

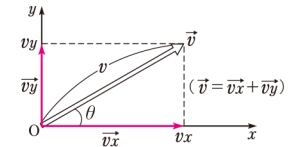
・速度の分解 **発展**

$$v_x = v \cos \theta, \quad v_y = v \sin \theta \quad \vec{v} \text{ [m/s]} : \text{速度}$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} \quad v \text{ [m/s]} : \vec{v} \text{ の大きさ (速さ)}$$

$$\tan \theta = \frac{v_y}{v_x} \quad v_x \text{ [m/s]} : \vec{v} \text{ の } x \text{ 成分}$$

$$v_y \text{ [m/s]} : \vec{v} \text{ の } y \text{ 成分}$$

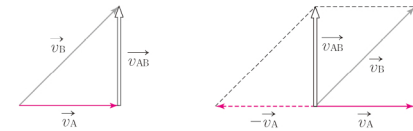
**8** 相対速度 観測者 A から見た相手 B の速度 $\vec{v}_{AB}$ [m/s] を, A に対する B の相対速度という。A の速度が $\vec{v}_A$ [m/s], B の速度が $\vec{v}_B$ [m/s] のとき,

・一直線上の相対速度

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

・平面上での相対速度 **発展**

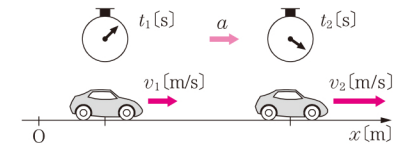
$$\vec{v}_{AB} = \vec{v}_B - \vec{v}_A$$

**2. 加速度****9** 加速度 単位時間あたりの速度の変化
(単位はメートル毎秒毎秒(記号 m/s^2) など)

平均の加速度

・一直線上での平均の加速度

$$a = \frac{\text{速度の変化 [m/s]}}{\text{所要時間 [s]}} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

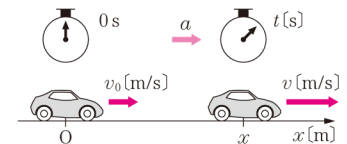
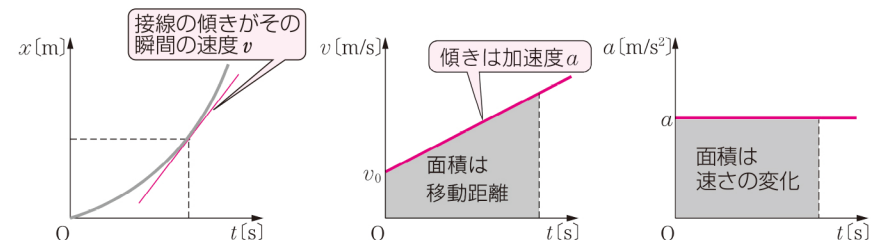
瞬間の加速度 Δt [s] を 0 に近づけた極限**10** 等加速度直線運動 直線上を一定の加速度で進む運動

$$v = v_0 + at \quad t \text{ [s]} : \text{時刻}$$

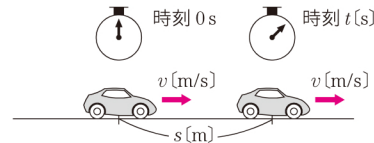
$$x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2 \quad v_0 \text{ [m/s]} : \text{初速度}$$

$$v^2 - v_0^2 = 2ax \quad v \text{ [m/s]} : \text{時刻 } t \text{ [s] における速度}$$

$$x \text{ [m]} : \text{時刻 } t \text{ [s] における変位}$$

**11** 等加速度直線運動のグラフ**1. 速度****1** 速さ 単位時間あたりの移動距離
(単位はメートル毎秒(記号 m/s) など)

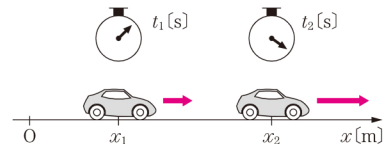
$$v = \frac{s}{t} \quad \text{速さ [m/s]} = \frac{\text{移動距離 [m]}}{\text{所要時間 [s]}}$$

