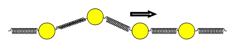
波動

波動：振動が、物質中を伝わっていく現象

- 波源：波が発生しているところ
- 媒質：波を伝えるもの



力学的な波　（媒質中を伝わる）
弾性波　（例：地震、音、弦）

電磁波　　（空間を伝わる）
電波、光、X線

横波・縦波

横波：　媒質の振動方向と波の進行方向が直角

振動方向 ⇕ ⇨ 進行方向

光（電磁波）（電場と磁場が交互に生ずる横波）
地震（S波）

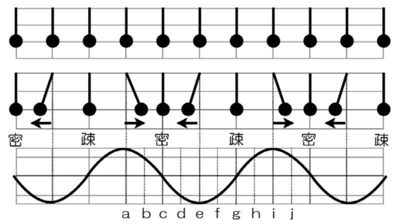
縦波：　媒質の振動方向と波の進行方向が同じ

⇔ ⇨ 進行方向
振動方向

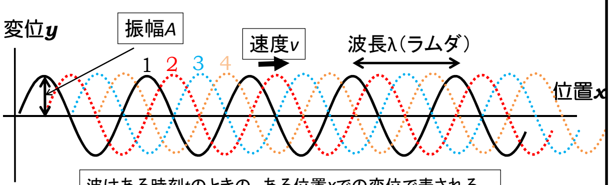
音：空気の部分的な圧縮が波となって伝わる
流体　→　横波は生じない。
地震（P波）

演示実験

縦波を横波で表す



波を表す量（正弦波）

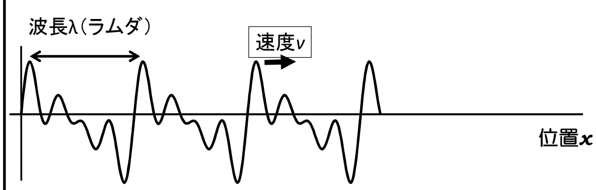


波はある時刻tのときの、ある位置xでの変位で表される。

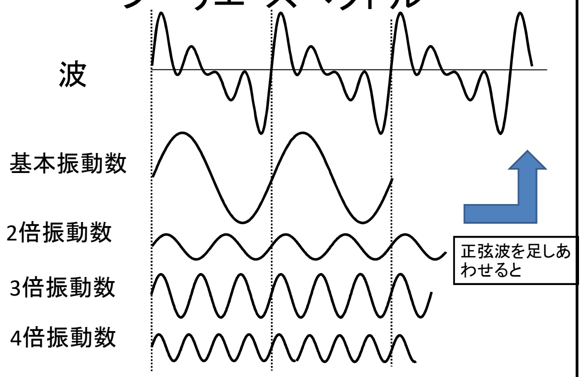
振幅	A	：平衡の位置からの変位の最大値
波長	λ (m)	：x 軸上での波の繰り返しの長さ
周波数 (振動数)	f (Hz,1/s)	：ある位置xの媒質が1秒間に振動する回数
周期	T (s)	：ある位置 x の媒質が1回振動する時間

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

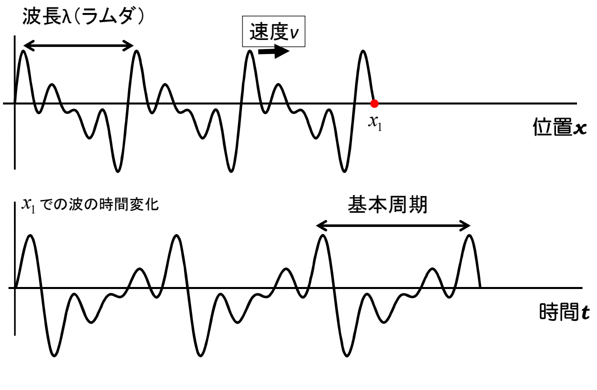
波を表す量（正弦波）



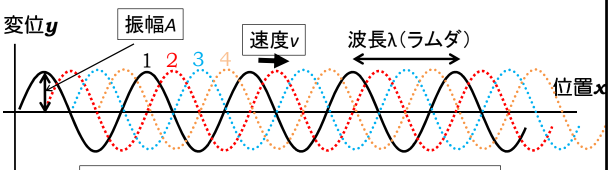
フーリエ・スペクトル



波を表す量



波を表す量

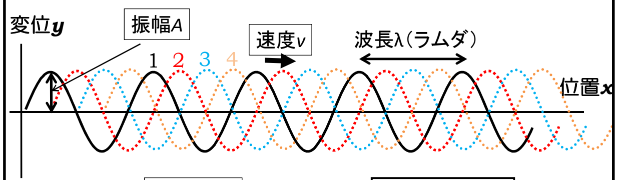


波はある時刻tのときの、ある位置xでの変位で表される。

振幅	A	：平衡の位置からの変位の最大値
波長	λ (m)	：x 軸上での波の繰り返しの長さ
周波数（振動数）	f (Hz,1/s)	：ある位置xの媒質が1秒間に振動する回数
周期	T (s)	：ある位置 x の媒質が1回振動する時間

