

【13 波の性質】

・波の基本公式

$$v = f\lambda$$

・周期と振動数の関係

$$T = \frac{1}{f}$$

・正弦波の式

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$$

・波の干渉

($m = 0, 1, 2 \dots$)

強めあい $|l_1 - l_2| = m\lambda$

弱めあい $|l_1 - l_2| = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda$

・屈折の法則

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} = n_{12}$$

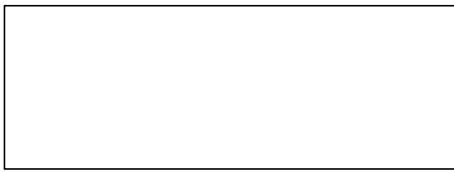
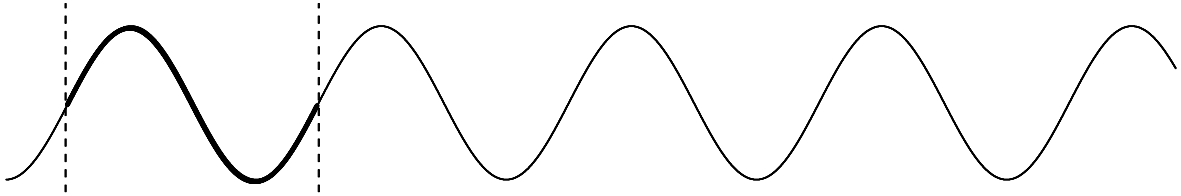
()年 ()科 ()組 ()番 名前()

第1章 波の性質

1 波と媒質の運動 A 波動 B 波の発生

まずは波の分野で出てくる用語の説明から！

波ってよく見ると、同じ形が繰り返していますよね。



一番高いところ 『山』

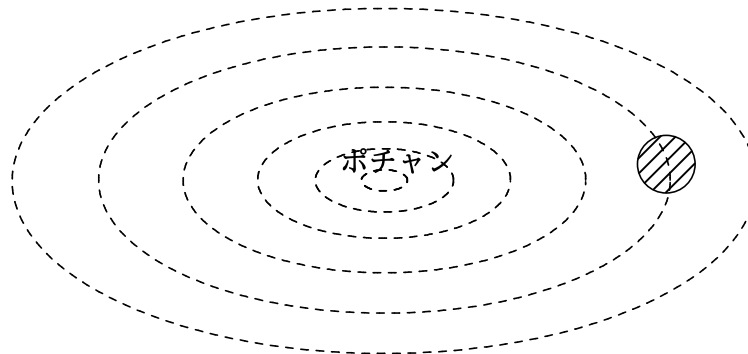
一番低いところ 『谷』



...波を起こす物質のこと

水でもいいし、ひもでもいいし、
地面でもいいし、人間でも etc...

波についての誤解があるかも



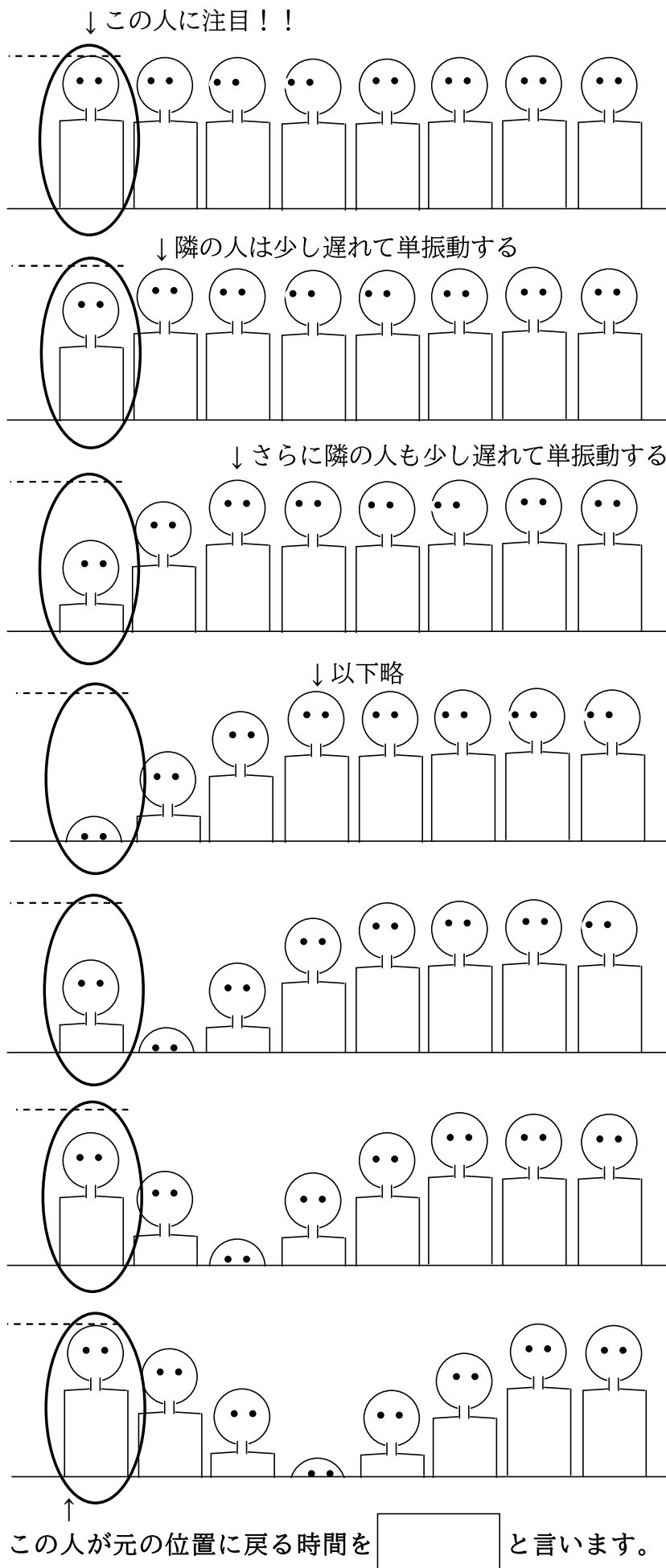
波で大事なこと、それは、

× 媒質そのものが移動しているのではない。

○ 媒質はその場で上下運動（単振動）しているだけ。

その振動という情報が隣に隣にちょっとずつ遅れて伝わるのが『波』という現象なんです。

今日は「皆さん」を「媒質」として波を起こしてみましょう。



一番左の人が元の位置に戻るまでの時間は、

[s]

です。

その間に波は

[m]

進むので、
波の進む速さは

$$\text{速さ} = \frac{\text{道のり} [m]}{\text{時間} [s]}$$

だから

また、周期と振動数の
関係には

という関係があるので

↑
超大事な波の式です！

波が発生する最初
の場所を、

といいます。

波源は、

をしています。

このような

$\sin$ (サイン)

$\cos$ (コサイン)

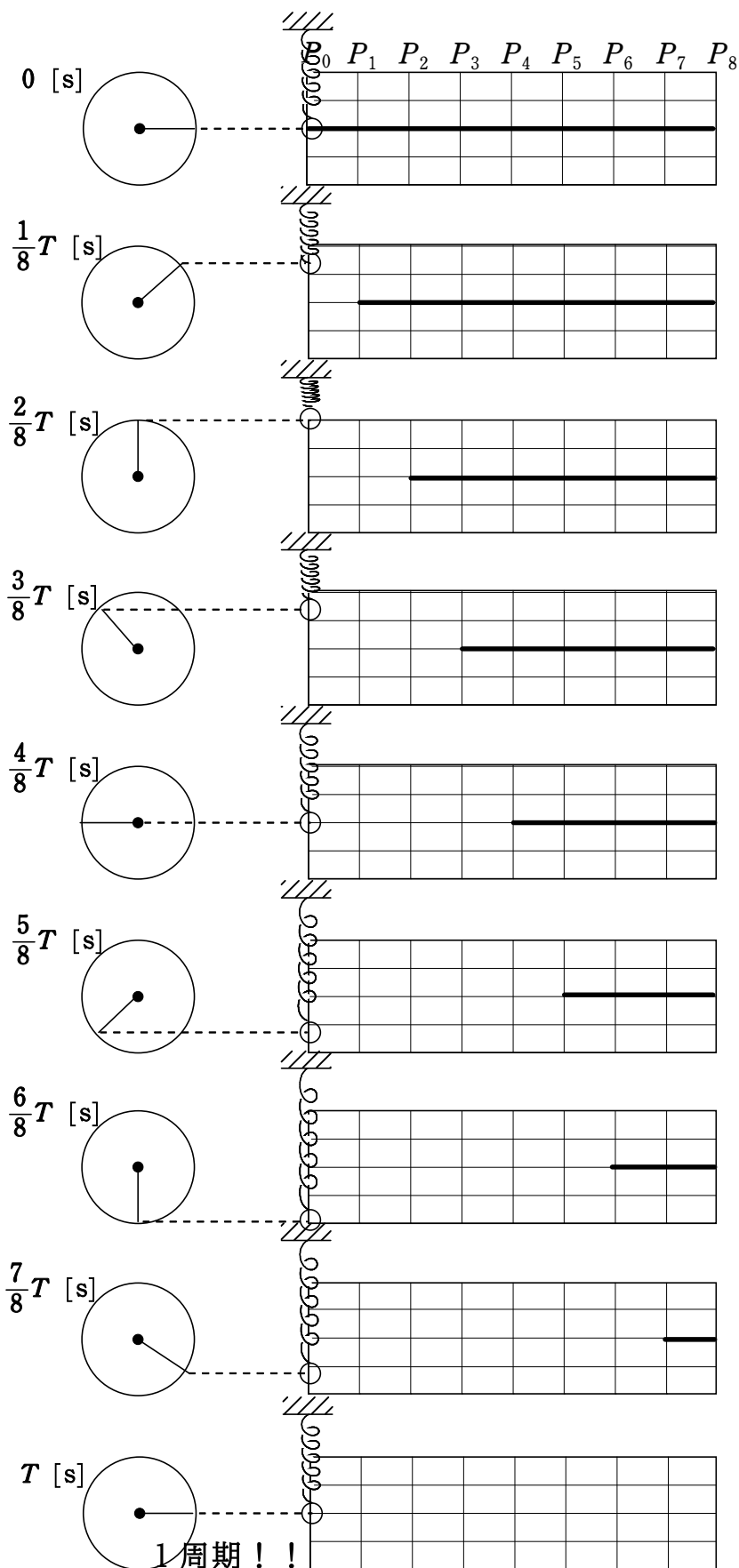
で表すことができ
る波を

といいます。

媒質の各点は

「単振動」を

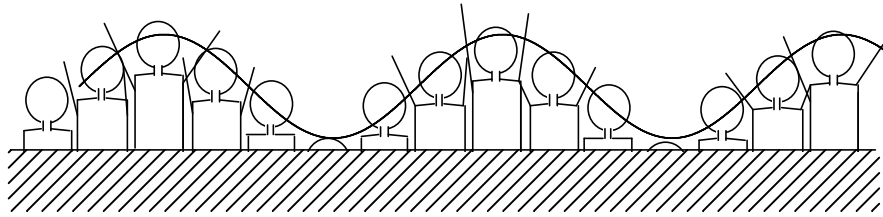
している！！



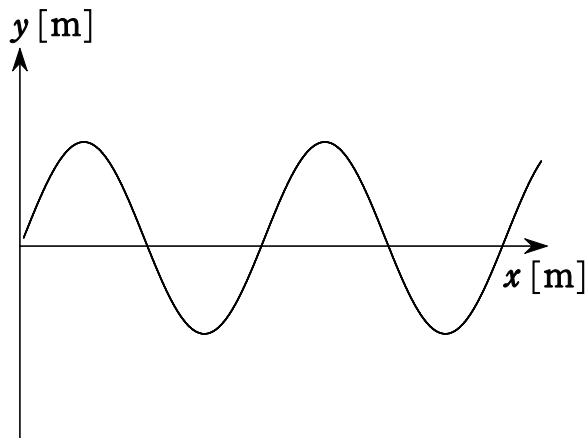
問2 上の図をもとにして、時刻 $\frac{12}{8}T$ における波形の
グラフをかけ。

C 波の表し方

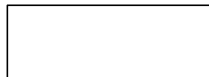
2 波のグラフ 『 $y-x$ 』グラフと『 $y-t$ 』グラフ



「 $y-x$ 」グラフ

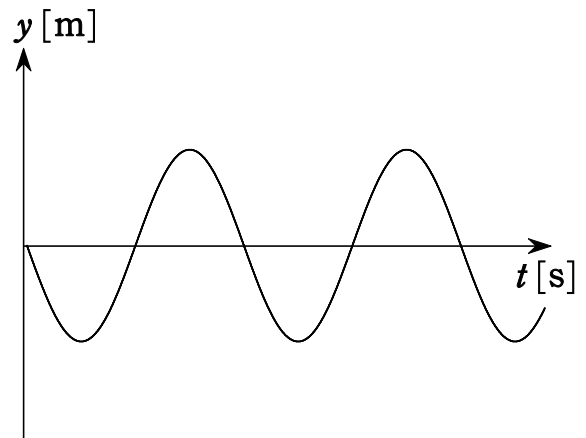


ある時刻における波全体のような
(スタジアム全体のような)



