

## ドップラー効果・レンズ

### 106. 波数

(1) 1波長あたりの波を波数1と数える。波数とは波の数であり、振動数とは1秒間あたりの波数である。また、波長とは1波長あたりの長さである。これを元に、以下の問い合わせよ。

① 波の長さ100m、波数10の波がやってきた。この波の波長はいくらか。

② 振動数40Hzの音を5秒間発した。この音の波数はいくらか

③ 振動数40Hzの音を10秒間聞いた。この音の波数はいくらか

(2) 波の速さ $v$ 、振動数 $f$ の波を $t$ 秒間発した。この波について以下の問い合わせよ。

① 波の長さはいくらか。 $v, t$ で答えよ。

② この波の波数はいくらか。 $f, t$ で答えよ。

③ この波の波長はいくらか。①、②の結果を用いて答えよ。

④ この波の周期はいくらか。②を利用して答えよ。

### 107. 音速

(1) 音速は温度によって変化するが、空気に対する速さである。音速を340m/sとして以下の問い合わせよ。

① 発信源が10m/sで右向きに動きながら、右方向に音を発した。この音の音速はいくらか。

② ①のとき、右方向に20m/sの風が吹いていた。音速はいくらか

③ ①のとき、左方向に20m/sの風が吹いていた。音速はいくらか

(2) 700Hzの音を10秒間発した。音速を350m/sとして以下の問い合わせよ。

① この音の長さは何mか

② この音の波数はいくらか

③ この音の波長はいくらか

④ この音の周期はいくらか(分数で答えてよい。)

(3)  $f[\text{Hz}]$ の音を $t$ 秒間発した。音速を $V[\text{m/s}]$ として以下の問い合わせよ。

① この音の長さは何mか

② この音の波数はいくらか

③ この音の波長はいくらか

④ この音の周期はいくらか(分数で答えてよい。)

### 108. 動いている物体から出る音

(1) 同じ発信源A,Bが30m/sで600Hzの音を10秒間発した。音速は300m/sである。発信源Aは静止した状態で10秒間音を出し、Bは30m/sで動きながら音を出している。時刻0においてA,Bは同じ位置Pから同時に音を出した。Aはそのままの位置で音を出し続け、Bは10秒後にQの位置まで移動していた。下の図は音を出し始めてから10秒後の状態を表している。これに関して以下の問い合わせよ。

#### 解説

(1) ① 波長は1波数あたりの距離なので、 $100 \div 10 = 10\text{m}$

② 振動数は1秒あたりの波数なので、 $40 \times 5 = 200$

③ 同じく  $40 \times 10 = 400$

(2) ① 速さ $v$ で $t$ 秒間発するので、長さは $vt$

②  $f$ は1秒間の波数なので、 $t$ 秒では $ft$

③ 波長は1波数あたりの長さであるから、 $\lambda = ① \div ② = \frac{vt}{ft} = \frac{v}{f}$

④ 周期とは1波数あたりの時間なので、 $T = t \div ② = \frac{t}{ft} = \frac{1}{f}$

#### 解説

(1) ① 音速は空気に対する速さなので、発信源が動いていても関係なく340m/s

② 音速は空気に対する速さなので、風が20m/sで吹いていた場合、その速さが追加される。 $340 + 20 = 360\text{m/s}$

③ ②と同じく  $340 - 20 = 320\text{m/s}$

(2) ① 350m/sで10秒間なので、 $350 \times 10 = 3500\text{m}$

② 1秒間の波数が700(700Hz)なので、10秒間では $700 \times 10 = 7000$

③ 波長は1波数あたりの距離なので、 $\frac{3500}{7000} = 0.5\text{m}$

④ 周期は1波数の時間なので、 $10 \div 7000 = \frac{1}{700}\text{秒}$

(3) ①  $Vt$  ②  $ft$  ③  $\lambda = \frac{Vt}{ft} = \frac{V}{f}$  ④  $T = \frac{t}{ft} = \frac{1}{f}$