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

波を表す量



$$v=\frac{\lambda}{T}=f\lambda$$

波を表す量の基本的関係式（重要）

T秒間（1回振動する間に）λ[m]進む

ラの音の振動数は440Hzである。音の速度340m/s のとき、ラの音の波長と周期は

$v=f\lambda \rightarrow \lambda=v/f$ より

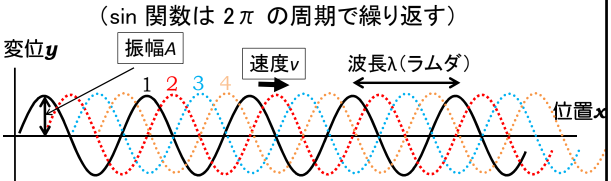
$\lambda=$ 340÷440＝0.773〔m〕

$T=1/f=$ 1/440＝0.00227〔s〕

波動は三角関数で表す

t=0で $y=A\sin\left(2\pi\frac{x}{\lambda}\right)$ とする

（sin 関数は 2π の周期で繰り返す）



速度 vで x 方向に進む波

t 秒の間にx 方向に vt ずれる → xを $x-vt$

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

波はある時刻tのときの、ある位置xでの変位で表される。

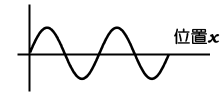
波動は三角関数で表す

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

$$v=\frac{\lambda}{T}=f\lambda$$

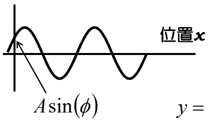
位相

変位y



t=0での式 $y = A\sin\left(2\pi\frac{x}{\lambda}\right)$

波動の式 $y = A\sin\left(2\pi\frac{x-vt}{\lambda}\right)$



t=0での式 $y = A\sin\left(2\pi\frac{x}{\lambda}+\phi\right)$

波動の式 $y = A\sin\left(2\pi\frac{x-vt}{\lambda}+\phi\right)$

一般に波動の式は

$y = A\sin\left(2\pi\frac{x-vt}{\lambda}+\phi\right)$ と書ける。 ( )の中を位相呼ぶ

問 34 ○

−x 方向に300 m/sの速さで進む波長 0.50m、振幅0.01mの正弦波を下の式の形で記せ。ただし、時刻 t =0 で位置 x=0.125 での変位yは −0.01であった。

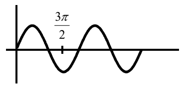
$$y = A\sin\left(2\pi\frac{x-vt}{\lambda}+\phi\right)$$

v= - 300m/s
λ= 0.5m
A= 0.01m

を代入して $y = 0.01\sin\left(2\pi\frac{x+300t}{0.5}+\phi\right)$

時刻 t =0 で位置 x=0.125 での変位y は −0.010 なので

$$-0.01 = 0.01\sin\left(2\pi\frac{0.125+300\times 0}{0.5}+\phi\right) \Rightarrow -0.01 = 0.01\sin\left(\frac{\pi}{2}+\phi\right) \Rightarrow -1 = \sin\left(\frac{\pi}{2}+\phi\right)$$



$\sin\left(\frac{3}{2}\pi\right) = -1$ より

$\frac{\pi}{2}+\phi = \frac{3\pi}{2}$ ⇒

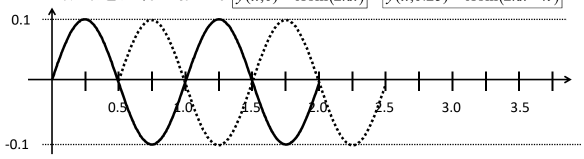
$$\boxed{y = 0.01\sin\left(2\pi\frac{x+300t}{0.5}+\pi\right) = -0.01\sin\left(2\pi\frac{x+300t}{0.5}\right)}$$

問 35 $\boxed{y = A\sin\left(2\pi\frac{x-vt}{\lambda}+\phi\right) = A\sin\left(2\pi\left(\frac{x}{\lambda}-\frac{t}{T}\right)+\phi\right) = A\sin\left(2\pi\left(\frac{x}{\lambda}-ft\right)+\phi\right)}$ $\boxed{v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda}$

空気中を進むある波が, $y(x,t) = 0.10\sin(2\pi(x-2.0t))$ のような正弦波で表わされている. 数値の単位はSI単位系であるとする。

この波の波長は(1.0)〔m〕, 振動数は(2.0)〔Hz〕, 速さは(2.0)〔m/s〕である。

下図にt=0〔s〕での波形の概略を実線で，また，t=0.25〔s〕での波形の概略を点線で描け。$\boxed{y(x,0) = A\sin(2\pi x)}$ $\boxed{y(x,0.25) = A\sin(2\pi x - \pi)}$



波動方程式

正弦波を表す式 $y(x,t) = A\sin\left(2\pi\frac{x-vt}{\lambda}+\phi\right)$ は

波動方程式 $\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2} = v^2\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2}$ を満たす。

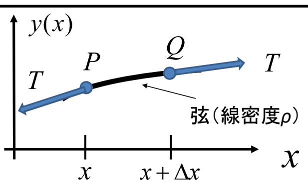
一般には $y(x,t) = y(x-vt)$ or $y(x,t) = y(x+vt)$

