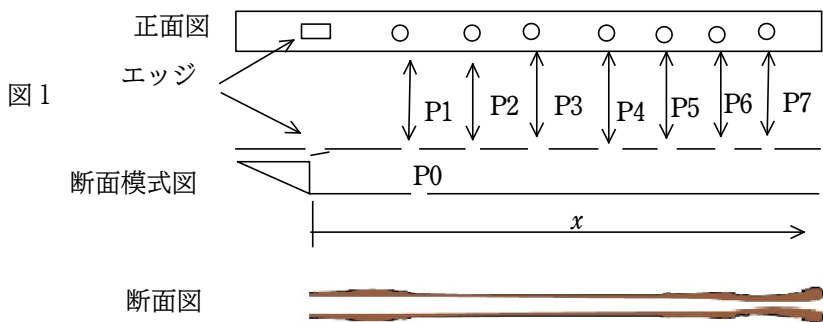


リコーダー

1

以下の文章は、小学校で用いられているソプラノリコーダーに関するものである。文章中の(①)～(⑩)内に当てはまる数値または式を入れ、(⑫)はP1～P6の中で該当するものをすべて選んで入れよ。

下の図1正面図はリコーダーを正面から見た図であり、断面模式図はその断面の穴の位置を、断面図は詳細な断面の形を示した図である。リコーダーの断面を表している。裏の穴をP0とし、エッジに近いほうからP1、P2、…、P7とする。穴の位置を示すためにエッジ部分からの距離を x で示す。左端から吐息を入れると、管内を流れた空気がエッジ部分に当たり乱気流を起こす。この気流によりいろいろな振動数の音が発生する。リコーダーはエッジから先の部分の長さを調整することにより、管と共鳴する音波を増幅する装置である。



各穴の位置を図2に各音階の振動数を図3に示している。

穴の位置及び穴のサイズ[cm]

図2

穴	P0	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	管口
x	9.5	10.0	12.3	14.3	16.5	19.3	20.8	23.5	28.5
直径	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.3+0.2	0.3+0.2	0.8

図3

音階	ド	レ	ミ	ファ	ソ	ラ	シ
標準振動数	262	294	330	349	392	440	494
1オクターブ高	523	587	659	698	784	880	988
2オクターブ高	1047	1175	1319	1397	1567	1760	1976
3オクターブ高	2093	2349					

同じ「ド」音でも標準振動数の「ド」、1オクターブ高い「ド」と複数存在するので、標準振動数の「ド」を「ド₀」、1オクターブ高い「ド」を「ド₁」、2オクターブ高い「ド」を「ド₂」と表すものとする。

音速を V 、振動数を f とすると、波長 λ は $\lambda =$ (①) であらわされる。穴を左側からふさいだ場合、エッジ部分と管内の穴の位置で自由端反射することになる。腹と腹の間の距離 $\frac{\lambda}{2} = \frac{V}{2f}$ となる。音速 $V=340\text{m/s}$ として、振動数と $\frac{\lambda}{2}$ の関係を示したのが図10のグ

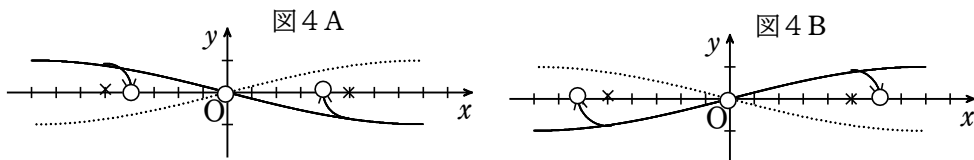
リコーダー

ラフである。

まずは、すべての穴をふさいだ状態から考えてみよう。この音は通常「ド」と呼んでいるが、「ド₀」ではなく「ド₁」であり、振動数は523Hzである。この振動数は図10より $\frac{\lambda}{2} = \textcircled{2}$ cmとなる。管口の位置で $x = 28.5\text{cm}$ なので、開口端補正が $\textcircled{3}$ cmとなる。

次に「ソ₁」について調べてみよう。ソ音は図5のようにP0～P3をふさぎ、P4～P7を開けた状態である。「ソ₁」=784Hzであるので図10より $\frac{\lambda}{2} = 21.5\text{cm}$ となる。「ソ₁」の指配置では最初に空いた穴はP4でこの位置が開口端と考えると、図2より $x = \textcircled{4}$ cmとなる。これは、開口端補正が5.0cmであることを意味する。「ド₁」も「ソ₁」も非常に大きな開口端補正となっている。この原因は何であろうか。

エッジの部分も原因と考えられるが、エッジ部分は空気のすべてが外部に出るので、この位置が腹となり、エッジの部分に開口端補正はほとんどないと考えられる。



管内の定常波は図4Aの状態と図4Bの状態を交互に繰り返している状態であると考えられる。図4A、Bともに原点が節の定常波である。音波は縦波なので、グラフ上の x 方向の変位を y 座標で表している。図4A、B共に \times 点のあった媒質が \circ の位置に移動していることを示している。これによると図4Aは原点周辺の密度が高くなっており、Bは逆に低くなっている。このように定常波の節の位置は密度変化が激しく、逆に腹の位置は密度変化がないことになる。