#### 解説

(1) ① 600Hzで10秒間であるから、 $600 \times 10 = 6000$

② 300m/s ③ 300m/sで10秒間であるから、 $300 \times 10 = 3000\text{m}$

④ 波長は1波数あたりの長さであるから、 $3000 \div 6000 = 0.5\text{m}$

⑤ 発信源がとまっているので音を出した時間と聞いた時間は同じ よって、10秒

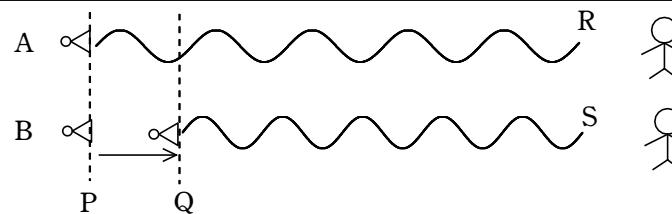
⑥ 発信源も人も止まっているので同じ振動数 600Hz

⑦ 600Hzで10秒間発したので $600 \times 10 = 6000$

⑧ 発信源が動いていても音速は同じ 300m/s

⑨ 音の先端はP点を出発し10秒間動いてSに達しているので $300 \times 10 = 3000\text{m}$

## ドップラー効果・レンズ



・発信源Aについて

- ① Aが発した音の波数はいくらか
- ② Aが発した音の速さはいくらか
- ③ 距離AR（音の長さ）はいくらか
- ④ この音の波長はいくらか
- ⑤ 静止している人が、この音を聞く時間は何秒か
- ⑥ 静止している人が聞くこの音の振動数はいくらか

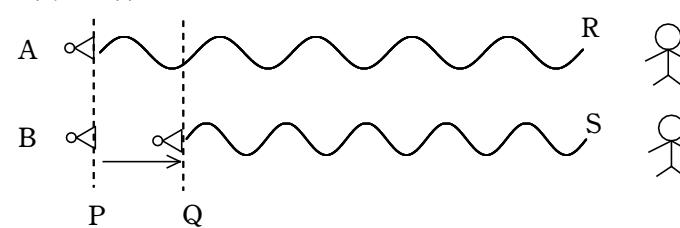
・発信源Bについて

- ⑦ Bが発した音の波数はいくらか
- ⑧ Bの発した音の速さはいくらか
- ⑨ 距離PSはいくらか
- ⑩ この発信源が20m/sで10秒間音を発する間に動いた距離PQはいくらか
- ⑪ この発信源が20m/sで動きながら音を出したとき、この音の長さQSはいくらか
- ⑫ この音の波長はいくらか
- ⑬ 静止している人がこの音の聞く時間は何秒か
- ⑭ この人が聞く音の振動数はいくらか

・両方を比較して

- ⑮ AとBの音はどちらが長いか
- ⑯ AとBの波数はどう違うか
- ⑰ AとBの波長はどちらが長いか
- ⑱ AとBの振動数はどちらが高いか

(2) 同じ発信源ABが $f_0$ Hzの音を $t$ 秒間発した。音速は $V$ m/sである。発信源Aは静止した状態で $t$ 秒間音を出し、Bは $um/s$ で動きながら音を出している。時刻0においてA,Bは同じ位置Pから同時に音を出した。Aはそのままの位置で音を出し続け、Bは $t$ 秒後にQの位置まで移動していた。下の図は音を出し始めてから $t$ 秒後の状態を表している。これに関して以下の問い合わせよ。



・発信源Aについて

⑩ 30m/sで10秒間動いているので、 $30 \times 10 = 300$ m  
⑪ この音は元来3000mの長さがあるはずであるが、発信源が300m動いているので、300m縮んでいる。よって、 $3000 - 300 = 2700$ m

⑫ 2700mで波数6000があるので、波長は $2700 \div 6000 = 0.45$ m

⑬ 音の長さが2700mで音速が300m/sであるから、 $2700 \div 300 = 9$ 秒

⑭ 振動数は1秒あたりの波数なので、 $6000 \div 9 = 667$ Hz

⑮ Aが長い ⑯ 同じ ⑰ Aが長い ⑱ Bが高い

$$(2) \quad ① f_0t \quad ② V \quad ③ Vt \quad ④ \lambda = \frac{Vt}{f_0t} = \frac{V}{f_0} \quad ⑤ t \quad ⑥ f_0$$

$$⑦ f_0t \quad ⑧ V \quad ⑨ Vt \quad ⑩ ut \quad ⑪ (V-u)t \quad ⑫ \lambda = \frac{(V-u)t}{f_0t} = \frac{V-u}{f_0}$$

$$⑬ t' = \frac{(V-u)t}{V} \quad ⑭ \frac{f_0t}{t'} = \frac{f_0t}{(V-u)t} = \frac{V}{V-u} f_0$$

