

# 小学校教員養成のためのプログラム学習

— 音について —

橋 高 嘉 弘

Programmed Instruction about Sound for the Students of The Elementary  
School Teacher Training Course

Yoshihiro KITAKA

(Received December 25, 1990)

## 1. まえがき

本学部小学校教員養成過程の学生は、音楽は大好きであるが、理科、特に物理は苦手というものが多<sup>1)</sup>い。従って、彼らの多くは、高等学校で物理を選択しておらず、ここで取り扱う音についても、小学校5年で学んだ後は、中学校でも、高等学校でも全く学んでいない。小学校で音楽を教えようというのに、音の高さが発音体の振動数で定まることさえ習っていないのである（以前は小学校で教えていたが、現在は教えていない）。従って、教育学部の理科の専門科目(本学部では初等科理科IIの物理)か、教材研究の物理かで、指導しなければ、小学校5年の学力で小学校5年の授業をすることになる。

これに対して、初等科理科、あるいは理科教材研究の物理の授業で、音について指導できるのは、95分、あるいは145分の授業の1回のみである。この時間内に、音に関する基礎知識を身につけさせ、更に指導法についても教えなければならない。これまで、授業の始めに簡単なプリテストを行い、その解説をして、基礎的事項の整理をすると共に、学習の必要性を感じさせるようにしてきた。この事については、学生に好評であった。<sup>1)</sup>しかし、授業時間が少ないので、プログラム教材を渡し、自宅で学習させることにした。

以前から、プロジェクト物理のプログラムド・インストラクション・ブックレット<sup>2)</sup>を参考にして、光、力、等についてプログラム学習教材を作り、学生に自宅で学習させることにしているので、音についても、同様の方法を用いることにした。<sup>3)4)</sup>

プロジェクト物理のブックレットについては、既に山口大学教育学部研究論叢第40巻第3部等で紹介しているので、詳細は省略するが、物理の学習に必要な最小限の数学の知識を持っていない者に自習させるためにつくられたものである。問題は1ページ1問で、そのページの左側2/3の部分に問題が書いてある。問題の右側1/3の部分に回答を書き、ページをめくり、回答の部分を折り返すと、

---

本論文の一部は、1990年4月、日本物理学会年会物理教育分科会（大阪大学）で報告した。<sup>5)</sup>

その右（1／3ページ分）に正答が印刷されており、自分の書いた答えと並べてみることができる。すなわち、即時KRができるようになっている。<sup>2)</sup>

しかし、回答記入欄、正答欄がともにブックレットの1／3ページと狭く、物理の問題の場合は答が記入しにくいこと、また、1回のみでの学習では、定着しにくいことのため、光のブックレットでは回答欄を広げ、繰り返し学習できるように改めた。<sup>3)</sup>しかし、問題を18問にすると、ブックレットを折り畳んだとき、厚くなって回答が書きにくくなるという欠点がある<sup>4)</sup>ため、力のプログラム学習では、B5版の冊子に改めた。この方法は、学生にも好評であり、印刷・製本も簡単なので、音のプログラム学習教材も、このサイズにした。

## 2. ねらいと対策

主なねらいと、そのための対策を記す。

### (1) 音について学習する意義を認識させる。

表紙に母子の会話の図と、弦楽器・打楽器・管楽器を演奏している図を示した。(図1) まず、母子の会話の図を入れた理由を述べる。会話でなくても、警笛音など音を聞くことも大事だが、単に音を聞くだけなら、人間以外の動物もしていることである。人間が、他の動物と大きく違うことの一つは、人間が言葉を用いることにより、多くの情報の授受するとともに、思考をしていることである。目の見えない幼児と、耳の聞こえない幼児を比較すると、どちらも大変かわいそうであるが、目が見えなくても、耳の聞こえる子は言葉が理解できる。言葉が理解できれば、情報の授受だけでなく、言葉を使って思考できる。言葉がなければ、思考そのものが困難である。耳が聞こえない幼児は、その意味でかわいそうだといわれている。ほとんどの学生は、このことに気づかないでいて、この話に、はっとするようである。

