CHAPTER 01

運動の表し方・落体の運動

POINT

Ⅰ. 向き

◎「速度」　＝「向き」　＋　「速さ」

・「東向きに5[m/s]」　＝「東向き」　＋　「5[m/s]」
・「上向きに3[m/s]」　＝「上向き」　＋　「3[m/s]」

「東向きに5[m/s]」　＝「東向き」　＋　「5[m/s]」
東向きを正とすると　……　「東向きに5[m/s]」＝「東向き」＋「5[m/s]」＝　+5[m/s]
西向きを正とすると　……　「東向きに5[m/s]」＝「東向き」＋「5[m/s]」＝　−5[m/s]

「上向きに3[m/s]」　＝「上向き」　＋　「3[m/s]」
上向きを正とすると　……　「上向きに3[m/s]」＝「上向き」＋「3[m/s]」＝　+3[m/s]
下向きを正とすると　……　「上向きに3[m/s]」＝「上向き」＋「3[m/s]」＝　−3[m/s]

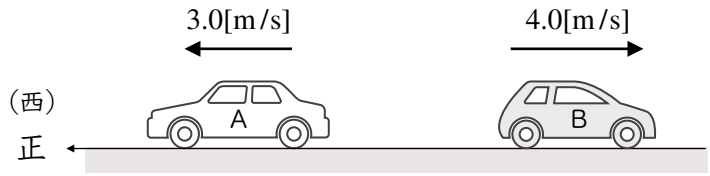
※ 問題文に記載がない場合は、**必ず「○向きを正とする」と書く**こと。

2. 相対速度

POINT

◎ 相対速度は**動いている人目線**の話
◎ **「自分に対する相手の相対速度」＝「相手の速度」－「自分の速度」**
◎ あくまでも知りたいのは**相手の速度**である

例題 東西に通じる道路を、自動車Aは西向きに3.0[m/s]で、自動車Bは東向きに4.0[m/s]で進む。Aに対するBの相対速度を求めよう。ただし、西向きを正とする。



西向きを正 …… 「自動車Aの速度」＝「西向き」＋「3.0[m/s]」＝ $+3.0[\mathrm{m/s}]$
「自動車Bの速度」＝「東向き」＋「4.0[m/s]」＝ $-4.0[\mathrm{m/s}]$

『Aに対するBの相対速度』 → 『(Aに対する)Bの相対速度』
あくまでも知りたいのは相手の速度 → Bが相手
Aが自分(こっちに乗る)

「Aに対するBの相対速度」＝「相手の速度」－「自分の速度」
＝「自動車Bの速度」－「自動車Aの速度」
＝ $(-4.0[\mathrm{m/s}])-(+3.0[\mathrm{m/s}])$
＝ $-7.0[\mathrm{m/s}]$

「－（マイナス）」は「東向き」という意味なので

A. 東向きに7.0[m/s]

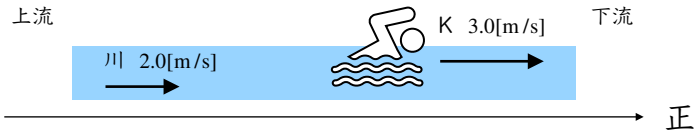
（Aに乗っている人から見てBは東向きに7.0[m/s]で進んでいるように見える！）

3. 速度の合成

POINT

◎ 速度の合成は**止まっている人目線**の話
◎ 速度の合成は、**対象が動くものの上にあるとき**に使う
◎ 速度の合成は**速度の足し算**（符号も考慮すること）

例題 上流から下流にかけて速さ2.0[m/s]で流れる川の中をKさんが泳ぐ。水が流れていない状態でKさんは3.0[m/s]で泳ぐ。下流に向かって泳ぐKさんの速さは、川のそばのベンチに座っている人から見るとどの向きに何[m/s]か。Kさんが上流に向かって泳ぐ時はどうか。



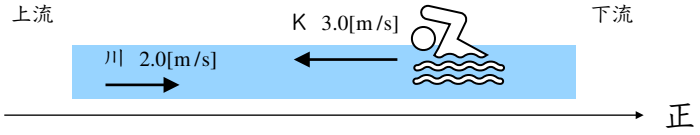
（上流から）下流に向かう向きを正とする

「川の速度」　＝　+2.0[m/s]
「下流に向かうKの速度」　＝　+3.0[m/s]

「ベンチに座る人の見るKの速度」　＝（+2.0[m/s]）＋（+3.0[m/s]）
＝　+5.0[m/s]