(3) ① 距離PSはPの位置で発した音が10秒間で移動する距離なので、 $330 \times 10 = 3300$ m

② 発信源Bは速さ30m/sで10秒間後ろに下がっているので、300m

③ 音の長さは $3300 + 300 = 3600$ m

④ 600Hzで10秒間発しているので波数は6000。

$$\text{波長は } \frac{3600}{6000} = 0.6\text{m}$$

$$⑤ \text{振動数 } f \text{ は } f = \frac{v}{\lambda} = \frac{330}{0.6} = 550\text{Hz}$$

(4) ① 音速が300m/sで発信源Bが30m/sで同じ方向に動いているので、 $300 - 30 = 270$ m/s

② 相対速度270m/sで10秒間音を出したので、 $270 \times 10 = 2700$ m

③ 波数は $600\text{Hz} \times 10\text{秒} = 6000$ なので、波長は $\frac{2700}{6000} = 0.45$ m

$$④ \text{振動数は } f = \frac{v}{\lambda} = \frac{300}{0.45} = 667\text{Hz}$$

(5) ① 音の先端は速さVで時間Tだけ移動しているので、 $VT$

② 1周期分だけ動いているので  $T$

③ 速さuで時間Tだけ動いているので  $uT$

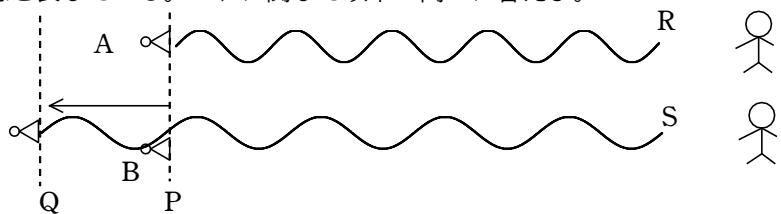
$$④ VT - uT \quad ⑤ \text{公式より } f_0 = \frac{1}{T}$$

$$⑥ f = \frac{V}{\lambda'} = \frac{V}{VT - uT} = \frac{V}{V-u} \frac{1}{T} = \frac{V}{V-u} f_0$$

## ドップラー効果・レンズ

- ① Aが発した音の波数はいくらか
- ② Aが発した音の速さはいくらか
- ③ 距離AR（音の長さ）はいくらか
- ④ この音の波長はいくらか
- ⑤ 静止している人が、この音を聞く時間は何秒か
- ⑥ 静止している人が聞くこの音の振動数はいくらか
- ・ 発信源Bについて
- ⑦ Bが発した音の波数はいくらか
- ⑧ Bの発した音の速さはいくらか
- ⑨ 距離PSはいくらか
- ⑩ この発信源が $\mu\text{m}/\text{s}$ で $t$ 秒間音を発する間に動いた距離PQはいくらか
- ⑪ この発信源が $\mu\text{m}/\text{s}$ で動きながら音を出したとき、この音の長さQSはいくらか
- ⑫ この音の波長はいくらか
- ⑬ 静止している人がこの音の聞く時間は何秒か
- ⑭ この人が聞く音の振動数はいくらか

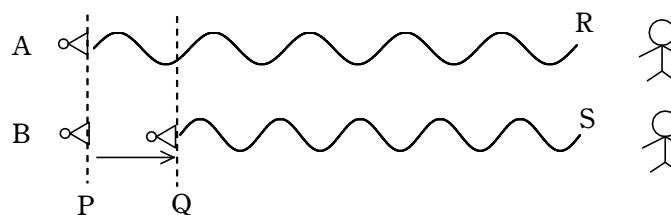
(3) (1)と同じ発信源ABが30m/sで600Hzの音を10秒間発した。音速は330m/sである。  
発信源Aは静止した状態で10秒間音を出し、Bは30m/sで右に動きながら音を出している。  
時刻0においてA,Bは同じ位置Pから同時に音を出した。Aはそのままの位置で音  
を出し続け、Bは10秒後にQの位置まで移動していた。下の図は音を出し始めてから10  
秒後の状態を表している。これに関する以下の問い合わせよ。