楽器の演奏の図を示したのは、受講者の学生を含めて、多くの人々に音楽が愛好されており、興味・関心をもたせるためであるが、弦楽器の弦の長さ・太さ・張り具合、管楽器の管の長さ等、物理的な理由によって、音の高さ・大きさ・音色が決まることを示し、音楽を教えることになる教師の卵たちに、音について、科学的に学習することの重要性を認識させることもねらいとした。

### (2) 音の学習に興味・関心をもたせる。

ア 表紙に、音という字の謂れが分かるようにした。この図は、藤堂明保氏の「小学生の漢字はかせ」<sup>6)</sup>を参考にした。この本では、「解字」とは書いてなく、「おぼえ方」と書いてあるので、同氏編の学研漢和大辞典をみると、「言という字の口の部分の中に、・印を含ませた会意文字。言ははっきりとけじめをつけた言葉の発音を示す。音は、その口に何かを含み、ウーと含み声をだすことを示す」とある。<sup>7)</sup>

受講者の学生は、小学校教師になると、国語も教えるのであるから、参考になると思う。また、前項で述べた図1（表紙）も、興味・関心をもたせるのに、役だっていると思う。

イ 前記のごとく、ほとんどの学生は音楽が大好きであり、音楽の教材研究では、歌を歌ったり、楽器の演奏を学んだりしているので、この冊子の丁度中に見開きのページがあり、そこに次のグラフ、図、表を載せた。(図3、図4)

## 声楽と楽器の基本周波数の範囲の図

### 特殊な撮影法で撮影した音の波面の図

この図は岡山操山高等学校教諭加藤文夫、岸本堯両氏撮影による図を使用させて頂いた。<sup>8)</sup> 図の下に、物差しを目盛りを入れ、波長を測るように指示した。室温を記して、音速、振動数を求める問題にすることも可能である。

人の耳の感度曲線

音程と和音の表

自然音階と平均音階の表

和音が振動数の簡単な比の場合に生ずること、音階が簡単な整数比になっていることを、この表を用いて説明した。また、和音は西洋で見いだされ、東洋では見いだされなかったという話を、本学部元教授の岩河三郎氏に聞いたことがある。弦楽器の弦の長さや音階の関係が、ピタゴラス学派の学者によって、研究されたこと<sup>9)</sup>を話し、西洋人は芸術を科学的にも研究したのに対し、東洋人は、それをしなかったことが、科学技術で、東洋が西洋に遅れを取ったことと、あい通ずるものと考えられることを話した。このことから、学生にも、音楽は好きだが、科学的な学習・研究は嫌いということのないよう、注意した。

ウ 裏表紙にピアノ演奏の図を載せ、問題が全部できるようになったら、妙なる音が出ているように、書き加えるように指示した。図2の中央部のピアノ演奏の図が予め印刷されており、周辺の音符は、女子学生が書き加えた例である。

エ KRと再度見直す必要の有無を示すのに、音符の記号を用いた。

回答の正否は、普通○×△で表示するが、おもしろ味が無いので、ここでは音符の記号を用いた。当初は、4分音符の記号を印刷しておく。

問題を解いて、

(ア) 正解であった場合 16分音符にする。(問題を解くのに、短時間で済んだという意味で、短時間の音符にする。)

(イ) できたが、曖昧さが残る場合 8分音符にする。(解くのに少し時間がかかったという意を含む)

(ウ) 分からない、または誤っていた場合 付点4分音符にする。(解くのに長時間かかったという意を含ませる。)

(3) 学力の定着を図る。

ア 1ページ、3問解く毎にKRする。

ブックレットによるプログラム学習では、1ページに1問しかないので、1問解くとすぐKRが行われるが、ここでは3問解く毎にKRを行うことになる。

イ 誤り、または分からなかったことは、正答をよく読んで、必ず赤鉛筆で訂正または補足させる。

この場合、意味をよく理解することが必要で、意味を理解せずに丸写しをしないよう、注意した。

ウ できなかった問題、自信の持てない問題は、後日再度行い、定着を図る。

KRで16分音符になっている問題はとばして、付点4分音符、8分音符の記号になっている問

題は再度行う。2回目は、1回目の回答欄を折り返したままにして置き、正解や前回の回答が見えないようにして、2回目の回答欄に答を記入する。折り返し部分を左へめくれば、略解と比較できる。