がわかる

「 $y-t$ 」グラフ



ある場所における単振動のような
(ある一人をずっと見たような)

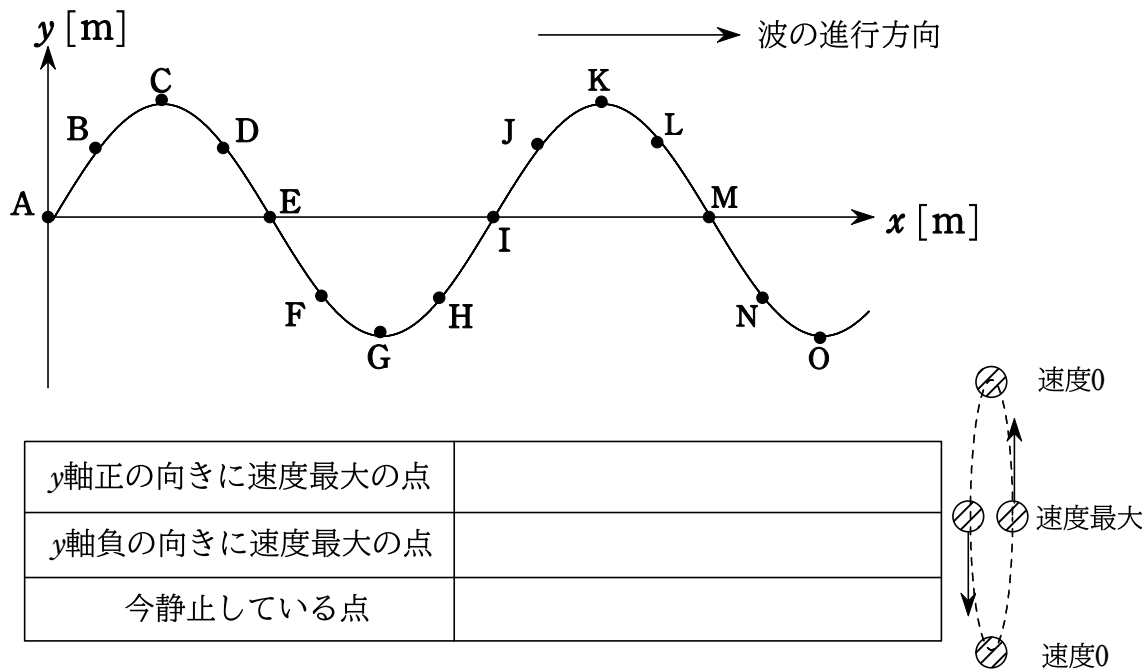


がわかる

『 $y-x$ グラフ』は実際に目で見ることができるけれど、
『 $y-t$ グラフ』は実際に目で見ることができません！！

3 波と媒質の運動

例えば x 軸の正の向きに波が進んでいるとしましょう。
各点の媒質が今「どう動いているか」は、すこし経ったあとの波形を描くとわかります。



4 位相

周期的な波の場合、媒質は同じ振動をくり返します。そこで、媒質の1点が一連の運動の中でどのような振動状態にあるかを示す量のことを「位相」とよびます。
特に、同じ振動状態にあるものを「同位相」、正反対の振動状態にあるものを「逆位相」といいます。

上の図の場合、 $\left\{ \begin{array}{l} \text{点Aと同位相であるのは、「} \quad \quad \quad \text{」} \\ \text{点Aと逆位相であるのは、「} \quad \quad \quad \text{」} \end{array} \right.$ となります。

- 1 単振動の周期が 0.10 秒のとき、振動数は何 Hz か。

$$\left[f = \frac{1}{T} \right] \text{より} \quad f = \frac{1}{0.10} = 10 \text{ Hz}$$

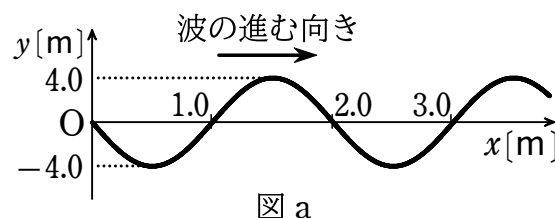
- 2 正弦波の波長が 1.5 m、振動数が 3.0 Hz のとき、波の速さは何 m/s か。

$$\left[v = f\lambda \right] \text{より}$$

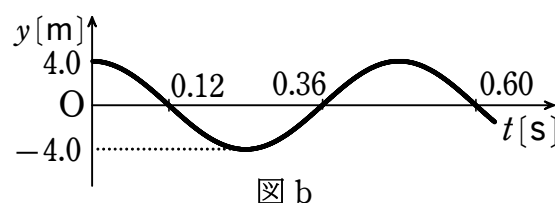
$$v = 3.0 \times 1.5 = 4.5 \text{ m/s}$$

- 3 x 軸上を正の向きに進む正弦波がある。

- (1) 図 a は時刻 $t = 0 \text{ s}$ での波形を表している。この波の振幅 $A [\text{m}]$ 、波長 $\lambda [\text{m}]$ を求めよ。



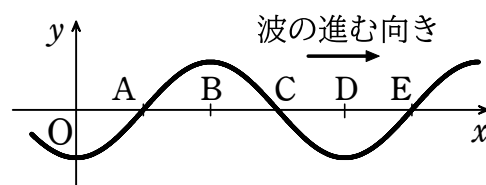
- (2) 図 b は位置 $x = 1.5 \text{ m}$ の媒質の振動のようすを表している。この波の振動の周期 $T [\text{s}]$ を求めよ。



- (1) 振幅 $A = 4.0 \text{ m}$ 波長 $\lambda = 2.0 \text{ m}$ (2) 周期 $T = 0.60 - 0.12 = 0.48 \text{ s}$

- 4 正弦波の波形が図のように表される瞬間について、次の問いに答えよ。

- (1) 媒質の速さが最大の点を、A～E からすべて選べ。
(2) 媒質の速度が y 軸の正の向きである点を、A～E からすべて選べ。

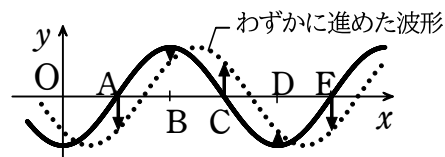


- (1) 媒質の速さが最大となるのは、変位が 0 の位置である。よって、点 **A, C, E**

- (2) 波形をわずかに進めたときの、媒質の動きを調べる。

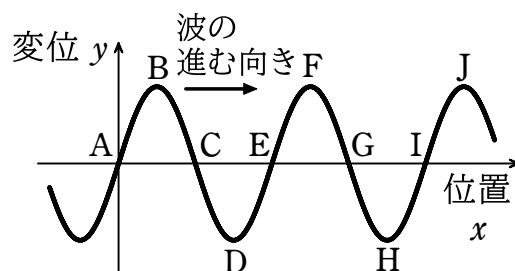
山と谷の位置 (B, D) では媒質の速度が 0 である。

A, C, E のうち、速度が y 軸の正の向きであるのは点 **C** である。



- 5 右図について、次の点を A～J からすべて選べ。

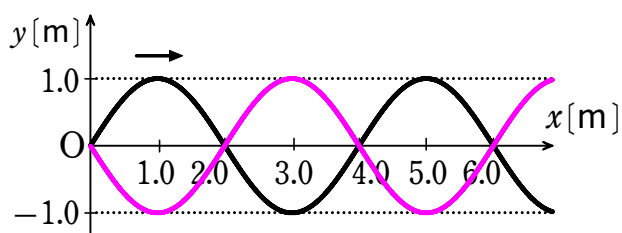
- (1) 点 C と同位相の点
(2) 点 C と逆位相の点



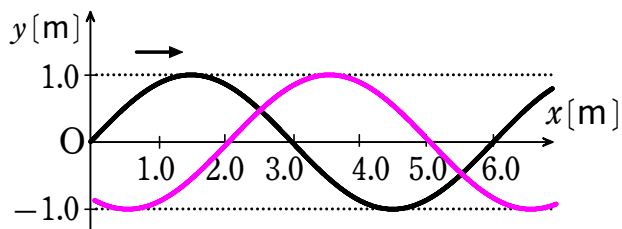
- (1) 同位相の点：**G** (2) 逆位相の点：**A, E, I**

6 次の正弦波の波形をグラフに作図せよ。ただし、波は x 軸上を正の向きに進んでいるものとする。

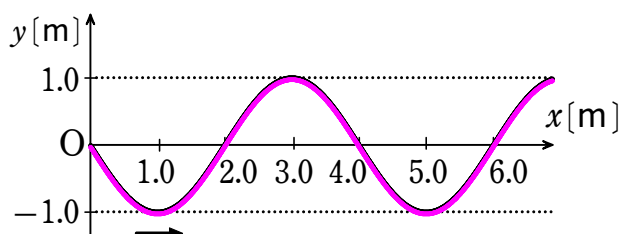
- (1) 図は、速さ 1.0 m/s で進む正弦波の、時刻 $t=0 \text{ s}$ での波形である。
時刻 $t=2.0 \text{ s}$ での波形を図にかきこめ。



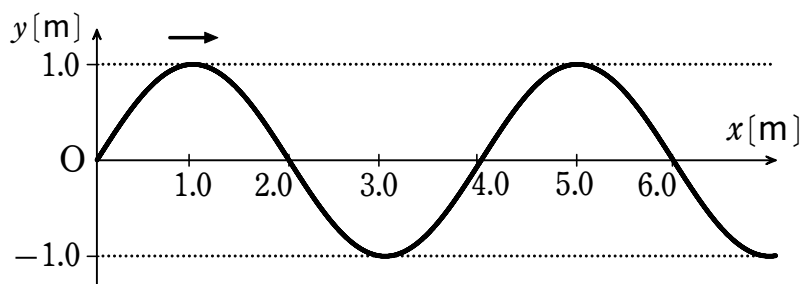
- (2) 図は、速さ 0.40 m/s で進む正弦波の、時刻 $t=0 \text{ s}$ での波形である。
時刻 $t=5.0 \text{ s}$ での波形を図にかきこめ。



- (3) 図は、速さ 2.0 m/s で進む正弦波の、時刻 $t=0 \text{ s}$ での波形である。
時刻 $t=6.0 \text{ s}$ での波形を図にかきこめ。

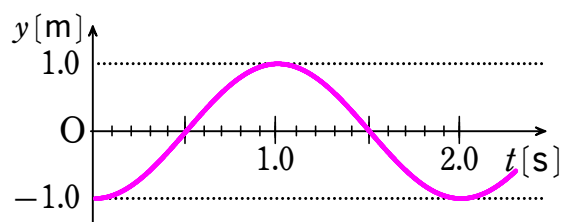
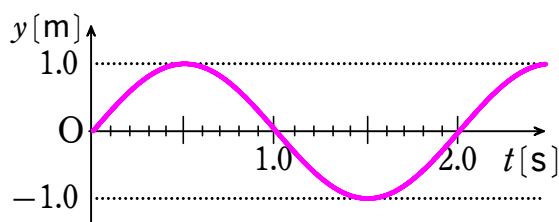


7 右の $y-x$ 図は、 x 軸上を正の向きに速さ 2.0 m/s で進む正弦波の $t=0 \text{ s}$ での波形である。次の(1)~(4)で示された位置における媒質の変位の時間変化を $y-t$ 図に示せ。



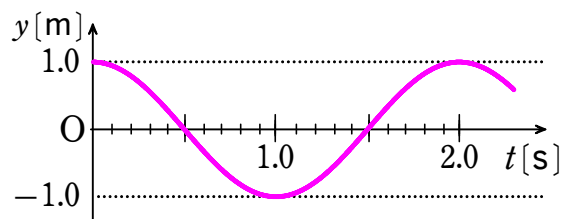
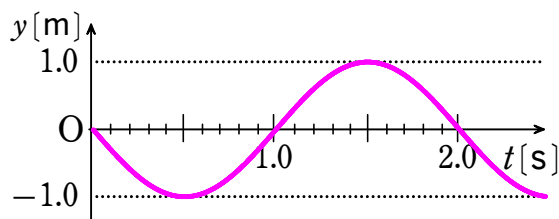
- (1) $x=2.0 \text{ m}$