- ① 距離PSはいくらか
- ② 距離PQはいくらか
- ③ 距離QSはいくらか
- ④ Bの発した音の波長はいくらか
- ⑤ Bの発した音の振動数はいくらか

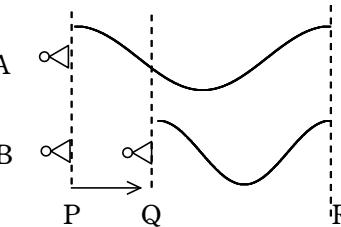
(4) (1) 同じ発信源ABが30m/sで600Hzの音を10秒間発した。音速は300m/sである。  
発信 源Aは静止した状態で10秒間音を出し、Bは30m/sで動きながら音を出している。  
時刻 0においてA,Bは同じ位置Pから同時に音を出した。Aはそのままの位置で音を出  
し続 け、Bは10秒後にQの位置まで移動していた。下の図は音を出し始めてから10秒後  
の状 態を表している。これに関する以下の問い合わせよ。

## ドップラー効果・レンズ



- ① 発信源Bから見た音の相対速度の大きさはいくらか
- ② 発信源Bが10秒間音を発したとき、音の長さはいくらか
- ③ 発信源Bの出した音の波長はいくらか
- ④ 波震源Bの出した音の振動数はいくらか

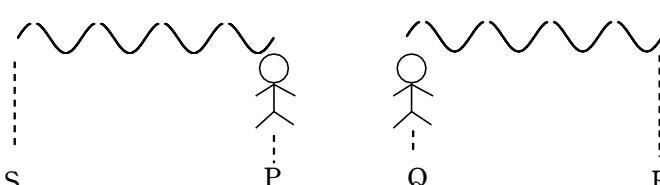
(5) 振動数 $f_0$ の発信源A、Bがある。Aは静止状態で音を発しBは速さ $u$ で動きながら音を出している。ABは同じ位置Pから音を発し、右図は出している音を1波長分だけ描いたものである。Qは1波長分だけ音を出した瞬間のBの位置を示している。音速を $V$ 、周期を $T$ として以下の問い合わせよ。



- ① 距離PRはいくらか。 $V, T$ を用いて表せ。
- ② BがPからQへ移動する時間はいくらか $T$ を用いて表せ。
- ③ PQの距離はいくらか $u, T$ で表せ。
- ④ Bの発した音の波長はいくらか。 $V, u, T$ で表せ。
- ⑤  $f_0$ を $T$ で表せ。
- ⑥ Bの音を聞く人の振動数 $f$ を $V, u, f_0$ で表せ。

### 109. 動いている人が音を聞く場合

(1) 発信源が600Hzの音を10秒間発した。音速は360m/sである。この音を60m/sで音と同じ方向に動いている人が聞いた。下図のPの位置で音を聞き始め、この人は音を聞きたながらQの位置まで達したときに音が鳴り止んだ。下図は聞きはじめと聞き終わりの人位置と音の状態を表している。Rは人が聞き終わったときの音の先端の位置である。これについて以下の問い合わせよ。



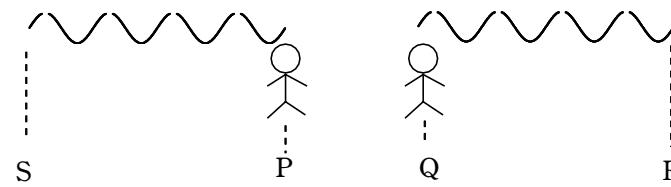
- ① この音の波数はいくらか
- ② 音の長さ( $SP=QR$ )はいくらか
- この人がPにいる瞬間の1秒後
- ③ この人はPより何m右にいるか

### 解説

- (1) ① 振動数は1秒あたりの波数であるから $600 \times 10 = 6000$   
②  $360\text{m}/\text{s}$ で10秒間動くので、 $360 \times 10 = 3600\text{m}$   
③ この人は $60\text{m}/\text{s}$ で動くので1秒後は $60\text{m}$   
④ 音は $360\text{m}/\text{s}$ なので、 $360\text{m}$   
⑤  $360\text{m} - 60\text{m} = 300\text{m}$   
⑥  $QR = \text{音の長さ} - \text{人との距離} = 360\text{m} - 300\text{m} = 60\text{m}$   
⑦ ⑤より1秒間に $300\text{m}$ 差がつくるので、 $3600\text{m}$ 差がつくるのに $12\text{秒}$ かかる  
⑧ ⑦と同じ時間聞いている。 $12\text{秒}$   
⑨ 振動数は1秒間の波数なので、 $\frac{6000}{12} = 500\text{Hz}$
- (2) ①  $f_0 t$  ②  $Vt$  ③  $vt'$  ④  $Vt'$  ⑤  $PR = QR + PQ$   
⑥  $Vt' = Vt + vt'$  これを解くと、 $t' = \frac{Vt}{V-v}$   
⑦ 振動数は1秒間あたりの波数なので、 $f = \frac{f_0 t}{t'} = \frac{V-v}{V} f_0$

