第2章 音

マイノート p.36～37

37 音波の伝わり方

私たちの周囲には，様々な音が満ちあふれている。私たちは，音によって情報の伝達を行ったり，音楽によって心をなごませたりしている。音はどのように私たちの耳に伝わるのだろうか。

A 音波とは

音を出している太鼓(たいこ)に手を触れると，細かく振動していることがわかる。太鼓の膜が振動して，周りの空気が圧縮と膨張を繰り返すため，空気の圧力の大きい部分と小さい部分ができる。この空気などの媒質の圧力変化が伝わっていく現象が **音波**(おんぱ) sound wave である。このとき，媒質の振動方向は音波の進む向きと同じであり，音波は媒質の疎密が連(つら)なって進行する縦波(疎密波)といえる。また，太鼓の膜のように，初めに媒質の振動を発生させるものを **音源**(おんげん) または **発音体**(はつおんたい) という。

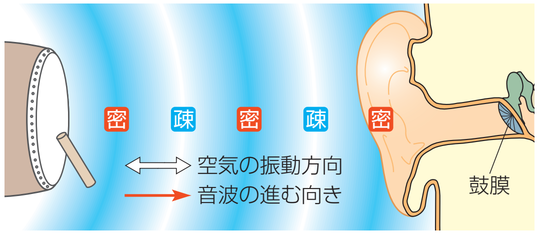


図1 音波の発生と感覚器官　太鼓の膜が振動し，圧力の変化を生じる。圧力の変化によって耳の鼓膜が振動し，脳がそれを音として感じる。

B 音速

音波の伝わる速さを **音速**(おんそく) sound velocity という。空気中を伝わる音速は，温度が高くなるほど大きくなる。空気の温度 t〔℃〕とその温度での音速 V〔m/s〕との間には，およそ，次の関係がある。

表1 いろいろな媒質中の音速

	媒　質	音速〔m/s〕
気体	ヘリウム(0 ℃)	970
	二酸化炭素(20 ℃)	275
	窒素(20 ℃)	349
液体	水(20 ℃)	1482
	海水(20 ℃)	1513
	メタノール(20 ℃)	1121
固体	窓ガラス(縦波)	5440
	鉄(縦波)	5950
	アルミニウム(縦波)	6420

音速

$$V = 331.5 + 0.6t \quad (1)$$

- V〔m/s〕　空気中の音速(sound velocity)
- t〔℃〕　温度(temperature)

式(1)の V と t はそれぞれ m/s と℃を単位としたときの数値として扱っている。

15℃の空気中の音速は，およそ 340 m/s である。音波は，気体・液体・固体中では伝わるが，真空中では媒質がないため伝わらない。液体中での音速は気体中よりも数倍大きく，ガラスや金属など固体中の音速はさらに大きい。➡表1

問1 遠くで打ち上げられた花火の光を見てから，ドーンという花火の音を聞くまでの時間が 4.6 秒であった。気温を 25 ℃とすると，花火までの距離は何 km か。

C 音の三要素

私たちは音のいろいろな違いを聞き分けることができる。音は **高さ**，**大きさ**，**音色** によって特徴づけられている。これらを **音の三要素** といい，マイクロホンとオシロスコープを用いて観察することができる。

➡やってみよう

音の高さ

音の高さの違いは，音波の振動数の違いによる。高い音ほど振動数が大きい。ある音より1オクターブ高い音の振動数は元の音の2倍であり，2オクターブ高い音の振動数は元の音の4倍である。

音の大きさ

音の大きさの違いは，振動数が同じならば，音波の振幅の違いによる。振幅が大きい音ほど大きな音に聞こえる。

音色

音の高さと大きさが同じでも，楽器の種類により異なった音に聞こえる。これは，楽器により音波の波形が異なり，感じ方が違うためである。このような違いが音色である。おんさや時報の音のように，振動の様子が正弦曲線で表される音を **純音** という。一方，人の声や楽器の音などは，一般に複雑な振動をしている。

➡図2，図3

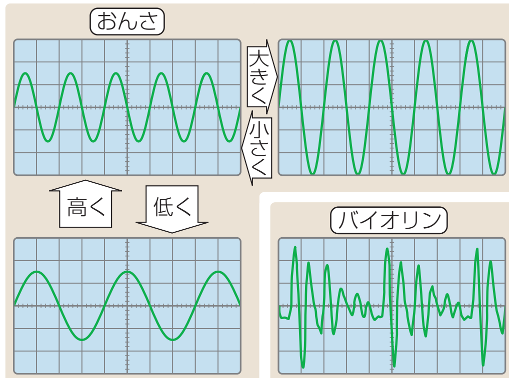
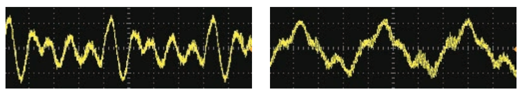