- (2) $x=3.0 \text{ m}$

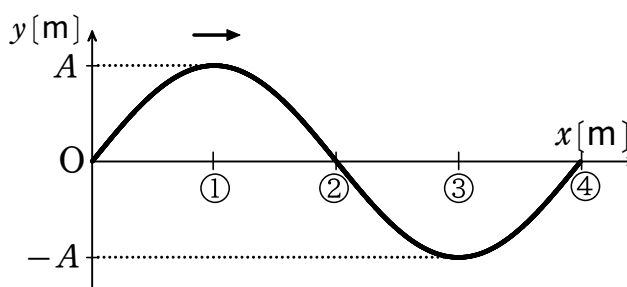


- (3) $x=4.0 \text{ m}$

- (4) $x=5.0 \text{ m}$

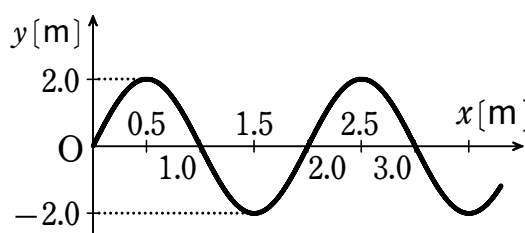


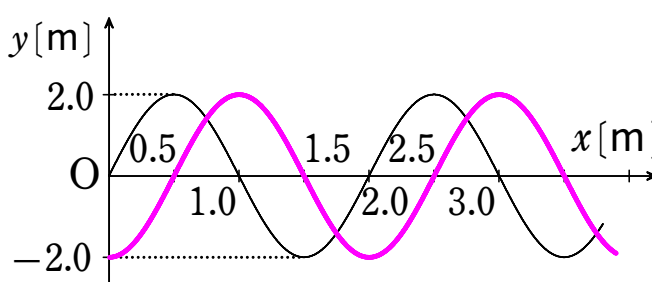
- 8 x 軸上を正の向きに正弦波が進んでいる。②～④ の位置での媒質の変位は、図のような波形となる時刻から4分の1周期ごとに、どのように変化するか。例にしたがい、変位の時間変化をそれぞれ1周期分示せ。
例：① $\cdots A \rightarrow 0 \rightarrow -A \rightarrow 0 \rightarrow A$



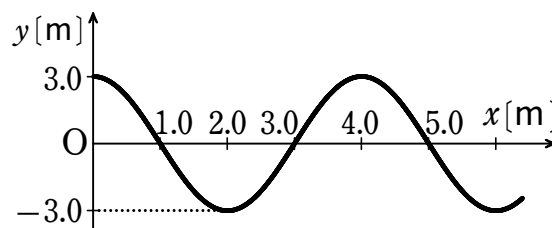
解答 ② $\cdots 0 \rightarrow A \rightarrow 0 \rightarrow -A \rightarrow 0$
 ③ $\cdots -A \rightarrow 0 \rightarrow A \rightarrow 0 \rightarrow -A$
 ④ $\cdots 0 \rightarrow -A \rightarrow 0 \rightarrow A \rightarrow 0$

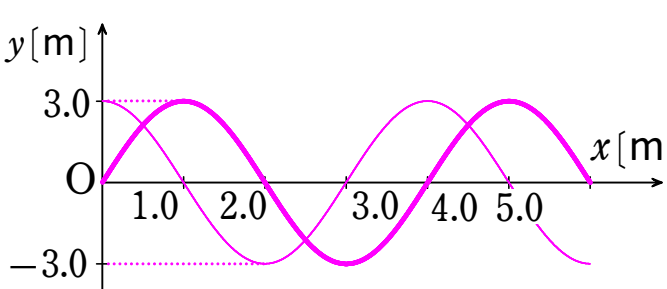
- 9 図は、 x 軸上を正の向きに速さ 0.10 m/s で進む正弦波の、時刻 $t=0 \text{ s}$ での波形を表す。
 (1) 時刻 $t=5.0 \text{ s}$ での波形を図にかきこめ。
 (2) 時刻 $t=0 \text{ s}$ のときと同じ波形になる最初の時刻 $t_0[\text{s}]$ を求めよ。



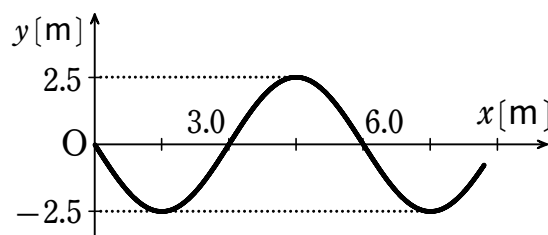
解答 (1)  (2) 20 s

- 10 図は、 x 軸上を負の向きに速さ 1.0 m/s で進む正弦波の時刻 $t=0 \text{ s}$ での波形を表す。
 (1) 時刻 $t=3.0 \text{ s}$ での波形を図にかきこめ。
 (2) 時刻 $t=0 \text{ s}$ のときと同じ波形になる最初の時刻 $t_0[\text{s}]$ を求めよ。

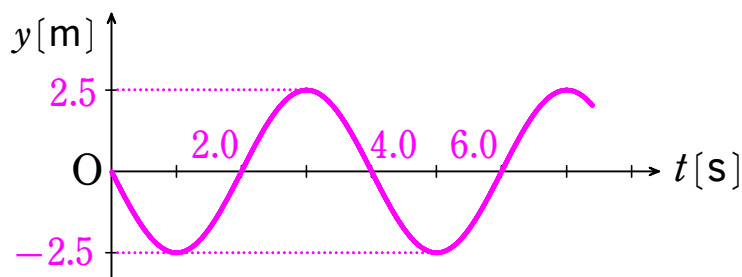


解答 (1)  (2) 4.0 s

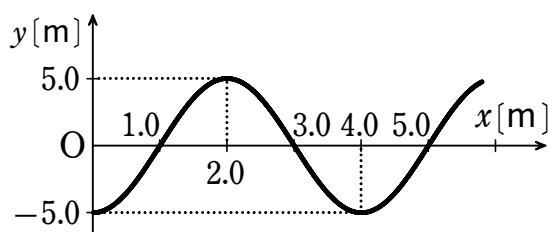
- 11 図は、 x 軸上を正の向きに速さ 1.5 m/s で進む正弦波の、時刻 $t=0 \text{ s}$ での波形を表す。位置 $x=3.0 \text{ m}$ での媒質の振動のようすを $y-t$ 図に表せ。



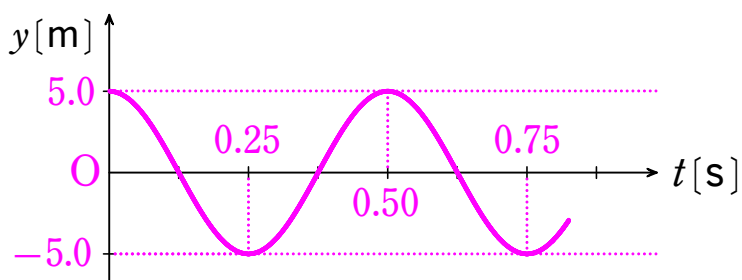
解答



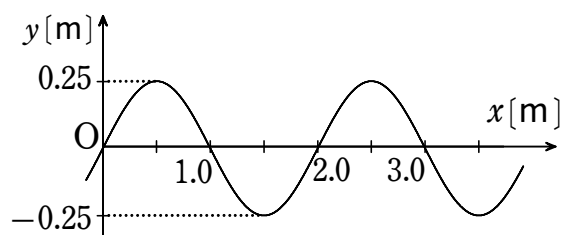
- 12 図は、 x 軸上を正の向きに速さ 8.0 m/s で進む正弦波の、時刻 $t=0 \text{ s}$ での波形を表す。位置 $x=2.0 \text{ m}$ での媒質の振動のようすを $y-t$ 図に表せ。



解答



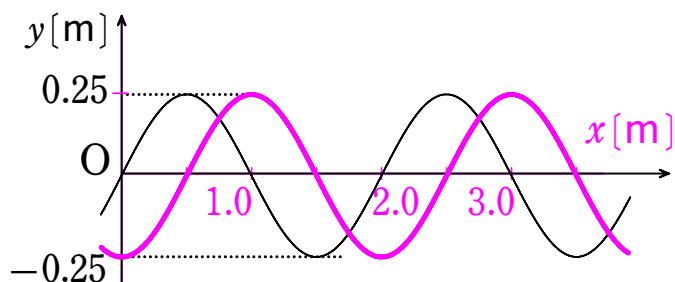
- 13 図は、 x 軸上にそって進む周期 0.40 s の正弦波の、時刻 $t=0 \text{ s}$ での波形を表している。この瞬間、原点にある媒質の速度の向きは、 y 軸の正の向きであったとする。



- (1) 波の進む速度 $v [\text{m/s}]$ を求めよ。ただし、 x 軸の正の向きを速度の正の向きとする。
- (2) 時刻 $t=0.70 \text{ s}$ での波形を図にかきこめ。

解答 (1) -5.0 m/s

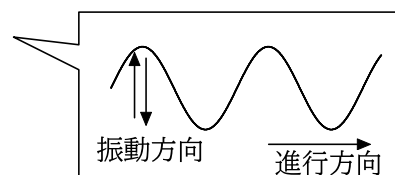
(2)



D 横波と縦波

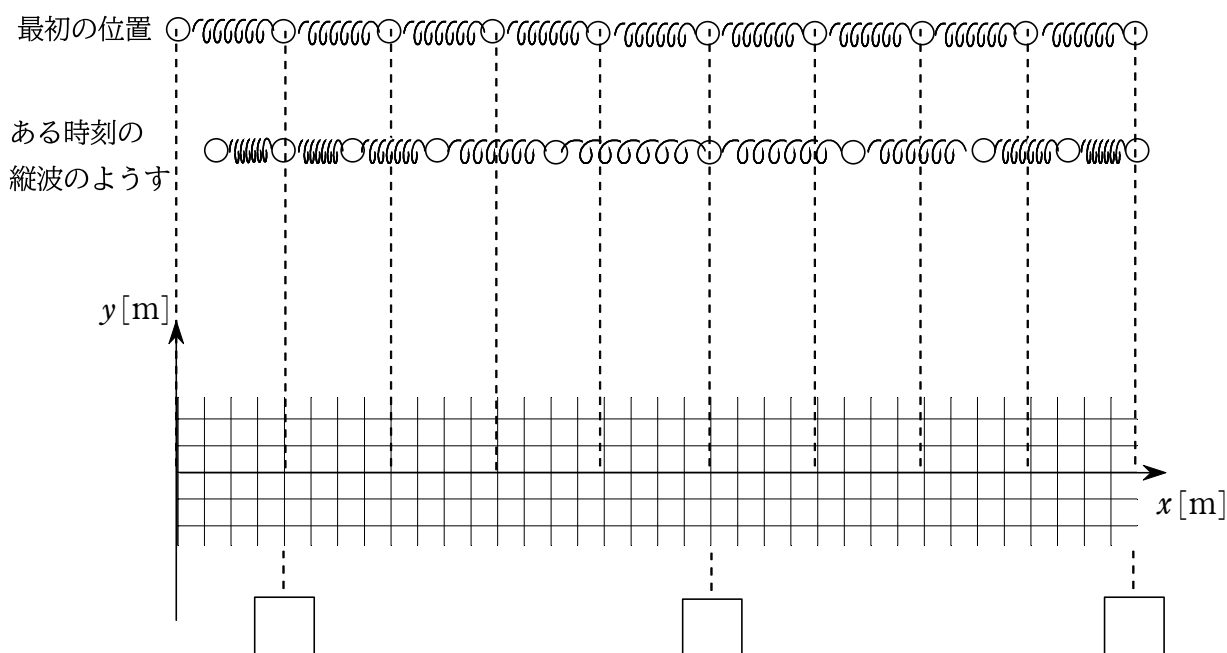
横波・・・媒質の振動方向と波の進行方向が垂直となる波

まあ、今までに話をしてきた波のことですね。



縦波・・・媒質の振動方向と波の進行方向が等しくなる波

これが新しく教える波です。ばねをアコーディオンみたいに動かすことができます。



縦波は、波の進行方向と媒質の振動方向が同じなので、グラフに描くとなにがなんだかよくわからない図になってしまいます。そこで、

- ・ x 軸の正の向きに進んでいるときを y 軸の正の向きに進んでいるとみなし
- ・ x 軸の負の向きに進んでいるときを y 軸の負の向きに進んでいるとみなす こと

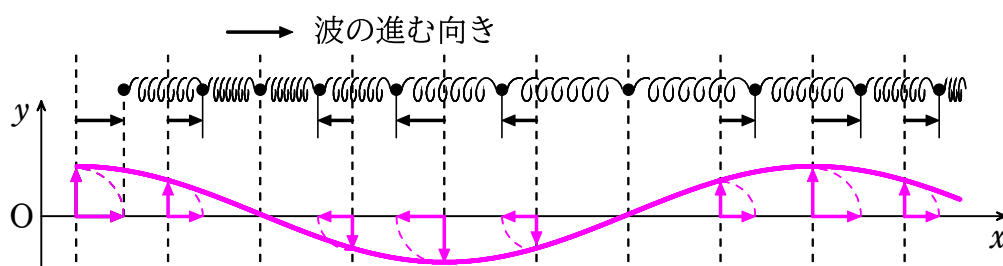
であたかも横波のように表すことができ、理解しやすくなります！

また、媒質が集まっているところを「密」部、スカスカなところを「疎」部というので、縦波は別名「密疎波」ともよばれます。

1. 媒質の振動方向が、波の進む向きと垂直になる波を [1] という。
 媒質の振動方向が、波の進む向きと平行になる波を [2] という。
 縦波は媒質が密集している [3] 部とまばらな [4] 部のくり返しが伝わるので、
 [5] ともいわれる。

