第1部

物体の運動とエネルギー

運動といえばスポーツや乗り物など身近なものが想像できる。私たちの身の回りのものや、天体、大気、分子など、あまりなじみのないものの運動も、同じ3つの法則で説明できる。この部では、様々な運動と、それと密接に関係する力やエネルギーについて学ぶ。

Key Words

等速直線運動

等加速度直線運動 自由落下

鉛直投射 力 慣性の法則

運動の法則 作用・反作用の法則

仕事 保存力

力学的エネルギー保存の法則

チャンギ空港(シンガポール)

第1章 物体の運動

1 速さ

写真を見て考えよう。(a)の新幹線と(b)の普通列車では、どちらの方が速く動いているだろう。(a)だろうか、(b)だろうか、どちらともいえないだろうか。

(a) 新幹線

(b) 普通列車

1 速さ 物体が運動しているとき、物体の移動距離を、移動に要した時間(経過時間)で割った量、すなわち、単位時間^①あたりの移動距離を**速さ** speed という。

速さ=移動距離/経過時間 (1)

式(1)で、時間の単位に**秒**(記号 **s** second), 距離の単位に**メートル**(記号 **m** meter)を用いると、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、速さの単位に**キロメートル毎時**^②(記号 km/h)などを使うこともあるが、物理では多くの場合、m/sを用いる。

- ① 単位時間とは、1秒間、1分間、1時間などである。
- ② キロメートル毎時を、日常生活ではよく「時速〇km」と表現している。
- ③ 例えば 10^3 は $10 \times 10 \times 10 = 1000$ を表す(⇒ p.6)。

▲図1 いろいろなもののおよその速さ

TOPIC 日常 露出時間と被写体ぶれ

写真の撮影にはシャッターが開いて光を取り込む時間(露出時間という)が必要である。露出時間が短いと、高速で動く物体でも止まっているかのように写る。長いと、低速の物体でもその間の動きが大きくなり、スピード感(被写体ぶれ)のある写真になる。このことから、正確に速さを比較するには、同じ一定時間の移動距離を比較する必要があることがわかる。

2 平均の速さと瞬間の速さ 図2は、電車が駅を発車してから次の駅に停車するまでの速さの変化を、運転席にあるスピードメーター(速度計)から読み取ったものである。グラフから電車の速さは、駅を発車してからだんだんと速くなり、その後一定となる。やがて次の駅に近づくと、だんだんと遅くなって停車する様子が読み取れる。この場合、2つの駅の間

の距離を、経過時間で割った量(式(1)で計算した速さ)は、この電車の**平均の速さ**を表している。一方、スピードメーターの値は刻々と変化しており、各時刻における電車の速さを示している。これを**瞬間の速さ**という。一般に、速さといえば、瞬間の速さをさす。

▲**図2 電車の速さの変化** 例えば、時刻 20 s の瞬間の速さは、グラフの縦軸から 50 km/h と読み取れる。

やってみよう 人の運動の分析

- ① 記録テープの一端を持ち、一定の速さで歩く。
- ② テープの各区間の速さを調べる。
- ③ 速さと時間の関係をグラフで表す。
- ④ 平均の速さをグラフに描き入れて比較しよう。

参考 +α 速さの単位の変換

日常生活では、m/s 以外にも様々な速さの単位が用いられている。例えば、電車や自動車など乗り物の速さには km/h が使われる。これらの単位は、距離の単位の関係 $1 \text{ km} = 1000 \text{ m}$ などと、時間の単位の関係 $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$ などを用いて変換することができる。例えば、90 km/h という速さの単位を次のように m/s に変換できる。

$$90 \text{ km/h} = (90 \times 1 \text{ km}) / 1 \text{ h} = (90 \times 1000 \text{ m}) / 3600 \text{ s} = (25 \times 1 \text{ m}) / 1 \text{ s} = 25 \text{ m/s}$$

問1 500 m を 40 s で走る電車と、100 m を 10 s で走る短距離走者はどちらが速いか。

問2 自転車が 30 s 間に 150 m 走ったとき、自転車の平均の速さは何 m/s か。また、何 km/h か。

中学校でも苦手だったけど、単位がたくさん出てきて覚えるのが大変になってきたな。

m/s は m と s から作られた分数だと思えば、覚える知識は増えなさそうだよ。

step 0 問1

速さとは、____あたりの____である。

step 0 問2

式(1)に代入する数量は

移動距離が____m

経過時間が _____ s

速さは、単位時間あたりの移動距離で比較する。移動距離を経過時間で割ることで、単位時間あたりの移動距離(つまり速さ)がわかる。写真だけでは移動距離も経過時間もわからないため、(a)と(b)のどちらが速いともいえない。

step 0 問 1 : 単位時間, 移動距離 問 2 : 150, 30

2 等速直線運動

長さ 50 m の動く歩道に乗ったところ、10 s 後に 5 m 先に進んでいた。この動く歩道の端から端まで進むのに何 s かかるだろうか。① 10 s, ② 50 s, ③ 100 s

1 等速直線運動を表す式 図 3 のように、直線上を一定の速さで進む物体の運動を**等速直線運動**という。一定の速さ v [m/s] で運動する物体の移動距離 x [m] は時間 t [s] に比例しており、次式で表される。

等速直線運動 条件 直線上の運動で速さが一定

$$x = vt \quad (2)$$

- x [m] 移動距離
- v [m/s] 速さ (velocity)
- t [s] 時間 (time)

問 3 長い直線道路を一定の速さで走る自転車が 30 s 間に 75 m 進んだ。自転車の速さを求めよ。また、50 s 間に進む距離を求めよ。

step 0 問 3

文字式を書いて、数量(数値×単位)を代入しよう。

$$x = \underline{\quad} \times \underline{\quad}$$

$$\underline{\quad} \text{ m} = v \times \underline{\quad} \text{ s}$$

▲図 3 等速直線運動をする模型自動車のストロボ写真(発光間隔 0.2 s, 目盛り単位 cm)

●ストロボ写真

一定時間ごとに光源を発光させて撮った写真のことをストロボ写真という。時間ごとの模型自動車の位置は図 i のようになる。

▲図 i 0.2 s 間隔で連写された写真

やってみよう **等速直線運動**

- ① CD の穴をラベル面側からセロハンテープを使って塞ぐ。
- ② ラベル面を上にしてなめらかな机の上ですべらせる。
- ③ 運動の様子を撮影し、物体の位置や速さの変化を調べる。

2 等速直線運動を表すグラフ 物体が等速直線運動をする場合、移動距離 x と時間 t の関

係を表すグラフ($x-t$ グラフ)は傾きが一定の直線となる。その傾きは、式(2)より物体の速さ v を表している → 図 4。

物体が等速直線運動をする場合、速さ v と時間 t との関係を表すグラフ($v-t$ グラフ)は t 軸に平行な直線となる → 図 5。ここで、 t [s] 間の移動距離は、その間のグラフと t 軸で囲まれた部分の面積で表される^①。

▲図 4 等速直線運動の $x-t$ グラフ

速さが大きいほど、傾きが大きい。

▲図 5 等速直線運動の $v-t$ グラフ

着色部分の面積は移動距離に等しい。

3 速度 「東向きに 20 m/s の速さ」と「西向きに 20 m/s の速さ」では、速さは同じでも進む向きが違うので、異なる運動である。そこで、速さと運動の向きを合わせた量を考え、運動の状態を表すことにし、これを**速度**^② velocity という。

物体が直線上を運動する場合、直線の方のどちらかの向き^③を正として座標軸をとることで、**速度の向きを正負の符号で表す**ことができる。速度のように、大きさともつ量をベクトル^④という。

▲図 6 速さと速度

問 4 東西方向の高速道路を、自動車 A は東向きに 20 m/s、自動車 B は西向きに 25 m/s の速さで走っている。東向きを正の向きとして、それぞれの速度を答えよ。

① 等速直線運動のグラフの見方

① $x-t$ グラフの傾き $v=x/t$

速さ(傾き)=タテの量/ヨコの量

例 50 m/20 s=速さ 2.5 m/s

② $v-t$ グラフの面積 $x=vt$

移動距離(長方形の面積)=タテの量×ヨコの量

例 2.5 m/s×20 s=移動距離 50 m

② 速度が一定の運動も等速直線運動であり、**等速度運動**ともいう。

③ 「方向」は例えば「南北方向」のように1つの直線の両方(北と南の両方)をさし、「向き」は例えば「北向き」「南向き」のように1つの直線の一方(北か南かどちらか)をさすものと

する。

④ ベクトルに対し，長さ，時間，質量，温度などのように，向きをもたず大きさだけをもつ量をスカラーという。

step 0 問 4

東向きを正とすると，西向きは〔正・負〕である。

●速度ベクトル

速度をベクトルとして記号で表すときは $\vec{v}$ のように文字の上に→を書き，図示するときには右図のように矢印で表す。このとき，矢印の向きは速度の向きを表し，矢印の長さは速度の大きさ(速さ)に比例するように描く。 $\vec{v}$ の矢印を省略して単に v と表すこともある。

step 0 問 3 : $v, t, 75, 30$ 問 4 : 負

描いてみよう グラフの見方・描き方

Point グラフの見方

STEP 1 縦軸と横軸が何を表しているかを確認する。

STEP 2 グラフが直線の場合、その切片と傾きを確認する。

① 直線のグラフ ② 反比例のグラフ

Point グラフの描き方

STEP 1 実験などで得られたデータを表にまとめる。

STEP 2 縦軸と横軸を引き、横軸には「変化させた量」を、縦軸にはその結果「変化した量」をとる。また、軸の名称と単位を書く。

STEP 3 それぞれの最大値がグラフに入るように、各軸に目盛りを入れる。

STEP 4 測定値を点(・)ではっきりと正確に記入し、点の並び方を見て、グラフが直線か曲線か判断する。

直線と判断したとき

ものさしの辺の上下に点と同程度に散らばるように、直線を引く。原点を通るかどうかもある。さらに、傾きと切片を読み取り、直線を式で表す。

曲線と判断したとき

なるべく多くの点の上やその近くを通るように、なめらかな曲線を引く。また、座標軸を変えることで比例関係を見つけることができないか探る。

問1 次の直線のグラフが表す式を求めよ。

問2 模型自動車を等速直線運動させたところ、次のストロボ写真が得られた。ストロボの発光間隔は 0.2 s、写真の目盛り単位は cm である。模型自動車の運動をグラフに表してみよう。

