資料 1　コンピュータの利用

物理の学習において，いろいろな場面でコンピュータの利用が有効である。

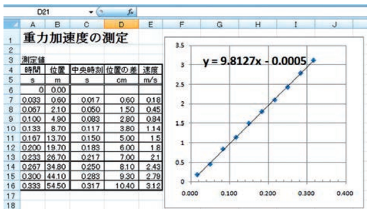
1　計測

物理量の測定では，距離や加速度，照度，温度など，各種のセンサーを用いて検出した値を電気信号に変え，コンピュータに取り込んで記録する。素早く変化する値の測定や大量のデータが必要な測定に有効である。記録したデータは編集したり，計算・グラフ化したり，ネットワークを通して他のコンピュータと共有したりできる。

⇧図 1　斜面をすべりおりる物体の加速度の測定

2　データ処理

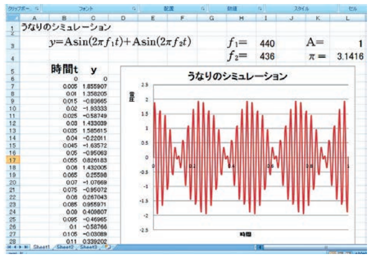
実験結果を整理したり計算したりして考察し，発表用の表やグラフを作成するのに，表計算ソフトは有効である。測定点を平均化した直線やその傾き，切片などの値を得ることも簡単にできる。



⇧図 2　重力加速度の測定

3　シミュレーション

実際に実験することが困難な現象や，音波のように目に見えない現象でも，数学的なモデルを用いて，コンピュータ上に実現させ，視覚化して結果を予測することができる。また，表計算ソフトのグラフ機能も視覚化に利用できる。インターネット上には，オンラインでシミュレーションを行うサイトや優れたフリーソフトも存在する。



⇧図 3　表計算ソフトを用いたうなりのシミュレーション

4　インターネットの利用

検索サイトを活用してウェブページを閲覧し，知りたい情報を得ることができる。大学や各種の研究機関では，最新の研究成果を公表しているところも多い。しかし，インターネット上の情報は，専門家の書いた書籍と異なり，誰でも発信できるため，情報に信頼性があるかどうかや更新されている情報であるかどうかなど，常に気をつけなくてはならない。

✔Check ウェブサイトの例

例　高エネルギー加速器研究機構
http://www.kek.jp/
宇宙航空研究開発機構（JAXA）
http://www.jaxa.jp/

資料 2 数値の表し方

1 大きな量や小さな量の表し方

物理では，地球の質量のようにきわめて大きな量や，電子の質量のようにきわめて小さな量を扱うことがある。

例 地球の質量：5 972 000 000 000 000 000 000 000 kg

電子の質量：0.000 000 000 000 000 000 000 000 000 000 911 kg

このとき，「0」をたくさん並べて表現すると，桁の数え間違いなどの原因となる。そこで，位取りの 0 を 10^n の形を使って表す。

2 累乗と指数

n 個の a をかけ合わせたものを a^n と書き，a の n 乗と読む。また，n を a^n の **指数** という。

✔Check
$$a^n = \underbrace{a\times a\times\cdots\times a}_{n\,個}$$

例 $a\times a\times a=a^3$，$a\times a\times a\times a\times a=a^5$，$1000=10\times10\times10=10^3$

$2^{10}=2\times2\times2\times2\times2\times2\times2\times2\times2\times2=1024$

ただし，a の 1 乗は a^1 と書かずに，単に a と書く。また，a^2 を a の平方，a^3 を a の立方ともいい，a，a^2，a^3，…をまとめて a の **累乗** という。指数が 0 または負の整数の場合の累乗は，次のように決める($n\neq0$)。

✔Check
累乗の考え方は，単位でも用いることができる。
例 m^2：平方メートル
m^3：立方メートル

$$a^0=1,\quad a^{-n}=\frac{1}{a^n}$$

例 $0.001=\dfrac{1}{1000}=\dfrac{1}{10\times10\times10}=\dfrac{1}{10^3}=10^{-3}$

一般に，累乗について，次の指数法則が成り立つ。

> $a\neq0$，$b\neq0$ で，m，n は実数とするとき，
> $$\boldsymbol{a^m a^n=a^{m+n},\quad (a^m)^n=a^{mn},\quad (ab)^n=a^n b^n,\quad a^{-n}=\frac{1}{a^n},\quad a^0=1}$$

また，$A\times10^n$ の形で表すときには，A は $1\leqq A<10$ にするのがふつうである。ここで，地球の質量や電子の質量を指数の形で表してみよう。

$$5\,\underbrace{972\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000}_{位が24桁ある}\ \mathrm{kg}=5.972\times10^{24}\ \mathrm{kg}$$

$$\underbrace{0.000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,000\,9}_{位が31桁ある}11\ \mathrm{kg}=9.11\times10^{-31}\ \mathrm{kg}$$

単位の記号に 10 の累乗を表す記号をつけて表現すると便利である。例えば，kg の k は 10^3 を表す接頭語であり，他にも，10 の累乗を表す接頭語には様々なものがある。

➡ p.249

問 1 次の量を $A\times10^n$ の形で表せ。ただし，$1\leqq A<10$ とする。

(1) 光が真空中を進む速さ　300 000 000 m/s　　3×10^8 m/s

(2) 太陽と地球との距離　149 600 000 km　　1.496×10^8 km

(3) 陽子の質量　0.000 000 000 000 000 000 000 000 001 673 kg　　1.673×10^{-27} kg

資料

資料 3 測定値の処理と有効数字

1 測定値と誤差

実験では，ものさしや電流計といった計器を用いて目的の量を測定する。そのとき，いかに正しい計器を使い，細心の注意を払ったとしても，計器の精度や人間の読み取り能力には限界があるので，測定値は真の値を示しているわけではない。実際には真の値は，平均値など真の値とみなせる値で代用することが多い。測定値と真の値との差を **誤差**（または **絶対誤差**）といい，誤差の絶対値と真の値（または測定値）との比を **相対誤差** という。相対誤差は，比の値を百分率（%）で表すのがふつうである。

$$\text{誤差} = \text{測定値} - \text{真の値} \qquad \text{相対誤差} = \frac{\text{誤差の絶対値}}{\text{真の値（または測定値）}} \times 100\ \%$$

同じ 0.5 cm の誤差でも，測定値が 5 m の場合と 12 cm の場合とでは意味が違う。測定の精度としては前者が優れている。このように，精度のよさを表すには相対誤差のほうが適している。誤差は，その原因によって次の 2 つに分類できる。

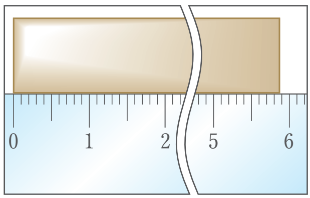
① **系統誤差**……測定原理や理論の間違い，計器の欠陥や狂い，測定環境や測定条件の変動，測定者の読み取り方の癖や未熟さによって生じるもの。

② **偶然誤差**……測定者が関知できない理由によって，統計的に偶然起きるもの。

このうち，①は原因を明らかにし，理論と計器の改良，測定条件を一定にすること，測定者の訓練などによって防ぐことができる。②は人為的に防ぐことはできないが，正の誤差と負の誤差は均等に現れることが多いので，測定回数を多くし，平均をとることによって，その影響を小さくすることができる。

