $0.20\text{m/s}^2$  で板を動かす。このとき、物体が板から受ける垂直抗力の大きさ  $N[\text{N}]$  を求めよ。重力加速度の大きさを  $9.8\text{m/s}^2$  とする。



ヒント 運動方程式  $[ma = F]$  の  $F$  (=合力) に、そのまま  $N$  を代入しないよう注意する。

基本的なパターンを下の「例題+類題」でしっかりと網羅しています。  
 「水平方向の場合(→40)」、「鉛直方向の場合(→41)」、「斜面上の場合(→42)」、  
 「2物体を押す場合(→43)」、「2物体を引く場合(→44)」、「滑車を含む場合(→45)」



ページ上部で考え方をわかりやすく示し、  
ページ下部で「例題+類題」を扱っています。

## 運動方程式の立て方

### ● 斜面上の物体の運動

物体の運動の方向がわかっている場合、「運動の方向」と「それに垂直な方向」とに分けて考えるとよい。よって、この場合は

斜面方向については運動方程式、  
斜面に垂直な方向については力のつりあいの式を立てる。

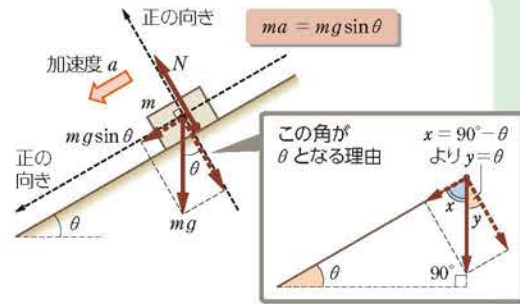


図 57 斜面上の物体の運動

### ● 力を及ぼしあう 2 物体の運動

物体がいくつかある場合は、物体ごとに分けて考え、各物体が受ける力だけをかきこむ。

物体間では及ぼしあう力の大きさは、 $f(N)$  など共通の文字を用いる。また、2 物体の加速度の大きさが等しいとわかっている場合、 $a(m/s^2)$  など共通の文字を用いる。

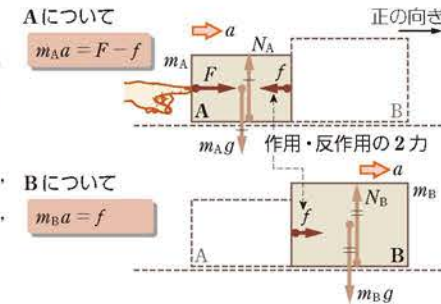


図 58 力を及ぼしあう 2 物体の運動

### 例題 11 1 物体の運動方程式③

傾きの角が  $30^\circ$  のなめらかな斜面上を、質量  $0.20\text{kg}$  の小物体がすべり下りている。このときの小物体の加速度の大きさ  $a(m/s^2)$  を求めよ。重力加速度の大きさを  $9.8\text{m/s}^2$  とする。

指針 重力を斜面方向と、斜面に垂直な方向とに分け、斜面方向について運動方程式を立てる。

解 小物体の質量を  $m(\text{kg})$ 、重力加速度の大きさを  $g(m/s^2)$  とおく。

Step 1 小物体が受ける力は、重力  $mg$  と垂直抗力である。

Step 2 斜面にそって下向き(小物体の運動の向き)を正とする。

Step 3 重力の斜面方向の成分  $F$  は

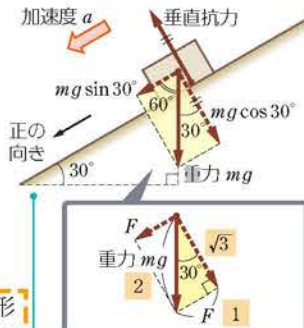
$$F = mg \sin 30^\circ = \frac{1}{2} mg$$

別解 重力の斜面方向の成分  $F$  は直角三角形の辺の長さの比から求めることもできる。

$$F : mg = 1 : 2 \text{ より } F = \frac{1}{2} mg$$

小物体の運動方程式は  $ma = \frac{1}{2} mg$

$$\text{よって } a = 9.8 \times \frac{1}{2} = 4.9\text{m/s}^2$$

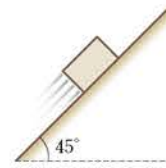


斜面に垂直な方向の力はつりあっている。垂直抗力の大きさを  $N(N)$  とすると  
 $N - mg \cos 30^\circ = 0$   
よって  $N = \frac{\sqrt{3}}{2} mg$

### 類題 11

傾きの角が  $45^\circ$  のなめらかな斜面上を、質量  $m(\text{kg})$  の小物体がすべり上がっている。このときの小物体の加速度の大きさ  $a(m/s^2)$  を求めよ。重力加速度の大きさを  $g(m/s^2)$  とする。

ポイント 正の向きを定め、正負に注意して運動方程式を立てる。



三角比を使わない解法を「別解」として掲載しました。

NEW!

### 例題 12 2 物体の運動方程式①

なめらかな水平面上に質量  $2.0\text{kg}$  の物体 A と質量  $3.0\text{kg}$  の物体 B を接触させ、図のように A を  $8.0\text{N}$  の力で水平に押す。

- (1) A, B の加速度の大きさ  $a(m/s^2)$  を求めよ。
- (2) A が B を押す力の大きさ  $f(N)$  を求めよ。

指針 作用反作用の法則より、A は B から大きさ  $f(N)$  の力で押される。

解 (1) Step 1 A, B が受ける水平方向の力は、それぞれ図のようになる。

Step 2 右向きを正の向きとする。

Step 3 各物体の運動方程式は

$$\text{A}(2.0\text{kg}) : 2.0 \times a = 8.0 - f \dots \text{①}$$

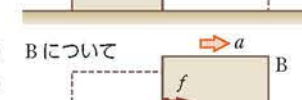
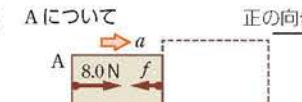
$$\text{B}(3.0\text{kg}) : 3.0 \times a = f \dots \text{②}$$

$$\text{①式} + \text{②式より } 5.0 \times a = 8.0$$

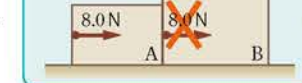
$$\text{よって } a = 1.6\text{m/s}^2$$

別解 2 物体を一体とみなして、質量  $5.0\text{kg}$  の物体を  $8.0\text{N}$  の力で押すと考えると、 $a$  は求められる。  
 $5.0 \times a = 8.0$  より  $a = 1.6\text{m/s}^2$

$$(2) \text{②式より } f = 3.0 \times 1.6 = 4.8\text{N}$$



A を押す力(8.0N)がそのまま B に伝わると考えてはいけない。なぜいけないのか考えてみよう。



間違いやすい点を、ピンポイントで補足しました。

### 類題 12

なめらかな水平面上に質量  $M(\text{kg})$  の物体 A と質量  $m(\text{kg})$  の物体 B を接触させ、図のように A を  $F_0(N)$  の力で水平に押す。A, B の加速度の大きさと、A が B を押す力の大きさをそれぞれ求めよ。

ポイント 求める量を文字でおく。A が B から押される力を忘れないようにする。



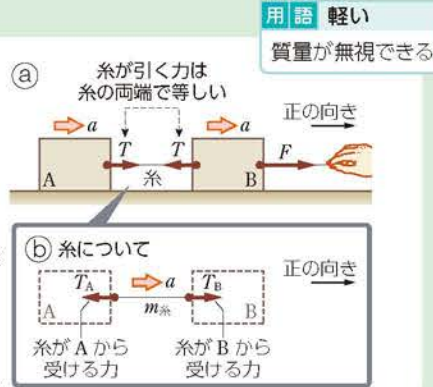


ページ上部で考え方をわかりやすく示し、  
ページ下部で「例題+類題」を扱っています。

## 運動方程式の立て方

### 糸でつながれた物体の運動

軽い糸が物体を引く力の大きさは、  
糸の両端で等しくなる。

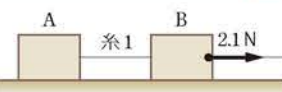


### 図 59 糸が両端で引く力の大きさ

①糸が両端で受ける力の大きさを  $T_A$ ,  $T_B$  とおく。糸について運動方程式を立てると  
 $m_{\text{糸}}a = T_B - T_A$   
質量の無視できる軽い糸では  $m_{\text{糸}} = 0$  より  
 $T_A = T_B$  となるので、両端で受ける力は等しい。

### 例題 13 2物体の運動方程式②

なめらかな水平面上に質量  $0.20\text{kg}$  の物体 A と質量  $0.30\text{kg}$  の物体 B を置いて、軽い糸 1 でつなぐ。図のように B を  $2.1\text{N}$  の力で水平に引いたところ、2つの物体は運動を始めた。



- (1) A, B の加速度の大きさ  $a[\text{m/s}^2]$  を求めよ。  
(2) 糸 1 が A を引く力の大きさ  $T[\text{N}]$  を求めよ。

指針 糸 1 が A を引く力と、糸 1 が B を引く力は、同じ大きさ  $T[\text{N}]$  である。

解 (1) Step 1 A, B が受ける水平方向の力はそれぞれ図のようになる。

Step 2 右向きを正の向きとする。

Step 3 各物体の運動方程式は

$$A(0.20\text{kg}) : 0.20 \times a = T \quad \dots\dots ①$$

$$B(0.30\text{kg}) : 0.30 \times a = 2.1 - T \quad \dots\dots ②$$

$$\text{①式} + \text{②式より } 0.50 \times a = 2.1$$

よって  $a = 4.2\text{m/s}^2$

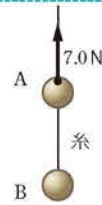
別解 2物体を一体とみなして、質量  $0.50\text{kg}$  の物体を  $2.1\text{N}$  の力で引くと考えても、 $a$  は求められる。  
 $0.50 \times a = 2.1$  より  $a = 4.2\text{m/s}^2$

(2) ①式より  $T = 0.20 \times 4.2 = 0.84\text{N}$

類題 13 図のように、質量が  $0.20\text{kg}$  と  $0.30\text{kg}$  の小球 A, B を軽い糸でつなぎ、A を大きさ  $7.0\text{N}$  の力で鉛直上向きに引き上げた。重力加速度の大きさを  $9.8\text{m/s}^2$  とする。

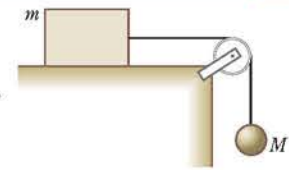
- (1) A, B の加速度の大きさ  $a[\text{m/s}^2]$  を求めよ。  
(2) 糸が B を引く力の大きさ  $T[\text{N}]$  を求めよ。

ヒント 糸が引く力は両端で同じ大きさである。



### 例題 14 2物体の運動方程式③

質量  $m[\text{kg}]$  の物体をなめらかで水平な机の面上に置く。物体に軽く伸びないひもをつけ、これを机の端に固定した軽い滑車に通し、ひもの端に質量  $M[\text{kg}]$  のおもりをつるす。重力加速度の大きさを  $g[\text{m/s}^2]$  とする。



- (1) 物体とおもりの加速度の大きさ  $a[\text{m/s}^2]$  を求めよ。  
(2) ひもが物体を引く力の大きさ  $T[\text{N}]$  を求めよ。

指針 滑車を介した場合にも、ひもが両端で引く力の大きさは等しい。物体とおもりの加速度の向きは異なるが、ひもでつながれているため、加速度の大きさは等しい。

解 (1) Step 1 物体とおもりが受ける力は図のようになる。

Step 2 物体については水平方向右向きを正、おもりについては鉛直方向下向きを正とする。

Step 3 それぞれの運動方程式は

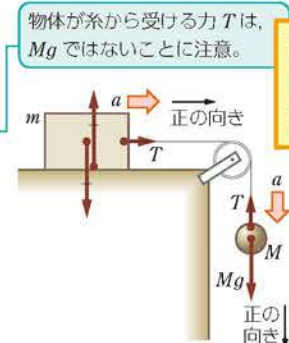
$$\text{物体} : ma = T \quad \dots\dots ①$$

$$\text{おもり} : Ma = Mg - T \quad \dots\dots ②$$

$$\text{①式} + \text{②式より } (M + m)a = Mg$$

$$\text{よって } a = \frac{M}{M + m}g[\text{m/s}^2]$$

(2) ①式より  $T = ma = \frac{mM}{M + m}g[\text{N}]$

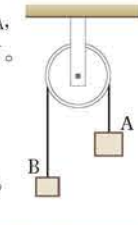


間違いやすい点を、ピンポイントで補足しました。

類題 14 軽い定滑車に軽い糸をかけ、その両端に質量がそれぞれ  $m_A$ ,  $m_B[\text{kg}]$  ( $m_A > m_B$ ) のおもり A, B をつけて静かに手をはなす。重力加速度の大きさを  $g[\text{m/s}^2]$  とする。

- (1) おもりの加速度の大きさ  $a[\text{m/s}^2]$  を求めよ。  
(2) 糸がおもりを引く力の大きさ  $T[\text{N}]$  を求めよ。

ヒント おもり A, B の質量の大小関係から、おもりがそれぞれどちらに動きだすかを考え、その向きを正の向きとする。



問題を解いた後は、答えについて検討してみよう

- ・例題 14 では、物体の質量  $m$  が 0 だったら加速度はどうなるだろうか。
- ・類題 14 では、 $m_A$  と  $m_B$  の大小関係が逆だったら加速度はどうなるだろうか。得られた文字式から、どのようなことがいえるか考えてみよう。



### 学んだことを説明してみよう

### 3 運動の法則

- (1) 物体の加速度の大きさは、物体の質量とどのような関係にあるか。
- (2) 物体の加速度の大きさは、物体にはたらく力とどのような関係にあるか。



このQRコードから、各章の要点確認コンテンツをご利用いただけます。

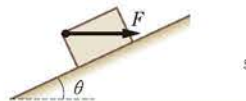
NEW!

演習問題



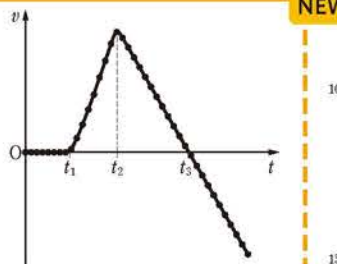
1 力のつりあい (p.62~64)

傾きの角  $\theta$  のなめらかな斜面上に質量  $m$  [kg] の物体をのせ、図のような水平方向の力を加えて静止させる。このとき、加えた力の大きさ  $F$  [N] と、物体が斜面から受ける垂直抗力の大きさ  $N$  [N] を求めよ。重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とする。



2 運動の法則 (p.71~75)

生徒 A, B が斜面上の台車の運動に関する実験を行った。静止していた台車を、斜面上に上向きに手で押して、斜面上をすべり上がらせる。台車から手をはなしたのち、台車は最高点に達し、その後、斜面を降下した。台車に内蔵されている速度センサーにより、台車の運動を調べたところ、速さ  $v$  と経過時間  $t$  の関係を表すグラフは図のようになった。



次の会話を読み、空欄に当てはまる適切な語句を下の選択肢から選べ。

- A: 「グラフは特徴的な形をしているね。特に、時刻  $t_1$ ,  $t_2$ ,  $t_3$  に着目するとよさそうだよ。」  
 B: 「そうだね。台車が最高点に達するのは、 1  と考えられるね。」  
 A: 「台車が降下するとき、台車にはたらく合力の大きさはわかるかな。」  
 B: 「台車が降下するときのグラフの傾きの大きさから  2  がわかるから、あとは  3  を調べれば、求めることができるね。」

[  1  の選択肢 ]

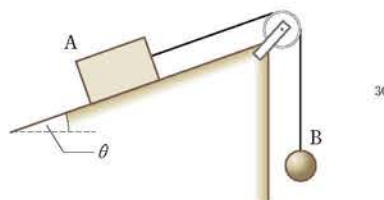
- ①時刻  $t_1$  の瞬間    ②時刻  $t_2$  の瞬間    ③時刻  $t_3$  の瞬間

[  2  ,  3  の選択肢 ]

- ①台車の移動距離    ②台車の速さ    ③台車の加速度の大きさ    ④台車の質量

3 2物体の運動方程式 (p.76~81)

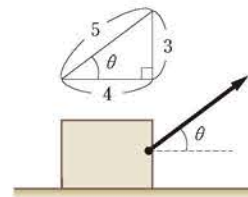
質量 0.90 kg の物体 A を、傾きの角  $\theta$  のなめらかな斜面上に置く。物体 A に軽く伸びないひもをつけ、これを斜面上端に固定した軽い滑車に通し、ひもの端に質量 0.50 kg の物体 B をつるす。重力加速度の大きさを  $9.8 \text{ m/s}^2$ ,  $\sin \theta = \frac{1}{3}$  とする。



- (1) A は斜面を上昇するか、下降するか。  
 (2) A の加速度の大きさ  $a$  [m/s<sup>2</sup>] と、ひもが A を引く力の大きさ  $T$  [N] を求めよ。

4 静止摩擦力 (p.82~83)

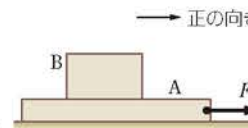
水平であらい床面上にある質量 5.0 kg の物体に対し、図のような角で力を加える。力を徐々に大きくしていったところ、大きさ 15 N をこえたときに物体は静かにすべり始めた。重力加速度の大きさを  $9.8 \text{ m/s}^2$  とする。



- (1) 物体がすべり始めるとき、物体が床面から受ける垂直抗力の大きさ  $N$  [N] を求めよ。  
 (2) 物体が床面から受ける最大摩擦力の大きさ  $F_0$  [N] を求めよ。  
 (3) 物体と床面との間の静止摩擦係数  $\mu$  を求めよ。

5 動摩擦力 (p.84~85)

図のように、水平でなめらかな床上に置かれた板 A (質量  $m_A$  [kg]) の上面に、物体 B (質量  $m_B$  [kg]) がのっている。A に大きさ  $F$  [N] の水平な力を、図のように右向きに加え続けたところ、B が A の上面ですべりながら、A, B とともに運動した。A と B との間の動摩擦係数を  $\mu'$ 、重力加速度の大きさを  $g$  [m/s<sup>2</sup>] とし、図の右向きを正とする。



- (1) B にはたらく摩擦力の向きを答えよ。  
 (2) B の床に対する加速度  $a_B$  [m/s<sup>2</sup>] を求めよ。  
 (3) A の床に対する加速度  $a_A$  [m/s<sup>2</sup>] を求めよ。

知識を活用する発問を、掲載しました(解答例は巻末に掲載)。グループ学習にも活用できる、身近で興味深い話題を扱っています。

6 考えてみよう!

- (1) 「1N とは?」 そう聞かれたら、どう答えるか。学んだ知識を用いて、表現してみよう。  
 (2) 氷上で、スケートをはいた子どもの A さん(体重 40 kg) と大人の B さん(体重 80 kg) が押しあったところ、2 人はそれぞれ後方にすべったが、A さんのほうが速くなった。作用反作用の法則によれば、A さんが B さんを押し、B さんが A さんを押し、力の大きさは同じであるのに、A さんの速さのほうが大きくなったのはなぜだろうか。  
 (3) 水の入ったコップに氷を浮かべる。氷がすべてとけると、水面の高さはどうなるだろうか。

NEW!



新たに「力学的エネルギー保存則の式の立て方」を特集。  
 (→40特集「運動方程式の立て方」と同様、Step1～3で解説)。

NEW!

特集 力学的エネルギー保存則の式の立て方



生徒が忘れがちな「保存則が成り立つ条件の確認」を、Step1として、明記しました。

物理基礎(物基(707))

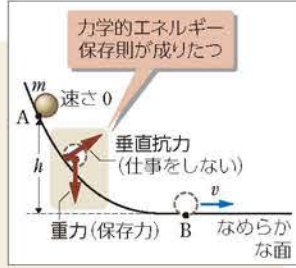
上で示した手順 Step1～3をアイコンで示して、流れをつかみやすくしました。

Step 1

力学的エネルギー保存則が成り立つか確認する。

条件:

物体に保存力(重力や弾性力など)だけがはたらくとき、または保存力以外の力(垂直抗力や糸が引く力など)がはたらいても仕事をしない(仕事が0)のとき



運動エネルギー  
 $K = \frac{1}{2}mv^2$

重力による位置エネルギー  
 $U = mgh$   
 (基準水平面を明確に)

弾性力による位置エネルギー  
 $U = \frac{1}{2}kx^2$



Step 2

2つの場所のエネルギーを書きだす。

点	運動エネルギー	重力による位置エネルギー
A	0	$mgh$
B	$\frac{1}{2}mv^2$	0

Step 3

力学的エネルギー保存則の式を立てる。

点Aでの力学的エネルギー = 点Bでの力学的エネルギー  
 $0 + mgh = \frac{1}{2}mv^2 + 0$

第1編 運動とエネルギー

例題17 力学的エネルギー保存則①

図のように、なめらかな水平面上の点Aを速さ7.0m/sで通過した小球が、なめらかな曲面をすべり上がった。小球が達する最高点Bの高さh[m]を求めよ。重力加速度の大きさを9.8m/s<sup>2</sup>とする。



指針 垂直抗力は常に小球の運動の向きに対して垂直にはたらくので、仕事をしない。よって、力学的エネルギー保存則が成り立つ。最高点Bでは、小球の速さは0である。

解 Step 1 小球には重力(保存力)と垂直抗力がはたらく。この運動では、垂直抗力は仕事をしないので、力学的エネルギー保存則が成り立つ。

Step 2 小球の質量をm[kg]とおき、点Aの高さを重力による位置エネルギーの基準とする。

点	運動エネルギー	重力による位置エネルギー
A	$\frac{1}{2}m \times 7.0^2$	0
B	0	$m \times 9.8 \times h$

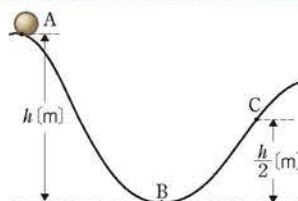
各点での運動エネルギーと重力による位置エネルギーは、表のようになる。

Step 3 点Aと点Bの間での力学的エネルギー保存則より

$\frac{1}{2}m \times 7.0^2 + 0 = 0 + m \times 9.8 \times h$  よって  $h = 2.5\text{m}$

類題17

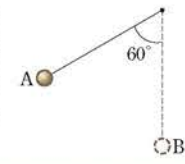
図のように、小球を点Aで静かにはなしたところ、なめらかな曲面にそって、B→Cへすべったとする。このとき、小球が点Bと点Cを通過するときの速さ $v_B$ 、 $v_C$ [m/s]を求めよ。重力加速度の大きさをg[m/s<sup>2</sup>]とする。



ヒント 重力による位置エネルギーの基準を、点Bの高さとするとわかりやすい。

例題18 力学的エネルギー保存則②

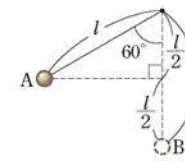
長さl[m]の軽い糸に小球をつけた振り子がある。図のように、糸が鉛直方向と60°をなす点Aから、小球を静かにはなす。このとき、小球が最下点Bを通過するときの速さv[m/s]を求めよ。重力加速度の大きさをg[m/s<sup>2</sup>]とする。



指針 糸が引く力は常に小球の運動の向きに対して垂直にはたらくので、仕事をしない。

解 Step 1 小球には重力(保存力)と糸が引く力がはたらく。この運動では、糸が引く力は仕事をしないので、力学的エネルギー保存則が成り立つ。

Step 2 小球の質量をm[kg]とおき、点Bの高さを重力による位置エネルギーの基準とする。



各点での運動エネルギーと重力による位置エネルギーは、表のようになる。

点	運動エネルギー	重力による位置エネルギー
A	0	$mg \times \frac{l}{2}$
B	$\frac{1}{2}mv^2$	0

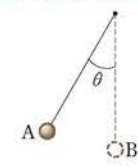
Step 3 点Aと点Bの間での力学的エネルギー保存則より

$0 + mg \times \frac{l}{2} = \frac{1}{2}mv^2 + 0$

よって  $v = \sqrt{gl}$  [m/s]

類題18

長さl[m]の軽い糸に小球をつけた振り子がある。図のように、糸が鉛直方向とθをなす点Aから、小球を静かにはなす。このとき、小球が最下点Bを通過するときの速さv[m/s]を求めよ。重力加速度の大きさをg[m/s<sup>2</sup>]とする。



ヒント 点Aの高さは、点Aから鉛直線に垂線を引いて考えるとわかりやすい。



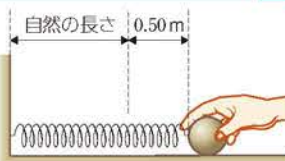
基本的なパターンを下の「例題+類題」でしっかりと扱っています。  
 「面をすべる物体(→48)」、「振り子(→49)」、「ばね振り子(→50)」

物理基礎(物基(707))



例題19 力学的エネルギー保存則③

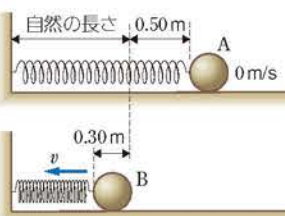
図のように、水平でなめらかな床上で、ばね定数  $25\text{ N/m}$  のばねの一端を固定し、他端に質量  $1.0\text{ kg}$  の物体をつけて置く。物体に力を加えてばねが  $0.50\text{ m}$  伸びた位置で静かに手をはなす。ばねの縮みが  $0.30\text{ m}$  になったときの物体の速さ  $v[\text{m/s}]$  を求めよ。



指針 垂直抗力は常に物体の運動の向きに対して垂直にはたらくので、仕事をしない。よって、力学的エネルギー保存則が成り立つ。

解 Step 1 物体には重力(保存力)と垂直抗力と弾性力(保存力)がはたらく。この運動では、垂直抗力は仕事をしないので、力学的エネルギー保存則が成り立つ。

Step 2 物体の質量を  $m = 1.0\text{ kg}$ 、ばね定数を  $k = 25\text{ N/m}$  とおく。点Aと点Bを図のように定めると、各点での運動エネルギーと弾性力による位置エネルギーは、表のようになる。



点	運動エネルギー	弾性力による位置エネルギー
A	0	$\frac{1}{2}k \times 0.50^2$
B	$\frac{1}{2}mv^2$	$\frac{1}{2}k \times 0.30^2$

Step 3 点Aと点Bの間での力学的エネルギー保存則より

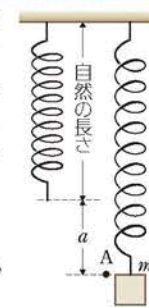
$$0 + \frac{1}{2}k \times 0.50^2 = \frac{1}{2}mv^2 + \frac{1}{2}k \times 0.30^2$$

$$\frac{1}{2}k(0.50^2 - 0.30^2) = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\text{よって } v = \sqrt{0.16 \times \frac{k}{m}} = 0.40 \sqrt{\frac{25}{1.0}} = 2.0\text{ m/s}$$

類題19

図のように、ばね定数  $k[\text{N/m}]$  のばねの上端を固定し、下端に質量  $m[\text{kg}]$  のおもりを取りつけると、ばねは伸びておもりは静止した。この点をAとする。この後、ばねが自然の長さになる所までおもりを持ち上げ、静かにはなした。重力加速度の大きさを  $g[\text{m/s}^2]$  とし、ばねは鉛直方向にのみ運動するとする。



(1) 点Aでのばねの伸び  $a[\text{m}]$  を求めよ。

(2) おもりが点Aを通過するときの速さ  $v[\text{m/s}]$  を  $m, g, k$  で表せ。

(3) おもりが最下点に達するときのばねの伸び  $x[\text{m}]$  を  $a$  で表せ。

ヒント おもりには、重力とばねの弾性力がはたらく。位置エネルギーは、重力による位置エネルギーと、弾性力による位置エネルギーの両方を考える必要がある。

振り子と速さ測定器を用いた実験により、力学的エネルギー保存則が成り立っているか確認してみよう。

→実験11

実験11 力学的エネルギー保存則の検証



【目的】 振り子と速さ測定器を用いて、力学的エネルギー保存則を検証する。

【見方・考え方】 測定値を力学的エネルギー保存則から導かれる値と比較する。

【実験の計画】

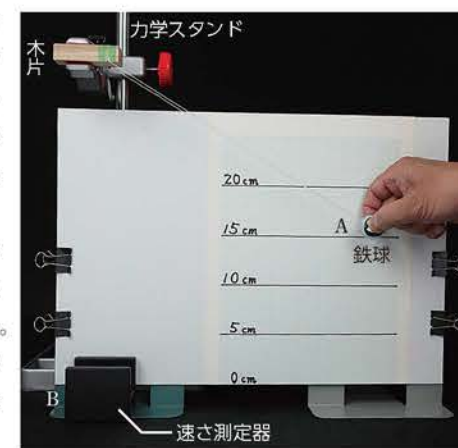
力学スタンドに取りつけた木片に糸を固定し、糸の他端におもりをつける。糸が張った状態でおもりをある高さの点Aからはなす。おもりが最下点Bを通過するときの速さを速さ測定器で測定し、運動エネルギーを求める。点Aと点Bとでおもりの力学的エネルギーが一定に保たれていることを検証する。

【準備】

速さ測定器、力学スタンド、糸、鉄球(糸を通す穴のあいたもの)、厚紙(画用紙など)、ブックエンド(2個)とクリップ(4個)、接着テープ、方眼紙

【手順】

- 写真のような装置を組み立てる。ブックエンドに厚紙をクリップでとめ、立てる(あらかじめ、厚紙の下端が基準水平面となるように、方眼紙を貼っておく)。
- 鉄球の中心が、速さ測定器の2つのセンサーの中央を通るように、糸の長さを調節する。厚紙の下端の高さが、鉄球の最下点での下端の高さ(基準水平面)に一致するように、厚紙の高さを調整する。
- 糸が張った状態で鉄球をある高さの所まで持ち上げ、鉄球の下端の位置を記録する。速さ測定器を測定モードにセットし、鉄球を静かにはなして、最下点での速さを数回測定し、その平均値を求める。
- 高さを変えて同様の実験をくり返す。



【考察】  
得られた最下点での速さが、力学的エネルギー保存則から理論的に求めた値と等しくなるか。また、そのときの相対誤差(→p.7)は何%か。





これからの社会を生きていくうえで知っておくべきSDGsに関する記事を掲載し、物理と関連の深い項目について紹介しました。

NEW!

③バイオマス 栽培した植物などに由来する燃料を **バイオマス燃料** という。近年、サトウキビなどから生成されるエタノールの利用などが実用化されている。

### コラム 持続可能性とSDGs

持続可能性(サステナビリティ)という用語はさまざまな分野で使われるが、環境問題やエネルギー問題に関しては、現在の環境や人間活動が将来にわたって持続できるかどうか、という概念で用いられることが多い。

現在の人間活動におけるエネルギー消費は、化石燃料をはじめとした枯渇性エネルギーに依存しているが、これらの採掘量には限度がある。このため、風力発電や太陽光発電など、再生可能エネルギーの利用を促進する取り組みが世界的に進められている。

2015年の国際連合総会で「持続可能な開発目標(SDGs = Sustainable Development Goals)」が採択された。SDGsでは、持続可能な世界を目指すために2030年までに達成を目指す17の目標・169のターゲットがかかげられているが(図A)、エネルギー利用における再生可能エネルギーの割合を大幅に拡大させることも記載されている。



図A 持続可能な開発目標(SDGs)の17の目標

#### 学んだことを説明してみよう

#### 2 エネルギー資源と発電

- (1) 枯渇性エネルギーと再生可能エネルギーの違いはなんだろうか。
- (2) 火力・原子力・水力・風力の各発電の、共通点を説明してみよう。



物理に関する英文記事(2014年のノーベル物理学賞のプレス発表)を掲載しました。世界的に影響を及ぼした革新的な業績について英文で触れることができます。

### 参考 青色発光ダイオードが照らす未来

2014年、<sup>あかささいさむ あまのひろし なかむらしゅうじ</sup>赤崎勇・天野浩・中村修二は、ノーベル物理学賞を受賞した。次の英文を読んで、受賞の理由を考えてみよう。

#### New light to illuminate the world

This year's Nobel Laureates are rewarded for having invented a new energy-efficient and environment-friendly light source—the blue light-emitting diode(LED). In the spirit of Alfred Nobel the Prize rewards an invention of greatest benefit to mankind; using blue LEDs, white light can be created in a new way. With the advent of LED lamps we now have more long-lasting and more efficient alternatives to older light sources.



When Isamu Akasaki, Hiroshi Amano and Shuji Nakamura produced bright blue light beams from their semi-conductors in the early 1990s, they triggered a fundamental transformation of lighting technology. Red and green diodes had been around for a long time but without blue light, white lamps could not be created. Despite considerable efforts, both in the scientific community and in industry, the blue LED had remained a challenge for three decades.

They succeeded where everyone else had failed. Akasaki worked together with Amano at the University of Nagoya, while Nakamura was employed at Nichia Chemicals, a small company in Tokushima. Their inventions were revolutionary. Incandescent light bulbs lit the 20th century; the 21st century will be lit by LED lamps.

White LED lamps emit a bright white light, are long-lasting and energy-efficient. They are constantly improved, getting more efficient with higher luminous flux(measured in lumen) per unit electrical input power (measured in watt). The most recent record is just over 300lm/W, which can be compared to 16 for regular light bulbs and close to 70 for fluorescent lamps. As about one fourth of world electricity consumption is used for lighting purposes, the LEDs contribute to saving the Earth's resources. Materials consumption is also diminished as LEDs last up to 100,000 hours, compared to 1,000 for incandescent bulbs and 10,000 hours for fluorescent lights.

The LED lamp holds great promise for increasing the quality of life for over 1.5 billion people around the world who lack access to electricity grids: due to low power requirements it can be powered by cheap local solar power.

The invention of the efficient blue LED is just twenty years old, but it has already contributed to create white light in an entirely new manner to the benefit of us all.