3回目は、問題のページと、3回目回答記入欄のページだけが見えるようにして回答する。そのあと、折り畳んだ部分の下の正答欄を見るか、あるいは2回目の回答と3回目の回答を比較してみてもよい。後者の場合、赤線で訂正・補足した部分と比較してみると、今度はできたとか、また同じ所を間違えたとかがよく分かり、記憶を確かにするのに役に立つ。

4回目をする必要があるときは、問題のあるページだけが見えるようにして、4回目回答記入欄に、答を書き、次のページが見えるようにすると、3回目、2回目の回答が見え、4回目と比較できる。同じ誤りを繰り返している場合は、そのことがよく分かるので、記憶を確実にするのに役立つ。

### 3. 問題と冊子の作成及び実施

#### (1) 問題と略解

問題は、小学校教員として、このくらいは知っておいて欲しいと思うものを厳選した。探究学習が始まる前、中学校で教えていた内容がほとんどで、18問とした。正答は説明のためには詳しい方がよく、正答できなかった場合に、回答欄に補足する場合は簡単な方がよい。ここでは紙面の都合もあり、簡単明瞭にと心がけた。そのかわり、1回目が済んだ後、授業時間に補足説明した。

#### (2) 印刷・製本

冊子の用紙は、裏の文字・図が透けて見えないよう、厚手の藁半紙を用いた。なお、3問毎に4ページで、18問で24ページとなり、表紙と、まん中の見開きの、解説部分を含めて28ページとした。

(3) 使用法は、音について講義をする前に、ひとまず自分で実施させ、講義時間に、演示実験や補足説明をした。冊子の2回目以後の学習は各自の判断に任せた。

(4) プログラム学習ではできないが、自分で実験した方がよいものは、休憩時間や放課後に、実験室で実験させた。その内容は次の通りである。

ア シンクロスコープで自分の声（アイウエオ）の波形を見せ、音色と波形の関係を知らせた。

イ ギター、バイオリンの弦の長さ、太さ、張力と、音の高さの関係を調べさせた。

ウ 多数のリソグラフ（印刷機の商品名）のインク容器の廃棄品（プラスチックの円筒）に水を入れ、気柱の長さを変えたものと音さで、共鳴の実験を行わせた。

### 4. 問題と使用例

図5は問題1の第1回目の回答を書き、右側のページを左へめくり、半分を折り返したときの例を示す。左から、問題、学生の書いた回答、正答（略解）が見え、回答と正答を比較し、修正、補足できる。この時点では、正答の右の、第2回の回答欄は記入されていない。折り返した部分を右へめくれば、1回目の回答・正答は見えなくなり、2回目の回答は右端に書く、折り畳んだ部分を左へめくれば、1回目の回答と正答が見える。