2 有効数字

目盛りのある計器で測定するときは，最小目盛りの $\frac{1}{10}$ まで，目分量で読む。例えば，図 1 では最小目盛りが 1 mm のものさしで測定しているので，0.1 mm の位まで読んで，「58.7 mm」と表す。この場合，5，8，7 はいずれも測定で得た意味のある数字なので **有効数字** といい，**有効数字は 3 桁である** という。



⬆図 1　長さの測定

もし，目盛りの線上に測定値があれば，例えば「29.0 mm」のように表す。この場合の有効数字は，2，9，0 である。末尾の 0 を省略したり，むやみに 0 を末尾につけ加えたりしてはいけない。また，1200 m というような測定値の場合は，どこまでが正確に測定して得られた数値であるかを明確にするため，10 m の位まで測定した場合は「1.20×10^3 m」と書いて，有効数字が 3 桁であることをはっきりさせる。この場合，1，2，0 の 3 個が有効数字であり，10 m の位までは確かであるという意味になる。

3 有効数字の桁数と測定の精度

測定の精度は相対誤差で表される。例えば，58.7 mm という測定値の場合，真の値は 58.65〜58.75 mm の間にあるので，±0.05 mm の誤差を含む。したがって，相対誤差は，

$$\frac{0.05\ \mathrm{mm}}{58.7\ \mathrm{mm}}\times 100\ \% \fallingdotseq 0.085\ \%$$

となる。もし，測定値 59 mm と読んだ場合には，誤差は ±0.5 mm となるので，相対誤差は，

$$\frac{0.5\ \mathrm{mm}}{59\ \mathrm{mm}}\times 100\ \% \fallingdotseq 0.85\ \%$$

となる。有効数字の桁数が 1 つ違うと，測定の精度は 10 倍も違うのである。このように，有効数字の桁数で測定精度のおよその見当をつけることができる。

表 1　有効数字の桁数と相対誤差との関係

有効数字	相対誤差
1 桁	5 〜 50 %
2 桁	0.5 〜 5 %
3 桁	0.05 〜 0.5 %
4 桁	0.005 〜0.05 %

4 測定値の計算

測定値は誤差を含むので，測定値を用いて計算するときには，有効数字の桁数や位取りを考えて処理する必要がある。

(1)　**和と差**　測定値の和や差を求めるときには，小数点をそろえ，**最後の桁の位取りが最も高いものに合わせて** 計算結果を出す。

例

$$\begin{array}{r} 17.3 \\ +)\ \underline{0.476} \\ 17.\cancel{7}\cancel{76} \\ 8 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 0.0392 \\ +)\ \underline{2.66} \\ 2.\cancel{69}\cancel{92} \\ 70 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 5.341 \\ -)\ \underline{2.5} \\ 2.8\cancel{41} \end{array}$$

(2)　**積と商**　測定値の積や商を求めるときには，**有効数字の桁数の最も少ないものに合わせて** 計算結果を出す。

例 7.2 × 53.8

ともに小数第 1 位に誤差を含んでいる。計算したときに，小数第 1 位の数値が影響する部分(右の計算で　の部分)は誤差を含む。したがって，計算結果の有効数字は 2 桁とみなされ，結果は 3.9×10^2 となる。

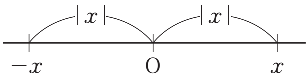
$$\begin{array}{r} 7.2 \\ \times)\ \underline{53.8} \\ 576 \\ 216 \\ \underline{360} \\ 3\cancel{8}\cancel{7}.36 \\ 9 \end{array}$$

途中の計算では，最終的に必要な桁数よりも 1 桁程度多く取って計算をする。例えば，半径 r=5.3 cm の円の円周 $2\pi r$ を求める場合，π=3.141592653589…… だが，r の有効数字が 2 桁だから，π=3.14 とし，$2\pi r$=2×3.14×5.3 cm と計算すればよい。結果が 2 桁だからといって，計算結果のもとになる数値まで 2 桁にすると，計算の誤差が大きくなるのでよくない。なお，$2\pi r$ の 2 は測定値ではなく正確な数値なので，有効数字を考えなくてよい。

資料 4　物理で使う主な数学的知識

1 数式について　（分数の分母はすべて 0 ではないものとする）

◇**絶対値**　数直線上で，x が表す点と原点との間の距離を $|x|$ で表す。



$$|x|=\begin{cases} x & (x\geqq 0) \\ -x & (x<0) \end{cases}$$

例　$|3|=3$
　　$|-3|=3$

◇**分数**　$\dfrac{a}{b}=a\div b=a\times\dfrac{1}{b}$

分数の四則　$\dfrac{a}{b}\pm\dfrac{c}{d}=\dfrac{ad\pm bc}{bd}$，　$\dfrac{a}{b}\times\dfrac{c}{d}=\dfrac{ac}{bd}$，　$\dfrac{a}{b}\div\dfrac{c}{d}=\dfrac{a}{b}\times\dfrac{d}{c}=\dfrac{ad}{bc}$

$\dfrac{\dfrac{a}{b}}{\dfrac{c}{d}}=\dfrac{a}{b}\div\dfrac{c}{d}=\dfrac{a}{b}\times\dfrac{d}{c}=\dfrac{ad}{bc}$　（分数の分数）

◇**平方根**　正の数 a，b，k について，

$(\sqrt{a})^2=a$，　$\sqrt{a^2}=a$，　$\sqrt{a}\sqrt{b}=\sqrt{ab}$，　$\sqrt{k^2a}=k\sqrt{a}$，　$\dfrac{\sqrt{a}}{\sqrt{b}}=\sqrt{\dfrac{a}{b}}$，　$\sqrt{\dfrac{a}{k^2}}=\dfrac{\sqrt{a}}{k}$

分母の有理化　$\dfrac{a}{\sqrt{b}}=\dfrac{a}{\sqrt{b}}\times\dfrac{\sqrt{b}}{\sqrt{b}}=\dfrac{a\sqrt{b}}{b}$

例　$\dfrac{1}{\sqrt{3}}=\dfrac{1}{\sqrt{3}}\times\dfrac{\sqrt{3}}{\sqrt{3}}=\dfrac{\sqrt{3}}{3}$

◇**比の計算**　$a:b=c:d$ のとき，$ad=bc$　（外項の積＝内項の積）

$k\neq 0$ のとき，$a:b=ka:kb=\dfrac{a}{k}:\dfrac{b}{k}$

◇**因数分解**　整式を 2 つ以上の整式の積の形に表すことを **因数分解** するといい，積の形で表された各整式を，それぞれ元の整式の **因数** という。

因数分解の主な公式

1. $a^2+2ab+b^2=(a+b)^2$，　$a^2-2ab+b^2=(a-b)^2$
2. $a^2-b^2=(a+b)(a-b)$
3. $x^2+(a+b)x+ab=(x+a)(x+b)$
4. $acx^2+(ad+bc)x+bd=(ax+b)(cx+d)$

◇**2 次方程式の解の公式**（$a\neq 0$）

$ax^2+bx+c=0$ の解は，$x=\dfrac{-b\pm\sqrt{b^2-4ac}}{2a}$

$ax^2+2b'x+c=0$ の解は，$x=\dfrac{-b'\pm\sqrt{b'^2-ac}}{a}$

例　$3x^2-5x+1=0$ の解

$$x=\frac{-(-5)\pm\sqrt{(-5)^2-4\cdot 3\cdot 1}}{2\cdot 3}=\frac{5\pm\sqrt{13}}{6}$$