図2 音の三要素



(a)人の声「あ」　(b)人の声「い」

図3 音色の違い

やってみよう！ 音の波形の観察

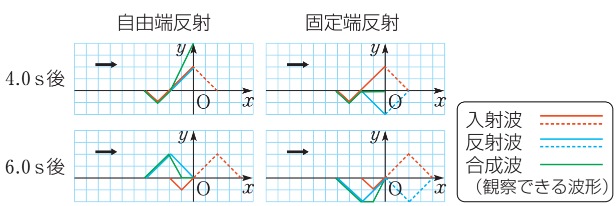
マイノート p.34

マイクロホンは，音波による空気の圧力変化を電圧の変化に変える装置である。マイクロホンとオシロスコープを用いて，音波による空気の圧力の時間変化を調べることができる。オシロスコープを使って，おんさや声，楽器の波形を調べてみよう。

また，出す音の高さや大きさを変えてみると，波形がどのように変わるかを観察しよう。

図A オシロスコープ

問8 の答え



D 可聴音と超音波

人の耳が聞くことのできる音波は，振動数がおよそ 20〜20000 Hz の範囲であり，**可聴音** という。振動数が可聴音よりも小さい場合は，耳ではなく身体で振動として感じられる。一方，振動数が可聴音よりも大きく，人の耳に聞こえない音を **超音波** という。

問 2 人の可聴音は，空気中の波長にすると，およそ何mから何mの範囲になるか。ただし，空気中の音速を 340 m/s とする。

超音波の利用

超音波は，様々な分野で応用されている。

医療における超音波の利用法として，超音波診断が挙げられる。体内に超音波を送り，反射波を受けて，体内の様子を画像化している。また，海中は電波が伝わらないため，超音波が通信手段の主役となる。海中に超音波を送り，反射した波を受信することで，物体を探知する装置がソナー(sonar)である。

図 4 超音波画像診断装置で撮影した胎児の画像

E 音の反射

校庭に立って，校舎に向かって手をたたくと，校舎に反射して戻ってきた音が聞こえることがある。このように音は反射する。山びこなどもその例である。教室で話す声は，壁や天井などで反射するために教室のすみずみにまで聞こえるが，運動場では声が聞こえにくい。また，コウモリやイルカは超音波を出してその反射音を聞き，障害物の位置を知ることができる。

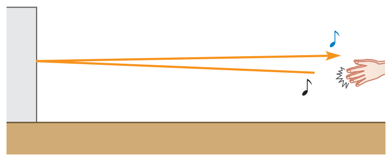


図 5 音の反射

参考 音波のグラフ表示

音波は空気の密度の変動，つまり疎密が伝わる縦波である。縦波が伝わるとき，図 A (a)の媒質の変位に対応する媒質の密度の平均値からのずれ(平均の密度よりも大きければ正，小さければ負とする)は，図 A (b)のようになる。変位の波形と密度の波形とは波長の $\frac{1}{4}$ だけ異なっており，図 A (a)のア，イ，ウのように，空気の変位が 0 のところで，媒質の密度は平均値から最も大きくずれている。

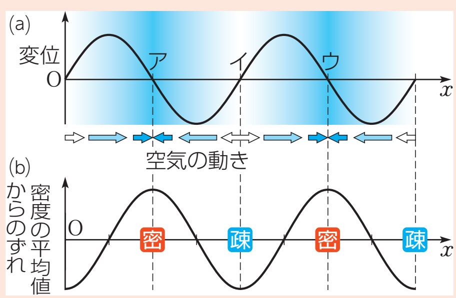


図 A 縦波による媒質の変位と密度分布

F うなり

図6のように，振動数が少しだけ異なる2つのおんさを同時に鳴らすと，音の大きさが周期的に変化して「ワーン，ワーン」というように聞こえる。このような現象を **うなり** (beat) という。

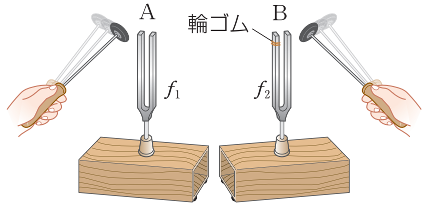


図6 **うなりの実験** 同じ振動数のおんさA，Bを用意し，一方のおんさBに輪ゴムを巻いて，振動数が少しだけ異なるようにする。[1]