「＋（プラス）」は「下流に向かう向き」という意味なので

A.　下流に向かう向きに5.0[m/s]



同様に、
（上流から）下流に向かう向きを正とする

「川の速度」　＝　+2.0[m/s]
「上流に向かうKの速度』　＝　−3.0[m/s]

「ベンチに座る人の見るKの速度」　＝（+2.0[m/s]）＋（−3.0[m/s]）
＝　−1.0[m/s]

「ー（マイナス）」は「上流に向かう向き」という意味なので

A.　上流に向かう向きに1.0[m/s]

4. 等速直線運動

POINT

◎ 等速直線運動は**速度がずっと同じ** → 「はじき」で解ける

「移動距離」 … 移動した道のりの長さ（ ⟶⮌ ）

「変位」 … **スタート地点とゴール地点の長さ**（ ⟶ ）



移動経路は関係ない

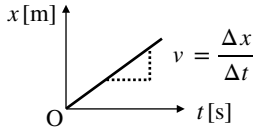
変位には「向き」がある

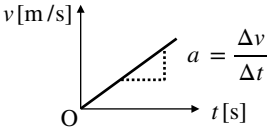
（原点から正方向 → ＋　　負方向 → －）

◎ $x-t$ 図 … グラフの**傾き ＝ 速度**

◎ $v-t$ 図 … グラフの傾き ＝ 加速度

グラフの**面積 ＝ 変位（移動距離）**



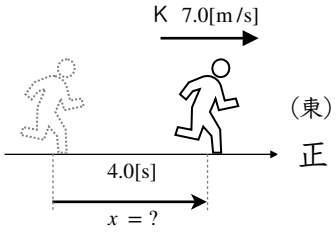


例題 KさんはA地点から東向きに7.0[m/s]で4.0秒間走った。このときのKさんのA地点からの変位を求めよう。ただし、東向きを正とする。

東向きを正

「Kの速度」 ＝ ＋7.0[m/s]

「走った時間」＝ 4.0[s] ←時間は遡らないので符号はつかない



「走った距離」＝「速度」×「時間」

＝ （＋7.0[m/s]） × 4.0[s]

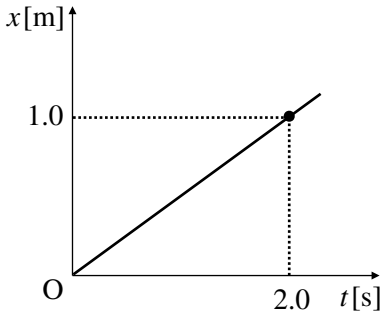
＝ ＋28[m]

「＋（プラス）」は「東向き」という意味なので　A. A地点から東向きに28[m]の地点

例題 右のような $x-t$ 図がある。

(1) この運動の速度を求めよう。

(2) この運動の $v-t$ 図を描こう。



(1)「$x-t$ 図」グラフの傾きは**速度**を表す

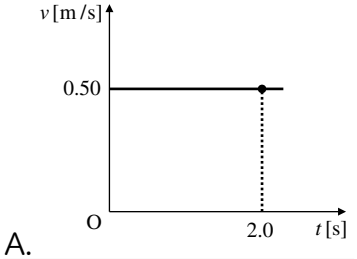
$$「速度」 = \frac{+1.0[m]}{2.0[s]} = +0.50[m/s]$$

＋（プラス）は「正の方向に」という意味だけど、

今回は特に向きが書かれていないので符号のまま答えてOK！　A. ＋0.50[m/s]

(2) (1)より、この運動は「速度がずっと ＋0.50[m/s]」ということ

よって $v-t$ 図は右のようになる



A.