Nobel Laureates: ノーベル賞受賞者 reward: ~に賞を与える light-emitting diode: 発光ダイオード(LED)  
 advent: 出現 semi-conductor: 半導体 trigger: ~のきっかけとなる  
 incandescent light bulb: 白熱電球 luminous flux: 光束(光の明るさを表す物理量)  
 lumen: ルーメン(lm: 光束の単位) fluorescent lamp: 蛍光灯 grid: 送電網



# 物理学が拓く世界

この教科書で学んできたように、人間は長い歴史の中で、さまざまな物理学の知識を得てきた。それらの知識からもたらされた数々の技術やしくみが、私たちの日常生活を支えているのである。

## スポーツと物理学

### A 競泳水着

水泳選手は、体にかかる水の抵抗を減らせれば、タイムを縮められる。そのため、泳いでいるときの基本姿勢を水平に保つことが理想だが、実際は足や腰が落ちやすく、水平な姿勢の2倍以上、水の抵抗を受けることもある(図1)。

この問題に対し、姿勢を水平に保つことをサポートする水着が開発されている。水着表面に撥水剤を付着させて、水着の撥水性を高めることで、水の浸透により水着が重くなるのを防ぐようになっている(図2)。また、表面を特殊な凹凸構造にすることで水着と水流の間で生じる摩擦抵抗を抑えたり、背面の腰から太ももにかけて張力の強い素材を使うことで選手の姿勢を支えたりもしている。

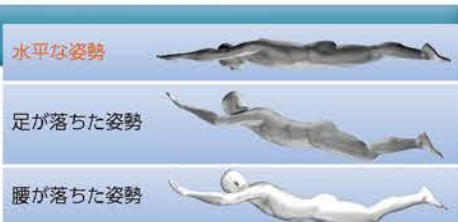


図1 水泳時の姿勢の違いと水の抵抗 水平な姿勢を保つことで、水の抵抗を小さくできる。



図2 撥水性を高めた水着 表面の撥水性などにより、姿勢を水平に保つことを支える競泳水着。



### C 義足用板ばね

障がい者スポーツでは、選手のパフォーマンスを効果的に発揮させるための用具の開発に、物理学の知識が生かされている。

陸上競技では、選手の義足が接地したときの荷重を、推進力に変える

図5 義足用板ばねと装着したところ

## Sports Physics

### B サッカーボール

サッカーボールは、同じけり方をすれば同じ飛び方をするように思える。しかし、かつてのボールでは、飛び方の不確実性が高かった。昔、ボールは5角形と6角形からなる計32枚のパネルを手縫いしてつくられていた(図3)。このボールをけるとき、作用点がパネルの中央付近となれば、ボールは選手のねらい通りに飛んでいくが、作用点がパネルどうしの縫い目付近となると、加わる力の大きさや向きが変わり、ねらい通りにボールが飛ばないことがあった。

この物理学的な課題に対し、パネルの数を減らし、さらに縫い目が生じない熱接合という方法を用いたボールが2000年代半ばに開発され、ワールドカップなどの大会で使われるようになった(図4)。作用点の場所にかかわらず、同じけり方をすれば、ほぼ同じ飛び方をするようになったのである。



図3 以前のサッカーボール 1970年のワールドカップメキシコ大会での試合球。天然皮革のパネル32枚を手縫いした。



図4 近年のサッカーボール 2018年のワールドカップロシア大会での試合球。合成皮革のパネル6枚を熱接合してつくる。

ために板ばねが使われている(図5)。選手の体重や走り方によらず、板ばねが安定的にはねかえることを目指し、力が局所的に加わらずに分散するように、また、荷重を加えた分だけ板ばねの湾曲部がたわむように設計した。加えて、競技では軽いことも重要となる。この板ばねには、強度、弾性、軽さに優れた炭素繊維強化プラスチックという材料が使われている。

## Career Column

長らくサッカーをしていたため、感覚ではボールの特性などを理解していました。でも、仕事では、感覚だけで発言しても説得力がありません。事実も伴っているということが大切になります。その事実の部分に当たるのが、物理学の知識なのだと思います。

ゴム・樹脂製品メーカー 榎浦 正俊 さん





## 探究の進め方



日常生活や学習の中で“なぜ？”と感じたことを深く掘り下げて、観察や実験を通して解決しようとするのを、ここでは「探究」とよんでいるよ。

### 0 探究の過程

科学的に探究する方法には、次のようなものがある。探究の過程を身につけて、物理の学習をさらに深めていこう。

#### 探究の過程



### 1 テーマを決める

テーマ(課題)の決定は、探究において最も重要であるといえる。「何が知りたいのか」をこの段階で具体的にしておくことで、その後の情報収集や実験を滞りなく進めることができる。

物理の探究として適切なテーマを定めるためにも、これまで物理で学んできた知識を手がかりに自然現象を観察したり、先生やまわりの人と議論したりして、自分のアイデアを十分に深めていくとよいだろう。



#### テーマの例

- ☑ 学校生活から探す！ : 吹奏楽部 → フルートなどの管楽器  
→ 気柱の振動と音階の関係を調べる (p.183 実験 18)
- ☑ 物理の法則を確かめたい！ : アルキメデスの原理は本当に成り立つのか  
→ 浮力の測定 (p.91 実験 8)

### 2 情報を集め、仮説を立てる

探究を進める前に、どのような結論になるかを推測する。このとき、自分の経験だけに基づいてなんとなく予想するのではなく、文献やインターネットなどで情報を集めて、根拠を伴った理論的な「仮説」を立てることが大切である。

なお、物理の法則を確かめる場合など、探究のゴール(到達目標)が明らかなきときには、仮説を立てないこともある。

### 3 実験の計画を立てる

仮説が立てられたら、次に、その仮説を検証するための実験方法を考える。この段階で、実験の手順や必要な器具などをノートにまとめておくとよい。十分な準備をしておけば、実験の失敗を防ぐことにもつながる。



実験の方法が固まったら、実験で得たデータをどのように分析するかまで考えて、測定すべきデータの種類や量をあらかじめ整理しておく。必要に応じて予備実験を行ってもよいだろう。

### 4 実験を行う



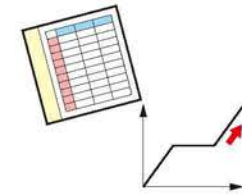
計画にそって実験を行う。実験で用いる器具については、事前に使い方や注意点を確認しておこう。

測定したデータや、器具の設定、実験中に気づいたことなどは、すべてノートに書いて記録に残す。また、測定値には必ず誤差が含まれるので、実験は複数回くり返し、測定値の平均を求めるなどして、誤差を小さくする。

### 5 実験データを分析する

物理量の扱い方 (p.6)

実験が終わったら、測定したデータを分析し、仮説を検証する。データの特徴を把握するためには、グラフにしてみるのことがたいへん有効である。測定値を扱うときには、誤差や有効数字の扱いにも注意する。



結果の考察では、先入観にとらわれ、自分の仮説に基づいた見方をしてしまいがちである。たとえ予想と違った結果であっても、客観的に眺めて、さまざまな可能性を検討することが大切である。

### 6 報告書をつくる、発表する

物理をわかりやすく表現する (後見返し)

実験の内容や成果を整理して、ほかの人に伝える。報告のしかたにはさまざまな方法がある。どのような方法であっても、自分の成果を“わかりやすく”“正確に”伝えることを心がけよう。



#### 報告のしかたの例

- ☑ 報告書(レポート)  
: 実験の目的から考察までを詳細に記録する。
- ☑ 発表(プレゼンテーション)  
: プレゼンテーションソフトなどを使って行うとよい。発表時間が決まっているので、大事なポイントを簡潔に伝える。



## ガリレオ・ガリレイに学ぶ「探究」

1564年、イタリアのピサという町で生まれたガリレオ・ガリレイは、ものが落ちるときのようすを研究し、また、地球が太陽のまわりを回っていると主張した科学者である。ガリレイの足跡をたどって、探究のしかたを学んでいこう。



Galileo Galilei  
ガリレオ・ガリレイ  
イタリア [1564 ~ 1642]

### Step 1 テーマを決める

—重いものほど速く落ちる?—

#### ガリレイの疑問

当時の人は、ものが落ちるとき、“重いものほど速く落ちる”と考えており、このことは日常いつも見慣れている当たり前の現象なので、ものが落ちることについてそれ以上深く考えることなど思ってもみなかった。実はこの常識こそが“落とし穴”で、先入観でもあったのである。ガリレイはこの常識に対して次の疑問を持った。

本当に重いものほど速く落ちるのだろうか?

#### ガリレイの思考実験

疑問について、彼は次のような思考実験(頭の中で想像する実験)を行った。

軽い物体Pと重い物体Qがあり、さらにPとQを結びつけて一体とした物体Rがあったとする。P、Q、Rを落下させたら、どうなるだろうか?

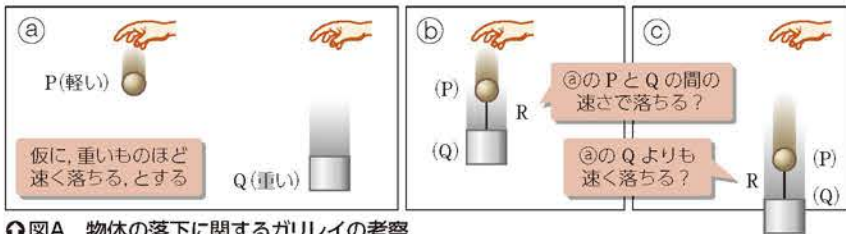
当時の常識では、P、Qについては図A①のようになるだろう。ところがRについては、次の2つの推測が考えられる。

推測① RはPとQの間の速さで落ちる(同図②)。

推測② RはPよりもQよりも重いので、Qより速く落ちる(同図③)。

このように、異なる2つの考えに達してしまう。しかし、真理は1つしかないはずである。そこで、彼は次のように考えた。

重いものほど速く落ちるという考えが間違っているのではないか。空気の抵抗(→ p.92)がなければ、重いものも軽いものもみな同時に落ちるのではないだろうか?



①図A 物体の落下に関するガリレイの考察

#### ガリレイのさらなる疑問

自分の考えを確かめるために観察を続けたガリレイは、さらなる疑問を持った。

ものは落ちていくときどのように速くなっていくのだろうか?

### Step 2 情報を集め、仮説を立てる

ガリレイは、ものが落ちるときの速さの増え方にどのような規則性があるかを知りたいと考えた。そして、数学的な表現を用いて次の仮説を立てた。

仮説 物体の速さは、手をはなしてからの経過時間に比例して大きくなる。…(☆)

### Step 3 実験の計画を立てる

—落下のようすを知るための工夫—

当時、速度計やストップウォッチはなく、時間をはかるものといえば砂時計や水時計であり、落下途中の速さを測定することなどとても不可能なことだった。ガリレイはこれを2つの手段で解決した。

#### 速さではなく、落下した距離をはかる

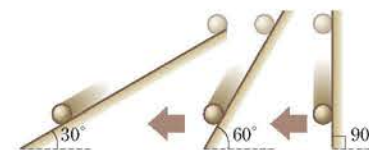
彼は数学の論理を用いて、前述の仮説を次のように言いかえた。

仮説 落下した距離  $x$  は、経過時間  $t$  の2乗(すなわち  $t^2$ )に比例する。……(★)

(☆)が成りたてば(★)も成りたち、(★)が成りたてば(☆)も成りたつ。そこで彼は、速さ  $v$  の登場しない(★)を実験で検証しようと試みた。

#### 運動をスローモーションにする

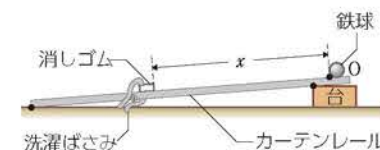
それにしても落下は速い。10m落下するのに1.5秒もかからない。そこで彼は、物体を直接落下させるのではなく、斜面上を転がらせて、ゆっくりと速さが増していくようにした(図B)。



①図B 落下運動をスローにする工夫

### Step 4 5 実験を行う & 実験データを分析する

ガリレイは実験により、仮説が正しいことを見出した。図Cのような装置とストップウォッチを使って、ガリレイの行ったこの実験を、私たちも実際に行うことができる。



①図C 斜面を転がる球の実験



## 物理をわかりやすく表現する



物理を学ぶなかで、文章を書くのはどのような場面だろう？

記述問題を解くときかな。問題文に「○字以内で述べよ」と書かれて  
いると、難しそうだなと思って少し憂鬱になるよ…。



実験をした後、報告書や発表資料をつくることもあるよね！



そうだね。どのような場面でも、伝わりやすい文章を書く必要があるよ。それに、読み手を納得させるには、内容が論理的であることも大切。  
わかりやすい文章を書くコツについて、いっしょに確認しよう。

### 伝わりやすい文章を書く

#### ● 適切な表現を使おう

これまで「国語」で学んできたことを生かして、表現に注意を払おう。

- 話し言葉のような、くだけた表現を用いていないか？
- 文と文との関係を理解して、適切な接続詞でつないでいるか？

#### ✕ 実験の結果：

水をあつためると温度は上がり続けると予想した。だから、100℃に達すると、水は沸騰し、温度は上がらなくなった。

#### ○ 実験の結果：

水を温めると温度は上がり続けると予想した。しかし、100℃に達すると、水は沸騰し、温度は上がらなくなった。

#### ● 読みやすい文章となるように工夫しよう

文章を書き終わったら、もう一度読み返して、わかりにくい箇所がないかチェックしよう。

- 一文が長すぎないか？
- 意味の切れ目で読点(,)またはコンマ(,)をうっているか？

#### ✕ 実験の計画：

空の試験管に口を当て軽く息を吹きこむと音が発生するのでこのときの気柱の長さを測定してから試験管に水を入れていきレ・ミ・ファ・ソ…の音を発生させてそのときの気柱の長さを測定する。

#### ○ 実験の計画：

空の試験管に口を当て、軽く息を吹きこむと音が発生する。このときの気柱の長さを測定する。次に、試験管に水を入れていき、レ・ミ・ファ・ソ…の音を発生させて、そのときの気柱の長さを測定する。

## 論理的な文章を書く

#### ● 科学的な根拠を意識しよう

物理では、個人の主観ではなく、法則や実験データなどに基づいて、「科学的」に説明することが求められる。科学的な根拠がなければ、どんなに趣のある文章であっても、物理においてはよい文章とはいえない。物理に関する文章を書くときには、次のことを特に意識してみよう。

- 関係する物理の法則や現象があれば、それを明示しているか？

Q. 電車が急発進すると、乗客は進行方向と逆向きに倒れそうになる。その理由を答えよ。

A. ✕ 乗客が踏ん張りきれずに、バランスを崩してしまったから。

○ 慣性の法則により、乗客はその場に静止し続けようとするから。



- 量の変化(増える、減るなど)は、数式に基づいて述べているか？

#### ✕ 実験の仮説：

豆電球2つを並列につなぐと、1つの場合と比べて、それぞれの豆電球に加わる電圧Vは変わらない。しかし、それぞれの豆電球に流れる電流は半分になると思うので、豆電球は暗くなる。

➡ 主観的で、根拠がない

#### ○ 実験の仮説：

豆電球2つを並列につなぐと、1つの場合と比べて、それぞれの豆電球に加わる電圧Vは変わらない。したがって、オームの法則 $V=RI$ より、豆電球に流れる電流も変わらないので、豆電球の明るさは変わらない。

#### ● 主語と述語のつながりを意識しよう

文章の意味を適切に伝えるためには、主語を意識しながら、文末(述語)の表現にも気を配る必要がある。例えば、物体が及ぼす力と及ぼされる力を正しく区別することは、物理では欠かせないだろう。長く複雑な文章になるほど、主語と述語の不整合(ねじれ)が生じやすくなるので、十分注意しよう。

- ✕ 木から落ちるりんごの運動は、自由落下をする。
- 木から落ちるりんごの運動は、自由落下である。



#### ● 問いに対する答えを明確にしよう

質問などの問いかけに対しては、的外れな答えにならないように、「問われていることは何か」を見抜くことが大切である。

Q. プランコに乗った人を後ろから押すとき、ある周期で力を加えると、小さな力でプランコを大きくゆらすことができる。その理由を答えよ。 ➡ 理由を聞かれている

A. ○ プランコの固有振動にあわせた周期で力を加えることで、共振が起こるから。





巻末の折込付録には、切り取って使える便利なブックマーカー(しおり)がついています。公式一覧と物理量一覧の2種類あります。

NEW!

## ブックマーカー

### 作り方

- ・「おもな公式」と「おもな物理量とその単位」の2種類。
- ・外枠にそって切り取って使おう。
- ・2枚をつなげたまま切り取れば、カードとしても活用できる。

### おもな公式

#### 第1編 運動とエネルギー

- 等加速度直線運動 → p.31

$$v = v_0 + at$$

$$x = v_0t + \frac{1}{2}at^2$$

$$v^2 - v_0^2 = 2ax$$

- 運動方程式 → p.74

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

- 仕事 → p.97

$$W = Fx \cos \theta$$

- エネルギー → p.103, 105, 107

運動エネルギー :  $K = \frac{1}{2}mv^2$

重力による位置エネルギー :  $U = mgh$

弾性力による位置エネルギー :  $U = \frac{1}{2}kx^2$

#### 第2編 熱

- 熱容量と比熱 → p.125

$$Q = C\Delta T = mc\Delta T$$

- 熱力学第一法則 → p.134

$$\Delta U = Q + W$$

#### 第3編 波

- 波の要素 → p.148

$$v = f\lambda, \quad f = \frac{1}{T}$$

#### 第4編 電気

- オームの法則 → p.201

$$V = RI$$

- 抵抗率 → p.207

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

- 電力 → p.215

$$P = IV$$

### おもな物理量とその単位

物理量	おもな記号	おもな単位
質量	$m$	kg
時間	$t$	s
変位	$x$	m
速度	$v$	m/s
加速度	$a$	m/s <sup>2</sup>
力	$F$	N
圧力	$p$	Pa
仕事	$W$	J
仕事率	$P$	W
エネルギー	$E$	J
絶対温度	$T$	K
熱量	$Q$	J
熱容量	$C$	J/K
比熱	$c$	J/(g·K)
周期	$T$	s
振動数	$f$	Hz
波長	$\lambda$	m
電気量	$Q$	C
電流	$I$	A
電圧	$V$	V
抵抗	$R$	$\Omega$
抵抗率	$\rho$	$\Omega \cdot m$
電力	$P$	W

©

## 『物理基礎』『新編 物理基礎』教科書2点比較

		物理基礎 (物基/707)	新編 物理基礎 (物基/708)
仕様		A5判・296ページ+折込付録	B5判・216ページ+折込付録
特徴		学びやすく、「自ら考える力」を養える教科書	日常生活とのつながりを感じながら、無理なく基本が身につく教科書
問題数	問	167題	99題
	例題	32題	20題
	類題	32題	20題
	演習問題	40題	39題
発展	方針	物理基礎と関連のある内容をできるだけ扱いました	先取りの内容は必要最小限にとどめました
	平面上の速度の合成	○ (p.18 ~ 19) <span style="color:red">本文</span>	○ (p.19) <span style="color:green">囲み</span>
	平面上の相対速度	○ (p.24) <span style="color:red">本文</span>	
	平面運動の加速度	○ (p.27) <span style="color:red">本文</span>	—
	水平投射の式	○ (p.46 ~ 47) <span style="color:red">本文</span>	○ (p.37) <span style="color:green">囲み</span>
	斜方投射		○ (p.36) <span style="color:red">本文</span>
	斜方投射の式	○ (p.48 ~ 51) <span style="color:red">本文</span>	○ (p.37) <span style="color:green">囲み</span>
	終端速度の式	○ (p.93) <span style="color:red">本文</span>	—
	気体の法則と気体の状態変化	○ (p.136 ~ 139) <span style="color:green">囲み</span>	—
	熱力学第二法則, 第二種永久機関	○ (p.140)	○ (p.103)
	正弦波における位相	○ (p.151)	—
	波の強さの式	○ (p.159)	—
	波の波面・波の干渉・波の反射と屈折・波の回折	○ (p.166 ~ 172) <span style="color:red">本文</span>	—
	音の屈折・音の回折・音の干渉	○ (p.177 ~ 178) <span style="color:red">本文</span>	—
	弦を伝える波の速さの式	○ (p.183) <span style="color:red">本文</span>	○ (p.127)
	クーロンの法則	○ (p.195) <span style="color:green">囲み</span>	—
	電気量保存の法則	○ (p.196)	—
	静電誘導	○ (p.198) <span style="color:green">囲み</span>	○ (p.140) <span style="color:green">囲み</span>
	抵抗率の温度変化	○ (p.208) <span style="color:red">本文</span>	—
キルヒホッフの法則	○ (p.209) <span style="color:green">囲み</span>	—	
電流のする仕事	○ (p.215)	—	
フレミングの左手の法則	○ (p.221) <span style="color:green">囲み</span>	○ (p.157)	
レンツの法則	○ (p.222) <span style="color:green">囲み</span>	○ (p.157)	
交流の実効値の式	○ (p.223)	—	
半減期の式	○ (p.237)	—	
核反応により放出されるエネルギー	○ (p.238)	—	
剛体にはたらく力のつりあい	○ (p.250 ~ 258) <span style="color:blue">巻末</span>	—	
正弦波の式	○ (p.259 ~ 262) <span style="color:blue">巻末</span>	—	
音のドップラー効果	○ (p.263 ~ 265) <span style="color:blue">巻末</span>	—	

※発展の区分について(印がないものは、傍注などで扱われている内容)

本文 : 教科書本文中で扱われている内容 囲み : 教科書本文と切り離れた「囲み記事」として扱っている内容

巻末 : 教科書巻末の「本文補足」で扱っている内容



● 例題と類題の例

物理基礎(物基/707)

**例題 18** 2物体の運動方程式②

なめらかな水平面上に質量0.20kgの物体Aと質量0.30kgの物体Bを置いて、軽い糸1でつなぐ。図のようにBを2.1Nの力で水平に引いたところ、2つの物体は運動を始めた。

(1) A, Bの加速度の大きさ  $a$  [m/s<sup>2</sup>] を求めよ。  
 (2) 糸1がAを引く力の大きさ  $T$  [N] を求めよ。

**指針** 糸1がAを引く力と、糸1がBを引く力は、同じ大きさ  $T$  [N] である。

**解** (1) **step 1** A, Bが受ける水平方向の力はそれぞれ図のようになる。  
**step 2** 右向きを正の向きとする。  
**step 3** 各物体の運動方程式は  
 A(0.20kg) :  $0.20 \times a = T$  ……①  
 B(0.30kg) :  $0.30 \times a = 2.1 - T$  ……②  
 ①式+②式より  $0.50 \times a = 2.1$   
 よって  $a = 4.2 \text{ m/s}^2$

**別解** 2物体を一体とみなして、質量0.50kgの物体を2.1Nの力で引くと考えても、 $a$ は求められる。  
 $0.50 \times a = 2.1$  より  $a = 4.2 \text{ m/s}^2$

(2) ①式より  $T = 0.20 \times 4.2 = 0.84 \text{ N}$

**類題 13** 図のように、質量が0.20kgと0.30kgの小球A, Bを軽い糸でつなぎ、Aを大きさ7.0Nの力で鉛直上向きに引き上げた。重力加速度の大きさを  $9.8 \text{ m/s}^2$  とする。  
 (1) A, Bの加速度の大きさ  $a$  [m/s<sup>2</sup>] を求めよ。  
 (2) 糸がBを引く力の大きさ  $T$  [N] を求めよ。  
**ヒント** 糸が引く力は両端で同じ大きさである。

特に注意が必要な箇所に対して、補足説明を入れています。

「類題」は、例題からさらにワンステップの発想が必要となる問題になっています。  
 (「ヒント」を入れることで取り組みやすくしています)

▲『物理基礎』p.80

新編 物理基礎(物基/708)

**例題 9** 2物体の運動方程式②

なめらかな水平面上に質量0.20kgの物体Aと質量0.30kgの物体Bを置いて、軽い糸1でつなぐ。図のようにBを2.1Nの力で水平に引いたところ、2つの物体は運動を始めた。

(1) A, Bの加速度の大きさ  $a$  [m/s<sup>2</sup>] を求めよ。  
 (2) 糸1がAを引く力の大きさ  $T$  [N] を求めよ。

**指針** 糸1がAを引く力と、糸1がBを引く力は、同じ大きさ  $T$  [N] である。

**解** (1) **step 1** A, Bが受ける水平方向の力はそれぞれ図のようになる。  
**step 2** 右向きを正の向きとする。  
**step 3** 各物体の運動方程式は  
 A(0.20kg) :  $0.20 \times a = T$  ……①  
 B(0.30kg) :  $0.30 \times a = 2.1 - T$  ……②  
 ①式+②式より  $0.50 \times a = 2.1$   
 よって  $a = 4.2 \text{ m/s}^2$

(2) ①式より  $T = 0.20 \times 4.2 = 0.84 \text{ N}$

**類題 9** なめらかな水平面上に質量0.30kgの物体Aと質量0.90kgの物体Bを置いて、軽い糸1でつなぐ。図のようにBを3.0Nの力で水平に引いたところ、2つの物体は運動を始めた。  
 (1) A, Bの加速度の大きさ  $a$  [m/s<sup>2</sup>] を求めよ。  
 (2) 糸1がAを引く力の大きさ  $T$  [N] を求めよ。

糸が両端で受ける力の大きさを  $T_A, T_B$  とおく。糸について運動方程式を立てると  
 $m_{糸} a = T_B - T_A$   
 質量の無視できる軽い糸では  $m_{糸} = 0$  より  $T_A = T_B$  となるので、両端で受ける力は等しい。

物体を一体とみなして、質量0.50kgの物体を2.1Nの力で引くと考えても、 $a$ は求められる。

Bを引く力が、そのままAを引く力とはならないんだね。

広い紙面を活かし、側注での補足説明が充実しています。基本から丁寧に解説しています。

「類題」は、例題の解法を理解していれば無理なく解けるシンプルな問題になっています。

▲『新編 物理基礎』p.61

教科書『物理』の特徴

- POINT 1 「主体的・対話的で深い学び」を実現
- POINT 2 つまずき解消のための工夫が充実
- POINT 3 実験を通じて学びを深めます
- POINT 4 知識を活用する「力」を養います

新課程数研理教科書の新たな試み!

QRコンテンツで、新たな学びへ! **NEW!**

紙面のQRコードからアクセス可能なQRコンテンツが合計**163**点

QRコンテンツの場所には Linkアイコンを配置

紙面右下のQRコードからタブレットやスマートフォンで手軽にアクセス!

→コンテンツの内容など詳しくは、本冊子**120**~**121**

サンプルはこちら!▲

教科書の解説動画をご用意します! **NEW!**

- 自学自習をサポートします。
- 反転学習にも活用できます。
- 対面授業が難しい状況下でも学習が進められます。

各単元の解説動画 77本  
 例題の解説動画 59本

教科書の解説動画のイメージ画面

剛体にはたらく力の合力と重心

剛体のつり合い

重力と垂直抗力の作用線が一致するところを境界として、重力の作用線が垂直抗力の作用線と一致しない場合は回転してもとに戻るか、重力の作用線が垂直抗力の作用線と一致すると剛体は静止する

©数研出版

サンプルはこちら!▲

→ご利用方法など詳しくは、本冊子**125**



最先端の物理学を写真とともに掲載。研究者のインタビュー記事もあわせて紹介しています(→90)。

# 目次

## 第1編 力と運動

### 第1章 平面内の運動

- 1. 平面運動の速度・加速度 ..... 6
- 2. 落体の運動 ..... 14
- 演習問題 ..... 25

### 第2章 剛体

- 1. 剛体にはたらく力のつりあい ..... 26
- 2. 剛体にはたらく力の合力と重心 ..... 32
- 演習問題 ..... 41

### 第3章 運動量の保存

- 1. 運動量と力積 ..... 42
- 2. 運動量保存則 ..... 46
- 3. 反発係数 ..... 53
- 演習問題 ..... 62

### 第4章 円運動と万有引力

- 1. 等速円運動 ..... 64
- 2. 慣性力 ..... 72
- 3. 単振動 ..... 79
- 4. 万有引力 ..... 90
- 演習問題 ..... 103

## 第2編 熱と気体

### 第1章 気体のエネルギーと状態変化

- 1. 気体の法則 ..... 106
- 2. 気体分子の運動 ..... 114
- 3. 気体の状態変化 ..... 120
- 演習問題 ..... 137

## 第3編 波

### 第1章 波の伝わり方

- 1. 波と媒質の運動 ..... 140
- 2. 正弦波の式 ..... 144
- 3. 波の伝わり方 ..... 149
- 演習問題 ..... 159

### 第2章 音の伝わり方

- 1. 音の伝わり方 ..... 160
- 2. 音のドップラー効果 ..... 165
- 演習問題 ..... 173

### 第3章 光

- 1. 光の性質 ..... 174
- 2. レンズと鏡 ..... 186
- 3. 光の干渉と回折 ..... 200
- 演習問題 ..... 212

## 第4編 電気と磁気

### 第1章 電場

- 1. 静電気力 ..... 216
- 2. 電場 ..... 222
- 3. 電位 ..... 227
- 4. 物質と電場 ..... 236
- 5. コンデンサー ..... 239
- 演習問題 ..... 254

### 第2章 電流

- 1. オームの法則 ..... 256
- 2. 直流回路 ..... 264
- 3. 半導体 ..... 278
- 演習問題 ..... 284

### 第3章 電流と磁場

- 1. 磁場 ..... 286
- 2. 電流のつくる磁場 ..... 290
- 3. 電流が磁場から受ける力 ..... 294
- 4. ローレンツ力 ..... 301
- 演習問題 ..... 306

### 第4章 電磁誘導と電磁波

- 1. 電磁誘導の法則 ..... 308
- 2. 自己誘導と相互誘導 ..... 320
- 3. 交流の発生 ..... 326
- 4. 交流回路 ..... 331
- 5. 電磁波 ..... 348
- 演習問題 ..... 353

原子分野の章末に「一問一答」コーナーを新設(→88)

## 第5編 原子

### 第1章 電子と光

- 1. 電子 ..... 356
- 2. 光の粒子性 ..... 364
- 3. X線 ..... 370
- 4. 粒子の波動性 ..... 376
- 演習問題 ..... 381

### 第2章 原子と原子核

- 1. 原子の構造とエネルギー準位 ..... 382
- 2. 原子核 ..... 391
- 3. 放射線とその性質 ..... 395
- 4. 核反応と核エネルギー ..... 403
- 5. 素粒子 ..... 411
- 演習問題 ..... 411

## 実験

72

- 1. 水平投射 ..... 16
- 2. 棒のつりあい ..... 29
- 3. 重心の求め方 ..... 37
- 4. 斜面上の直方体 ..... 40
- 5. 運動量と力積 ..... 44
- 6. 2物体の衝突 ..... 50
- 7. 運動量保存則 ..... 52
- 8. 反発係数の測定 ..... 54
- 9. 等速円運動の向心力 ..... 71
- 10. 慣性力 ..... 73
- 11. 単振動の周期 ..... 83
- 12. ばね振り子の周期の測定 ..... 85
- 13. 単振り子 ..... 87
- 14. 単振り子の周期の測定 ..... 89
- 15. ケプラーの第二法則 ..... 92
- 16. 万有引力の法則(実習) ..... 94
- 17. ボイルの法則 ..... 108
- 18. 断熱変化 ..... 126
- 19. スターリングエンジンの製作 ..... 134
- 20. 水面波の干渉 ..... 153
- 21. 水面波の反射と屈折 ..... 155
- 22. 水面波の回折 ..... 158
- 23. 音の干渉 ..... 163
- 24. ドップラー効果 ..... 166

- 物理学が築く未来 ..... 418 <sup>90</sup>
- 宇宙に開かれた2つの窓 ..... 424
- ニュートンで結ぶ学問の世界 ..... 426 <sup>94</sup>

### 物理のための数学

- 1. 微分・積分とその活用 **発展** ..... 428
- 2. ベクトル ..... 431
- 3. その他の数学の知識 ..... 432

### 本文資料

- 1. 表 ..... 436
- 2. 量の表し方 ..... 439
- 略解 ..... 440

すべての「実験」に映像をテロップ・音声付きで用意。該当紙面の右下のQRコードから、実際に映像をご覧いただけます。

### 物理量と単位の表記について

一般に、物理量(物理で扱われる量)は、1.5m、0.80m/sなど、「数値」と「単位」の積で表される。ただし本書では、表記を簡潔にするため、計算の過程などで単位を省略して数値のみで表すことがある。また、物理量を記号(時間  $t$  など)で表す場合は、記号は数値と単位の積を表すとみなせるので、記号の後に単位をつける必要はない。ただし、その物理量もつ単位を明示したほうがわかりやすい場合、本書では、記号の後に[ ]で単位を示した(時間  $t[s]$  など)。

※本文中、一部の用語には、英語による表記をそえた。なお、( )は省略してもよい部分、[ ]は別の英語表現を表している。



「Zoom」…つまずきやすい内容を丁寧に解説しています(→79, 82)。  
「ドリル」…反復演習で基本を定着させることができます(→74, 80, 86)。

### Zoom

79	慣性力を用いた式の立て方	77
	気体分子の運動から圧力を求める手順	117
	$\rho$ - $V$ 図の見方	123
	いろいろな場合のドップラー効果	170
82	光の干渉の考え方	210
	電場と電位に関する公式のまとめ	235
	コンデンサーのまとめ	253
	交流回路のインピーダンス	341

### ドリル

	相対速度	12	
	水平投射と斜方投射	21	74
	運動量保存則と反発係数の式	58	
	気体の状態変化と $\rho$ - $V$ 図	128	
	ドップラー効果	169	80
	レンズと鏡	199	86
	キルヒホッフの法則	270	
	電磁誘導	315	

### コラム

打ち上げ花火と放物運動	21
猿はみかんをキャッチできる?	23
トンボとやじろべえ	40
キャベンディッシュによる万有引力の測定	94
静止衛星	96
無重量状態の体験	99
スイングパイ	101
ガリレイによる光の速さの測定	176
赤方偏移	176
曇気楼(しんきろう)	179
光ファイバー	181
虹のできるしくみ	183
人間の目	187
CDやDVDの色	204
アースはなぜ必要?	238
コンデンサーの利用	245
ICとLSI	283

