

▶ 出題のねらい

問1は速度の合成，問2は電気抵抗と抵抗率，問3は水の状態変化，問4はうなりに関する問題である。各分野の基本的な理解および知識を問うた。

▶ 解説

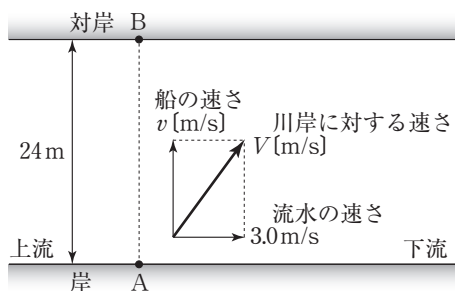
問1 流水の速度と船の速度を合成し，川岸から見た船の速度を考える問題である。はじめに，船が船首を点Bに向けて出発する場合である選択肢①～③について考える。静水に対する船の速さ v [m/s] を用いて，川岸に対する速さ V [m/s] は，

$$V = \sqrt{3.0^2 + v^2} \text{ [m/s]} \quad \cdots \cdots (i)$$

となり，速度の向きは次図ようになる。また，点Aから対岸に到達するまでの時間を t [s] とすると，時間 t は船の速さ v と川幅 24 m で決定され，

$$t = \frac{24 \text{ m}}{v \text{ [m/s]}} \quad \cdots \cdots (ii)$$

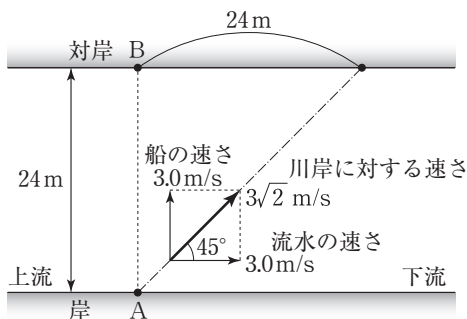
である。つまり，対岸に達するまでの時間は，川の流水の速さに無関係である。



$v = 3.0 \text{ m/s}$ のとき， $t = 8.0 \text{ s}$ であり，点Aから対岸に到達するまでの間に，船は下流に向かって，

$$\underbrace{\text{流水の速さ}}_{3.0 \text{ m/s}} \times 8.0 \text{ s} = 24 \text{ m}$$

24 m だけ流される。したがって，①は正しい。このとき，次図のように，川岸に対する船の速さは $V = 3\sqrt{2} \text{ m/s}$ であり，対岸までの移動距離は $24\sqrt{2} \text{ m}$ である。



次に， $v = 4.0 \text{ m/s}$ のときを考える。このとき，川岸に対する速さは，

(i)式より,

$$V=5.0\text{ m/s}$$

であり, 選択肢②は誤りであることがわかる。

$v=5.0\text{ m/s}$ のとき, 対岸までの時間は, (ii)式より,

$$t=4.8\text{ s}$$

であり, 選択肢③は誤りであることがわかる。

続いて, 船首を点 C に向ける場合を考える。上流から下流に向かう向きに x 軸をとると, 船の速さ $v=4.0\text{ m/s}$ について, x 方向の成分は,

$$-4.0 \sin 30^\circ = -2.0\text{ m/s}$$

である。このとき, 船の速度の x 成分と流水の速度を合成すると,

$$-2.0\text{ m/s} + \overbrace{3.0\text{ m/s}}^{\text{流水の速度}} = 1.0\text{ m/s} > 0$$

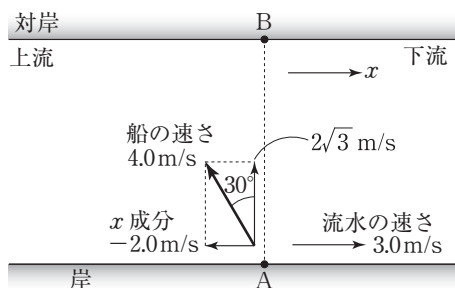
であり, x 軸正の向きとなる。したがって, 川岸に対して垂直に, 点 A から点 B まで船が進むことはできず, 選択肢④は誤りであることがわかる。なお, 川岸に垂直な速度成分の大きさは $2\sqrt{3}\text{ m/s}$ であり, 川岸に対する船の速さ V は,

$$V = \sqrt{1.0^2 + (2\sqrt{3})^2} = \sqrt{13}\text{ m/s}$$

である。このとき, 対岸までの時間は,

$$\frac{24\text{ m}}{2\sqrt{3}\text{ m/s}} = 4\sqrt{3}\text{ s}$$

である。



(答) 1 …①

問2 銀の導線と鉄の導線の抵抗値をそれぞれ $R_{\text{Ag}} [\Omega]$, $R_{\text{Fe}} [\Omega]$ とする。

断面積を $S [\text{m}^2]$ とすると, 電気抵抗の式より,

$$R_{\text{Ag}} = (1.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}) \frac{1.2\text{ m}}{S}$$

$$R_{\text{Fe}} = (9.6 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}) \frac{0.40\text{ m}}{S}$$