STEP 1 ストロボ写真から読み取れるデータを表にまとめよう。

2点間の平均の速さは、その中間の時刻の瞬間の速さであると考えてグラフ用紙に点を記入する。

STEP 2, STEP 3, STEP 4 $x-t$ グラフと $v-t$ グラフを描いてみよう。

4 位置と変位 原点 O を基準点とし、正の向きを決めると、物体の**位置**を座標で表すことができる。直線上を物体が運動しているときは、直線に沿って x 軸をとるとよい。

物体の位置の変化を**変位 displacement** という^①。時刻 t_1 [s], t_2 [s] ($t_1 < t_2$)での物体の位置が x_1 [m], x_2 [m] のとき、位置の変化は $x_2 - x_1$ であり、これを**変位 Δx** ^②と表す。

$$\Delta x = x_2 - x_1 \quad (3)$$

▲図7 時刻 t_1 から t_2 の間における物体の位置の変化 変位 $\Delta x (= x_2 - x_1)$ の符号が向きを表す。

- ・ $\Delta x > 0$ なら正の向きへの移動
- ・ $\Delta x < 0$ なら負の向きへの移動

物体が直線上を運動する場合、途中で進む向きが変わらなければ、変位の大きさは物体が進んだ距離に等しい。

▲図8 変位と移動距離 人が→のように運動したとき、この間の人の変位は→である。

図8 (b)のように、途中で進む向きが変わる場合、変位の大きさは実際に物体が移動した距離(経路に沿った距離)とは異なる。

問5 x 軸上の $x=2.0$ m の位置にあった物体が x 軸上を運動し、 $x=5.0$ m の位置に移動した。この間の物体の変位の大きさは何 m か。また、変位の向きはどちら向きか。

5 平均の速度と瞬間の速度 時刻の変化 $t_2 - t_1$ を時間 Δt と表す。物体が運動したとき、変位 $\Delta x (= x_2 - x_1)$ を経過時間 $\Delta t (= t_2 - t_1)$ で割った量は**単位時間あたりの変位**を表す。これを**平均の速度**という。変位が負であれば、平均の速度も負となる。

$$\bar{v} = (x_2 - x_1) / (t_2 - t_1) = \Delta x / \Delta t \quad (4)$$

Δt を非常に小さくした場合の速度を**瞬間の速度**といい、瞬間の速度の大きさが瞬間の速さである。一般に、速度といえば瞬間の速度をさす^③。

▲図9 平均の速度と瞬間の速度

① 位置と変位も、速度のように、大きさと向きをもつベクトル(→ p.15)である。

② Δ と次に続く文字の組で、 Δ の次に続く文字で表す量の変化分を表す。 Δx は変化分(変

化後の量から変化前の量を引いたもの)を表し、 Δ と x の積ではない(Δ はギリシャ文字→ p.222)。

運動の向きを正負の符号で表せば、そのまま数式にも代入できて便利だね。

方位や上下と違って、どちらが正の向きなのか、あらかじめ決まっていなから、自由に決めていいのも便利だ。

step 0 問 5

変位 $\Delta x =$ [おわり・はじめ] の位置 - [おわり・はじめ] の位置

③ 以後、瞬間の速度を v と表す。区別する場合は平均の速度を $\bar{v}$ と書き、これを「ブイ・バー」と読む。 $\bar{\quad}$ は $\quad$ をつけた量の平均を表す。

6 $x-t$ グラフと瞬間の速度 ある物体の運動が図 10 のような $x-t$ グラフ(緑の曲線)で表されるとき、式(4)より、図の直線 PQ の傾きは時刻 t_1 から時刻 t_2 までの**平均の速度**を表す。一方で、時刻 t_1 での**瞬間の速度**とは、時刻 t_2 を時刻 t_1 に限りなく近づけたとき(図 10 で Δt を 0 s に近づけたとき)の速度である。このとき、直線 PQ は 1 つの接線 L に近づく。接線 L の傾きは、時刻 t_1 における瞬間の速度を表す。

▲図 10 $x-t$ グラフと瞬間の速度

問 6 止まっていた自動車が東向きに動き出して、10 s 後には止まっていたところから 50 m、20 s 後には 200 m の位置を走っていた。東向きを正として、動き出して 10 s 後から 20 s 後の間の平均の速度を求めよ。

問 7 右の図は、 x 軸上を等速直線 x 運動する 3 つの物体 A, B, C の $x-t$ グラフである。A, B, C は互いに衝突することなく、すれ違うことができるものとして、次の問いに答えよ。

- (1) A, B, C の速度を求めよ④。
- (2) 時刻 t [s] における A, B, C の位置 x_A [m], x_B [m], x_C [m] を、それぞれ t を用いて表せ⑤。
- (3) B が C とすれ違うのはいつか。

step 0 問 6

この間の経過時間は

$$\Delta t = \underline{\quad} \text{ s} - \underline{\quad} \text{ s}$$

この間の変位は

$$\Delta x = \underline{\quad} \text{ m} - \underline{\quad} \text{ m}$$

step 0 問 7

速度は、 $x-t$ グラフの $\underline{\quad}$ から求められる。

グラフ A の傾き = $\underline{\quad}$

グラフ B の傾き = $\underline{\quad}$

グラフ C の傾き = $\underline{\quad}$

④ $x-t$ グラフの傾きが負

→速度 v は負，変位も負

⑤ 時刻 $t=0$ s での物体の位置が $x=x_0$ であった場合，p.14 式(2)は $x=x_0+vt$ となる。

10 s で 5 m 進んだということは，この動く歩道の速さは 0.5 m/s である。等速直線運動の位置と速さと時間の関係より， $50 \text{ m} \div 0.5 \text{ m/s} = 100 \text{ s}$ となり，この歩道の端から端まで進むのには 100 s かかることがわかる。

step 0 問 5：おわり，はじめ 問 6：20，10，200，50 問 7：傾き，3.0，1.0，-1.0

3 直線上の速度の合成

航空機は地上から遠く離れた上空を飛行する。上空では風が強く吹いている場合もあるが、このとき航空機の速度は何に対して測っているのだろうか。地面だろうか、大気だろうか。

流れがある川で、流れと平行に船が進む場合を考えてみよう。このとき、地面に静止している人から見た、船の速度を考えてみる→図 11。

地面に対する川の流れの速度を v_1 [m/s]、川の流れに対する船の速度(流れがないときに船が進む速度)^①を v_2 [m/s] とする。このとき、地面に対する船の速度 v [m/s] は、次式で表される。

速度の合成 意味 合成速度 v は速度 v_1 と速度 v_2 の和である

$$v = v_1 + v_2 \quad (5)$$

- v [m/s] 地面(基準)に対する船の速度
- v_1 [m/s] 地面(基準)に対する川の流れの速度
- v_2 [m/s] 静水時の船の速度

▲図 11 速度の合成

物体の速度 v が式(5)のように表されるとき、速度 v を v_1 と v_2 の**合成速度**といい、合成速度を求めることを**速度の合成**という。直線上の運動では、どの向きを正とするかを考えてから速度の和をとる。

問 8 静水時に 5.0 m/s で進む船が、地面に対して 2.0 m/s の速さで流れる川を進む。次の場合の船の速度はそれぞれどちら向きに何 m/s か。

- (1) 川下に向かって進む場合 (2) 川上に向かって進む場合

問 9 ある速さで流れる川を、地面から見て 3.0 m/s の速さで川上に向かって進む船がある。この船が進む向きを変えて川下に向かって進むと、地面から見て 6.0 m/s の速さであった。この川の流れの速さは何 m/s か。

- ① 湖水のように、流れがなく静止した水に対する速度を、静水時の速度という。

step 0 問 8 (1)

____ の向きを正の向きとすると、

静水時の船の速度 = ____ m/s

地面に対する川の流れの速度 = ____ m/s

問 8 の(1)は同じ向きだから速さの足し算。(2)は逆向きだから速さの引き算で、 $5.0 \text{ m/s} - 2.0 \text{ m/s}$ だと思う。

速さに符号をつけて速度で扱えば、向きに応じて場合分けをしなくても求められそうだよ。

step 0 問 9

船が川上に向かって進むとき、川の流れの速さを v_1 とすると、静水時の船の速さ v_2 は、
_____ $\text{m/s} - v_1$ と表せる。

発展 物理 平面内の場合の速度の合成・分解

① 速度の合成 船が川を斜めに横切る場合を考えてみる。

$\vec{v}_1$: 地面に対する川の流れの速度

$\vec{v}_2$: 静水時の船の速度

船は、水に対して $\vec{v}_2$ の向きに単位時間あたり v_2 (矢印の長さ)進む間に、川の流れによって

川下に向かって v_1 流される。このため、地面に対する船の速度は、 $\vec{v}$ になる。これが、 $\vec{v}_1$

と $\vec{v}_2$ の合成速度であり、次式で表される。

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

これは式(5)をベクトルを使って書きかえたもので、速度が同じ直線上であれば式(5)に一致する。

② 速度の分解と速度の成分 流れのない湖で、速さ v で進む船の現在の位置を原点 O とし

て、図 ii のように x 軸、 y 軸をとる。この船の速度 $\vec{v}$ を、 x 軸方向の速度 $\vec{v}_x$ と、 y 軸方向

の速度 $\vec{v}_y$ に分けて考えることを**速度の分解**といい、 $\vec{v}_x$ 、 $\vec{v}_y$ を**分速度**という。

速度を分解する場合、このように互いに垂直な2つの方向に分けることが多い。 $\vec{v}_x$ 、 $\vec{v}_y$ の

大きさに座標軸の正負の向きを表す符号をつけたものを、 $\vec{v}$ の **x 成分**、 **y 成分**といい、それ

ぞれ v_x 、 v_y と表す。図 ii の場合、次の関係が成り立つ。

$$v_x = v \cos \theta \quad v_y = v \sin \theta \quad v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad \text{①}$$