の形の関数はすべて波動方程式を満たす。

∵

$$\frac{\partial^2 y(x\pm vt)}{\partial x^2} = y''(x\pm vt)$$

$$\frac{\partial^2 y(x\pm vt)}{\partial t^2} = v^2 y''(x\pm vt)$$



$$\left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}\right) = \frac{T}{\rho}\left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\right)$$

$$\left(v = \sqrt{\frac{T}{\rho}}\right)$$

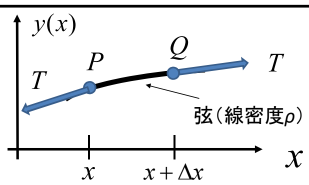
P点

x方向の力： $-T$

y方向の力： $-T\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_x$

$\cos\theta \approx 1,$

$\sin\theta \approx \tan\theta$



$$\left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}\right) = \frac{T}{\rho}\left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\right)$$

$$\left(v = \sqrt{\frac{T}{\rho}}\right)$$

P点

x方向の力： $-T$

y方向の力： $-T\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_x$

キャンセル

Q点

x方向の力： T

y方向の力： $T\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_{x+\Delta x}$

y方向の力： $T\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_{x+\Delta x} - T\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_x = T\left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\right)\cdot\Delta x$

y方向の運動方程式: $\left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}\right)\cdot\rho\Delta x = T\left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\right)\cdot\Delta x$ 6・12

波の速さは媒質の復元力と密度で決まる

- 弦を伝わる波

  $v=\sqrt{\dfrac{T}{\rho}}$　　Tは張力　　ρは線密度

- 固体中を伝わる波

  横波　$v=\sqrt{\dfrac{G}{\rho}}$　Gは剛性率　ρは密度　（S波：遅い）

  縦波　$v=\sqrt{\dfrac{E}{\rho}}$　Eはヤング率　（P波：早い）

- 復元力が強い・密度が小さい → 速度が速い

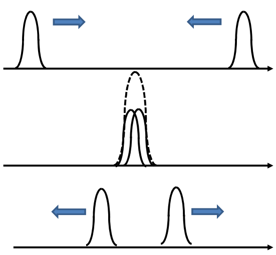
- 波が一般的に起こす現象

  干渉
  反射
  屈折
  回折

- ドップラー効果

重ね合わせの原理（波は重なり合う）

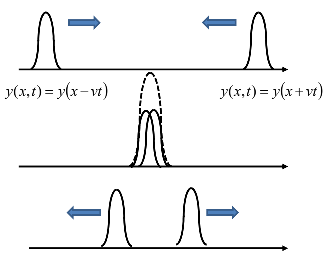
- 波AとBが重なるときの変位
  ＝Aの変位＋Bの変位



パルス波（連続的ではない孤立した波）の重ね合わせ

重ね合わせの原理（波は重なり合う）

- 波AとBが重なるときの変位
  ＝Aの変位＋Bの変位



パルス波（連続的ではない孤立した波）の重ね合わせ

波動方程式

$$\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial t^2}=v^2\frac{\partial^2 y(x,t)}{\partial x^2}$$

$y(x-vt),\ y(x+vt)$

が解ならば

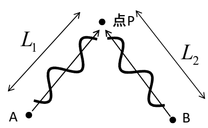
$Ay(x-t)+By(x+t)$

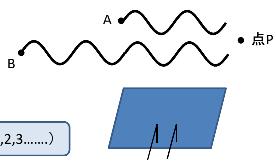
も解

波の干渉

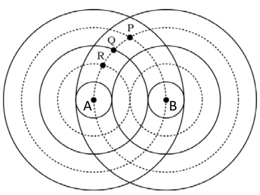
点P　：強めあう
点Q　：弱めあう
点R　：強めあう

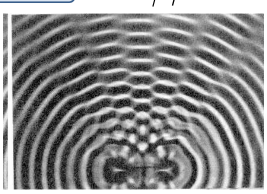
波が重なって振動を強めあったり打ち消しあったりする現象





強めあう条件：$|L_1-L_2|=m\lambda$　（m=0,1,2,3.......）

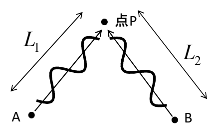


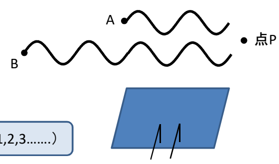


波の干渉

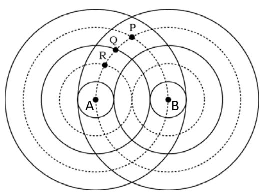
点P　：強めあう
点Q　：弱めあう
点R　：強めあう

波が重なって振動を強めあったり打ち消しあったりする現象





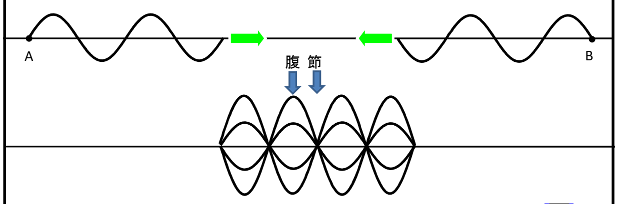
強めあう条件：$|L_1-L_2|=m\lambda$　（m=0,1,2,3.......）