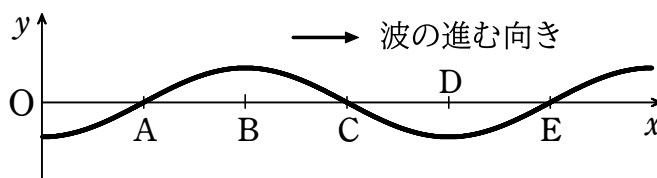
【解答】 (1) 横波 (2) 縦波 (3) 密 (4) 疎 (5) 疎密波

2. 図は x 軸上を正の向きに伝わる縦波の、ある時刻における疎密の状態を示したものである。この縦波を横波のように表せ。図中の破線は、媒質の各点のつりあいの位置を表している。



3. 図は、 x 軸上を正の向きに進む縦波の、ある時刻における媒質の変位を横波のように表したものである (x 軸の正の向きの変位を、 y 軸の正の向きに表す)。次の状態の媒質の点を A~E からすべて選べ。

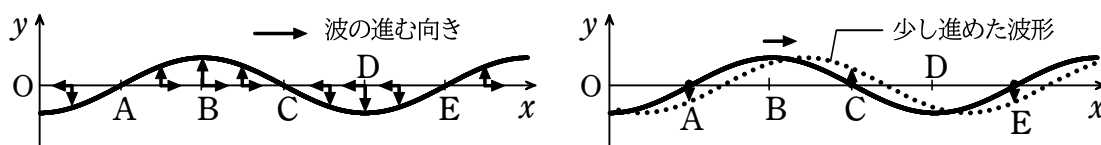
- (1) 最も密
- (2) 最も疎
- (3) 媒質の速さが 0
- (4) 媒質の速さが最大
- (5) 媒質の速度が右向きに最大



【指針】 y 軸方向の変位を x 軸方向の変位にもどして考える。

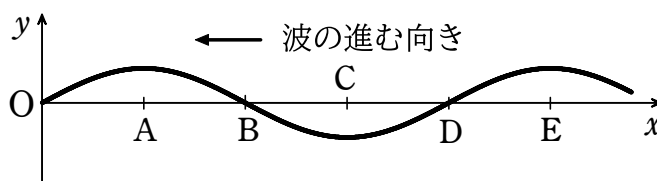
【解答】 まず、 y 軸方向に表された変位を x 軸方向にかき直す。

- (1) 最も密な点は媒質が周囲から集まる点である。よって C
- (2) 最も疎な点は媒質が周囲へ遠ざかる点である。よって A, E
- (3) 媒質の速さが 0 の点は媒質の変位の大きさが最大の点であるから、B, D
- (4) 媒質の速さが最大となるのは、媒質が振動の中心を通過するときであるから、A, C, E
- (5) 媒質の速度が右向きのとき、これを横波表示にすると y 軸の正の向きとなる。(4) で求めた A, C, E のうち、波形を少し進めたとき、媒質が y 軸の正の向きに動いているのは C



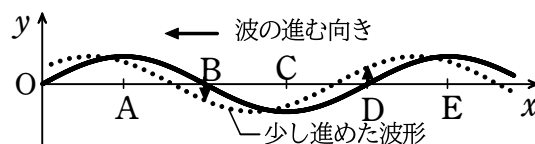
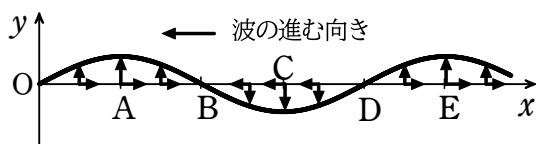
- 4 図は、 x 軸上を負の向きに進む縦波の、ある時刻における媒質の変位を横波のように表したものである (x 軸の正の向きの変位を、 y 軸の正の向きに表す)。次の状態の媒質の点を A～E からすべて選べ。

- (1) 最も密 (2) 最も疎
- (3) 媒質の速さが 0
- (4) 媒質の速さが最大
- (5) 媒質の速度が右向きに最大

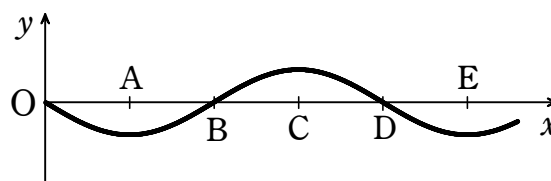


まず、 y 軸方向に表された変位を x 軸方向にかき直す。

- (1) 最も密な点は媒質が周囲から集まる点である。よって **B**
 - (2) 最も疎な点は媒質が周囲へ遠ざかる点である。よって **D**
 - (3) 媒質の速さが 0 の点は、媒質の変位の大きさが最大の点である。よって **A, C, E**
 - (4) 媒質の速さが最大となるのは、媒質が振動の中心を通過するときであるから、**B, D**
 - (5) 媒質の速度が右向きのとき、これを横波表示にすると y 軸の正の向きとなる。
- (4) で求めた B, D のうち、波形を少し進めたとき、媒質が y 軸の正の向きに動いているのは **D**

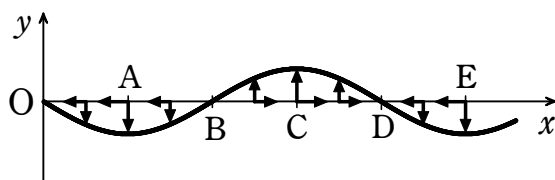


- 5 図は、 x 軸上を正の向きに進む縦波の、時刻 $t=0$ s における変位を横波のように表したものである (x 軸の正の向きの変位を、 y 軸の正の向きに表す)。このグラフは正弦波であり、BD 間の距離は 0.40 m である。縦波の進む速さを 2.0 m/s とする。



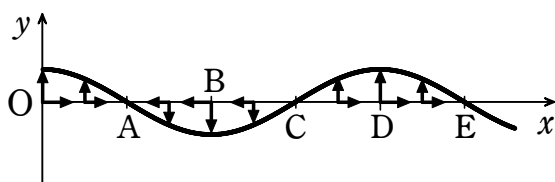
- (1) 時刻 $t=0$ s において、最も密な点を A～E からすべて選べ。
- (2) 時刻 $t=0.10$ s において、最も密な点を A～E からすべて選べ。

- (1) y 軸方向に表された変位を x 軸方向にかき直す。



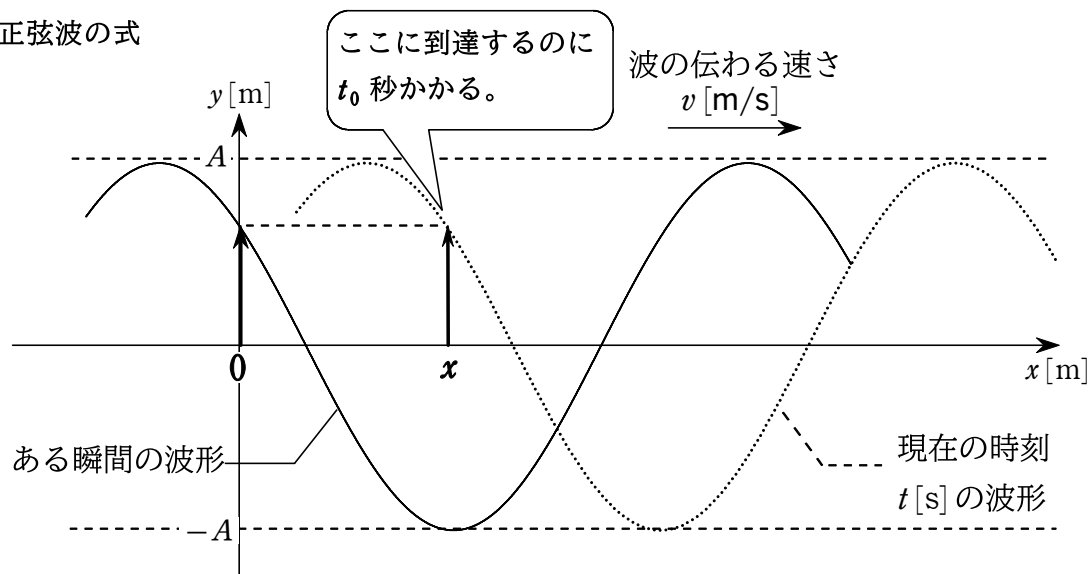
最も密な点は媒質が周囲から集まる点である。よって **D**

- (2) 0.10 秒後の波のグラフは下図のようになり、最も密な点は **A, E**



2 正弦波

A 正弦波の式



□ 原点($x=0$)の人の動きを表す式

ただの単振動なので、

$$y =$$

となります。

ここで、周期の式

$$T =$$

より、これを $\omega =$ にすると

$$\omega =$$

となるので、先ほどの式に代入すると、

$$y =$$

となります。

この式は、ある時刻 t における原点の媒質の変位 y を表しています。

□ 位置 x にいる人の動きを表す式

原点の人の振動の状態を、 t_0 秒遅れて再現するため、

$$y =$$

となります。

ここで、波の速度を v とすると、位置 x に波が到達するまでにかかる時間は、

$$t_0 =$$

となります。

これを先ほどの式に代入すると、

$$y =$$

となります。

かつこの中に T を入れて、

$$y =$$

さらに、 $vT = \lambda$ ($\ast v = f\lambda$ を変形) なので、

$$y =$$

となりますね。

【正弦波の式】

ポイントは、全ての位置の点は原点(波源)の運動のモノマネであるということです。そのため、当然ですが式の形は原点と同じになります。異なるのは、時間の項だけです。

本当は、そういった本質を理解して、自分で式を作れるようになってほしいのですが、初学者の人にとっては、なかなか難しいところです。

そこで、最初の頃は、与えられた式を $y = A \sin 2\pi(\bigcirc - \square)$ の形に変形して、対応するところを比較するという暗記戦法で構わないです。まずはテストで点が取れる必要があるのですね。そのうち意味を理解してくれたら嬉しいです。

ついでにいくつか覚えるべきことを下に記します。

『正弦波の式』のあれこれ

(1) 波が負の方向へ進むとき

位置 x の人の振動状態を、逆に原点の人が数秒遅れて再現することになるので、

$$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} + \frac{x}{v} \right) \quad \text{になります。} \quad () \text{ の中が } + \text{ になります。}$$

(2) 原点の最初の変位が下向きスタートのとき

原点が $y = -A \sin \frac{2\pi}{T} t$ という単振動なので、

$$y = (-) A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{v} \right) \quad \text{になります。}$$

(3) 原点が0からスタートでなく、 $\pm A$ からスタートのとき

この場合、 $\cos$ 型の振動だから、原点は $y = A \cos \frac{2\pi}{T} t$ という単振動になるので、

$$y = A \cos 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{v} \right) \quad \text{になります。}$$

- 1 x 軸上を正の向きに進む正弦波について、位置 x の媒質の変位 y が、時刻 t において $y = 1.5 \sin \pi(0.80t - 0.40x)$ と表されるとき、正弦波の振幅、周期、波長を求めよ。ここでは、 x , y , t は、長さの単位を m 、時間の単位を s としたときの数値を表すものとする。

$$y = 1.5 \sin \pi(0.80t - 0.40x) \quad \dots\dots ①$$

$$\text{これを } x \text{ 軸の正の向きに進む正弦波の式 } y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right) \quad \dots\dots ②$$

と比較する。① 式を変形して

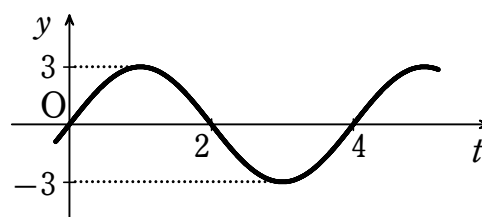
$$y = 1.5 \sin 2\pi(0.40t - 0.20x)$$

これを ② 式と比較すると、振幅は $A = 1.5 \text{ m}$

また、 t と x の係数を ② 式と比較して

$$\frac{1}{T} = 0.40 \quad \text{より} \quad T = 2.5 \text{ s} \quad \frac{1}{\lambda} = 0.20 \quad \text{より} \quad \lambda = 5.0 \text{ m}$$

- 2 x 軸上を正の向きに速さ 5 m/s で進む正弦波がある。原点の媒質の変位 y は図のように表される。円周率を π とする。



- (1) 時刻 t での原点の媒質の変位 y を、 t を用いて表せ。

- (2) 時刻 t での位置 x の媒質の変位 y を、 x , t を用いて表せ。

(1) 図より原点の媒質は、振幅が 3 m 、周期が 4 s の単振動を行う。

$$y = 3 \sin 2\pi \frac{t}{4} = 3 \sin \frac{\pi}{2} t$$

(2) 原点から位置 x まで振動が伝わるのに時間 $t_0 = \frac{x}{5}$ かかる。

したがって、時刻 t での位置 x の媒質の変位 y は、(1) で求めた式の t を、 $t - t_0$ で置きかえればよい。

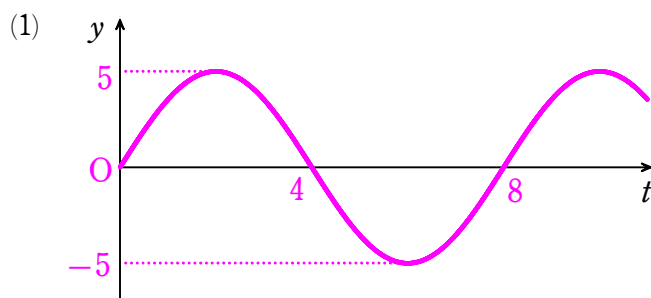
$$y = 3 \sin \frac{\pi}{2} (t - t_0) = 3 \sin \frac{\pi}{2} \left(t - \frac{x}{5} \right)$$