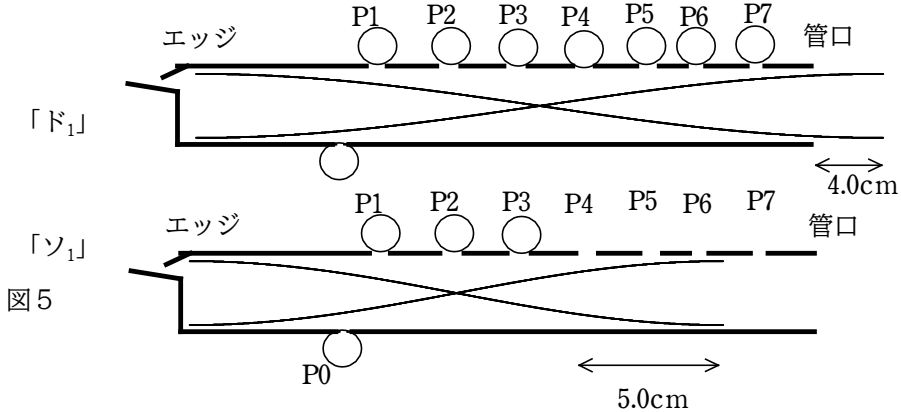
管に穴が開いているということは、管内の空気密度が高ければ穴から空気が抜け、低ければ穴から空気が入ってくるので、空気密度変化が少なくなり、定常波の腹を作りやすくなるが、穴が小さいために、1個の穴の位置で定常波の腹になるわけではなく、その位置より2つ先の穴の周辺である5.0cm先に定常波の腹ができるのである。

管口の場合は管内の内径が狭くなっているため、この位置の空気が通りにくくなっている。右方向に空気分子が振動していると管口から空気が出にくいので密度が高くなり、逆に左方向に空気分子が動いていると、管口から空気が入りにくいので、空気密度が下がる。そのため、管口付近で空気の密度変化が激しくなり、密度変化のない腹までの距離が大きくなる。これが、管口の開口端補正が大きい理由である。これにより、図5のような状況になる。開口端補正5.0cmということは、図5の「ソ₁」のように穴3つ分先に腹ができると思われる。管口を細くすることにより、小学生が持ち運びしやすいようにリコーダーを短くすることができているのである。

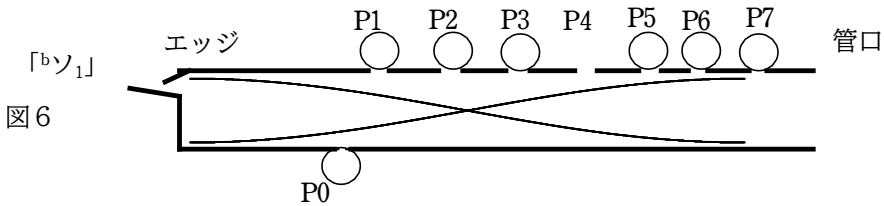
他の音で開口端補正を計算してみると、「ド₁」の開口端補正が $\textcircled{3}$ cmで、ほかの音の開口端補正はすべて5.0cmである。

リコーダー

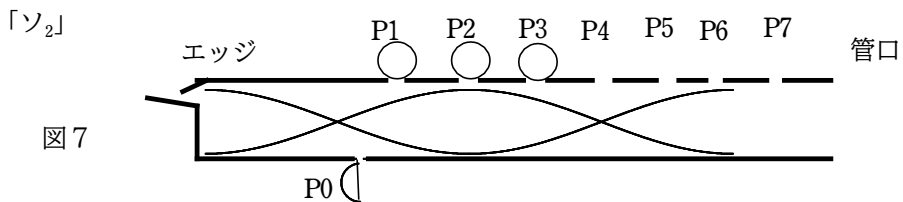
「ソ₁」の場合、図4のようにP6とP7の間に腹があることになる。



これを逆に利用し、「ソ₁」より半音下げた音（「^bソ₁」と表す）の出し方を考えてみよう。P4を開けてP5,P6をふさぐと、空気が出にくくなるので、波長が少し伸び、半音下げた音を作ることができるはずである。「^bソ₁」は740Hzなので、図10より、 $\frac{\lambda}{2} = (5) \text{ cm}$ となる。実際は図6のようになる。P7は腹の位置なのでP7を塞ごうが開けようが音の高さはほとんど変わらないと思われる。



次に1オクターブ高い音を出す方法について考えてみよう。図5のようにP0を半分開けると1オクターブ高い音が出せる。これは、P0の位置で、空気の一部が抜けるためにその周辺で定常波の腹ができやすくなるために、(6)倍振動が起こったと考えられる。