であるから, 2式より,

$$\frac{R_{\text{Ag}}}{R_{\text{Fe}}} = \frac{1.6}{9.6} \times \frac{1.2}{0.40} = \frac{1}{6} \times 3 = \frac{1}{2}$$

である。したがって, 鉄の抵抗値の方が大きい。銀の導線と鉄の導線を並列に接続して電圧を加えると, 銀の導線, 鉄の導線に流れる電流の大きさをそれぞれ $I_{\text{Ag}} [\text{A}]$, $I_{\text{Fe}} [\text{A}]$ とすると, オームの法則より,

$$R_{\text{Ag}} \cdot I_{\text{Ag}} = R_{\text{Fe}} \cdot I_{\text{Fe}} \quad \text{よって,} \quad \frac{I_{\text{Ag}}}{I_{\text{Fe}}} = \frac{R_{\text{Fe}}}{R_{\text{Ag}}} = 2.0$$

である。

電気抵抗の式

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

R : 抵抗値

ρ : 抵抗率

ℓ : 抵抗の長さ

S : 抵抗の断面積

オームの法則

$$V = RI$$

V : 電圧

R : 抵抗値

I : 電流

2つの導線を直列に接続したとき、合成抵抗値は、

$$R_{\text{Ag}} + R_{\text{Fe}} = 3R_{\text{Ag}} = \frac{3 \times 1.6 \times 1.2 \times 10^{-8}}{S} [\Omega]$$

であり、オームの法則より、

$$1.5 \text{ V} = \frac{3 \times 1.6 \times 1.2 \times 10^{-8}}{S} [\Omega] \times 0.50 \text{ A}$$

である。これを解いて、

$$S = 1.92 \times 10^{-8} \text{ m}^2 \doteq 1.9 \times 10^{-8} \text{ m}^2$$

を得る。

(答) 2 … ⑦

整理 合成抵抗の式

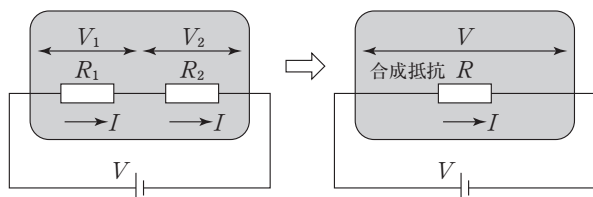
直列接続

下図のように直列に接続された抵抗 R_1 と R_2 を流れる電流は等しく、電流の大きさを I とすると、オームの法則より、抵抗 R_1 の電圧 V_1 は $V_1 = R_1 I$ であり、抵抗 R_2 の電圧 V_2 は $V_2 = R_2 I$ である。よって、全電圧 V は

$$V = V_1 + V_2 = (R_1 + R_2) I$$

となる。合成抵抗を R とすると、 $V = RI$ であるから、

$$R = R_1 + R_2$$



複数の抵抗を直列に接続する場合の合成抵抗は、

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots$$

並列接続

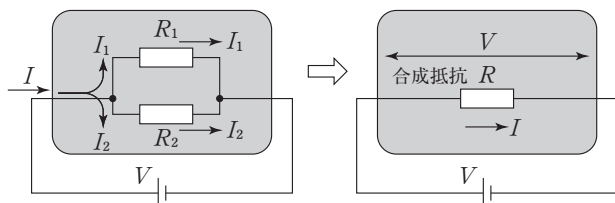
下図のように並列に接続された抵抗 R_1 と R_2 の電圧は、ともに電源電圧 V に等しい。オームの法則より、抵抗 R_1 の電流 I_1 は

$$I_1 = \frac{V}{R_1} \text{ であり、抵抗 } R_2 \text{ の電流 } I_2 \text{ は } I_2 = \frac{V}{R_2} \text{ である。全電流 } I \text{ は}$$

$$I = I_1 + I_2 = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2}$$

となる。合成抵抗を R とすると、 $I = \frac{V}{R}$ であるから、

$$\frac{V}{R} = \frac{V}{R_1} + \frac{V}{R_2} \quad \text{ゆえに、} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$