弱めあう条件：$|L_1-L_2|=(2m+1)\cdot\dfrac{\lambda}{2}$　（m=0,1,2,3.......）

定常波

一定の場所で振動する波（どちらにも進まないように見える）
反対方向に進む同じ波（波長、振幅、速さが同じ）が重なるとできる



強めあう条件：$|L_1 - L_2| = m\lambda$ （m=0,1,2,3.......）

定常波

一定の場所で振動する波
反対方向に進む同じ波（波長、振幅、速さが同じ）が重なるとできる

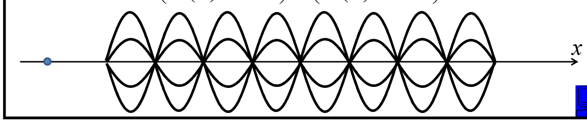
$$y_1 = A\sin\left(2\pi\frac{x-vt}{\lambda}+\phi_1\right) \qquad y_2 = A\sin\left(2\pi\frac{x+vt}{\lambda}+\phi_2\right)$$

$$y_1 + y_2 = A\sin\left(2\pi\frac{x-vt}{\lambda}+\phi_1\right) + A\sin\left(2\pi\frac{x+vt}{\lambda}+\phi_2\right)$$

$$= 2A\sin\left(2\pi\left(\frac{x}{\lambda}\right)+\frac{\phi_1+\phi_2}{2}\right)\cos\left(2\pi\left(\frac{vt}{\lambda}\right)+\frac{\phi_2-\phi_1}{2}\right)$$

$$= 2A\sin\left(2\pi\left(\frac{x}{\lambda}\right)+\frac{\phi_1+\phi_2}{2}\right)\cos\left(2\pi\left(\frac{t}{T}\right)+\frac{\phi_2-\phi_1}{2}\right)$$

$$\boxed{v = \frac{\lambda}{T} = f\lambda}$$

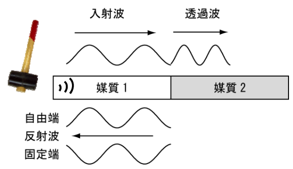


- 波が一般的に起こす現象

  干渉
  反射
  屈折
  回折

境界での反射

- 違う媒質の境界で反射が起きる



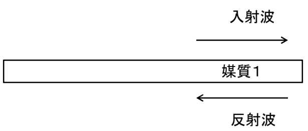
$\upsilon = f\lambda$

- 透過波の振動数は入射波と同じ（波長と速さが異なる）
  （境界で変位は連続）

  固定端：反射波の位相は、π（180°）だけずれる
  自由端：反射波の位相変化はない

境界での反射

- 違う媒質の境界で反射が起きる



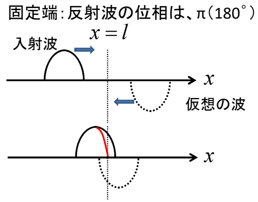
$\upsilon = f\lambda$

- 透過波の振動数は入射波と同じ（波長と速さが異なる）
  （境界で変位は連続）

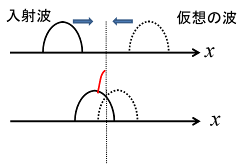
  固定端：反射波の位相は、π（180°）だけずれる
  自由端：反射波の位相変化はない

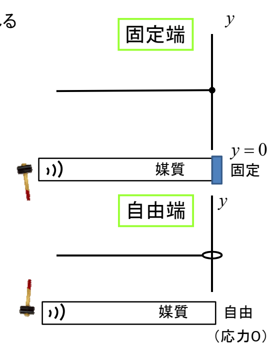
反射について

固定端：反射波の位相は、π（180°）だけずれる

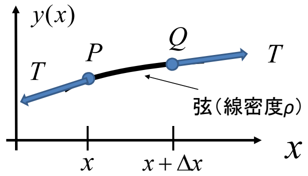


自由端：反射波の位相変化はない





$$\frac{\partial y}{\partial x} = 0$$



$$\left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}\right)=\frac{T}{\rho}\left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\right)$$

$$v=\sqrt{\frac{T}{\rho}}$$

P点

x方向の力: $-T$

y方向の力: $-T\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_x$

キャンセル

Q点

x方向の力: T

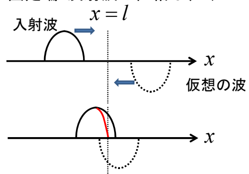
y方向の力: $\boxed{T\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_{x+\Delta x}}$

y方向の力: $T\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_{x+\Delta x}-T\left(\frac{\partial y}{\partial x}\right)_x=T\left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\right)\cdot\Delta x$

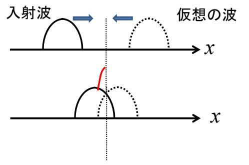
y方向の運動方程式: $\left(\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}\right)\cdot\rho\Delta x=T\left(\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\right)\cdot\Delta x$