地球の磁場(地磁気)	289
実験科学者ファラデー	312
電磁調理器	319
高温の物体からの放射	351
蛍光灯のしくみ	358
X線による物質の構造解析	373
朝永振一郎「光子の裁判」	379
固有X線と元素分析	390
二ホニウム(113番元素)の発見	394
炭素の放射性同位体による年代測定	399
放射線の人体への影響の考え方	401
食品からの被曝の影響の考え方	402
宇宙線で火山を透視する技術	
ミュオグラフィ	412
CP対称性の破れ	413
ヒッグス粒子	415
ニュートリノ振動	415

### 参考

内分・外分	33
衝突における重心の運動	50
自由落下した小球のはねかえり	54
衝突における「運動量」と「運動エネルギー」	61
弧度法	65
単振動のエネルギー	88
だ円	91
対数目盛りの読み方	94
万有引力による位置エネルギーの計算	98
実在気体	113
気体分子の速さの分布	119
「熱力学第一法則」の別の表現	122
二原子分子理想気体の内部エネルギーとモル比熱	132
ホイヘンスの原理による反射の法則	
・屈折の法則の説明	156
顕微鏡と望遠鏡	194

球面鏡の焦点距離	198
平行板コンデンサーの電場の考え方	241
電池がする仕事	251
太陽電池と発光ダイオード	281
直流モーターのしくみ	295
コイルとコンデンサーのリアクタンス	336
電場中の電子の運動	360
電子顕微鏡	378
プランク・ヘルツの実験	389
固有X線の発生原理	390
同位体の発見	393
いろいろな原子核と核図表	394
半減期と常用対数	400
中性子の発見	404
原子力発電の種類	409
反粒子	411

### 発展

並列回路のインピーダンス	342
微分・積分とその活用	428

### 思考学習

76	糸巻き車の転がり方	39
	人工衛星の公転周期と地上からの高さ	102
	夜空に浮かぶランタン	110
	簡易スピード測定	169
	主虹と副虹	183
	クリップモーター	300
	スピーカーと交流回路	343

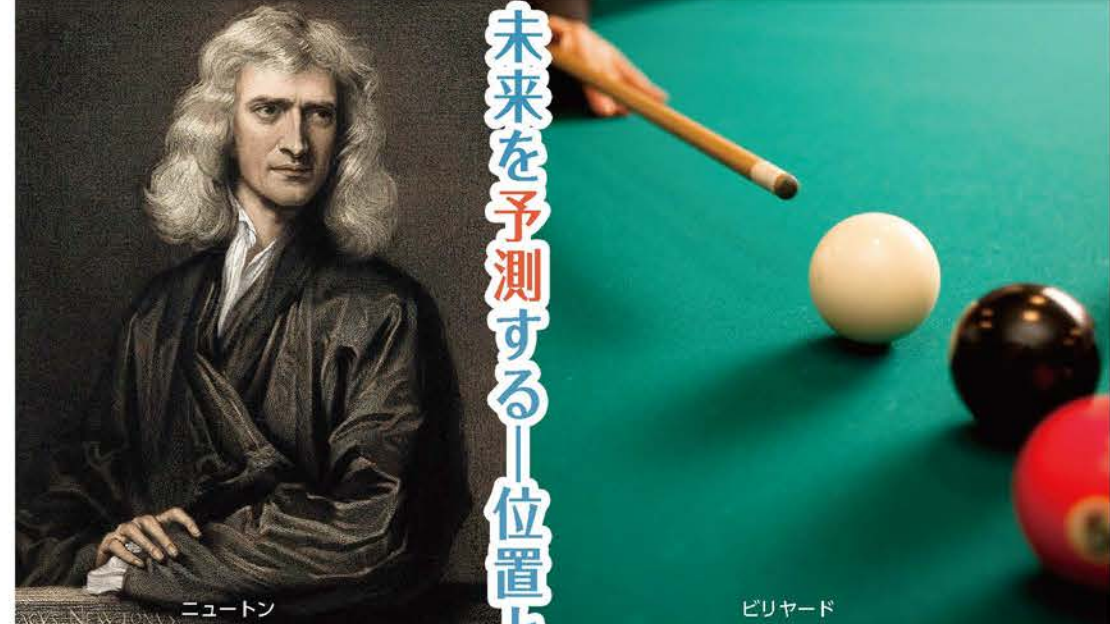
「思考学習」…学習内容をもとに、思考力をはたらかせながら考察する問題を収録(→76)。

編の冒頭では、日常生活や社会に関連したキーワードを設け、それを踏まえた写真で興味づけを行いました。

# 第1編 力と運動

第1章	平面内の運動	p.6
第2章	剛体	p.26
第3章	運動量の保存	p.42
第4章	円運動と万有引力	p.64

## 未来を予測する—位置と運動—

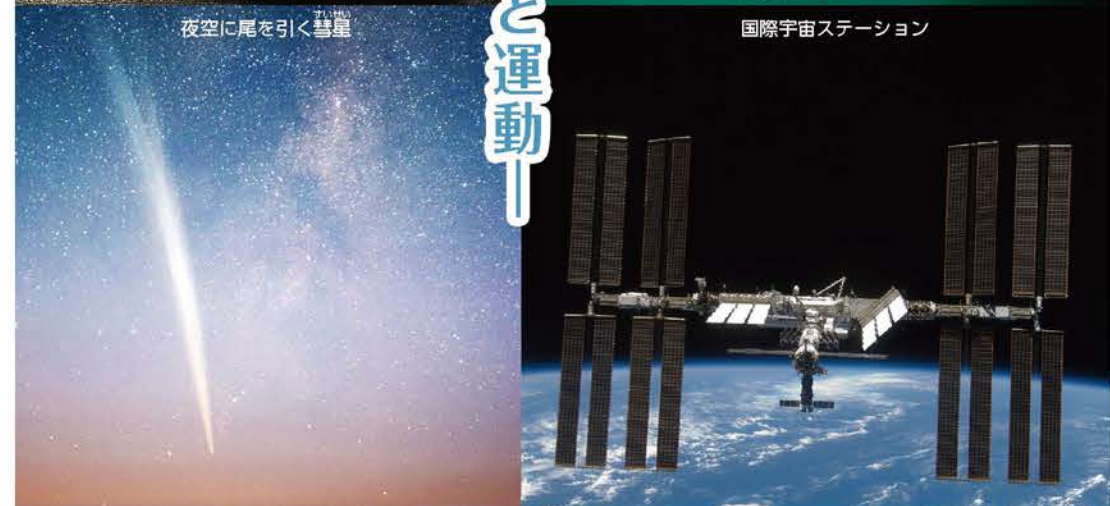


ニュートン

夜空に尾を引く彗星

ビリヤード

国際宇宙ステーション



ニュートンの偉大な功績の一つは、「力と運動」の関係を明らかにし、運動の法則としてまとめあげたことである。これにより、身近なものから彗星のような天体に至るまで、位置と運動を予測することが可能となった。現在、この予測技術は、自動車・鉄道・人工衛星などの設計や制御にも生かされており、現代の私たちの暮らしを支えている。



物理基礎の復習内容を点線でわかりやすく示しているため、既習事項が確認しやすくなっています。「自由落下」など、「物理基礎」の教科書並みにていねいに扱っています。

単元冒頭に示した「学習目標」で、目的意識をもって主体的に学習が始められます。→単元末の「学んだことを説明してみよう」(→76)で、振り返りが可能です。

## 2 落体の運動

静止したサッカーボールをけるとき、どの角度でけり出せば飛距離が最大になるだろうか。この節では、投げ出された物体の運動について理解しよう。

復習

### A 自由落下

物体が重力だけを受け、初速度0で鉛直下向き(重力がはたらく向き)に落下する運動を **自由落下** (free fall) という。図9のストロボ写真を分析すると、小球の運動について次のことがわかる。

- ①小球の質量の大小によらず、一定の加速度で落下する
- ②小球の加速度は鉛直下向きで、大きさは  $9.8\text{m/s}^2$  である

自由落下の加速度を **重力加速度** (gravitational acceleration) といい、その大きさを  $g[\text{m/s}^2]$  で表す。自由落下は、初速度が0で、加速度が鉛直下向きに大きさ  $g[\text{m/s}^2]$  の等加速度直線運動である。

自由落下を始める点を原点として、鉛直下向きに  $y$  軸をとり、時間  $t[\text{s}]$  後の座標を  $y[\text{m}]$ 、速度を  $v[\text{m/s}]$  とすると、次の式が成り立つ。

$$v = gt, \quad y = \frac{1}{2}gt^2, \quad v^2 = 2gy \quad (9)$$

▶ p.13 復習

$$\begin{aligned} v &= v_0 + at \\ x &= v_0t + \frac{1}{2}at^2 \quad (\text{A}) \\ v^2 - v_0^2 &= 2ax \end{aligned}$$

### B 鉛直投射

初速度が0ではない落下運動を考える。物体を鉛直下向き、あるいは鉛直上向きに投げられることを **鉛直投射** という。

用語 鉛直方向と水平方向

鉛直方向 重力がはたらく方向  
水平方向 鉛直方向と直交する方向

①鉛直投げ下ろし 小球を鉛直下向きに初速度  $v_0[\text{m/s}]$  で投げる。この場合にも小球は、加速度が鉛直下向きに大きさ  $g[\text{m/s}^2]$  の等加速度直線運動をしている。

自由落下と同じく、鉛直下向きに  $y$  軸をとり、時間  $t[\text{s}]$  後の座標を  $y[\text{m}]$ 、速度を  $v[\text{m/s}]$  とすると、次の式が成り立つ。

$$v = v_0 + gt, \quad y = v_0t + \frac{1}{2}gt^2, \quad v^2 - v_0^2 = 2gy \quad (10)$$

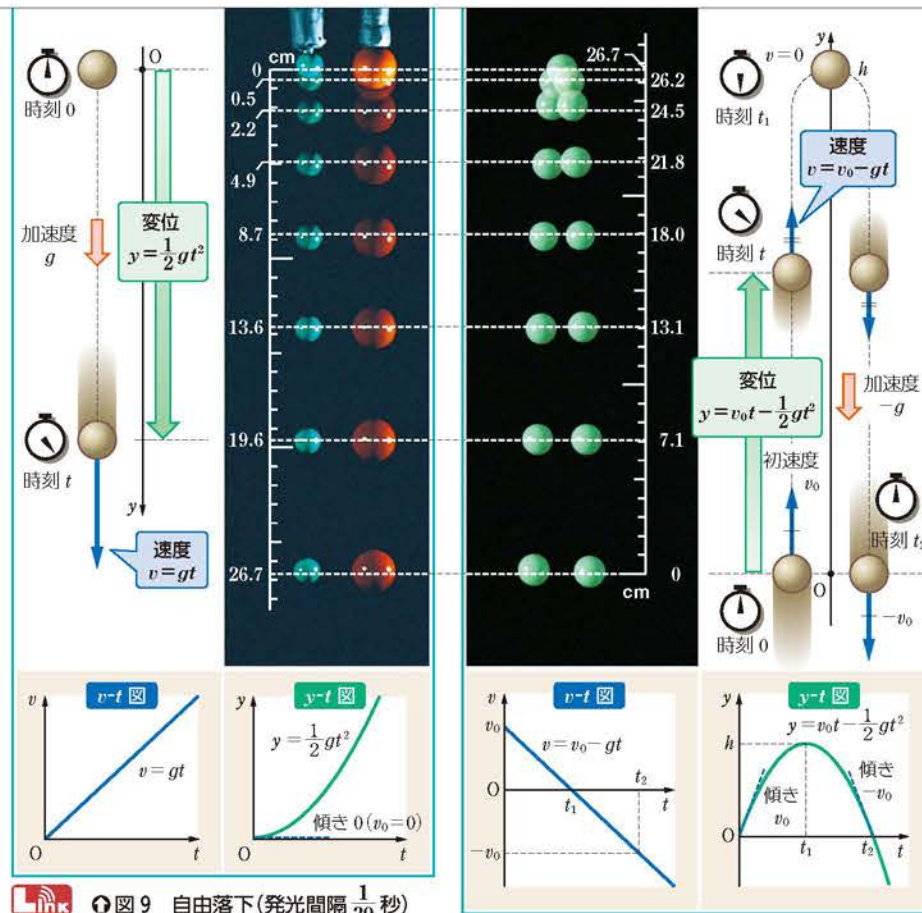


図9 自由落下(発光間隔  $\frac{1}{30}$  秒)

(10)式と(11)式では、**注意**  $y$  軸の正の向きが異なることに注意。

図10 鉛直投げ上げ(発光間隔  $\frac{1}{30}$  秒)

見やすくするために鉛直上向きからわずかにずらした向きに投げている。

②鉛直投げ上げ 小球を鉛直上向きに投げると、小球はしだいに遅くなり、ある高さで速度が0となって、その点から下向きの運動へと変わる(図10)。この場合にも小球は、加速度が鉛直下向きに大きさ  $g[\text{m/s}^2]$  の等加速度直線運動をしている。

投げた点を原点とし、初速度  $v_0[\text{m/s}]$  の向き、すなわち鉛直上向きに  $y$  軸をとり、時間  $t[\text{s}]$  後の座標を  $y[\text{m}]$ 、速度を  $v[\text{m/s}]$  とする。投げた後、上昇中も下降中も加速度は  $-g[\text{m/s}^2]$  なので、次の式が成り立つ。

$$v = v_0 - gt, \quad y = v_0t - \frac{1}{2}gt^2, \quad v^2 - v_0^2 = -2gy \quad (11)$$

「注意」囲みで、生徒が誤解しやすい点を注意喚起しました。つまづきを防ぎ、「自学自習」をしっかりとサポートします。

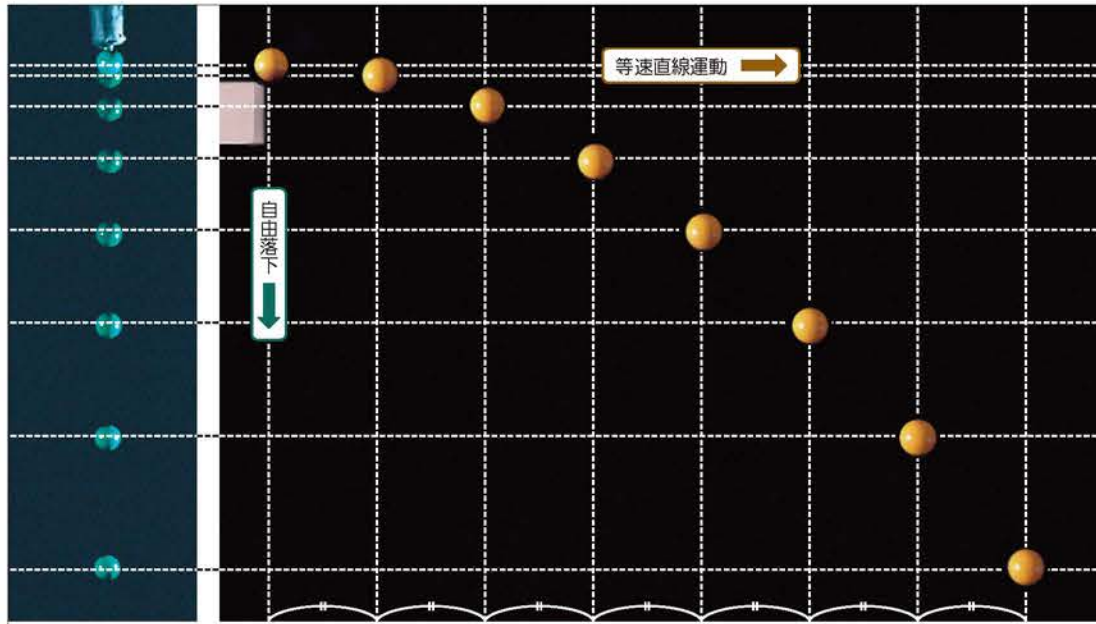


15

紙面右下のQRコードから、自由落下の参考映像やシミュレーションコンテンツのをご利用いただけます。



すべての「実験」に映像を完備。(→詳しくは120)  
紙面の右下のQRコードから、実際に映像をご覧ください。



自由落下(p.15 図9) 図11 水平投射のストロボ写真(発光間隔  $\frac{1}{30}$  秒)

関連 C 水平投射

物体をある高さから水平方向に投げ出してみよう(水平投射)。物体は放物線を描いて飛んでいき、やがて地面に達する。

①水平投射の軌道 図11は、小球を水平投射したときのストロボ写真である。この写真を自由落下の写真と比較すると、水平投射された物体の運動について、次のことがわかる。

- ①鉛直方向には自由落下と同様の運動をしている
- ②水平方向には等速直線運動と同様の運動をしており、その速度は常に初速度に等しい

②水平投射の式 水平投射された小球の運動を式で表してみよう。小球を水平方向に  $v_0$ [m/s] の速さで投げたとき、図12のように  $x$  軸、 $y$  軸をとる。時間  $t$ [s] 後の、小球の速度  $\vec{v}$  の  $x$  成分を  $v_x$ [m/s]、 $y$  成分を  $v_y$ [m/s] とし、位置を  $(x, y)$  とする。

16 第1編 第1章 平面内の運動

実験1 水平投射

水平な机の端から2つのコインを定規などで同時にはじき、異なる初速度で落下させてみよう。どちらが先に床に到達するだろうか。



Point 「鉛直方向の運動」と「水平方向の運動」は、別々に分けて考えることができるところがポイント。

$x$  軸方向には等速直線運動と同様の運動をするから

$$v_x = v_0 \quad (12)$$

$$x = v_0 t \quad (13)$$

$y$  軸方向には自由落下と同様の運動をするから

$$v_y = gt \quad (14)$$

$$y = \frac{1}{2} gt^2 \quad (15)$$

(13)式と(15)式から  $t$  を消去すると

$$y = \frac{g}{2v_0^2} \cdot x^2 \quad (16)$$

が得られる。この式は、小球の運動の軌道を表し、放物線となることを示している。  
→ p.435

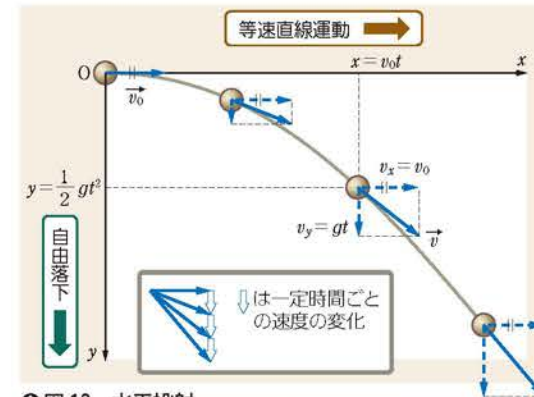


図12 水平投射

p.14 自由落下

$$v = gt \quad (9)$$

$$y = \frac{1}{2} gt^2$$

(16)式を導く

(13)式より  $t = \frac{x}{v_0}$   
これを(15)式に代入して  
 $y = \frac{1}{2} g \cdot \left(\frac{x}{v_0}\right)^2 = \frac{g}{2v_0^2} \cdot x^2$

例題2 水平投射

ある高さの所から小球を速さ 7.0 m/s で水平に投げ出すと、2.0 秒後に地面に達した。重力加速度の大きさを  $9.8 \text{ m/s}^2$  とする。

(1) 投げ出した所の真下の地面上の点から、小球の落下地点までの距離  $l$ [m] を求めよ。

(2) 投げ出した所の、地面からの高さ  $h$ [m] を求めよ。

指針 水平投射では、水平方向は等速直線運動、鉛直方向は自由落下と同様の運動をする。

解 (1) 水平方向は、速さ 7.0 m/s の等速直線運動と同様の運動を行う。

$$x = v_0 t \text{ ((13)式より } t = 7.0 \times 2.0 = 14 \text{ m)}$$

(2) 鉛直方向は、自由落下と同様の運動を行う。

$$y = \frac{1}{2} gt^2 \text{ ((15)式より } h = \frac{1}{2} \times 9.8 \times 2.0^2 = 19.6 \approx 20 \text{ m)}$$

類題2

地面より 9.8 m の高さから、小球を速さ 3.0 m/s で水平に投げ出した。投げ出した所の真下の地面上の点から、小球の落下地点までの距離  $l$ [m] を求めよ。重力加速度の大きさを  $9.8 \text{ m/s}^2$  とする。

ヒント 落下時間を求めるには、鉛直方向の運動に注目する。



紙面右下のQRコードから、実験映像をご覧ください。

『物理基礎』(物基/707)で「発展」として掲載している内容については、項目タイトルの横に「関連マーク」をつけました。物理基礎で「発展」を学習している場合には、関連マークの項目を既習内容として扱うことにより、効率的な指導が可能となります。



## ドリル 運動量保存則と反発係数の式

2物体が衝突や合体、分裂をする場合、2物体の運動量の和は保存します。次の運動量保存則の式を用いて、物体の運動について調べてみましょう。

直線上の運動量保存則(→ p.46)

$$m_1v_1 + m_2v_2 = m_1v_1' + m_2v_2'$$



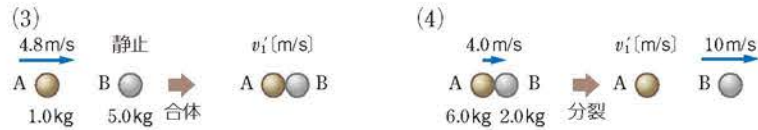
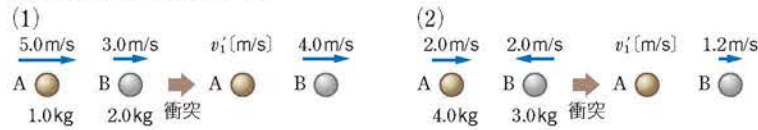
平面上の運動量保存則(→ p.49)

2物体の速度をx成分、y成分に分解して式を立てるとよい。

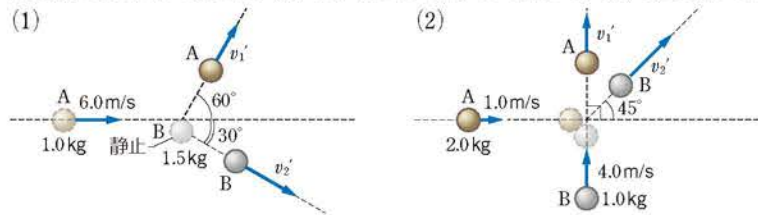
x成分:  $m_1v_{1x} + m_2v_{2x} = m_1v_{1x}' + m_2v_{2x}'$

y成分:  $m_1v_{1y} + m_2v_{2y} = m_1v_{1y}' + m_2v_{2y}'$

**問 a** 一直線上を運動する小球A、Bが衝突、または合体、分裂する。次の各場合について、衝突、合体、分裂後の小球Aの速度  $v_1'$  [m/s] を求めよ。なお、右向きを正の向きとする。



**問 b** なめらかな水平面上を運動する小球A、Bが衝突する。次の各場合について、衝突後の小球Aの速さ  $v_1'$  [m/s]、および小球Bの速さ  $v_2'$  [m/s] を求めよ。



2物体の間の反発係数がわかっている場合は、反発係数の式を用いても、物体の運動を調べることができます。

反発係数  $e$  は  $0 \leq e \leq 1$  の値をとることに注意しましょう。

反発係数の式(床との衝突)(→ p.53)

$$e = -\frac{v'}{v}$$

反発係数の式(2物体の衝突)(→ p.55)

$$e = -\frac{v_1' - v_2'}{v_1 - v_2}$$

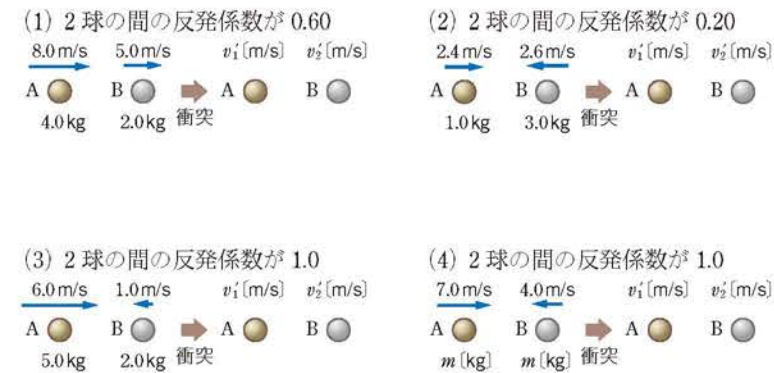


**問 c** 一直線上を運動する小球Aが小球B、あるいは床に衝突する。次の各場合について、2物体の間の反発係数を求めよ。



反発係数がわかっている2物体の衝突は、運動量保存則の式と反発係数の式を立て、2式を連立して求めましょう。

**問 d** 一直線上を運動する小球A、Bが衝突する。次の各場合について、衝突後の小球Aの速度  $v_1'$  [m/s]、および小球Bの速度  $v_2'$  [m/s] を求めよ。なお、右向きを正の向きとする。





データや資料をもとに考察させる問題を掲載しました(全7か所)。  
**「思考力・判断力・表現力」の育成**に役立ちます(解答例は巻末に掲載)。

**思考学習** 人工衛星の公転周期と地上からの高さ

次の表は、Sさんが地球の周囲を回る人工衛星のデータを調べてまとめたものである。Sさんは、「人工衛星は地球を中心とした等速円運動をしている」と仮定して、人工衛星の運動について考察した。



人工衛星	質量(kg)	地上からの高さ(km)	公転周期(分)
A	$1.7 \times 10^3$	$5.5 \times 10^2$	96
B	$1.5 \times 10^3$	$2.0 \times 10^4$	720
C	$2.4 \times 10^3$	$3.6 \times 10^4$	1440

**考察1** 地上から見て静止しているように見える人工衛星を静止衛星という。静止衛星はA～Cのうちどれと考えられるか。理由とともに答えよ。

**考察2** Sさんは、運動方程式を立てて、人工衛星の運動を考察しようと考えた。人工衛星の運動方程式を書け。ただし、人工衛星の質量を  $m$  [kg]、地上からの高さを  $h$  [m]、公転周期を  $T$  [s] とし、地球の質量を  $M$  [kg]、半径を  $R$  [m]、また、万有引力定数を  $G$  [ $\text{N} \cdot \text{m}^2/\text{kg}^2$ ]、円周率を  $\pi$  とする。

また、運動方程式を整理すると、次の式が得られる。空欄(ア)～(ウ)を式または数値で埋めよ。

$$\frac{T^2}{(h+R)^3} = \text{ア}$$

**考察3** 考察2の運動方程式を整理して得られた式より、Sさんは人工衛星の周期  $T$  について考察した。次のうち、適切な考察を選べ。

(選択肢)

- ①地上からの高さ  $h$  だけで決まり、高さ  $h$  が大きいほど周期  $T$  は短くなる
- ②地上からの高さ  $h$  だけで決まり、高さ  $h$  が小さいほど周期  $T$  は短くなる
- ③人工衛星の質量  $m$  と地上からの高さ  $h$  によって決まり、質量  $m$  が小さいほど、また、高さ  $h$  が小さいほど周期  $T$  は短くなる

**考察4** 考察3と表より、静止衛星の地上からの高さについてどのようなことがいえるか。理由とともに説明せよ。

学んだことを説明してみよう

4 万有引力

- (1) 太陽のまわりをだ円運動する惑星の速さはどのように変化するか。
- (2) 無限遠を基準点とした、宇宙探査機のもつ万有引力による位置エネルギーは、地球から遠ざかるにつれてどのように変化するだろうか。

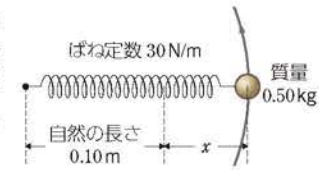
単元末に、学んだことを**自分の言葉で説明**するコーナーを設けました(解答例は巻末に掲載)。  
 生徒どうしの「対話的な学び」を通じて、**表現力の育成**にもつながります。

**演習問題**



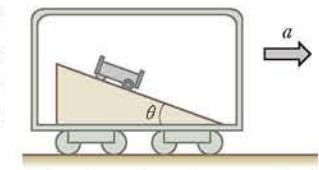
1 等速円運動 (p.64～69)

自然の長さ 0.10m、ばね定数 30N/m の軽いばねの一端に質量 0.50kg の小球を取りつけ、ばねの他端を中心にしてなめらかな水平面上で等速円運動をさせた。このときの角速度が  $6.0\text{rad/s}$  であったときの、ばねの伸び  $x$  [m] を求めよ。



2 慣性力 (p.72～75)

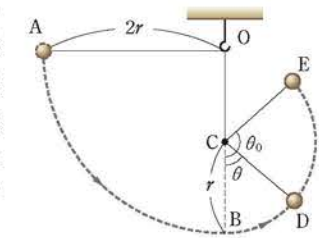
図のように、電車内の水平な床の上に傾きの角  $\theta$  のなめらかな斜面を固定して置き、その上に台車をのせる。地面に静止した人から見た電車の加速度を  $a$  [ $\text{m/s}^2$ ] (右向きを正とする)、重力加速度の大きさを  $g$  [ $\text{m/s}^2$ ] とする。



- (1) 車内の人から見たときの、台車の斜面方向の加速度  $a'$  [ $\text{m/s}^2$ ] を求めよ。斜面方向下向きを正の向きとする。
- (2) 電車の加速度  $a$  がある値  $a_0$  があったとき、車内の人から見て台車は静止しているように見えた。  $a_0$  [ $\text{m/s}^2$ ] を求めよ。

3 鉛直面内の円運動 (p.76～78)

点 O に固定した長さ  $2r$  [m] の軽い糸に、質量  $m$  [kg] の小球をつける。糸がたるまないように小球を水平の位置 A まで持ち上げ、静かにはなす。小球が最下点 B を通る瞬間、糸は B の真上  $r$  [m] の距離の点 C にある釘に触れ、その後、小球は点 C を中心とする円運動を始める。重力加速度の大きさを  $g$  [ $\text{m/s}^2$ ] とする。



- (1) 小球が点 B を通るときの、小球の速さ  $v_B$  [m/s] を求めよ。
- (2) 小球が点 B を通る直前の糸が小球を引く力の大きさ  $T_{B1}$  [N] と、点 B を通った直後の糸が小球を引く力の大きさ  $T_{B2}$  [N] を求めよ。
- (3) 小球が点 D を通るときの、小球の速さ  $v_D$  [m/s] と糸が小球を引く力の大きさ  $T_D$  [N] を求めよ。鉛直方向と CD のなす角(図の  $\angle BCD$ )を  $\theta$  とする。
- (4) 小球が点 E に達したとき、糸がたるんだとする。鉛直方向と CE のなす角(図の  $\angle BCE$ )を  $\theta_0$  とするとき、  $\cos \theta_0$  を求めよ(分数で答えてよい)。



**B 熱力学第一法則**

一般に物体の内部エネルギーが増加するのは、次の2つの場合である。

- ①外部から熱量を受け取る ②外部から仕事をされる

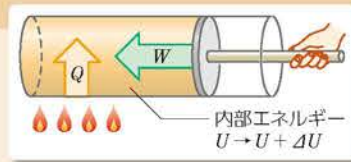
このとき、次の関係が成り立つ。これを **熱力学第一法則** という。

物体の内部エネルギーの変化  $\Delta U$  [J] は、物体が受け取った熱量  $Q$  [J] と、物体がされた仕事  $W$  [J] の和に等しい

**熱力学第一法則**

$$\Delta U = Q + W \quad (25)$$

$\Delta U$  [J] 内部エネルギーの変化  
 $Q$  [J] 物体が受け取った熱量 (quantity of heat)  
 $W$  [J] 物体がされた仕事 (work)



熱量  $Q$  と仕事  $W$  の正負に注意。気体の場合は…

$Q$  { 気体が熱を吸収 (吸熱)  $\rightarrow Q > 0$   
 気体が熱を放出 (放熱)  $\rightarrow Q < 0$  }  
 $W$  { 気体が圧縮されて体積が減少  $\rightarrow W > 0$   
 気体が膨張して体積が増加  $\rightarrow W < 0$  }

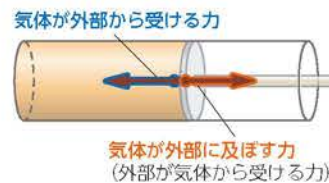
**参考 「熱力学第一法則」の別の表現**

気体が外部から受ける力と、気体が外部に及ぼす力は、作用・反作用の関係にある。したがって、気体が外部からされた仕事  $W$  と、気体が外部にした仕事  $W'$  は、大きさが同じで符号が異なる。

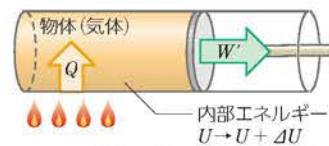
$$W = -W'$$

この関係を用いると、熱力学第一法則 ((25)式) は、気体をした仕事  $W'$  を用いて  $\Delta U = Q - W'$  と表される。さらに、気体が受け取った熱量  $Q$  を次のように表現することができる。

$$Q = \Delta U + W'$$



図A 気体が外部から受ける力と気体が外部に及ぼす力



図B 熱力学第一法則の別の表現

- 1 ここでは、物体の力学的エネルギーを変化させるような仕事は除外して考える。
- 2 p.121 類題2のように、気体が周囲と熱のやりとりをせずに真空に対して膨張する場合、気体がされた仕事は0となる(断熱自由膨張)。これは、状態変化がきわめて急激に起こる例外的な場合である。断熱自由膨張以外では、熱平衡を保ったまま、気体の状態を十分ゆっくり変化させると考えてよい(準静的過程という)。