③ 速度の合成と成分の和 速度 $\vec{v}_1$ と $\vec{v}_2$ の合成速度 $\vec{v}$ の x 成分、 y 成分(v_x 、 v_y)は、それぞれ、

$\vec{v}_1$ 、 $\vec{v}_2$ の x 成分、 y 成分の和で表される $\rightarrow$ 図 iii。

$$v_x = v_{1x} + v_{2x} \quad v_y = v_{1y} + v_{2y}$$

TOPIC 歴史 船の速さ「ノット」

速さを表すのにノットという単位がある。速度計が発明される以前は、船から投げた木片と船との距離をロープの結び目の数で確かめ、水に対する船の速度を測った。ノットは結び目の意味。

▲図 i 速度の合成 合成速度を求めるには、平行四辺形の法則によって2つのベクトル $\vec{v}_1$ と $\vec{v}_2$ の和を作図する(⇒ p.24)。

▲図 ii 速度の分解

① 三角比(⇒ p.217)

$$\sin \theta = a/c$$

$$\cos \theta = b/c$$

▲図 iii 速度の合成と成分の和

大気に対する航空機の速度を対気速度といい、対気速度と大気の水速の合成速度が、地面に対する航空機の速度で対地速度という。航空機の性能は対気速度で判断されることが多い。合成速度は、速度の和である。

step 0 問8：川下，5.0，2.0 問9：3.0

4 直線上の相対速度

宇宙ステーションに宇宙船がドッキングする際、宇宙船から撮影した映像を見ると、宇宙ステーションが静止しているように見えるのはなぜだろう。宇宙が無重力だから静止できるのだろうか、宇宙船が宇宙ステーションと同じ速度で飛行しているのだろうか。

地面に対して速度 v_A で進む自動車の中にいる人(観測者)A が、地面に対して速度 v_B で進むバイク(相手)B を見る場合を考える。観測者 A から見た相手 B の速度 v_{AB} を、**A に対する B の相対速度**といい、次式で表される。

▲図 12 相対速度

相対速度(A に対する B の相対速度) 意味 観測者 A から見た相手 B の速度

$$v_{AB} = v_B - v_A \quad (6)$$

=相手 B の速度-観測者 A の速度

- v_{AB} [m/s] A に対する B の相対速度(A から見た B の速度)
- v_A [m/s] 地面(基準)に対する A の速度
- v_B [m/s] 地面(基準)に対する B の速度

! まず正とする向きを決めること。

式(6)から、同じ物体の運動を観測する場合でも、観測者の速度によって、物体の動く向きも速さも異なって見えることがわかる。したがって、物体の運動を表すときは、それがどのような運動をしている観測者から見たものかを明確にしなければならない。

ただし、特に断らない場合は、地面上に静止した観測者から見たものとする。

問 10 右の図で自動車 A が東向きに 40km/h, B が同じ向きに 50km/h の速さで進むとき、A に対する B の相対速度はどちら向きに何 km/h か。また、C が同じ向きに 60km/h の速さのとき、C に対する B の相対速度はどちら向きに何 km/h か。

step 0 問 10

問題の状況を図に表してみよう。A~C のそれぞれに矢印と速さを記入しよう。

宇宙ステーションは静止しているわけではなくて、地球を周回しているって聞いたことがあるよ。

調べてみたら、秒速 7.7 km もの高速で運動しているんだって。すごい。

「A に対する B の相対速度」よりも「A から見た B の速度」って書くほうが感覚的にわかりやすいよね。

同じ意味だね。A や B が人じゃない場合でも、不自然な表現にならないように配慮したのだろう。

TOPIC 日常

渡り鳥の隊列飛行

隊列飛行をしているとき、ある鳥から隣を飛ぶ鳥を見ると、隣の鳥の速度はほぼ 0 に見える。

例題 1 相対速度

問 東向きに 60 km/h の速さで進む電車 A がある。次の問いに答えよ。

- (1) 東向きに 80 km/h の速さで進む自動車 B を A から見ると、B はどちら向きに何 km/h の速さで進むように見えるか。
- (2) 西向きに 50 km/h の速さで進むバイク C を A から見ると、C はどちら向きに何 km/h の速さで進むように見えるか。

解 以下、東向きを正の向きとする❶。

- (1) 求める速度を v_{AB} とすると、式(6)より、

$$v_{AB} = v_B - v_A = 80 \text{ km/h} - 60 \text{ km/h} = 20 \text{ km/h} \quad \text{東向きに 20 km/h}$$

- (2) 求める速度を v_{AC} とすると、式(6)より、

$$v_{AC} = v_C - v_A = (-50 \text{ km/h}) - 60 \text{ km/h} = -110 \text{ km/h} \quad \text{西向きに 110 km/h}$$

つながる指針

- ① 正の向きを決めて、それぞれの速度を正負の符号と大きさで表す。
- ② 式(6)を適用するとき、何から何を見ているか(何が観測者か)に注意する。

❶速度の向きと速さを正負の符号と大きさで表すと、

$$v_A = + 60 \text{ km/h}$$

A の速度 東向き 速さ

$$v_C = - 50 \text{ km/h}$$

C の速度 西向き 速さ

車とバイクが同じ速度でも、「バイクが静止している」なんて思わないけどね。

周りの景色が後ろに流れるからだね。運動は基準となる他のものとの相対的な位置の変化だから、地面や大気が周りにない宇宙空間の映像だと特に運動を実感しにくいってことか。

類題 1 北向きに 80 km/h の速さで進む電車 A から見ると、電車 B は南向きに 30 km/h の速さで進むように見えた。電車 B の速さと向きを求めよ。

発展 物理 平面内の場合の相対速度

右図のように Y 字路で地面に対して速度 $\vec{v}_A$ で運動する観測者 A から、地面に対して速度 $\vec{v}_B$ で運動する相手 B を見る場合、観測者 A に対する相手 B の相対速度 $\vec{v}_{AB}$ は、式(6)をベクトルを使って書きかえた次式で表される。

$$\vec{v}_{AB} = \vec{v}_B - \vec{v}_A$$

このような、矢印で表した場合に同じ直線上にない 2 つの速度 $\vec{v}_A$, $\vec{v}_B$ の差を求めるには、ベクトルの差を求める方法を用いる → p.24 描いてみよう。

問 i 風がなく、雨滴が鉛直下向き(重力がはたらく向き)に降っているとき、10 m/s の速さで水平に走っている電車の中から外を見たところ、右の図のように、雨滴が鉛直方向に対して 60° の角をなして前方から降ってくるように見えた。このとき、地上に対して雨滴が落下する速さは何 m/s か。 **5.8 m/s**

宇宙船も宇宙ステーションも地球に対して非常に大きな速度で動いている。それらの速度がほぼ等しく、宇宙船に対する宇宙ステーションの相対速度が 0 のとき、宇宙ステーションは静止して見える。観測相手の速度から観測者の速度を引くことで、観測者に対する相手の相対速度がわかる。

step 0 問 10 : 略

描いてみよう ベクトルの扱い方

Point ベクトル

ベクトルとは、**大きさ**と**向き**をもつ量をさし、記号で表すときは $\vec{v}$ のように文字の上に $\rightarrow$ を書く。ベクトルは、始点から終点に向かう矢印で表され、大きさは矢印の長さ、向きは矢印の向きで表す。

変位や速度、これから学ぶ加速度、力などは大きさと向きをもつ量だから、ベクトルで図示すれば扱いやすくなる。

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 大きさと向きが同じ $\vec{b}=\vec{a}$

逆ベクトル 大きさが同じで向きが逆 $\vec{c}=-\vec{a}$

零ベクトル 大きさが0のベクトル $\vec{0}$

Point ベクトルの和

① **方法(a) STEP 1** 一方のベクトル $\vec{a}$ の終点にもう一方のベクトル $\vec{b}$ の始点を一致させる。

STEP 2 $\vec{a}$ の始点から $\vec{b}$ の終点に引いた矢印が、2つのベクトルの和である。

② **方法(b) STEP 1** 2つのベクトル $\vec{a}$ 、 $\vec{b}$ の始点を一致させ、それぞれのベクトルを隣り合う2辺とする平行四辺形を考える。

STEP 2 一致させた始点から引いた対角線の矢印が2つのベクトルの和となる。これを**平行四辺形の法則**という。

Point ベクトルの差

① **方法(a) STEP 1** $\vec{a}$ と $\vec{b}$ の始点を一致させる。

STEP 2 $\vec{b}$ の終点から $\vec{a}$ の終点に引いた矢印が、 $\vec{a}-\vec{b}$ である。

② **方法(b) STEP 1** $\vec{b}$ の逆ベクトル $-\vec{b}$ を、 $\vec{a}$ と始点を一致させて描く。

STEP 2 $\vec{a}$ と $-\vec{b}$ のベクトルの和を作図する。

問1 (1)~(5)はベクトルか、スカラーか。正しいほうに○をつけよ。

- (1) 速さ [ベクトル・スカラー] (4) 変位 [ベクトル・スカラー]
 (2) 速度 [ベクトル・スカラー] (5) 質量 [ベクトル・スカラー]
 (3) 移動距離 [ベクトル・スカラー]