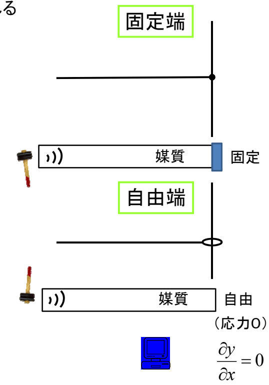
反射について

固定端：反射波の位相は、π（180°）だけずれる

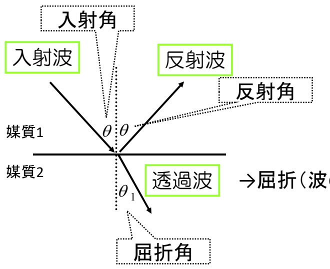


自由端：反射波の位相変化はない





入射角が0°でないとき



→屈折（波の進む向きが変わること）

入射角と反射角は等しい（屈折角は異なる）

屈折は媒質1と媒質2で波の速さが異なることで生じる

屈折は媒質1と媒質2で波の速さが異なることで生じる

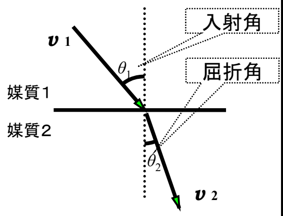
媒質1に対する媒質2の相対屈折率n_{12}

スネルの法則: $n_{12}\equiv\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}=\frac{v_1}{v_2}$

・絶対屈折率n_1（光）
真空に対する相対屈折率

$$\begin{cases} n_1=n_{01}=\dfrac{v_0}{v_1} \\ n_2=n_{02}=\dfrac{v_0}{v_2} \end{cases} \Rightarrow n_{12}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{n_2}{n_1}$$

（0:真空）



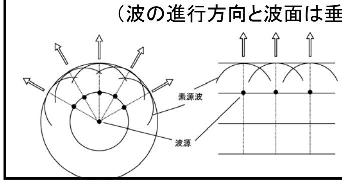
ホイヘンスの原理 （テキストp132）

波面 ：波の山または谷といった同じ位相を結んだ面

素源波：ある時刻の波面の上の各点が波源となり作る2次的な波

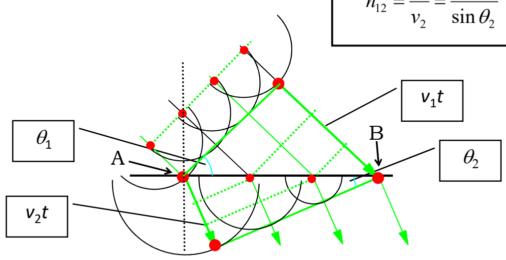
ホイヘンスの原理

各素源波の共通接平面（包絡面）が次の波面となる。
素源波自体は観測されず次の波面だけが見える。
（波の進行方向と波面は垂直）



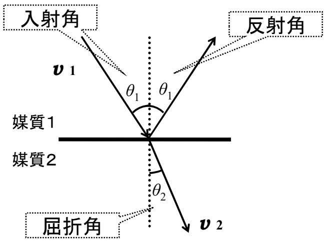
ホイヘンスの原理による屈折の説明

$$\sin\theta_1=(v_1t)/\overline{AB}$$
$$\sin\theta_2=(v_2t)/\overline{AB}$$
$$n_{12}=\frac{v_1}{v_2}=\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2}$$

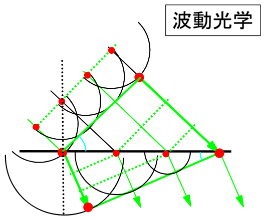


波長に比べて十分に大きいスケールを考える際には波の進路を幾何学的な線で扱うことが出来る。

可視光の波長は約400nm～700nm　なのでOK　➡　幾何光学



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



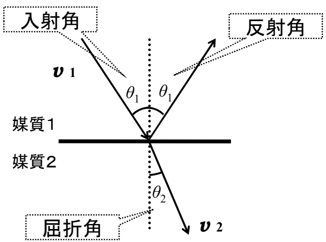
フェルマーの原理

1点から出て他の1点へ達する光が通る経路は、その2点を最短時間で進む経路である。

屈折率が位置に対して連続的に変化する場合に反射、屈折の法則を一般化。

フェルマーの原理

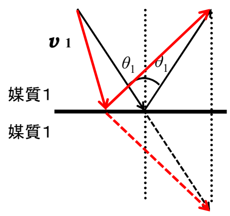
1点から出て他の1点へ達する光が通る経路は、その2点を最短時間で進む経路である。



