



6. 音波

【a】音波の要素 (教科書 P.138 ~ 141,146、問題集 P.50 ~ 51)


「音」は空気中を伝わる縦波である。一般に物質中を伝わる縦波を音波という。

音波の振幅  振幅大 強い音
 振幅小 弱い音

音波の振動数  振動数大 高い音
 振動数小 低い音

人間の可聴範囲 Hz ~ Hz 基準音イ[・] = a¹
 (NHKの時報の予告音) Hz

振動数比が 1 : 2 の関係を という。

音波の波形  波形は倍音の混合比で決まる

音波の速さ(乾燥空気中) $v =$ m/s t は摂氏温度 []

音波(縦波)の正弦波を純音という。純音は音叉の音のような清んだ単調な音である。一般の音波は振動数の異なる純音を混合したものとみることができ、楽音では、それらの振動数は互いに整数比をなす。そのうち最も振動数の低い純音を といい、その整数倍の振動数の純音を という。音の高さは基本音の振動数で決まる。

130.81	
146.83	138.59
164.81	155.56
174.61	
196.00	185.00
220.00	207.65
246.94	233.08
261.63	
293.66	277.18
329.63	311.13
349.23	
392.00	369.99
440.00	415.30
493.88	466.16
523.25	
587.33	554.37
659.26	622.25
698.46	
783.99	739.99
880.00	830.61
987.77	932.33

【問】15 の乾燥空気中での音速を求めよ。

【問】稲光がしてから5秒後に雷鳴がとどろいた。雷雲までの距離を求めよ。

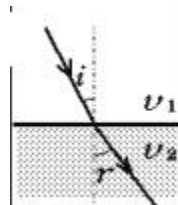
【問】音速が 340m/s のとき、人間の可聴音の波長の範囲はどれほどか。波の基本式により求めよ。

【問】3オクターブはなれた2音の振動数は何倍異なるか。

音の屈折

音波も音速の異なる媒質の境界で屈折の法則に従って屈折する。

屈折の法則 入射角 i 、媒質 1 での音速 v_1
 屈折角 r 、媒質 2 での音速 v_2



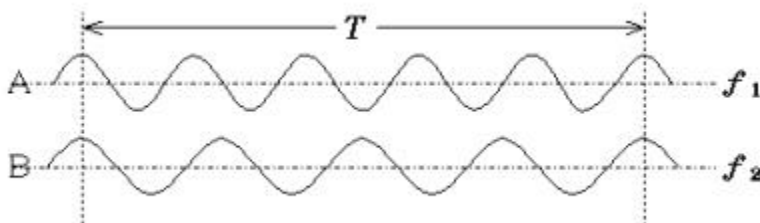
【問】空気中での音速が $3.4 \times 10^3 \text{m/s}$ 、水中での音速が $1.5 \times 10^3 \text{m/s}$ であるとき、空気中から水面に入射する音波の相対屈折率はいくらか。屈折角が 90° になるような入射角（臨界角）を求めよ。