- 3 x 軸上を負の向きに速さ 2 m/s で進む正弦波がある。原点の媒質の変位 y は、時刻 t において $y = 5 \sin \frac{\pi}{4} t$ と表される。

- (1) 原点での媒質の振動のようすを $y-t$ 図に表せ。

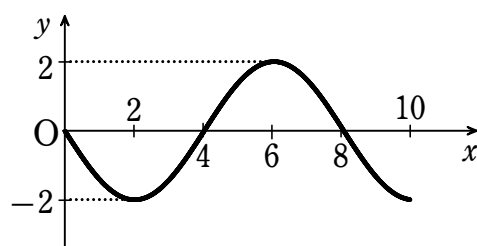
- (2) 時刻 t での位置 x の媒質の変位 y を、 x , t を用いて表せ。

解答



$$(2) y = 5 \sin \frac{\pi}{4} \left(t + \frac{x}{2} \right)$$

- 4 x 軸上を正の向きに進む周期 4 s の正弦波がある。図は時刻 0 s での波形を表す。ここでは、 x , y , t は、長さの単位を m , 時間の単位を s としたときの数値を表すものとする。

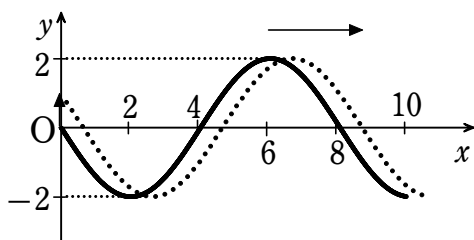


- (1) この波の速さを求めよ。
- (2) 時刻 t での原点の媒質の変位 y を、 t を用いて表せ。
- (3) 時刻 t での位置 x の媒質の変位 y を、 x , t を用いて表せ。

- (1) y - x 図より、この正弦波の波長 λ は 8 m である。周期が T のとき、波の速さ v は

$$v = \frac{\lambda}{T} = \frac{8}{4} = 2\text{ m/s}$$

- (2)



正弦波の振幅 A は 2 m であり、波が正の向きに進むとき、原点の媒質は $y=0$ の位置から上向きに動く。

$$y = A \sin \frac{2\pi}{T} t = 2 \sin \frac{2\pi}{4} t = 2 \sin \frac{\pi}{2} t$$

- (3) 正弦波の速さは 2 m/s なので、位置 x に原点の変位が伝わるのにかかる時間は $\frac{x}{2}$

である。この位置の時刻 t での変位は、時刻 $t - \frac{x}{2}$ での原点の変位と同じであるから

$$y = 2 \sin \frac{\pi}{2} \left(t - \frac{x}{2} \right)$$

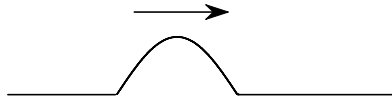
注 $y = 2 \sin \frac{\pi}{2} \left(t - \frac{x}{2} \right) = 2 \sin 2\pi \left(\frac{t}{4} - \frac{x}{8} \right)$

$y = A \sin 2\pi \left(\frac{t}{T} - \frac{x}{\lambda} \right)$ と比較して $A=2\text{ m}$, $T=4\text{ s}$, $\lambda=8\text{ m}$ に対応していることがわかる。

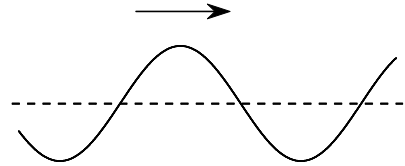
3 波の伝わり方

A 重ね合わせの原理

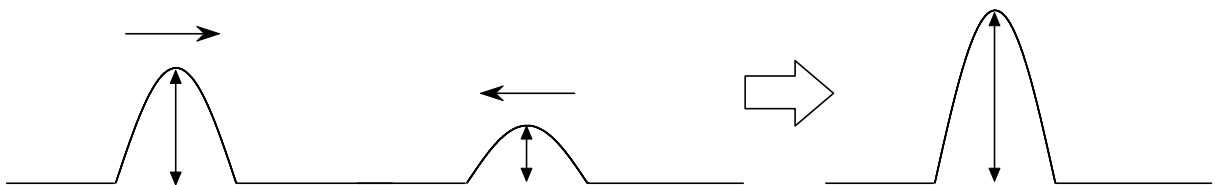
パルス波・・・「山1つ」とか「谷1つ」などの
比較的短い単発の波のこと



正弦波・・・sin cosなどで表される
連続した波のこと



2つのパルス波をぶつけた場合



ウェーブマシンで見たように、互いに反対の向きに進んでいる2つの波が重なり合うと2つの高さを足した波が現れましたよね。

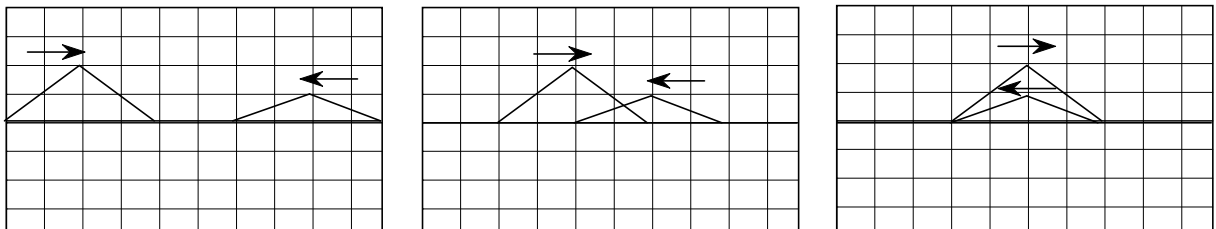
これを「重ね合わせ」といいます。

重ね合わせによってできた波のことを「合成波」といいます。

また、波は合体するのではなくすれ違うだけで元の波形を崩すことはありません。

これを「透過」といいます。

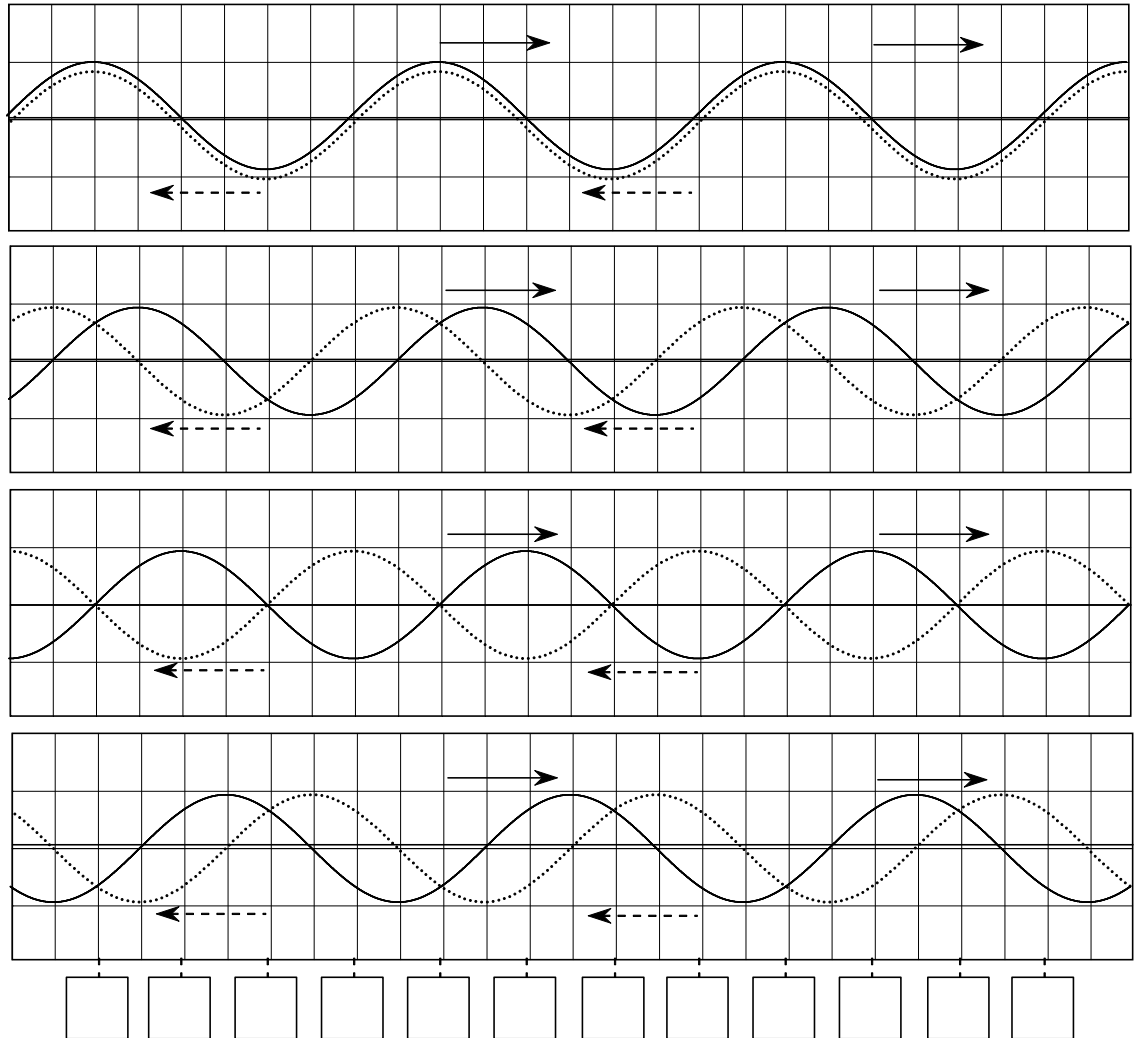
山と山のパルス波の合成波の作図



B 定在波 (定常波)

正弦波の合成波の作図

同じ「波長」「振幅」「速さ」の2つの正弦波が反対の向きに進んでつくる合成波



まったく振動しない点 ...

山や谷になる点 ...

...

このように進まない合成波 ...

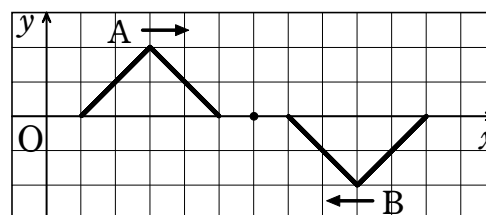
定常波の波長と振動数、周期は元の正弦波と同じです。ただし、振幅は2倍になります。

また、隣あう節と節の間隔は半波長になります。隣り合う腹と節の間隔は $\frac{1}{4}$ 波長になります。

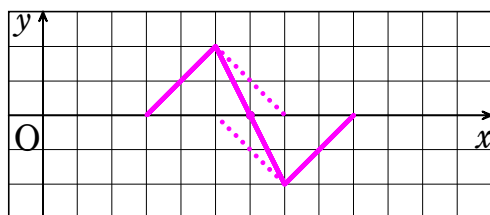
- 1 (1) 2つの波が重なったときの変位は、それぞれの波の変位の和になる。これをア[]という。
- (2) 反対の向きに同じ速さで進む、波長・振幅の等しい正弦波が重なると、合成波はどちらにも進んでいないように見える。このような波形の進行しない波をイ[]という。また、この波形の中でまったく振動しない点をウ[]、最も大きく振動する点をエ[]という。

【解答】 (ア) 波の重ねあわせの原理 (イ) 定在波(定常波) (ウ) 節 (エ) 腹

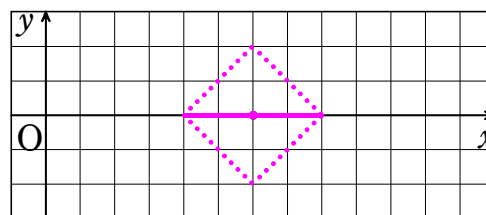
- 2 図のように、波形が等しい波 A と B が、 x 軸上を反対向きに 1 秒間に 1 目盛りずつ進んでいる。このとき、(1)、(2) の時刻での合成波の波形をかけ。



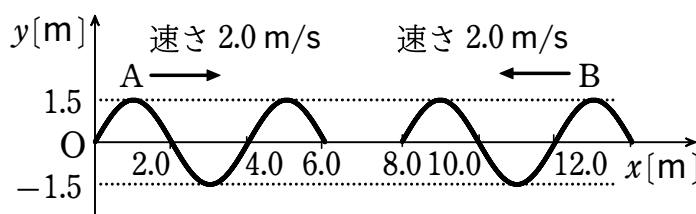
(1) 2 秒後



(2) 3 秒後



- 3 図のように、 x 軸上を反対の向きに同じ速さで進む正弦波 A、B が重なりあい、定在波ができた。



- (1) 隣りあう節と節の間隔は何 m か。
- (2) 腹の位置の振動の振幅 A [m] と周期 T [s] を求めよ。

反対の向きに進む正弦波の波長 λ は 4.0 m、振幅は 1.5 m である。また、正弦波の周期を T_0 としたとき、波の速さ v は「 $v = \frac{\lambda}{T}$ 」より $T_0 = \frac{\lambda}{v} = \frac{4.0}{2.0} = 2.0$ s である。