**2** 速度と変位 速度は速さ v に, 運動の向きを合わせて考えた量。速度の大きさが速さである。また, 位置の変化を変位といい, 距離と向きを考える。**3** 平均の速度と瞬間の速度

平均の速度 単位時間あたりの変位

$$\bar{v} = \frac{\text{変位 [m]}}{\text{所要時間 [s]}} = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} = \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

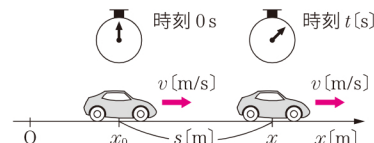
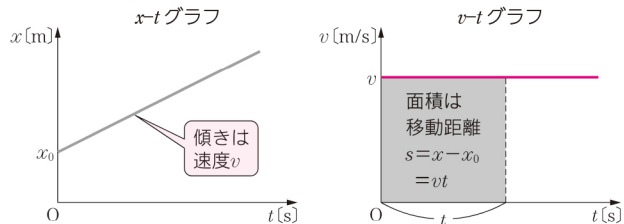
$$\bar{v} \text{ [m/s]} : \text{平均の速度}$$

瞬間の速度 Δt [s] を 0 に近づけた極限**4** ベクトルとスカラー**ベクトル** 大きさや向きをもつ量。例 変位, 速度, 加速度, 力**スカラー** 大きさのみをもつ量。負の値をとることもある。例 長さ, 時間, 温度**5** 等速直線運動 直線上を一定の速さで進む運動。等速度運動ともいう。

$$x = x_0 + vt \quad t \text{ [s]} : \text{時刻} \quad v \text{ [m/s]} : \text{速度}$$

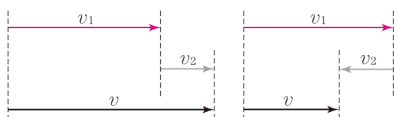
$$x_0 \text{ [m]} : \text{時刻 } 0 \text{ s における位置}$$

$$x \text{ [m]} : \text{時刻 } t \text{ [s] における位置}$$

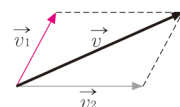
**6** 等速直線運動のグラフ・ $x-t$ グラフの直線の傾きは速度を表す。・ $v-t$ グラフの直線と t 軸で囲まれた面積は移動距離を表す。**7** 速度の合成と分解

・ 一直線上の速度の合成

$$v = v_1 + v_2$$

・ 平面上での速度の合成 **発展**

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



例題 4 等加速度直線運動

▶ 7 8 9 17 19

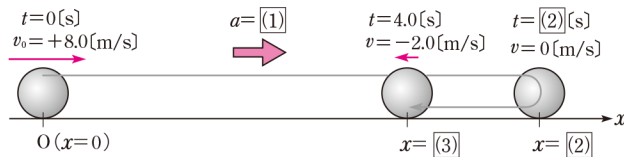
初め 8.0 m/s の速さで、一直線上を右向きに進んでいた物体が、時刻 $t=0[\text{s}]$ に点 O を通過すると同時に等加速度直線運動を始めて、時刻 $t=4.0[\text{s}]$ に左向きに 2.0 m/s の速さになった。

- (1) 加速度の大きさと向きを求めよ。
- (2) 物体が点 O から右に最も離れたときの時刻と点 O からの変位を答えよ。
- (3) 時刻 4.0 s における物体の位置はどこか。

SP 問題文を読み解く。

- ① 「初め 8.0 m/s の速さ」→ 初速度の大きさが 8.0 m/s
- ② 「(初め) 右向きに進んでいた」→ 右向きを正(+)として考える。
- ③ 「等加速度直線運動」→ $v = v_0 + at$, $x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$, $v^2 - v_0^2 = 2ax$ を利用する。
- ④ 「時刻 4.0 s に左向きに 2.0 m/s の速さ」→ $t=4.0[\text{s}]$ で速度 $v = -2.0[\text{m/s}]$