問題 2 以降は問題と正答（略解）のみを記す。（図 6～図 11）

## 5. 実施後のアンケート

実施後のアンケートは、初等科理科（教科専門科目）の履修者 106 名について行った。その質問と回答の集計及び主な感想・意見は、次の通りであった。

### (1) 問題数は適当か。

多過ぎる	10%
適当	88%
少なすぎる	2%

ほとんどの者が適当と答えたが、多すぎると答えたものが丁度 1 割あった。

特に感想を書いたものはなかった。

### (2) 問題の難易度はどうか。

難しすぎる。	34%
適当	66%
易しすぎる。	2%

〈感想〉 やさしかったとは思わないが、もう少し専門的なことまで知っておくべきだと思う。

物理を高校でやっていなければ、難しいと思う。

気柱の振動など、全く習っていないので、難しすぎた。

レベルが高すぎる。でも、この程度の知識は必要と思う。

難しすぎて、1 回やると大変疲れる。以前勉強したことがあっても、忘れていることが多い。それを思い出させる程度のものを。

### (3) 略解の詳しさはどうか。

もっと詳しく。	48%
適当。	43%
もっと簡単に。	6%

〈感想〉 一番大事なところを、太字にするとかで表わして貰えたら、もっと詳しく答が書いてあってもよいと思います。

語句の意味の分からないものがあつた。

答と解説を分けて欲しい。

### (4) 表紙に音の文字の謂を示したがどう思うか。

有った方がよい。	62%
無い方がよい。	4%
どちらでもよい。	34%

〈感想〉

興味を持った人は多いだろう。

国語の勉強にもなった。

(5) 表紙の絵は、音が重要なことを示したが、どう思うか。

よい。 58%

よくない。 5%

どちらともいえない。 37%

〈感想〉 会話が音＝声に関係するとは思いつけなかった。

もう少し明るい、POPな感じの、今風の絵であった方が、見て楽しいと思う。

変に漫画的な絵よりは、すっきりしていて、ずっと良いと思う。

トータル・イメージ的にまとめて描いたらどうですか。

写真にしたほうがよい。

会話・楽器の他にも、自然が出す音などを取り入れてもよかったのではないかな。

オーケストラの様子にすればよいと思う。

なかなか可愛くてよい。しいて言えば、「音の実験の様子」など、中の内容に即していたら、もっと親しみをもって取り組めるかも知れない。

単調過ぎて、インパクトがない。

堅いイメージはとれると思う。

余りごてごてしたものよりも、すっきりしていて、飽きないからよい。

楽しそうでない。

図の横に、振動数の違いを表わしてみてもよいと思う。

学生によい案を提案させた。ファンタジーな絵の提案もあったので、それらを参考にして、よいデザインに改めたい。

(6) 回答を書いたらすぐ折り返して、正解（略解）と比較してみることは、どう思うか。

よい。 96%

しない方がよい。 4%

どちらでもよい。 0%

〈感想〉 先生の工夫と熱心な取り組みが感じられた。

不精な私には、いたれりつくせりという感じで、とても便利で使いやすかった。

とてもやりやすかった。

とても良い方法で感心しました。

すぐに回答を見ってしまうからよくない。

(7) 赤で修正・補足することをどう思うか。

よい。 95%

よくない。 1%

どちらともいえない。 4%

〈感想〉 出来なかったことがよく分かり、むきになった点は良かったが、1回目はほとんど赤で、悲しかった。

(8) 正答か、誤答かを示すため、音符の記号に点や線を書き込むようにしたが、どうおもうか。

よい。 75%  
よくない。 12%  
どちらともいえない。 13%

〈感想〉 ユニークなアイデアでよいと思う。

先生の発想がすばらしいと思いました。

音楽好きで、よく音譜を見るので、親しみが持てた。

(9) 正答か、誤答かを示すため、音符の記号に点や線を書き込む方法と、従来通りの○×△の方法とどちらがよいか。

音符がよい。 59%  
○×△がよい。 21%  
どちらともいえない。 20%

〈感想〉 ○×△の方が見やすいが、音に関してということであれば、音符も楽しい表現であると思う。

どちらでもよいと思うが、○×△の方がはっきりして書きやすい。いままでこのやり方になれているせいだと思います。

(10) 問題が全部できるようになったら、裏表紙のピアノ演奏の図を、妙なる音が出ているように、書き加えるのはどう思うか。

よい。 69%  
よくない。 6%  
どちらともいえない。 25%

〈感想〉 (音のでる表現をするということについて) そんなユーモアが隠されていたとは…。

オルゴールか、蓄音器から音がでているようにするのはどうでしょう。

女の人はロングヘアの方がよい。

(11) 休憩時間に実験を行い、自分の声の波形を見たり、楽器の弦の張り具合と音の高さの関係を調べたり、気柱の共鳴の実験をしたことをどう思うか。

する方がよい。 87%  
しないほうがよい。 2%  
どちらともいえない。 11%

〈感想〉 有った方が絶対によいし、機会を増やすべきだと思う。

いろいろな道具を用いての実験はとても楽しかったです。

実験は皆面白かった。特にオッシロスコープで声の波形を見たのは面白かった。

話を聞いただけでは分からないので、やった方がよいと思う。

## 6. あとがき

1989年度に先ず実施し、1990年度は、音符による記号、まん中の解説部分の図など一部手直した。まだ改善しなければならないことも多いと思われるので、ご意見をお聞かせ頂ければ幸いである。印