5. 平均の速度と瞬間の速度

POINT

◎ 平均の速度　→「スタート～ゴールの距離」÷「かかった時間」

◎ $x-t$ 図がある場合、「平均の速度」＝「2点を直線で結んだときの傾き」

$$\overline{v}=\frac{\Delta x}{\Delta t}$$

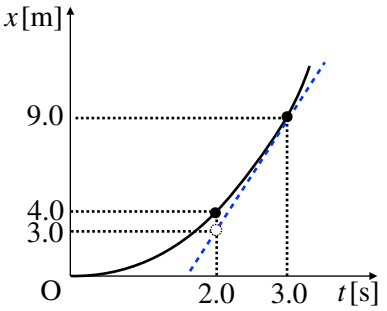
「変化量（Δ）」＝「（時間的に）アトの状態」－「（時間的に）マエの状態」

◎ 瞬間の速度は**一瞬一瞬の速度**　→　高校物理の範囲では求められない…

◎ $x-t$ 図がある場合、「瞬間の速度」＝「その点における**接線**の傾き」

※ ただし、我々が正確な接線を引く手段がないので、問題文に必ず記入されている

例題 右の図のように$x-t$図がある。なお破線は、時刻3.0秒での曲線におけるの接線で、(2, 3), (3, 9)を通る。



(1) 時刻 0～2秒の平均の速度を求めよう。

(2) 時刻 0～3秒の平均の速度を求めよう。

(3) 時刻 2～3秒の平均の速度を求めよう。

(4) 時刻 3秒での瞬間の速度を求めよう。

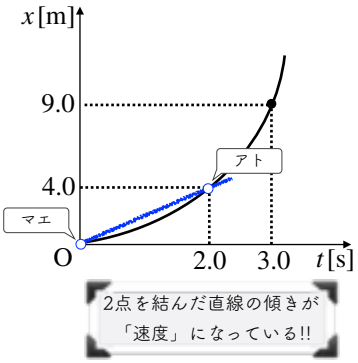
---

(1)

Δx ＝「(時間的に)アトの状態」－「(時間的に)マエの状態」
＝「時刻2秒の変位」－「時刻0秒の変位」
＝ (+4.0[m]) － 0[m]
＝ +4.0[m]

Δt ＝「(時間的に)アトの状態」－「(時間的に)マエの状態」
＝ 2.0秒 － 0秒
＝ 2.0秒

よって、$\overline{v}=\dfrac{\Delta x}{\Delta t}=\dfrac{+4.0}{2.0}=\underline{+2.0[\mathrm{m/s}]}$

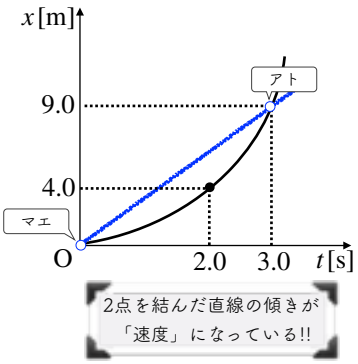


(2)

Δx ＝「(時間的に)アトの状態」－「(時間的に)マエの状態」
＝「時刻3秒の変位」－「時刻0秒の変位」
＝ (+9.0[m]) － 0[m]
＝ +9.0[m]

Δt ＝「(時間的に)アトの状態」－「(時間的に)マエの状態」
＝ 3.0秒 － 0秒
＝ 3.0秒

よって、$\overline{v}=\dfrac{\Delta x}{\Delta t}=\dfrac{+9.0}{3.0}=\underline{+3.0[\mathrm{m/s}]}$



(3)

Δx ＝「(時間的に)アトの状態」－「(時間的に)マエの状態」

＝「時刻3秒の変位」－「時刻2秒の変位」

＝（+9.0[m]）－（+4.0[m]）

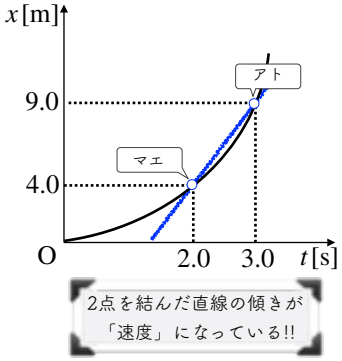
＝ +5.0[m]

Δt ＝「(時間的に)アトの状態」－「(時間的に)マエの状態」

＝ 3.0秒 － 2.0秒

＝ 1.0秒

よって、$\overline{v} = \dfrac{\Delta x}{\Delta t} = \dfrac{+5.0}{1.0} = \underline{+5.0[\mathrm{m/s}]}$

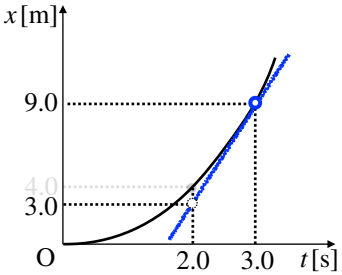


2点を結んだ直線の傾きが「速度」になっている!!

(4)

瞬間の速度は、グラフにおける接線の傾きなので、

右図より$v = \dfrac{+6.0}{1.0} = \underline{+6.0[\mathrm{m/s}]}$



1点を通る接線の傾きが「速度」になっている!!