複数の抵抗を並列に接続する場合の合成抵抗は、

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

問3 氷(水)の質量を m [g]、氷の比熱を c_i [J/(g・K)]、水の比熱を c [J/(g・K)]、氷が 0°C に達するまでに上昇した温度を T_1 [K] とする。氷が吸収した熱量を Q_1 [J] とすると、

$$Q_1 = mc_i T_1 \text{ [J]}$$

であり、氷がすべて融解した直後から、 100°C に達するまでに水が得た熱量を Q_2 [J] とすると、

$$Q_2 = 100mc \text{ [J]}$$

である。氷の質量 m を半分にすると、 Q_1 、 Q_2 はともに半分となる。一定の割合で熱を加えていくので、熱を加え始めてから 0°C に達するまでの時間、および 0°C から 100°C に達するまでの時間はともに半分となる。

また、氷がすべて融解するまでに必要な熱量も半分となるため、温度が 0°C で一定となっている時間も半分となる。以上より、選択肢④が正しい。

(答) 3 …④

問4 振動数が 400 Hz の音波を発する音源 A は、1 s の間に 400 個の音波を発する。よって、0.50 s の間に音源 A が発した音波は 200 個である。うなりの周期とは、うなりが 1 回聞こえるときの時間であるから、うなりの周期が 0.50 s のとき、0.50 s の間に音源 A と B が発した音波の個数の差は 1 個である。音源 B が発する音波の振動数は音源 A よりも大きいので、0.50 s の間に音源 B が発した音波の個数は 201 個である。

また、うなりの周期が 0.50 s のとき、1 s の間に聞こえるうなりは 2 回であるから、音源 B が発する音波の振動数は 402 Hz であるとわかる。

(答) 4 …②

氷の融解熱は 1 気圧において 334 J/g である。氷の質量が半分になれば、すべての氷が融解するのに必要な熱量も半分になる。

振動数 f_1 、 f_2 ($f_1 \neq f_2$) の音波による単位時間あたりのうなりの回数 N は、
$$N = |f_1 - f_2|$$

第2問 力と運動

A 力と運動方程式

▶ 出題のねらい

2 物体が及ぼし合う力、動摩擦力を用いた運動方程式がテーマである。それぞれの物体ごとに運動方程式を立式できるか、垂直抗力の大きさをを用いて動摩擦力の大きさを表すことができるかを問うた。基本的な問題であるが、数値計算のミスがないよう慎重に解き進めなければならない。

▶ 解説

問1 水平右向きを正とし、直方体 P と Q の加速度の大きさを a [m/s²] とする。また、床が直方体 Q に及ぼす垂直抗力の大きさを N_Q [N] とし、直方体 P が Q に及ぼす垂直抗力の大きさを R [N] とする。

直方体 Q について、鉛直方向の力のつり合いより、

$$N_Q = 1.0 \text{ kg} \times 9.8 \text{ m/s}^2 = 9.8 \text{ N}$$

である。直方体 P に対して水平右向きに大きさが 10 N の外力を加えているとき、水平方向の運動方程式は、

$$\text{直方体 P} : 2.0 \text{ kg} \times a = 10 \text{ N} - R \quad \cdots \cdots (i)$$

$$\text{直方体 Q} : 1.0 \text{ kg} \times a = R - \overbrace{0.5 N_Q}^{\text{動摩擦力の大きさ}}$$

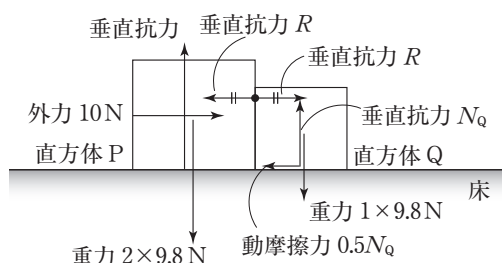
である。2 式の和より、

$$3.0 \text{ kg} \times a = 10 \text{ N} - 0.5 N_Q$$

$N_Q = 9.8 \text{ N}$ を代入して、

$$a = 1.7 \text{ m/s}^2$$

を得る。



(答) 5 …①

整理 摩擦力

あらい水平面上において、面に対して平行な外力を物体に作用させても物体が静止しているとき、面から物体に作用する摩擦力を**静止摩擦力**という。外力の大きさを F 、静止摩擦力の大きさを f とすると、水平方向の力のつり合いより、

$$f = F$$

が成り立つ(図 a)。

外力を大きくしていくと、やがて物体は動き出す。動き出す直前の摩擦力を**最大摩擦力**という。面が物体に及ぼす垂直抗力の大きさを N 、静止摩擦係数を μ とすると、最大摩擦力の大きさは、