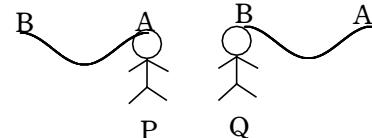
## ドップラー効果・レンズ

- ④ 音の先端はPより何m右にあるか  
 ⑤ この1秒間に人と音の先端の距離はいくらになったか  
 . Qの位置に達した瞬間にについて  
 ⑥ 人と音の先端との距離はいくらか  
 ⑦ 人がQに達するのはPにいた何秒後か  
 ⑧ この人がこの音を聞いたのは何秒間か  
 ⑨ この人が聞いた音の振動数はいくらか  
 (2) 発信源が $f_0$ Hzの音を $t$ 秒間発した。音速はVm/sである。この音を $v$ m/sで音と同じ方向に動いている人が聞いた。下図のPの位置で音を聞き始め、この人は音を聞きながらQの位置まで達したときに音が鳴り止んだ。下図は聞きはじめと聞き終わりの人の位置と音の状態を表している。Rは人が聞き終わったときの音の先端の位置である。これについて以下の問いに答えよ。



- ① この音の波数はいくらか。 $f_0, t$ で表せ。  
 ② 音の長さ (SP=QR) はいくらか。 $V, t$ で表せ。  
 . この人が $t'$ 秒間音を聞いたとする  
 ③ 距離PQはいくらか。 $v, t'$ で表せ。  
 ④ 距離PRはいくらか。 $V, t'$ で表せ。  
 ⑤ PR、PQ、QRの距離の間にどのような関係が成り立つか  
 ⑥ ⑤を用いて $t'$ を $V, u, t$ で表せ。  
 ⑦ この人の聞いた音の振動数を求めよ。

- (3) 右図は速さ $v$ で動いている人が振動数 $f_0$ の音を聞くときのようすを示したものである。Pは音の山Aが届いた瞬間を示しており、Qはその次の山Bが到達した瞬間を示している。音速を $V$ として、以下の問いに答えよ。



- ① 静止している人がこの音を聞くときの周期はいくらか。 $f_0$ で表せ。  
 ② この音の波長はいくらか。 $V, f_0$ で表せ。  
 ③ この人から見た音の相対速度はいくらか。 $V, v$ で表せ。  
 ④ この人がPからQに達する時間はいくらか。 $V, v, f_0$ で表せ。  
 ⑤ この人が聞く音の周期はいくらか。 $V, v, f_0$ で表せ。  
 ⑥ この人が聞く音の振動数はいくらか。 $V, v, f_0$ で表せ。

$$(3) \quad ① \text{ 公式より } T = \frac{1}{f_0} \quad ② \text{ 公式より } \lambda = \frac{V}{f_0} \quad ③ \text{ } V - v$$

④ 1秒間に $V - v$ の差が生じ、差が波長分に等しくなったらQの位置になる。

$$\text{よって, } T' = \frac{\lambda}{V - v} = \frac{V}{(V - v)f_0}$$

$$⑤ \quad ④ \text{と同じく } \frac{V}{(V - v)f_0}$$

$$⑥ \quad f = \frac{1}{T'} = \frac{V - v}{V} f_0$$

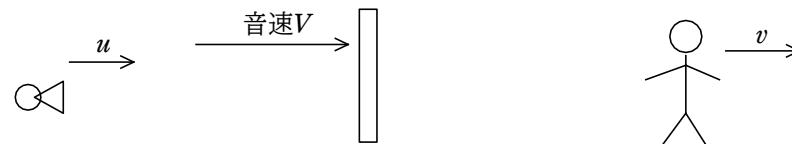
## ドップラー効果・レンズ

### 110. 発信源・聞く人ともに動く場合のドップラー効果

(1) 音速を $V$ 、発信源の振動数 $f_0$ 、発信源の速度 $u$ をとして静止している人が聞く音の振動数 $f$ は $f = \frac{V}{V-u}f_0$ で表わされ、この発信源が静止しているとき、速度 $v$ で動いている人が聞く振動数 $f'$ は $f' = \frac{V-v}{V}f_0$ で表わされるものとする。

