

感覚に基づいた音の授業とその達成度評価

川野 和 昭〔鹿児島県立吹上高等学校〕・三 仲 啓〔鹿児島大学教育学部(理科教育)〕

Sound Education and Its Evaluation of Achievement Based on Sensations

KAWANO Kazuaki・MINAKA Akira

キーワード：音の物理、液晶プロジェクタ、オシロスコープ、シンセサイザ、ヒアリングテスト

1. はじめに

物理学的に日常の事象を理解するためには、一般的な法則と具体的な現象を結びつける能力が必要である。その際には現実の複雑な現象の中から本質的な部分を抜き出してモデル化する能力が必要となるが、ここではモデルの部品とでも言うべき基礎概念を理解している必要がある。数式を使って定量的に理解することは、さらに高度な能力になる。例えば落体の運動を考えると、その物体の質量や重力加速度、空気の抵抗力などから運動方程式を求める。しかし、質量や加速度が理解できていない者にはこれは全く意味がない。また、落体の運動を意識的に観察したことが無ければ、法則や計算結果に納得することもできない。

まずは現象を知っていること、次に基礎的な概念に十分なイメージを持っていることが必要不可欠であり、これは言葉による説明だけで獲得できるものではない。幼少期からの自然体験が少ない現在の生徒には、まず現象を体験させることが重要である。先の落体の例では、落体にストロボを当てて見せる演示実験でもよい。これは、変位や速度の時間的変化を理解する助けになるだろう。

逆に、基礎概念に対して十分豊富なイメージを持っておれば、実験・観察は省略することもできるが、実際にはこのような生徒は極めて少数であるのが現実である。

本稿では、数理的基礎力の乏しい高校生を対象に、可能な限り視覚や聴覚に訴えることに留意した「音」に関する授業を計画し、実践した結果を考察する。ここでは数時間の授業を行った後に、グラフの提示と聴音による試験を行い、基礎概念の定着度および本カリキュラムの有効性を評価し

た。

次章では、高校の物理教育における音分野の扱いや先行実践について簡単に述べる。3章では授業で使用した簡易シンセサイザとオシロスコープを紹介し、4章では授業の実際と授業後に行ったヒアリングテストとアンケートの結果を示す。最後に、結論と今後の課題などをまとめる。

2. 高校物理における音の扱い

(1) 指導要領の変遷

高校の物理教育は指導要領の変遷に大きく影響を受けてきたが、大きな転換点は1978年公示のものであった。「物理」を必修としなくなったこの指導要領下で、8割台であった物理の履修率は4割弱に下がり、それ以後回復していない。これは、高校物理教育にとって憂うべき問題ではあるが、もはや指導要領で必修化することより、高校物理教育の大衆化が急務である。[文献1-3]

1989年公示の前学習指導要領の「物理ⅠA」は高校物理教育の大衆化の第一歩と思われたが、1999年公示の新学習指導要領ではなくなった。実験・観察などが強調されているのはよいが、内容の多さに比べて時間数が少ないという問題はさらに深刻になっている。特に、現在の生徒には実験・観察が不可欠であるので、それを実現できるカリキュラムが必須である。

本稿で扱う「音」を含む波動分野は、新学習指導要領の「理科総合A」には含まれておらず、選択科目である「物理Ⅰ」のみで取り上げられている。波動の内容は、従来よりも数式の扱いを少し減らしているが、これはむしろ歓迎すべきことと考える。現在の高校生には、まず体験に基づく感

覚的な理解が必要と思われるからである。

(2) これまでの実践例

音を体験しながら学習する授業としては、Lafayette Collegeにおける教養部の文科系の学生を対象とした「音楽の物理」[文献4]や、Bates CollegeにおけるリアルタイムFFTスペクトラムアナライザを用いた実験を主体とした講義[文献5]などが報告されている。これらは、十分な時間をかけて学生に実験を行わせ、音を合成させる実習まで含むものであり、効果は大きいと思われるが、これをそのまま日本の高校で実施するのは難しい。