うなり

振動数がわずかに違う音を同時に鳴らすとうなりが聞こえる。うなりは、二つの音の時間的な干渉と言ってもよい。楽器のチューニングなどで利用される。

【作業 1】

右の図の二つの振動が重なるとき最も強く聞こえる時刻に印、最も弱く聞こえる時刻に \times 印をつけよ。



A、B それぞれの音の振動数を f_1 、 f_2 、うなりが 1 回起こる時間を T とする。

考察

時間 T の間に、A は何回振動するか。

時間 T の間に、B は何回振動するか。

時間 T の間（1 回のうなりの間）に、振動は何回分ずれるか。上図を参考に考えよ。

～ の関係を式に表す

T でくくって整理

1 秒間のうなりの回数
 （振動数の差になる）

 $f =$

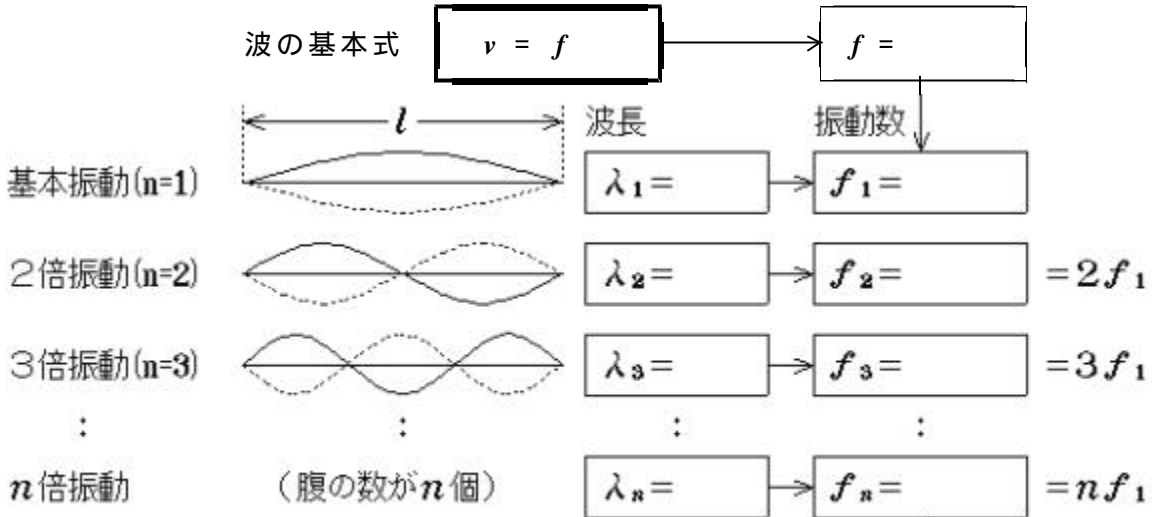
$$f = \frac{1}{T}$$

振動数
と
周期
の関係

弦の固有振動 : 弦に定常波をつくる振動

弦に生じる定常波の条件 : 両端は 端だから になる。

長さ l の弦に定常波を生じる振動数 f (音の高さ) を求める。



弦を伝わる波の速さ

弦の線密度 (1 [m] あたりの質量) : [kg/m] } のとき

弦の張力 (必ず [N] 単位で) : S [N]

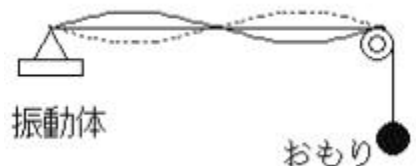
代入して使う

$v =$ [m/s]

【問】弦を伝わる波の速さを 2 倍にするには、張力を何倍にすればよいか。

【問】質量 1.0kg のおもりをつるした線密度 2.0g/m の糸を伝わる波の速さは何 m/s か。

【問】図の装置で振動体の振動数が 100 [Hz] のとき腹二つの定常波ができた。この弦の基本振動数はいくらか。腹を一つにするにはおもりの質量を何倍にすればよいか。



気柱の固有振動 : 管内の空気(気柱)に音波の定常波を作る振動

気柱に生じる定常波の条件 :	開端は	端	定常波の
	閉端は	端	定常波の

開管の固有振動 : 両端が開端 両端に定常波の腹ができる

音速を v (≈ 340 [m/s]) とし、波の基本式より $f = \frac{v}{\lambda}$

	l	波長	振動数	
基本振動($n=1$)		$\lambda_1 =$	$f_1 =$	基本振動数
2倍振動($n=2$)		$\lambda_2 =$	$f_2 =$	$= 2f_1$
3倍振動($n=3$)		$\lambda_3 =$	$f_3 =$	$= 3f_1$
:	:	:	:	
n 倍振動	(節の数が n 個)	$\lambda_n =$	$f_n =$	$= nf_1$

閉管の固有振動 : 開端に腹、閉端に節をもつ定常波ができる

音速を v (≈ 340 [m/s]) とし、波の基本式より $f = \frac{v}{\lambda}$

	l	波長	振動数	
基本振動($n=1$)		$\lambda_1 =$	$f_1 =$	基本振動数
3倍振動($n=3$)		$\lambda_3 =$	$f_3 =$	$= 3f_1$
5倍振動($n=5$)		$\lambda_5 =$	$f_5 =$	$= 5f_1$
:	:	:	:	
n 倍振動	(ただし n は奇数)	$\lambda_n =$	$f_n =$	$= nf_1$