◇**指数の公式**　$a\neq 0$，$b\neq 0$ で，x，y は実数とする。

$a^xa^y=a^{x+y}$，　$(a^x)^y=a^{xy}$，　$(ab)^x=a^xb^x$，　$a^{-x}=\dfrac{1}{a^x}$，　$a^0=1$

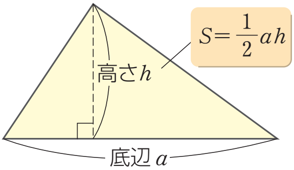
◇**対数の公式**　$a>0$，$a\neq 1$ で，$x>0$，$y>0$ とする。

$x=a^y \Longleftrightarrow y=\log_a x$，　$\log_a a=1$，　$\log_a 1=0$，　$\log_a x^n=n\log_a x$

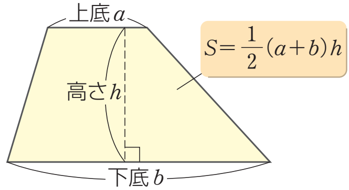
$\log_a xy=\log_a x+\log_a y$，　$\log_a\dfrac{x}{y}=\log_a x-\log_a y$

2 図形について

◇三角形の面積



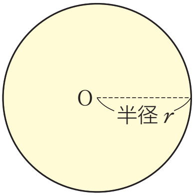
◇台形の面積



◇半径 r の円の円周・面積

円周：$L=2\pi r$

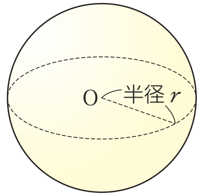
面積：$S=\pi r^2$



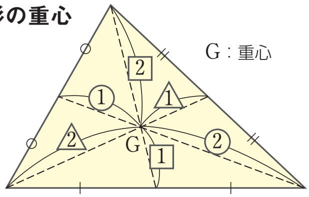
◇半径 r の球の表面積・体積

表面積：$S=4\pi r^2$

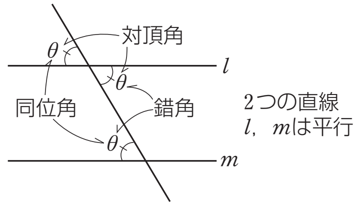
体積：$V=\frac{4}{3}\pi r^3$



◇三角形の重心



◇同位角，錯角，対頂角

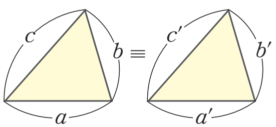


◇三角形の合同条件

2 つの三角形において，以下の条件が成り立つとき，これらは合同である。

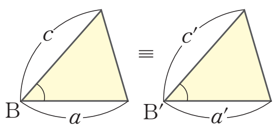
(1) 3組の辺が，それぞれ等しい。

$a=a'$，$b=b'$，$c=c'$



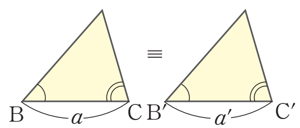
(2) 2組の辺とその間の角が，それぞれ等しい。

$a=a'$，$c=c'$，$\angle B=\angle B'$



(3) 1組の辺とその両端の角が，それぞれ等しい。

$a=a'$，$\angle B=\angle B'$，$\angle C=\angle C'$

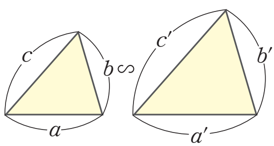


◇三角形の相似条件

2 つの三角形において，以下の条件が成り立つとき，これらは相似である。

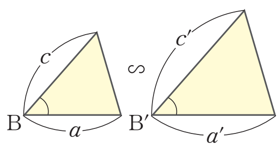
(1) 3組の辺の比が，すべて等しい。

$a:a'=b:b'=c:c'$



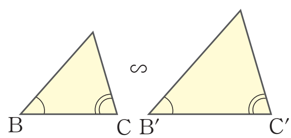
(2) 2組の辺の比とその間の角が，それぞれ等しい。

$a:a'=c:c'$，$\angle B=\angle B'$



(3) 2組の角が，それぞれ等しい。

$\angle B=\angle B'$，$\angle C=\angle C'$

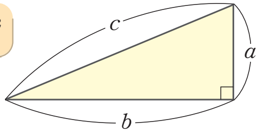


資料

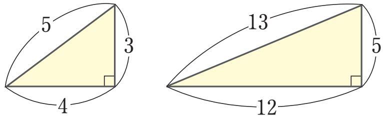
◇三平方の定理

図の直角三角形において，次の関係式が成り立つ。

$a^2+b^2=c^2$

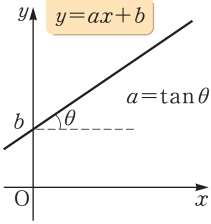


例

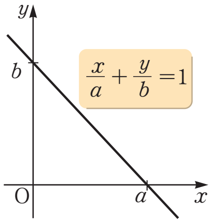


◇直線のグラフと式

$y=ax+b$

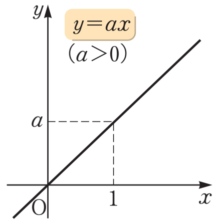


$\dfrac{x}{a}+\dfrac{y}{b}=1$



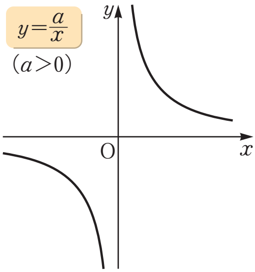
例 $y=ax+b$ で $b=0$ のときが比例のグラフである。
また，y が x に比例するとき，$y\propto x$ のように表すことがある。

$y=ax$
$(a>0)$

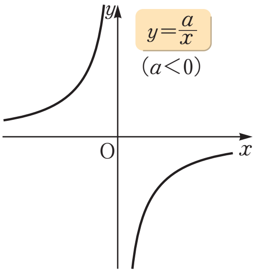


◇反比例のグラフと式

$y=\dfrac{a}{x}$
$(a>0)$

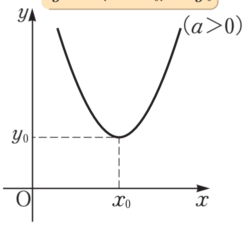


$y=\dfrac{a}{x}$
$(a<0)$

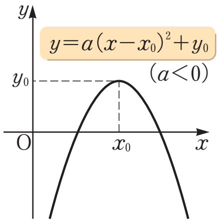


◇放物線のグラフと式

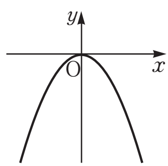
$y=a(x-x_0)^2+y_0$
$(a>0)$



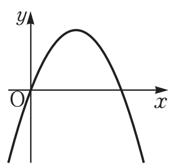
$y=a(x-x_0)^2+y_0$
$(a<0)$



例 $y=ax^2$
$(a<0)$

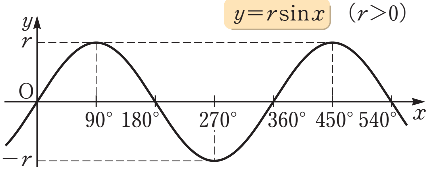


$y=ax^2+bx$
$(a<0,\ b>0)$

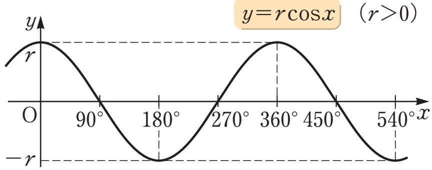


◇三角関数のグラフと式

$y=r\sin x$ $(r>0)$

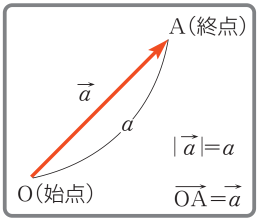


$y=r\cos x$ $(r>0)$



3 ベクトルについて

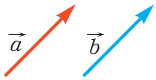
大きさと向きをもつ量を **ベクトル** といい，始点から終点に向かう矢印のついた線分で表される。変位や速度，加速度，力などはベクトルである。