SP 問題の状況を図にする。



)) センサー 3

正の向きを決める。

初めの運動の向きを正の向きとするとよい。

)) センサー 4

等加速度直線運動の問題では、どの式を用いるかがポイント。

未知の物理量と既知の物理量を明確にすると、用いるべき式が決まる。

)) センサー 5

- ① 折り返し点では、 $\rightarrow v=0$, x 最大
- ② 出発点に戻ったとき、 $\rightarrow v=-v_0$, $x=0$

注 ②が成り立つのは等加速度直線運動の場合のみ。

解答 右向きを正とする。

- (1) 求める加速度を $a[\text{m/s}^2]$ とする。初速度が $v_0 = +8.0[\text{m/s}]$, $t=4.0[\text{s}]$ で速度が $v = -2.0[\text{m/s}]$ だから、
 $-2.0 = 8.0 + a \times 4.0 \leftarrow v = v_0 + at$
 $4.0a = -10$ ゆえに、 $a = -2.5[\text{m/s}^2]$
 ここで、右向きを正としたから、負の符号は左向きを表す。

答 加速度の大きさは 2.5 m/s^2 、向きは左向き

- (2) 求める時刻を $t[\text{s}]$ とする。右に最も離れた瞬間の速度は 0 だから、 $v=0$ として、
 $0 = 8.0 - 2.5t \leftarrow v = v_0 + at$ ゆえに、 $t = 3.2[\text{s}]$
 また、求める位置を $x_1[\text{m}]$ として、
 $0^2 - 8.0^2 = 2 \times (-2.5)x_1 \leftarrow v^2 - v_0^2 = 2ax$
 ゆえに、 $x_1 = 12.8 \div 13[\text{m}]$

答 3.2 s、点 O より右へ 13 m の位置

- (3) 求める位置を $x_2[\text{m}]$ とし、
 $x_2 = 8.0 \times 4.0 + \frac{1}{2} \times (-2.5) \times 4.0^2 \leftarrow x = v_0 t + \frac{1}{2} at^2$
 $= 12[\text{m}]$

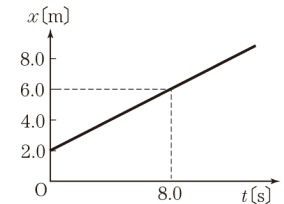
答 点 O より右へ 12 m の位置

必解 1 等速直線運動 x 軸上を正の向きに一定の速さで運動している物体が、時刻 $t=0[\text{s}]$ に $x=3[\text{m}]$ の位置を、時刻 $t=8[\text{s}]$ に $x=7[\text{m}]$ の位置を通過した。

- (1) $t=0[\text{s}]$ から $t=8[\text{s}]$ の間の変位はいくらか。
- (2) 物体の速さはいくらか。
- (3) 物体が $x=5[\text{m}]$ の位置を通過するときの時刻はいくらか。

必解 2 等速直線運動 右図は、 x 軸上を運動する物体の位置 $x[\text{m}]$ と時刻 $t[\text{s}]$ の関係を表したものである。

- (1) 物体の速さはいくらか。
- (2) 縦軸に速度 $v[\text{m/s}]$ 、横軸に時刻 $t[\text{s}]$ をとって物体の運動を表すグラフを描け。
- (3) 時刻 $t=15[\text{s}]$ における物体の位置 $x[\text{m}]$ を求めよ。



必解 3 速度の合成 風が吹いていないときに、地面と平行に 6.0 m/s の速さで飛ぶことができる模型飛行機がある。この模型飛行機を、地面と平行に吹く向かい風の中を飛ばすと、 8.0 s 間で地面と平行に 28 m 飛んだ。向かい風の速さはいくらか。