問2 次の2つのベクトル $\vec{a}$, $\vec{b}$ の和 $\vec{a}+\vec{b}$ を作図せよ。

問3 東から西向きに風速 100 km/h で吹くジェット気流の中を, ジェット機が飛行する。風が無いときのジェット機の速さは 900 km/h であり, 東向きを正とする。

- (1) 右の図にジェット気流と風が無いときのジェット機の世界速度ベクトルを描いてみよう。
 (2) 地面に対するジェット機の合成速度は何 km/h か。□には正負の符号を描きこもう。

(a) 東に向かう場合

$$(\square) 900 \text{ km/h} + (\square) 100 \text{ km/h} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ km/h}$$

(b) 西に向かう場合

$$(\square) 900 \text{ km/h} + (\square) 100 \text{ km/h} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ km/h}$$

問4 次の2つのベクトル $\vec{a}$, $\vec{b}$ の差 $\vec{a}-\vec{b}$ を作図せよ。

問5 図のバスと自動車は, 東向きを正としてそれぞれ 60 km/h, 30 km/h の速さで走っている。次の(1), (2)はどちら向きに何 km/h で進むように見えるか。

(1) 自動車から見たバス

$$\underline{\hspace{2cm}} \text{ km/h} - \underline{\hspace{2cm}} \text{ km/h} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ km/h}$$

バスは 向きに km/h の速さで進むように見える。

(2) バスから見た自動車

$$\underline{\hspace{2cm}} \text{ km/h} - \underline{\hspace{2cm}} \text{ km/h} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ km/h}$$

自動車は 向きに km/h の速さで進むように見える。

自動車から見たバスの速度とは, 「自動車に対するバスの相対速度」のこと。

5 加速度

車と短距離走の選手では、どちらのほうが最高速度が大きいだろうか。また、スタートダッシュで比較するとどうだろうか。最高速度とスタートダッシュで結果が異なるのをどう表現すればよいか考えよう。

1 加速度 ここまでは等速直線運動など、物体の速度が一定の場合を考えた。しかし、いろいろな運動を考えると、速度が変化する場合はほうが一般的である。このような速度の変化を表す量を考えることで、運動の様子を的確に表現し、いろいろな物体の運動を比較できるようになる。

▲図 13 いろいろなもののスタートダッシュ

速度が変化する運動にはどのようなものがあるだろう。

例えば静止している車が動き出す運動は速度が変化しているよ。

同じ車でも、スポーツカーのように急激に速度が増す場合もあるし、タクシーのように徐々に速度が増す場合もあるよね。

① 「静止」=速度 0 m/s の状態。

速度が変化する運動として、A 駅で静止^①している電車が出発して加速し、やがて減速して次の B 駅で静止するまでの様子について探究 1 で考えてみよう。

探究 1 電車の速度の変化の様子

目的 電車が駅を出発してから次の駅で停車するまでの速度を 5 s ごとに記録した表から、物体の速度の変化の様子をどのように表せばよいか調べる。

方法 駅を出発した電車が次の駅で停車するまでの速度をグラフで表す。

結果の整理 ① 電車が出発した時刻を 0 s として横軸に時刻、縦軸に速度をとる。

② 表の値を(・)でグラフにはっきりと記入する。

③ グラフ上の点の並び方を見て、なめらかに線を引く。

分析と考察 作成したグラフをもとに、電車の速度の変化の様子について分析する。その結果から、速度の変化の違いを数値化して表すにはどうすればよいか考察する。

▼表 i 電車の速度の変化

結果 表 i のデータからグラフを作成すると、図 i のようになった。

時刻 100 s までの間、電車の速度は増加し続けているが、速度の変化の様子は時刻 45 s の前後で異なっている。前半に比べて後半の方が、時間あたりの速度の変化が小さくなっている。また、125 s 以降では速度が一気に減少している。

そこで、時刻 0 s~40 s(区間①)、50 s~80 s(区間②)、130 s~160 s(区間③)の 3 つの区間における速度の変化の様子を比較しよう。

▲図 i 電車の速度の変化

分析 各区間の速度の変化を数値で表す。

各区間での速度の変化の割合が一定であるとして、1 s あたりの速度の変化を求めると、表 ii のようになる。また、速度の単位を m/s に変換して 1 s あたりの速度の変化を求めると、表 iii のようになる。

区間①と区間②ではともに速度は増加しているが、区間②では区間①よりも速度の変化がゆるやかになっている。

これは、各区間で求めた数値を比較することでより正確にわかる。

また、区間③では速度が減少しており、その変化のしかたは区間①や区間②と比べて急激であることも、数値の比較によってわかる。

▼表 ii 各区間の速度の変化

▼表 iii 単位時間あたりの速度の変化

単位を m/s に変換して、各区間の 1 s あたりの速度の変化を求めてみよう。

$$\boxed{\text{区間①}} \quad (18.9 \text{ m/s} - 0 \text{ m/s}) / (40 \text{ s} - 0 \text{ s}) = (18.9 \text{ m/s}) / 40 \text{ s} = 0.47 \text{ m/s}^2$$

$$\boxed{\text{区間②}} \quad (27.8 \text{ m/s} - 21.1 \text{ m/s}) / (80 \text{ s} - 50 \text{ s}) = ([ア] \text{ m/s}) / [イ] \text{ s} = [ウ] \text{ m/s}^2$$

$$\boxed{\text{区間③}} \quad ([エ] \text{ m/s} - [オ] \text{ m/s}) / ([カ] \text{ s} - [キ] \text{ s}) = ([ク] \text{ m/s}) / [ケ] \text{ s} \\ \div [コ] \text{ s} = [ク] \text{ m/s}^2$$

考察 このように、1 s あたりの速度の変化を、速度の変化の状態を表す量として用いることで、物体の運動の変化の様子をとらえることができる。

「だんだん速くなる」とか「急激に速くなる」とか、言葉で表現している変化を数値で表せるのかな。

単位時間あたりの位置の変化を速度とよんだ。今度は単位時間あたりの速度の変化だから「速度の変化度」ってことかな。

物理では、物体の速度の変化の様子を表すのに**単位時間あたりの速度の変化**を用い、これを**加速度** acceleration という。

x 軸上を運動する電車の速度が変化する場合を考える。時刻 t_1 から t_2 の間に、速度が v_1 から v_2 に変化した場合、経過時間 Δt は $\Delta t = t_2 - t_1$ 、速度の変化 Δv は $\Delta v = v_2 - v_1$ と表せるから、加速度 a [m/s²] は以下のようなになる。

① 通常、加速度は 1 s あたりの速度の変化をさす。

加速度 意味 単位時間あたりの速度の変化

$$a = (v_2 - v_1) / (t_2 - t_1) = \Delta v / \Delta t \quad (7)$$

- a [m/s²] 加速度(acceleration)
- t_1 [s], t_2 [s] 時刻($t_1 < t_2$)
- v_1 [m/s] 時刻 t_1 [s] での速度
- v_2 [m/s] 時刻 t_2 [s] での速度
- $\Delta v = v_2 - v_1$ 速度の変化
- $\Delta t = t_2 - t_1$ 経過時間

加速度は、速度の変化(単位 m/s)を経過時間(単位 s)で割ったものであるから、その単位はメートル**毎秒毎秒**(記号 m/s²)となる。

m/s² の意味がわからない。

単位の組み合わせは分数と同じように考えたら

$$[m/s] \div [s] = [m/s] \times [1/s] = [m/s^2] \text{ ことだ。}$$

▲図 14 いろいろな運動の加速度

問 11 次の(1)と(2)の加速度の大きさはそれぞれ何 m/s^2 か求めよ。

(1) 自動車 A は、動き始めて 6.0 s 後に 12 m/s の速さになった。

(2) 8 m/s の速さで進んでいた自動車 B は、加速して 8.0 s 後に 20 m/s の速さになった。

step 0 問 11 (1)

A の速さの変化 Δv は、 $\Delta v = \underline{\quad} \text{m/s} - \underline{\quad} \text{m/s}$

このときの経過時間 Δt は、 $\Delta t = \underline{\quad} \text{s} - \underline{\quad} \text{s}$

2 加速度の向き 電車が減速している場合、加速度は負の値となる。これは、電車の進む向きを正の向きとして、加速度が負の向きであることを示している。このとき、 $v-t$ グラフの傾きも負となる。

速度と同じように、加速度も大きさと同じ向きをもつベクトルである。加速度の向きは、速度の変化の向きに等しい。図 16 で、加速度が負のとき、速度の変化は x 軸の負の向きとなる。

図 16 の電車 B の速度は右向きで正だけど、加速度は左向きで負だね。

速度と加速度の向きが一致しないこともあるってことか。

▲図 15 正の加速度 加速している場合

▲図 16 負の加速度 減速している場合

参考 + α $v-t$ グラフと瞬間の加速度

加速度が刻々と変化する場合、物体の運動は図のような $v-t$ グラフの曲線で表される。式(7)を使って求められる時刻 t_1 から t_2 の間の加速度は、直線 PQ の傾きとなっている。これを**平均の加速度**という。

一方、時刻 t_2 を t_1 に限りなく近づけたときの加速度は、時刻 t_1 における**瞬間の加速度**であり、点 P における接線 L の傾きで表される。一般に、加速度といえば瞬間の加速度をさす。