振動数がそれぞれ f_1，f_2 の2つの音が，1秒間に起こすうなりの回数 N を求めてみよう。図7に示すように，時刻aでは2つの波が同位相となり，山と山が強め合って合成波の振幅が最大となる。その後，位相は少しずつずれて，時刻bでは逆位相となり，合成波の振幅は0となる。さらに，時間が経過すると合成波の振幅は再び大きくなり，時刻cでは山と山がちょうど1つずれて重なり，再び振幅が最大となる。時刻aと時刻cとの時間間隔がうなりの周期 T である。

時間 T の間に入る波の数は，f_1 の波では f_1T 個，f_2 の波では f_2T 個であり，それらはちょうど波1つ分だけ違うので，$|f_1T-f_2T|=1$ となる。$N=\dfrac{1}{T}$ であるから，次の式(2)が成り立つ。

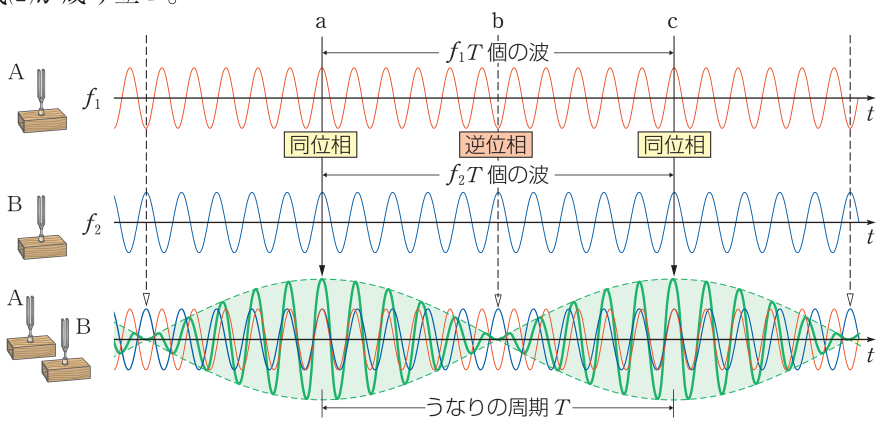


図7 **うなり** 振動数が少しだけ異なるおんさAとおんさBから出る波が重なり合うことで，うなりが生じる。

うなり

$$\boldsymbol{N=|f_1-f_2|} \quad (2)$$

- N〔回/s〕 1秒間のうなりの回数
- f_1，f_2〔Hz〕 2つの音の振動数(frequency)

問3 振動数 500 Hz のおんさAと，振動数のわからないおんさBを同時に鳴らしたところ，1秒間に2回のうなりが聞こえた。また，振動数 505 Hz のおんさCとおんさBを同時に鳴らしたところ，1秒間に3回のうなりが聞こえた。おんさBの振動数は何 Hz か。

[1] 質量が増えるとおんさの動きが遅くなり，振動の周期が長くなるので，音が低くなる。

38 共振・共鳴

ブランコの揺れに合わせて周期的に力を加えると少しの力で大きく揺らすことができるが，不規則に力を加えると大きく揺らすことはできない。物体を特定の振動数で振動させたときに起こる現象をみてみよう。

太鼓やおんさは，たたくといつも同じ高さの音が出る。これは，物体が自由に振動できる場合，その大きさや形，材質などによって，決まった振動数で振動するからである。この振動を **固有振動** といい，そのときの振動数を **固有振動数** という。

物体に，その固有振動数と等しい振動数の周期的な力を加え続けると，物体の振動の振幅はしだいに増大し，大きなエネルギーをもつようになる。この現象を **共振** (resonance)，または **共鳴** という。このことは，図8，図9のような振り子やおんさの実験で確かめることができる。

共鳴
共鳴は，共振と同じ意味だが，音波に関係するときに用いられることが多い。

振り子
振り子の振動数は糸の長さで決まることが知られている。

おんさ
おんさは長さや断面の形状，材質などによって固有振動数が決まっており，その振動数の純音を出す。

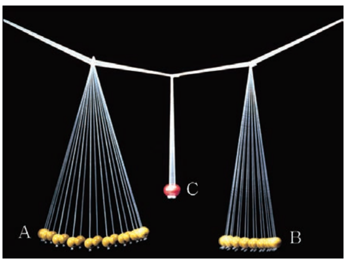


図8 **振り子の共振**　横に張ったひもから，糸の長さの等しい振り子A，Bと長さの異なる振り子Cをつるす。Aを振動させると，Bは共振して振動を始めるが，Cはほとんど振動しない。