センサー 3

4 発展 速度の合成 静水上を速さ 5.0 m/s で進むことができる船がある。この船で、流速 3.0 m/s 、幅 100 m の川を垂直に横切するためには、船首をどの向きに向ければよい。また、このとき、対岸に渡るのに要する時間はいくらか。

センサー 1

必解 5 相対速度 東向きに 60 km/h の速さで走る自動車 A に乗っている人が、同じ向きに 80 km/h の速さで走っている自動車 B を見ると、どちら向きにいくらの速さで動いているように見えるか。また、B から A を見るとどうなるか。

センサー 3

6 相対速度 風が吹いていないとき、 12 m/s の速さで走っている自動車の中の人には、雨が鉛直方向と 60° の角をなして降っているように見えた。雨滴が落下する速さはいくらか。ただし、雨滴は一定の速度で落下しているものとする。



ヒント

- 1 $x = x_0 + vt$ を用いる。
- 2 (1) $x-t$ グラフの傾きは速度である。(3) $x = x_0 + vt$ を用いる。
- 3 向かい風が吹いているときの模型飛行機の速さに着目する。
- 4 ベクトル図を作図して考える。
- 5 例えば、東向きを正として考えると、相対速度 $v < 0$ なら v の向きは西向き。
- 6 (相対速度) = (相手の速度) - (観測者の速度) にあてはめて考える。

107 実験結果を正しく理解して考察する

図1のように、自身の加速度を測定できる物体を、記録タイマー（1.0 sあたり 60 打点）に通した記録テープに取りつけて、斜面上に設置する。物体と記録タイマーの測定を同時に開始してから物体を静かにはなすと、物体は斜面を滑りおり、その後水平面上を移動した。図2は物体の加速度を測定した結果、図3は打点された記録テープの一部である。斜面上、水平面上それぞれで、運動中の加速度はそれぞれ一定であった。以下の問いに答えよ。



図1

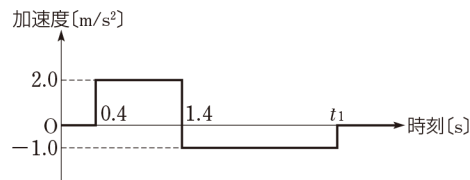


図2

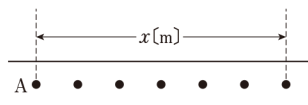
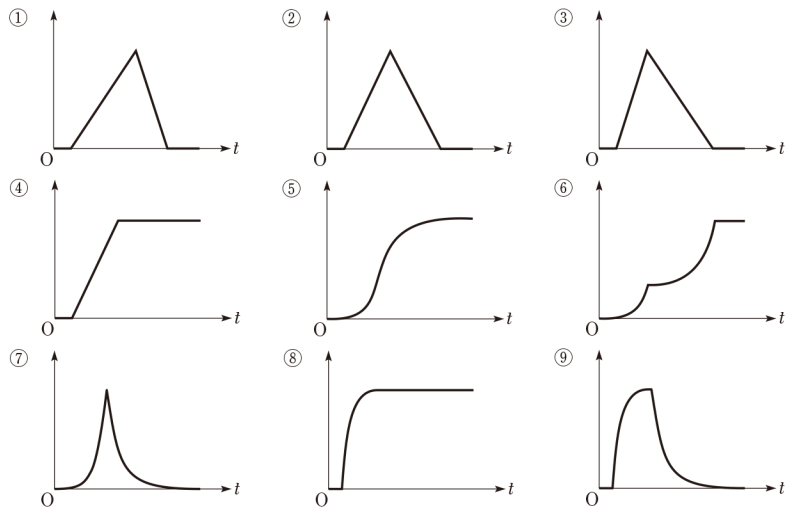


図3

- 図2の時刻 t_1 を求めよ。
- 図3の点 A は、時刻 1.0 s における打点である。 x を求めよ。
- 以下のグラフは、物体の運動の様子を表している。横軸が時刻、縦軸が運動中の物体の速さ、または移動距離である。物体の速さ、移動距離を表しているグラフとして最も適当なものを選べ。