発信源が速度 $u$ で動き、聞く人が速度 $v$ で動いている場合を考えることにする。

発信源と聞く人の間に壁があり、この壁は聞いた音と同じ音を発するとする。これについて以下の問い合わせよ。



- ① この壁のところにいる人が聞く振動数を $f''$ とするとき、 $f''$ を $V, u, f_0$ で表わせ。
- ② 壁が $f''$ の振動数の音を発する時、速さ $v$ で動いている人が聞く振動数 $f'$ を $V, u, f''$ で表わせ。
- ③ ①②より $f'$ を $V, u, f_0$ で表わせ。

(2) 音の速さを $V$ 、救急車の振動数 $f_0$ 、救急車の速さ $u$ をとして速さ $v$ で動いている乗用車に乗っている人が聞く音の振動数 $f$ について右向きを正として以下の問い合わせよ。

- ・ 救急車が乗用車の後ろから追い抜く前



- ① 乗用車が救急車の追い越される前、この人が聞く音の速度を符号付で答えよ。
- ② 救急車と乗用車の速度を符号付で答えよ。
- ③ この人が聞く音の振動数 $f_1$ を $V, u, v, f_0$ で答えよ。
- ・ 救急車が乗用車を追い越した後。
- ④ この人が聞く音の速度を符号付で答えよ。
- ⑤ この人が聞く音の振動数 $f_2$ を $V, u, v, f_0$ で答えよ。
- ・ 救急車と乗用車がすれ違う場合（すれ違う前）



- ⑥ すれ違う前この人が聞く音の速度を符号付で答えよ。
- ⑦ 救急車の速度、乗用車の速度を符号付で答えよ。
- ⑧ この人が聞く音の振動数 $f_3$ を $V, u, v, f_0$ で答えよ。
- ・ すれ違った後。
- ⑨ この人が聞く音の速度を符号付で答えよ。

### 解説

$$(1) \quad ① \quad f'' = \frac{V}{V-u}f_0 \quad ② \quad f' = \frac{V-v}{V}f''$$

$$③ \quad ①② \text{より } f'' \text{を消去すると } f' = \frac{V-v}{V-u}f_0$$

$$(2) \quad ① \quad \text{右向きなので } +V \quad ② \quad \text{救急車 } +u \quad \text{乗用車 } +v \quad ③ \quad f_1 = \frac{V-v}{V-u}f_0$$

$$④ \quad \text{音は救急車から乗用車のほうに進むので } -V \quad ⑤ \quad f_2 = \frac{-V-v}{-V-u}f_0 = \frac{V+v}{V+u}f_0$$

$$⑥ \quad +V \quad ⑦ \quad \text{救急車 } +u \quad \text{乗用車 } -v \quad ⑧ \quad f_3 = \frac{V-(-v)}{V-u}f_0 = \frac{V+v}{V-u}f_0$$

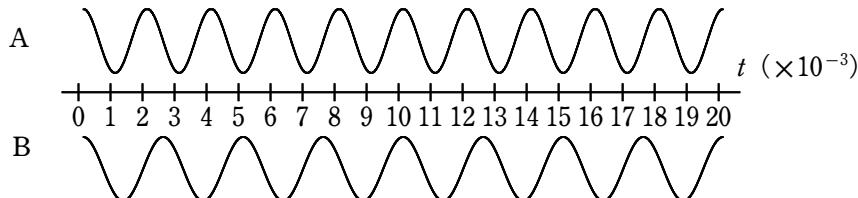
$$⑨ \quad -V \quad ⑩ \quad f_3 = \frac{-V-(-v)}{-V-u}f_0 = \frac{V-v}{V+u}f_0$$

## ドップラー効果・レンズ

⑩ この人が聞く音の振動数 $f_4$ を $V, u, v, f_0$ で答えよ。

111. うなり

- (1) 下の図は音さAと音さBの各時間ごとの変位を表わしたものである。目盛りの数値はある時刻を0とし、 $\frac{1}{1000}$ 秒間隔でとったものである。これについて以下の問い合わせに答えよ。