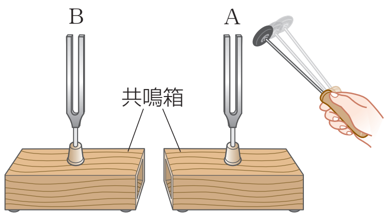


図9 **おんさの共鳴**　同じ振動数のおんさA，Bの共鳴箱の開口部を向かい合わせて，Aをたたく。しばらくしてから指でAの振動を止めると，Bが鳴っているのが聞こえる。振動数が異なるおんさどうしでは，共鳴は起こらない。

参考 高層ビルの共振

ビルの固有振動の周期と地震の揺れの周期とが一致すると，共振によって振幅が増大し，大きく揺れることがある。

2011年の東北地方太平洋沖地震では，長周期の地震動によって，遠くの都市でも高層ビルが共振して大きく揺れた。共振による被害を減らすために，建築物の固有振動数と地震の振動数との関係は慎重に考慮しなければならない。

39 弦の振動

ギターなどの弦楽器は，弦が振動することで，それぞれ特有の音を出す。ここでは，弦から音が出るしくみやその音の高さがどのように決まるかを考えてみよう。

A 弦の振動

両端を固定して張った弦の中央部をはじくと，一定の高さの音が出る。これは，弦を伝わる横波が両側の固定端で反射して何度も往復しているうちに，図10に示すような特定の波長の定常波ができるからである。定常波ができるときの振動がこの弦の **固有振動**(こゆうしんどう) であり，そのときの振動数が弦の **固有振動数**(こゆうしんどうすう) である。

マイノート p.34

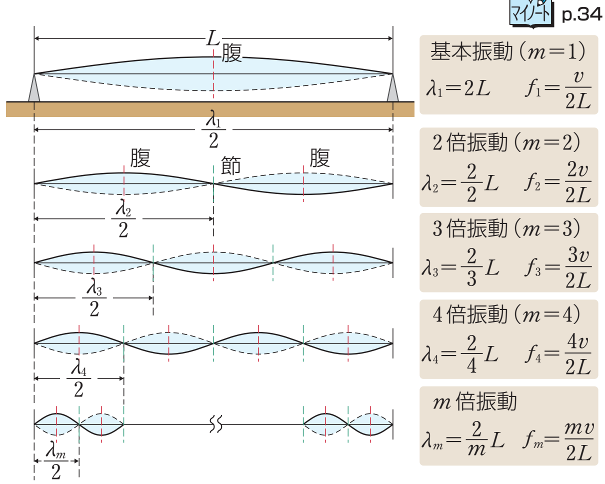


図10 弦の固有振動

長さ L〔m〕の弦に，定常波の腹が m 個できたとき，横波の波長 λ_m〔m〕は，図10より，$L=m\cdot\frac{\lambda_m}{2}$ の関係にあるから，次式のようになる。

図10を見た後に…
m 倍振動のとき，弦には腹がいくつできるのだろうか。

$$\lambda_m=\frac{2L}{m}\quad(m=1,\ 2,\ 3,\ \cdots\cdots)\qquad(3)$$

弦を伝わる横波の速さを v〔m/s〕とすると，弦の固有振動数 f_m〔Hz〕は，「$v=f\lambda$」➡ p.106 式(4) を用いて，次式で表される。

$$f_m=\frac{v}{\lambda_m}=\frac{mv}{2L}\quad(m=1,\ 2,\ 3,\ \cdots\cdots)\qquad(4)$$

固有振動のうち，$m=1$ のものを **基本振動**(きほんしんどう) といい，基本振動によって生じる音を **基本音**(きほんおん) という。また，$m=2$，3，…… のものをそれぞれ2倍振動，3倍振動，……といい，それらをまとめて **倍振動**(ばいしんどう) という。倍振動によって生じる音を **倍音**(ばいおん)（2倍音，3倍音，……）という。このように，物体には固有振動数が複数存在する場合が多い。

問2 の答え 1.7×10^{-2} m から 17 m の範囲
問3 の答え 502 Hz

B 弦楽器の音の高さ

弦をはじくと基本振動のほかに倍振動も同時に起こり，それらの重なり方により，楽器に特有の音色が出る。また，同じ楽器でも弾き方によって倍振動の起こり方は異なる。ふつう，基本音が最もよく聞こえるので[1]，音の高さは基本音によって決まる。