問 12 x 軸上を運動する物体の速度が、時刻 1.0 s には 6.0 m/s 、時刻 3.0 s には 1.0 m/s であった。時刻 1.0 s から 3.0 s の間の平均の加速度は、どちら向きに何 m/s^2 か。

step 0 問 12

速度の変化 = $\underline{\quad} \text{m/s} - \underline{\quad} \text{m/s}$

経過時間 = $\underline{\quad} \text{s} - \underline{\quad} \text{s}$

TOPIC 日常 スマートフォンの向き

地球上にあるスマートフォンには地球がスマートフォンを引く力(重力→p.45)がかかっており、その重力によってスマートフォンに加速度が生じる→p.66。また、スマートフォンを動かす際にも加速度が生じる。それらの加速度を検知することで、スマートフォンの向きや動きを調べることができる装置が加速度センサーである。スマートフォンの向きを変えた際に画面の向きが連動して変わったり、スマートフォンを持ち歩くことで歩数を測定したりできるのも、加速度センサーが搭載されているからである。

速度と加速度は異なる量であり、最高速度は車の方が大きくても、加速度は短距離走の選手の方が大きいこともある。加速度は、単位時間あたりの速度の変化で、 $v-t$ グラフの傾きに相当し、その向きは速度の変化の向きで、正負で表す。

step 0 問 11 : 12, 0, 6.0, 0 問 12 : 1.0, 6.0, 3.0, 1.0

6 等加速度直線運動

斜面をくだる運動は、速度が増すから等速直線運動ではない。図のような斜面上で小球を静かにはなし、鈴を等しい時間間隔で鳴らしたい。鈴をどの位置に配置すればよいか。

①10 cm・20 cm・30 cm ②10 cm・40 cm・90 cm

1 等加速度直線運動 図17のように、なめらかな斜面上で模型自動車を静かにはなし、ストロボ写真を撮影して、運動を解析してみよう。

▲図17 斜面をくだる模型自動車のストロボ写真(発光間隔0.2 s, 目盛り単位 cm)

やってみよう 斜面をくだる模型自動車の運動の解析

図17から読み取った値をもとに各区間の平均の速さを求め、 $v-t$ グラフを描いてみよう。また、グラフの傾きから加速度の大きさを調べてみよう。

やってみようから、斜面をくだる模型自動車の $v-t$ グラフは傾きが一定の直線となる^①。 $v-t$ グラフの傾きは加速度を表すことから、模型自動車の加速度はほぼ一定であることがわかる。このような、加速度が一定の直線運動を**等加速度直線運動**という。

2 速度を表す式

▲図18 等加速度直線運動をする車 加速度が 2.0 m/s^2 のとき、速度は単位時間あたり 2.0 m/s ずつ変化する。

加速度 $a \text{ [m/s}^2\text{]}$ で等加速度直線運動をしている物体の時刻と速度の関係を考えよう。時刻 0 s における物体の速度(これを**初速度**という)を $v_0 \text{ [m/s]}$ 、時刻 $t \text{ [s]}$ における速度を $v \text{ [m/s]}$ とすると、p.28 式(7)で $\Delta t = t - 0$ 、 $\Delta v = v - v_0$ として、次式が得られる。

$$v = v_0 + at \quad (8)$$

① $x = vt$ (→ p.14 式(2))において、 x 、 t は物体の移動距離と時間であるが、時刻 $t = 0 \text{ s}$ に x 軸上の原点($x = 0 \text{ m}$)を通過する運動では、**位置 x** と **時刻 t** の関係も同じ式で表せる。

以前学習した「等速直線運動」と違うのかな。

「等速直線運動」は、速度が一定の運動だった。

「等加速度直線運動」は、速度は一定じゃないけど、加速度が一定の運動みたいだね。

式(8)を $v-t$ グラフに描くと、傾き a の直線となる→図 19。また、 v 軸の切片は初速度 v_0 を表している②。加速度が負の場合、 $v-t$ グラフは右下がりとなる。

▲図 19 等加速度直線運動の $v-t$ グラフ ($a>0$ の場合)

● $v-t$ グラフの傾き $a = \Delta v / \Delta t$

傾き = タテの量 / ヨコの量 = $(v - v_0) / (t - 0) =$ 加速度 a

(1 s 間に縦軸が $a \times 1$ [m/s] ずつ変化する。)

問 13 東向きに速さ 10 m/s で進んでいた自動車が一定の加速度で速さを増し、5.0 s 後に東向きに 20 m/s の速さになった。このときの自動車の加速度はどちら向きに何 m/s^2 か。

3 位置を表す式 図 17 の運動で、物体が時刻 $t=0$ s に x 軸の原点 ($x=0$ m) を通過したとすると、時刻 t [s] における物体の位置 x [m] は、図 20 の $v-t$ グラフの台形 OABC の面積に等しい。

$$x = v_0 t + (1)/(2) a t^2 \quad (9)$$

式(8), (9)より t を消去し整理すると、位置と速度の関係を表す式(10)が得られる③。

等加速度直線運動 条件 直線上の運動で加速度が一定

$$v = v_0 + at \quad (8)$$

$$x = v_0 t + (1)/(2) a t^2 \quad (9)$$

$$v^2 - v_0^2 = 2ax \quad (10)$$

- v [m/s] 時刻 t での物体の速度
- v_0 [m/s] 時刻 $t=0$ での物体の速度(初速度)
- a [m/s^2] 物体の加速度
- t [s] 時刻(time)
- x [m] 時刻 t での物体の位置(時刻 $t=0$ で $x=0$)

問 14 速さ 10 m/s で進んでいた自動車は、 3.0 m/s^2 の一定の加速度で速さを増しながら 4.0 s 間進んだ。この間に自動車は何 m 進んだか。

② 1 次関数のグラフ

$$y = b + ax \Leftrightarrow v = v_0 + at$$

a : 直線の傾き

b : y 軸の切片

step 0 問 13

東向きを正とすると, 初速度 $v_0 = \underline{\hspace{2cm}}$ m/s

時刻 $t = 5.0$ s での速度 $v = \underline{\hspace{2cm}}$ m/s である。

▲図 20 等加速度直線運動の $v-t$ グラフと変位

③ 式(10)の導き方

式(8)より $t = (v - v_0)/a$,

これを式(9)に代入して

$$x = v_0 \left(\frac{v - v_0}{a} \right) + \frac{1}{2} a \left(\frac{v - v_0}{a} \right)^2 = \frac{2v_0(v - v_0) + v^2 - 2v_0v + v_0^2}{2a} = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$$

よって, $v^2 - v_0^2 = 2ax$ (10)

step 0 問 14

初速度 $v_0 = \underline{\hspace{2cm}}$ m/s

加速度 $a = \underline{\hspace{2cm}}$ m/s²

時刻 $t = \underline{\hspace{2cm}}$ s での位置を x とし、式(8)~(10)のうち、式 $\underline{\hspace{2cm}}$ を使う。

step 0 問 13 : 10, 20 問 14 : 10, 3.0, 4.0, (9)

● $v-t$ グラフと変位

$v-t$ グラフを短い時間間隔 Δt に分けて考える $\rightarrow$ 図 i (a)。 Δt が十分に小さい場合, この間は等速とみなすと, 時刻 t' から時刻 $t' + \Delta t$ までの変位は $v' \Delta t$ (斜線部分の長方形の面積) と近似できる。よって, 時刻 0 s から時刻 t までの変位は, すべての細長い長方形の面積を足し合わせたもので近似できる。

Δt をきわめて短くしていくと $\rightarrow$ 図 i (b), 最終的に台形 OABC ($v-t$ グラフと t 軸で囲まれた部分) の面積に等しくなる。これは, 等加速度直線運動以外でも成り立つ。

▲図 i $v-t$ グラフと変位の関係度 変位は $\underline{\hspace{2cm}}$ の面積に等しい。

▲図 21 加速度が負の等加速度直線運動

▲図 22 加速度が負の等加速度直線運動のグラフ 時刻 t_1 は, $t_1 = v_0/|a|$ ①

4 加速度が負の運動 なめらかな斜面に沿って上向きに x 軸をとり、原点 O から、時刻 0 s に正の向きに初速度 v_0 [m/s] を与えて小球を打ち出す→図 21。この小球の運動を表す $v-t$ グラフと $x-t$ グラフは、それぞれ図 22 (a), (b) のようになり、小球は常に一定の負の加速度 a [m/s²] で運動している。

このような加速度 a が負の等加速度直線運動でも、時刻 t での物体の速度 v や位置 x について、式(8)~(10)が成り立つ。

問 15 20 m/s の速さで直線軌道を走っていた列車が、ブレーキをかけて一定の加速度で減速し、400 m 進んで停止した。

- (1) この列車の加速度の向きと大きさを求めよ。
- (2) ブレーキをかけ始めてから停止するまでの時間を求めよ。

① | | は絶対値を表す記号で、| | 中のベクトルやスカラーの大きさを表す(→ p.214)。

step 0 問 15 (1)

____ の向きを正として、初めの位置での初速度は、 $v_0 =$ ____ m/s

位置 $x =$ ____ m で静止したから、速度 $v =$ ____ m/s

加速度を a として、式(8)~(10)のうち、式____を使う。

やってみよう 等加速度直線運動

- ① 木板で作った斜面上に力学台車を置いて静かにはなし、台車が斜面をくだるときの位置や速度と時間の関係を調べる。
- ② 同じ斜面上に置いた台車に、斜面に沿って上向きの初速度を与え、台車が斜面をのぼるときの位置や速度と時間の関係も調べる。
- ③ ①, ②から、台車が斜面をくだるときとのぼるときの加速度をそれぞれ求め、それらの関係を調べる。

なるほど! 等加速度直線運動を表す式に出てくる x とは?