108 会話文をヒントに考える

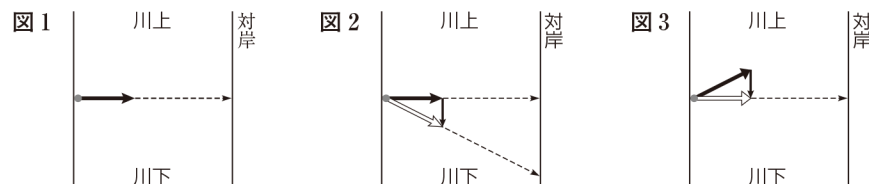
次の A 君と B 君の会話を読み、下の各問いに答えよ。

A：これから泳いで川を渡ろうと思う。僕は、静水中(流れのない水の中)であれば 1.0 m/s の速さで泳ぐことができる。この力で泳ぎながら、できるだけ短時間で対岸までたどり着くためには、どちらに向かって泳げばよいのだろうか。

B：a もしも川の流れがない静水中であれば、岸に直交する向きに泳げば最短時間で対岸へたどり着けるよね。そうすることで最短距離を泳ぐことになるからだ(図1)。

A：なるほど。ただ、今回は川の流れも考慮しないといけないよね。だって、泳ぐ人から見て岸に直交する向きに泳ごうとしても、川に流されるとその向きに進めないからね(図2)。

B：たしかに。最短距離で進むには、少し川上に向かわないといけないよね(図3)。



A：具体的に、どのくらい川上に向かえばいいだろう。川の流速が 0.50 m/s であることを踏まえると、岸に直交する向きから川上に向けて ア° ずれた向きに泳ぐのがよさそうだ。

B：よし。b これで、最短時間で対岸へたどり着く泳ぎ方がわかった。

(1) 空欄 ア に入る最も適当な数字を、次の中から選べ。

- ① 15 ② 30 ③ 45 ④ 60 ⑤ 75 ⑥ 90

(2) 次の①～④は、下線部 a について、B 君が言っていることが正しいかどうかを判断したものである。適切な判断をすべて選べ。

- 岸から見て岸に直交する向きに泳いでも最短距離を通るとは限らないので、間違っている。
- 岸から見て岸に直交する向きに泳げば最短距離を通ることになるので、正しい。
- 他にも最短距離の経路があるが、最短時間でたどり着く方法であることは正しい。
- 他にも最短距離の経路があるので、最短時間でたどり着く方法であるとは限らない。

(3) 次の①～⑥は、下線部 b について、B 君が言っていることが正しいかどうかを判断したものである。適切な判断をすべて選べ。

- 最短距離の経路を通ることが最短時間でたどり着く方法なので、正しい。
- これでは最短距離の経路を通ることにならず、最短時間でたどり着けない。
- 最短距離の経路を通るが、地面に対する人の移動速度(結果的な移動速度)についての考察を欠いているので、最短時間でたどり着く方法とは限らない。
- 地面に対する人の移動速度についての考察を欠いているが、たまたまこの場合は移動する速さが最大となる。さらに、最短距離を通るので、文句なく最短時間でたどり着く方法となっている。
- 地面に対する人の移動速度についての考察を欠いているが、たまたまこの場合は移動する速さが最大となる。ただし、経路の長さは最短とはならないため、最短時間でたどり着く方法となっていない。

- ⑥ 地面に対する人の移動速度についての考察を欠いているが、たまたまこの場合は移動する速さが最大となる。ただし、経路の長さは最短とはならない。それでも、両者の影響を総合するとこの方法が最短時間でたどり着く方法となっている。

2 人の話を聞いていた C 君は、2 人の考えに疑問をもった。

C: 2 人は地面に対する人の移動速度について検討していない。地面に対する人の移動速度は、人の力による水に対する速度と川に流される速度の合成によって求められる(図 4)。