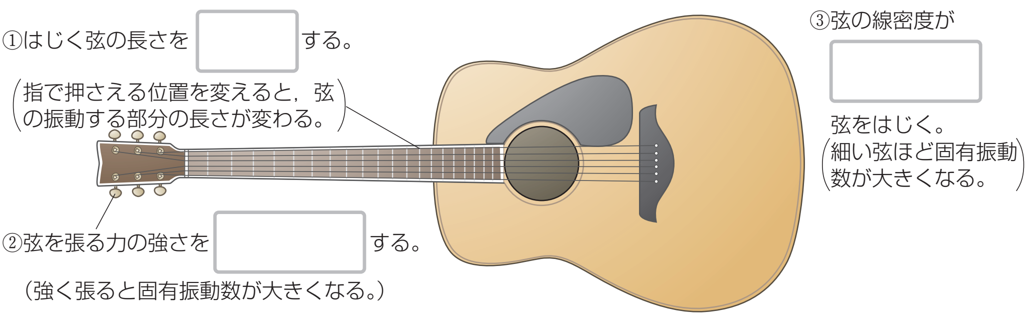
バイオリンやギターなどの弦楽器を演奏するときは，弦の途中を指で押さえて弦の振動する部分の長さを変え，ド，レ，ミなど異なる高さの音を出す。

弦を伝わる横波の速さ

弦を伝わる横波の速さは，弦の単位長さあたりの質量(**線密度**)が小さいほど大きく，弦を張る力が強いほど大きくなることが知られている。したがって，同じ材質の弦では，細い弦ほど高い音を出しやすい。また，音の高さを調整するときは，弦を張る強さを変えて行う。

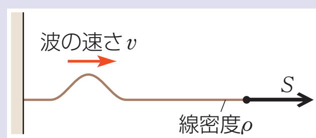
考えてみよう！　ギターのしくみ

ギターを鳴らすとき，どのようにすると，高い音を出すことができるだろうか。



発展　弦を伝わる横波の速さ

S〔N〕の力で張った線密度 ρ〔kg/m〕の弦を伝わる横波の速さ v〔m/s〕は，次式のようになることが知られている。



$$v=\sqrt{\frac{S}{\rho}} \quad \cdots\cdots ①$$

また，長さ L〔m〕の弦の固有振動数 f_m〔Hz〕は，式(4)に式①を代入して，次式のようになる。

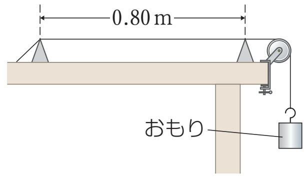
$$f_m=\frac{mv}{2L}=\frac{m}{2L}\sqrt{\frac{S}{\rho}} \quad (m=1,\ 2,\ 3,\ \cdots\cdots) \quad \cdots\cdots ②$$

これらから，弦を張る力を 4 倍にすると弦を伝わる横波の速さは 2 倍になり，基本振動も 2 倍になる。一方，弦を太くして線密度を 4 倍にすると弦を伝わる横波の速さは $\frac{1}{2}$ 倍になり，基本振動も $\frac{1}{2}$ 倍になる。

[1] 弦の端のほうをはじくと倍音が強く出ることもある。

例題 1 弦の振動

問 右の図のように，ピアノ線を滑車に通し，左右の固定端の間の距離が 0.80 m になるように弦を張った。ピアノ線にはたらく重力は無視できるものとする。

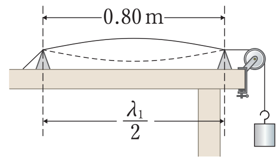


(1) この弦を振動させて，左右の固定端の間に腹が 1 個の定常波ができたとき，振動数は 50 Hz であった。このときの波長 λ_1，および弦を伝わる横波の速さ v はいくらか。

(2) 弦やおもりを変えないで，この弦の左右の固定端の間に定常波の腹が 3 個できるように振動させた。このときの波長 λ_3，および振動数 f_3 はいくらか。

指針 まず，どのような定常波がおきているか図に表し，弦を伝わる横波の波長と弦の長さの関係を式に表す。

解 (1) 腹が 1 個の定常波ができたので，これを図に表すと，右の図のようになる。右の図より，$\dfrac{\lambda_1}{2}$ が弦の長さに等しいことがわかる。よって，左右の固定端の間の距離が $\dfrac{\lambda_1}{2}$ であるから，

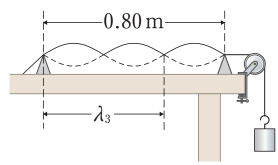


$\lambda_1 = 2\times 0.80\ \mathrm{m} = \underline{\mathbf{1.6\ m}}$

また，「$v=f\lambda$」より，

$v = 50\ \mathrm{Hz}\times 1.6\ \mathrm{m} = \underline{\mathbf{80\ m/s}}$

(2) 3 倍振動なので，これを図に表すと，右の図のようになる。右の図より，左右の固定端の間の距離が $\dfrac{3}{2}\lambda_3$ であるから，