※ 瞬間の速度は「その１点」のみなので、

「アト」や「マエ」は存在しない！

だから、ただただ接線の傾きを求めるだけでおしまい。

6. 等加速度直線運動

POINT

◎ 加速度$a[\mathrm{m/s^2}]$ … 1秒あたりにどれくらい速度[m/s]が変化するか

$$a=\frac{\Delta v}{\Delta t}=\frac{v-v_0}{t}$$

◎ 等加速度直線運動 … **速度が変化する** → きはじは使えない …

→ だからあの３つの式を使わねばならない！

① $v=v_0+at$

② $x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$

③ $v^2-v_0^2=2ax$

※①と②は、グラフを書けば勝手に出てくるもの
覚える必要は全くない（解説は次の章）

※③は特に意味のない「便利公式」
時間 t の情報がない状態から解くことができる
覚えていたら楽なだけで、ないならないでもOK！

◎ 等加速度直線運動では、最初の速度である初速度は特別扱い → v_0 とする

◎「初速度v_0」「速度v」「加速度a」「変位x」 ← 必ず符号付きで代入すること

例題 最初Kさんは6.0[m/s]東向きにで走っていた。Kさんは西向きに$4.0[\mathrm{m/s^2}]$の等加速度直線運動をしている。4.0秒後、Kさんはどの向きに、何[m/s]で走っているか求めよう。

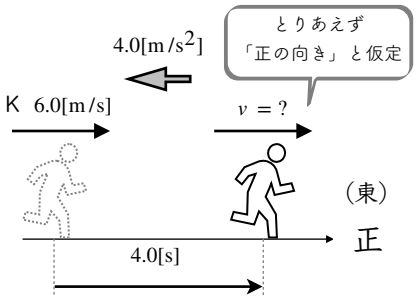
東向きを正とする

「Kの初速度 v_0」 ＝ $+6.0[\mathrm{m/s}]$

「Kの加速度 a」 ＝ $-4.0[\mathrm{m/s^2}]$

「Kの走った時間 t」 ＝ 4.0秒間

$$v=v_0+at$$
$$=(+6.0)+(-4.0)\times 4.0$$
$$=-10[\mathrm{m/s}]$$



「ー（マイナス）」は「西向き」という意味

A. 西向きに10[m/s]

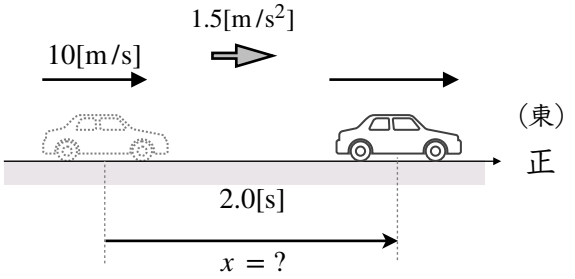
例題 東向きに速さ10[m/s]で走っていた車が、東向きに一定の加速度1.5[m/s^2]で速さを増した（Kさん一旦休憩）。2.0秒後までに車が走った距離は何[m]か。

東向きを正とする

「車の初速度 v_0」 ＝ $+10$[m/s]

「車の加速度 a」 ＝ $+1.5$[m/s^2]

「車の走った時間 t」＝ 2.0秒間



$$x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$$
$$= (+10)\times 2.0 + \frac{1}{2}\times(+1.5)\times 2.0^2$$
$$= 20 + 3.0$$
$$= +23[\mathrm{m}]$$

「＋（プラス）」は「東向き」という意味

A. 東向きに23[m]

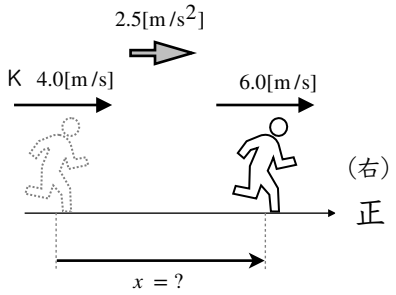
例題 右向きに4.0[m/s]で走っていたKさんが、一定の加速度2.5[m/s^2]で速さを増し、右向きに6.0[m/s]となった（Kさん回復、再び走る）。この間にKさんが進んだ距離は何[m]か。

右向きを正とする

「Kの初速度 v_0」 ＝ $+4.0$[m/s]

「Kの加速度 a」 ＝ $+2.5$[m/s^2]

「Kの(最終的な)速度 v」 ＝ $+6.0$[m/s]



$$v^2 - v_0^2 = 2ax$$
$$(+6.0)^2 - (+4.0)^2 = 2\times(+2.5)\times x$$
$$36 - 16 = 5.0x$$
$$5.0x = 20$$
$$x = +4.0[\mathrm{m}]$$