少しでも早く対岸へたどり着くには、地面に対する人の移動速度が少しでも大きいほうがよい。地面に対する人の移動速度が最大になるのは、岸に直交する向きから イ に向かって ウ ずれた向きに泳ごうとするときだ。でも、これでは最短時間でたどり着くことにはならないなあ…。

(4) 空欄 イ に入れるのに適当なのは、「川上」「川下」のどちらであるか。

(5) 空欄 ウ に入る最も適当な数字を、次の中から選べ。

- ① 15 ② 30 ③ 45 ④ 60 ⑤ 75 ⑥ 90

(6) C 君が、地面に対する移動速度が最大になっても、そのときには対岸まで最短時間でたどり着けないと判断した理由として最も適切なものを、次の中から 1 つ選べ。

- ① A 君と B 君の考えた方法よりは短時間でたどり着けるが、より短時間でたどり着ける方法が他にあるはずだから。
② A 君と B 君の考えた方法とかかる時間が変わらないから。
③ 移動速度が最大になる場合には、いつまで経っても対岸へたどり着けないから。

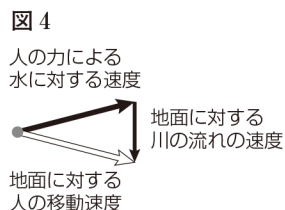
(7) 3 人が行き詰まっているところに D 君が登場し、最適な方法を見つけた。D 君の考察が適切なものとなるよう、空欄 エ に入る最も適切な語句を答えよ。

D: 今回は、実際にどのような経路をたどるかということも、結果的に移動速度がどうなるかということも考えなくてよい。対岸へたどり着くまでの時間を最短にするには、地面に対する人の移動速度を川の流れるの方向と、それに垂直な方向に分けて考えて、対岸へ向かう速度成分を少しでも大きくすることを考えればよいからだ。そのためには、泳ぐ人は エ 向きに泳ごうとすればよい。

109 力のつり合いと作用・反作用

力士と高校生が相撲を取る催しがあった。図のように二人が向かい合って立ち、水平に押し合ったところ、二人とも動かなかった。図には、二人にはたらいた力のうち、水平方向の力のみを示した。ただし図の矢印は力の向きのみを表している。

(1) 下の文章中の空欄 ア イ に入れる語句として最も適当なものを、①～④の中からそれぞれ一つずつ選べ。



二人にはたらいた水平方向の力を考える。高校生から力士にはたらいた力の大きさを F_1 、力士から高校生にはたらいた力の大きさを F_2 、力士の足の裏にはたらいた摩擦力の大きさを f_1 、高校生の足の裏に働いた摩擦力の大きさを f_2 とする。 F_1 と F_2 について考えると、 ア が成り立つ。このとき高校生が水平方向に動かなかったのは イ からである。

ア

- ① 高校生が重い力士を押しているので、 $F_1 > F_2$
② 力士のほうが強いので、 $F_1 < F_2$
③ 作用・反作用の関係にあるので、 $F_1 = F_2$
④ つりあいの関係にあるので、 $F_1 = F_2$

イ

- ① $f_2 < F_2$ を満たす力で力士が押した。
② $f_2 > F_2$ を満たす摩擦力がはたらいた。
③ 作用・反作用の関係により、 $f_2 = F_2$ が成り立っていた。
④ $f_2 = F_2$ が満たされ、力がつりあっていた。

からである。

次に高校生が F_1 より大きな力 F_1' で力士を水平左向きに押したところ、高校生は右向きに動いたが、力士は動かなかった。この原因を考えよう。力士の質量を M 、高校生の質量を m ($M > m$) とする。また、水平面と力士の足の裏、水平面と高校生の足の裏との静止摩擦係数を μ とし、力士から高校生にはたらいた力の大きさを F_2' 、力士の足の裏にはたらいた摩擦力の大きさを f_1' 、高校生の足の裏に働いた摩擦力の大きさを f_2' とする。