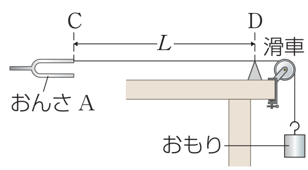


$\lambda_3 = \dfrac{2}{3}\times 0.80\ \mathrm{m} = 0.533\cdots\mathrm{m} \fallingdotseq \underline{\mathbf{0.53\ m}}$

また，「$v=f\lambda$」より，

$$f_3 = \frac{80\ \mathrm{m/s}}{\dfrac{2}{3}\times 0.80\ \mathrm{m}} = \underline{\mathbf{1.5\times 10^2\ Hz}}$$

類題A 振動数 500 Hz のおんさAの腕を図のように弦につけて，おんさAを振動させたところ，CD 間に 3 倍振動の定常波が生じた。このとき，CD 間の長さは $L=1.20$ m であった。



(1) 弦を伝わる波の速さは何 m/s か。

次に，おんさAを振動数がわからないおんさBに取りかえて，他は同じ条件で振動させたところ，CD 間に 2 倍振動の定常波が生じた。

(2) おんさBの振動数は何 Hz か。

(3) (2)で，おもりを取りかえたところ，CD 間に 3 倍振動の定常波が生じた。弦を伝わる横波の速さは何倍になったか。

40 気柱の振動

フルートやクラリネットなどの管楽器は，管に息を吹き込むことで，それぞれ特有の音を出している。管楽器の音の高さはどのようにして決まるのかを考えてみよう。

A 閉管の気柱の固有振動

瓶や試験管の上端に唇を当てて吹くと，笛のような音が出る。これは，管の中の**気柱**(きちゅう)（空気の柱）にいろいろな波長の音が発生して気柱の両端で反射しているうちに，➡やってみよう特定の波長の波が定常波をつくるからである。管の底では空気が管の長さ方向に振動できないので固定端反射が起こり，定常波の節になる。一方，管口である開口端では自由端反射が起こり，定常波の腹となる。片側が閉じた管を **閉管**(へいかん) という。マイノート p.35

図 11のように，気柱の長さがL〔m〕の閉管に，m 個の節をもつ定常波ができたとする。その波長をλ_m〔m〕として，この気柱の固有振動数 f_m〔Hz〕を求めよう。

気柱の長さが $\dfrac{\lambda_m}{4}$ の奇数倍のとき，つまり，$L=(2m-1)\cdot\dfrac{\lambda_m}{4}$ のときが定常波のできる条件である。したがって，λ_m は次式のようになる。

$$\boldsymbol{\lambda_m=\frac{4L}{2m-1}}\quad (m=1,\ 2,\ 3,\ \cdots\cdots)\qquad(5)$$

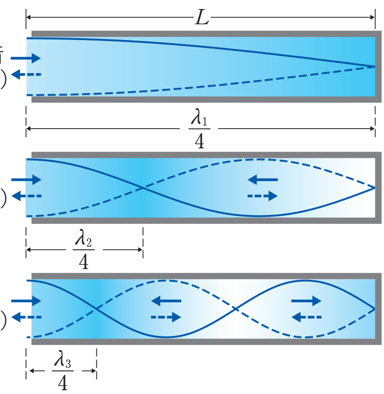


図 11 閉管の場合の気柱の定常波 濃淡は，実線のグラフで表した空気の変位に対応する気柱内の空気の密度変化を表す。気柱では，定常波の節の位置で密度変化が最大となる。

気柱内の音速を V〔m/s〕とすると，固有振動数 f_m は，「$v=f\lambda$」を用いて，次式のようになる。➡p.106 式(4)

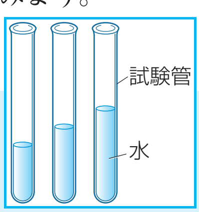
$$f_m=\frac{V}{\lambda_m}=\frac{\boldsymbol{(2m-1)V}}{\boldsymbol{4L}}\quad (m=1,\ 2,\ 3,\ \cdots\cdots)\qquad(6)$$

$m=1,\ 2,\ 3,\ \cdots\cdots$ の音を，それぞれ基本音，3倍音，5倍音，……という。

次の やってみよう！ で，気柱の振動と音の高さとの関係を調べてみよう。

やってみよう！ 試験管笛

図のように，試験管に水を入れ，吹いて音を出してみよう。また，水の量を調節して，ド，ミ，ソの音をつくり，和音を出してみよう。試験管の空気の部分の長さと音の高さは，どのような関係になっているだろうか。