以降、本書では、気体がされた仕事を  $W$ 、気体をした仕事を  $W'$  と表記する。

[Zoom]では、つまずきやすい内容を重点的に説明しました(全8か所)。



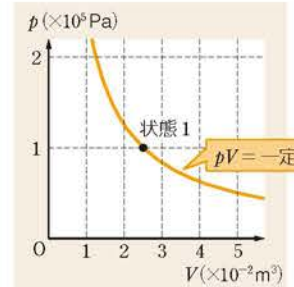
**p-V図の見方**

気体の状態変化を考える上で役立つ p-V図の見方をていねいに解説。

気体の内部エネルギーや、気体がされた仕事を求めるには、圧力  $p$ 、体積  $V$ 、温度  $T$  の3つがどのように変化しているかを把握することが大切である。気体の状態変化を表すためには p-V図がよく用いられる。ここでは、グラフの見方について学習し、 $p$ 、 $V$ 、 $T$  の変化を正しく読み取れるようになる。

**p-V図と温度①：等温曲線**

温度が一定のとき、一定質量の理想気体の圧力  $p$  と体積  $V$  の間にはボイルの法則  $pV = \text{一定}$  が成り立つ。この関係は、p-V図上で図Aのような反比例のグラフとして表される。これを等温曲線という。



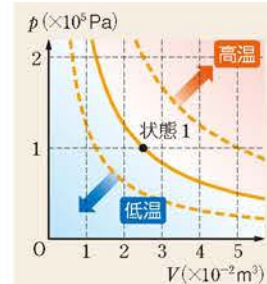
図A p-V図と等温曲線

図Aの反比例のグラフ上にある点は、すべて状態1と同じ温度になっています。



**p-V図と温度②：温度の高低を比べる**

ボイル・シャルルの法則より、一定質量の理想気体の圧力  $p$  と体積  $V$  の積  $pV$  は、温度  $T$  に比例する。したがって、等温曲線は、温度が高くなると右上へ、温度が低くなると左下へ移動する。図Bでは、グラフをはさんで右上の点は状態1より高温、左下の点は状態1より低温である。



図B p-V図と温度の高低

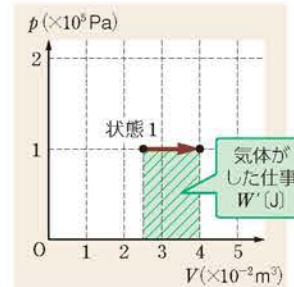
p-V図上で2つの状態を見比べることによって、温度の高低の関係を読み取ることができます。



**p-V図と気体をした仕事**

・気体を膨張させる場合

気体をした仕事  $W'$  は、p-V図上で気体の状態変化を表すグラフがV軸との間につくる面積に等しくなる(圧力が一定の状態変化では p.125(28)式が成り立つ)。



図C p-V図と気体をした仕事

・気体を圧縮する場合

気体をした仕事  $W'$  は負になる。この場合、グラフがV軸との間につくる面積に負の符号をつけたものが、気体をした仕事になる。

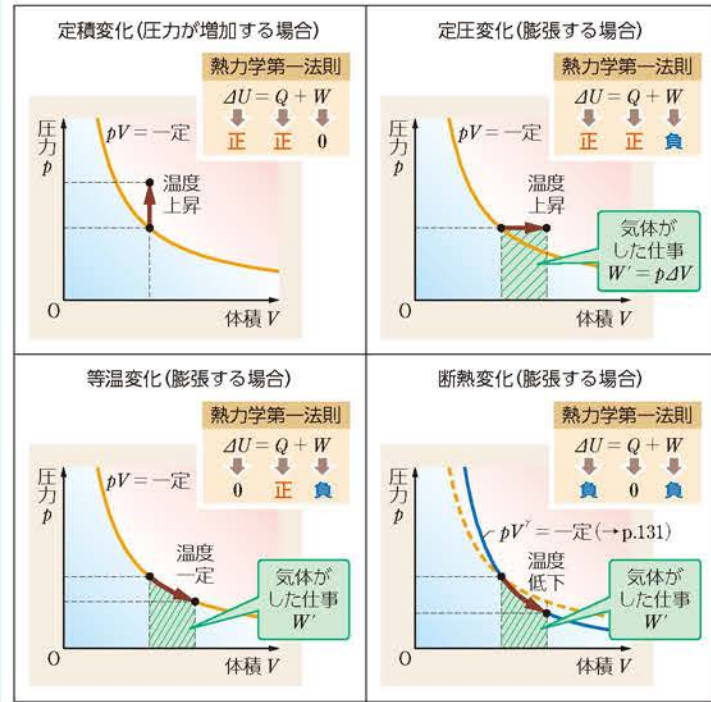


ドリル「気体の状態変化と  $p$ - $V$  図」では、状態変化に関する考え方を整理した上で、反復演習により習熟できるようにしました。

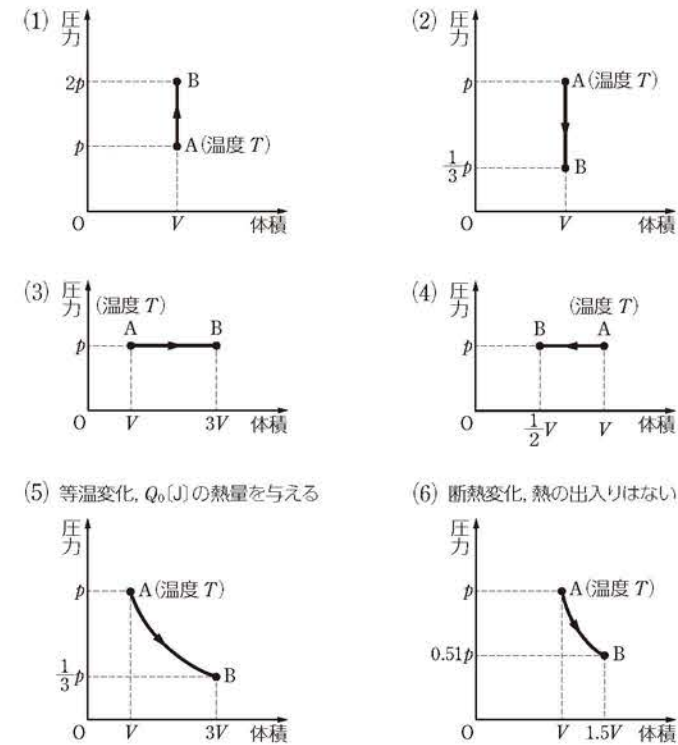
## ドリル 気体の状態変化と $p$ - $V$ 図

理想気体の状態変化について、 $p$ - $V$  図との対応を整理しましょう。

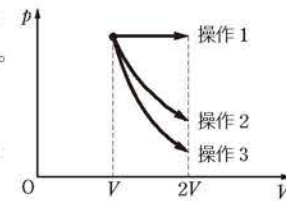
- Step 1** 圧力・体積・温度の変化を把握する ( $p$ - $V$  図に示す)。  
 … $p, V, T$  はボイル・シャルルの法則や状態方程式で関係しあっている。
- Step 2** 熱力学第一法則 [ $\Delta U = Q + W$ ] をもとに、それぞれの状態変化において特徴的な量を整理する。  
 定積変化 →  $W = 0$   
 等温変化 →  $\Delta U = 0$   
 断熱変化 →  $Q = 0$
- Step 3** 気体がされた仕事  $W$  やその正負を  $p$ - $V$  図から読み取る。  
 … $p$ - $V$  図上で、変化の道筋と  $V$  軸で囲まれる面積は、気体がした仕事  $W'$  を表す。気体がされた仕事は  $W = -W'$ 。
- Step 4** 気体の温度変化から、内部エネルギーの変化  $\Delta U$  を求める。
- Step 5** Step 2 ~ 4 で得られた情報を用いて、気体の状態変化について、熱力学第一法則の式を立てる。



**問 a**  $n$  [mol] の単原子分子理想気体を、(1) ~ (6) の  $p$ - $V$  図のように状態変化させた。状態 A での気体の温度を  $T$  [K] とする。また、気体定数を  $R$  [J/(mol·K)] とする。 $n, R, T, Q_0$  の文字を使って、気体の内部エネルギーの変化  $\Delta U$  [J]、気体がされた仕事  $W$  [J]、気体が受け取った熱量  $Q$  [J] をそれぞれ求めよ。



**問 b** 単原子分子理想気体に対して次のいずれかの操作を十分ゆっくりと行い、体積を2倍にしたい。  
 操作1 圧力を一定に保ったまま膨張させる  
 操作2 温度を一定に保ったまま膨張させる  
 操作3 外部との熱のやりとりを遮断して膨張させる



- 操作後の理想気体の温度をそれぞれ  $T_1, T_2, T_3$  とするとき、これらの大小関係を求めよ。
- 操作中に理想気体がした仕事をそれぞれ  $W_1', W_2', W_3'$  とするとき、これらの大小関係を求めよ。
- 操作中に理想気体が吸収した熱量をそれぞれ  $Q_1, Q_2, Q_3$  とするとき、これらの大小関係を求めよ。



さまざまな光の干渉についてまとめ、学習内容を整理できるようにしました。



## 光の干渉の考え方

ここまで、さまざまな状況における光の干渉を学んできた。干渉の条件式はそれぞれで異なるが、式を立てる手順はどれも同じである。ここでは、光の干渉の考え方について整理しよう。

### ● 光の干渉の条件式

ヤングの実験、回折格子、薄膜、くさび形空気層、ニュートンリング、それぞれで光の干渉の式が出てきましたね。これらについて整理はできているでしょうか？ それぞれで条件は異なりますが、いずれも、次の3つのステップをふんで考えれば大丈夫です。



### ■ 光の干渉の考え方

- 干渉する2つの光の光路差を求める。
  - 真空中(または空気中)では、光路差 = 経路差
  - 屈折率  $n$  の媒質中では、光路差 = 屈折率  $n \times$  経路差
- 反射による位相の変化をチェックする。
  - 「屈折率大  $\rightarrow$  小」の反射では、位相は変化しない。
  - 「屈折率小  $\rightarrow$  大」の反射では、位相が  $\pi$  ずれる。
- 干渉の条件式を立てる。
  - 強めあう：光路差 =  $m\lambda$     弱めあう：光路差 =  $(m + \frac{1}{2})\lambda$  ( $m = 0, 1, 2, \dots$ )
  - 2つの光の位相のずれが  $\pi$  のときは、条件式が逆になる。

それでは、これまでに学んできた光の干渉について、3つのステップにそってまとめてみましょう。ただし、これは p.200 ~ 209 で述べられている条件で観察した場合です。観察の条件が異なる場合は干渉の条件も変わってくるので、十分に注意しましょう。



ヤングの実験 (→ p.200)

- 光路差 (= 経路差)  $\doteq d \sin \theta \doteq \frac{d}{l} x$
- 位相の変化なし
- 強めあう条件  $\frac{d}{l} x = m\lambda$

回折格子 (→ p.203)

- 光路差 (= 経路差)  $\doteq d \sin \theta$
- 位相の変化なし
- 強めあう条件  $d \sin \theta = m\lambda$

薄膜 (→ p.206)

- 光路差 (=  $n \times$  経路差) =  $2nd \cos r$
- 位相が  $\pi$  ずれる
- 強めあう条件  $2nd \cos r = (m + \frac{1}{2})\lambda$

くさび形空気層 (→ p.207)

- 光路差 (= 経路差) =  $2d$
- 位相が  $\pi$  ずれる
- 強めあう条件  $2d = (m + \frac{1}{2})\lambda$

ニュートンリング (→ p.209)

- 光路差 (= 経路差) =  $2d \doteq \frac{x^2}{R}$
- 位相が  $\pi$  ずれる
- 強めあう条件  $\frac{x^2}{R} = (m + \frac{1}{2})\lambda$

問A 光の干渉に関する次の①の観察実験を行った後、②のように条件を変えて、再度、観察実験を行った。このとき、光の干渉縞はどのように変化するか。空気の屈折率を1とする。

- ヤングの実験
  - ① 空気中で行う    ② 実験装置を屈折率 1.3 の水中に入れて行う
- 回折格子
  - ① 1cm 当たり 500 本の筋をもつ回折格子を用いる
  - ② 1cm 当たり 1000 本の筋をもつ回折格子を用いる
- 薄膜 (屈折率を 1.3 とし、膜の厚さは①、②で変わらないとする)
  - ① 空気中に浮いた薄膜を上からながめる
  - ② 屈折率 1.5 のガラスの表面に密着した薄膜を上(空気中)からながめる
- くさび形空気層 (平面ガラスに対して垂直に光を当てる)
  - ① 光源側からながめる    ② 光源と反対側からながめる
- ニュートンリング (平凸レンズに対して垂直に光を当てる)
  - ① 光源側からながめる    ② 光源と反対側からながめる



電気分野の重要な内容の「キルヒホッフの法則」では、内容定着を図るために、学習の後に反復ドリルを扱いました(→詳しくは 86)。

### C キルヒホッフの法則

複雑な回路を考えると、電気量保存の法則や、オームの法則などをもとに拡張した、次のキルヒホッフの法則が用いられる(図56)。

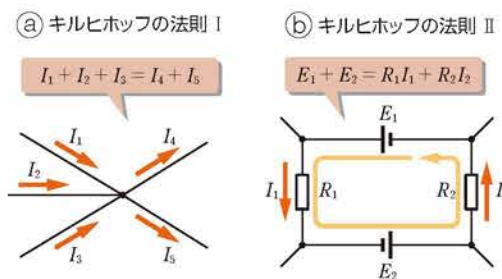


図56 キルヒホッフの法則

### キルヒホッフの法則

キルヒホッフの法則 I	回路中の交点について 流れこむ電流の和 = 流れ出る電流の和
キルヒホッフの法則 II	回路中の一回りの閉じた経路について 起電力の和 = 電圧降下の和

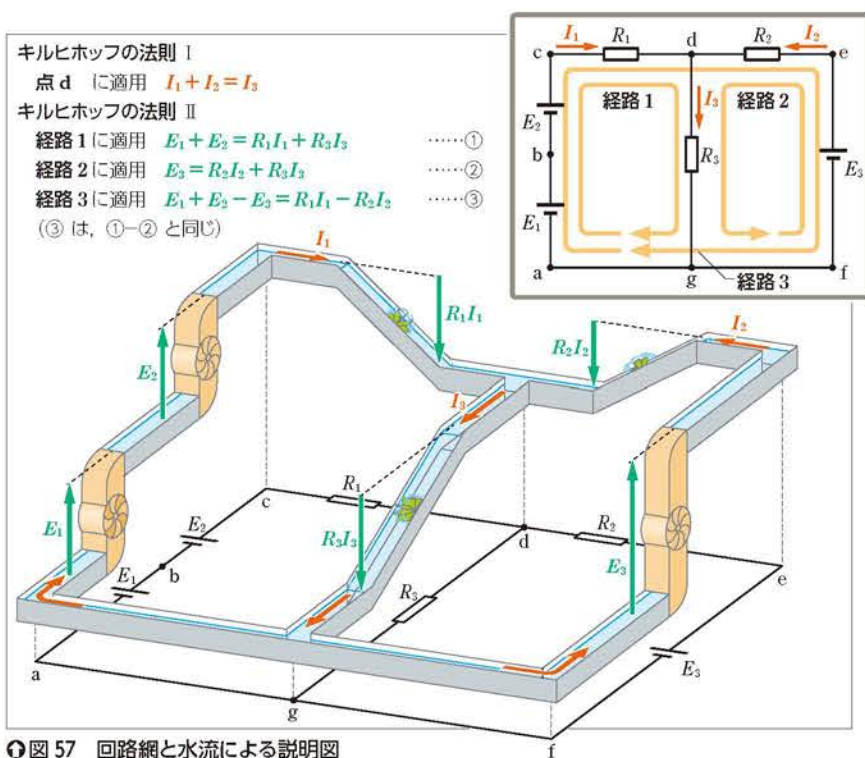


図57 回路網と水流による説明図

電池などが作りだしている電位差を起電力という(→ p.271)。

Iでは、電流の向きをどちらかに仮定して計算する。計算で得た電流の値が負になれば、仮定と反対の向きに電流が流れていることになる。

IIでは初めに、閉じた経路を1周する向きを決める。この向きはどちら向きでもよい。図58のように、起電力、電圧降下の正負を定めて、それらの和を考える。

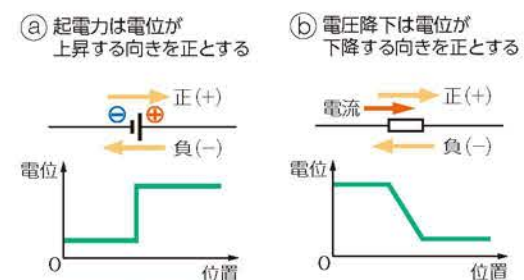
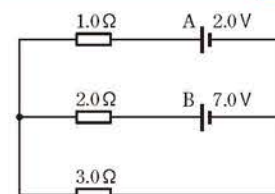


図58 起電力と電圧降下の正負

### 例題8 キルヒホッフの法則

起電力2.0Vの電池A、起電力7.0Vの電池Bと抵抗値が1.0Ω、2.0Ω、3.0Ωの抵抗がある。これらを図のように接続する。1.0Ωの抵抗に流れる電流の大きさと向きを求めよ。



指針 キルヒホッフの法則 I, II を適用する。

解 各抵抗に流れる電流の大きさと向きを図のように仮定する。

キルヒホッフの法則 I を用いると、点 a について

$$I_1 + I_2 = I_3 \quad \dots\dots ①$$

キルヒホッフの法則 II を用いると、経路 1 について

$$2.0 = 1.0 \times I_1 + 3.0 \times I_3 \quad \dots\dots ②$$

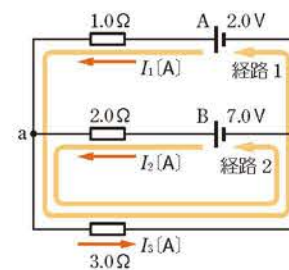
経路 2 について

$$7.0 = 2.0 \times I_2 + 3.0 \times I_3 \quad \dots\dots ③$$

①~③式を連立して解くと

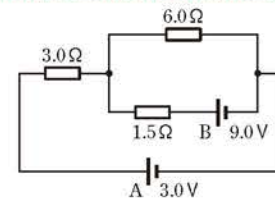
$$I_1 = -1.0\text{A}, I_2 = 2.0\text{A}, I_3 = 1.0\text{A}$$

$I_1$  は負であるので、図に定めた向きと逆向きである。したがって、1.0Ωの抵抗に流れる電流は、右向きに1.0Aである。



### 類題8

起電力3.0Vの電池A、起電力9.0Vの電池Bと抵抗値が1.5Ω、3.0Ω、6.0Ωの抵抗がある。これらを図のように接続する。3.0Ωの抵抗に流れる電流の大きさと向きを求めよ。



3つの抵抗に流れる電流を  $I_1, I_2, I_3$  として、キルヒホッフの法則 I, II より求める。



ドリル「キルヒホッフの法則」では、法則Ⅰ、Ⅱの適用のしかたを示した上で、反復演習により習熟できるようにしました。

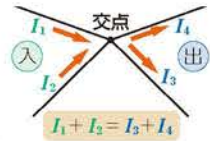
## ドリル キルヒホッフの法則

キルヒホッフの法則ⅠとⅡの式の立て方について確認しましょう。

### ●キルヒホッフの法則Ⅰ

**Step 1** 回路中の交点に着目する。

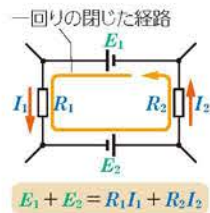
**Step 2** 電流の流れる向きを仮定する。流れこむ電流の和を左辺、流れ出る電流の和を右辺とした式を立てる。



### ●キルヒホッフの法則Ⅱ

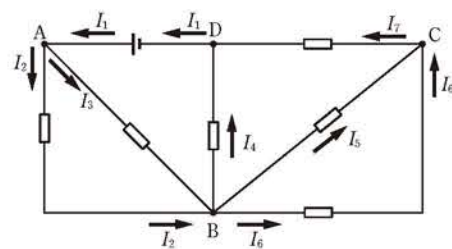
**Step 1** 回路中の一回りの閉じた経路に着目する。電流の流れる向きは、キルヒホッフの法則Ⅰと同様に仮定する。

**Step 2** 左辺には電源の起電力の和を、右辺には抵抗の電圧降下の和とした式を立てる。

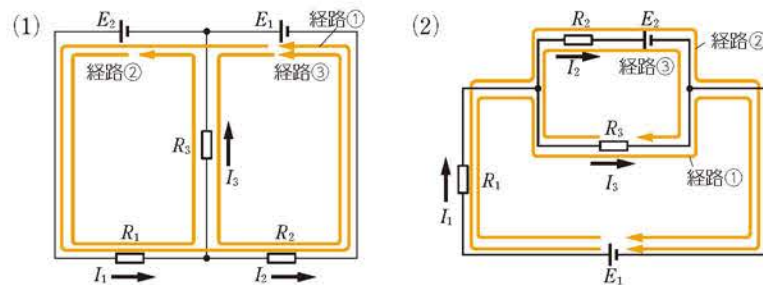


\*電圧降下は、抵抗の抵抗値と抵抗に流れる電流値から求める。

**問 a** 次の回路図の点A～Dに着目して、キルヒホッフの法則Ⅰの式を立てよ。



**問 b** (1)、(2)のそれぞれの回路図について、閉じた経路①～③に着目して、キルヒホッフの法則Ⅱの式を立てよ。



## D 電池の起電力と内部抵抗

**①電池の起電力** ポンプが動力を用いて水位の差をつくりだすのと同様に、電池は化学反応により電極間に電位差をつくりだす。電流が流れていない状態での、電池の電極間の電位差を電池の**起電力**という。  
electromotive force

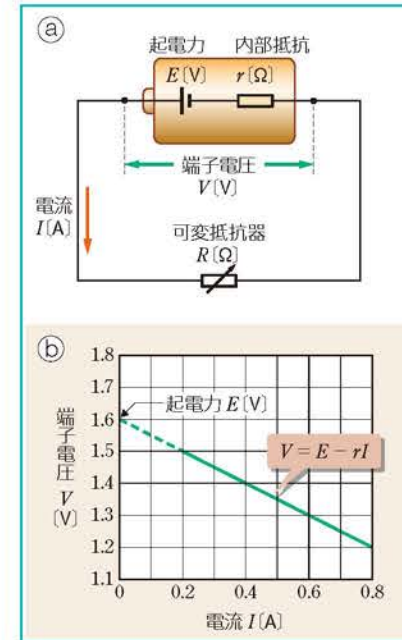
**②電池の内部抵抗** 電池から流れる電流  $I$  と電池の電極間の電圧 (端子電圧)  $V$  の間をみてみよう。電池を図 59 ②のように接続し、可変抵抗器の抵抗値を変えながら端子電圧  $V$  をはかると、 $V$  は電流  $I$  が増えると小さくなる (同図 ③)。これは、電池が起電力  $E$  をつくりだすとともに、内部に抵抗 (内部抵抗) をもつと考えるとうまく説明することができる。このグラフは、内部抵抗の抵抗値を  $r$  とすると、次の式で表される。

$$V = E - rI \quad (49)$$

つまり、電池の端子電圧  $V$  は電池の起電力  $E$  から内部抵抗による電圧降下  $rI$  を引いた値になる。また、 $I = 0$  のとき  $V = E$  となるので、起電力は電流が流れていないときの端子電圧であることがわかる。

電池の起電力と内部抵抗を実験から求めてみよう。  
→次ページ 実験 35

**問 32** 起電力が 1.5V、内部抵抗が 0.50Ω の電池に可変抵抗器を接続し、抵抗値を調整したところ、電流が 0.60A 流れた。このときの、電池の端子電圧  $V$  [V] と可変抵抗器の抵抗値  $R$  [Ω] を求めよ。



**図 59** 電池の内部抵抗 直列につながれた  $R$  [Ω] の可変抵抗器と  $r$  [Ω] の内部抵抗に、 $E$  [V] の電圧が加わるので  $E = RI + rI$   
 $RI$  は電池の端子電圧  $V$  と等しいので  $E = V + rI$   
よって  $V = E - rI$   
( $V$ - $I$  図は  $V$  軸での切片  $E$ 、傾き  $-r$  のグラフ)



## 一問一答 電子と光



- 陰極線は、何とよばれる粒子の流れか。
- 電気素量を  $e$ 、電子の質量を  $m$  とすると、電子の比電荷はどのように表されるか。
- ミリカンが、帯電した油滴の電気量をもとに測定を行った。電気量の最小単位を何というか。
- 振動数が  $\nu$  の光の光子1個がもつエネルギーはいくらか。プランク定数を  $h$  とする。
- 波長が  $\lambda$  の光の光子1個がもつエネルギーはいくらか。真空中の光の速さを  $c$ 、プランク定数を  $h$  とする。
- 光電効果は、「光の粒子性」、「光の波動性」のどちらと関連の深い現象か。
- 仕事関数が  $W$  の金属に、光子のエネルギーが  $h\nu$  ( $h$ :プランク定数、 $\nu$ :光の振動数)の光を当てるとき、飛び出す光電子の運動エネルギーの最大値はいくらか。ただし、 $h\nu > W$  とする。
- 仕事関数が大きい金属ほど、限界振動数は大きいか、小さいか。
- 光電効果の実験で、光電管に当てる光の強さを変えた場合、阻止電圧の値はどうなるか。
- 1eVは何Jか。電気素量を  $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$  とする。
- X線管に加える電圧を大きくしたとき、連続X線の最短波長はどうなるか。
- X線管に加える電圧を大きくしたとき、固有X線の波長はどうなるか。
- ラウエ斑点は、「X線の粒子性」、「X線の波動性」のどちらと関連の深い現象か。
- コンプトン効果は、「X線の粒子性」、「X線の波動性」のどちらと関連の深い現象か。
- コンプトン効果で、散乱されたX線に含まれていたのは、もとの波長より長い波長のX線か、短い波長のX線か。
- 振動数が  $\nu$  の光について、光子1個がもつ運動量はいくらか。真空中の光の速さを  $c$ 、プランク定数を  $h$  とする。
- 波長が  $\lambda$  の光について、光子1個がもつ運動量はいくらか。プランク定数を  $h$  とする。
- 運動量が  $p$  の電子について、電子波の波長はいくらか。プランク定数を  $h$  とする。
- 電子線回折は、「電子の粒子性」、「電子の波動性」のどちらと関連の深い現象か。

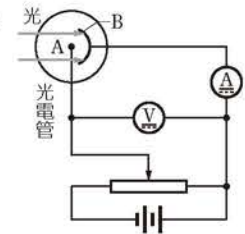
答え

- 電子
- $\frac{e}{m}$
- 電気素量
- $h\nu$
- $\frac{hc}{\lambda}$
- 光の粒子性
- $h\nu - W$
- 大きい
- 変わらない
- $1.6 \times 10^{-19} \text{J}$
- 短くなる
- 変わらない
- X線の波動性
- X線の粒子性
- 長い波長のX線
- $\frac{h\nu}{c}$
- $\frac{h}{\lambda}$
- $\frac{h}{p}$
- 電子の波動性

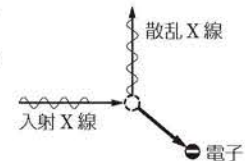
## 演習問題



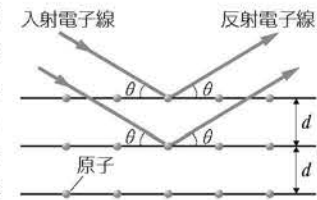
- 1 光電効果** (p.365 ~ 369)  
光電管で図の回路をつかった。波長  $2.5 \times 10^{-7} \text{m}$  の紫外線を当てながらBの電位がAよりも高くなるように電圧を増していくと、AB間の電圧が2.8Vになったとき回路の電流が0になった。また、波長  $4.5 \times 10^{-7} \text{m}$  の可視光線で同様の実験をすると、0.6Vのときに電流が0になった。プランク定数  $h[\text{J}\cdot\text{s}]$  を求めよ。電気素量を  $1.6 \times 10^{-19} \text{C}$ 、真空中の光の速さを  $3.0 \times 10^8 \text{m/s}$  とする。



- 2 コンプトン効果** (p.374 ~ 375)  
波長  $\lambda[\text{m}]$  のX線光子が、静止している質量  $m[\text{kg}]$  の電子に衝突して、角  $90^\circ$  の方向に散乱し、波長が  $\lambda'[\text{m}]$  となり、電子は速さ  $v[\text{m/s}]$  ではね飛ばされた。真空中の光の速さを  $c[\text{m/s}]$ 、プランク定数を  $h[\text{J}\cdot\text{s}]$  とする。  
 (1) 衝突前後のエネルギー保存則の式を書け。  
 (2) 衝突前後の運動量ベクトルの関係を考えることにより、 $(mv)^2$  を式で表せ。  
 (3) 近似式  $\frac{\lambda'}{\lambda} + \frac{\lambda}{\lambda'} \approx 2$  を用いて、 $\lambda' - \lambda$  を  $v$  を用いない式で表せ。



- 3 電子線の回折** (p.377)  
図のように、規則正しく配列された原子がつくる面の間隔が  $d[\text{m}]$  の結晶に、運動エネルギー  $E[\text{J}]$  の電子を用いた電子線を原子の配列面と  $\theta$  の角をなす方向に入射させる。 $\theta$  を  $0^\circ$  から増加させながら反射電子線の強度を測定したところ、 $\theta = 30^\circ$  のとき、4回目の極大を示した。原子の配列面の間隔  $d[\text{m}]$  を求めよ。電子の質量を  $m[\text{kg}]$ 、プランク定数を  $h[\text{J}\cdot\text{s}]$  とする。



### 考 4 考えてみよう!

人の肌が屋外で日焼けをするのは、太陽光線によって皮膚組織にエネルギーが与えられ、皮膚が炎症を起こすためである。日焼けの原因となるのは、可視光線よりも紫外線であるといわれているが、これはなぜだろうか。光の粒子性に着目して説明してみよう。



紙面右下のQRコードから、ドリル型コンテンツがご覧いただけます。



よく耳にするブラックホールについて、高校生にも興味をもって読めるように、観測とその撮影を中心に取り上げました。

# 物理学が築く未来

Universe and Black holes

## ■ 宇宙とブラックホール

### A 相対性理論とブラックホール

星が縮み、その半径が小さくなっていくと、星の質量は不変でも、表面での重力加速度の大きさは95ページの(93)式に従ってどんどん大きくなる。そのようなたいへん強い重力の存在する環境では、運動する物体の速さが光の速さに近づくため、もはやニュートンの運動の法則は正確ではなくなり、アインシュタインが20世紀の初めに提唱した一般相対性理論の方程式(アインシュタイン方程式)を用いる必要がある。この方程式によれば、もし星を極度に押し縮め、その質量に比例したある半径 $R_s$ より小さくすると、物質や光は半径 $R_s$ の球面を横切って外から中へと伝わることはできるが、逆に $R_s$ の内部から外部へは光さえも逃げ出せなくなる。この半径 $R_s$ の球面を事象の地平面とよび、それと内部にある縮んだ星とをあわせた概念が、ブラックホールである。しかし $R_s$ は、太陽では約3km、地球では約1cmときわめて小さい(地球の中心に半径1cmのブラックホールがあるわけではない)。このため、一般相対性理論が登場した当初は、ブラックホールは空想の産物と考えられていた。

### B 空想から実在へ

1930年代、星が進化すると中心部が高密度になり、最後にブラックホールができる可能性が指摘された。さらに1962年にロケットを用い、宇宙からのX線が初めて検出されると、ブラックホールに隣の星からガスが落ちこむ際、事象の地平面より外側でX線が放射される可能性が浮上した。小田稔らは1971年、はくちょう座にあるX線星「はくちょう座X-1」を科学衛星で観測した結果、この天体はブラックホールであろうと提唱した。その後の研究により、「はくちょう座X-1」をはじめ、銀河系にある数十個の

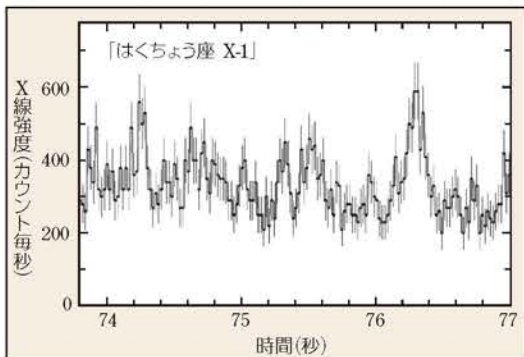


図1 日本のX線衛星「すざく」で観測された、「はくちょう座X-1」からのX線強度の時間変化。ブラックホールに落ちこむガスの流量がゆらぐため、1秒より短い時間でX線が激しく変動する。

X線星が、太陽の10倍程度の質量のブラックホールであることが明らかになった。図1は、「はくちょう座X-1」の最近の観測結果である。さらに宇宙に無数に存在する銀河の中心には、太陽の数百万倍から数十億倍の質量をもつ巨大ブラックホールが存在することが多く、それらがX線、可視光線、電波などの電磁波を出すこともわかってきた。

### C ブラックホールの新しい観測：重力波望遠鏡

一般相対性理論では、質量が大きな物体が速く運動すると、時間・空間のゆがみが波動として光の速さで伝わることを予言されていた。これを重力波という。2015年9月、アメリカの重力波望遠鏡LIGOなどが、世界で初めて重力波の検出に成功した。この重力波は、遠方の銀河で太陽の30倍程度の質量をもつ2つのブラックホールが合体した際に放出されたものと判明した。その後、2019年末までに、10例に近い同様な事象が報告されており、日本の重力波望遠鏡KAGRA(図2)でも重力波検出を目指している。合体の際、ブラックホールの質量の一部が重力波のエネルギーに変わるため、生じるブラックホールの質量は、もとの2つの質量の和より少し小さくなる。



図2 重力波望遠鏡KAGRAのイメージ。岐阜県と富山県の県境の地下にある。L字型に伸びる腕は長さそれぞれ3kmで、ここを通るレーザー光線どうしが干渉縞をつくり、重力波が到来すると、そのようすがわずかに変化する。