(2) 力士と高校生にはたらく最大摩擦力の大きさをそれぞれ求めよ。

(3) 高校生だけが右向きに動いた理由について述べた次の文に適する語句をそれぞれ選べ。

高校生が力士を押した力の大きさが F_1' の場合、 $\{F_1' > F_2', F_1' = F_2'\}$ となる。また、それぞれの最大摩擦力の大きさは、力士のほうが高校生と比べて $\{$ 大きい, 小さい, 同じである $\}$ 。さらに、高校生が右向きに動くとき、 F_2' は高校生にはたらく最大摩擦力と比べて $\{$ 大きい, 小さい, 同じである $\}$ 。これに加えて、力士は動いていないので、 F_1' は力士にはたらく最大摩擦力と比べて $\{$ 大きい, 小さい, 同じである $\}$ 。したがって、高校生だけが右に動いた。

(大学入試共通テスト試行調査物理基礎 改)

110 実験結果をもとに考察する

水平な実験台上で、台車の加速度運動を調べる実験を、2 通りの方法で行った。

まず記録タイマーを使った方法では、図 1 のように、台車の一端に記録タイマーに通した記録テープを取りつけ、他端に軽くて伸びないひもを取りつけたあと、軽くてなめらかに回転できる滑車を通しておもりをつり下げた。このおもりを落下させ、台車を加速させた。ただし、記録テープも記録タイマーも台車の運動には影響しないものとする。図 2 のように、得られた記録テープの上にものさしを重ねて置いた。この記録タイマー

は毎秒60回打点する。記録テープには6打点ごとの点の位置に線が引いてある。

- (1) 図2の線Aから線Bまでの台車の平均の速さはいくらか。
- (2) 速度と時間のグラフ($v-t$ グラフ)をつくと、傾きが一定になっていた。この傾きから加速度を計算すると、 0.72 m/s^2 となった。質量が 0.50 kg の台車を引く張力はいくらか

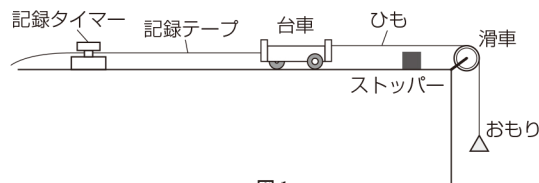


図1

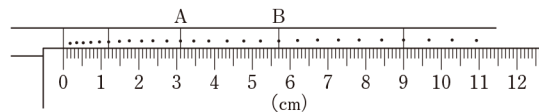


図2

次に、台車から記録テープを取りはずし、図3のように加速度測定機能のついたスマートフォンを台車に固定して加速度を測定した。測定を開始してからおもりを落下させ、台車がストッパーによって停止したことを確認して測定を終了した。このとき、スマートフォンには図4のような画面が表示された。ただし、図4は縦軸が加速度、横軸が時間であり、スマートフォンは台車の進む向きを正とした加速度を測定している。また、台車が停止する直前の加速度はグラフの表示範囲を超えていた。

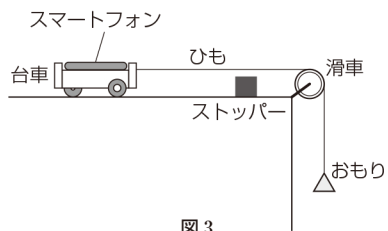


図3

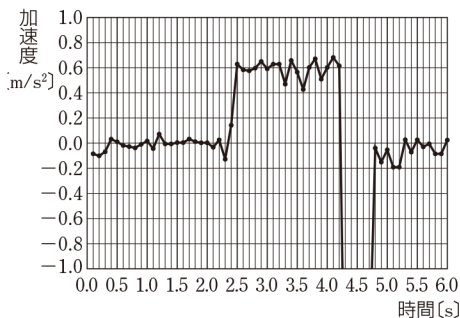


図4

- (3) 測定したデータにはわずかな乱れが含まれているが、走行中の台車は等加速度運動をしているものとする。測定結果を見ると、加速度は記録テープによる測定値 0.72 m/s^2 より小さい 0.60 m/s^2 であることがわかった。加速度が小さくなった理由として最も適当な文を選べ。
- ① スマートフォンの質量が、おもりと比べて小さかったから。
 - ② スマートフォンの分だけ、全体の質量が大きくなったから。
 - ③ スマートフォンをのせたので、摩擦力が小さくなったから
 - ④ スマートフォンをのせても、糸の張力が変わらなかったから。