- (1) 節と節の間隔 d は、もとの進行波の波長 λ の半分に等しいから

$$d = \frac{1}{2}\lambda = \frac{1}{2} \times 4.0 = 2.0 \text{ m}$$

- (2) 腹の位置の振動の振幅 A はもとの進行波の振幅の 2 倍、周期 T はもとの進行波の周期 T_0 に等しいから

$$A = 2 \times 1.5 = 3.0 \text{ m} \quad T = T_0 = 2.0 \text{ s}$$

C 自由端による反射・固定端による反射

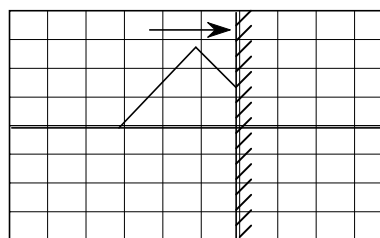
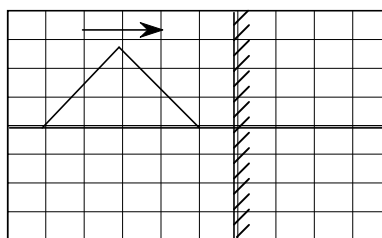
反射

波は、ウェーブマシンの端に当たると跳ね返ってきます。プールやお風呂の壁もそうですね。これを「」といいます。

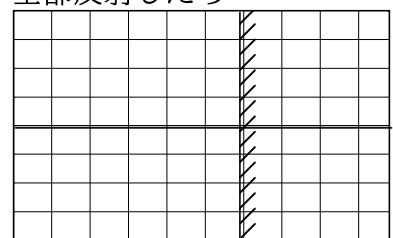
また、反射する前の波を「」、反射した後の波を「」といいます。

端の性質によって2種類の反射の仕方があります。

反射



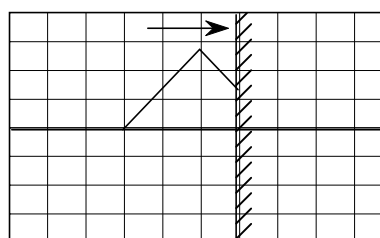
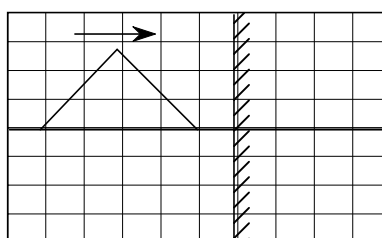
全部反射したら



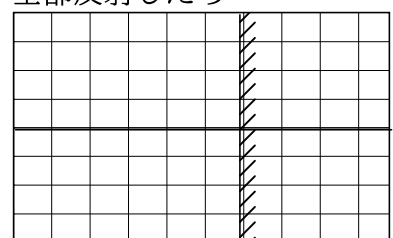
①壁の向こうにも波の続きを描く ②それを折り返す

自由端反射は、山が山となって反射します。

反射



全部反射したら



①壁の向こうにも波の続きを描く ②上下反転する ③それを折り返す

固定端反射は、山が谷となって反射します。

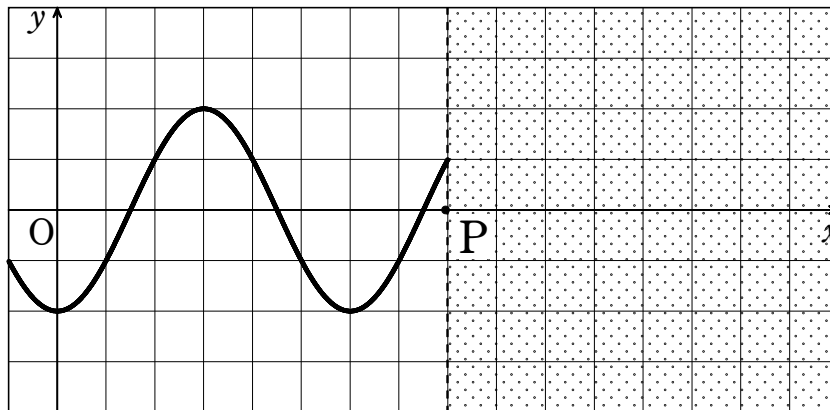
また、どちらの場合も、「入射波」と「反射波」による「合成波」ができます。

正弦波の反射

正弦波もパルス波と同じ要領で反射します。特に正弦波の反射は、同じ波長・振幅・振動数の波が反対に進むことになるので、入射波と反射波の合成波として定常波が生じます。

自由端反射

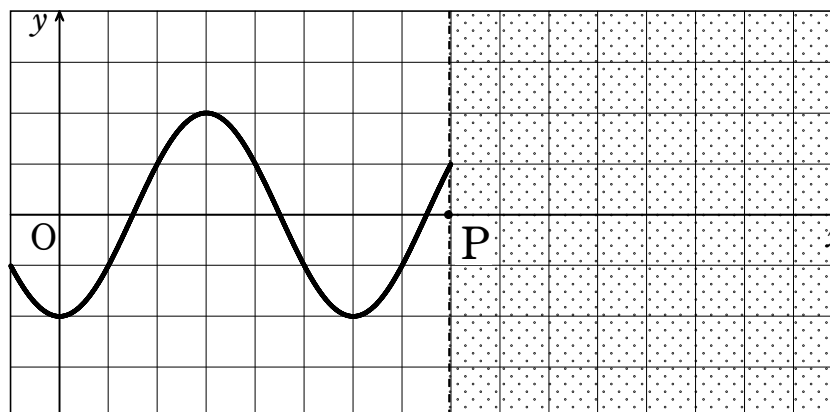
- 1、壁の向こうにも波の続きを描く
- 2、それを折り返す



自由端の場合、端は必ず定常波の になる。

固定端反射

- 1、壁の向こうにも波の続きを描く
- 2、上下反転する
- 3、それを折り返す

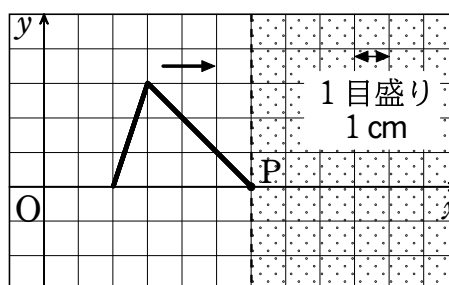


固定端の場合、端は必ず定常波の になる。

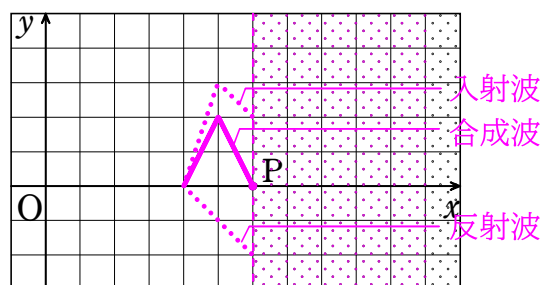
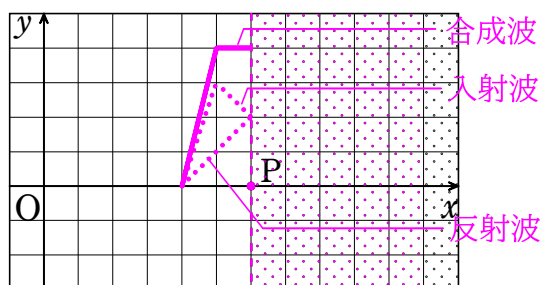
- 1 (1) 反射点の媒質が自由に振動できる端を ア[] という。ここでの反射波は入射波に対して進行方向が逆になるだけで、入射した山は イ[] となって反射する。
- (2) 反射点の媒質が振動できないように固定されている端を ウ[] という。ここでの反射波は入射波に対して進行方向が変わるだけでなく変位も上下反転するため、入射した山は エ[] となって反射する。したがって、実際に オ[] で観察される合成波の変位は常に カ[] となる。

【解答】 (ア) 自由端 (イ) 山 (ウ) 固定端 (エ) 谷 (オ) 0

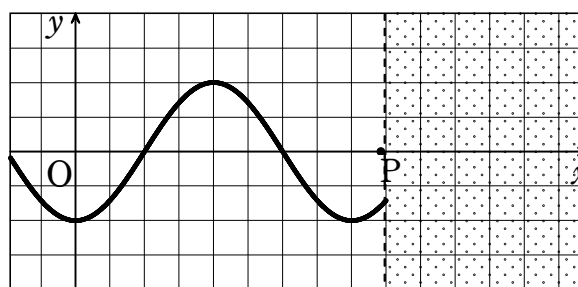
- 2 x 軸上を正の向きに速さ 1.0 cm/s で進む波が、時刻 $t=0 \text{ s}$ で、図のように端点 P に入射している。



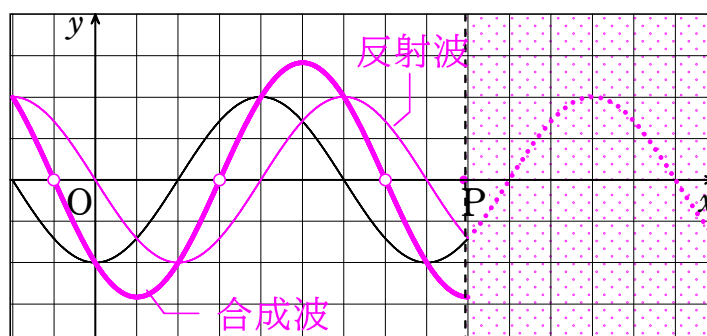
- (1) 点 P の位置が自由端のとき (2) 点 P の位置が固定端のとき



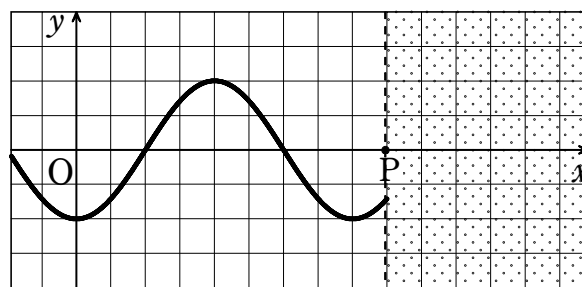
- 3 図のように、 x 軸上を正の向きに進む正弦波が点 P の位置にある自由端で反射している。このとき観測される合成波の波形をかき、定在波の節となる位置を $\circ$ 印で示せ。



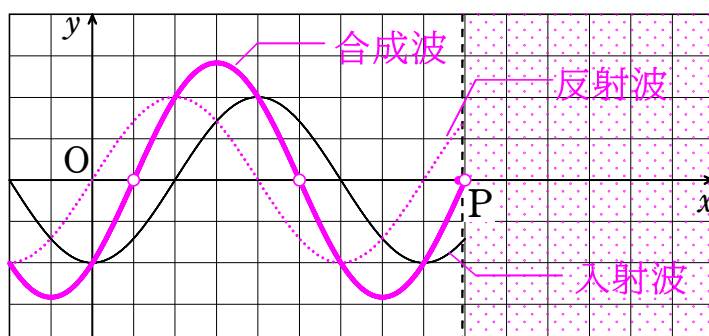
【解答】



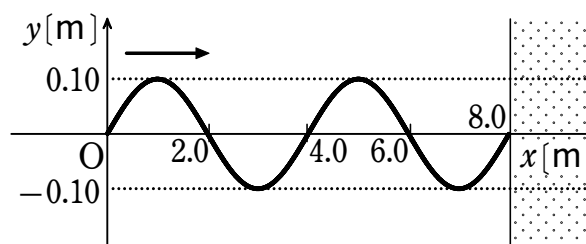
- 4 図のように、 x 軸上を正の向きに進む正弦波が点 P の位置にある固定端で反射している。このとき観測される合成波の波形をかき、定在波の節となる位置を。印で示せ。



解答

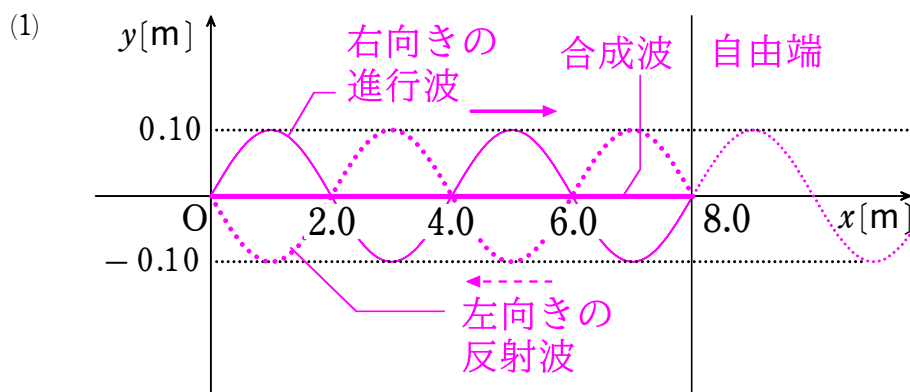


- 5 x 軸の原点で媒質を単振動させると、波が x 軸の正の向きに進み、やがて $x = 8.0 \text{ m}$ の位置にある自由端で反射し、 x 軸の負の向きに進む反射波が生じた。図は、入射波と反射波が媒質に十分広がったときの、入射波だけをかいたものである。