ベクトルでは，物理量の大きさと向きが，それぞれ矢印の長さと向きに対応する。ベクトルは文字の上に矢印をつけて $\vec{a}$ のように表し，その大きさは a または $|\vec{a}|$ と表す。始点と終点が一致するとき，大きさが 0 のベクトルと考えて，零ベクトルといい，$\vec{0}$ と表す。

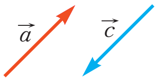
一方，長さ，時間，質量など，大きさだけをもつ量を **スカラー** という。

等しいベクトル　$\vec{b}=\vec{a}$



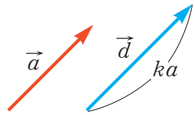
大きさと向きが同じ

逆ベクトル　$\vec{c}=-\vec{a}$



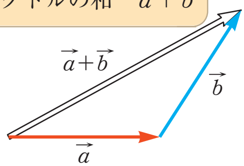
同じ大きさで向きが逆

実数倍のベクトル　$\vec{d}=k\vec{a}$

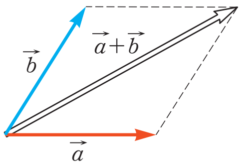


・同じ方向で k 倍の大きさ
・k が負のときは向きが逆

ベクトルの和　$\vec{a}+\vec{b}$

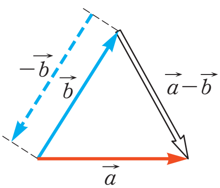


① $\vec{a}$ の終点に $\vec{b}$ の始点を重ねる。
② $\vec{a}$ の始点から $\vec{b}$ の終点への矢印を作図する。

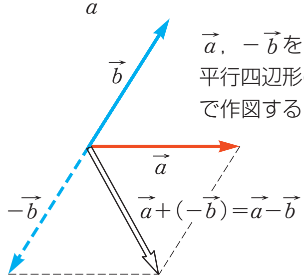


$\vec{a}$，$\vec{b}$ を 2 辺とする平行四辺形の対角線で作図する。

ベクトルの差　$\vec{a}-\vec{b}$



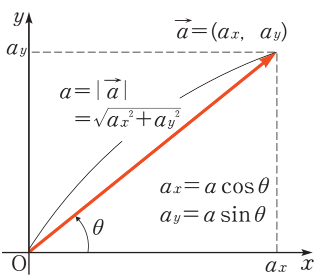
① $\vec{a}$ の始点に $\vec{b}$ の始点を重ねる。
② $\vec{b}$ の終点から $\vec{a}$ の終点への矢印を作図する。

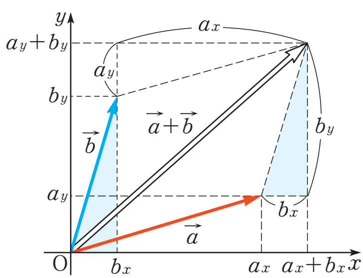


$\vec{a}$，$-\vec{b}$ を 2 辺とする平行四辺形の対角線で作図する。

ベクトルの成分

$\vec{a}=(a_x,\ a_y)$，
$\vec{b}=(b_x,\ b_y)$
とすると，
$\vec{a}+\vec{b}$
$=(a_x+b_x,\ a_y+b_y)$



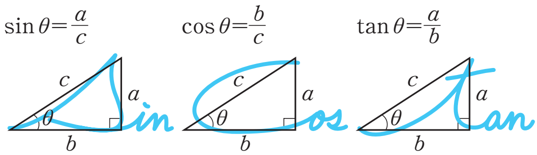


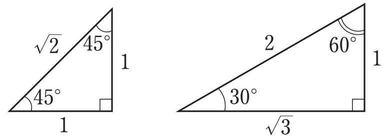
資料

4 三角比と三角関数について

◇三角比

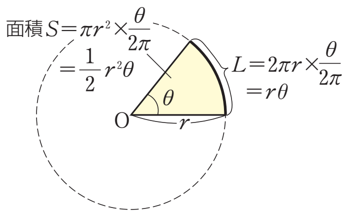
θ〔°〕	0	30	45	60	90
$\sin\theta$	0	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	1
$\cos\theta$	1	$\frac{\sqrt{3}}{2}$	$\frac{1}{\sqrt{2}}$	$\frac{1}{2}$	0
$\tan\theta$	0	$\frac{1}{\sqrt{3}}$	1	$\sqrt{3}$	なし





◇弧度法

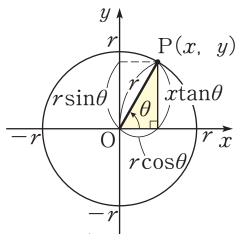
弧度法（こどほう）　弧の長さが半径の長さに等しいとき，その弧に対する中心角を 1 rad（ラジアン）とする。半径 r〔m〕の円では，弧の長さが L〔m〕のときの中心角 θ〔rad〕は，$\theta=\frac{L}{r}$ と表される。また，θ〔rad〕と φ〔°〕の関係は，$\theta=\varphi\times\frac{\pi}{180}$ である。



φ〔°〕	0	30	45	約 57	60	90	180	270	360
θ〔rad〕	0	$\frac{\pi}{6}$	$\frac{\pi}{4}$	1	$\frac{\pi}{3}$	$\frac{\pi}{2}$	π	$\frac{3}{2}\pi$	2π

◇三角関数

点Pが原点Oを中心とする半径 r の円周上にあり，その座標を $(x,\ y)$，動径 OP が x 軸の正の向きとなす角を θ とする。このとき，角 θ に対する正弦 $(\sin\theta)$，余弦 $(\cos\theta)$，正接 $(\tan\theta)$ を次式で定義する。



$$\sin\theta=\frac{y}{r}\ ,\quad \cos\theta=\frac{x}{r}\ ,\quad \tan\theta=\frac{y}{x}$$

（ただし，x の値が 0 となる θ の値に対しては $\tan\theta$ は定義されない。）

$\sin\theta$，$\cos\theta$，$\tan\theta$ は θ の関数で，これらをまとめて θ の **三角関数** という。

◇三角関数の主な公式（複号同順）

・三角関数の相互関係　$\tan\theta=\frac{\sin\theta}{\cos\theta}$，　$\sin^2\theta+\cos^2\theta=1$

$\sin(-\theta)=-\sin\theta$　　$\cos(-\theta)=\cos\theta$　　$\tan(-\theta)=-\tan\theta$

$\sin(\theta\pm\pi)=-\sin\theta$　　$\cos(\theta\pm\pi)=-\cos\theta$　　$\tan(\theta\pm\pi)=\tan\theta$