### D ブラックホールを撮像する

世界中にある複数の電波望遠鏡を組み合わせて宇宙の電波源を観測すると、光の干渉の原理を利用することで、地球規模の大きさをもつ仮想的な1台の望遠鏡と同等な性能が実現され、非常に高解像度の撮影をすることができる。日本を含む世界の天文学者たちは、2019年、世界各地の8台の電波望遠鏡を組み合わせて、「おとめ」座のM87銀河の中心にある巨大ブラックホールを撮影した結果を公表した。図3のように、ブラックホールの周辺は落下するガスで明るく輝くが、中心部は暗い穴になっていることが、世界で初めて検証された。このように物理学に基づく最先端の技術を用いることで、ブラックホールの姿が次々に明らかになりつつある。

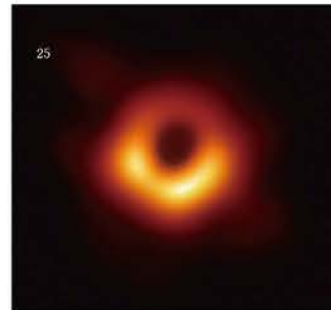


図3 M87銀河の中心にある、太陽の65億倍の質量をもつ巨大ブラックホールを、電波干渉計で撮像した結果。電波干渉計は、異なる電波望遠鏡で受けた電波どうしを重ね合わせ、波の干渉の原理を用い、高い解像度を実現するしくみである。  
※この結果が確かであることを検証するために、各国の研究者たちが別々にデータを解析し、この最先端の研究課題に取り組んでいる。

### Career Column

ブラックホールの宇宙における役割を探っています。また、世界的なブラックホールの撮像プロジェクトにも加わっています。ブラックホールが銀河にもたらすエネルギーの量をエネルギー保存則から考えたり、吸いこまれようとしているガスの速度を万有引力の法則から求めたり、高校物理の知識を今も使っています。



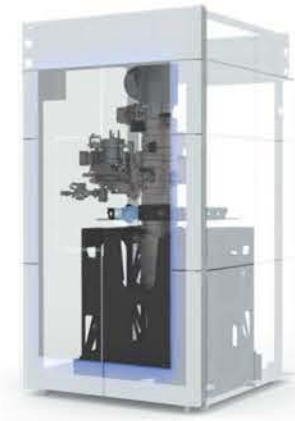
国立天文台 特別客員研究員 田崎 文得 さん

現代社会を支える科学技術や最先端研究の技術者、研究者へのインタビュー記事を掲載しています。物理学を身近に感じてもらうとともに、キャリア教育にも役立つ情報です。

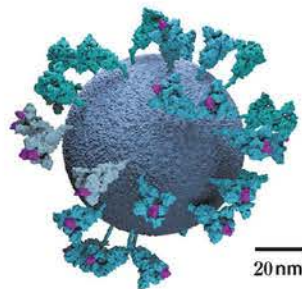


## ■ ナノテクノロジー

ナノメートル(nm, ナノは10億分の1)レベルの領域で起きる現象を操作したり制御したりして応用する技術が、社会のさまざまな場面で生かされている。



① 図1 電子顕微鏡(透過型)



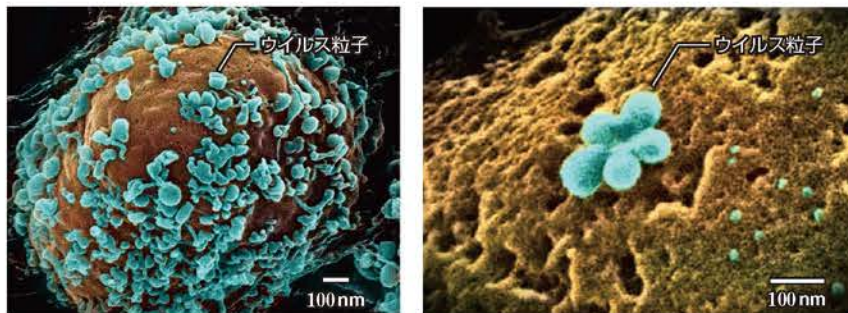
### A 電子顕微鏡によるウイルス観察

電子顕微鏡(→ p.378)は、 $10^{-10}$  m (0.1nm)ほどのサイズを識別する能力をもっている。一方、ウイルス粒子の大きさは $10^{-7}$  m (100nm)ほどである。そのため、電子顕微鏡でウイルスの構造などを詳しく観察することができる。ウイルスの構造を詳しく理解することで、ウイルスの細胞への侵入のしかたなどを把握できれば、抗ウイルス薬の開発などの医療面に応用することができる。

2020年に世界的に感染が拡大した新型コロナウイルス(SARS-CoV-2)に対しても、研究者たちが電子顕微鏡を使って、細胞との結合部位を含むスパイクの立体構造や、成熟したウイルスが細胞から出てくるようすなどの像を得ている(図2, 3)。

電子顕微鏡には、おもに電子線をウイルスなどの試料に通らせさせて像を得る透過型と、電子線を試料に順に当てていったときに現れる電子を検出するなどして像を得る走査型がある。

② 図2 透過型電子顕微鏡で得た、SARS-CoV-2の構造の像 細胞に侵入するとき、スパイクとよばれる突起の先端部分が細胞側と結びつく。コンピューターにより着色したもので、実際の見た目とは異なる。



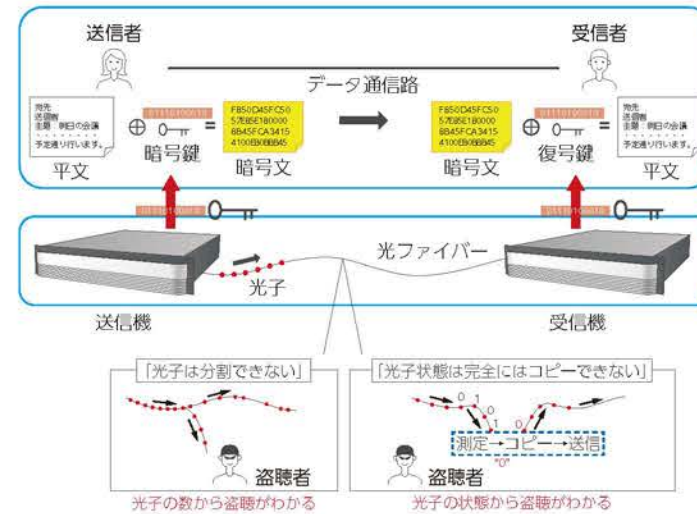
③ 図3 走査型電子顕微鏡で得た、細胞表面から出てくるSARS-CoV-2の粒子の像 コンピューターにより着色したもので、実際の見た目とは異なる。

### B 量子暗号通信による情報の安全確保

光子(→ p.364)を1個にすると、それ以上は分割できず、また完全な状態ではコピーできないことが知られている。光子のこうした特徴を活用して情報を安全にやりとりする「量子暗号通信」が実用化されている。電子マネーの取引や、インターネット上でソフトウェアやデータなどを扱うクラウドコンピューティングなどで、利用の機会が増えていくであろう。

量子暗号通信では、暗号の「鍵」をつくるための情報を光子に乗せ、送信者から受信者へ光ファイバー(→ p.181)で送る。光子は、盗聴者に奪われるとかならず状態を変えるので、これにより盗聴されているかどうかわかるのである。例えば、盗聴者が光子を奪うと、受信者に届く光子の数が減ってしまうため、「盗聴されているようだ」とわかる。また、たとえ盗聴者が、奪った光子をコピーして受信者に届けても、コピーされた光子の状態はもとの光子と同じにならないため、あとで送信者と受信者が光子の状態がどうだったかを確認しあえば、やはり「盗聴されているようだ」とわかる(図4)。

これまでの暗号は、盗聴者が解こうとしても計算量が膨大すぎて解けないという「量」で安全を保っていた。しかし、量子力学を応用した量子計算という技術がこれから発達すると、膨大な計算量でも解かれてしまうおそれがある。一方、量子暗号通信は、しくみからして解けないという「理論」で安全を保つため、「絶対に解けない暗号」と期待されている。



④ 図4 量子暗号通信の方法の例

### Career Column

量子暗号通信の技術は、量子力学、電気工学、数学、コンピュータサイエンスなどの多くの学問分野に基づいています。異なる専門性をもつ技術者たちが会話をしながら仕事を進めていくうえで、高校物理をはじめとする物理学の知識は「共通言語」のように使われます。





## 教科横断 ニュートンで結ぶ学問の世界

学問にはさまざまな分野があり、それぞれが有機的につながっている。ここでは、Isaac Newton(アイザック・ニュートン：イギリス、1643～1727)を「横糸」にして、いくつかの教科を結んでみよう。

**国語** 夏目漱石が生きた時代、物理界はニュートンなどにより構築された古典物理学からアインシュタインなどにより始まった現代物理学への移行期であった。漱石の作品『三四郎』(1908)には、ガリレオやニュートンについて言及する場面や、光の放射圧を測定する実験の記述もある。この放射圧については、アインシュタインの光子量子仮説(1905)のち、光の粒子性によって解釈されるようになる。なお、作中の物理学者の野々宮は、漱石の門下生であった物理学者、寺田寅彦がモデルであるといわれている。

夏目漱石著『三四郎』より

それから改まって、野々宮さんに、光線に圧力があるものか、あれば、どうして試験するかと聞き出した。野々宮さんの答は面白かった。――

雲母か何かで、十六武蔵ぐらゐの大きさの薄い円盤を作って、水晶の糸で釣して、真空の中に置いて、この円盤の面へ弧光燈の光を直角にあてると、この円盤が光に圧されて動く。というのである。

(中略)

広田先生が、こんな事をいう。

「どうも物理学者は自然派じゃ駄目のようだね」

物理学者と、自然派の二字は少なからず満場の興味を刺激した。

「それはどういう意味ですか」と本人の野々宮さんが聞き出した。広田先生は説明しなければならなくなった。

「だって、光線の圧力を試験するために、眼だけあけて、自然を観察してはたって、駄目だからさ。自然の献立のうちに、光線の圧力という事実は印刷されていないようじゃないか。だから人巧的に、水晶の糸だの、真空だの、雲母だのという装置をして、その圧力が物理学者の眼に見えるように仕掛けるのだから。だから自然派じゃないよ」

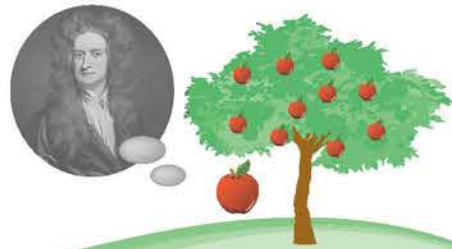
(中略)

今度は博士がまた口を利いた。

「物理学者でも、ガリレオが寺院の、釣り洋燈の一振動の時間が、振動の大小にかかわらず同じである事に気が付いたり、ニュートンが林檎が引力で落ちるのを発見したりするのは、始めから自然派ですね」

※十六武蔵は、石と盤を用いた室内遊戯

- 課題** (1) 下線部Aについて、自然派の研究手法とは、ここではどのようなものか。  
(2) 下線部イの性質を何というか。



**数学** 1665～1666年にかけて、ニュートンが学んでいたケンブリッジのトリニティ・カレッジはペストの流行によって閉鎖された。このとき、故郷の村ウールズソープにもどったニュートンは、物理や数学分野で主要な成果となるものの着想を得る。数学では幾何学的方法(図形を用いての論証)を中心に、現在の微分・積分法にあたる流率法や方程式による曲線や曲面の分類などである。例えば「一部が曲線で囲まれている図形の面積の求め方」は、ニュートンの名著『プリンキピア』には、次のように記されている。

### 補助定理2

直線  $Aa$ ,  $AE$ 、および曲線  $abcdE$  によって囲まれた図形  $AabcdE$ (図1)において、一定の幅( $AB$ ,  $BC$ ,  $CD$  など)をもつ長方形に分け、その幅を限りなく小さくしていくと、内接図形  $AKbLcMdD$ 、外接図形  $AalbmncdoE$ 、および曲線図形  $AabcdE$  が相互に対してとるべき究極の比は等しくなる。

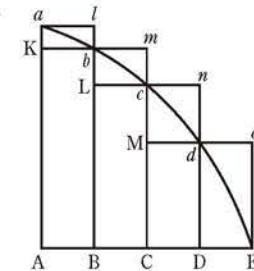


図1

**【証明】** 内接図形と外接図形との差は長方形  $aKbl$ ,  $bLcm$ ,  $cMdn$ ,  $dDEo$  の和、長方形  $ABla$  に等しい。ところが、この長方形は幅  $AB$  が限りなく減少するものと仮定されているので内接図形と外接図形は最終的に互いに等しくなる。さらに両者の中間にある曲線図形は、最終的に上のそれぞれに等しくなる。よって証明された。

(図の示し方や一部の用語は現代の形式に直し、加筆や削除を行った。)

- 課題** (1) 長方形  $aKbl$ ,  $bLcm$ ,  $cMdn$ ,  $dDEo$  の面積の和は、長方形  $ABla$  の面積に等しいことを証明せよ。  
(2) 数学の発展に対するニュートンの寄与について調べてみよう。

**英語** ニュートンの運動の3法則は、『プリンキピア』に記述されている。原文はラテン語であるので、英訳をもとに、これらが英文でどのように表現されているのかを見てみよう。

**LAW I** Every body perseveres in its state of rest, or of uniform motion in a right line, unless it is compelled to change that state by forces impressed thereon.

**LAW II** The alteration of motion is ever proportional to the motive force impressed; and is made in the direction of the right line in which that force is impressed.

**LAW III** To every action there is always opposed an equal reaction: or the mutual actions of two bodies upon each other are always equal, and directed to contrary parts.

(“The Mathematical Principles of Natural Philosophy” by Isaac Newton, translated by Andrew Motte, 1846)

- 課題** (1) 次の用語は、英文中でどのように表現されているか。  
(a) 静止 (b) 等速直線運動 (c) 物体 (d) 力 (e) 作用 (f) 反作用  
(2) 運動の3法則のほかに、物理法則が英語でどのように表現されているかを調べてみよう。



# 教科書『総合物理』の特徴

- POINT**  
**1** 「主体的・対話的で深い学び」を実現
- POINT**  
**2** つまずき解消のための工夫が充実
- POINT**  
**3** 実験を通じて学びを深めます
- POINT**  
**4** 知識を活用する「力」を養います
- POINT**  
**5** 「物理基礎」と「物理」の内容を網羅

## POINT!

「復習」マークで「物理基礎」範囲の判別が簡単！

「復習」マークの詳しい説明は100をご覧ください。

学びやすいスムーズな配列！ (右ページ参照)

第1巻…力学・熱分野（「力学」を軸にした構成）→ 98

第2巻…波・電磁気・原子分野（「光」について学びやすい構成）→ 108

## 新課程数研理科教科書の新たな試み！

### QRコンテンツで、新たな学びへ！

紙面のQRコードからアクセス可能な

QRコンテンツが合計**237**点

→教科書「物理基礎」「物理」のQRコンテンツ収録の映像、アニメーションなどが使用可能。詳しくは、本冊子118~121



サンプルはこちら!▲

### 教科書の解説動画をご用意します！

- 自学自習をサポートします。
- 反転学習にも活用できます。
- 対面授業が難しい状況下でも学習が進められます。

→各単元の解説動画 100本  
例題の解説動画 83本



サンプルはこちら!▲

→ご利用方法など詳しくは、本冊子125

## 第1巻 —力と運動・熱—

物理量の扱い方	■
<b>第1編 力と運動</b>	
第1章 運動の表し方	
1 速度	■
2 加速度	■
3 落体の運動	■
第2章 運動の法則	
1 力とそのはたらき	■
2 力のつりあい	■
3 運動の法則	■
4 摩擦を受ける運動	■
5 液体や気体から受ける力	■
6 剛体にはたらく力のつりあい	■
第3章 仕事と力学的エネルギー	
1 仕事	■
2 運動エネルギー	■
3 位置エネルギー	■
4 力学的エネルギーの保存	■
第4章 運動量の保存	
1 運動量と力積	■
2 運動量保存則	■
3 反発係数	■
第5章 円運動と万有引力	
1 等速円運動	■
2 慣性力	■
3 単振動	■
4 万有引力	■
<b>第2編 熱と気体</b>	
第1章 熱と物質	
1 熱と物質の状態	■
2 熱と仕事	■
第2章 気体のエネルギーと状態変化	
1 気体の法則	■
2 気体分子の運動	■
3 気体の状態変化	■
4 エネルギーの移り変わり	■

■ …『物理基礎』の内容より構成  
 ■ …『物理』の内容より構成  
 ■ …『物理基礎』『物理』の内容より構成

## 第2巻 —波・電気と磁気・原子—

<b>第3編 波</b>	
第1章 波の性質	
1 波と媒質の運動	■
2 正弦波の式	■
3 波の伝わり方	■
第2章 音	
1 音の伝わり方	■
2 発音体の振動と共振・共鳴	■
3 音のドップラー効果	■
第3章 光	
1 光の性質	■
2 レンズと鏡	■
3 光の干渉と回折	■
<b>第4編 電気と磁気</b>	
第1章 電場	
1 静電気力	■
2 電場	■
3 電位	■
4 物質と電場	■
5 コンデンサー	■
第2章 電流	
1 オームの法則	■
2 直流回路	■
3 半導体	■
第3章 電流と磁場	
1 磁場	■
2 電流のつくる磁場	■
3 電流が磁場から受ける力	■
4 ローレンツ力	■
第4章 電磁誘導と電磁波	
1 電磁誘導の法則	■
2 自己誘導と相互誘導	■
3 交流の発生	■
4 交流回路	■
5 電磁波	■
<b>第5編 原子</b>	
第1章 電子と光	
1 電子	■
2 光の粒子性	■
3 X線	■
4 粒子の波動性	■
第2章 原子と原子核	
1 原子の構造とエネルギー準位	■
2 原子核	■
3 放射線とその性質	■
4 核反応と核エネルギー	■
5 素粒子	■
物理学が築く未来	■



# 目次

物理量の扱い方 ..... 6

## 第1編 力と運動

### 第1章 運動の表し方

- 1. 速度 ..... 12
- 2. 加速度 ..... 27
- 3. 落体の運動 ..... 40
- 演習問題 ..... 55

### 第2章 運動の法則

- 1. 力とのはたらき ..... 58
- 2. 力のつりあい ..... 62
- 3. 運動の法則 ..... 74
- 4. 摩擦を受ける運動 ..... 86
- 5. 液体や気体から受ける力 ..... 91
- 6. 剛体にはたらく力のつりあい ..... 98
- 演習問題 ..... 113

### 第3章 仕事と力学的エネルギー

- 1. 仕事 ..... 116
- 2. 運動エネルギー ..... 122
- 3. 位置エネルギー ..... 125
- 4. 力学的エネルギーの保存 ..... 129
- 演習問題 ..... 139

#### 物理量と単位の表記について

一般に、物理量(物理で扱われる量)は、1.5m、0.80m/sなど、「数値」と「単位」の積で表される。ただし本書では、表記を簡潔にするため、計算の過程などで単位を省略して数値のみで表すことがある。また、物理量を記号(時間  $t$  など)で表す場合は、記号は数値と単位の積を表すとみなせるので、記号の後に単位をつける必要はない。ただし、その物理量もつ単位を明示したほうがわかりやすい場合、本書では、記号の後に[ ]で単位を示した(時間  $t$ [s] など)。

### 第4章 運動量の保存

- 1. 運動量と力積 ..... 140
- 2. 運動量保存則 ..... 144
- 3. 反発係数 ..... 151
- 演習問題 ..... 160

### 第5章 円運動と万有引力

- 1. 等速円運動 ..... 162
- 2. 慣性力 ..... 170
- 3. 単振動 ..... 177
- 4. 万有引力 ..... 188
- 演習問題 ..... 201

第1巻には、力学・熱分野を収録。  
「力学」を軸にしたまとまりを重視しています。

『物理基礎(物基/707)』と『物理(物理/706)』を融合し、系統的に配列しました。  
物理基礎の内容を「復習」(→100)としてほぼすべて収録していますので、第2巻(→108)とあわせて高校物理の学習内容をすべてカバーできます。

## 第2編 熱と気体

### 第1章 熱と物質

- 1. 熱と物質の状態 ..... 204
- 2. 熱と仕事 ..... 214
- 演習問題 ..... 215

### 第2章 気体のエネルギーと状態変化

- 1. 気体の法則 ..... 216
- 2. 気体分子の運動 ..... 224
- 3. 気体の状態変化 ..... 230
- 4. エネルギーの移り変わり ..... 248
- 演習問題 ..... 250

#### 物理のための数学

- 1. 三角比と三角関数 ..... 252
- 2. ベクトル ..... 256
- 3. その他の数学の知識 ..... 258

#### 本文資料

- 1. 量の表し方 ..... 263
- 2. 表 ..... 265

- 略解 ..... 268
- 索引 ..... 277

※本文中、一部の用語には、英語による表記をそえた。  
なお、( )は省略してもよい部分、[ ]は別の英語表現を表している。

## 実験

- 1. 斜面を降下する台車の運動 ..... 30
- 2. 重力加速度の大きさ  $g$  の測定 ..... 42
- 3. 水平投射 ..... 48
- 4. 動く発射台からの投射 ..... 54
- 5. 力のつりあい ..... 67
- 6. 作用反作用の法則 ..... 69
- 7. 台車に力を加えるときの運動 ..... 75
- 8. 静止摩擦力 ..... 88
- 9. 浮力の測定 ..... 95
- 10. 棒のつりあい ..... 101
- 11. 重心の求め方 ..... 109
- 12. 斜面上の直方体 ..... 112
- 13. 重力による位置エネルギー ..... 126
- 14. 力学的エネルギー保存則 ..... 131
- 15. 力学的エネルギー保存則の検証 ..... 135
- 16. 運動量と力積 ..... 142
- 17. 2物体の衝突 ..... 148
- 18. 運動量保存則 ..... 150
- 19. 反発係数の測定 ..... 152
- 20. 等速円運動の向心力 ..... 169
- 21. 慣性力 ..... 171
- 22. 単振動の周期 ..... 181
- 23. ばね振り子の周期の測定 ..... 183
- 24. 単振り子 ..... 185
- 25. 単振り子の周期の測定 ..... 187
- 26. ケプラーの第二法則 ..... 190
- 27. 万有引力の法則(実習) ..... 192
- 28. ブラウン運動 ..... 204
- 29. 比熱の測定 ..... 210
- 30. ボイルの法則 ..... 218
- 31. 断熱変化 ..... 236
- 32. スターリングエンジンの製作 ..... 246
- 33. 手回し発電機 ..... 248



物理基礎の復習内容を点線でわかりやすく示しているので、既習事項が確認しやすくなっています。この見開きは『物理基礎(物基 /707)』と同じ紙面構成にしています(→16)。

# 第1章

## 運動の表し方

Expression of motion



東北新幹線

私たちは、ボールを投げたときに、どのあたりに落ちるかを予想することができる。これは、ボールがある法則に従って運動するためである。それでは、その法則とはどのようなものだろうか。それを理解するための準備として、この章ではまず、運動を表す方法について学んでいこう。

### 物理基礎での学習内容

- 等速直線運動
- 速度の合成・相対速度
- 等加速度直線運動
- 自由落下・鉛直投射

復習

### 1 速度

普段のペースで1分間歩くととき、あなたは何m進むだろうか。この節では、物体の運動を表すときに基本となる量「速度」について理解しよう。

#### A 速さ

①速さ 運動する物体の「速い」、「遅い」を比較するには、同じ時間内でどれだけ移動したかを調べるとよい。そこで、単位時間当たりの移動距離(移動距離を経過時間でわった量)を考え、これを **速さ** という。図1のような運動の場合、速さは

$$\text{速さ} = \frac{\text{移動距離}}{\text{経過時間}} \quad (1)$$

と表される。

距離の単位をメートル(m)、時間の単位を秒(s)とすると、速さの単位は **メートル毎秒**(記号 **m/s**)となる。日常生活では、**キロメートル毎時**(記号 **km/h**)もよく用いられる。

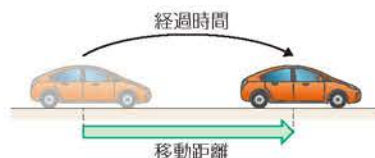


図1 自動車の運動

#### 用語 単位時間当たり

1秒当たり、1時間当たり、など、「決められた時間当たり」という意味。

#### 長さの単位

m:メートル(meter) 1km = 1000m  
km:キロメートル

#### 時間の単位

s:秒(second) 1h = 60 × 60s = 3600s  
h:時間(hour)

Point

### 参考 速さの単位の換算

#### ● km/h → m/s の換算例

「ピッチャーの球速 150 km/h」  
(1時間に150km進む速さ)

$$\text{速さ} = \frac{150 \text{ km}}{1 \text{ h}} = \frac{150000 \text{ m}}{3600 \text{ s}} \approx 42 \text{ m/s}$$

1秒間に約42m進む速さ!



#### ● m/s → km/h の換算例

「台風を中心付近の風速 30 m/s」  
(1秒間に30m進む速さ)

1時間に、30m × 3600 = 108000m進むから、速さは108km/h

単位間の関係を用いる。 Point  
1km = 1000m  
1h = 60 × 60s = 3600s

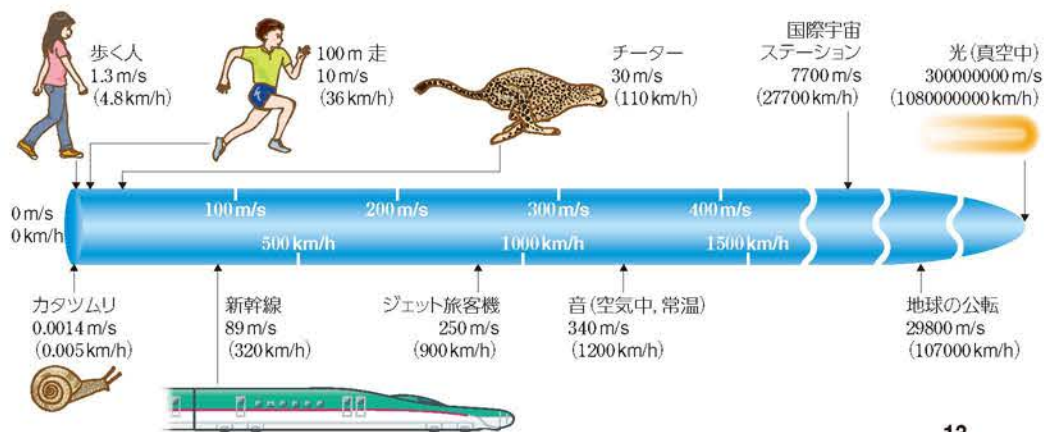
②瞬間の速さと平均の速さ 東北新幹線の速さは最高320km/hに達する。しかし、新幹線は常にこの速さで走行しているわけではなく、速さは時間とともに変化している。そこで、ある時刻における速さのことを、瞬間の速さという。ふつう、速さというときは、瞬間の速さをさすことが多い。自動車のスピードメーターは、瞬間の速さを表示している。

一方、(1)式のように、移動距離を経過時間でわって得られる速さのことを平均の速さという。

問1 30秒間に歩いた距離が36mであったとき、平均の速さは何m/sか。

問2 72km/hは何m/sか。また、15m/sは何km/hか。

図2 いろいろな速さの例(おおよその値)



復習



「運動の表し方」では、物理基礎と物理で分かれている分野をまとめて学習できるように構成しました。

復習 E 平均の速度・瞬間の速度

①平均の速度 図9のような、一直線上の100m走を考える。時刻 $t_1$ [s]での走者の位置を $x_1$ [m]とし、時刻 $t_2$ [s]での位置を $x_2$ [m]とする。この2点間の変位 $\Delta x$ ( $\Rightarrow$ )は位置の変化であるから $x_2 - x_1$ となり、経過時間 $\Delta t$ ( $\Rightarrow$ )は時刻の変化であるから $t_2 - t_1$ で表される。このとき

$$\bar{v} = \frac{\text{変位(位置の変化)}}{\text{経過時間}} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t} \quad (5)$$

は、この区間における単位時間当たりの変位を表す。このようにして求められる速度を、時刻 $t_1$ から時刻 $t_2$ の間の**平均の速度**という。

問8 図9で、時刻3.0秒から時刻4.0秒の間の平均の速度は何m/sか。また、時刻5.0秒からゴールするまでの間の平均の速度は何m/sか。

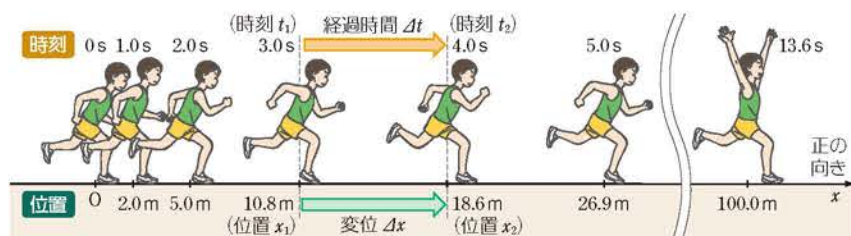


図9 100m走のようす

②瞬間の速度 (5)式で、 $t_2$ を $t_1$ に限りなく近づける、つまり $\Delta t$ をきわめて小さくしていくと、平均の速度 $\bar{v}$ は時刻 $t_1$ における**瞬間の速度**を表すようになる。ふつう速度というときは、瞬間の速度をさす。

図10のような、横軸に時間 $t$ 、縦軸に位置 $x$ をとった $x-t$ 図を考える。

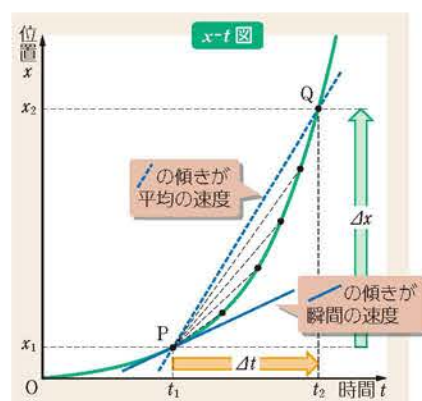
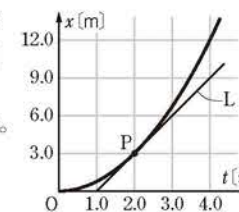


図10  $x-t$ 図と平均の速度・瞬間の速度

①  $\bar{v}$ のように、文字の上に横棒(バー)をつけたときは、その値の平均値を表すことが多い。

このとき、 $t_1 \sim t_2$ 間の平均の速度 $\bar{v} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$ は、点Pと点Qを結ぶ直線の傾きで表される。ここで、 $t_2$ を $t_1$ に近づけていくと、この直線は、グラフと点Pで接する直線に近づいていく。このような直線を点Pにおける接線という。つまり、ある時刻における瞬間の速度 $v$ は、 $x-t$ 図上でその時刻の点に引いた接線の傾きとして表される。

問9 図は、 $x$ 軸上を運動する物体の位置 $x$ と経過時間 $t$ の関係を表したものである( $x-t$ 図)。図の直線Lは、点Pにおける接線である。  
 (1) 時刻2.0～4.0秒の間の平均の速度は何m/sか。  
 (2) 時刻2.0秒における瞬間の速度は何m/sか。



考問10 ある選手の100m走の記録が10秒であった。この選手が走っている最中に、瞬間の速さは10m/sをこえることはあるだろうか。

③平面運動における平均の速度・瞬間の速度 図11のように、船が曲線的に運動する場合を考えてみよう。このとき、船の速度は次のように考えることができる。

時間 $\Delta t$ [s]の間に、船が点P(位置ベクトル $\vec{r}_1$ [m])から点Q(位置ベクトル $\vec{r}_2$ [m])まで進んだとする。この間の平均の速度を $\vec{v}$ [m/s]とすると、変位を $\Delta \vec{r}$ [m]( $= \vec{r}_2 - \vec{r}_1$ )として次のように表される。

$$\vec{v} = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} \quad (6)$$

この式で $\Delta t$ を限りなく短くしていくときの極限の値が点Pでの船の瞬間の速度である。このとき点Qは運動の経路にそって限りなく点Pに近づいていくので、点Pでの瞬間の速度の方向は、運動の経路の点Pにおける接線方向である。

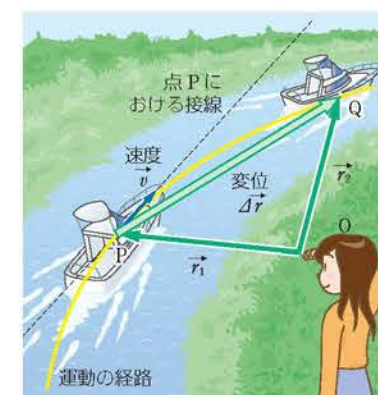


図11 曲線運動をする物体の速度

復習

「平均の速度・瞬間の速度」について、直線運動と平面運動を同じ見開きでまとめて学習できます。



[Zoom]では、つまずきやすい内容を重点的に説明しました  
(1巻…6か所, 2巻…6か所)。

復習 B 熱力学第一法則

一般に物体の内部エネルギーが増加するのは、次の2つの場合である。

- ①外部から熱量を受け取る ②外部から仕事をされる

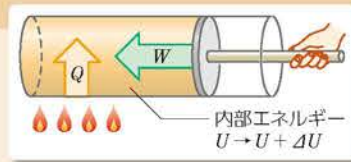
このとき、次の関係が成り立つ。これを **熱力学第一法則** という。

物体の内部エネルギーの変化  $\Delta U$  [J] は、物体が受け取った熱量  $Q$  [J] と、物体がされた仕事  $W$  [J] の和に等しい

熱力学第一法則

$$\Delta U = Q + W \quad (30)$$

$\Delta U$  [J] 内部エネルギーの変化  
 $Q$  [J] 物体が受け取った熱量 (quantity of heat)  
 $W$  [J] 物体がされた仕事 (work)