「＋（プラス）」は「右向き」という意味

A. 右向きに4.0[m]

［補足］

$v = v_0 + at$

$(+6.0) = (+4.0) + (+2.5)\times t$

$t = 0.80$[s]

$$x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$$
$$= (+4.0)\times 0.80 + \frac{1}{2}\times(+2.5)\times 0.80^2$$
$$= +4.0[\mathrm{m}]$$

このように①と②式を使っても求めることができます！覚えていなくても全然問題ありません。
ただ、一旦「時間 t」を出す必要があるので、③式が便利であることは間違いないですね。

7. 等加速度直線運動のグラフ

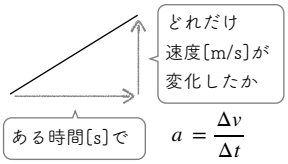
POINT

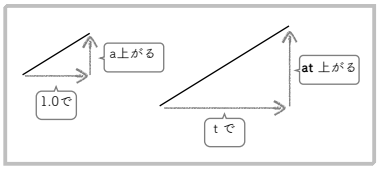
◎ 等加速度直線運動は、$v-t$ 図を利用するだけですべてが求められる！（なければ自分で描く！）

◎「$v-t$ 図」 … グラフの**傾き ＝ 加速度** を表す

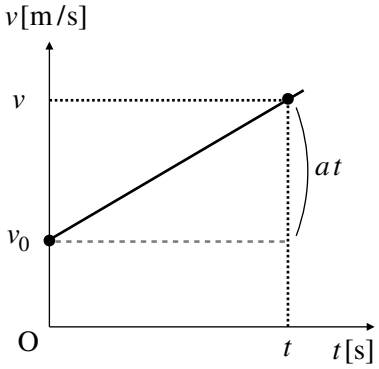
グラフの**面積 ＝ 移動距離** を表す　　この2つだけで解ける

グラフの傾き ＝ 加速度

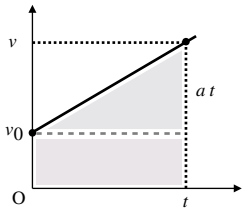


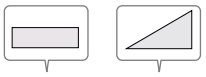


$$v = v_0 + at$$



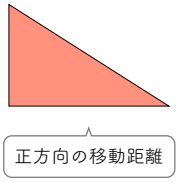
グラフの面積 ＝ 移動距離

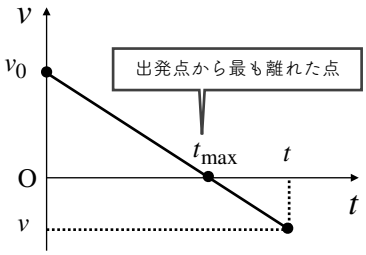


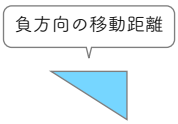


$$x = v_0 t + \frac{1}{2}at^2$$

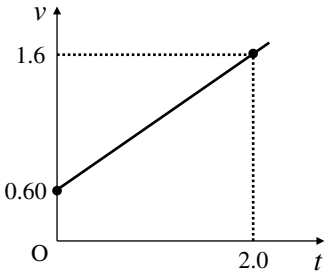
◎「最も離れた点」「最高(到達)点」 → **速度が 0！** $(v=0)$







例題 右の$v-t$ 図のように等加速度直線運動する物体がある。



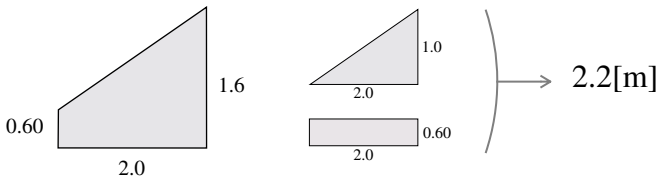
(1) この物体の加速度を求めよう。

(2) この物体が2.0秒間で移動した距離を求めよう。

(1) **傾き ＝ 加速度** より、

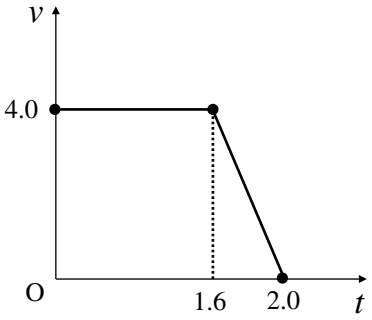
$$a = \frac{(+1.6)-(+0.6)}{2.0} = \underline{+0.50[\mathrm{m/s^2}]}$$