$\sin\left(\theta\pm\frac{\pi}{2}\right)=\pm\cos\theta$　　$\cos\left(\theta\pm\frac{\pi}{2}\right)=\mp\sin\theta$　　$\tan\left(\theta\pm\frac{\pi}{2}\right)=-\frac{1}{\tan\theta}$

・2 倍角の公式　$\sin 2\theta=2\sin\theta\cos\theta$，$\cos 2\theta=\cos^2\theta-\sin^2\theta=2\cos^2\theta-1=1-2\sin^2\theta$

・加法定理　$\sin(\alpha\pm\beta)=\sin\alpha\cos\beta\pm\cos\alpha\sin\beta$，$\cos(\alpha\pm\beta)=\cos\alpha\cos\beta\mp\sin\alpha\sin\beta$

・三角関数の合成　$A\sin\theta+B\cos\theta=\sqrt{A^2+B^2}\sin(\theta+\alpha)$

$\left(\text{ただし，}\cos\alpha=\frac{A}{\sqrt{A^2+B^2}},\ \sin\alpha=\frac{B}{\sqrt{A^2+B^2}},\ \tan\alpha=\frac{B}{A}\right)$

◇三角関数表

角		正弦	余弦	正接
度	弧度〔rad〕	(sin)	(cos)	(tan)
0°	0.0000	**0.0000**	**1.0000**	**0.0000**
1°	0.0175	0.0175	0.9998	0.0175
2°	0.0349	0.0349	0.9994	0.0349
3°	0.0524	0.0523	0.9986	0.0524
4°	0.0698	0.0698	0.9976	0.0699
5°	0.0873	0.0872	0.9962	0.0875
6°	0.1047	0.1045	0.9945	0.1051
7°	0.1222	0.1219	0.9925	0.1228
8°	0.1396	0.1392	0.9903	0.1405
9°	0.1571	0.1564	0.9877	0.1584
10°	0.1745	0.1736	0.9848	0.1763
11°	0.1920	0.1908	0.9816	0.1944
12°	0.2094	0.2079	0.9781	0.2126
13°	0.2269	0.2250	0.9744	0.2309
14°	0.2443	0.2419	0.9703	0.2493
15°	0.2618	0.2588	0.9659	0.2679
16°	0.2793	0.2756	0.9613	0.2867
17°	0.2967	0.2924	0.9563	0.3057
18°	0.3142	0.3090	0.9511	0.3249
19°	0.3316	0.3256	0.9455	0.3443
20°	0.3491	0.3420	0.9397	0.3640
21°	0.3665	0.3584	0.9336	0.3839
22°	0.3840	0.3746	0.9272	0.4040
23°	0.4014	0.3907	0.9205	0.4245
24°	0.4189	0.4067	0.9135	0.4452
25°	0.4363	0.4226	0.9063	0.4663
26°	0.4538	0.4384	0.8988	0.4877
27°	0.4712	0.4540	0.8910	0.5095
28°	0.4887	0.4695	0.8829	0.5317
29°	0.5061	0.4848	0.8746	0.5543
30°	0.5236	**0.5000**	0.8660	0.5774
31°	0.5411	0.5150	0.8572	0.6009
32°	0.5585	0.5299	0.8480	0.6249
33°	0.5760	0.5446	0.8387	0.6494
34°	0.5934	0.5592	0.8290	0.6745
35°	0.6109	0.5736	0.8192	0.7002
36°	0.6283	0.5878	0.8090	0.7265
37°	0.6458	0.6018	0.7986	0.7536
38°	0.6632	0.6157	0.7880	0.7813
39°	0.6807	0.6293	0.7771	0.8098
40°	0.6981	0.6428	0.7660	0.8391
41°	0.7156	0.6561	0.7547	0.8693
42°	0.7330	0.6691	0.7431	0.9004
43°	0.7505	0.6820	0.7314	0.9325
44°	0.7679	0.6947	0.7193	0.9657
45°	0.7854	0.7071	0.7071	**1.0000**

角		正弦	余弦	正接
度	弧度〔rad〕	(sin)	(cos)	(tan)
46°	0.8029	0.7193	0.6947	1.0355
47°	0.8203	0.7314	0.6820	1.0724
48°	0.8378	0.7431	0.6691	1.1106
49°	0.8552	0.7547	0.6561	1.1504
50°	0.8727	0.7660	0.6428	1.1918
51°	0.8901	0.7771	0.6293	1.2349
52°	0.9076	0.7880	0.6157	1.2799
53°	0.9250	0.7986	0.6018	1.3270
54°	0.9425	0.8090	0.5878	1.3764
55°	0.9599	0.8192	0.5736	1.4281
56°	0.9774	0.8290	0.5592	1.4826
57°	0.9948	0.8387	0.5446	1.5399
58°	1.0123	0.8480	0.5299	1.6003
59°	1.0297	0.8572	0.5150	1.6643
60°	1.0472	0.8660	**0.5000**	1.7321
61°	1.0647	0.8746	0.4848	1.8040
62°	1.0821	0.8829	0.4695	1.8807
63°	1.0996	0.8910	0.4540	1.9626
64°	1.1170	0.8988	0.4384	2.0503
65°	1.1345	0.9063	0.4226	2.1445
66°	1.1519	0.9135	0.4067	2.2460
67°	1.1694	0.9205	0.3907	2.3559
68°	1.1868	0.9272	0.3746	2.4751
69°	1.2043	0.9336	0.3584	2.6051
70°	1.2217	0.9397	0.3420	2.7475
71°	1.2392	0.9455	0.3256	2.9042
72°	1.2566	0.9511	0.3090	3.0777
73°	1.2741	0.9563	0.2924	3.2709
74°	1.2915	0.9613	0.2756	3.4874
75°	1.3090	0.9659	0.2588	3.7321
76°	1.3265	0.9703	0.2419	4.0108
77°	1.3439	0.9744	0.2250	4.3315
78°	1.3614	0.9781	0.2079	4.7046
79°	1.3788	0.9816	0.1908	5.1446
80°	1.3963	0.9848	0.1736	5.6713
81°	1.4137	0.9877	0.1564	6.3138
82°	1.4312	0.9903	0.1392	7.1154
83°	1.4486	0.9925	0.1219	8.1443
84°	1.4661	0.9945	0.1045	9.5144
85°	1.4835	0.9962	0.0872	11.4301
86°	1.5010	0.9976	0.0698	14.3007
87°	1.5184	0.9986	0.0523	19.0811
88°	1.5359	0.9994	0.0349	28.6363
89°	1.5533	0.9998	0.0175	57.2900
90°	1.5708	**1.0000**	**0.0000**	なし

資料

5 平方根の求め方

◇**よく使う平方根の語呂合わせ**　$\sqrt{\ }$ の中が 1 から 10 までの整数で，$\sqrt{1}=1$，$\sqrt{4}=2$，$\sqrt{9}=3$ 以外のものは，次のように暗記しておくとよい。

$\sqrt{2}=1.41421356\cdots$（一夜一夜に人見ごろ）　$\sqrt{3}=1.7320508\cdots$（人並みにおごれや）

$\sqrt{5}=2.2360679\cdots$（富士山麓，オウム鳴く）　$\sqrt{7}=2.64575\cdots$（菜に虫いない）

他は，　$\sqrt{6}=\sqrt{2}\times\sqrt{3}$，　$\sqrt{8}=2\sqrt{2}$，　$\sqrt{10}=\sqrt{2}\times\sqrt{5}$　として求められる。