「シ₂」は「ミ₁」の振動数の(7)倍である。「ミ₁」を(7)倍振動にすると、「シ₂」となるはずである。「ミ₁」音は(8) Hzなので、 $\frac{\lambda}{2} = (9) \text{ cm}$ となる。開口端補正5.0cmを引いて、 $x = (10) \text{ cm}$ の位置のP6が最初の空いた穴となるようにP0~P5までをふさぐことになる。P0を半分開けると2倍振動となるが、それに加えて、図5のようにP3を開けると(7)倍振動になる。

リコーダー

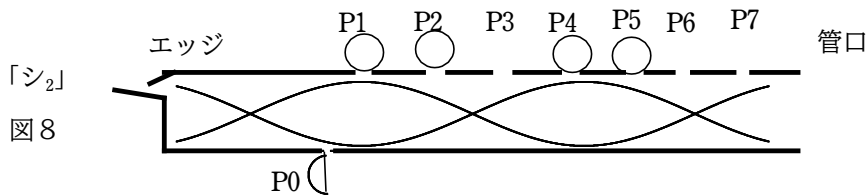


図8

このリコーダーで出せる最も高い音は「レ₃」で、「レ₁」=587Hzの(⑩)倍の振動数である。「レ₁」の(⑩)倍振動を作ればよいことになる。

587Hzでは $\frac{\lambda}{2} = 28.5\text{cm}$ となるので、管口と定常波の腹が一致している。

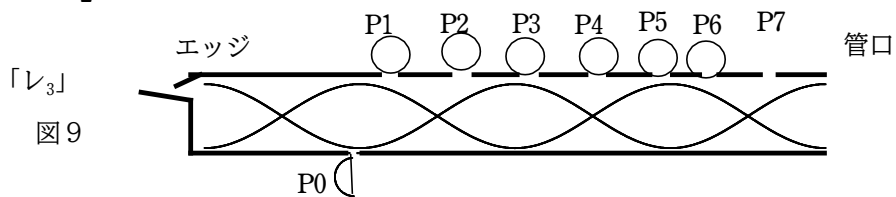


図9

この状態から2か所開ければ(⑩)倍振動になるが、開けた少し先に腹ができることから判断して、(⑫)を開ければよいことが分かる。

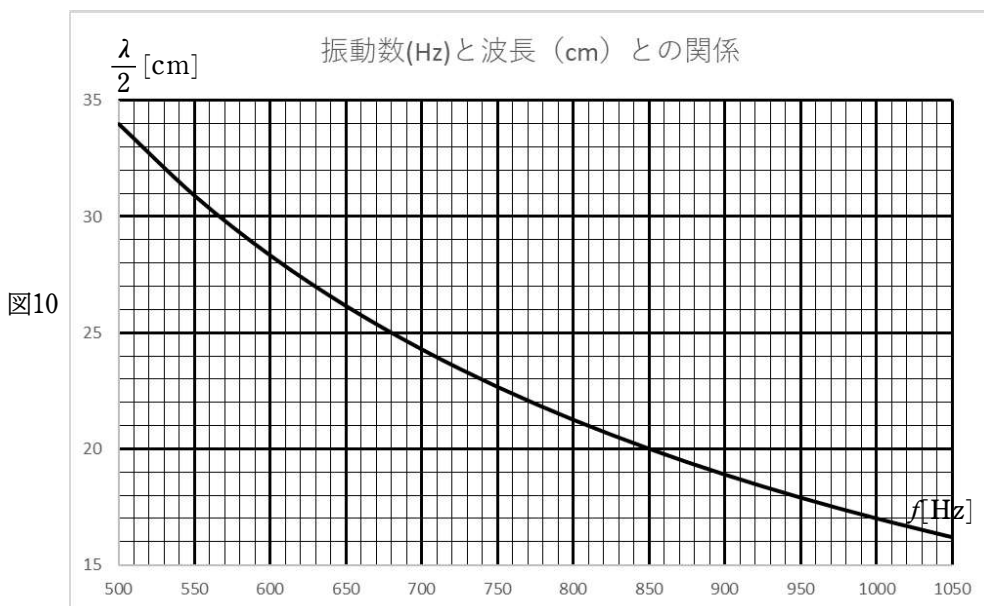


図10

リコーダー

解説

- ① $V = f\lambda$ より $\frac{V}{f}$
- ② 横軸の523を見ると, 32.5
- ③ $32.5 - 28.5 = 4.0$ 4.0
- ④ 図2のP4の x の値を見ると, 16.5
- ⑤ 横軸の740の値を見ると, 23.0
- ⑥ 図6より 2倍振動 2
- ⑦ 図3より「シ₂」は1976Hz 「ミ₁」は656Hz, であることが分かり, 振動数が3倍になっている。3
- ⑧ 図3より「ミ₁」は656Hz, 659
- ⑨ 図10の659Hzの値を読むと 25.8
- ⑩ $25.8 - 5.0 = 20.8$ 20.8
- ⑪ 図3より「レ₃」は2349Hz, これは「レ₁」=587Hzの4倍 4
- ⑫ 穴の少し先に腹がある穴を選べばよい P2,P4