熱量  $Q$  と仕事  $W$  の正負に注意。気体の場合は…

$Q$	気体が熱を吸収 (吸熱) $\rightarrow Q > 0$	$W$	気体が圧縮されて体積が減少 $\rightarrow W > 0$
	気体が熱を放出 (放熱) $\rightarrow Q < 0$		気体が膨張して体積が増加 $\rightarrow W < 0$

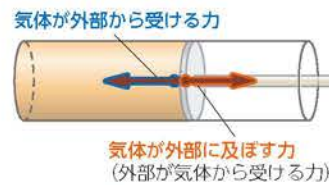
参考 「熱力学第一法則」の別の表現

気体が外部から受ける力と、気体が外部に及ぼす力は、作用・反作用の関係にある。したがって、気体が外部からされた仕事  $W$  と、気体が外部にした仕事  $W'$  は、大きさが同じで符号が異なる。

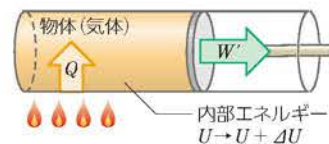
$$W = -W'$$

この関係を用いると、熱力学第一法則 ((30)式) は、気体がした仕事  $W'$  を用いて  $\Delta U = Q - W'$  と表される。さらに、気体が受け取った熱量  $Q$  を次のように表現することができる。

$$Q = \Delta U + W'$$



図A 気体が外部から受ける力と気体が外部に及ぼす力



図B 熱力学第一法則の別の表現

- ここでは、物体の力学的エネルギーを変化させるような仕事は除外して考える。
- p.231 類題3のように、気体が周囲と熱のやりとりをせずに真空に対して膨張する場合、気体がされた仕事は0となる(断熱自由膨張)。これは、状態変化がきわめて急激に起こる例外的な場合である。断熱自由膨張以外では、熱平衡を保ったまま、気体の状態を十分ゆっくり変化させると考えてよい(準静的過程という)。

以降、本書では、気体がされた仕事を  $W$ 、気体がした仕事を  $W'$  と表記する。



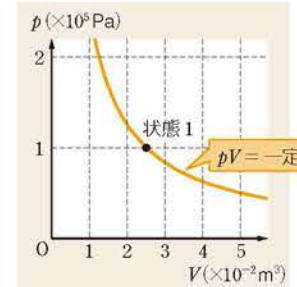
p-V図の見方

気体の状態変化を考える上で役立つ p-V図の見方をていねいに解説。

気体の内部エネルギーや、気体がされた仕事を求めるには、圧力  $p$ 、体積  $V$ 、温度  $T$  の3つがどのように変化しているかを把握することが大切である。気体の状態変化を表すためには p-V図がよく用いられる。ここでは、グラフの見方について学習し、 $p$ 、 $V$ 、 $T$  の変化を正しく読み取れるようになる。

p-V図と温度①：等温曲線

温度が一定のとき、一定質量の理想気体の圧力  $p$  と体積  $V$  の間にはボイルの法則  $pV = \text{一定}$  が成り立つ。この関係は、p-V図上で図Aのような反比例のグラフとして表される。これを等温曲線という。



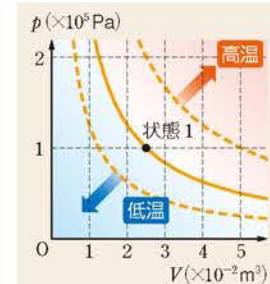
図A p-V図と等温曲線

図Aの反比例のグラフ上にある点は、すべて状態1と同じ温度になっています。



p-V図と温度②：温度の高低を比べる

ボイル・シャルルの法則より、一定質量の理想気体の圧力  $p$  と体積  $V$  の積  $pV$  は、温度  $T$  に比例する。したがって、等温曲線は、温度が高くなると右上へ、温度が低くなると左下へ移動する。図Bでは、グラフをはさんで右上の点は状態1より高温、左下の点は状態1より低温である。



図B p-V図と温度の高低

p-V図上で2つの状態を見比べることによって、温度の高低の関係を読み取ることができます。



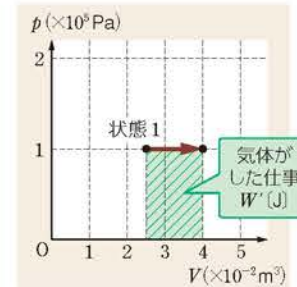
p-V図と気体がした仕事

・気体を膨張させる場合

気体がした仕事  $W'$  は、p-V図上で気体の状態変化を表すグラフがV軸との間につくる面積に等しくなる(圧力が一定の状態変化では p.235(33)式が成り立つ)。

・気体を圧縮する場合

気体がした仕事  $W'$  は負になる。この場合、グラフがV軸との間につくる面積に負の符号をつけたものが、気体がした仕事になる。



図C p-V図と気体がした仕事



● 関連 C 気体の状態変化

① 定積変化 体積を一定に保って行う状態の変化を **定積変化** (または **等積変化**) という。

図 21 のように、ピストンを固定した円筒内の気体に熱量  $Q$  [J] を与える定積変化では、気体は仕事をされないから、与えた熱量だけ気体の内部エネルギーが増加する。つまり

$$W = 0 \quad (31)$$

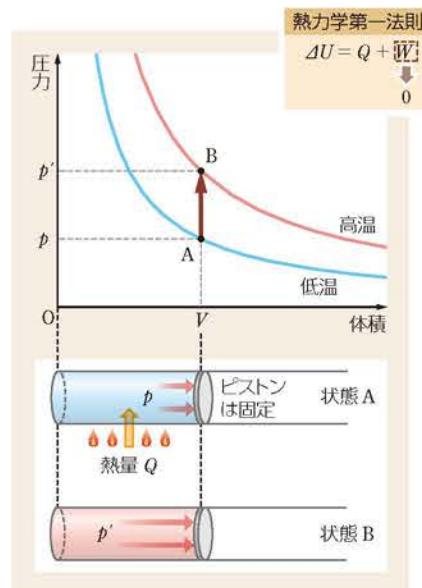
$$\Delta U = Q \quad (32)$$

この結果、気体の温度は上昇し、圧力も大きくなる。

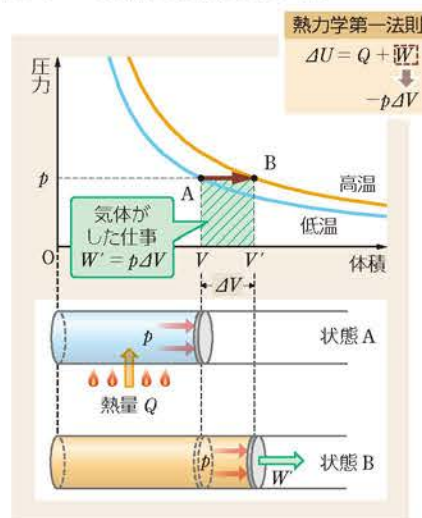
問 14 気体に対し、体積を一定に保った状態で 75J の熱量を与えた。このとき、気体がされた仕事  $W$  [J] と、内部エネルギーの変化  $\Delta U$  [J] を求めよ。

② 定圧変化 圧力を一定に保って行う状態の変化を **定圧変化** (または **等圧変化**) という。

図 22 のように、ピストンが自由に動ける状態の円筒内の気体に熱量  $Q$  [J] を与えると、気体は定圧膨張するので、外部に仕事をす。気体の圧力を  $p$  [Pa]、ピストンの断面積を  $S$  [m<sup>2</sup>] とすると、気体は一定の大きさの力  $pS$  [N] でピストンを押す。ここで、ピストンが  $\Delta l$  [m] 移動し、気体が  $\Delta V = S\Delta l$  [m<sup>3</sup>] 膨張したとすると、気体が外部にした仕事  $W'$  [J] は



● 図 21 定積変化



● 図 22 定圧変化(定圧膨張)

$$W' = pS \cdot \Delta l = p\Delta V \quad (33)$$

であり、これは図の斜線で示した面積(斜線)に等しい。気体がされた仕事は  $W = -W'$  であるから、次の式が成り立つ。

$$W = -p\Delta V \quad (34)$$

$$\Delta U = Q + W = Q - p\Delta V \quad (35)$$

(32), (35)式から、同じ熱量を加えたときの気体の温度上昇は、定積変化の場合より定圧変化の場合のほうが小さいことがわかる。

問 15 気体に対し、一定の圧力  $1.0 \times 10^5$  Pa のまま、75J の熱量を与えたところ、気体は  $3.0 \times 10^{-4}$  m<sup>3</sup> だけ膨張した。このとき、気体がされた仕事  $W$  [J] と、内部エネルギーの変化  $\Delta U$  [J] を求めよ。

③ 等温変化 温度を一定に保って行う状態の変化を **等温変化** という。理想気体をゆっくり等温変化させる場合(図 23)、気体の圧力は体積に反比例する(ボイルの法則)。

理想気体の等温変化では、外部と熱のやりとりをしても気体の内部エネルギーは変化しないので、次の式が成り立つ。

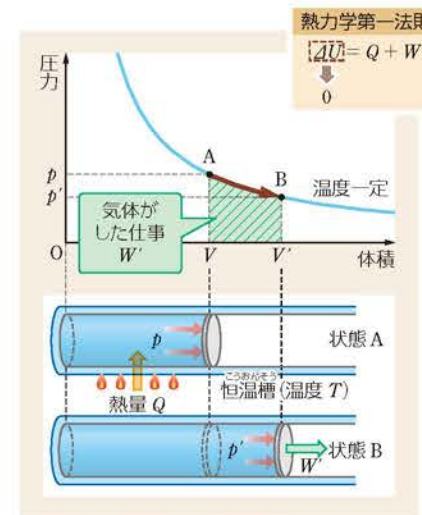
$$\Delta U = 0 \quad (36)$$

$$Q = -W (= W') \quad (37)$$

理想気体の等温膨張では、吸収した熱量をすべて膨張の際の仕事に使い、等温圧縮では、圧縮の際にされた仕事をすべて熱量として外部に放出する。

問 16 理想気体に対し、温度一定のまま 75J の熱量を与えた。このとき、気体がされた仕事  $W$  [J] と、内部エネルギーの変化  $\Delta U$  [J] を求めよ。

1  $n$  [mol] の理想気体を一定の圧力  $p$  [Pa] で定圧変化させたときの体積変化を  $\Delta V$  [m<sup>3</sup>]、温度変化を  $\Delta T$  [K] とすると、理想気体の状態方程式  $pV = nRT$  (→ p.222(13)式) より  $p\Delta V = nR\Delta T$  が成り立つ。これを用いると、(33)式の気体が外部にした仕事  $W'$  [J] は  $W' = nR\Delta T$  のように表すこともできる。



● 図 23 等温変化(等温膨張)

『物理基礎』(物基/707)で「発展」として掲載している内容については、項目タイトルの横に「関連マーク」をつけました。物理基礎で「発展」を学習している場合には、関連マークの項目を既習内容として扱うことにより、効率的な指導が可能となります。



# 目次

## 第3編 波

### 第1章 波の性質

1. 波と媒質の運動	8
2. 正弦波の式	23
3. 波の伝わり方	30
演習問題	43

### 第2章 音

1. 音の伝わり方	45
2. 発音体の振動と共振・共鳴	52
3. 音のドップラー効果	64
演習問題	72

### 第3章 光

1. 光の性質	74
2. レンズと鏡	86
3. 光の干渉と回折	100
演習問題	112

## 第4編 電気と磁気

### 第1章 電場

1. 静電気力	116
2. 電場	122
3. 電位	127
4. 物質と電場	136
5. コンデンサー	139
演習問題	154

### 第2章 電流

1. オームの法則	156
2. 直流回路	166
3. 半導体	182
演習問題	188

### 第3章 電流と磁場

1. 磁場	190
2. 電流のつくる磁場	194
3. 電流が磁場から受ける力	198
4. ローレンツ力	205
演習問題	210

### 第4章 電磁誘導と電磁波

1. 電磁誘導の法則	212
2. 自己誘導と相互誘導	224
3. 交流の発生	230
4. 交流回路	235
5. 電磁波	252
演習問題	257

第2巻には、波・電磁気・原子分野を収録。  
電磁気・原子分野において、波動としての「光」の性質を参照できます。

『物理基礎(物基/707)』と『物理(物理/706)』を融合し、系統的に配列しました。  
物理基礎の内容を「復習」(→110)としてほぼすべて収録していますので、第1巻(→98)とあわせて高校物理の学習内容をすべてカバーできます。

## 第5編 原子

### 第1章 電子と光

1. 電子	260
2. 光の粒子性	268
3. X線	274
4. 粒子の波動性	280
演習問題	285

### 第2章 原子と原子核

1. 原子の構造とエネルギー準位	286
2. 原子核	295
3. 放射線とその性質	299
4. 核反応と核エネルギー	307
5. 素粒子	315
演習問題	321

物理学が築く未来	322
宇宙に開かれた2つの窓	328
ニュートンで結ぶ学問の世界	330

#### 物理のための数学

1. 三角比と三角関数	332
2. ベクトル	336
3. 微分・積分とその活用 <b>発展</b>	338
4. その他の数学の知識	341

#### 本文資料

1. 量の表し方	346
2. 表	348

略解	351
索引	364

※本文中、一部の用語には、英語による表記をそえた。  
なお、( )は省略してもよい部分、[ ]は別の英語表現を表している。

#### 物理量と単位の表記について

一般に、物理量(物理で扱われる量)は、1.5m、0.80m/sなど、「数値」と「単位」の積で表される。ただし本書では、表記を簡潔にするため、計算の過程などで単位を省略して数値のみで表すことがある。また、物理量を記号(時間  $t$  など)で表す場合は、記号は数値と単位の積を表すとみなせるので、記号の後に単位をつける必要はない。ただし、その物理量もつ単位を明示したほうがわかりやすい場合、本書では、記号の後に[ ]で単位を示した(時間  $t$ [s] など)。

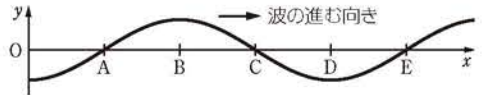


「波の性質」では、物理基礎と物理で分かれている分野をまとめて学習できるように構成しました。

復習 例題 3 縦波

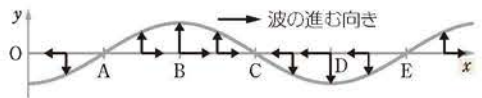
図は、 $x$  軸上を正の向きに進む縦波の、ある時刻における媒質の変位を横波のように表したものである( $x$  軸の正の向きの変位を、 $y$  軸の正の向きに表す)。次の状態の媒質の点を A ~ E からすべて選べ。

- (1) 最も密
- (2) 最も疎
- (3) 媒質の速さが 0
- (4) 媒質の速さが最大
- (5) 媒質の速度が右向きに最大



指針  $y$  軸方向の変位を  $x$  軸方向の変位にもどして考える。

解 まず、 $y$  軸方向に表された変位を  $x$  軸方向にかき直す。



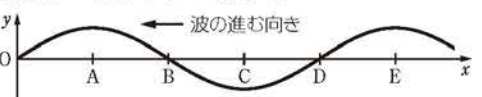
- (1) 最も密な点は媒質が周囲から集まる点である。よって C
- (2) 最も疎な点は媒質が周囲へ遠ざかる点である。よって A, E
- (3) 媒質の速さが 0 の点は媒質の変位の大きさが最大の点であるから、B, D
- (4) 媒質の速さが最大となるのは、媒質が振動の中心を通過するときであるから、A, C, E
- (5) 媒質の速度が右向きするとき、これを横波表示にすると  $y$  軸の正の向きとなる。(4) で求めた A, C, E のうち、波形を少し進めたとき、媒質が  $y$  軸の正の向きに動いているのは C

媒質は、振動の中心を往復運動する。中心で最も速く、端で 0 となる。



類題 3 図は、 $x$  軸上を負の向きに進む縦波の、ある時刻における媒質の変位を横波のように表したものである( $x$  軸の正の向きの変位を、 $y$  軸の正の向きに表す)。次の状態の媒質の点を A ~ E からすべて選べ。

- (1) 最も密
- (2) 最も疎
- (3) 媒質の速さが 0
- (4) 媒質の速さが最大
- (5) 媒質の速度が右向きに最大



ヒント  $y$  軸の正の向きの変位は、 $x$  軸の正の向きの変位を表す。

E 波のエネルギー

波が進むとき、波はエネルギーを運ぶ。波の進む向きに垂直な単位面積を、単位時間に通過する波のエネルギーを **波の強さ** という。

学んだことを説明してみよう

1 波と媒質の運動

- (1) 水面を伝わる波はどのようにすると発生させることができるか。
- (2) 横波と縦波は、それぞれどのような波のことか。

復習

『物理基礎』(物基 /707) で「発展」として掲載している内容については、項目タイトルの横に「関連マーク」をつけました。物理基礎で「発展」を学習している場合には、関連マークの項目を既習内容として扱うことにより、効率的な指導が可能となります。

2 正弦波の式

正弦波の各点の変位を、時間や位置の関数として表すことはできるだろうか。この節では、正弦波を数式を用いて表す方法について理解しよう。

A 正弦波の式

- 1 正の向きに進む正弦波 単振動をする波源から、 $x$  軸の正の向きに速さ  $v$  [m/s] で伝わる正弦波を考える。正弦波の振幅を  $A$  [m]、周期を  $T$  [s]、波長を  $\lambda$  [m] とし、原点 ( $x = 0$ ) にある波源の時刻  $t$  [s] での変位  $y$  [m] が単振動の式

$$y = A \sin \frac{2\pi}{T} t \quad (4)$$

▶ p.27 単振動の式

$$y = A \sin \omega t \quad (D)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad (F)$$

- 2 で表されるとする(図 12 ③)。時刻  $t = 0$  では、原点の媒質は  $y = 0$  の位置を  $y$  軸の正の向きに通過するので、このときの波形 ( $y-x$  図) は同図 ④の実線 ( ) のようになる。

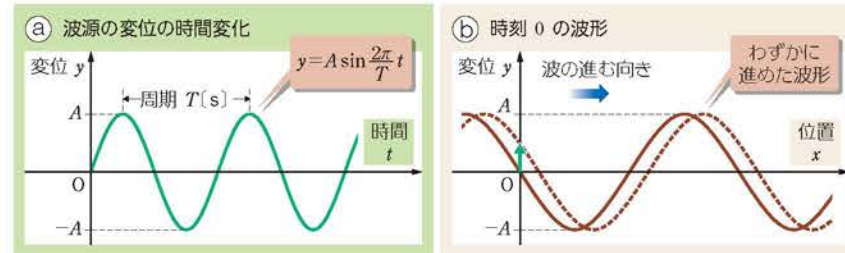


図 12 媒質が振動するようす

- 3 ここで、位置  $x$  [m] にある媒質の点 P の時刻  $t$  [s] における変位  $y$  [m] を考える。点 P に原点の振動が伝わるのにかかる時間  $t_0$  [s] は  $t_0 = \frac{x}{v}$  [s] である。したがって、時刻  $t$  [s] での点 P の変位  $y$  [m] は、時刻  $(t - t_0)$  [s] での原点の変位と同じである(図 13)。よって、(4) 式の  $t$  を、 $t - t_0$  で置きかえて

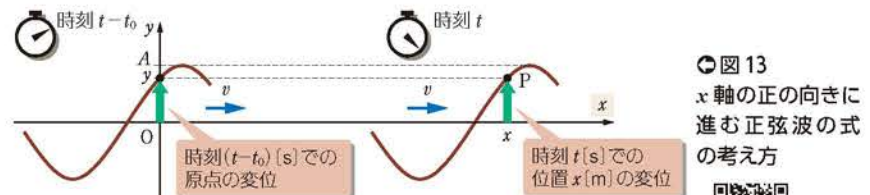


図 13  $x$  軸の正の向きに進む正弦波の式の考え方



物理基礎の復習内容を点線でわかりやすく示しているので、既習事項が確認しやすくなっています。「物理基礎」の教科書並みにていねいに扱っています。



$$y = A \sin \frac{2\pi}{T}(t - t_0) = A \sin \frac{2\pi}{T}\left(t - \frac{x}{v}\right) \quad (5)$$

ここで、 $v = \frac{\lambda}{T}$  であるから、次のような **正弦波の式** が得られる。

**正弦波の式**

$$y = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (6)$$

$y$ [m]	媒質の変位	$T$ [s]	周期
$A$ [m]	振幅 (amplitude)	$x$ [m]	媒質の位置
$t$ [s]	時間 (time)	$\lambda$ [m]	波長

**条件** ①波が  $x$  軸の正の向きに進むとき  
 ②原点 ( $x=0$ ) での媒質が、時刻  $0$  に  $y=0$  の位置を  $y$  軸の正の向きに通過するとき

**②負の向きに進む正弦波**  $x$  軸の負の向きに進む正弦波の式を考えよう。

①の場合と同様に、正弦波の速さを  $v$  [m/s]、波長を  $\lambda$  [m] とし、原点の単振動は(4)式で表されるとする。このとき、位置  $x$  [m] にある媒質の点  $P$  の変位  $y$  [m] は、 $t_0 = \frac{x}{v}$  [s] 後の原点の変位と同じである(図14)。したがって、(4)式の  $t$  を、 $t + t_0$  で置きかえて

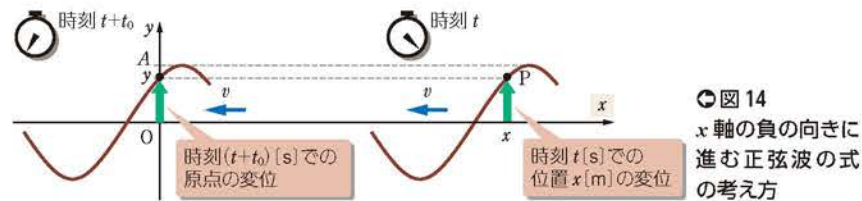
$$y = A \sin \frac{2\pi}{T}(t + t_0) \quad (7)$$

**Point**  
 図13(→p.23)では時間をもどして、  
 図14では時間を進めて考えている。

$t_0 = \frac{x}{v}$ ,  $v = \frac{\lambda}{T}$  であるから

$$y = A \sin \frac{2\pi}{T}\left(t + \frac{x}{v}\right) = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right) \quad (8)$$

これは、(6)式の-(マイナス)を+(プラス)で置きかえた式である。



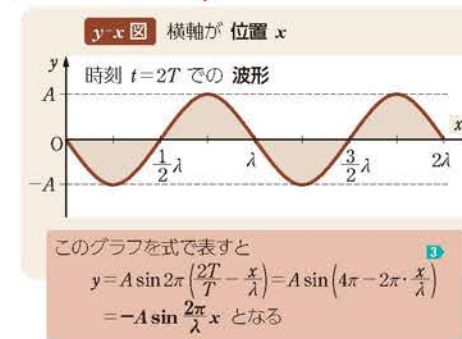
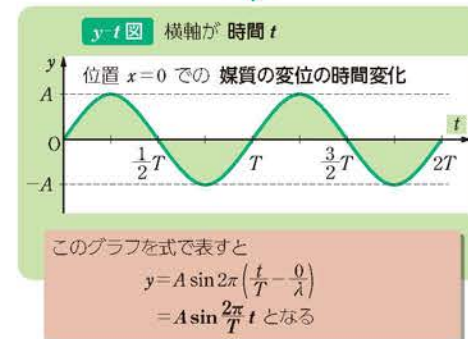
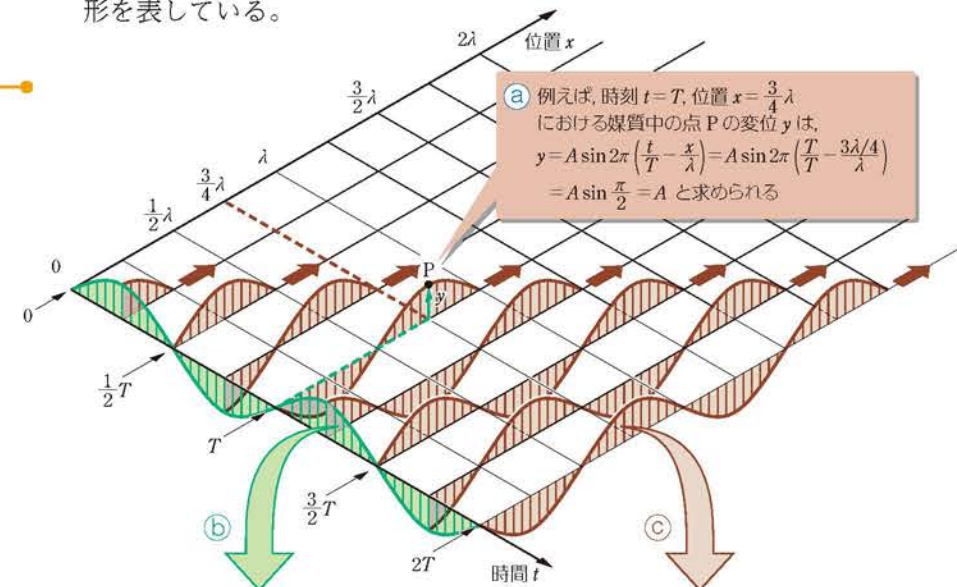
- ① 波は1周期  $T$  [s] の間に1波長  $\lambda$  [m] 進むので、波の速さ  $v$  [m/s] は  $v = \frac{\lambda}{T}$  となる。
- ② 条件②を満たさないときは、初期位相(→p.28)を考える必要がある。

**③正弦波が伝わるようす** (6)式で表される  $x$  軸の正の向きに進む正弦波は、図15のように周囲に伝わっていく。

同図②のように、 $t$ ,  $x$  がともに決まれば、変位  $y$  は一つに定まる。

また、同図②のグラフ( $y-t$ 図)は、決まった位置( $x=0$ )において、媒質の変位が時間とともにどのように変わるかを表している。

一方、同図③のグラフ( $y-x$ 図)は、決まった時刻( $t=2T$ )において、媒質の変位が位置によってどのように変わるか、すなわち波形を表している。



**図15** 正弦波が伝わるようす ②と③のグラフの形はいずれも正弦曲線となる。

③ 三角関数の公式( $\sin(\theta + 2n\pi) = \sin \theta$ ,  $\sin(-\theta) = -\sin \theta$ )を用いる(→p.335)。



正弦波の式の理解を補うため、単振動の要点をまとめた「参考」を見開きで掲載しました。

参考 単振動の変位の式

単振動をする波源からは、正弦波が発生します(→ p.10)。ここでは、等速円運動や単振動について学んだことを復習して、単振動の変位がどのような式で表されるか理解しましょう。



等速円運動の周期

物体が円周上を一定の速さで回る運動を **等速円運動** といひ、円運動する物体の単位時間当たりの回転角を **角速度** という(単位は **rad/s**(ラジアン毎秒))。

半径  $r$ [m] の円周上を角速度  $\omega$ [rad/s] で等速円運動する物体がある(図A)。この物体が円周上を  $t$ [s] 間に進む距離は、中心角  $\theta = \omega t$ [rad] に対する円弧の長さ  $r\theta = r\omega t$ [m] に等しく、速さ  $v$ [m/s] は

$$v = \frac{r\omega t}{t} = r\omega \quad (A)$$

となる。等速円運動する物体が1回転する時間を **周期** という。1回転の移動距離は  $2\pi r$ [m] であるから、周期を  $T$ [s] とすると、次の式が成り立つ。

$$T = \frac{2\pi r}{v} \quad (B)$$

これに(A)式を代入すると、次の式が成り立つ。

$$T = \frac{2\pi r}{r\omega} = \frac{2\pi}{\omega} \quad (C)$$

弧度法

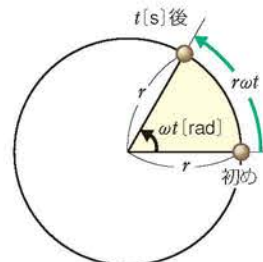
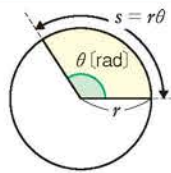
半径  $r$ (m) の円で、円弧の長さ  $s$ (m) に対応する角  $\theta$  を

$$\theta = \frac{s}{r}$$

と表す方法を **弧度法** といひ、単位は **ラジアン**(記号 **rad**) を用いる。

$$360^\circ = 2\pi \text{ rad}$$

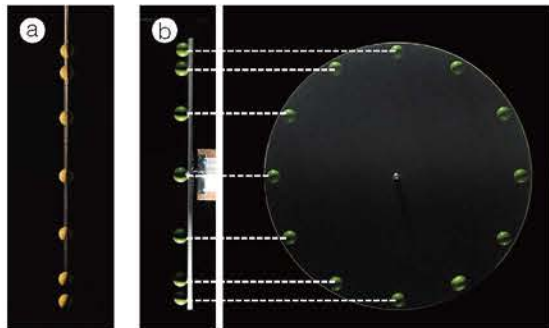
$$1 \text{ rad} = \frac{180^\circ}{\pi} (\approx 57.3^\circ) \text{ である。}$$



図A 等速円運動

等速円運動と単振動

ばねにつけたおもりの往復運動(図B①)と、等速円運動する物体の運動面を真横から見たとときの運動(同図②)は、同じ運動のように見える。このような一直線上の振動を **単振動** という。



図B ばねにつけたおもりの往復運動(①)と等速円運動する物体(②)のストロボ写真

単振動の変位の式

図C①のように、半径  $A$ [m]、角速度  $\omega$ [rad/s] の等速円運動をしている物体  $P$  を考え、 $P$  から  $y$  軸に下ろした垂線の交点(正射影)を  $Q$  とする。 $Q$  は、時刻0に原点  $O$  を  $y$  軸の正の向きに出発したとすると、 $t$ [s] 後における  $Q$  の変位(座標)  $y$ [m] は次のように表される。

$$y = A \sin \omega t \quad (D)$$

この式は、単振動の変位を表し、 $A$ [m] を **振幅**、 $\omega$ [rad/s] を **角振動数**、角を表す部分  $\omega t$ [rad] を **位相** という。また、1回の振動に必要な時間  $T$ [s] を **周期**、1秒当たりの振動回数  $f$ [Hz] を **振動数** という。周期  $T$  と振動数  $f$  には、次の関係が成り立つ。

$$f = \frac{1}{T} \quad (E)$$

横軸に時間  $t$ 、縦軸に変位  $y$  をとって、(D)式を表すと、同図②のような  $y-t$  図が得られる。このような曲線を **正弦曲線** という。(C)、(E)式より、角振動数  $\omega$  と、周期  $T$  および振動数  $f$  の間には次の関係が成り立つ。

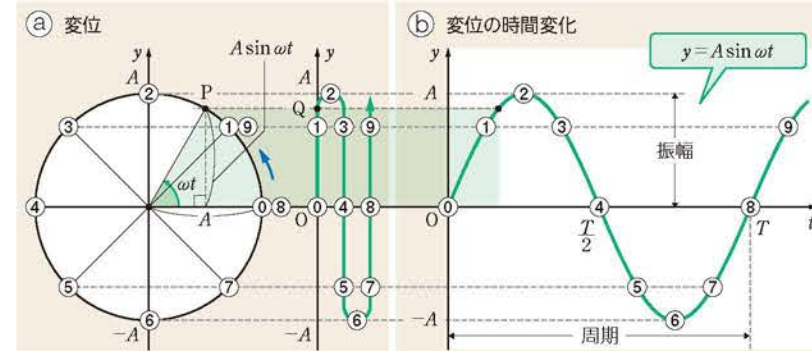
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f \quad (F)$$

$\omega = \frac{2\pi}{T}$  を(D)式に代入すると、次の式が得られる。

単振動の変位の式

$$y = A \sin \omega t = A \sin \frac{2\pi}{T} t \quad (G)$$

$y$ [m]	変位	$T$ [s]	周期	$\omega$ [rad/s]	角振動数
$A$ [m]	振幅(amplitude)	$t$ [s]	時間(time)		



図C 単振動の変位



**4 正弦波の位相** 正弦波の場合、媒質の各点は単振動をするので、単振動の場合と同様に位相を角で表す。例えば、原点の媒質の単振動が(4)式で表されるとき、時刻  $t$ [s]での原点の位相は  $\frac{2\pi}{T}t$  である。また、(6)式において、位置  $x$ [m]における時刻  $t$ [s]での位相は  $2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$  となる。

○ p.23, 24

$$y = A \sin \frac{2\pi}{T} t \quad (4)$$

$$y = A \sin 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad (6)$$

図 16 ㉑のような波形の正弦波において、位置  $x = x_0$  の点  $P_0$  からの距離が  $|m\lambda|$  ( $m$  は整数) である点  $P_m$  は、点  $P_0$  と同じ振動を行う。このとき、 $P_0$  と  $P_m$  は **同位相** であるという。点  $P_0$  と  $P_m$  の各点との位相の差は  $\pi$  の偶数倍 ( $2\pi$  の整数倍) となる。

一方、点  $P_0$  からの距離が  $\left| \left( m + \frac{1}{2} \right) \lambda \right|$  である点  $Q_m$  は、常に点  $P_0$  と変位が逆になっている(同図㉒)。このとき、 $P_0$  と  $Q_m$  は **逆位相** であるという。点  $P_0$  と  $Q_m$  の各点の位相の差は  $\pi$  の奇数倍となる。

**5 正弦波の一般式** 一般の正弦波では、原点の振動が(4)式のように変位 0 から正の向きに増加し始めるとは限らない。そこで、原点 ( $x = 0$ ) の、時刻  $t = 0$  での位相(初期位相)  $\phi$  で表す。これを用いると、正弦波の一般式は次のようになる。

$$x \text{ 軸の正の向きに進む正弦波: } y = A \sin \left\{ 2\pi \left( \frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) + \phi \right\} \quad (9)$$

$$x \text{ 軸の負の向きに進む正弦波: } y = A \sin \left\{ 2\pi \left( \frac{t}{T} + \frac{x}{\lambda} \right) + \phi \right\} \quad (10)$$

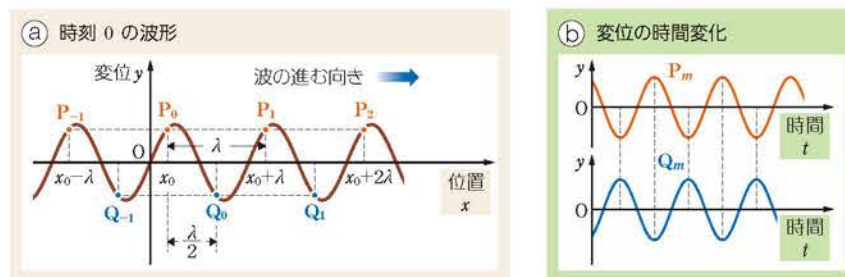


図 16 正弦波の位相

異なる波源で発生した波どうしても、振動状態、すなわち位相が等しければ、それらの波は同位相であるという。

NEW!