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

フェルマーの原理

1点から出て他の1点へ達する光が通る経路は、その2点を最短時間で進む経路である。



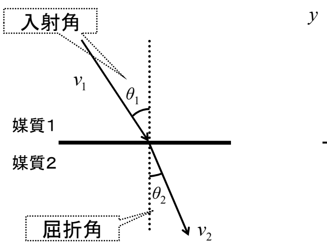
直線が最も距離が短い

⬇

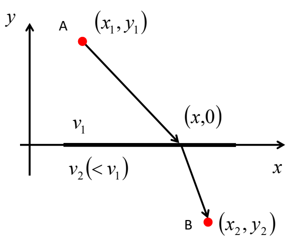
入射角＝反射角

フェルマーの原理

1点から出て他の1点へ達する光が通る経路は、その2点を最短時間で進む経路である。



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



フェルマーの原理

1点から出て他の1点へ達する光が通る経路は、その2点を最短時間で進む経路である。

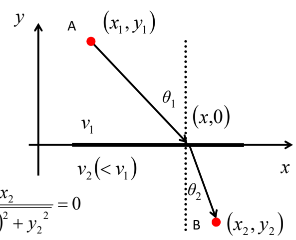
A点からB点に光が行くのに要する時間 t

$$t = \frac{\sqrt{(x_1 - x)^2 + y_1^2}}{v_1} + \frac{\sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2}}{v_2}$$

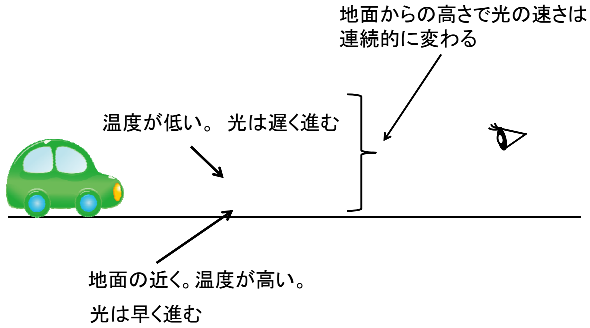
最短時間　➡　$\frac{dt}{dx} = 0$

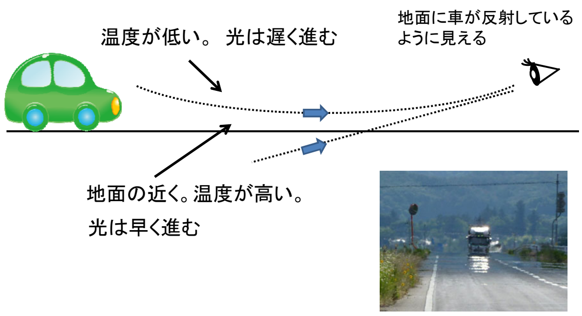
➡ $$\frac{1}{v_1}\frac{x - x_1}{\sqrt{(x_1 - x)^2 + y_1^2}} + \frac{1}{v_2}\frac{x - x_2}{\sqrt{(x_2 - x)^2 + y_2^2}} = 0$$

➡ $$\frac{\sin\theta_1}{v_1} - \frac{\sin\theta_2}{v_2} = 0$$ ➡ $$n_{12} \equiv \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$



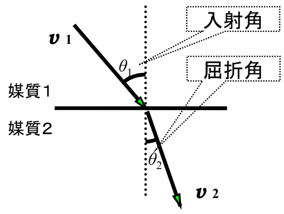
逃げ水





全反射

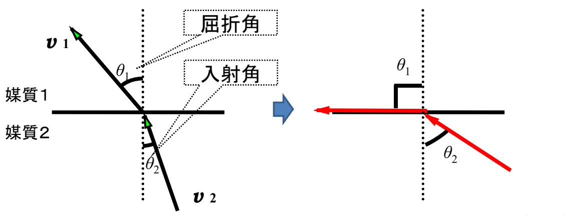
- (絶対)屈折率が大きい物質から小さい物質に入射
- 屈折角が90°を越えるような入射角(臨界角)で全反射が起きる。エネルギーの100%が反射される。



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

全反射

- (絶対)屈折率が大きい物質から小さい物質に入射
- 屈折角が90°を越えるような入射角(臨界角)で全反射が起きる。エネルギーの100%が反射される。



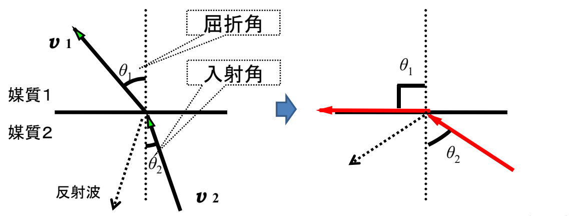
$$n_{12} \equiv \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

$$\boxed{n_{12} \equiv \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin\theta_2} = \frac{1}{\sin\theta_2}}$$

臨界角

全反射

- 屈折率が大きい物質から小さい物質に入射した時に、屈折角が90°を越えるような入射角(臨界角)で全反射が起きる。



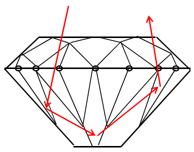
$$n_{12} \equiv \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

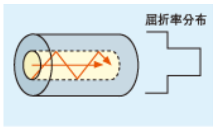
$$\boxed{n_{12} \equiv \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin\theta_2} = \frac{1}{\sin\theta_2}}$$