刷・製本は、今回も教務員の源田智子さんのお世話になった。感謝の意を表する。

#### 参考文献

- 1) 橋高嘉弘、「小学校教員養成課程の理科教材研究における音の指導」、山口大学教育学部研究論叢 第33巻 第3部、1984
- 2) Project Physics, Programmed Instruction Booklet, Holt, Rinehart and Winston, 1975
- 3) 橋高嘉弘、「学力の定着をめざすプログラム学習教材――光について」、日本科学教育学会第10回年会論文集、1986
- 4) 橋高嘉弘、「小学校教員養成のためのプログラム学習――力学について」、山口大学教育学部研究論叢 第38巻 第3部、1988
- 5) 橋高嘉弘、「小学校教員養成のためのプログラム学習――音について」、日本物理学会第45回年会講演予稿集、1990
- 6) 藤堂明保、小学生の漢字はかせ、学燈社、1980
- 7) 藤堂明保編、学研漢和大辞典、学習研究社、1978
- 8) 加藤文夫、岸本堯、「波形の波面を見る」、科学の実験 Vol.23、No.3、共立出版KK、1972
- 9) 安孫子誠也、「歴史をたどる物理学」、東京教学社、1985



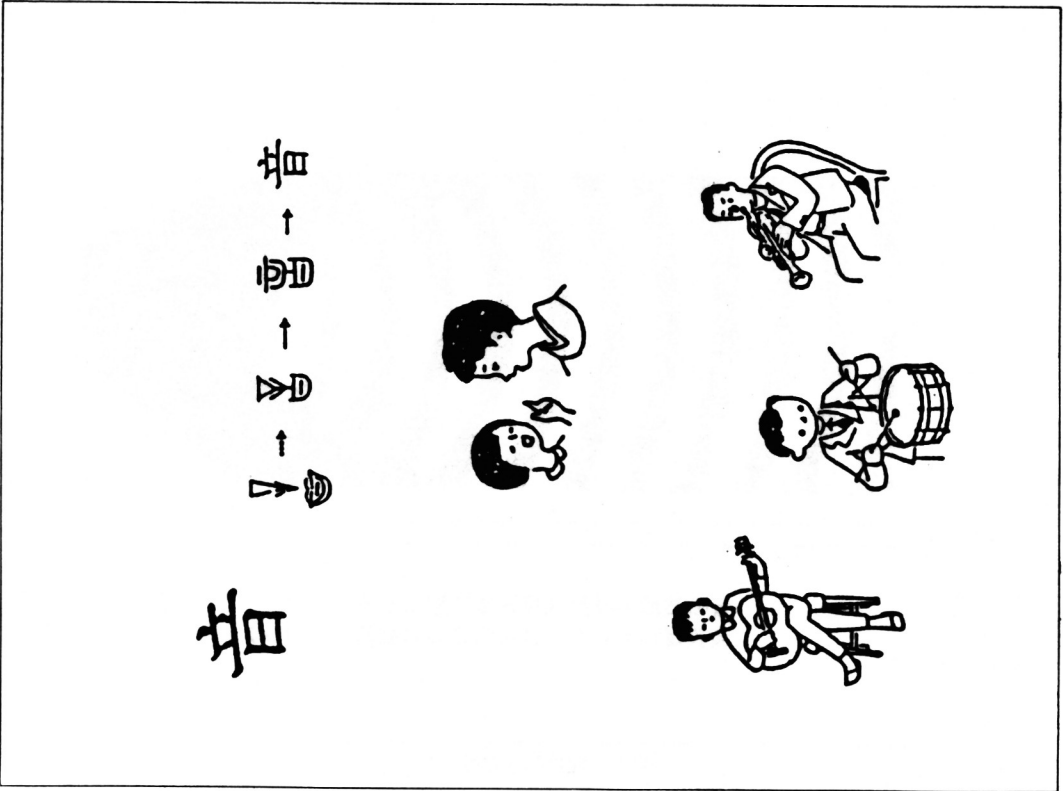


图1 表 紙

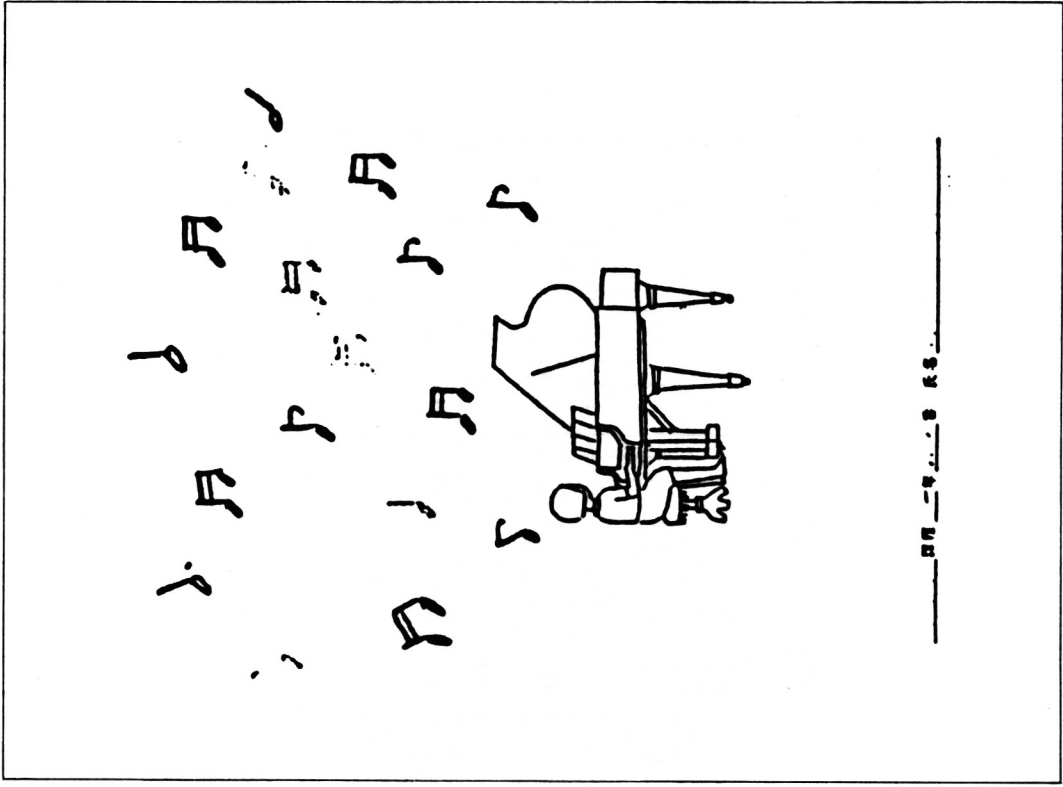
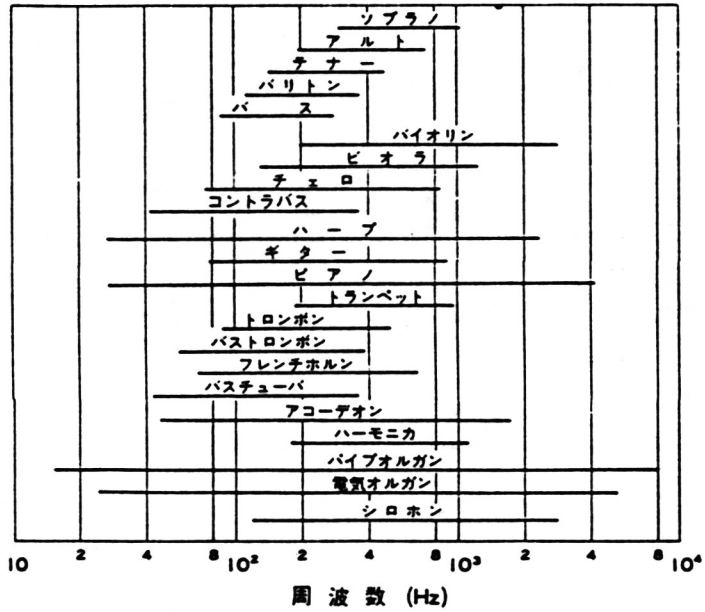


图2 裏表紙

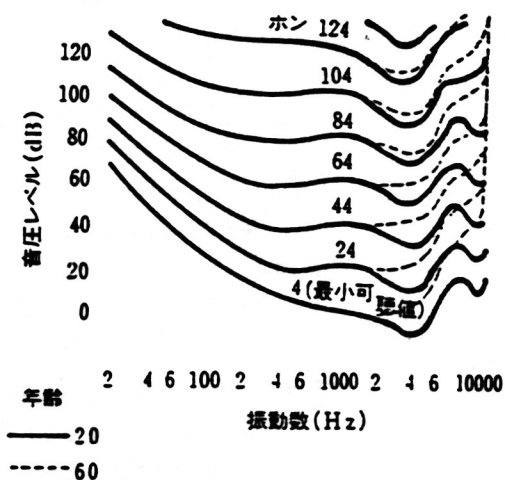
声楽および楽器の基本周波数の範囲



音の波面の写真 (特殊な方法による)  
 波長はいくらか。(ものさしの目盛は10cm)