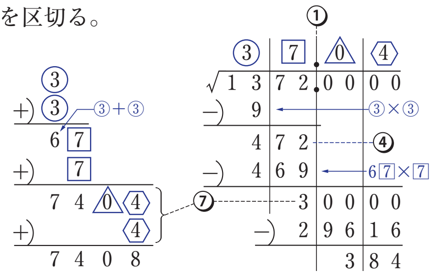
◇**素因数分解の利用**　まず，$\sqrt{\ }$ の中に n^2 の形がないか考える。

例 $\sqrt{8\times0.98}=\sqrt{\dfrac{8\times2\times49}{100}}=\sqrt{\dfrac{4^2\times7^2}{10^2}}=\dfrac{4\times7}{10}=2.8$

$\sqrt{192}=\sqrt{64\times3}=\sqrt{8^2\times3}=8\sqrt{3}\fallingdotseq8\times1.73=13.84$

◇**開平計算**　上記を含めた一般的な場合の求め方を示す。

例 $\sqrt{1372}=37.04\cdots\cdots$



① 小数点を基準にして，2 桁ずつ数字を区切る。

② いちばん左端の区切りの中の数 13 に注目する。2 乗して 13 以下になるような最大の整数 3 を見つけ，その 3 を左の余白に縦に 2 つ書く。

③ 3+3=6 と 3×3=9 を計算し，それぞれ図の位置に書く。

④ 13−9=4 を計算し，次の区切りの数 72 を下ろす。

⑤ 472 に対し，6□×□ が 472 以下になるような最大の整数 $\boxed{7}$ を見つける。

⑥ 67+7=74 と 67×7=469 を計算し，それぞれ図の位置に書く。

⑦ 472−469=3 を計算し，次の区切りの数 00 を下ろす。この場合，74△×△ が 300 以下になるような最大の整数△は 0 なので，△を 0 とし，次の区切りの数 00 を下ろす。30000 に対して，740⬡×⬡ が 30000 以下になるような最大の整数 4 を見つける。

⑧ 以下，⑥〜⑦を繰り返す。

6 近似計算

◇$|a|$ が 1 に比べて十分に小さい（$|a|\ll1$）とき，a の 2 次以上の項が無視できる。

$$(1+a)^n\fallingdotseq1+na \quad (n\text{ はあまり大きくない実数})$$

例 $(1+a)^2\fallingdotseq1+2a$，　$(1+a)^3\fallingdotseq1+3a$

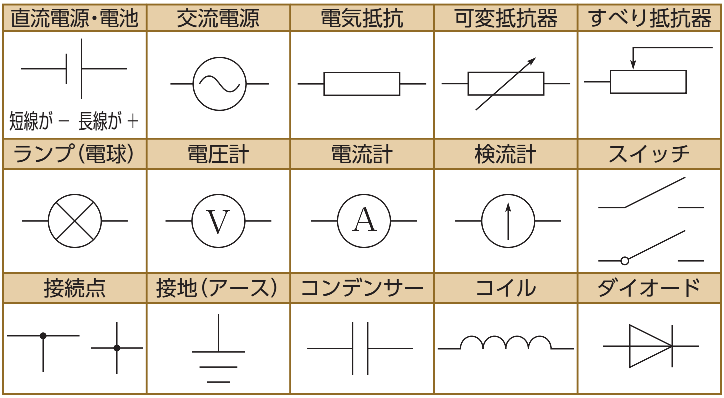
$\sqrt{1+a}=(1+a)^{\frac{1}{2}}\fallingdotseq1+\dfrac{1}{2}a$，　$\dfrac{1}{1+a}=(1+a)^{-1}\fallingdotseq1-a$

◇角の大きさ θ〔rad〕が 1 と比べて十分に小さい（$\theta\ll1$）とき，

$$\sin\theta\fallingdotseq\theta,\quad \cos\theta\fallingdotseq1,\quad \tan\theta\fallingdotseq\theta(\fallingdotseq\sin\theta)$$

資料 5 物理で使う記号・文字

電気用図記号



直流，交流の違いを示すために，文字の下に記号をつけてもよい。

10 の整数乗倍を表す SI 接頭語

名 称		記号	大きさ	名 称		記号	大きさ
エクサ	exa	E	10^{18}	デシ	deci	d	10^{-1}
ペタ	peta	P	10^{15}	センチ	centi	c	10^{-2}
テラ	tera	T	10^{12}	ミリ	milli	m	10^{-3}
ギガ	giga	G	10^{9}	マイクロ	micro	μ	10^{-6}
メガ	mega	M	10^{6}	ナノ	nano	n	10^{-9}
キロ	kilo	k	10^{3}	ピコ	pico	p	10^{-12}
ヘクト	hecto	h	10^{2}	フェムト	femto	f	10^{-15}
デカ	deca	da	10^{1}	アト	atto	a	10^{-18}

ギリシャ文字とその読み方

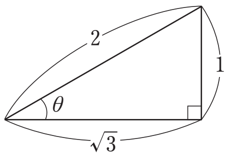
大文字	小文字	読み方	使用例	大文字	小文字	読み方	使用例
Α	α	アルファ	α 線	Ν	ν	ニュー	
Β	β	ベータ	β 線	Ξ	ξ	グザイ，クシー	
Γ	γ	ガンマ	γ 線	Ο	o	オミクロン	
Δ	δ	デルタ	変化量を表す Δ	Π	π	パイ	円周率 π
Ε	ε	イプシロン		Ρ	ρ	ロー	密度 ρ 抵抗率 ρ
Ζ	ζ	ツェータ		Σ	σ	シグマ	数列の和 Σ
Η	η	イータ		Τ	τ	タウ	
Θ	θ	シータ	角 θ	Υ	υ	ウプシロン	
Ι	ι	イオタ		Φ	ϕ，φ	ファイ	
Κ	κ	カッパ		Χ	χ	カイ	
Λ	λ	ラムダ	波長 λ	Ψ	ψ	プサイ，プシー	
Μ	μ	ミュー	静止摩擦係数 μ	Ω	ω	オメガ	抵抗の単位 Ω

資料

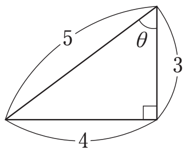
練習 1 三角関数の練習

1 三角比　次の直角三角形の $\sin\theta$, $\cos\theta$, $\tan\theta$ の値をそれぞれ求めよ。ただし，答えは分数のままでよく，平方根はそのままで答えてよい。なお，図に示しているのは，各辺の長さの比である。

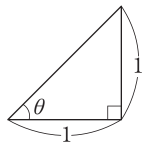
(1)



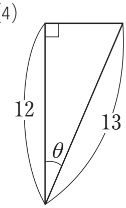
(2)



(3)



(4)



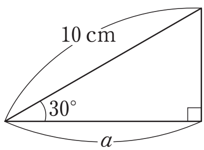
2 三角関数　次の三角関数の値を求めよ。ただし，答えは分数のままでよく，平方根はそのままで答えてよい。