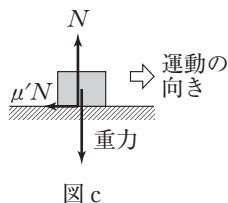
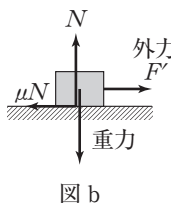
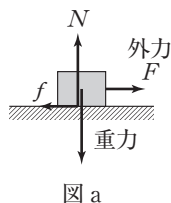
$$\mu N$$

である(図 b)。動き出す直前まで物体に作用する水平方向の力はつり合っているため、外力の大きさは $F' = \mu N$ である。

また、物体があらい面上を運動するとき、面が物体に及ぼす摩擦力を**動摩擦力**という。動摩擦力は運動する向きと逆向きに作用する。動摩擦係数を μ' とすると、動摩擦力の大きさは、

$$\mu' N$$

である(図 c)。



運動の第1法則(慣性の法則)

物体に外部から作用する力の合力が0のとき、静止している物体は静止し続け、運動する物体は等速直線運動を続ける。

運動の第2法則(運動の法則)

物体の加速度は物体に作用する力に比例し、物体の質量に反比例する。質量 m の物体に力 F が作用したときの物体の加速度を a とすると、

$$ma = F$$

が成り立つ。これを**運動方程式**という。

運動の第3法則(作用反作用の法則)

物体Aが物体Bに力を及ぼすと、物体Bが物体Aに逆向きで同じ大きさの力を及ぼす。これらは作用反作用の2力であり、2力の作用線は一致する。

問2 問1の結果を(i)式に代入して、

$$2.0 \text{ kg} \times 1.7 \text{ m/s}^2 = 10 \text{ N} - R \quad \text{よって、} R = 6.6 \text{ N}$$

を得る。

(答) 6 …④

B 自由落下**▶ 出題のねらい**

小球の自由落下がテーマである。自由落下のストロボ写真を用いて小球の落下距離を求めることができるか、自由落下と小球の質量の関係を理解しているかを問うた。図や表などの数値データの読み取り、処理および分析については有効数字や単位に留意しよう。

▶ 解説

問3 鉛直下向きを正として、重力加速度の大きさを $g \text{ [m/s}^2\text{]}$ とする。

ストロボ写真が発光する時間の間隔は $\frac{1}{30} \text{ s}$ であるから、位置 X まで

落下するのに要した時間は $\frac{1}{30} \text{ s} \times 5$ である。はじめの位置から位置

X までの落下距離を $x \text{ [cm]}$ とすると、鉛直方向の等加速度運動の式より、

$$x \times 10^{-2} \text{ [m]} = \frac{1}{2} g \left(\frac{1}{30} \times 5 \text{ s} \right)^2 \quad \cdots \cdots \text{(ii)}$$

である。落下距離が 0.56 cm, 2.2 cm, 5.0 cm, 9.0 cm の各点についても、鉛直方向の等加速度運動の式より、

$$0.56 \times 10^{-2} \text{ m} = \frac{1}{2} g \left(\frac{1}{30} \text{ s} \right)^2 \quad \cdots \cdots \text{(iii)}$$

$$2.2 \times 10^{-2} \text{ m} = \frac{1}{2} g \left(\frac{1}{30} \times 2 \text{ s} \right)^2 \quad \cdots \cdots \text{(iv)}$$

$$5.0 \times 10^{-2} \text{ m} = \frac{1}{2} g \left(\frac{1}{30} \times 3 \text{ s} \right)^2 \quad \cdots \cdots \text{(v)}$$

$$9.0 \times 10^{-2} \text{ m} = \frac{1}{2} g \left(\frac{1}{30} \times 4 \text{ s} \right)^2 \quad \cdots \cdots \text{(vi)}$$