B 開管の気柱の固有振動

筒のように，両端が開いている管を **開管**（かいかん）という。管の両端では自由端反射が起こり，定常波の腹となる。図12のように，気柱の長さが L〔m〕の開管に，m 個の節をもつ定常波ができたとする。その波長を λ_m〔m〕として，この気柱の固有振動数 f_m〔Hz〕を求めよう。

マイノート p.35

気柱の長さが $\dfrac{\lambda_m}{2}$ の整数倍のとき，つまり，$L=m\cdot\dfrac{\lambda_m}{2}$ のときが定常波のできる条件である。したがって，次式のようになる。

$$\lambda_m=\frac{2L}{m}\quad(m=1,\ 2,\ 3,\ \cdots\cdots)\quad(7)$$

気柱内の音速を V〔m/s〕とすると，固有振動数 f_m は，次式のようになる。

$$f_m=\frac{V}{\lambda_m}=\frac{mV}{2L}\quad(m=1,\ 2,\ 3,\ \cdots\cdots)\quad(8)$$

$m=1,\ 2,\ 3,\ \cdots\cdots$ の音を，それぞれ基本音，2倍音，3倍音，……という。

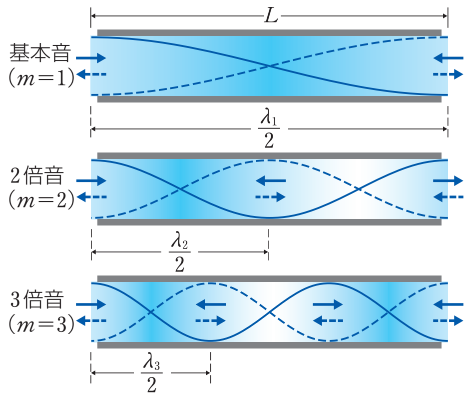


図12 開管の場合の気柱の定常波　濃淡は，実線のグラフで表した空気の変位に対応する気柱内の空気の密度変化を表す。気柱では，定常波の節の位置で密度変化が最大となる。

式(6)，(8)からわかるように，気柱の固有振動数は，閉管では基本振動数の奇数倍，開管では整数倍となる。

開口端補正

管口である開口端付近では，管の中だけでなく外の空気も振動するため，開口端の位置が完全な自由端とはならず，厳密には開口端の少し外側に定常波の腹があるかのように振動する。この腹の位置と管口(開口端)との距離を **開口端補正**（かいこうたんほせい）という。➡図13

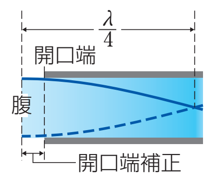


図13 開口端補正

考えてみよう！ 気柱の長さと音の高さ

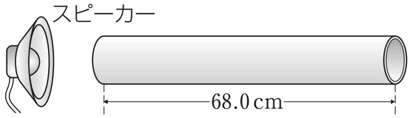
リコーダー(縦笛)やフルート(横笛)などの管楽器は，管楽器に空いた穴が開管の端に相当する。指で穴を塞ぎ，気柱の長さを変えることによって，いろいろな高さの音を出している。リコーダーで高い音や低い音を出すには，穴をどのように押さえればよいだろうか。

また，アルトリコーダーとソプラノリコーダーでは，アルトリコーダーのほうが筒の長さが長い。このことから，どちらのほうがより低い音が出せるだろうか。

類題A の答え (1) 400 m/s　(2) 333 Hz　(3) $\dfrac{2}{3}$ 倍

例題 2 気柱の振動

問 図のように，長さ 68.0 cm の開管の管口付近にスピーカーを置き，スピーカーの振動数を 0 Hz からしだいに大きくしていくと，ある振動数で気柱が共鳴して大きな音が聞こえた。音速を 340 m/s とし，開口端補正は無視できるものとして，次の問いに答えよ。



(1) 最初に聞こえる共鳴音の波長は何 cm か。

(2) 3 回目に聞こえる共鳴音の振動数は何 Hz か。

解 (1) 振動数をしだいに大きくしていき，最初に聞こえた共鳴音は，最も波長の長い基本音だから，波長を λ_1 として図に表すと，図Aのようになる。図Aより，管の長さは開管の基本音の波長の $\dfrac{1}{2}$ 倍である。このことから，

$$\frac{\lambda_1}{2}=68.0\ \text{cm} \qquad \text{よって，}\lambda_1=\underline{\mathbf{136\ cm}}$$