- (1) 図の瞬間に観察される合成波の波形をかけ。
- (2) 入射波と反射波によって定在波が生じる。原点と端の間 ($0 \text{ m} \leq x \leq 8.0 \text{ m}$) にできる節の位置 (x 座標) をすべて求めよ。
- (3) 波の速さを 10 m/s とすると、自由端の位置では何秒ごとに変位が正で最大になるか。

解答



- (2) $1.0, 3.0, 5.0, 7.0 \text{ m}$
- (3) 0.40 s

E 波の干渉

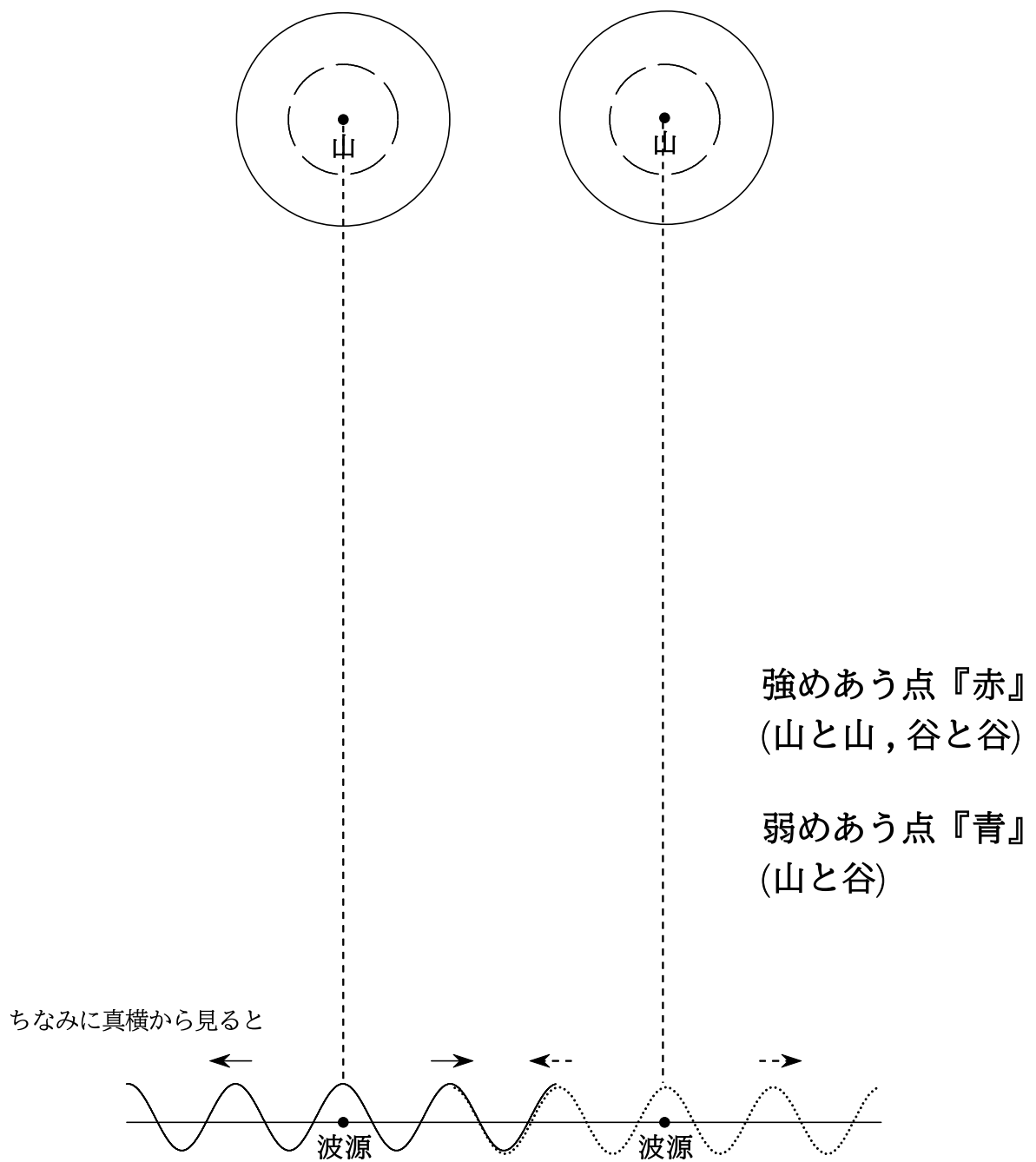
波源が同位相の2つの波の干渉

実線...『山』

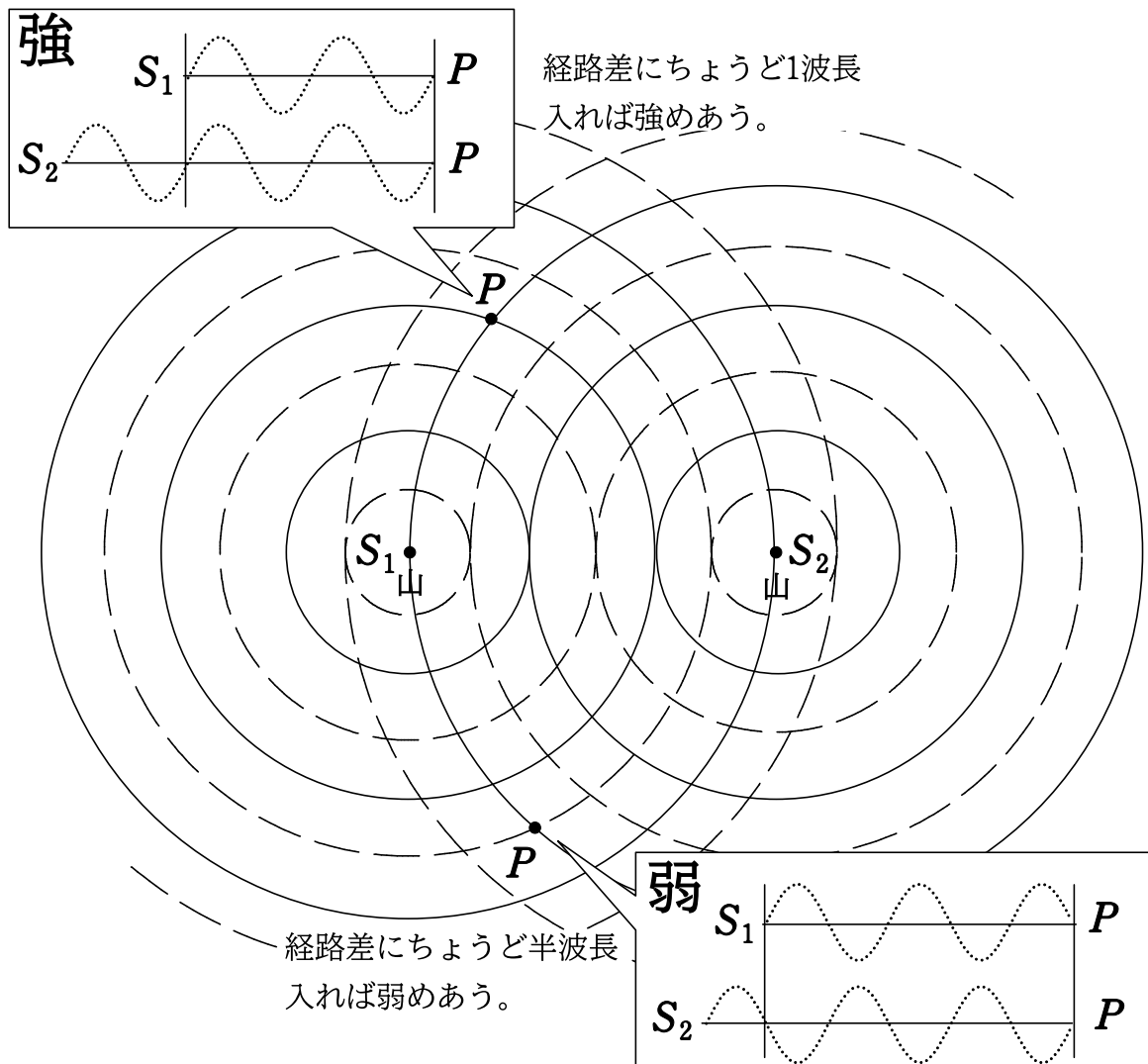
破線...『谷』



...2つの波が強めあったり弱めあったりすること



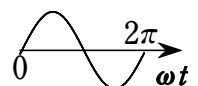
実線...『山』
破線...『谷』



強めあう条件：

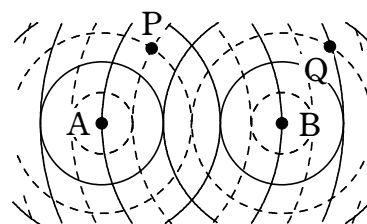
弱めあう条件：

『位相』とはタイミングのことでしたね。(詳しくは、媒質の振動状態のこと。)
スクワットには、 $0 \sim 2\pi$ のタイミング(振動状態)が存在するのです。



- 1 水面上で 6.0 cm 離れた 2 点 A, B から、波長 2.0 cm の同位相の波が出ている。

- (1) 図の点 P, Q は強めあう点か、弱めあう点か。
(2) A と B の間に、弱めあう点をつなげた双曲線は何本あるか。



- (1) それぞれの波源からの距離の差を求める。

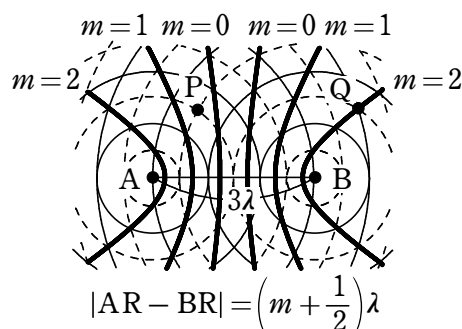
$$AP = 3.0 \text{ cm} = \frac{3}{2}\lambda \quad BP = 5.0 \text{ cm} = \frac{5}{2}\lambda \quad |AP - BP| = \lambda \quad \text{よって、点 P は強めあう点である。}$$

$$AQ = 8.0 \text{ cm} = 4\lambda \quad BQ = 3.0 \text{ cm} = \frac{3}{2}\lambda \quad |AQ - BQ| = \frac{5}{2}\lambda \quad \text{よって、点 Q は弱めあう点である。}$$

- (2) 直線 AB 上にある弱めあう点を R とする。

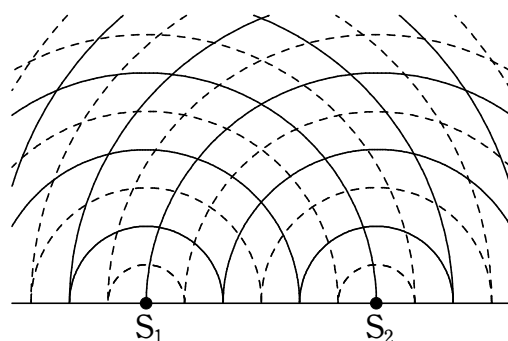
$$R \text{ は } AR - BR = \pm \frac{1}{2}\lambda, \pm \frac{3}{2}\lambda, \pm \frac{5}{2}\lambda \text{ を}$$

満たす 6 点である ($AB = 3\lambda$ であるので $|AR - BR|$ の最大値は 3λ より小さい)。これらの 6 点を含む双曲線は全部で 6 本ある。

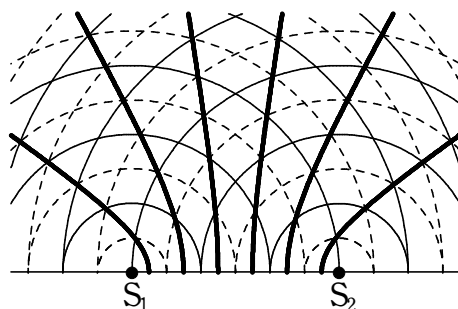


- 2 6.0 cm 離れた水面上の 2 点 S_1, S_2 から、振幅の等しい波長 2.0 cm の同位相の波が出ている。図の実線は山、破線は谷の波面を表している。波の減衰は無視する。

- (1) 図中に、2 つの波が弱めあっている点をつなげた線 (節線という) をかけ。
(2) 線分 S_1S_2 と交わる節線は何本あるか。
(3) S_1 と S_2 の振動を逆位相にした場合、線分 S_1S_2 上に腹は何か所あるか。



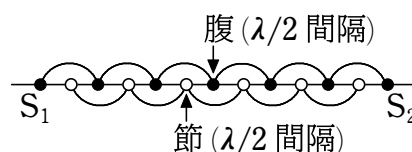
解説 (1)



- (2) 上の図より計 6 本。

別解 線分 S_1S_2 の中点は強めあい、腹となる。これを基準にして、線分 S_1S_2 上の腹と節の位置を求めてもよい。

- (3) (2) の場合とは節と腹の位置が逆になる。 よって、答えは 6 か所。



- 3 水面上の2点 A, B からいずれも波長 4 cm の波が同位相で出ている。次の点では、2つの波は強めあうか、それとも弱めあうか。

- (1) A から 30 cm, B から 22 cm となるような水面上の点 P
- (2) A から 30 cm, B から 24 cm となるような水面上の点 Q
- (3) AB の中点 M