である。(ii), (iii)式より,

$$\frac{x}{0.56}=25 \quad \text{よって, } x=14 \text{ cm}$$

を得る。(iii)式のかわりに(iv), (v), (vi)式を用いた場合には, それぞれ,

$$x=\frac{25}{4} \times 2.2=13.75 \text{ cm}$$

$$x=\frac{25}{9} \times 5.0 \div 13.89 \text{ cm}$$

$$x=\frac{25}{16} \times 9.0 \div 14.06 \text{ cm}$$

を得る。したがって,

$$x \div 1.4 \times 10^1 \text{ cm}$$

である。

(答) 7…①, 8…④, 9…①

整理 等加速度直線運動

物体が一定の加速度で一直線上を運動するとき, この運動を**等加速度直線運動**という。一定の加速度を a , 時刻 $t=0$ における初速度を v_0 , 時刻 t における速度を v , 時刻 t までの変位を x とすると,

$$v=v_0+at$$

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

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

問4 小球が自由落下するとき, 空気抵抗が無視できれば, 加速度の大きさは小球の質量によらず重力加速度の大きさに等しい。よって, 小球aと小球bの $\frac{1}{30}$ s ごとの落下距離は等しく, 2つの小球のストロボ写真は同一となる。

(答) 10…④

第3問 波動

▶ 出題のねらい

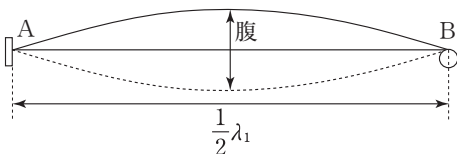
弦の振動がテーマである。弦に定常波が生じる原理, 媒質の振動の様子を問うた。また, 定常波の波長や固有振動数についての理解をもとに, 弦を伝わる波の速さと弦の張力の大きさ, 線密度の関係を考える問題とした。

▶ 解説

問1 弦に腹が1個の定常波が生じているとき, 弦の長さが定常波の半波長に一致する。定常波の波長を λ_1 [m] とすると,

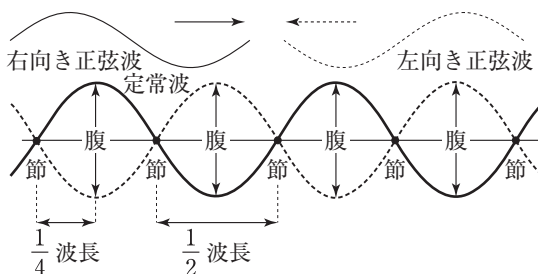
$$\frac{1}{2}\lambda_1=1.0 \text{ m} \quad \text{よって, } \lambda_1=2.0 \text{ m}$$

である。



(答) 11…④

問2 媒質が自由に振動できる端を自由端、媒質が振動できない端を固定端という。波が自由端で反射をするときには位相は変化しない。一方、固定端で反射をするときには位相が逆になり、例えば山で入射した正弦波は谷となって反射される。弦の左端 A と右端 B における正弦波の反射はいずれも固定端反射であり、左端 A と右端 B は定常波の節となる。また、定常波が発生するのは、波長、振幅、速さが等しい正弦波が互いに逆向きに重なり合ったときである。定常波は $\frac{1}{4}$ 波長ごとに腹と節が規則的に並び、腹の振幅はすべて等しい。



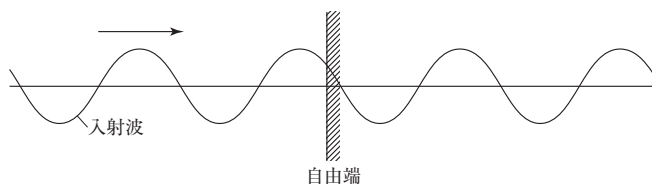
波長、振幅、速さのいずれかが異なる正弦波が互いに逆向きに重なり合ったときには、このような定常波は発生しない。