[Point] 囲みで「正弦波の式」の扱い方を補足しました。

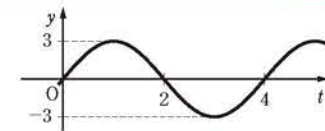
**問 10**  $x$  軸上を正の向きに進む正弦波について、位置  $x$  の媒質の変位  $y$  が、時刻  $t$  において  $y = 1.5 \sin \pi(0.80t - 0.40x)$  と表されるとき、正弦波の振幅、周期、波長を求めよ。ここでは、 $x, y, t$  は、長さの単位を m、時間の単位を s としたときの数値を表すものとする。

与えられた式を  $y = A \sin 2\pi(\circ - \square)$  の形に変形して、正弦波の式  $y = A \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$  と比較すればよい。

Point

**例題 4 正弦波の式**

$x$  軸上を正の向きに速さ 5 m/s で進む正弦波がある。原点の媒質の変位  $y$  は図のように表される。円周率を  $\pi$  とする。



- 時刻  $t$  での原点の媒質の変位  $y$  を、 $t$  を用いて表せ。
- 時刻  $t$  での位置  $x$  の媒質の変位  $y$  を、 $x, t$  を用いて表せ。

指針

- グラフから、振幅、周期を確認して単振動の式に代入する。
- 振動が伝わるのにかかる時間  $t_0$  を考え、(1)の式における  $t$  を  $t - t_0$  で置きかえる。

解

- 図より原点の媒質は、振幅が 3 m、周期が 4 s の単振動を行う。

$$y = 3 \sin 2\pi \frac{t}{4} = 3 \sin \frac{\pi}{2} t$$

- 原点から位置  $x$  まで振動が伝わるのにかかる時間は  $t_0 = \frac{x}{5}$  である。

したがって、時刻  $t$  での位置  $x$  の媒質の変位  $y$  は、(1)で求めた式の  $t$  を、 $t - t_0$  で置きかえればよい。よって

$$y = 3 \sin \frac{\pi}{2} (t - t_0) = 3 \sin \frac{\pi}{2} \left( t - \frac{x}{5} \right)$$

**類題 4**

$x$  軸上を負の向きに速さ 2 m/s で進む正弦波がある。原点の媒質の変位  $y$  は、時刻  $t$  において  $y = 5 \sin \frac{\pi}{4} t$  と表される。

- 原点での媒質の振動のようすを  $y-t$  図に表せ。
- 時刻  $t$  での位置  $x$  の媒質の変位  $y$  を、 $x, t$  を用いて表せ。

ヒント

- 与えられた式から、振幅、周期を求めてグラフをかく。
- 振動が伝わるのにかかる時間  $t_0$  を考え、与えられた式における  $t$  を  $t + t_0$  で置きかえる。

**学んだことを説明してみよう**

**2 正弦波の式**

正弦波の式  $y = A \sin 2\pi\left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda}\right)$  に  $x = 0$  を代入すると、何を表す式になるか。また、 $t = 2T$  を代入すると、何を表す式になるか。

ここでは、 $x, y, t$  などの記号(文字)は、長さの単位を m、時間の単位を s としたときの数値を表すものとする。



# 充実の QR コンテンツ！

紙面の QR コードから多くのコンテンツがアクセス可能！  
QR コンテンツの活用で、学習内容の理解がますます深まります。

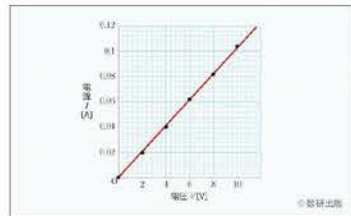
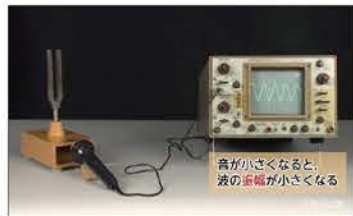


サンプルはこちら！▲

## 物理基礎 (物基707) … 合計153点

### ◆映像

実験の手順や分析方法、図版の参考映像などを動画で見ることができます。すべてテロップ・音声つき。



#### 実験映像

- 斜面を降下する台車の運動
- 記録タイマーの使い方
- 重力加速度の大きさ  $g$  の測定
- 動く発射台からの投射
- 力のつりあい
- 作用反作用の法則
- 台車に力を加えるときの運動
- 静止摩擦力
- 静止摩擦力(斜面)
- 浮力の測定
- 重力による位置エネルギー
- 力学的エネルギー保存則(振り子の実験)
- 力学的エネルギー保存則(すべり台の実験)
- 力学的エネルギー保存則の検証
- ブラウン運動
- 比熱の測定
- 仕事による熱の発生
- 横波と縦波の発生

- 音の波形
- 弦の振動と音階の関係
- 気柱の振動と音階の関係
- おんさの振動数の測定
- 振り子の共振
- オームの法則
- 抵抗値の測定
- ジュールの法則
- 赤外線観測
- 手回し発電機
- 放射線の測定

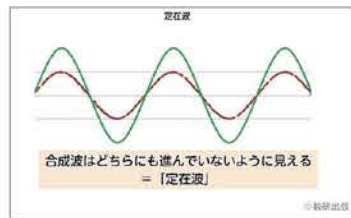
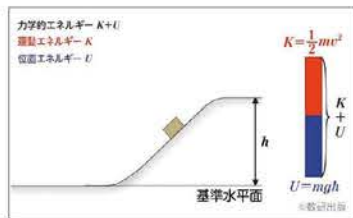
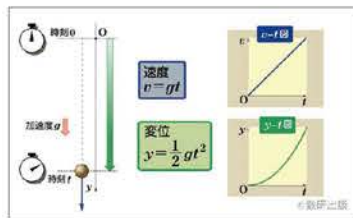
#### 参考映像

- 相対速度(追い抜かれる場合)
- 相対速度(追いつく場合)
- 相対速度(相手が別の方向へ進む場合)
- 斜面を降下する小球
- 作用反作用の法則(ばねの伸びを調べる実験)
- 水風船の破裂
- 運動の法則(同じ質量の台車を力を変えて引く運動)

- 運動の法則(一定の力で台車の質量を変えて引く運動)
- 黒部ダム
- 摩擦熱の発生
- 水面に生じる波紋
- 波の重ねあわせ(山と山)
- 波の重ねあわせ(山と谷)
- ウェーブマシンによる定在波の発生
- 自由端による反射と固定端による反射
- 水面波の干渉
- 波の反射
- 波の屈折
- 波の回折
- 振動するスピーカーの表面
- 真空中の音
- 弦の固有振動
- タコマ・ナローズ橋
- 電流計・電圧計の使い方
- ジュール熱の発生
- ユーラス宗谷岬ウィンドファーム
- 水面波のドップラー効果

### ◆アニメーション

図版(静止画)だけでは理解しにくい内容も、アニメーションとして見ることで内容の理解が深まります。



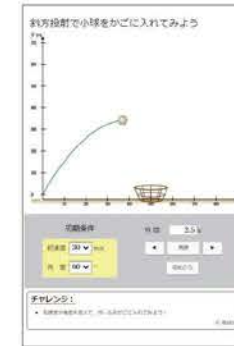
- 自由落下
- 鉛直投げ上げ
- 水平投射と自由落下
- 斜方投射と鉛直投げ上げ
- 力学的エネルギーの保存(振り子)
- 力学的エネルギーの保存(なめらかな面上をすべり降りる物体)

- 力学的エネルギーの保存(ばねにもおもりのつける)
- 正弦波の発生
- 縦波の発生と縦波の表示のしかた
- 水面を伝わる波
- 定在波
- 反射波の作図(正弦波)

- ホイヘンスの原理を用いた反射の法則の説明
- ホイヘンスの原理を用いた屈折の法則の説明
- 閉管の気柱の固有振動
- 開管の気柱の固有振動
- 波の立体模型をつくってみよう！

### ◆触って動かすシミュレーションコンテンツ

実際に手で触って動かすことができるシミュレーションコンテンツです。物体の運動や力のはたらきなどについて、数値を変えてさまざまなパターンを試すことができます。自分で操作しながら現象への理解を深められます。



- さまざまな加速度で物体を運動させてみよう
- 斜方投射で小球をかごに入れてみよう
- 力を合成してみよう
- 力を分解してみよう
- 波を動かしてみよう

### ◆Web サイト

学習内容の参考になる Web サイトにアクセスすることができます。

- 高速で止まるボール!? - ダイジェスト / 大科学実験(NHK for School)
- 動く歩道で運動の観察 - 中学(NHK for School)
- ボールは戻ってくる? - 小実験 / 大科学実験(NHK for School)
- すべて当たるはず? / 大科学実験(NHK for School)
- 力のはたらき方を分類(NHK for School)
- 力を合わせると(NHK for School)
- 降りると進む満員列車 / 大科学実験(NHK for School)
- リンゴは動かさない!? - ダイジェスト / 大科学実験(NHK for School)
- 本は力持ち - ダイジェスト / 大科学実験(NHK for School)
- 圧力が大きいのは? (NHK for School)
- 卵の上に立つラグダー - ダイジェスト / 大科学実験(NHK for School)
- コップは力持ち - ダイジェスト / 大科学実験(NHK for School)
- コップは力持ち - 小実験 / 大科学実験(NHK for School)
- 大気圧でおし上げられる水 (NHK for School)
- 水深 10000 メートル!? - ダイジェスト / 大科学実験(NHK for School)
- ビンに大きなボールを入れる実験 - 中学(NHK for School)
- 象の重さは? - ダイジェスト / 大科学実験(NHK for School)
- 力がつり合っていると運動は? (NHK for School)
- 水しぶきの階段 / 大科学実験(NHK for School)
- 時速 100 キロメートルの振り子 - ダイジェスト / 大科学実験(NHK for School)
- クールに水を凍らせる / 大科学実験(NHK for School)
- 液体が固体になった時の体積変化 - 中学(NHK for School)
- エネルギーの源は? (NHK for School)
- 立て!トラック / 大科学実験(NHK for School)
- アリと巨大な壁 / 大科学実験(NHK for School)
- 重さが違う物の自由落下 - 中学(NHK for School)
- ひとつだけ動かして! / 大科学実験(NHK for School)
- 声でコップが割れる? - 小実験 / 大科学実験(NHK for School)
- 音の高低と物の振動 - 中学(NHK for School)
- 静電気でお絵かき - ダイジェスト / 大科学実験(NHK for School)
- 抵抗とは? (NHK for School)
- 電流と抵抗 - 中学(NHK for School)
- 高速磁石列車 / 大科学実験(NHK for School)
- 人力発電メリーゴーラウンド - ダイジェスト / 大科学実験(NHK for School)
- エネルギーの源は? (NHK for School)
- 立て!トラック / 大科学実験(NHK for School)
- アリと巨大な壁 / 大科学実験(NHK for School)
- 重さが違う物の自由落下 - 中学(NHK for School)
- 音が遅れて聞こえるのは? (NHK for School)
- 固体を伝える音 - 中学(NHK for School)
- 音の特等席 / 大科学実験(NHK for School)
- 音を比べると? (NHK for School)

### ◆ドリル型コンテンツ

重要用語や物理公式などをドリル形式で学習することができます。また、有効数字や指数、三角比など、物理に必要な基礎知識を反復演習で身につけられます。



- 中学校の復習(各編)
- 要点の確認(各章)
- 反復ドリル  
: 単位の換算, 有効数字, 指数, 等加速度直線運動の式, 三角比と力の成分, 力のつりあいと作用・反作用, 力の見つけ方, エネルギーの見つけ方, 波と媒質の運動, 抵抗・電流・電圧, 電流のつくる磁場の向き

### ◆問題の解説

- 解答例(全問)



# 物理 (物理706) …合計163点

# 総合物理 (物理707, 708) …合計237点

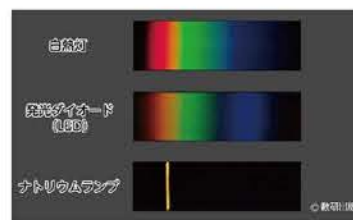
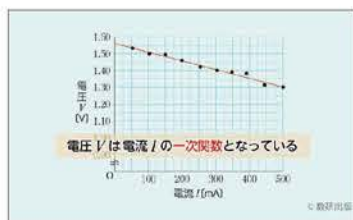


サンプルはこちら!▲

※総合物理では、下記のコンテンツのほか、「物理基礎 (物基707)」収録の映像、アニメーションコンテンツにアクセス可能です

## ◆映像

実験の手順や分析方法、図版の参考映像などを動画で見ることができます。すべてテロップ・音声つき。



### 実験映像

- 水平投射
- 棒のつりあい
- 重心の求め方
- 斜面上の直方体
- 運動量と力積
- 2物体の衝突
- 運動量保存則
- 反発係数の測定
- 等速円運動の向心力
- 慣性力
- 単振動の周期
- ばね振り子の周期の測定
- 単振り子
- 単振り子の周期の測定
- ケプラーの第二法則
- ボイルの法則
- 断熱膨張
- 断熱圧縮
- スターリングエンジンの製作
- 水面波の干渉
- 水面波の反射と屈折
- 水面波の回折
- 音の干渉
- ドップラー効果
- 屈折率の測定
- 光の散乱
- 凸レンズの焦点距離の測定
- ヤングの実験
- 回折格子による光の干渉実験
- 箔検電器

- 等電位線の作図
- コンデンサーの電気容量
- コンデンサーの電気容量の測定
- 電流計・電圧計の使い方
- 温度を変えたときの電気抵抗
- 電池の起電力と内部抵抗の測定
- メートルブリッジ
- 電流がつくる磁場
- 電流が磁場から受ける力
- 平行電流が及ぼしあう力
- 電磁誘導
- 渦電流 (アルミニウム管と磁石)
- 渦電流 (鍋ふたと磁石)
- 赤外線を観察
- 紫外線の観察
- ミリカンの実験 (モデル実験)
- 光電効果
- 光電効果によるプランク定数  $h$  の測定
- スペクトルの観察
- 放射線の測定
- 放射線の観察
- 半減期のモデル実験

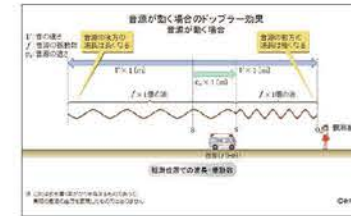
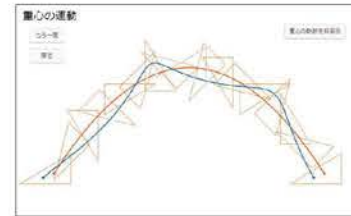
### 参考映像

- 相対速度 (追い抜かれる場合)
- 相対速度 (追いつく場合)
- 相対速度 (相手が別の方向へ進む場合)
- 重力加速度の大きさ  $g$  の測定
- 動く発射台からの投射

- てこのつりあい
- 水にはたらく慣性力
- 水面に生じる波紋
- 横波と縦波の発生
- 波の重ねあわせ (山と山)
- 波の重ねあわせ (山と谷)
- ウェーブマシンによる定在波の発生
- 自由端による反射と固定端による反射
- 水面波の干渉
- 波の反射
- 波の屈折
- 波の回折
- 振動するスピーカーの表面
- 真空の音
- 音の波形
- 水面波のドップラー効果
- 凸レンズを動かしたときのスクリーンに映った実像
- オームの法則
- 抵抗値の測定
- 超伝導
- ジュール熱の発生
- ジュールの法則
- 電気ブランコ
- ローレンツ力の向き
- 磁場中に入りするコイル
- 相互誘導で浮遊するコイル
- 陰極線

## ◆アニメーション

図版 (静止画) だけでは理解しにくい内容も、アニメーションとして見ることで内容の理解が深まります。



- 自由落下
- 鉛直投げ上げ
- 水平投射と自由落下
- 斜方投射と鉛直投げ上げ
- 重心の運動
- 人工衛星の軌道
- 正弦波の発生
- 縦波の発生と縦波の表示のしかた
- 定在波
- 反射波の作図 (正弦波)
- ホイヘンスの原理を用いた反射の法則の説明
- ホイヘンスの原理を用いた屈折の法則の説明
- 半導体ダイオードの性質
- 交流電圧と交流電流

## ◆触って動かすシミュレーションコンテンツ

実際に手で触って動かすことができるシミュレーションコンテンツです。数値を変えてさまざまなパターンを試すことで、現象への理解を深められます。

- 斜方投射で小球をかごに入れてみよう
- 波を動かしてみよう

## ◆Web サイト

学習内容の参考になる Web サイトにアクセスすることができます。

- 高速で止まるボール!? - ダイジェスト / 大科学実験 (NHK for School)
- 動く歩道で運動の観察 - 中学 (NHK for School)
- ボールは戻ってくる? - 小実験 / 大科学実験 (NHK for School)
- すべて当たるはず? / 大科学実験 (NHK for School)
- 力がつり合っていると運動は? (NHK for School)
- アリと巨大な壁 / 大科学実験 (NHK for School)
- 立て! トラック / 大科学実験 (NHK for School)
- さわらずに球を動かさせ - ダイジェスト / 大科学実験 (NHK for School)
- 落下でダイエット? / 大科学実験 (NHK for School)
- 高速スピンの謎 - ダイジェスト / 大科学実験 (NHK for School)
- 万有引力の法則 (実習) (JAXA)
- 車で走ると音楽が流れるのは? (NHK for School)
- 音の速さを見てみよう - ダイジェスト / 大科学実験 (NHK for School)
- 音が遅れて聞こえるのは? (NHK for School)
- 固体を伝える音 - 中学 (NHK for School)
- 音の特等席 / 大科学実験 (NHK for School)
- 教電車の音の変化 (NHK for School)
- 人間巨大ビジョン / 大科学実験 (NHK for School)
- 光の速さをはかってみよう / 大科学実験 (NHK for School)
- 空いっばいの虹 / 大科学実験 (NHK for School)
- 氷でたき火 - ダイジェスト / 大科学実験 (NHK for School)
- 顕微鏡のしくみ - 中学 (NHK for School)
- 望遠鏡のしくみ - 中学 (NHK for School)
- 静電気でお絵かき - ダイジェスト / 大科学実験 (NHK for School)
- 抵抗とは? (NHK for School)
- 電流と抵抗 - 中学 (NHK for School)
- 高速磁石列車 / 大科学実験 (NHK for School)

## ◆ドリル型コンテンツ

重要用語や物理公式などをドリル形式で学習することができます。

- 要点の確認 (各章)
- 反復ドリル
  - ：等加速度直線運動の式、抵抗・電流・電圧、電流のつくる磁場の向き、電子と光、原子と原子核



## ◆問題の解説

- 解答例 (全問)



## 著作者・編集協力者

### 著作者・編集協力者

#### ●著作者(教科書全点共通)

神戸大学名誉教授

**國友 正和**

東北大学教授

**井上 邦雄**

神戸大学名誉教授

**河本 敏郎**

京都大学教授

**萩野 浩一**

東京大学教授

**深津 晋**

東京大学名誉教授

**牧島 一夫**

筑波大学附属駒場中・高等学校教諭

**今和泉 卓也**

元東京都立竹早高等学校教諭

**黒田 楯彦**

東京学芸大学附属高等学校教諭

**小林 雅之**

元東京都立城東高等学校教諭

**田原 輝夫**

元東京都立日比谷高等学校教諭

**橋本 道雄**

学習院女子中・高等科教諭

**増淵 哲夫**

#### ●編集協力者

(物理基礎)

大阪桐蔭中学校高等学校教諭

**有馬 実**

海陽中等教育学校教諭

**稲垣 貴也**

秋田県立横手清陵学院高等学校教諭

**釜田 博一**

元神奈川県立向の岡工業高等学校教諭

**川田 正允**

北海道札幌南高等学校教諭

**小山 祐介**

渋谷教育学園渋谷中学高等学校教諭

**田部井 一浩**

アサンプション国際中学校高等学校教諭

**坂東 永智**

元富山県立高岡高等学校教諭

**萬谷 芳樹**

(教科書全点共通)

サイエンスライター

**漆原 次郎**

## 授業時間配分表

### ■授業時間配分表 物理基礎(物基/707)

編	章	配当時間
物理量の扱い方		1
第1編 運動とエネルギー	第1章 運動の表し方	8
	第2章 運動の法則	14
	第3章 仕事と力学的エネルギー	9
第2編 熱	第1章 熱とエネルギー	7
第3編 波	第1章 波の性質	6
	第2章 音	5
第4編 電気	第1章 物質と電気	4
	第2章 磁場と交流	2
第5編 物理学と社会	第1章 エネルギーの利用	2
物理学が拓く世界		2
合計		60

※物理基礎は、標準2単位で年間授業時間数の合計は70時間ですが、この表では学校行事のことも考慮して、60時間で計算しています。

### ■授業時間配分表 物理(物理/706)

編	章	配当時間
第1編 力と運動	第1章 平面内の運動	4
	第2章 剛体	5
	第3章 運動量の保存	8
	第4章 円運動と万有引力	13
第2編 熱と気体	第1章 気体のエネルギーと状態変化	9
第3編 波	第1章 波の伝わり方	7
	第2章 音	6
	第3章 光	12
第4編 電気と磁気	第1章 電場	11
	第2章 電流	9
	第3章 電流と磁場	7
	第4章 電磁誘導と電磁波	12
第5編 原子	第1章 電子と光	8
	第2章 原子と原子核	7
物理学が築く未来		2
合計		120

※物理は、標準4単位で年間授業時間数の合計は140時間ですが、この表では学校行事のことも考慮して、120時間で計算しています。

### ■授業時間配分表 総合物理(物理/707, 708)

編	章	配当時間
物理量の扱い方		1
第1編 力と運動	第1章 運動の表し方	6
	第2章 運動の法則	9
	第3章 運動量の保存	6
	第4章 仕事と力学的エネルギー	6
	第5章 円運動と万有引力	12
第2編 熱と気体	第1章 熱と物質	3
	第2章 気体のエネルギーと状態変化	7
第3編 波	第1章 波の性質	6
	第2章 音	6
	第3章 光	11
第4編 電気と磁気	第1章 電場	10
	第2章 電流	7
	第3章 電流と磁場	6
	第4章 電磁誘導と電磁波	11
第5編 原子	第1章 電子と光	6
	第2章 原子と原子核	5
物理学が築く未来		2
合計		120

※物理は、標準4単位で年間授業時間数の合計は140時間ですが、この表では学校行事のことも考慮して、120時間で計算しています。



# 教授資料のご案内

POINT

1 主体的&探究的な学びに役立つ情報を掲載

POINT

2 授業で役立つ付属データが充実

POINT

3 教科書の解説動画で自学自習をサポート

## 教授資料の構成



## 「教授資料 本冊」の特色

- 「各編の解説」+ 「実験の解説」+ 「問題の解答・解説」で構成。
- 「各編の解説」では、教科書で解説した内容の、物理的、歴史的背景の解説や、補充実験などを盛り込んでいます。
- 「実験の解説」では、教科書に掲載されている実験を行う上で必要な情報である、実験の手順、注意点、結果例などの情報が充実しています。
- 「問題の解答・解説」では、教科書に掲載されている問、類題、演習問題、思考学習の解答・解説を掲載しています。
- 単元冒頭の「目標」の解説、単元末の「学んだことを説明してみよう」の評価の観点を掲載予定。主体的な学びをサポートします。
- 理解を深める発問とその指導例を掲載します。生徒同士で議論を行うこともでき、アクティブ・ラーニング型授業の手助けとなります。



▲単元冒頭の「目標」の解説

# 教科書の解説動画をご用意しています！

教科書の解説動画は、「教授資料」「指導者用デジタル教科書(教材)」「学習者用デジタル教科書・教材」のいずれかをご購入いただいた場合に、追加費用なしでご視聴いただけます。

- 自学自習をサポートします。
- 反転学習にも活用できます。
- 対面授業が難しい状況下でも学習が進められます。



サンプルはこちら!▲

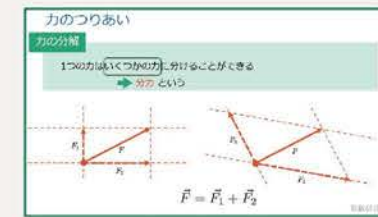
ご利用のイメージ



※ご利用までの具体的な手順については、教授資料本冊に記載しております。

※「指導者用デジタル教科書(教材)」では、授業中に解説動画を拡大提示することができます。また、「学習者用デジタル教科書・教材」では、画面より解説動画にダイレクトにアクセスして視聴することができます(ただし、商品ライセンスを所持している生徒に限ります)。

## 教科書の解説動画のイメージ画面



## 解説動画数

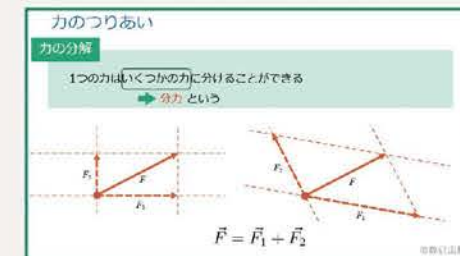
内容	物理基礎	新編物理基礎	物理	総合物理
各単元の解説動画	41本	40本	77本	100本
例題の解説動画	30本	20本	59本	83本

- 教科書の各単元の学習内容を解説する動画と教科書中の例題の解き方を解説する動画の2種類の動画をご用意。

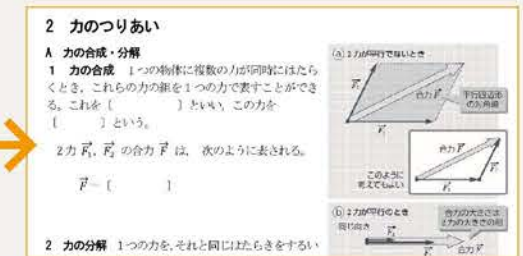


# 授業用スライドデータ・授業用プリントデータ

◆教科書解説動画は、教授資料付属の授業用スライドデータ、授業用プリントデータと連動しています。



▲授業用スライドデータ



▲授業用プリントデータ

授業用スライドデータはPowerPointとGoogleスライドの両方をご用意!!



## 教授資料付属データ一覧

：弊社 Web サイト「チャート×ラボ」からダウンロードいただけます。

サンプルはこちら!▲



コンテンツ名	形式	内容
<b>◆授業でそのまま使える</b> ▶本冊子 128～129		
授業用スライドデータ サンプル	Power Point Google スライド NEW!	板書代わりに使える演示用のスライドデータです。シンプルな穴埋めタイプのものや、教科書解説動画に対応した解説タイプ(NEW!)などをご用意しています。 
授業用プリントデータ サンプル	Word	教科書の内容に対応した授業用プリントのデータです。授業用スライドとリンクしています。 
映像	MP4	教科書紙面の QR コンテンツ(NEW!)などの映像・アニメーションです。QR コンテンツは QR コードを介さずご覧いただけます。 
アニメーション	HTML	
教科書紙面データ	PDF	教科書紙面の PDF データです。
NEW! 回答フォーム	Google フォーム Microsoft Forms	「学んだことを説明してみよう」などの回答フォームを Google フォーム形式および Microsoft フォーム形式をご用意します。端末にデータ配信したり、回答を集約したりすることができます。
<b>◆テストやプリントの作成に使える</b> ▶本冊子 129		
教科書テキストデータ	Word	プリント作成などに便利な、教科書本文のテキストデータです。
教科書図版データ	JPEG	教科書に掲載の図版データです。カラー版のほか、白黒印刷でも見やすいモノクロ版、引線文字なしの図版(NEW!)もご用意しています。

コンテンツ名	形式	内容
<b>◆主体的な学びに役立つ</b> ▶本冊子 130～131		
NEW! 節末チェック用ワークシート	Word	「学んだことを説明してみよう」に使えるワークシートです。グループ学習にも使えます。
NEW! 「例題+類題」ワークシート	Word	教科書の例題を穴埋め形式にしたものと、類題をセットにしたワークシートです。グループ学習にも使えます。
NEW! 振り返りシート	Word	授業の理解度の確認、疑問に思ったことを書き出すなど、学習内容の振り返りにお使いいただけるプリントデータです。
NEW! 問題についての自己評価表	Excel	教科書の問題を一覧化したものに、チェック欄、理解度についての自己評価欄を設けたものです。
理解を深める発問とその指導例	Word	授業で扱える発問とその指導例を掲載したテキストデータです。
NEW! AL 実用プリント	PDF	教科書の例題を用いたアクティブラーニング型の授業用のプリントを収録。
<b>◆演習に使える充実の問題データ</b> ▶本冊子 131		
問題の解答・解説	Word PDF	教科書中の問、類題、演習問題、思考学習の解答・解説のデータを、Word(NEW!)と PDF をご用意しています。
準拠問題集データ	Word PDF	教科書の準拠問題集のデータです。本冊・別冊の Word データと紙面 PDF データを収録。
NEW! 読解力養成プリント サンプル	Word	基本的な文章の読み取りから、会話文やグラフ・表の読み取り問題まで、読解力養成に使える小テスト形式のプリントです。
<b>◆実験に役立つ</b> ▶本冊子 132		
実験レポート サンプル	Word	教科書の実験で使えるレポート用紙です。実験方法や結果欄なども掲載していますので、教科書を開かずレポート用紙だけで実験を進められます。また、データ処理に役立つ Excel ツールも収録します。 
<b>◆その他</b> ▶本冊子 132～133		
重要用語一覧	Excel	教科書の重要用語を日本語と英語でリストアップした一覧表です。
学習指導計画(シラバス)例	Excel	学習指導計画案の標準的な一例を示しています。
NEW! 観点別評価規準例 サンプル	Excel	「知識・技能」、「思考・判断・表現」、「主体的に学習に取り組む態度」の3つの観点について、評価方法をまとめています。
NEW! 観点別評価集計例	Excel	生徒1人1人の3観点に基づく評価を入力・集計できるファイルです。
NEW! 教授資料紙面データ	PDF	教授資料の紙面データです。
NEW! AL 型授業の進め方	Power Point	KJ 法やジグソー法など、さまざまな言語活動の手法を紹介しています。

※この他の教授用データについても、弊社 Web サイト「チャート×ラボ」からのダウンロードによってご用意する場合があります。  
 ※商品により付属データの種類や入手方法が異なる場合がございます。



# 授業でそのまま使える・テストやプリント作成に使える



サンプル  
はこちら！

● **授業用スライドデータ** ▶ サンプルは上のQRコードからご覧になります。 **NEW!** [Google スライド](#) [PowerPoint](#)

板書代わりにお使いいただけるスライドデータです。シンプルな穴埋めタイプのものや、教科書解説動画に対応した解説タイプなどをご用意しています。

第1編 第1章 1. 速度 (教科書 p.18~22)

**I 速度**  
**H 相対速度**

動く物体Aから観測した他の物体Bの速度のことを、  
[ A ]に対する[ B ]の[ **相対速度** ]という。  
Aに対するBの相対速度 $v_{AB}$  [m/s]は

$$v_{AB} = [ v_B - v_A ]$$

◀穴埋めタイプ  
教科書にそって、要点を穴埋めで確認することができます。シンプルなので、お好みの形に編集しやすくなっています。

---

**力のつりあい**  
**力の分解**

1つの力はいくつかの力に分けることができる  
→ **分力** という

$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$

©数研出版

※ Google スライドのご使用にあたっては、Google アカウントが必要となります。

● **映像・アニメーション** [MP4](#) [HTML](#)

教科書紙面のQRコンテンツ (NEW!) などの映像・アニメーションのデータを収録しています。QRコンテンツの一覧は本冊子のQRコンテンツのページをご覧ください (▶本冊子 118~121)。

0.5N

1.0N

1.5N

落体の運動

初期条件

初速度  m/s

角度  °

高さ  m

時間  s

速度 水平  m/s  
鉛直  m/s

位置 水平  m  
鉛直  m

©数研出版

● **授業用プリントデータ** ▶ サンプルは左ページ上のQRコードからご覧になります。 [Word](#) [PDF](#)

授業の際に配布してノート代わりにお使いいただけるプリントデータです。Wordで作成していますので、授業で取り上げる内容や進度に合わせて、お好みの形に編集していただけます。

組 番

**2 力のつりあい**

**A 力の合成・分解**

**1 力の合成** 1つの物体に複数の力が同時にはたらくとき、これらの力の組を1つの力で表すことができる。これを [ ] という。この力を [ ] という。

2力  $\vec{F}_1, \vec{F}_2$  の合力  $\vec{F}$  は、次のように表される。

$$\vec{F} = [ ]$$

プリントの内容は教科書解説動画・授業用スライドデータとリンクしています！

● **教科書紙面データ・テキストデータ** [Word](#) [PDF](#)

教科書紙面のPDFデータと本文のテキストデータです。スクリーンへの紙面の投影、授業用プリントや定期テストの作成など、授業を補助するデータとしてお使いいただけます。

● **教科書図版データ** [JPEG](#)

教科書に掲載されている図版のデータです。カラー図版のほか、モノクロ化した図版や引線文字をなくした図版データも収録していますので、目的に合わせてご使用いただけます。