(2) **面積 ＝ 移動距離** より、  の面積を出せば良い。



A.　2.2[m]移動した

例題 右の$v-t$図のように運動する物体がある。



(1) この物体の時刻 0〜1.6秒までの加速度を求めよう。

(2) この物体の刻 1.6〜2.0秒までの加速度を求めよう。

(3) この物体が2.0秒間で移動した距離を求めよう。

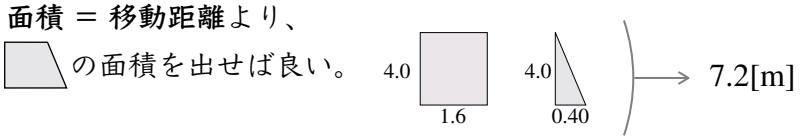
(1) **傾き ＝ 加速度** より、時刻 0〜1.6秒での傾きは 0

よって加速度も0　　A.　$0[\mathrm{m/s^2}]$

(2) **傾き ＝ 加速度** より、

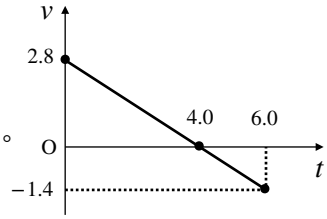
時刻 1.6〜2.0秒での傾きは　$a=\dfrac{0-(+4.0)}{2.0-1.6}=-10[\mathrm{m/s^2}]$

(3) **面積 ＝ 移動距離**より、



A.　7.2[m]移動した

例題 右の$v-t$図のように等加速度直線運動する物体がある。



(1) この物体の加速度を求めよう。

(2) この物体が原点から最も離れたのは原点から何[m]のところか。

(3) この物体は6.0秒後、原点から何[m]離れたところにいるか。

(1) **傾き ＝ 加速度** より、

傾きは、$a=\dfrac{0-(+2.8)}{4.0-0}=-0.70[\mathrm{m/s^2}]$

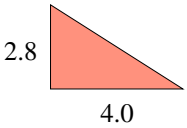
(2) 最も離れた点 ＝ 最高到達点であり、**速度が0になる点**である。

・0〜4.0秒　　… 速度が＋（プラス）なので、正の方向にどんどん離れていく。

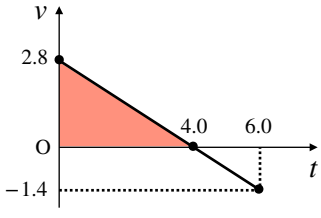
・4.0秒　　… 速度が0、ピタッと止まる。**ここが最も離れた点となる！**

・4.0〜6.0秒　… 速度が−（マイナス）なので、引き返して戻って来る。

→ 原点から最も離れた点の距離は右図の面積を求める。

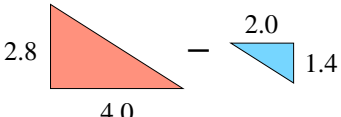


A.　原点から（正の向きに）5.6[m]

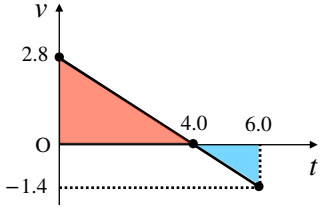


(3) 原点(スタート)〜最終的にいた地点(ゴール) → 移動距離ではなく「変位」

「変位」＝「最高到達点までの距離」−「引き返してきた距離」



A.　原点から（正の向きに）4.2[m]



8. 自由落下と鉛直投げ下ろし

POINT

◎「自由落下」&「鉛直投げ下ろし」は等加速度直線運動
　→　3つの式が同じように使える
　→　$v-t$ 図があれば、式がなくても同じように解ける

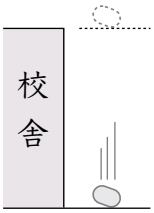
◎ 加速度 a の大きさには、特別に重力加速度（ g or $9.8[\mathrm{m/s^2}]$ ）を使う

◎ 下向きにしか移動しない
　→　下向きを正 とする（のが一般的）

◎「自由落下」「鉛直投げ下ろし」は地球に引っ張られる運動
　→　重力加速度は**絶対に下向き**である

◎「自由落下させた」「静かに放した」＝　**初速度が 0！**　$(v_0=0)$

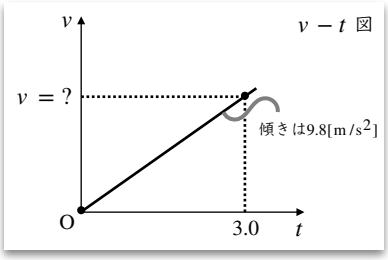
例題 W高校舎の屋上から小石を静かに放したら、3.0秒後に地面に達した。
重力加速度の大きさを$9.8[\mathrm{m/s^2}]$とする。
(1) 小石が地面に達した時の速さは何[m/s]か。
(2) 小石が地面に達するまでに移動した距離は何[m]か。