(答) 12…④

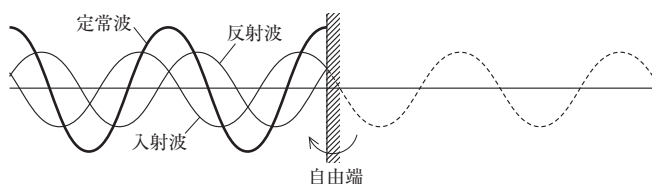
整理 自由端反射

波が自由端に入射して反射されるときには、次の手順で考えていくとよい。

手順1 自由端は存在しないものとして、入射波を延長する。

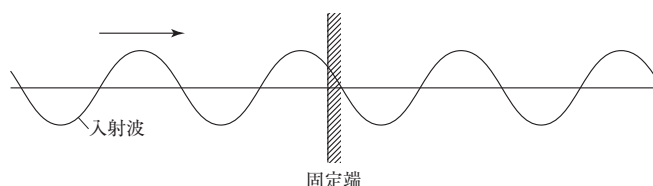


手順2 延長した波を、自由端に対して線対称に折り返す。折り返した波が反射波の波形であり、反射波と入射波を合成すると定常波となる。

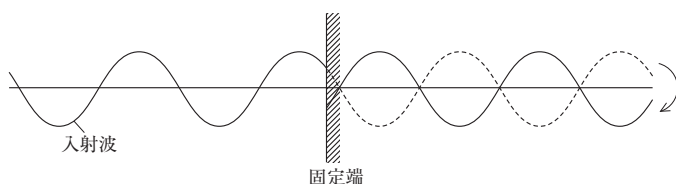


波が固定端に入射して反射されるときには、次の手順で考えていくとよい。

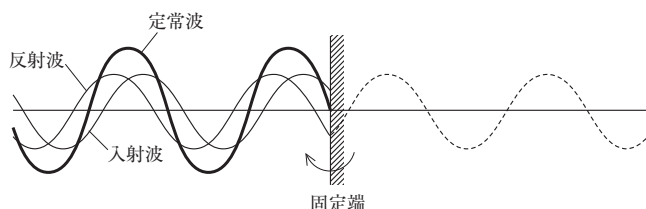
手順1 固定端は存在しないものとして、入射波を延長する。



手順2 延長した波を上下に折り返す。



手順3 さらに固定端に対して線対称に折り返す。折り返した波が反射波の波形であり、反射波と入射波を合成すると定常波となる。

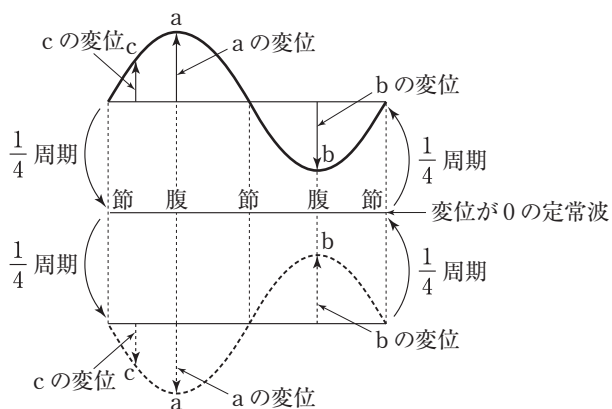


問3 弦の振動が音として聞こえるとき、弦に生じた横波の振動が空気に伝わり、空気の振動が縦波(疎密波)として伝わる。弦をより強くはじくと、弦に発生する定常波の振幅が大きくなり、音は大きくなる。弦の長さを固定し、おもりの数を一定に保って腹が1個の定常波を発生させるとき、弦の振動数は定常波の振幅によらず一定である。したがって、振動数は変化しない。

(答) 13…③

問4 定常波の節である左端Aと腹である位置aの間にある位置cの媒質は、位置aの媒質が鉛直上向きに変位しているとき、同じように鉛直上向きに変位している。また、位置aと位置cの媒質の振動の周期は等しく、同時に変位が0となる。よって、位置aの変位と時刻の関係は選択肢の①である。

位置aの腹と位置bの腹は逆位相であるため、位置bの変位と時刻の関係は選択肢の②である。



(答) 14…①, 15…②

問 5 腹が 2 個の定常波が発生しているとき、定常波の波長を λ_2 [m] とすると、

$$\lambda_2 = 1.0 \text{ m}$$

である。おもりの数が 1 つで、弦の振動数が 20 Hz のときを考えると、波の基本式より、

$$\sqrt{\frac{0.20 \text{ N}}{\rho [\text{kg/m}]}} = 20 \text{ Hz} \times 1.0 \text{ m}$$

である。これを ρ について解くと、

$$\rho = 5 \times 10^{-4} \text{ kg/m}$$

となる。おもりが 4 つで振動数が 40 Hz のときを考えて、

$$\sqrt{\frac{0.20 \text{ N} \times 4}{\rho [\text{kg/m}]}} = 40 \text{ Hz} \times 1.0 \text{ m}$$

と立式した場合にも、同じ値を得る。

(答) 16…⑤, 17…④

波の基本式

$$v = f\lambda$$

v : 波の速さ

f : 振動数

λ : 波長