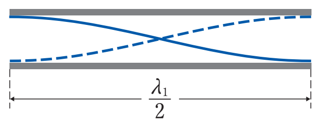
(2) 3 回目に聞こえた共鳴音は 3 倍音である。この音の波長を λ_3，振動数を f_3 とする。このときの様子を図に表すと，図Bのようになる。図Bより，管の長さはその半波長の 3 倍である。このことから，

$$3\times\frac{\lambda_3}{2}=68.0\ \text{cm} \qquad \text{よって，}\lambda_3=\frac{136}{3}\ \text{cm}$$

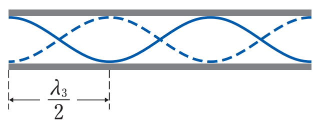
音速を V とすると，「$v=f\lambda$」より，$V=f_3\lambda_3=340$ m/s だから，
➡ p.106 式(4)

$$f_3=\frac{V}{\lambda_3}=\frac{340\ \text{m/s}}{\dfrac{1.36}{3}\ \text{m}}=\underline{\mathbf{750\ Hz}}$$

指針 どのような定常波がおきるか図に描いて表し，共鳴音の波長と管の長さとの関係を式に表す。

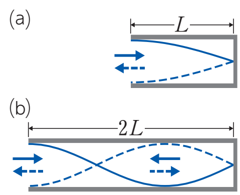


図A



図B

類題B 図は，閉管の気柱に生じた定常波の様子を表している。(a)，(b)の管の長さは，それぞれ L〔m〕および $2L$〔m〕であり，(a)の気柱に生じた定常波の振動数は 500 Hz であった。音速は 340 m/s，(a)，(b)ともに，開口端補正は無視できるものとする。



(1) (a)の閉管の長さ L は何 m か。

(2) (a)と同じ長さの開管の場合，基本振動数は何 Hz か。

(3) (b)の気柱に生じた定常波が図のようであるとき，振動数は何 Hz か。

(4) 気温の上昇によって，(a)，(b)の気柱に生じる定常波の振動数は大きくなるか，小さくなるか。ただし，管の長さは気温によって変化しないものとする。

参考 楽器のしくみ

弦の振動や気柱の振動を利用した楽器にはどのようなものがあり，どのようなしくみで音を出したり音の高さを変えているのだろうか。

弦の振動を利用した楽器

ギターやバイオリンなどは，指や弓などで弦を振動させて音を出す楽器である。しかし，弦の振動だけではかすかな音しか聞こえない。そこで多くの弦楽器は，箱状の胴に弦の振動を伝えている。胴は幅広い振動数でよく鳴るように，曲面で囲まれた箱になっている。

弦楽器では，胴から発する音が，聞く音の音量の大部分を占める。このため，弦楽器の出す音の音色は，弦の材質や弾き方だけでなく，胴の材質や形，大きさなどによって大きく異なる。

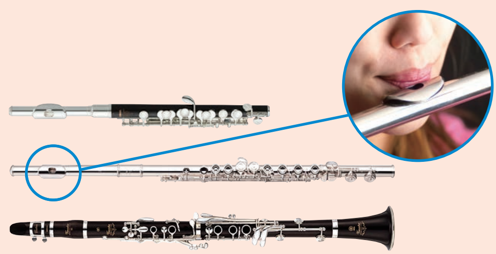
図A ギターとバイオリン

気柱の振動を利用した楽器

フルートなどの管楽器は，気柱の振動を利用した楽器である。管楽器は楽器によって音源となるものや材質，大きさなどが違う。このため，倍音が混ざる比率は変わり，音色に違いが出る。例えば，クラリネットの音源はマウスピース（口にくわえる部分）にある薄い板状のリードであり，息を吹き込むことでリードを振動させる。一方，トランペットの音源は唇であり，マウスピースの中で唇を軽く閉じ，息を吹き込むときに，その勢いで唇を振動させる。

また，管の長さが長いほど，気柱の固有振動の基本音の波長は長く，振動数は小さくなり，低い音を出すことができる。フルートとクラリネットでは，管の長さはほぼ同じであるが，フルートは開管に，クラリネットは閉管になっているため，管の長さはほぼ同じでもクラリネットのほうが出る音は低い。同じ管を開管の状態から閉管の状態にすると，1オクターブ低い音$\left(\text{振動数が } \frac{1}{2} \text{ の音}\right)$になる。また，閉管では奇数倍の倍音しか混ざらないので，音色にその特徴が出る。

図B クラリネットとトランペット



図C 管楽器の大きさの比較　ピッコロ（上）とフルート（中）では，管の短いピッコロが，より高音部を受け持つ。