【問】長さの決まった開管の一端をふさいだときと、開いたときとでは、どちらが低い音を出せるか。

【問】管楽器は気温が変わるとチューニングがずれる。気温が上がると音はどうか。

《c》ドップラー効果 (教科書 P.147 ~ 149、問題集 P.56 ~ 57)

音源や観測者の運動によって、音源の振動数と異なる振動数の音が観測者に聞こえる現象をドップラー効果という。

	振動数 [Hz]	速度 [m/s]
音源 source	f_s	u_s
観測者 observer	f_o	u_o

以下で使用する記号

音速 : v ($= 340\text{m/s}$)

(1) 音源だけが動く場合 ($u_o = 0$)

観測者の受け取る音波の波長が変化する

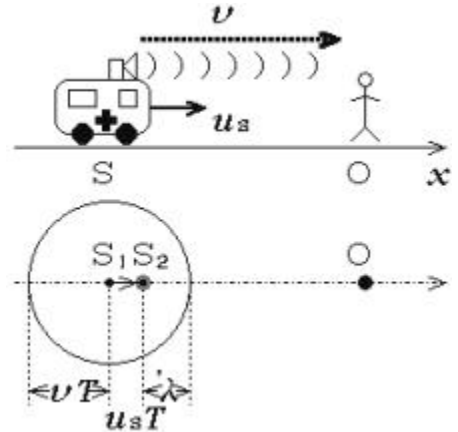
' =

波の基本式より

$f =$

$f_o =$

代入し $1 / T = f_s$ により整理する。



音源が観測者に近づくとき く、遠ざかるとき く聞こえる。

(2) 観測者だけが動く場合 ($u_s = 0$)

観測者にとっては音速が変化する

音波の相対速度

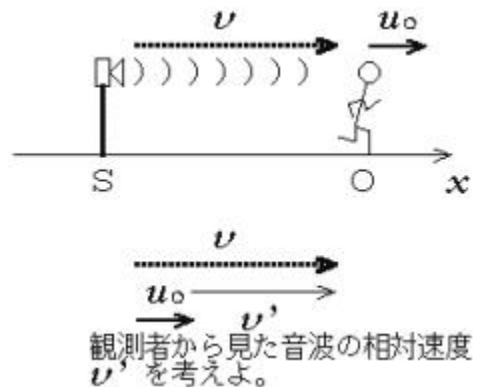
$v' =$

波の基本式より

$f =$

$f_o =$

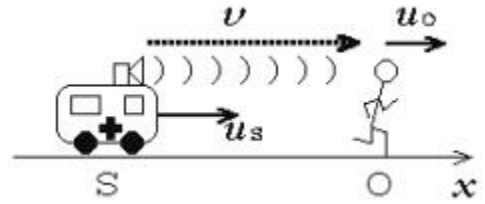
代入し $= v / f_s$ により整理する



観測者が音源に近づくとき く、遠ざかるとき く聞こえる。

(3) 音源も観測者も動く場合

観測者にとっては波長も音速も変化する



波の基本式より

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

観測者が受け取る音の波長

$$\lambda' = \frac{v - u_o}{f_s}$$

観測者から見た見かけの音速

$$v' = v + u_o$$

$$1/T = f_s$$

ドップラー効果の式

$$\frac{f_o}{f_s} = \frac{v + u_o}{v - u_s}$$

$$f_o = \frac{v + u_o}{v - u_s} f_s$$

注) v 、 u_s 、 u_o はそれぞれ速度ベクトルの成分で、向きを示す符号を持つ。式を立てる前に座標軸 (正の向き) を設定せよ。二次元の問題では S O 方向の成分 (視線速度) のみ考えればよい。

注) 「壁」対策 「壁」は自分が聞いたのと同じ音を出す音源だと考える。
 「風」対策 音は風に乗る。風下へは速く、風上へは遅く伝わる。

【問】 振動数 200Hz のおんさ S を鳴らしながら、3.4m/s の速さで黒板に垂直に近付けたところ、おんさの後方にいる人 O にうなりが聞こえた。音の速さを 340m/s として以下の問いに答えよ。

S から直接 O に届いた音の振動数はいくらか。

黒板で反射し、O に届いた音の振動数はいくらか。

O が聞くうなりは毎秒何回か。

S が静止し、O が S に向かって近付くとき、うなりは聞こえるか。