Q p.31 式(9)と(10)に出てくる x は、物体が進んだ距離のことですか。

A 式(9)と(10)に出てくる x は時刻 t での物体の位置です。つまり、これは時刻 0 s での位置(原点)からの変位を表しています。

初速度の向きと加速度の向きが逆の等加速度直線運動の場合、 x は物体が進んだ距離とは一致しません。時刻 0 s から t_2 の間に物体が進んだ(経路に沿った)距離 L は、 $v-t$ グラフを用いて示すと、

図 i の $OP =$ 図 ii の $\triangle OBA$ の面積 S_1

図 i の $PQ =$ 図 ii の $\triangle BCD$ の面積 S_2

より、 $L=OP+PQ=S_1+S_2$ となります。

$v<0$ となる間は、物体は x 軸の負の向きに進むことから、時刻 t_2 での物体の位置 x は、 $x=OP-PQ=S_1-S_2$ となります。

このように、途中で運動の向きが変わる場合は、位置 x を物体が進んだ距離と考えることはできません。

▲図 i

▲図 ii

例題 2 等加速度直線運動

問 x 軸上の原点 O から、時刻 $t=0$ s に x 軸の正の向きに初速度の大きさ 0.60 m/s で小球^②を打ち出したところ、 $t=2.0$ s に $x=0.80$ m の点を正の向きに通過した。小球は等加速度直線運動をするものとして、次の問いに答えよ。

- (1) この小球の加速度を求めよ。
- (2) 小球が再び $x=0.80$ m の位置を通過する時刻と、そのときの速度を求めよ。

解 (1) 「 $x=v_0t+(1)/(2)at^2$ →p.31 式(9)」で $x=0.80$ m, $v_0=0.60$ m/s, $t=2.0$ s とおいて、

$$0.80 \text{ m} = 0.60 \text{ m/s} \times 2.0 \text{ s} + (1)/(2) \times a \times (2.0 \text{ s})^2$$

よって、加速度 $a=-0.20$ m/s²

(2) 「 $x=v_0t+(1)/(2)at^2$ →p.31 式(9)」で $x=0.80$ m, $v_0=0.60$ m/s, $a=-0.20$ m/s² とおいて、

$$0.80 \text{ m} = 0.60 \text{ m/s} \times t + (1)/(2) \times (-0.20 \text{ m/s}^2) \times t^2$$

これから、 $(t-2.0 \text{ s})(t-4.0 \text{ s})=0$ よって、 $t=2.0$ s, 4.0 s

$t=2.0$ s は初めに通過したときなので、再び $x=0.80$ m の位置を通過する時刻 t は、 $t=4.0$ s^③
このとき、小球の速度 v は、「 $v=v_0+at$ →p.31 式(8)」で $v_0=0.60$ m/s, $a=-0.20$ m/s², $t=4.0$ s とおいて、

$$v = 0.60 \text{ m/s} + (-0.20 \text{ m/s}^2) \times 4.0 \text{ s} = -0.20 \text{ m/s}$$

つながる指針

- ① 問題文に示された状況を、小球の速度の向きに注意して、 x 軸も含めて図に描く。
- ② 等加速度直線運動の 3 つの式のうちどれを用いるかは、既知の量と求める量の関係か

ら判断する。

② 物理では、大きさを無視することができる物体のことを小物体や小球のようにいうことがある(⇒ p.222)。

③ 小球の運動は、速度の向きが変わる時刻($t=3.0$ s)において対称となっている。

等加速度直線運動の時刻 t 、位置 x 、速度 v の関係は 3 つの式で表せる。これらの式から、例えば、初速度が 0 の斜面上の運動では、位置は時刻の 2 乗に比例する。そのため鈴を②の位置に配置するとよい。

step 0 問 15 : 列車の運動, 20, 400, 0, (8)

7 自由落下

図のような上下を空けた缶に水を満たして落下させると、中の水はどうなるだろう。

- ① 下からこぼれる ② 上からこぼれる ③ こぼれない

バンジージャンプ

1 落体の運動 丸めた紙と、箱状に折った紙を同時に落下させると、丸めた方が速く落下する→図 23。

この結果から、質量が同じでも、形によって落下運動の様子は異なることがわかる。これは、空気による物体の運動を妨げるはたらき(空気抵抗)が、物体の形や大きさによって異なるからである。

真空中ではどうなるだろうか。鉄球と羽毛を初速度 0 で同時に落下させると、質量に関係なく同じように落下することがわかる→図 24(a)。空気中でも、落下する物体の形状や大きさによっては、真空中と同じように落下すると考えてよい場合も多い。

▲図 23 紙の落下

2 自由落下 重力だけがはたらい、初速度 0 で落下する運動を**自由落下** free fall という。鉄球のように、重い物体を空気中で落下させる場合、落下する速さが小さい間は空気抵抗の影響は小さく、自由落下とみなしてよい。

空気の抵抗力の大きさは物体の速さが速いほど大きいため、落下する速が増すと自由落下とみなせなくなる。以後、特に断らないかぎり、空気抵抗はないものとする。

▲図 24 鉄球と羽毛の落下のストロボ写真

▲図 25 自由落下のストロボ写真

(発光間隔 $1/(30)\text{s}$)

▲図 26 自由落下

▲図 27 自由落下のグラフ

鉛直下向き^①を正として、自由落下する物体の運動を分析すると、得られた $v-t$ グラフから、物体は等加速度直線運動をしていることがわかる。このときの加速度を**重力加速度** acceleration of gravity (gravitational acceleration) といい、その大きさを記号 g で表す。 g の値は、緯度や標高などによってわずかに異なるが、→図 28 同じ場所では物体の質量によ

らず一定であり、地球上では約 9.8 m/s^2 である。

鉛直下向きに大きさ 9.8 m/s^2 の加速度=1 s 間に速度が下向きに 9.8 m/s 変化する $9.8 \text{ m/s}^2 \times 1 \text{ s}$

物体が自由落下を始めた位置を原点 O として、鉛直下向きに y 軸をとる → 図 26。落下し始めた時刻を 0 s として、 t [s] における物体の速度を v [m/s]、位置を y [m] とする。初速度 v_0 が 0 m/s 、加速度 a が鉛直下向きに大きさ g [m/s²] なので、等加速度直線運動の式 → p.31 で、 x を y に変えて、 $v_0=0 \text{ m/s}$ 、 $a=g$ を代入すると、次式が得られる。

$$v=gt \quad (11) \quad v=v_0+at \quad (8)$$

$$y=1/(2)gt^2 \quad (12) \quad x=v_0t+(1)/(2)at^2 \quad (9)$$

$$v^2=2gy \quad (13) \quad v^2-v_0^2=2ax \quad (10)$$

問 16 水面より高さ 4.9 m のところから、小石を静かに②はなした。小石が水面に達するまでの時間と、水面に達する直前の小石の速さを求めよ。ただし、重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。

▲図 28 各地の重力加速度の大きさ

① 鉛直下向き重力がはたらく向き。

② 静かに初速度の大きさが 0 。

step 0 問 16

小石の初めの位置から下向きに y 軸をとる。

求める時間を t とすると、時刻 t での位置 $y=$ _____ m

t を求めるには式(11)~(13)のうち、式 _____ を使う。

得た t の値を使って速さを求めるには式 _____ を使う。

実験 1 重力加速度の測定

準備 ボール(ハンドボールなど)、距離センサー、パソコン計測システム、スタンド

方法 ① 右の図のように装置を組み立てる。

② パソコン計測システムを使い、ボールの落下する距離や速度の時間的な変化を測定する。

③ 質量の異なるボールを使って、同様の実験を行う。

処理 データ処理ソフト，または表計算ソフトを用いて，測定した結果からボールの落下する速度 v と落下時間 t の関係を表す v - t グラフを描く。

缶の中の水は，缶と同じように落下するからこぼれない。重力だけがはたらく場合，落下する物体は質量によらず常に一定の重力加速度を受ける。自由落下は，初速度が 0，加速度が 9.8 m/s^2 である等加速度直線運動の実例である。

step 0 問 16 : 4.9, (12), (11)

8 鉛直投射

卓球のサーブで真上に投げ上げたピンポン玉は、上昇し、最高点に達して下降する。この運動中、加速度はどう変化するだろうか。① 手からはなれた直後、② 上昇中、③ 最高点、④ 下降中 のうち、加速度が最も大きいのはどの場面だろうか。

1 鉛直投げおろし 物体を鉛直下向きに初速度の大きさ v_0 で投げおろしたときの運動を調べる → 図 29。

鉛直下向きを正として、得られる $v-t$ グラフ → 図 30 (a) から、物体はその質量や初速度の大きさに関係なく、自由落下の場合と同じ鉛直下向きに大きさ g の加速度で等加速度直線運動をしているとわかる。

物体を投げおろした位置を原点 O として、鉛直下向きに y 軸をとる。投げおろした時刻を 0 s として、初速度の大きさを v_0 、時刻 t における物体の速度を v 、位置を y として、等加速度直線運動の式 → p.31, x を y に変えて、 $a=g$ を代入すると、次式が得られる。

$$v = v_0 + gt \quad (14) \quad v = v_0 + at \quad (8)$$

$$y = v_0 t + (1)/(2)gt^2 \quad (15) \quad x = v_0 t + (1)/(2)at^2 \quad (9)$$

$$v^2 - v_0^2 = 2gy \quad (16) \quad v^2 - v_0^2 = 2ax \quad (10)$$

問 17 橋の上から小石を初速度の大きさ 5.0 m/s で鉛直下向きに投げおろしたところ、 2.0 s 後に水面に達した。重力加速度の大きさを 9.8 m/s² として、次の問いに答えよ。

- (1) 水面に達する直前の小石の速さを求めよ。
- (2) 投げおろした位置の水面からの高さを求めよ。

▲ 図 29 鉛直投げおろし 鉛直下向きを正にとっている。

▲ 図 30 鉛直投げおろしのグラフ

step 0 問 17 (1)