- ① 音さA0.02秒間の波数はいくらか。
- ② 音さAの振動数はいくらか。
- ③ 音さB0.02秒間の波数はいくらか
- ④ 音さBの振動数はいくらか
- ⑤ 音さAと音さBが0~0.02秒の間で最も強め合っている時刻を答えよ。
- ⑥ 音さAと音さBが0~0.02秒の間で最も弱めあっている時刻を答えよ。
- ⑦ 強め合っている時刻は何秒間隔で来ているか
- ⑧ 弱めあっている時刻は何秒間隔で来ているか
- ⑨ 二つの音さの出す音は1秒間に何回強め合っているか。
- ⑩ この二つの音さのうなりは毎秒何回か
- ⑪ 強め合っている時間間隔の間の波数の差はいくらか
- ⑫ 波数差1で何回うなるといえるか

(2) 音さAが $f_A$ Hz、音さBが $f_B$ Hz ( $f_A > f_B$ ) であるとする。この音さを同時に鳴らしたときのうなりについて以下の問い合わせに答えよ。

- ① 音さAの1秒間の波数はいくらか
- ② 音さBの1秒間の波数はいくらか
- ③ 波数差1でうなりが1回である。音さAと音さBを同時に鳴らしたとき、毎秒何回のうなりが生じるか

112. 斜め方向のドップラー効果

- (1) ドップラー効果は発信源と聞く人の間の距離が変わることによって起こる現象である。発信源（黒点）が振動数 $f_0$ 、速さ $u$ で様々な方向に移動している。右側に聞く人が静止している場合、以下の問い合わせに答えよ。ただし音速を $V$ とする。



- ① 図Aの場合この人が聞く音の振動数は

解説

- (1) ① 山から次の山までが波数1である。図の目盛りは0.02秒間である。  
図のAの波数は10  
② 0.02秒間で波数が10なので、 $\frac{10}{0.02} = 500\text{Hz}$   
③ ①と同様にして波数8  
④ ②と同様にして $\frac{8}{0.02} = 400\text{Hz}$   
⑤ 山と山が重なっているところが強め合っているところである。0、0.01、0.02秒  
⑥ 山と谷が重なったところが弱めあっているところである。0.005、0.015秒  
⑦ 0.01秒間隔 ⑧ 0.01秒間隔  
⑨ 0.01秒間隔で強め合っているので、1秒間に100回強め合っていることになる。  
よって、100回  
⑩ ⑨が1秒間のうなりである。よって 100Hz  
⑪ 強め合っている間隔が0.01秒であり、Aは0.01秒の波数が5、Bは4であり、  
波数差は1となる。  
⑫ 波数差1で1回うなるといえる。
- (2) ①  $f_A$  ②  $f_B$   
③ 波数差は1秒間に $f_A - f_B$ なので、うなりは1秒間に $f_A - f_B$   
振動数の差がうなりの回数である。

解説

- (1) ① 公式より  $f = \frac{V}{V-u} f_0$   
② 距離に変化がないのでドップラー効果は起こらない。発信源は静止していると考える。 $f = f_0$   
③  $u \cos \theta$  ④  $u \sin \theta$   
⑤ 距離が変わるので、ドップラー効果は視線方向の速度で起こる。

$$f = \frac{V}{V-u \cos \theta} f_0$$

- (2) ①  $OP=OH$ 、 $\angle HOP=60^\circ$ なので、 $\triangle OPH$ は正三角形である。速度 $u$ は正三角形

## ドップラー効果・レンズ

いくらか

- ② 図Bの場合、この人が聞く音の振動数はいくらか

- ③ 図Cで音源の速度の視線方向（音源から人の方向）の速度成分を求めよ。

- ④ 図Cで視線方向と直角方向成分を求めよ。

- ⑤ 図Cの場合この人が聞く音の振動数はいくらか

- (2) 静止している音源Oが $f$ Hzの音を発している。

音を反射する壁XYに沿って観測者Pが速さ $u$ で右図のように動いている。OH $\perp$ XYで、Pは現在 $\angle HOP = 60^\circ$ 、OH=OPの位置にいる。