下向きを正とする
「初速度 v_0」　＝　$0[\mathrm{m/s}]$　⇦ 静かに放した！
「加速度 a」　＝　「下向き」＋「$9.8[\mathrm{m/s^2}]$」＝　$+9.8[\mathrm{m/s^2}]$
「時間 t」　＝　$3.0[\mathrm{s}]$

(1)　$v=v_0+at$
$=0+(+9.8)\times 3.0$
$=+29.4[\mathrm{m/s}]$

「＋（プラス）」は「下向き」という意味

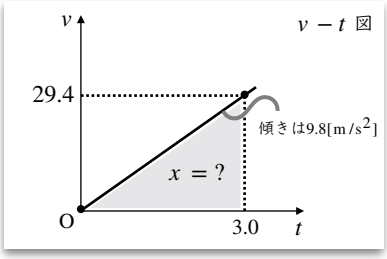


A.　下向きに29.4[m/s]

有効数字を考慮　A.　下向きに29[m/s]

(2)　$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$
$=0\times 3.0+\frac{1}{2}\times(+9.8)\times 3.0^2$
$=+44.1[\mathrm{m}]$

「＋（プラス）」は「下向き」という意味



A.　下向きに44.1[m]進んだ

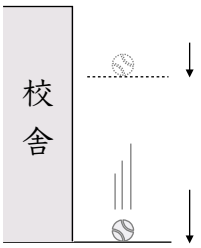
有効数字を考慮　A.　下向きに44[m]進んだ

例題 W高校舎の物理室からボールを下向きに5.0[m/s]で投げると、

2.0秒後に地面に達した。重力加速度の大きさを9.8[m/s^2]とする。

(1) ボールが地面に達した時の速さは何[m/s]か。

(2) この校舎の地面から物理室までの高さは何[m]か。



下向きを正とする

「初速度 v_0」 ＝ $+5.0$[m/s]

「加速度 a」 ＝「下向き」＋「9.8[m/s^2]」＝ $+9.8$[m/s^2]

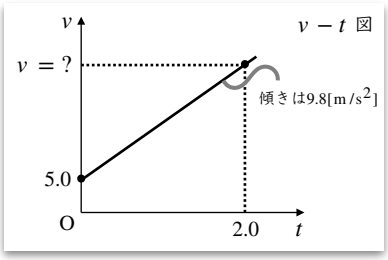
「時間 t」 ＝ 2.0[s]

(1) $v = v_0 + at$

$= (+5.0) + (+9.8) \times 2.0$

$= +24.6$[m/s]

「＋（プラス）」は「下向き」という意味



A. 下向きに24.6[m/s]

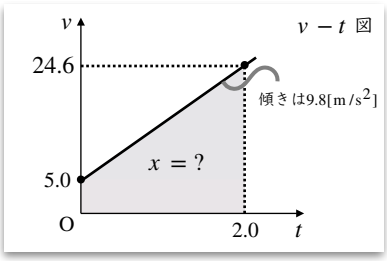
有効数字を考慮 A. 下向きに25[m/s]

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

$= 5.0 \times 2.0 + \frac{1}{2} \times (+9.8) \times 2.0^2$

$= +29.6$[m]

「＋（プラス）」は「下向き」という意味



A. 下向きに29.6[m]進んだ

有効数字を考慮 A. 下向きに30[m]進んだ

9. 鉛直投げ上げ

POINT

◎「鉛直投げ上げ」は等加速度直線運動
　→　3つの式が同じように使える
　→　$v-t$ 図があれば、式がなくても同じように解ける

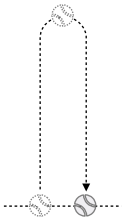
◎ 加速度 a の大きさには、特別に重力加速度（ g or $9.8[\mathrm{m/s^2}]$ ）を使う

◎ 移動方向が上向き、下向きどちらもある
　→　上向きを正 とする（のが一般的）

◎「鉛直投げ上げ」は地球に引っ張られる運動
　→　重力加速度は**絶対に下向き**である

◎**「最も離れた点」「最高(到達)点」**　→　　**速度が 0！**　$(v=0)$

例題 地面から、鉛直上向きに29.4[m/s]でボールを投げた。



重力加速度の大きさを$9.80[\mathrm{m/s^2}]$とする。

(1) 最高点に達するまでにかかった時間を求めよう。
(2) 地面から最高点までの高さを求めよう。
(3) ボールが再び地面に戻ってくるまでにかかった時間を求めよう。
(4) ボールが再び地面に戻ってきた時のボールの速さはどの向きに何[m]か。