図3 中程見開き左ページ

ロビンソン・ダットソン等感曲線



音程と和音

振動数の比	音程名	和音名
1 : 1	(完全)1度	絶対協和音
2 : 1	(完全)8度	・
3 : 2	(完全)5度	完全協和音
4 : 3	(完全)4度	・
5 : 3	長 6度	中間協和音
5 : 4	長 3度	・
6 : 5	短 3度	不完全協和音
8 : 5	短 6度	・

平均律音階と自然音階の違い、振動数比

音名	ハ(D)	ミ(F)	ソ(G)	ラ(A)	シ(B)	ド(C)	レ(D)	ミ(F)
自然音階	1.000	1.125	1.250	1.333	1.500	1.667	1.875	2.000
平均律音階	1.000	1.122	1.260	1.325	1.498	1.682	1.888	2.000
振動数 (Hz)	261.63	293.66	329.63	349.23	392.00	440.00	493.88	523.25

※振動数が絶対的に定まっているわけではないが、現在、国際的にイ(一オイ)の音の振動数を440(Hz)に定めている(万国標準高度)

図4 中程見開き右ページ

1 ↓ ↓ ↓ ↓

水の波の山、谷、振幅、波長、振動数、周期とは何か。

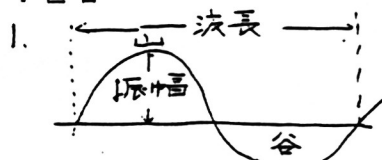
2 ↓ ↓ ↓ ↓

波長を $\lambda$  (ラムダ)、振動数を $f$ とすると、波の伝わる速さ $v$ はいくらか。

3 ↓ ↓ ↓ ↓

音波は、どのようにしてでき、周囲に広がるか、太鼓をたたいたときの例で説明せよ。

1 回目



山: 波の盛り上がった部分の頂上

谷: くだんだ部分の底

振幅: 振動の中ばから山、

または谷までの距離。

波長: 山から隣の山までの距離  
(谷から隣の谷までの距離)

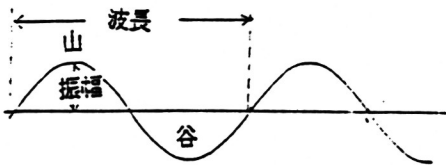
振動数: 水が1秒間に上下に  
振動して元に戻るまでの  
回数、(1秒当たりの振動回数)

周期: 水が上下に1回振動して  
元に戻るまでの時間  
(1回の振動にかかる時間)

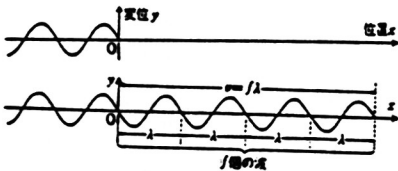
2. 
$$v = f\lambda$$

3. 太鼓を叩くと皮がくぼみ、その近くの空気が希薄になる。それによって周囲の空気が寄ってくるのび希薄な部分が周囲に広がる。次に太鼓の皮の弾力により皮が外に膨らむので、その近くの空気は密になり、密な状態が周囲に広がる。太鼓の振動が繰り返るので、空気の粗密・粗密...の波が球状に広がっていく。

図5 1回目回答を正答と比較 (左側ページ)



- 山：波の盛り上がった部分の頂上
- 谷：くぼんだ部分の底
- 振幅：振動の中心から山、または谷までの距離。山から谷までの距離ではない。
- 波長：山から隣の山までの距離（谷から隣の谷までの距離も同じ）。
- 振動数：水が1秒間に、上下に振動して元に戻るまでの回数（1秒当たりの振動回数）
- 周期：水が上下に1回振動して、元に戻るまでの時間（1回の振動に要する時間）