初めの小石の位置から下向きに y 軸をとる。

初速度 $v_0 =$ ___ m/s

求める速さを v とすると、 $t =$ ___ s での v を求めるには、式(14)~(16)のうち、式___を使う。

なるほど！ 落体の運動

Q 自由落下に鉛直投げおろし、鉛直投げ上げと、式がたくさん出てきて、覚えるのが大変です。

A これらの運動は、式を覚えるのではなく、すべて等加速度直線運動の式を出発点として

考えましょう。例えば自由落下は、「鉛直下向きを正とすると、初速度が 0 で加速度が g の等加速度直線運動」です。よって、等加速度直線運動の式に初速度 $v_0=0$ 、加速度 $a=g$ を代入して、導くことができます。

また、鉛直投げおろしや鉛直投げ上げも同じように、鉛直下向きを正とするときは $a=g$ 、上向きを正とするときは $a=-g$ とします。このように、たくさんの式を覚えるのではなく、等加速度直線運動の式から導くのです。

2 鉛直投げ上げ 物体を鉛直上向きに初速度の大きさ v_0 で投げ上げたときの運動を調べる
→図 32。

鉛直上向きを正として、得られる $v-t$ グラフから、物体はその質量や初速度の大きさに関係なく、常に鉛直下向きに大きさ g の加速度で等加速度直線運動をしていることがわかる。投げ上げた時刻を 0 s として、時刻 t における物体の速度を v 、位置を y として、等加速度直線運動の式→p.31 で、 x を y に変えて、 $a=-g$ を代入すると、次式が得られる。

$$v = v_0 - gt \quad (17) \quad v = v_0 + at \quad (8)$$

$$y = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \quad (18) \quad x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad (9)$$

$$v^2 - v_0^2 = -2gy \quad (19) \quad v^2 - v_0^2 = 2ax \quad (10)$$

p.33 のなるほど！にもあったけど、 y は、物体の移動距離ではなく変位を表しているんだっただよね。

そうだね。鉛直投げ上げだと、最高点に達する前と後で、同じ位置を 2 回通過することになるから、同じ y の値になる時刻が 2 回あることになるね。

最高点だけは 1 回しか通過しないけどね。

▲図 31 鉛直に投げ上げた物体のストロボ写真

(発光間隔 $1/(40)$ s)

▲図 32 鉛直投げ上げ 鉛直上向きを正にとっている。同じ位置を通過するとき、速度の大きさは等しく向きは逆である。つまり、戻ってきたときの速さは、投げ上げた速さと同じである(対称性)。

▲図 33 鉛直投げ上げのグラフ 投げ上げてから最高点に達するまでの時間が t_1 であれば、投げ上げた地点に戻るまでの時間 t_2 は $t_2=2t_1$ となる。

step 0 問 17 : 5.0, 2.0, (14)

例題 3 鉛直投げ上げ

問 時刻 $t=0$ s に高さ 14.7 m のビルの屋上から、鉛直上向きに 9.8 m/s の速さで物体を投げ上げた。重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とし、次の問いに答えよ。

- (1) 物体が最高点に達するのはいつか。また、そのときの投げ上げた点からの高さを求めよ。
- (2) 地面に落下するのはいつか。また、そのときの速度を求めよ。

解 (1) 「 $v=v_0-gt$ 」p.37 式(17) で、 $v=0 \text{ m/s}$, $v_0=9.8 \text{ m/s}$, $g=9.8 \text{ m/s}^2$ とおいて、
 $0 \text{ m/s}=9.8 \text{ m/s}-9.8 \text{ m/s}^2 \times t$ よって、 $t=1.0 \text{ s}$

「 $v^2-v_0^2=-2gy$ 」p.37 式(19) より、

$(0 \text{ m/s})^2-(9.8 \text{ m/s})^2=-2 \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times y$ よって、 $y=4.9 \text{ m}$

(2) 物体が地面に達するとき、物体の位置 y は、 $y=-14.7 \text{ m}$ であるから、「 $y=v_0t-(1)/(2)gt^2$ 」p.37 式(18) で、 $y=-14.7 \text{ m}$, $v_0=9.8 \text{ m/s}$, $g=9.8 \text{ m/s}^2$ とおいて、 $-14.7 \text{ m}=9.8 \text{ m/s} \times t-(1)/(2) \times 9.8 \text{ m/s}^2 \times t^2$

これから、 $t=3.0 \text{ s}$, -1.0 s

物体を投げ上げた後に地面に落下するので $t=-1.0 \text{ s}$ は適さない。つまり、 $t>0 \text{ s}$ であるから、 $t=3.0 \text{ s}$

「 $v=v_0-gt$ 」より、 $v=9.8 \text{ m/s}-9.8 \text{ m/s}^2 \times 3.0 \text{ s}=-19.6 \text{ m/s} \doteq -20 \text{ m/s}$ 鉛直下向きに 20 m/s

つながる指針

- ① 物体を投げ上げた点を原点として、初速度の向きを正とする。 v と y を式で表す。
- ② 物体が最高点に達したとき、物体の速度 $v=0$ である。

類題 2 時刻 $t=0$ s に鉛直上向きに初速度の大きさ $v_0=4.9 \text{ m/s}$ で物体を投げ上げた。鉛直上向きを正として、次の問いに答えよ。ただし、重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。

- (1) 時刻 t における物体の速度 v を、 $v-t$ グラフに表せ。
- (2) 物体が初めの位置に戻るのはいつか。また、そのときの物体の速度を求めよ。
- (3) 投げ上げてから 0.30 s 後と同じ高さを物体が通過したのはいつか。

問 18 時刻 $t=0$ s に地上の点 P から、鉛直上向きに初速度の大きさ v_0 [m/s] で物体 A を投げ上げるのと同時に、ある高さの点 Q から物体 B を自由落下させた。このとき、物体 B が地上に達する前に物体 A が再び点 P に戻ってきた。鉛直上向きを正として、時刻 t における物体 A, B の速度 v_A , v_B を、それぞれ $v-t$ グラフに表せ。

step 0 問 18

A の初速度は _____

B の初速度は _____

重力加速度を $-g$ とすると,

A の加速度は _____

B の加速度は _____

鉛直投射では、初速度の大きさや向きによらず、加速度の大きさは常に 9.8 m/s^2 。初速度の向きを正とすることが多く、その場合、投げおろすときは $a=g$ 、投げ上げるときは $a=-g$ である。上昇中も下降中も同一の式が成り立つ。

9 放物運動

野球の選手が水平方向に投げた球を観察すると、直線運動ではなく、運動の向きが変化しているのがわかる。このとき速度の水平方向と鉛直方向の成分はそれぞれどう変化しているだろう。だんだん速くなるか、だんだん遅くなるか、変化しないだろうか。

物体を水平方向や斜め方向に投げ出した運動を**放物運動**という。

この運動の道筋(軌跡)は2次関数で表され、**放物線**とよばれる。

1 水平投射 放物運動のうち、水平方向に投げ出す運動を**水平投射**という。図34は、自由落下する物体と、それと同時に水平投射した物体のストロボ写真である。水平投射を水平方向と鉛直方向に分解してみると、物体は水平方向には等速度運動をし、鉛直方向には自由落下と同じ運動をしていることがわかる→図34。

▲図34 自由落下と同時に水平投射した物体のストロボ写真(発光間隔 $1/(30)\text{s}$)

発展 物理 水平投射と斜方投射

① **水平投射の式** 図iのように、水平右向きに x 軸、鉛直下向きに y 軸をとり、時刻 $t=0$ s に、原点 O から x 軸の正の向きに大きさ v_0 の初速度で物体を投げ出したときの運動を考える。

時刻 t における物体の速度 $\vec{v}$ の x 成分 v_x と y 成分 v_y は、 $v_x=v_0$ 、 $v_y=gt$ と表される。この

とき、物体の速度の大きさ(速さ) v は、 $v=\sqrt{v_x^2+v_y^2}=\sqrt{v_0^2+(gt)^2}$ である。速度の方向は、物体が描く曲線に引いた接線の方向に一致している。

また、時刻 t における物体の位置 P の座標を (x, y) とすると、 $x=v_0t$ 、 $y=1/(2)gt^2$ であり、この2式から t を消去すると、物体が描く曲線を表す式 $y=1/(2)g(x/v_0)^2=g/(2v_0^2)x^2$ が得られる。→p.40 に続く

▲図 i 水平投射

step 0 問 18 : $v_0, 0, -g, -g$

発展の続き

問 i 水平な床からの高さが 4.9 m の点から、物体を速さ 3.0 m/s で水平に投げ出した。重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 として、次の問いに答えよ。

- (1) 物体を投げ出してから床につくまでの時間は何 s か。 1.0 s
- (2) 物体は、投げ出した点の真下から何 m 離れた位置に落下するか。 3.0 m

② 斜方投射 上の図は、鉛直上向きに投げ上げた物体と、それと同時に斜め上向きに投げ出した(斜方投射した)物体のストロボ写真である。斜方投射した物体の運動を水平方向と鉛直方向に分解してみると、物体は水平方向には等速度運動をし、鉛直方向には鉛直投げ上げと同じ運動をしていることがわかる。

③ 斜方投射の式 図 ii のように、水平右向きに x 軸、鉛直上向きに y 軸をとり、時刻 $t=0$ s に、原点 O から、 xy 平面で水平方向より角 θ だけ上向き(仰角 θ の向き)に初速度の大きさ v_0 で物体を投げ出したときの運動を考える。

このとき、初速度 $\vec{v}_0$ の x 成分 v_{0x} と y 成分 v_{0y} はそれぞれ次のように表される。

$$v_{0x} = v_0 \cos \theta, \quad v_{0y} = v_0 \sin \theta \quad \text{①}$$

また、時刻 t における物体の速度 $\vec{v}$ の x, y 成分を (v_x, v_y) 、位置の座標を (x, y) とすると、それぞれ次のように表される。

$$v_x = v_0 \cos \theta \quad \cdots \cdots \text{①} \quad v_y = v_0 \sin \theta - gt \quad \cdots \cdots \text{②}$$

$$x = v_0 \cos \theta \cdot t \quad \cdots \cdots \text{③} \quad y = v_0 \sin \theta \cdot t - \frac{1}{2}gt^2 \quad \cdots \cdots \text{④}$$