(1)　$\sin 30^\circ$　(2)　$\cos 45^\circ$　(3)　$\sin 60^\circ$　(4)　$\tan 60^\circ$

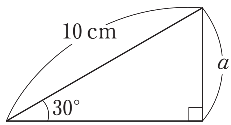
(5)　$\cos 120^\circ$　(6)　$\sin 150^\circ$　(7)　$\cos 30^\circ$　(8)　$\cos 180^\circ$

3 三角比の利用　次の直角三角形の辺の長さ a は何 cm か。ただし，平方根はそのままで答えてよい。

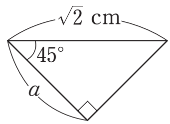
(1)



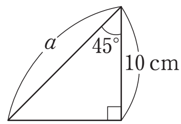
(2)



(3)



(4)



4 三角比の利用　次の問いに答えよ。ただし，平方根はそのままで答えてよい。

(1)　水平面と 30° の傾きをなす坂道を，坂道に沿って 500 m 登った。水平方向に何m進んだか。また，鉛直方向に何m登ったか。

(2)　長さ 6 m のはしごを壁に立てかけたところ，地面とはしごとのなす角が 60° であった。はしごの先端は地面から何mの高さになるか。

5 三角関数　$0^\circ \leqq \theta \leqq 180^\circ$ の範囲で，次の式を満たす θ を求めよ。

(1)　$\sin\theta=\dfrac{\sqrt{3}}{2}$　(2)　$\cos\theta=-\dfrac{1}{\sqrt{2}}$　(3)　$\cos\theta=-1$　(4)　$\sin\theta=1$

答

1 (1)　$\sin\theta=\dfrac{1}{2}$，$\cos\theta=\dfrac{\sqrt{3}}{2}$，$\tan\theta=\dfrac{1}{\sqrt{3}}$　(2)　$\sin\theta=\dfrac{4}{5}$，$\cos\theta=\dfrac{3}{5}$，$\tan\theta=\dfrac{4}{3}$

(3)　$\sin\theta=\dfrac{1}{\sqrt{2}}$，$\cos\theta=\dfrac{1}{\sqrt{2}}$，$\tan\theta=1$　(4)　$\sin\theta=\dfrac{5}{13}$，$\cos\theta=\dfrac{12}{13}$，$\tan\theta=\dfrac{5}{12}$

2 (1)　$\dfrac{1}{2}$　(2)　$\dfrac{1}{\sqrt{2}}$　(3)　$\dfrac{\sqrt{3}}{2}$　(4)　$\sqrt{3}$　(5)　$-\dfrac{1}{2}$　(6)　$\dfrac{1}{2}$　(7)　$\dfrac{\sqrt{3}}{2}$　(8)　-1

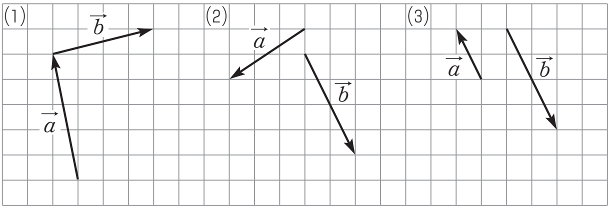
3 (1)　$5\sqrt{3}$ cm　(2)　5 cm　(3)　1 cm　(4)　$10\sqrt{2}$ cm

4 (1)　水平方向：$250\sqrt{3}$ m，鉛直方向：250 m　(2)　$3\sqrt{3}$ m

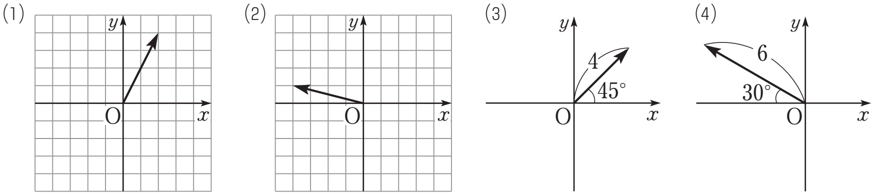
5 (1)　60°，120°　(2)　135°　(3)　180°　(4)　90°

練習 2 ベクトルの練習

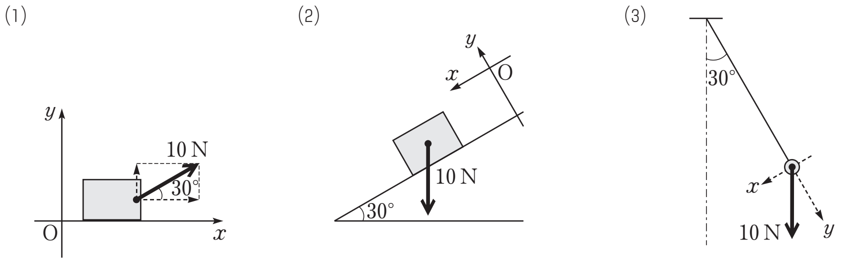
1 ベクトルの合成 次の 2 つのベクトル $\vec{a}$，$\vec{b}$ を合成せよ。



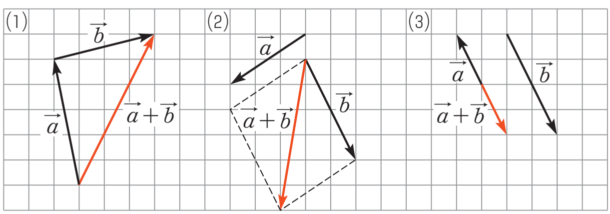
2 ベクトルの成分 次のベクトルの x 成分，y 成分をそれぞれ求めよ。ただし，図の 1 目盛りを 1 として，単位は考えなくてよく，平方根はそのままで答えてよい。



3 三角比とベクトル成分 物体に 10 N の力がはたらいている。x 軸，y 軸をそれぞれ次のようにとるとき，この力の x 成分，y 成分をそれぞれ求めよ。ただし，平方根はそのままで答えてよい。



答 **1**



2 (1) $x:2$，$y:4$ (2) $x:-4$，$y:1$ (3) $x:2\sqrt{2}$，$y:2\sqrt{2}$ (4) $x:-3\sqrt{3}$，$y:3$

3 (1) $x:5\sqrt{3}$ N，$y:5$ N (2) $x:5$ N，$y:-5\sqrt{3}$ N (3) $x:5$ N，$y:5\sqrt{3}$ N

資料

章末問題の略解

第1部第1章 p.37

❶ (1) 6.0 m/s　(2) 1.0 m/s^2　(3) 93 m

❷ (1) −0.40 m/s^2　(2) 10 s，20 m
(3) 25 m

❸ 60.0 分　❹ $\dfrac{L}{v_0}$，$L-\dfrac{gL^2}{2{v_0}^2}$

❺ 99 m，5.0 s，鉛直下向きに 44 m/s

第1部第2章 p.73

❶ (1) 4.9 N　(2) 9.8 N

❷ (1) $m(g+a)$　(2) $m(g-b)$

❸ $\mu_0(m+M)g$

❹ (1) $\dfrac{{v_0}^2}{2g(\mu'\cos\theta+\sin\theta)}$
(2) $v_0\sqrt{\dfrac{-\mu'\cos\theta+\sin\theta}{\mu'\cos\theta+\sin\theta}}$

❺ (1) 3 倍　(2) $\dfrac{4}{3}\rho$

第1部第3章 p.101

❶ 0.20 J，-9.8×10^{-2} J，-9.8×10^{-2} J

❷ (1) $mgs\sin\theta$，$-\mu' mgs\cos\theta$，0
(2) $\sqrt{2gs(\sin\theta-\mu'\cos\theta)}$