上向きを正とする

「初速度 v_0」　＝　$+29.4[\mathrm{m/s}]$

符号に注意！

「加速度 a」　＝「下向き」＋「$9.80[\mathrm{m/s^2}]$」＝　$-9.80[\mathrm{m/s^2}]$

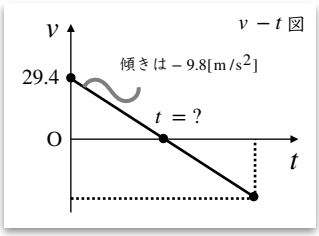
「(最終的な)速度 v」　＝　$0[\mathrm{m/s}]$　⇦ 最高点ではピタッと止まる！

(1)　$v=v_0+at$

$0=(+29.4)+(-9.80)\times t$

$9.80t=29.4$

$t=3.00$



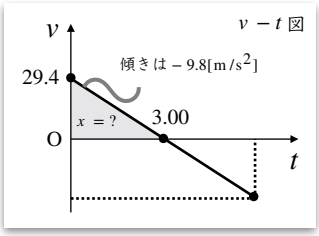
A.　3.00秒

(2)　地面～最高点までの高さは、移動距離を求めればいい。
(1)で求めた「最高点に達するまでの時間」を使えば、

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

$$=(+29.4)\times 3.00+\frac{1}{2}\times(-9.80)\times 3.00^2$$

$$=+44.1[\mathrm{m}]$$



「＋（プラス）」は「上向き」という意味なので、「上向きに44.1[m]進んだ」
今聞かれているのは、単純に最高点の高さなので　A.　44.1[m]

(3)-解き方その1

「元の位置に戻ってきた」→「スタートとゴールが同じ場所」→「変位 $x=0$ 」

$x=v_0t+\frac{1}{2}at^2$ を使って

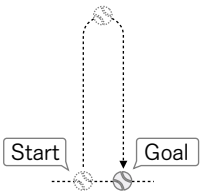
$$0=(+29.4)\times t+\frac{1}{2}\times(-9.80)\times t^2$$

$$4.9t^2-29.4t=0$$

$$t^2-6t=0$$

$$t(t-6)=0$$

$$t=0,\ t=6$$



変位 $x=0$ となるのは「ボールを投げ上げた瞬間」と「ボールが地面に再び帰ってくる瞬間」の２つである。「ボールを投げ上げた瞬間」は $t=0$、「ボールが地面に再び帰ってくる瞬間」は $t=6$。今回聞かれているのは後者なので

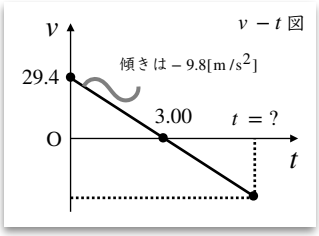
A.　6.00秒

(3)-解き方その2

(1)より、「地面→最高点」にかかった時間が3.00秒

→「最高点→地面」にかかった時間もやっぱり3.00秒

∴「地面→最高点→地面」は6.00秒



A.　6.00秒

(4)-解き方その1

「再び地面に戻ってきた」時のボールの速さなので、(3)と状況は同じ

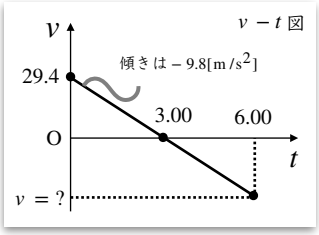
→「再び地面に戻ってきた」時間である「6.00秒」が使える。

$$v=v_0+at$$

$$=(+29.4)+(-9.80)\times 6.00$$

$$=-29.4[\mathrm{m/s}]$$

「－（マイナス）」は「下向き」という意味なので、



A.　下向きに29.4[m/s]

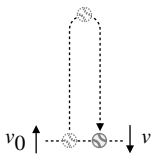
(4)-解き方その2

「投げ上げた地点」と「戻ってきた地点」はどちらも地面で、同じ高さである。

同じ高さをとった時、行きと帰りの速度の大きさは等しい（向きは逆）

投げ上げたときは「上向きに29.4[m/s]」なので、

戻ってくるときは「下向きに29.4[m/s]」となる。



A.　下向きに29.4[m/s]