臨界角

全反射の利用

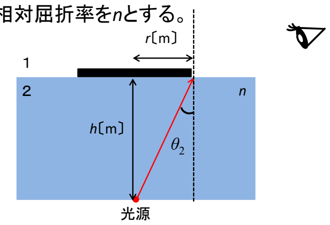
- 光ファイバー
  ガラスファイバーの中での全反射
- ダイアモンド
  屈折率が大きい＝2.4全反射が起こりやすい





問36

深さh〔m〕の池の底にある光源を、水面を円板で覆うことによって、
上方の空気中のどこからも見えないようにすることが出来る。
円板の最小の半径r〔m〕を求めよ。ただし、空気に対する
水の相対屈折率をnとする。

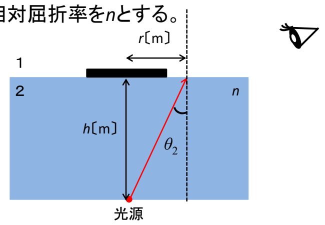


$$n_{12} \equiv \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin\theta_2} = \frac{1}{\sin\theta_2}$$

$$n_{12} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n}{1} = n$$

問36

深さh〔m〕の池の底にある光源を、水面を円板で覆うことによって、
上方の空気中のどこからも見えないようにすることが出来る。
円板の最小の半径r〔m〕を求めよ。ただし、空気に対する
水の相対屈折率をnとする。

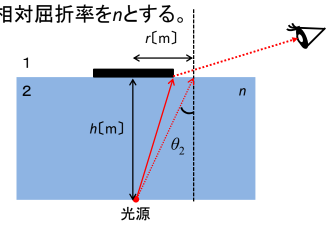


$$n_{12} \equiv \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin\theta_2} = \frac{1}{\sin\theta_2}$$

$$n_{12} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n}{1} = n$$

問36

深さh〔m〕の池の底にある光源を、水面を円板で覆うことによって、
上方の空気中のどこからも見えないようにすることが出来る。
円板の最小の半径r〔m〕を求めよ。ただし、空気に対する
水の相対屈折率をnとする。

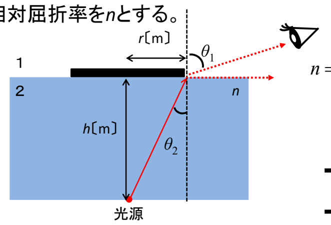


$$n_{12} \equiv \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin\theta_2} = \frac{1}{\sin\theta_2}$$

$$n_{12} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n}{1} = n$$

問36 ○ 6/19

深さh〔m〕の池の底にある光源を、水面を円板で覆うことによって、
上方の空気中のどこからも見えないようにすることが出来る。
円板の最小の半径r〔m〕を求めよ。ただし、空気に対する
水の相対屈折率をnとする。



$$n = \frac{1}{\sin\theta_2} = \frac{1}{\left(\frac{r}{\sqrt{h^2+r^2}}\right)}$$

$$\longrightarrow \quad r^2 n^2 = h^2 + r^2$$

$$\longrightarrow \quad r^2(n^2-1) = h^2$$

$$\longrightarrow \quad r = \frac{h}{\sqrt{n^2-1}}$$

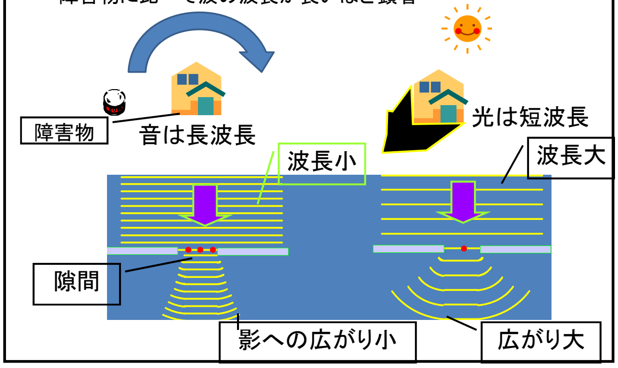
$$n_{12} \equiv \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{\sin 90^\circ}{\sin\theta_2} = \frac{1}{\sin\theta_2}$$

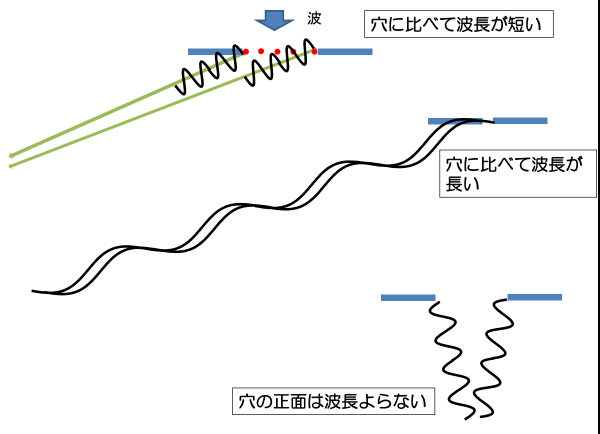
$$n_{12} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{n}{1} = n$$

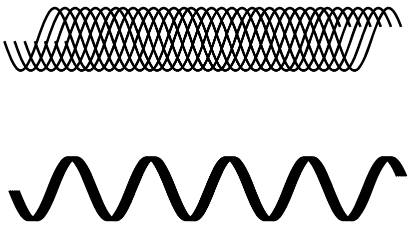
- 波が一般的に起こす現象
  - 干渉
  - 反射
  - 屈折
  - 回折
- ドップラー効果