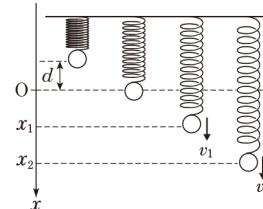
(大学入試共通テスト 2021 物理基礎)

111 会話文をもとに考察する

次の会話文は、生徒が発表した内容をまとめたものである。空欄に最適な式、記号、語句などを入れて会話文を完成させよ。

【課題】エネルギーや仕事の関係などから、 m 、 k 、 x_1 、 x_2 、 v_1 、 v_2 の関係式を示せ。

ばね定数 k の軽いばねの一端を天井に取りつけ、他端に質量 m のおもりを取り付けると、自然長から d だけ伸びて、おもりは静止した。このつり合いの位置を基準点 O とする。次に、おもりを自然長までゆっくりと持ち上げて静かにはなすと、おもりは点 O から距離 x_1 、 x_2 のところを、それぞれ速さ v_1 、 v_2 で通過した。



……《 会話文 》……

生徒：重力加速度の大きさを g とすると、力のつり合いより、 $kd = mg$ …(ア)

保存力(mg 、 kx)だけがおもりに仕事をするので、 x_1 、 x_2 における力学的エネルギーは保存されます。このとき、点 O を重力による位置エネルギーの基準とすると、

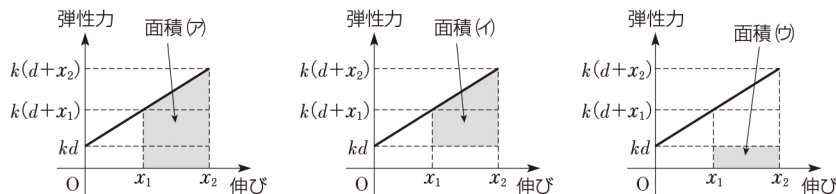
(式①) = (式②) …(イ)

(ア)、(イ)より、 m 、 g 、 d を消去すると、次式が得られます。

$$\frac{1}{2}mv_1^2 + (\text{式③}) = \frac{1}{2}mv_2^2 + (\text{式④}) \dots (ウ) (\text{答})$$

他の求め方はありますか。また、この式は何を意味するのですか。

先生：図で考えてみましょう。下の各図は弾性力と点 O からの伸びとの関係を示しています。 x_1 から x_2 まで移動する間に重力がした仕事の大きさは $mg \times (x_2 - x_1)$ となるので、これは図中の面積(記号⑤)に相当しますね。同様に弾性力がした仕事の大きさは、面積(記号⑥)となりますね。重力と弾性力は互いに逆向きなので、重力がした仕事は弾性力がした仕事の一部と打ち消しあうため、合力がした仕事の大きさは面積(記号⑦)となりますね。また、運動エネルギーの変化は、



その間にされた仕事(面積)と等しいので、仕事の符号が負になることに気をつけて

$$\frac{1}{2}mv_2^2 - \frac{1}{2}mv_1^2 = -\frac{1}{2}(\text{式⑧}) \therefore \frac{1}{2}mv_1^2 + (\text{式③}) = \frac{1}{2}mv_2^2 + (\text{式④})$$

一般的な力学的エネルギー保存則は式(イ)となりますが、点 O を重力と弾性力の合力の位置エネルギーの基準として考えると、力学的エネルギーは、式(ウ)のように(⑨)エネルギーを含まず、(⑩)エネルギーと(⑪)エネルギーの合計のみで表すことができますね。他でも利用できるので理解しておきましょう。