2点 A, B からの距離の差が、「整数×波長」ならば強めあい、「 $\left(\text{整数} + \frac{1}{2}\right) \times \text{波長}$ 」ならば弱めあう。 $\lambda = 4 \text{ cm}$

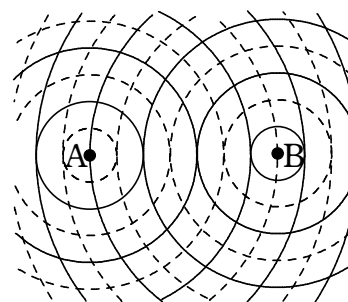
(1) $|AP - BP| = 30 - 22 = 8 \text{ cm} = 2\lambda$ よって、点 P は強めあう。

(2) $|AQ - BQ| = 30 - 24 = 6 \text{ cm} = \frac{3}{2}\lambda$ よって、点 Q は弱めあう。

(3) $AM = BM$ より

$|AM - BM| = 0 = 0 \times \lambda$ よって、点 M は強めあう。

- 4 図のように、水面上で 10.5 cm 離れた2つの波源 A, B が逆位相で振動して、振幅の等しい波長 3.0 cm の波を出している。図の実線はある瞬間における波の山の波面、破線は谷の波面を表している。水面波の減衰は考えないものとする。

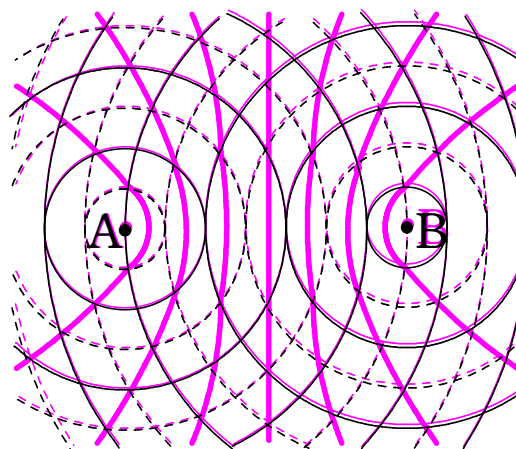


- (1) 線分 AB の中点は、2つの波が強めあう点か、弱めあう点か。
- (2) A, B からの距離の差が 4.5 cm である点は、強めあう点か、弱めあう点か。
- (3) 弱めあう点を連ねた曲線を図に示せ。

【解答】 (1) 弱めあう点 (2) 強めあう点

(3)

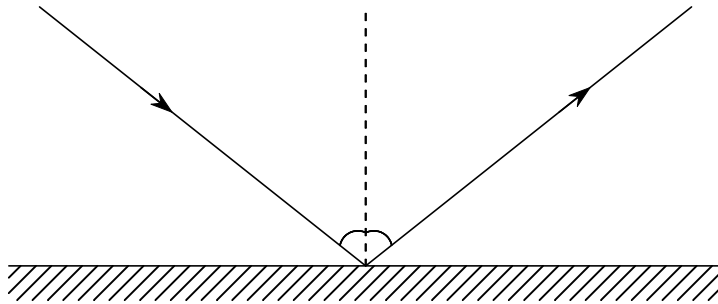
(3)



F 波の反射と屈折

1 波の反射

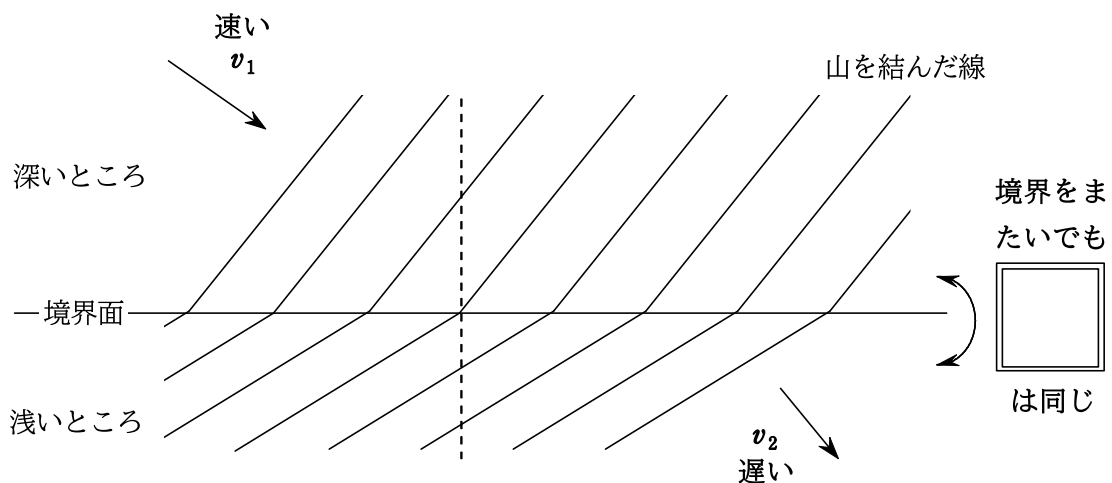
波は壁に当たるとはね返ってきます。これを「」といいます。



【反射の法則】

2 波の屈折

深いところと浅いところでは波の進む速さが異なるので、波の進む向きが変わります。これを「」といいます。



【屈折の法則】

= = =

覚え方は、上の図の境界面を分数の棒に見立てて『下』分の『上』とすればOKです。

また、 n_{12} とは、媒質1に対する媒質2の屈折率(相対屈折率)のことです。式の通り、媒質1中の速さを媒質2中の速さで割った値です。

ホイヘンスの原理

波の波面を無数の波源の集まりであるとみなし、その波源から同心円上に送り出される「」を考えると、波面の進む方向は次のように説明できる。

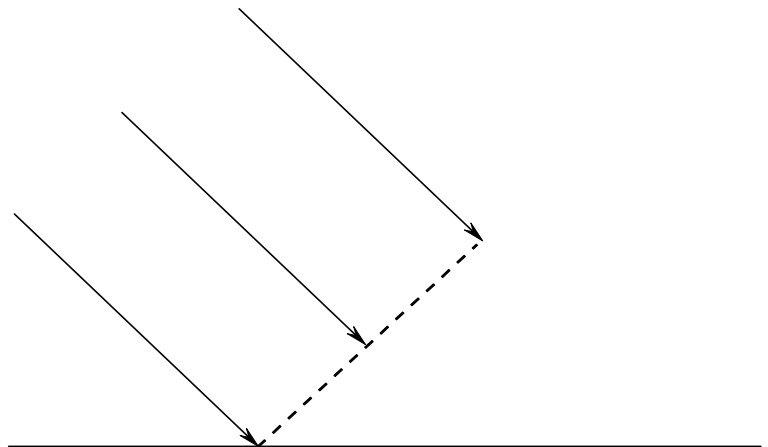
波面の各点からは、波の進む前方に素元波が出る。これらの素元波に共通に接する面が、次の瞬間の波面になる。

これを「」といいます。

□ 平面波の場合

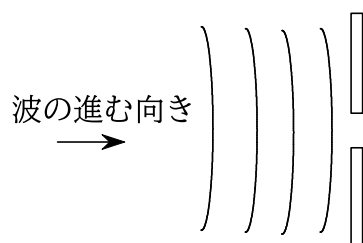


□ 屈折する場合

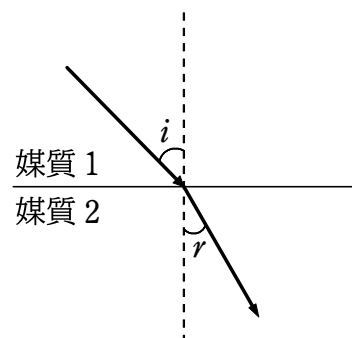


G 波の回折

波が障害物を回りこんで背後に伝わることを、波の「」といいます。



- 1 図のように、波が媒質 1 から媒質 2 へと屈折して進む。媒質 1 に対する媒質 2 の屈折率が 1.4 であるとき、屈折角 r を求めよ。入射角 i は $\sin i = 0.70$ を満たすとする。



【指針】 屈折の法則では、分数の分子と分母を逆にしないう注意する。

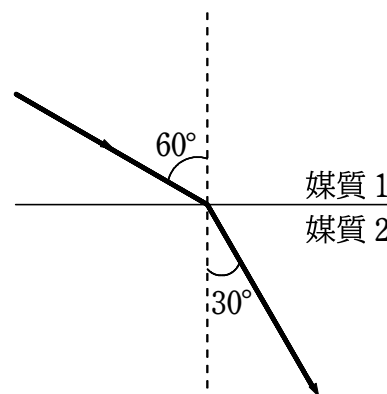
【解答】 媒質 1 に対する媒質 2 の屈折率は $n_{12} = 1.4$ である。

$$\text{屈折の法則「}\frac{\sin i}{\sin r} = n_{12}\text{」より } \frac{0.70}{\sin r} = 1.4$$

$$\text{これを解くと } \sin r = 0.50 \quad 0^\circ < r < 90^\circ \text{ より } r = 30^\circ$$

- 2 図のように、波が媒質 1 から媒質 2 へと屈折して進む。媒質 2 での波の波長は 0.10 m、波の速さは 0.20 m/s である。

- (1) 媒質 1 に対する媒質 2 の屈折率 n_{12} を求めよ。
- (2) 媒質 1 での波の波長 λ_1 [m] と、波の速さ v_1 [m/s] を求めよ。



$$(1) \text{ 「}\frac{\sin i}{\sin r} = n_{12}\text{」より } \frac{\sin 60^\circ}{\sin 30^\circ} = n_{12}$$

$$\text{よって } n_{12} = \frac{\sqrt{3}/2}{1/2} = \sqrt{3} = 1.7$$

- (2) 屈折の法則より

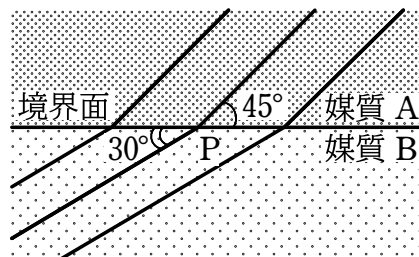
$$\frac{v_1}{0.20} = \frac{\lambda_1}{0.10} = n_{12}$$

$$\text{よって } \lambda_1 = 0.10 \times \sqrt{3} \approx 0.17 \text{ m}$$

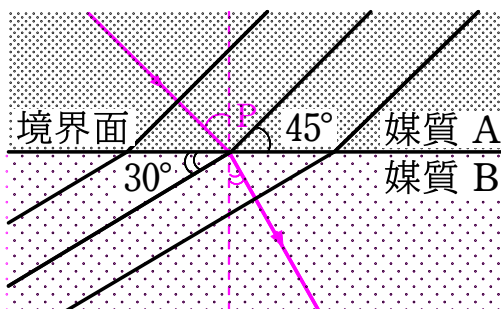
$$v_1 = 0.20 \times \sqrt{3} \approx 0.35 \text{ m/s}$$

- 3 媒質 A から媒質 B へ平面波が伝わり、波面が境界面となす角度が 45° から 30° に変わった。媒質 A での波の速さは 2.0 m/s である。

- (1) 媒質 A, B の中で、それぞれ点 P を通る波の進む向きを、図中にかき入れよ。
- (2) 媒質 A に対する媒質 B の屈折率 n_{AB} を求めよ。
- (3) 媒質 B での波の速さ v_B [m/s] を求めよ。
- (4) この波の振動数が 5.0 Hz であるとき、媒質 A での波の波長 λ_A [m] と、媒質 B での波の波長 λ_B [m] を求めよ。



【解答】 (1)



- (1) 波の進む向きは波面に垂直な向きであるから、図のようになる。

- (2) 媒質 A に対する媒質 B の屈折率 n_{AB} は、

$$\text{屈折の法則より } \frac{\sin 45^\circ}{\sin 30^\circ} = n_{AB}$$

$$\text{よって } n_{AB} = \sqrt{2} \approx 1.4$$

- (3) 媒質 A での波の速さは $v_A = 2.0 \text{ m/s}$ である。屈折の法則より $\frac{v_A}{v_B} = n_{AB}$

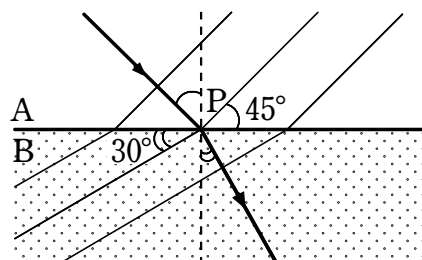
$$\text{よって } \frac{2.0}{v_B} = \sqrt{2}$$

$$\text{ゆえに } v_B = \sqrt{2} \approx 1.4 \text{ m/s}$$

- (4) 波の振動数 $f = 5.0 \text{ Hz}$ より「 $v = f\lambda$ 」の関係を用いて

$$\lambda_A = \frac{v_A}{f} = \frac{2.0}{5.0} = 0.40 \text{ m}$$

$$\lambda_B = \frac{v_B}{f} = \frac{\sqrt{2}}{5.0} \approx 0.28 \text{ m}$$





「不屈不撓の物理」