波長の長い波は回折が大きい

- 回折：波が障害物の影になる部分にも入り込む
- 障害物に比べて波の波長が長いほど顕著







ドップラー効果

波源や観測者が運動 → 波源と異なる振動数の波が観測される

ここでは、音波を念頭において話を進める。

ちなみに、
振動数が大きいと高く聞こえる。
振動数が小さいと低く聞こえる。

音は媒質に対して一定の速度で進む

音源の振動数 f_S〔Hz〕は音源の運動にかかわらず一定

ドップラー効果

波源や観測者が運動 → 波源と異なる振動数の波が観測される

- 音源の移動によるドップラー効果
  - 音源が近づく　高く聞こえる　$f > f_S$
  - 音源が遠ざかる　低く聞こえる　$f < f_S$
- 受信者の運動によるドップラー効果
  - 音源に近づく　高く聞こえる　$f > f_S$
  - 音源から遠ざかる　低く聞こえる　$f < f_S$

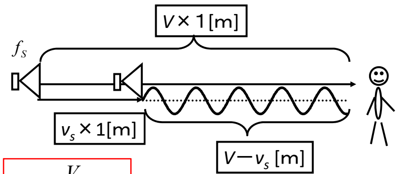
音は媒質に対して一定の速度で進む

音源の振動数 f_S〔Hz〕は音源の運動にかかわらず一定

音源が近づくと高い音に聞こえる

- 音源の振動数をf_S〔Hz〕, 音速をV〔m/s〕, 音源の移動の速さをv_s〔m/s〕とする。観測者の聴く音の振動数f〔Hz〕は？

1秒間に音源は、f_S×1個の音波を出して v_s×1m進み
音波は、V×1m 進む



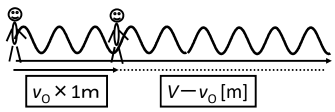
$$\lambda = \frac{V - v_s}{f_S}, \quad f = \frac{V}{\lambda}$$

$$\boxed{f = \frac{V}{V - v_S} f_S}$$

観測者が遠ざかると低い音に聞こえる

- 音源の振動数をf_S〔Hz〕，音速をV〔m/s〕，観測者の移動の速さをv_O〔m/s〕とする。観測者の聴く音の振動数f〔Hz〕は？

観測者の最初の位置を通過した音波は1秒間にV× 1m 進み、この間に観測者はv_O×1m進む。観測者が聞く波の数は$V-v_O$ [m]の間にある波の数に等しいので



$$f_S = \frac{V}{\lambda}$$

$$f = \frac{V-v_O}{\lambda} = \frac{V-v_O}{V} f_S$$

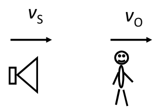
音源と観測者が動く場合

- 音源の振動数をf_S〔Hz〕，音速をV〔m/s〕，音源の移動の速さをv_S〔m/s〕，観測者の移動の速さをv_O〔m/s〕とすると，観測者の聴く音の振動数f〔Hz〕は？

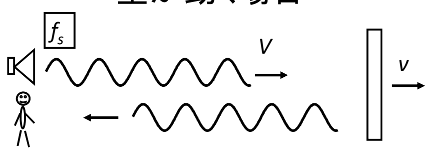
$$f' = \frac{V}{V-v_S} f_S$$ (音源が動いている)

$$f = \frac{V-v_O}{V} f'$$ (観測者が動いている)

$$f = \frac{V-v_O}{V-v_S} f_S$$



壁が動く場合



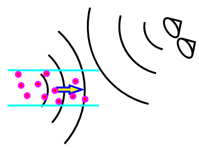
観測者（壁）が動いている　音源（壁）が動いている

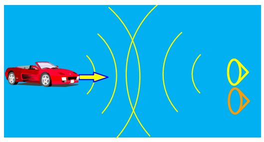
$$f' = \frac{V-v}{V} f_S \qquad f = \frac{V}{V+v} f'$$

$$f = \frac{V-v}{V+v} f_S$$

ドップラー効果の応用

- 超音波血流計
- スピードガン（電磁波）
- レーダー取り締まり器





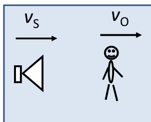
問36

救急車がサイレンを鳴らしながら一定の速さで走行している。
救急車が静止している人に向かい接近しているとき、
人に聞こえるサイレンの音の振動数は525Hzであった。
また、通り過ぎて人から遠ざかるとき、
人に聞こえるサイレンの音の振動数は475Hzであった。
音速を340m/sとすると、救急車の速さは（　17　）m/s
である。

$$525 = \frac{340}{340-v_S} f_S$$

$$475 = \frac{340}{340+v_S} f_S$$

$$\frac{525}{475} = \frac{340+v_S}{340-v_S} \Rightarrow v_S = 17\mathrm{m/s}$$



$$f = \frac{V-v_O}{V-v_S} f_S$$