❸ 2.8 m/s　❹ $\dfrac{v^2}{2g}$ だけ低い

❺ (1) 1.4 m/s　(2) 0.20 m

第2部第1章 p.133

❶ 69 ℃　❷ (1) 10 ℃　(2) 9.0 g

❸ (1) 4.4×10^5 J　(2) 2.5×10^2 K

❹ 2.09×10^3 J

❺ (1) 4.6×10^4 J　(2) 0.48　(3) 3.3×10^4 J

第3部第1章 p.155

❶ 略　❷ (1) 点 D，点 D　(2) 点 A

❸ (1) $\dfrac{\lambda}{4}$〔m〕　(2) 点 e ：0，0，0，0，0
点 f ：0，$2A$，0，$-2A$，0
(3) 節：点 a，c，e，g，i
腹：点 b，d，f，h　(4) $\dfrac{1}{T}$〔Hz〕

❹ (1) 略　(2) ①略　② 略

第3部第2章 p.171

❶ 6.60×10^2 m

❷ (1) ① 大き　② 振幅　③ 波形
(2) ④ うなり　⑤ 402

❸ (1) $\dfrac{v}{L}$　(2) L，3 個　(3) $2v$

❹ (1) 77.8 cm　(2) 3.42×10^2 m/s
(3) 18.0 cm，56.9 cm のところ

第4部第1章 p.187

❶ 3.0 Ω，27 Ω

❷ (1) 2.0 A　(2) 2.4×10^2 kg
(3) 3.6×10^3 J

❸ (1) $\dfrac{enSkV}{L}$　(2) $\dfrac{L}{enSk}$　(3) $\dfrac{1}{enk}$

第4部第2章 p.201

❶ (1) $\dfrac{rP^2}{V^2}$　(2) $\dfrac{1}{n^2}$ 倍

❷ ① 波　② 赤外　③ 可視光　④ 紫外
⑤ X　⑥ 可視光　⑦ 赤外　⑧ 紫外
⑨ X　⑩ γ

第5部第1章 p.217

❶ 1.7×10^{17} J　❷ 3.8×10^8 W

❸ ① 放射能　② 放射性物質　③ α 線
④ β 線　⑤ γ 線　⑥ γ 線　⑦ α 線
⑧ 中性子線

❹ (1) 2.0×10^3 kg　(2) 1.5×10^4 kg

元素の周期表

原子量の値は，IUPAC(国際純正・応用化学連合)の最新(2017 年)の原子量をもとに日本化学会原子量専門委員会で作成した 4 桁の値を示す。
(　)をつけた値は，既知の同位体のうち，よく知られたものの質量数である。

元素記号 / 原子番号 / 元素名 / 原子量（例：53 I ヨウ素 126.9）

常温で気体　常温で液体　常温で固体

非金属元素　金属元素

半導体　強磁性体　天然には存在しない元素　すべて放射性同位体からなる元素

周期＼族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H 水素 1.008																	2 He ヘリウム 4.003
2	3 Li リチウム 6.941	4 Be ベリリウム 9.012											5 B ホウ素 10.81	6 C 炭素 12.01	7 N 窒素 14.01	8 O 酸素 16.00	9 F フッ素 19.00	10 Ne ネオン 20.18
3	11 Na ナトリウム 22.99	12 Mg マグネシウム 24.31											13 Al アルミニウム 26.98	14 Si ケイ素 28.09	15 P リン 30.97	16 S 硫黄 32.07	17 Cl 塩素 35.45	18 Ar アルゴン 39.95
4	19 K カリウム 39.10	20 Ca カルシウム 40.08	21 Sc スカンジウム 44.96	22 Ti チタン 47.87	23 V バナジウム 50.94	24 Cr クロム 52.00	25 Mn マンガン 54.94	26 Fe 鉄 55.85	27 Co コバルト 58.93	28 Ni ニッケル 58.69	29 Cu 銅 63.55	30 Zn 亜鉛 65.38	31 Ga ガリウム 69.72	32 Ge ゲルマニウム 72.63	33 As ヒ素 74.92	34 Se セレン 78.97	35 Br 臭素 79.90	36 Kr クリプトン 83.80
5	37 Rb ルビジウム 85.47	38 Sr ストロンチウム 87.62	39 Y イットリウム 88.91	40 Zr ジルコニウム 91.22	41 Nb ニオブ 92.91	42 Mo モリブデン 95.95	43 Tc テクネチウム (99)	44 Ru ルテニウム 101.1	45 Rh ロジウム 102.9	46 Pd パラジウム 106.4	47 Ag 銀 107.9	48 Cd カドミウム 112.4	49 In インジウム 114.8	50 Sn スズ 118.7	51 Sb アンチモン 121.8	52 Te テルル 127.6	53 I ヨウ素 126.9	54 Xe キセノン 131.3
6	55 Cs セシウム 132.9	56 Ba バリウム 137.3	57~71 ランタノイド	72 Hf ハフニウム 178.5	73 Ta タンタル 180.9	74 W タングステン 183.8	75 Re レニウム 186.2	76 Os オスミウム 190.2	77 Ir イリジウム 192.2	78 Pt 白金 195.1	79 Au 金 197.0	80 Hg 水銀 200.6	81 Tl タリウム 204.4	82 Pb 鉛 207.2	83 Bi ビスマス 209.0	84 Po ポロニウム (210)	85 At アスタチン (210)	86 Rn ラドン (222)
7	87 Fr フランシウム (223)	88 Ra ラジウム (226)	89~103 アクチノイド	104 Rf ラザホージウム (267)	105 Db ドブニウム (268)	106 Sg シーボーギウム (271)	107 Bh ボーリウム (272)	108 Hs ハッシウム (277)	109 Mt マイトネリウム (276)	110 Ds ダームスタチウム (281)	111 Rg レントゲニウム (280)	112 Cn コペルニシウム (285)	113 Nh ニホニウム (278)	114 Fl フレロビウム (289)	115 Mc モスコビウム (289)	116 Lv リバモリウム (293)	117 Ts テネシン (293)	118 Og オガネソン (294)

ランタノイド	57 La ランタン 138.9	58 Ce セリウム 140.1	59 Pr プラセオジム 140.9	60 Nd ネオジム 144.2	61 Pm プロメチウム (145)	62 Sm サマリウム 150.4	63 Eu ユウロピウム 152.0	64 Gd ガドリニウム 157.3	65 Tb テルビウム 158.9	66 Dy ジスプロシウム 162.5	67 Ho ホルミウム 164.9	68 Er エルビウム 167.3	69 Tm ツリウム 168.9	70 Yb イッテルビウム 173.0	71 Lu ルテチウム 175.0
アクチノイド	89 Ac アクチニウム (227)	90 Th トリウム 232.0	91 Pa プロトアクチニウム 231.0	92 U ウラン 238.0	93 Np ネプツニウム (237)	94 Pu プルトニウム (239)	95 Am アメリシウム (243)	96 Cm キュリウム (247)	97 Bk バークリウム (247)	98 Cf カリホルニウム (252)	99 Es アインスタイニウム (252)	100 Fm フェルミウム (257)	101 Md メンデレビウム (258)	102 No ノーベリウム (259)	103 Lr ローレンシウム (262)

原子番号100～118番の元素の性質は不明である。