上の図の状態から、1秒間に、波が  $v$  (m) だけ右に進んだ(下図)とすれば、その速さは  $v$  (m/s) である。また、この間に波が  $f$  (1/s) だけあるので、波長を  $\lambda$  (m) とすると

$$v = f \lambda$$

となる。

太鼓を叩くと、皮がくぼみ、その近くの空気が希薄になる。それにむかって周囲の空気が寄ってくるので、希薄な部分が周囲に広がる。次に、太鼓の皮の弾力により、皮が外に膨らむので、その近くの空気は密になり、密な状態が周囲に広がる。太鼓の振動が続くので、空気の粗・密・粗・密…の波が球状に広がっていく。

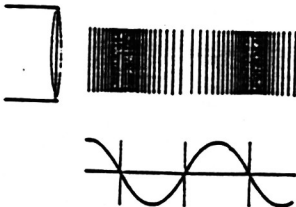


図5 1回目回答を正答と比較(右側ページ)



10 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓

倍音(整音)と基音は何か違つか、音高は同じでままするか。

11 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓

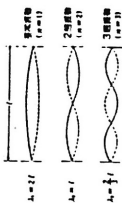
弦の振動で、基本音、倍音について説明せよ。

雑音：不規則な振動や互いに間隔のない間歇をもちつつ振動が同時に起きる場合の音  
雑音：規則正しく、一定の周期を持つ振動が継続して起きるときの音



音色は音波の波形(基本振動の倍音の含みかた)でままする。

両端を固定した弦の中央を弾くと基本音がでる。弦の中央を整く抑えて、弦を振動させると、2倍音がでる。以下、同様にして、3倍音、4倍音がでる。



弦楽器の出す音の高さは、基本振動数でままする。音色は倍音の含み方でままする。

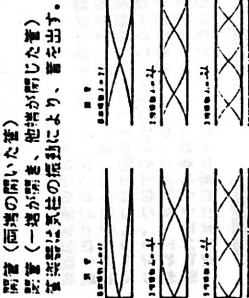
12 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓

弦楽器の音は次のものを変えるとどのようになるか。(他の条件は変えない。)  
弦の高さ  
弦の長さ  
弦の太さ  
弦の張力

13 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓

弦の振動で、基本音、倍音について説明せよ。

開いた端では空気が大きく振動するが、閉じた端では空気が振動しない。図のように、基本音と、倍音の振動の大きさを典型的に示すもので、実際には両者の長さを同様に振動する。)



14 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓

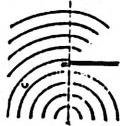
音の反折の例をあげよ。音はどのように反折するか。

例：やまびこ、送達物の反折、反折の法則、入射角=反射角

15 ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓ ↓

音波は反折するか。

音波は反折する。図のように障害物があっても、その後方に広がっていく。



16 ♪ ♪ ♪ ♪ ♪  
音域は屈折するか。

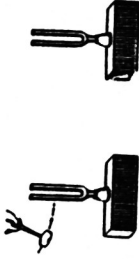
音域は屈折する。下の左図は昼間、地面が熱せられて、高温となり、上空が底層の場合の模型図で、下の方が音が速く伝わり、上の方が遅く伝わるので、波面が円の螺旋状のようになる。音域は波面に垂直に進むので、円の太線のように、上の方に屈折する。このため、地上の遠方には音が届かない。

下の右図のように、夜、土地の温度が下がると、下の方の気温が下がり、音の進む向きが変わって、遠方にも音が伝わるようになる。

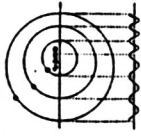


共鳴槽をつけた2つの音さ(振動数が同じもの)を図のようににおき、一方をたないて鳴らすと、しばらくすると、他の方がなり出す。この現象を共鳴という。振動数が同じときほど響き合ひ、共鳴しない。参考：弦楽器の胴、シロホンの下についている円筒なども、共鳴の原理を用いている。

17 ♪ ♪ ♪ ♪ ♪  
共鳴について説明せよ。



たとえば列車が空を鳴らすながら、近づいてくるときは、止まっているときに出べて、音が高く、遠ざかるときは低く聞こえる。これは図のように、音源が動きながら音を出すと、音の波長が短くなったり、長くなったりして、耳にはいる音の振動数が変化しやすくなる。



18 ♪ ♪ ♪ ♪ ♪  
ドップラー効果とは何か。