Pにいる人はOからPと直接届いた音と、Oから出てQで反射してからPに届いた音との間でうなりが生じた。このことに関して以下の問い合わせよ。

- ① 速度 $u$ と線分OPの間の角度はいくらか

- ② 速度 $u$ の視線（OP）方向成分はいくらか

- ③ PがOから聞く音の振動数 $f_1$ はいくらか

・ 反射波は対称点から音がでていると考えるとよい。XYを軸とするOの対称点をAとすると、Oから反射点Qを経てPに届く音はAから出たと考えても良い。

- ④ APと速度 $u$ とのなす角度はいくらか

- ⑤ 速度 $u$ の視線方向（AP）成分はいくらか

- ⑥ OからQで反射してPに届く音の振動数 $f_2$ はいくらか

- ⑦  $f_1$ と $f$ と $f_2$ の大小関係を答えよ。

- ⑧ この人が聞く音のうなりを答えよ。

### 113. 動く壁に反射する場合

- (1) 図のように音さUと左方向に速さ $u$

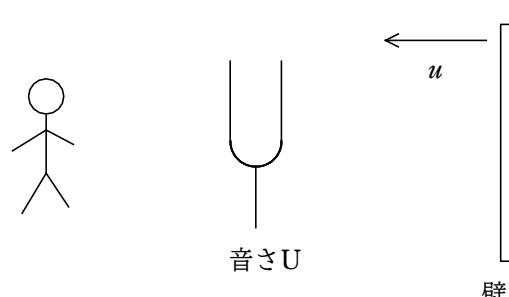
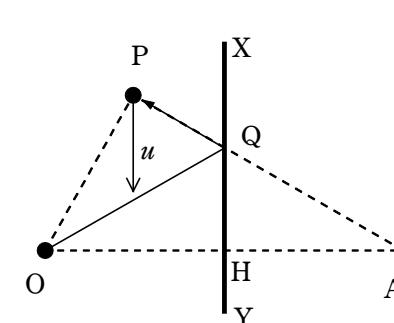
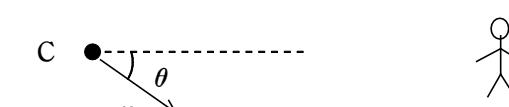
で動いている音を反射する壁

があり、音さの後方に静止している人がいる。この人は音さから

直接届いた音と、壁に反射して届いた音との間でうなりが生じる。

音速を $V$ 、音さの振動数を $f$ として、以下の問い合わせよ。

- ① この人が音さから直接届く音の振動数はいくらか



の二等分線になっているので $30^\circ$ となる。

$$② u \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} u$$

$$③ \text{公式より (OP方向を正とする)} f_1 = \frac{V + \frac{\sqrt{3}}{2} u}{V} f$$

④ OH=AHなので、OP:OA=1:2で $\angle HOP = 60^\circ$ なので、 $\angle HAP = 30^\circ$ 、 $\angle OPA = 90^\circ$ となるので、速度 $u$ とAPのなす角は $60^\circ$

$$⑤ u \cos 60^\circ = \frac{1}{2} u$$

$$⑥ \text{公式より (AP方向を正とする)} f_2 = \frac{V + \frac{1}{2} u}{V} f$$

⑦ ③⑥を比較して  $f_1 > f_2 > f$

⑧ うなりは振動数の差なので

$$f_1 - f_2 = \frac{V + \frac{\sqrt{3}}{2} u}{V} f - \frac{V + \frac{1}{2} u}{V} f = \frac{(\sqrt{3} - 1) u f}{2V}$$

### 解説

- (1) ① 音さ人ともに静止しているのでドップラー効果は起こっていない。  $f$

- ② 右向きを正とすると、音は $+V$ 、壁は $-u$ なので、

$$f_1 = \frac{V - (-u)}{V} f = \frac{V + u}{V} f$$

- ③ ②と同じ、 $f_1 = \frac{V + u}{V} f$

- ④ 右向きを正として、音は $-V$ 、発信源（壁）は $-u$ なので

$$f' = \frac{-V}{-V - (-u)} f_1 = \frac{V}{V - u} f_1 = \frac{V}{V - u} \cdot \frac{V + u}{V} f = \frac{V + u}{V - u} f$$

- ⑤  $f' > f$ なので、うなりは

## ドップラー効果・レンズ

- 壁に音が反射する時のドップラー効果は壁が聞いた音と同じ振動数の音を発すると考えればよい。

- この壁と一緒に動いている人が聞く振動数はいくらか
- この壁はいくらの振動数の音を出していると考えればよいか
- この人は壁に反射してくる音をいくらの振動数で聞くか
- この人が聞くうなりはいくらか

$$f' - f = \frac{V+u}{V-u} f - f = \frac{2u}{V-u} f$$