式③と式④から t を消去すると、空中に投げ出された物体が描く曲線を表す次式が得られる。

$$y = \tan \theta \cdot x - \frac{g}{2(v_0 \cos \theta)^2} \cdot x^2$$

▲図 ii 斜方投射

①三角比

$$\sin \theta = a/c$$

$$\cos \theta = b/c$$

$$\tan \theta = a/b$$

▲図 iii いろいろな放物運動

例題 i 斜方投射

問 図のように、時刻 0 s に、地上の点 O から小物体を仰角 θ の向きに速さ v_0 で投げ出した。重力加速度の大きさを g として、次の問いに答えよ。

- (1) 放物運動の最高点の高さ H を求めよ。
- (2) 落下するまでに水平方向に移動する距離(水平到達距離) D を求めよ。

解 (1) 物体が最高点に達する時刻を t_1 とすると、このとき、速度の鉛直方向の成分は 0 であるから、式②より、

$$0 = v_0 \sin \theta - g t_1 \quad \text{よって, } t_1 = v_0 \sin \theta / g$$

これを式④に代入して、放物運動の最高点の高さ H は、

$$H = v_0 \sin \theta \cdot (v_0 \sin \theta) / (g) - 1/2 g (v_0 \sin \theta / g)^2 = (v_0 \sin \theta)^2 / 2g \textcircled{1}$$

(2) 地面に落下する時刻を t_2 とすると、式④で $y=0$ として、

$$0 = v_0 \sin \theta \cdot t_2 - 1/2 g t_2^2 \quad t_2 \neq 0 \quad \text{より, } t_2 = (2 v_0 \sin \theta) / g (= 2 t_1)$$

これを式③に代入して、水平到達距離 D は、

$$D = v_0 \cos \theta \cdot (2 v_0 \sin \theta) / g = 2 v_0^2 \sin \theta \cos \theta / g (= v_0^2 \sin 2 \theta / g) \textcircled{2} \textcircled{3}$$

つながる指針

- ① 物体の運動を、鉛直方向には鉛直投げ上げと同じ運動、水平方向には等速度運動として分けて扱う。
- ② 最高点に達したとき、速度の鉛直方向の成分は 0 である。

① 鉛直投げ上げの式(→ p.37 式(19))を用いて、

$$0^2 - (v_0 \sin \theta)^2 = -2gH$$

から、 H を求めることもできる。

② 三角関数の公式

$\sin 2 \theta = 2 \sin \theta \cos \theta$ (2 倍角の公式)を用いた(→ p.217)。

③ このことから、 v_0 が一定の場合、 $2 \theta = 90^\circ$ ($\theta = 45^\circ$) のときに、水平到達距離が最大になることがわかる。

類題 i 高さ 9.8 m の点 O から仰角 30° の向きに、9.8 m/s の速さで小球を投げ出した。重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 として、次の問いに答えよ。

- (1) 最高点の地面からの高さは何 m か。 11.0 m
- (2) 地面に達するのは投げ出してから何 s 後か。 2.0 s 後
- (3) 地面に達するまでの水平距離 L は何 m か。 17 m

水平方向に投げ出された物体の運動の道筋は直線ではなく、放物線を描く。放物運動を分解すると、水平方向には等速度運動、鉛直方向には等加速度運動をしており、運動の向きと速さは常に変化する。

学習のまとめ

速度 ▶1~4

□ **速さ** 単位時間あたりの移動距離。

□ **速度** 単位時間あたりの変位。

$$v = \Delta x / \Delta t$$

v [m/s] : 速度 Δt [s] : 経過時間

Δx [m] : 変位 (= 位置の変化)

□ **等速直線運動(等速度運動)** 一定の速度で直線上を進む運動。

□ **速度の合成** 2つの速度を足し合わせることで。

$$v = v_1 + v_2$$

v [m/s] : 地面に対する B の速度

v_1 [m/s] : 地面に対する A の速度

v_2 [m/s] : A から見た B の速度

□ **相対速度** 観測者 A に対する物体 B の相対速度とは、A から見た B の速度のことである。

$$v_{AB} = v_B - v_A = v_B + (-v_A)$$

v_{AB} [m/s] : A に対する B の相対速度

v_A [m/s] : 地面に対する A の速度

v_B [m/s] : 地面に対する B の速度

▲ 等速直線運動のグラフ

加速度 ▶5, 6

□ **加速度** 単位時間あたりの速度の変化。

$$a = (v_2 - v_1) / (t_2 - t_1) = \Delta v / \Delta t$$

a [m/s²] : 加速度 t_1 [s], t_2 [s] : 時刻 ($t_1 < t_2$)

v_1 [m/s] : 時刻 t_1 [s] での速度 v_2 [m/s] : 時刻 t_2 [s] での速度

Δv [m/s] : 速度の変化 Δt [s] : 経過時間

□ **等加速度直線運動** 加速度が一定の直線運動。

時刻 $t=0$ で速度 $v=v_0$, 位置 $x=0$ のとき,

$$v = \underline{v_0} + \underline{at} \quad \dots(A)$$

切片 v_0 =初速度 傾き a =加速度

$$x = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2 \quad \dots (B)$$

= v - t グラフと t 軸で囲まれた面積

式(A), (B)から t を消去すると, $v^2 - v_0^2 = 2ax \quad \dots (C)$

落体の運動 ▶7~9

重力加速度 重力だけを受けて落下する物体の加速度。

自由落下

初速度 0 (下向き正)

$$v = gt$$

$$y = \frac{1}{2} g t^2$$

$$v^2 = 2gy$$

鉛直投射

鉛直投げおろし(下向き正)

$$v = v_0 + gt$$

$$y = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

$$v^2 - v_0^2 = 2gy$$

鉛直投げ上げ(上向き正)

$$v = v_0 - gt$$

$$y = v_0 t - \frac{1}{2} g t^2$$

$$v^2 - v_0^2 = -2gy$$

t [s] : 時刻 v [m/s] : 時刻 t での物体の速度 v_0 [m/s] : 初速度

y [m] : 時刻 t での物体の位置 g [m/s²] : 重力加速度の大きさ

放物運動・水平投射…水平方向は等速度運動, 鉛直方向は自由落下と同じ運動。

発展・斜方投射…水平方向は等速度運動, 鉛直方向は鉛直投げ上げと同じ運動。

章末問題

1 等速直線運動, 等加速度直線運動 ▶2 6

エレベーターが1階から鉛直上向きに動き出した。初めの5.0 s間は大きさ 1.2 m/s^2 の一定の加速度で動き、次の10 s間は一定の速度で動いた。その後、6.0 s間は一定の加速度で減速して止まった。

- (1) エレベーターの速さの最大値はいくらか。
- (2) 最後の6.0 s間の加速度の大きさはいくらか。
- (3) 動き出してから止まるまでにエレベーターは何 m 上昇したか。

2 速度の合成 ▶31

東西に4000 km離れた2つの都市A, Bを結ぶジェット機の飛行時間を考えよう。ジェット機は空気に対して 900 km/h の一定の速さで飛ぶものとし、また、ジェット機の航路には、西から東へ向かって速さ 100 km/h のジェット気流とよばれる空気の流れがあるとす。この場合、ジェット機が東の都市Aから西の都市Bへ飛ぶのにかかる時間は、都市Bから都市Aへ飛ぶのにかかる時間よりも何分長くかかるか。

3 等加速度直線運動 ▶6

x 軸上を運動する物体が、時刻0 sに原点Oを x 軸の正の向きに通過した。図は、それ以後の物体の速度と時刻の関係を表している。

- (1) この物体の加速度はいくらか。
- (2) 物体の x 座標が最も大きくなる時刻と、そのときの座標を求めよ。
- (3) 時刻0 sから15 sまでの間に物体が進んだ距離(道のり)はいくらか。

4 落下運動▶7 8

橋の上から小物体Aを自由落下させ、その1.0 s後に同じ位置から小物体Bを鉛直下向きに速さ 14.7 m/s で投げおろしたところ、AとBは同時に水面に達した。重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 として、次の問いに答えよ。

- (1) Bを投げおろしてから水面に達するまでの時間は何 s か。
- (2) Bを投げおろした時刻と $t=0 \text{ s}$ として、A, Bそれぞれの $v-t$ グラフを描け。

5 等速度で上昇する気球からの落下運動 ▶8

一定の速さ 4.9 m/s で鉛直上向きに上昇している気球がある。地上からの高さが98 mのところ、この気球から見て小物体を初速度の大きさ0で落下させた。地上から見て、この物体が到達する最高点の高さはいくらか。また、物体が地表に達するまでに要する時間と、地表に達する直前の物体の速度を求めよ。ただし、重力加速度の大きさを 9.8 m/s^2 とする。

step 0

①

 $v-t$ グラフの傾き：物体の _____ $v-t$ グラフの面積：物体の _____

②

都市 A から B に飛ぶときの、地面に対する飛行機の速さは _____ km/h

都市 B から A に飛ぶときの、地面に対する飛行機の速さは _____ km/h

都市 A, B 間の距離は _____ km

③

(2) 物体の x 座標が最も大きくなるとき、物体の速度は _____ m/s となる。

④

(1) 求める時間を t [s] とする。A が水面に達するまでにかかった時間を t を使って表すと、
_____ と表される。

⑤

地面から見ると、この小物体は、高さ _____ m の位置から、鉛直 _____ 向きに、速さ _____ m/s で
〔投げ上げた・自由落下した・投げおろした〕ようにみえる。step 0 ① 加速度, 変位 ② 800, 1000, 4000 ③ 0 ④ $t+1.0$ s ⑤ 9.8, 上, 4.9, 投げ上げた