◀カラー図版

移動距離  $x$   
力  $F$   
 $x \cos \theta$   
力の方向の移動距離

**NEW!**  
▶カラー図版  
(引線文字なし)

◀モノクロ図版

移動距離  $x$   
力  $F$   
 $x \cos \theta$   
力の方向の移動距離

**NEW!**  
▶モノクロ図版  
(引線文字なし)

● **回答フォーム** **NEW!** [Google フォーム](#) [Microsoft Forms](#)

Google フォームやMicrosoft Formsを活用した小テストと、教科書の「学んだことを説明してみよう」の回答フォームをご用意します。

物理基礎で学んだことを説明してみよう

第1編 第1章 第1節

次の問いに対して、学んだことを振り返りながら説明してみよう。

(1) 速さ10m/sの等速直線運動をする物体は、時間ととちどのように進むか。

(2) 東向きに50km/hの速さで走る自動車の前方に、バスが東向きに30km/hの速さで走っている。自動車から見てバスはどのように進むか。



詳細はこちら！▶

先生が作成したフォームを、生徒それぞれの端末に簡単に配信できます。生徒から返送された回答を瞬時に集約できます。

※ Google フォームのご使用にあたっては、Google アカウントが必要となります。

※ Microsoft Formsのご使用にあたっては、Microsoft アカウントが必要となります。Microsoft FormsはMicrosoftの登録商標です。



## 主体的な学びに役立つ



サンプル  
はこちら！

### ● 節末チェック用ワークシート **NEW!**

Word

教科書の「学んだことを説明してみよう」に使えるワークシートです。グループ学習にも使えます。



指導者用のプリントには、解答例・評価規準例を掲載しています！

### ● 「例題＋類題」ワークシート **NEW!**

Word



教科書の「例題」を穴埋めにしたものと、類題をセットにしたワークシートです。グループ学習にも使えます。



### ● 振り返りシート **NEW!**

Word

生徒に配布することで、授業の理解度の確認、疑問に思ったことを書き出すなど、学習内容の振り返りにお使いいただけるプリントデータです。

### ● 問題についての自己評価表 **NEW!**

Excel

教科書の問題を一覧化したものに、チェック欄、理解度についての自己評価欄を設けたものです。生徒に配布することで、学習進度や理解度の管理が行えます。



### ● 理解を深める発問とその指導例

Word

物理に関連した発問例とその指導例を収録しております。

### ● AL 実用プリント **NEW!**

PDF



教科書の例題を用いたアクティブラーニング型の授業用のプリントを収録しております。「学習内容の説明(例題を穴埋め形式にしたもの)」「練習問題」「確認テスト」で構成されています。また、このプリントの使い方も合わせて収録しています。

## 演習に使える充実の問題データ

### ● 問題の解答・解説

**NEW!**

Word

PDF

教科書に掲載されている問、類題、演習問題、思考学習の解答・解説データをご用意しています。生徒にそのまま配布したり、お好みの形に編集できたりします。

### ● 準拠問題集データ

Word

PDF

教科書の準拠問題集の本冊・別冊のデータを収録します。

### ● 読解力養成プリント **NEW!**

▶ サンプルは左ページ上部にある QR コードからご覧になれます。

Word

基本的な文章の読み取りから、会話文やグラフ・表の読み取り問題まで、読解力養成に使える小テスト形式のプリントです。

読解力養成プリント

\_\_\_\_ 月 \_\_\_\_ 日 ( )

\_\_\_\_ 年 \_\_\_\_ 組 名前 \_\_\_\_\_

①速度と時間のグラフ 【グラフの読み取り】  
図は、ある電車が駅から次の駅まで走ったときの、時間と速さの関係を記録したグラフである。

上のグラフからいえることを、次の選択肢からすべて選べ。

- ① 電車は最も速いとき、速さが秒速 30m を超える。
- ② 電車が駅から次の駅まで移動するのに、およそ 130 秒かかる。
- ③ 電車は走り始めてから 40 秒間、加速し続けている。
- ④ 電車は走り始めてから一度も減速していない。

知識がなくても文章を読めば正解できる問題です。問題文を正確に読み取る読解力を高めることができます。



# 実験に役立つ・その他データ類



サンプル  
はこちら！

## ● 実験レポート ▶ サンプルは上部にある QR コードからご覧になります。

Word

教科書の「実験」で使えるレポート用紙です。出力してそのまま生徒に配布することができます。

### 実験2 重力加速度の大きさ $g$ の測定

#### ● 目的

記録タイマーを用いて重力加速度の大きさを測定する。

<見方・考え方> 重力加速度の大きさを測定し、文献値などの値と比較する。

#### ● 仮説の設定

物体を落下させて  $v-t$  図を作成し、直線のグラフが得られたとき、直線の傾きから重力加速度の大きさ  $g$  を求めることができると考えられる。

#### ● 実験の計画

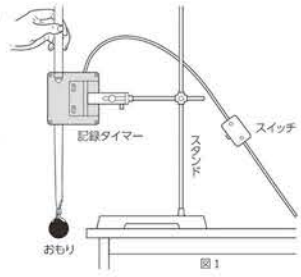
記録タイマーを用いて、落下物体につけた紙テープの打点を分析する。

#### ● 準備

記録タイマー、記録用の紙テープ、おもり（質量 300 g 以上の鉄製または銅製のものがよい。そのほかにも質量の異なるものを数種類）、力学スタンド、方眼紙、クッション（ぞうきんなど）

#### ● 手順

- 記録タイマーを図1のように力学スタンドに取り付ける。おもりが落下する地点に、クッションとしてぞうきんなどを置く。
- 約 1m の長さに切った紙テープの一端をおもりに取り付け、他端をタイマーに通し、紙テープを手で支える。
- タイマーの電源スイッチを入れ、手を静かに離し、おもりを自由落下させる。  
(注) 記録用の紙テープで手を押さないように、また、落下したおもりが足につかないように注意する。
- 打点された紙テープについて、えび2打点で基準点から
- 各区間の平均の速さを求め
- おもりの速さと時間の関係



### ▲ 実験レポート

「準備」・「方法」から「考察」まで掲載！「結果」や「考察」には記入欄を設けていますので、レポート1つで実験を行います。

時刻 (s)	基準点からの距離 (m)	各区間の移動距離 (m)	各区間の平均の速さ (m/s)
0	0		
2/50	0.0172		
4/50	0.0495		
6/50	0.0974		
8/50	0.1612		
10/50	0.2404		
12/50	0.3354		
14/50	0.4458		

#### ● 結果

次の表に書き入れて、各区間の平均の速さを求めよ。また、グラフに縦軸、横軸に目盛りを書き入れて、各区間の平均の速さをプロットして、グラフを完成させよ。

時刻 (s)	落下距離 (m)	各区間の移動距離 (m)	各区間の平均の速さ (m/s)
0	0		
2/50	0.0172		
4/50	0.0495		
6/50	0.0974		
8/50	0.1612		
10/50	0.2404		

### ▶ 実験映像

## ▶ 実験データの例 NEW!

実験データの例も掲載。実験映像と連動させることで、データの分析の練習をさせることができるものもあります。

## ● 重要用語一覧

Excel

教科書本文で太字語句になっている重要用語を一覧でまとめたデータです。日本語表記だけでなく、英語表記も掲載しています。

## ● 学習指導計画（シラバス）例

Excel

学習指導計画案の標準的な一例をまとめたデータです。授業計画を立てるときの参考としてお使いいただけます。



サンプル  
はこちら！

## ● 観点別評価規準例・観点別評価集計例 NEW!

Excel

新学習指導要領では、観点別学習状況の評価の観点が「知識・技能」、「思考・判断・表現」、「主体的に学習に取り組む態度」の3観点到整理されました。この3観点について、『観点別評価規準例』以外に、教科書やシラバスとあわせてご利用いただける『観点別評価集計例ファイル』をExcel形式でご用意しております。

▶ サンプルは上部にある QR コードからご覧になります。

編 章	節	評価の観点	評価の内容	評価の方法
第2章 運動の法則	1.力とのはたらき	知識・技能	・重力、垂直抗力、摩擦力、糸が引く力、弾性力について、理解できている。	p.55 問25 p.57 問26
		思考・判断・表現	・フックの法則とばね定数の意味を理解し、グラフからばね定数を読み取ることができる。 ・重力の大きさは物体の質量と重力加速度の大きさの積であり、運動の状態によらないことを説明できる。 ・力の表し方を理解し、「1N」はどのような力か説明できる。	p.57 問27 p.57 学んだことを説明してみよう p.95 演習問題9(1)
		主体的に学習に取り組む態度	・「見る、触ることができない力」に対して、どのようにして力の存在がわかるのか、また力にはどのような種類があるのかについて考えようとしている。	・授業中の発問(p.54 冒頭の問いかけなど)に対する生徒のようすを観察する。
2.力のつりあい	知識・技能	知識・技能	・力がベクトル量であることを認識し、力の合成や分解ができる。 ・注目する物体にはたらく力が指摘でき、つりあいの式を立てられる。 ・作用・反作用の2力とつりあいの2力を区別して考えることができる。	p.59 問28, 29, 30, 31 p.63 類題7 p.64 類題5 p.66 問32 p.67 問A p.68 ドリル p.94 演習問題1 p.63 実験4 p.65 実験5
		思考・判断・表現	・3つの力がはたらいてつりあうときの力の関係を確認でき、理解できている。 ・ばねにつなげた棒が取りつけられた台車を用いて、作用反作用の法則が成り立つことを確認できる。 ・作用・反作用の2力とつりあいの2力の違いを理解し、力のつりあいの式を考えたり、それぞれの2力の間の関係について説明できる。	p.66 問33 p.66 学んだことを説明してみよう
		主体的に学習に取り組む態度	・力が合成・分解して表されることに興味をもち、「力がつりあう」とはどういうことを理解しようとしている。 ・「作用・反作用」と「つりあいの2力との違い」について、考えようとしている。 ・力のつりあいや作用反作用の法則を確かめる実験に主体的に取り組んでいる。	・授業中の発問(p.58 冒頭の問いかけなど)に対する生徒のようすを観察する。 ・p.66 学んだことを説明してみよう について生徒どうしに話しあわせ、生徒のようすを観察する。 ・実験(p.63 実験4, p.65 実験5)に取り組む生徒のようすを観察する。

### ▲ 観点別評価の方法と評価の規準例

### ▼ 観点別評価集計例ファイル

生徒1人1人の3観点到に基づく評価を入力・集計できるファイルです。

※ファイルの画像はイメージです。

年度末	総括評価
評定	5 4 3 2
評定ごとの人数	2 10 20 7

学年別	試験評価	活動評価
知識・技能	1 2	1 2
思考・判断・表現	1 2	1 2

学年	試験評価			活動評価			総合評価 (計算値)	評定 (計算値)	総合評価 (最終)					
	知識・技能	思考・判断・表現	主体的に学習に取り組む態度	知識・技能	思考・判断・表現	主体的に学習に取り組む態度			知識・技能	思考・判断・表現	主体的に学習に取り組む態度	評定 (最終)		
1年級 01	C	C		A	A	B	B	B	B	B	3			
2年級 02	A	C		C	B	B	B	B	B	B	3			
3年級 03	B	B		A	A	A	A	5	A	A	5			
4年級 04	B	B		B	C	A	B	C	A	B	3			
5年級 05	C	A		B	B	B	B	B	B	C	3			
6年級 06	C	B		C	C	C	C	C	1	C	C	1		
7年級 07	B	C		B	B	B	B	B	3	B	B	3		
8年級 08	B	B		C	A	B	C	A	B	3	C	A	B	3
9年級 09	A	B		A	A	B	A	A	B	4	A	A	B	4
10年級 10	B	A		B	C	B	B	B	B	3	B	B	B	3

## ● 教授資料紙面データ NEW!

PDF

教授資料紙面のPDFデータです。授業を補助するデータとしてお使いいただけます。

## ● AL型授業の進め方 NEW!

PowerPoint

KJ法やジグソー法など、さまざまな言語活動の手法を紹介しています。



# 新課程版教科書をサポートする充実の周辺教材

令和7年度用 副教材 (予定)

※周辺教材の発行予定や内容は予告なく変更される可能性があります。



書名	内容
新編 物理基礎 準拠 サポートノート	B5判/88頁(2色) + 別冊解答 48頁(2色) / 定価 638円(税込) ・教科書の問や例題の類題によって、定着度を確認しやすくなっています。
新編 物理基礎 準拠 整理ノート	B5判/96頁(2色) + 別冊解答 52頁(2色) / 定価 638円(税込) ・重要語句の穴埋めや教科書の問題で学習内容をしっかり理解できます。
①リードα 物理基礎 ②リードα 物理 ③リードα 物理基礎・物理	① A5判/144頁(2色) + 別冊解答 128頁(2色) / 定価 792円(税込) ② A5判/240頁(2色) + 別冊解答 216頁(2色) / 定価 979円(税込) ③ A5判/336頁(2色) + 別冊解答 304頁(2色) / 定価 1,089円(税込) ・日常学習から受験準備まで、段階的にレベルアップ。
①リードLight 物理基礎 ②リードLight ノート物理基礎 ③リードLight ノート物理 (②は①を書き込み式にしたノート判)	① B5変型判/128頁(2色) + 別冊解答 96頁(2色) / 定価 814円(税込) ② B5判/120頁(2色) + 別冊解答 72頁(2色) / 定価 825円(税込) ③ B5判/168頁(2色) + 別冊解答 88頁(2色) / 定価 979円(税込) ・日常学習を徹底サポート! 基本事項の習得に最適な問題集。
物理基礎学習ノート	B5判/96頁(2色) + 別冊解答 40頁(1色) / 定価 660円(税込) ・要項+問題演習の構成で物理基礎の学習をていねいにサポートします。
高校物理の基礎	B5判/48頁(2色) + 別冊解答 24頁(1色) / 定価 418円(税込) ・「運動の表し方」～「運動の法則」の内容をわかりやすく解説した問題集。
フォローアップ ドリル物理基礎 / 物理 ①運動の表し方・力・運動方程式 ②仕事とエネルギー・熱 ③波・電気 ④実験データの分析 ⑤力と運動・熱と気体 ⑥波 ⑦電気と磁気 ⑧原子	①～④はB5判, 本冊2色, 解答1色 ① 40頁+解答 20頁 / 定価 341円(税込) ② 20頁+解答 8頁 / 定価 297円(税込) ③ 32頁+解答 16頁 / 定価 330円(税込) ④ 32頁+解答 16頁 / 定価 330円(税込) ⑤～⑧はB5判, 本冊・解答1色 ⑤ 40頁+解答 20頁 / 定価 352円(税込) ⑥ 32頁+解答 16頁 / 定価 330円(税込) ⑦ 40頁+解答 20頁 / 定価 352円(税込) ⑧ 16頁+解答 8頁 / 定価 297円(税込) ・ドリル演習で基本をマスターできます。
フォトサイエンス 物理図録	AB判/192頁(4色) / 定価 891円(税込) ・実験や身のまわりの現象の写真をふんだんに掲載した物理図録。 ・QRコードから映像・アニメーションが見られます。
チャート式シリーズ 新物理基礎 / 新物理	新物理基礎: A5判/256頁(4色) / 定価 1,606円(税込) 新物理: A5判/512頁(4色) / 定価 2,508円(税込) ・伝統的正統派参考書。実験や読解問題などの留意点を特集しました。
①チェック & 演習 物理基礎 ②チェック & 演習 物理	① B5判/96頁(1色) + 別冊解答 64頁(2色) / 定価 836円(税込) ② B5判/184頁(1色) + 別冊解答 112頁(1色) / 定価 1,001円(税込) ・入試を徹底分析した新課程対応の共通テスト対策問題集。
物理重要問題集	A5判/152頁(1色) + 別冊解答 168頁(2色) / 定価 902円(税込) ・最新傾向の問題を網羅した新課程対応の入試対策問題集。

指導に役立つ情報や教材データをお届け!

## 先生のための会員制サイト **チャート×ラボ**

### 「チャート×ラボ」で何ができるの?

- ご採用の教材に関連したデータをダウンロードしたり、数研出版が作成したプリントデータを生徒のタブレットやスマホに配信したりできます。
- 新課程デジタル教科書・教材の体験版をお試いただけます。
- 数研出版主催のセミナーにお申込みいただけます。

会員限定の情報も  
お届けするよ



くわしくはこちら <https://lab.chart.co.jp/>



※「チャート×ラボ」のご利用は、教育機関関係者(小学校・中学校・高等学校・大学などの学校に勤務されている方、教育委員会・教育センターなど教育関係職員の方)に限定しております。

# Studyaid<sup>DB</sup> 物理シリーズラインアップ

・表記の金額はすべて税込価格です。

商品名	収録内容 <small>赤字はデータが更新または新しく追加される書籍です。</small>	問題数*	オンライン版		DVD-ROM版		購入方法
			価格【教育機関向け】 1ライセンス版	価格【教育機関向け】 構内フリーライセンス版	標準価格	アップグレード価格	
No.99641 物理入試 2023 データベース	●1992～2020年センター試験問題・2021～2023年共通テスト問題 ●1992～2023年版「物理入試問題集」 ●2005～2023年版「物理重要問題集」 ●思考力・判断力・表現力を養う 物理重要問題集	約5,200問	11,000円	25,300円	23,100円	11,000円	数研出版ホームページへ 直接数研出版へ
No.55514 物理統合版 2024	<b>NEW</b> 【新課程】: ●教科書「物理基礎, 新編 物理基礎, 物理, 総合物理」 ●リードα「物理基礎(改訂版), 物理, 物理基礎・物理」 ●改訂版 リードLight 物理基礎 ●リードLight ノート「物理基礎(改訂版), 物理」 ●新編 物理基礎 準拠「サポートノート, 整理ノート」 ●フォローアップドリル物理基礎「運動の表し方・力・運動方程式, 仕事とエネルギー・熱, 波・電気, 実験データの分析」 ●チェック & 演習「物理基礎, 物理」 ●高校物理の基礎 【旧課程】: ●教科書・問題集	約9,400問	13,200円	27,500円	31,900円	13,530円	

\*記載されている問題数はオンライン版の問題数です。DVD-ROM版は問題数が異なることがあります。

## 【Studyaid<sup>DB</sup> オンライン】

### 動作環境

#### デスクトップアプリ版

OS	Windows 10, 11 <small>※各OSとも日本語版のみに対応。※Windows 10, 11のSモードには非対応。</small>
メモリ	2GB以上
ストレージ	システムドライブに2GB以上の空き容量
その他	.NET Framework 4.6.2以降

#### ブラウザ版

OS	Windows 10, 11/iPadOS 16以降/macOS 13以降/ ChromeOS 最新バージョン
ブラウザ	Windows 10, 11: Google Chrome, Microsoft Edge iPadOS, macOS: Safari ChromeOS: Google Chrome

※最新の動作環境については、弊社ホームページをご覧ください。

- デスクトップアプリ版、ブラウザ版ともに、インターネット接続が必要です。インターネット接続に際し発生する通信料はお客様のご負担となります。
- Studyaid<sup>DB</sup> オンラインはユーザーライセンスの商品です。1ライセンスにつき1アカウント(1名)でご利用いただけます。構内フリーライセンス版では、同一構内に勤務される方であれば、人数に制限なくご利用いただけます。
- Studyaid<sup>DB</sup> オンラインには7年間の有効期限があります。ただし、有効期限内に新たに別商品を購入された場合、その商品の有効期限まで延長してお使いいただけます。2024年3月より有効期限が7年になりました。すでにご購入済みの商品も7年に延長されます。

## 【Studyaid<sup>DB</sup> (DVD-ROM版)】

- Studyaid<sup>DB</sup> (DVD-ROM版)の動作環境は弊社ホームページをご覧ください。

▶ <https://www.chart.co.jp/stdb/setting.html>

### アップグレード価格

Studyaid<sup>DB</sup> 理科シリーズ商品をお持ちの場合は、標準価格の商品と同一のものをアップグレード価格でご購入いただけます。詳しくは弊社ホームページをご覧ください。

▶ <https://www.chart.co.jp/stdb/upgrade/>

※アップグレード価格のご注文の際は、お持ちの商品のシリアルナンバーが必要です。  
※物理・化学・生物・地学は、すべて同一教科(理科シリーズ商品)とみなします。

### 同一構内の複数台のパソコンでStudyaid<sup>DB</sup>を使用する場合

Studyaid<sup>DB</sup>は1台のパソコンにのみインストールし、使用することができます。  
1つの商品を同一構内の複数台のパソコンで使用する場合は、商品の他にサイトライセンスが必要です。

ライセンス数	税込価格
1～3本	4,180円×ライセンス数
4本以上 (フリーライセンス)	16,500円

## Studyaid<sup>DB</sup> オンラインのご案内

### 乗り換えサポート【教育機関向け】

Studyaid<sup>DB</sup> オンライン【教育機関向け】商品をご購入いただいた方を対象に、これまでご購入いただいた Studyaid<sup>DB</sup> (DVD-ROM版)の問題データを Studyaid<sup>DB</sup> オンラインで使用できる「乗り換えサポート」を行っております。対象商品や価格など乗り換えサポートについては弊社ホームページをご覧ください。 <https://www.chart.co.jp/stdb/online/support/shift.html>

### 2024年夏 ブラウザ版に問題編集機能(一部)と印刷機能を追加!

リニューアルしたブラウザ版では、いつでも、どこでも、どの端末でもプリント作成から印刷までが可能です。問題編集については、順次機能を充実させていきます。ブラウザ版だけの+αの新機能も追加予定です。

- Point1 インストールなしで、すぐにプリント作成から印刷まで!
- Point2 Windowsはもちろん、ChromebookやiPad, Macでも編集・印刷可能に!
- Point3 より使いやすい画面レイアウトになり、操作性がアップ!

詳しくは弊社ホームページをご覧ください。

[https://www.chart.co.jp/stdb/online/function/browser\\_renewal.html](https://www.chart.co.jp/stdb/online/function/browser_renewal.html)







最新の情報・  
体験版はこちら！

**エスビューア** は、Windows, iPad, Chromebook に対応しています。

▶動作環境については弊社ホームページをご覧ください。

教科書はもちろん、問題集や図録も **エスビューア** で利用できます。



**基本機能**

指 学 学+ 副

操作性を考慮した、一目でわかるアイコンデザインを採用しています。

ペン、ふせん、スタンプ、拡大・縮小などの基本機能は、ツールバーから選択して利用できます。

※指導者用と学習者用の基本機能は共通です。

**特別支援機能**

指 学 学+ 副

音声読み上げ、総ルビ表示、配色設定、文字サイズ・書体変更などができます。

**スライドビュー**

指 学 学+ 副

ワンクリックで図や問題を拡大表示できます（別のタブで開きます）。

また、見開き紙面に戻らなくても、「前へ」「次へ」で前後の要素へ移動できます。

※「学習者用デジタル教科書・教材」「学習者用デジタル副教材」ではスライドビューで図・写真を拡大表示できません。

**生徒一人一人の学習を支援する機能を搭載！**

**スムーズな教材連携**

指 学 学+ 副

デジタル教科書・教材（指導者用または学習者用）とデジタル副教材をお持ちの場合、教材間でスムーズに連携ができます。

教科書→問題集の関連問題や、教科書→図録の関連ページをすぐに表示できるなど、すべての教材を最大限に活用できます。



**生徒一人一人の学習の記録**

指 学 学+ 副

問題はワンクリックで拡大表示できます。

生徒は、その問題を解いて得た気づきを、

ノート<sup>※1</sup>やコメントと合わせて、

学習の記録として残すことができます。



**先生と生徒をつなぐ宿題管理<sup>※2</sup>**

指 学 学+ 副

生徒の **エスビューア** へ宿題を配信することができます。配信できるデータは、「教材の問題<sup>※3</sup>」「Studyaid プリント」「PDF」の3種類です。生徒が提出した宿題の結果を確認し、コメントを書き込んで返却することもできます。



**柔軟な設定ができる表示制御<sup>※2</sup>**

指 学 学+ 副

先生は、生徒が利用する学習者用デジタル教科書・教材／デジタル副教材に収録されている、「答」「解説」「コンテンツ（例題解説動画）」などについて、要素ごとに「見せる／見せない」を切り替えることができます。

※1 紙のノートやスライドビューへ書き込んだ内容を写真やスクリーンショットとして記録できます。

※2 先生向け機能「宿題管理」「表示制御」は、「エスビューア 先生用サイト」で行うことができます。

※3 生徒が利用しているデジタル教科書・教材／デジタル副教材に収録されている問題です。

ここで紹介するコンテンツは、「指導者用デジタル教科書（教材）」「学習者用デジタル教科書・教材」「学習者用デジタル副教材」に収録しています。

※1「学習者用デジタル教科書」には、教科書のQRコードからご利用いただけるコンテンツへのリンクを配置しています。

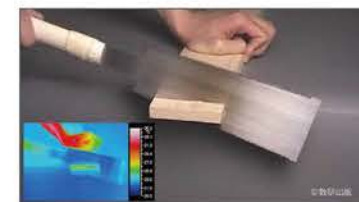
※2「学習者用デジタル副教材」は教材ごとに含まれるコンテンツの種類が異なります。

**ムービー（映像）**

指 学 学+ 副

教科書の内容に関する映像コンテンツです。

実験や、映像で見たほうがよいものを動画で見せることができます。

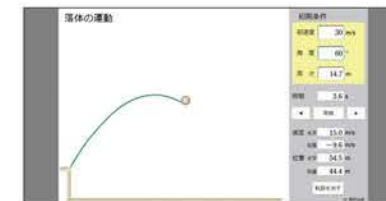
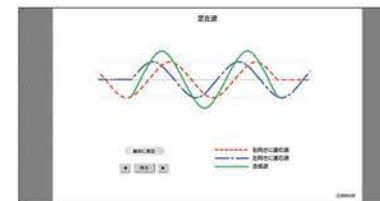
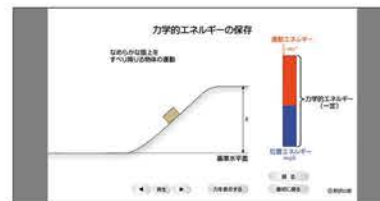


**アニメーション**

指 学 学+ 副

教科書の内容に関するアニメーションやシミュレーションのコンテンツです。

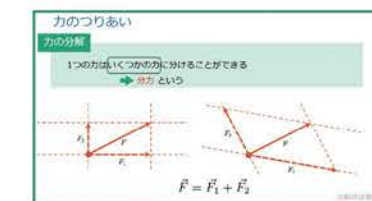
板書での説明が難しい内容も、わかりやすく解説することができます。



**内容解説動画**

指 学 学+ 副

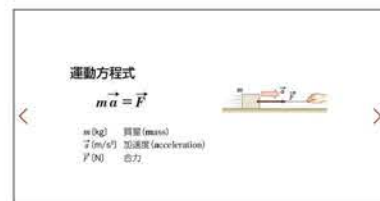
教科書の本文ページや例題スライドビューから、ダイレクトに解説動画をよびだして視聴することができます（視聴時はインターネット接続が必要です）。自宅学習などをやる際に、予習復習の助けとなります。



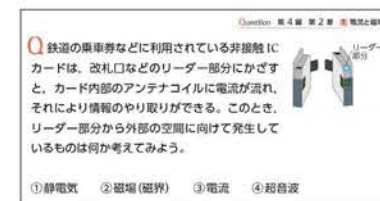
**その他のコンテンツ**

指 学 学+ 副

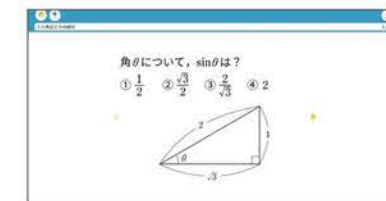
他にも、公式集や選択問題、ドリルなど、簡単に復習ができるコンテンツを収録しています。



▲公式集



▲選択問題



▲ドリル



# 物理 デジタル教科書／デジタル副教材 ラインアップ

【補足：利用期間（教科書使用期間・書籍使用期間）について】

ご購入いただいたエスビューア対象商品は、その商品が販売終了するまでの期間ご利用いただけます。

また、販売終了後も一定の利用期間を設けます。（利用期間終了後、配信を停止します）

各商品の利用期間（配信期限）の最新情報は、弊社HP（<https://www.chart.co.jp/software/lineup/expiry>）をご覧ください。

## 指導者用デジタル教科書(教材)

電子黒板などで教科書紙面やコンテンツを拡大して提示する、先生用の教材です。

教科書と同一の内容 コンテンツ

商品名	収録書籍	No.	価格(税込)	データサイズ
指導者用デジタル教科書(教材) 物理基礎	「物理基礎」[新編 物理基礎]	55304	40,700 円	約 3GB
指導者用デジタル教科書(教材) 物理	「物理」[総合物理 1 -力と運動・熱-] 「総合物理 2 -波・電気と磁気・原子-」	55320	40,700 円	約 5.5GB

■利用期間：教科書使用期間 ■ライセンス：校内フリーライセンス ■購入方法：教科書取扱書店様へ ■納品物：アプリ版インストール用 DVD-ROM

## 学習者用デジタル教科書(①)／学習者用デジタル教科書・教材(②)

①生徒一人一人の端末で使用する、制度化された「学習者用デジタル教科書」です。

教科書と同一の内容

②制度化された「学習者用デジタル教科書」と各種「デジタルコンテンツ」がセットになった商品です。

教科書と同一の内容 コンテンツ

科目	商品名	収録書籍	No.	価格(税込)	データサイズ
物理基礎	学習者用デジタル教科書 物理基礎	デジタル教科書(①)	4381221D12	各 550 円	約 1GB
	学習者用デジタル教科書 新編 物理基礎		4381226D12		約 0.5GB
物理	学習者用デジタル教科書 物理	デジタル教科書(①)	4381281D12	550 円	約 1GB
	学習者用デジタル教科書 総合物理 1		4381204D12	各 275 円	約 0.5GB
	学習者用デジタル教科書 総合物理 2		4381214D12		約 1GB
物理基礎	学習者用デジタル教科書・教材 物理基礎	デジタル教科書・教材(②)	4381221D11	各 935 円	約 2.5GB
	学習者用デジタル教科書・教材 新編 物理基礎		4381226D11		約 2GB
物理	学習者用デジタル教科書・教材 物理	デジタル教科書・教材(②)	4381281D11	935 円	約 3GB
	学習者用デジタル教科書・教材 総合物理 1		4381204D11	各 448 円	約 2GB
	学習者用デジタル教科書・教材 総合物理 2		4381214D11		約 2.5GB

■利用期間：教科書使用期間 ■ライセンス：生徒1人につき1ライセンス必要 ■購入方法：直接数研出版へ ■納品物：ライセンス証明書

## 学習者用デジタル副教材

生徒一人一人または先生用の端末で使用する、デジタル副教材です。

書籍と同一の内容 コンテンツ

シリーズ	商品名	No.	ライセンス	価格(税込)		データサイズ
				書籍購入なし	書籍購入あり	
図録	学習者用デジタル版 フォトサイエンス物理図録	4326314D01	ユーザーライセンス	891 円	440 円	約 2GB
		4226314D01	提示用オプション	1,100 円		
問題集	学習者用デジタル版 改訂版 リードα 物理基礎	4326163D01	ユーザーライセンス	792 円	330 円	約 0.5GB
		4226163D01	提示用オプション	1,100 円		
	学習者用デジタル版 リードα 物理	4326183D01	ユーザーライセンス	979 円	440 円	約 0.5GB
		4226183D01	提示用オプション	1,100 円		
	学習者用デジタル版 リードα 物理基礎・物理	4326278D01	ユーザーライセンス	1,089 円	440 円	約 1GB
		4226278D01	提示用オプション	1,100 円		
学習者用デジタル版 改訂版 リード Light ノート物理基礎	4326080D01	ユーザーライセンス	825 円	330 円	約 0.5GB	
		4226080D01	提示用オプション	1,100 円		

■利用期間：書籍使用期間 ■ライセンス：生徒1人につき1ライセンス必要 ■購入方法：直接数研出版へ ■納品物：ライセンス証明書

	基本機能	スライドビュー	デジタルコンテンツ	教材連携	学習の記録	先生向け機能	
						宿題管理	表示制御
指導者用デジタル教科書(教材)	○	○	○	○	○	一※1	一※1
学習者用デジタル教科書	○	—	—※2	—	—	—	—
学習者用デジタル教科書・教材	○	○※3	○	○	○	○※5	○※5
学習者用デジタル副教材(図録)	○※4	—	—	—	—	○※5	—
学習者用デジタル副教材(問題集)	○※4	○	—※2	○	○	○※5	○※5

※1「学習者用デジタル教科書・教材」または「学習者用デジタル副教材」ご採用時に利用可能な機能です。 ※2教科書または副教材のQRコードからご利用いただけるコンテンツへのリンクを配置しています。

※3表示される内容が「指導者用デジタル教科書(教材)」とは異なります。 ※4特別支援機能は含まれません。

※5先生は「エスビューア 先生用サイト」より設定する必要があります。

(注)学習者用デジタル副教材をご採用の場合でも、紙の書籍ご採用時と同様にご採用専用データをチャートメソボからダウンロードできます。

ご利用までの流れ、および動作環境等の詳細につきましては、弊社ホームページをご覧ください。または営業員までお問い合わせ下さい。

数研出版コールセンター TEL: 075-231-0162 FAX: 075-256-2936

東京本社 〒101-0052 東京都千代田区神田小川町 2-3-3

関西本社 〒604-0861 京都市中京区烏丸通竹屋町上る大倉町 205

関東支社 〒120-0042 東京都足立区千住龍田町 4-17

支店…札幌・仙台・横浜・名古屋・広島・福岡



この「バレット」は、植物油インキを使用しています。

本カタログに記載されている会社名、製品名はそれぞれ各社の登録商標または商標です。QRコードは株式会社デンソーウェアの登録商標です。本カタログで使用されている商品の写真は出荷時のものと一部異なる場合があります。本カタログに掲載されている仕様及び価格等は予告なしに変更することがあります。返品に関する特約：商品に欠陥のある場合を除き、お客様の都合による商品の返品・交換は受けられません。

151463