日本の高等学校でも熱心な教師は、授業でオシロスコープを用いて音を感覚的にとらえさせることを行っていたが、オシロスコープの画面が小さいため、大勢の生徒に観察させるには不都合が多かった。

ここでは、シンセサイザやオシロスコープの画面を液晶プロジェクタにより投影することにより、視覚と聴覚に訴える音の授業を行い、さらに達成度評価も感覚に基づいたものとする試みを行ったので、その報告をする。波動の単元の導入として、評価まで含めて全5時間のカリキュラムを考えた。その中では、従来の高校物理の内容に比べるとやや高度であるが、非調和的倍音にも触れている。

3. 使用する教材・教具とその特長

(1) 簡易シンセサイザ

音を視覚的、聴覚的に捉えることができるツールの1つとして簡易シンセサイザを開発した。既存のものは高機能であるが教育用には不都合な点が多いので、C#言語で自作することにした。[文献6]

図1は簡易シンセサイザプログラムの初期画面である。このシンセサイザの主な機能は、任意の振動数の正弦波を任意の振幅で加算し、簡単なエンベロープの指定を行い、その波形を表示するとともに音を出すものである。各倍音の振動数や振幅をスライダまたはカーソルキーで指定することにより、あらゆる音が表現できる。倍音は10倍音までとし、初期状態では、基本振動数(440Hz)

の整数倍の振動数をもつ調和的な倍音系列が表示される。

手動で様々な音色を作ることに、いくつかの楽器の理論的倍音構成[文献7-9]を組み込み、メニューから選べるようにした。この中には、グロックンのように非調和的な倍音を持つものもある。

ノート型コンピュータでこのシンセサイザを実行し、その画面は液晶プロジェクタで投影する。また、コンピュータにスピーカーを直接接続することにより、教室全体に十分大きく美しい音を聞かせることができる。

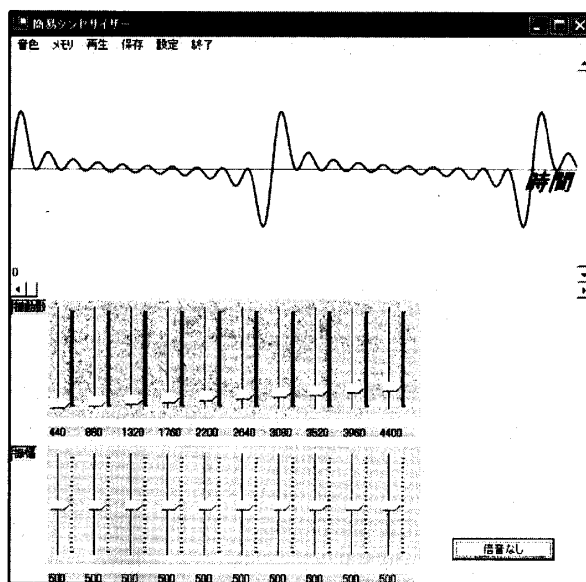


図1 簡易シンセサイザの初期画面

(2) オシロスコープと楽器

音を視覚的に捉えるためにオシロスコープは不可欠だが、本研究においてはKENWOOD TMI製のPCS-3200を使用した。これはコンピュータのUSB端子に接続できるタイプで、液晶プロジェクタを用いて画像を大きく表示する事ができ演示用に最適である。また、付属の「Soft Scope」というソフトで取り込んだ波形をBMPやJPGファイルとして出力する機能もあり、資料作成にも便利である。

マイクroフォンは、アンプ無しでも十分な出力がある旧式のクリスタルマイクを使用し、オシロスコープに直接接続した。

楽器としては、

- ・リコーダー、トランペット

- ・グロッケン, 小太鼓
- ・ギター

を準備した。図2はリコーダー, 図3は小太鼓の波形である。トリガレベルを適切に設定し, トリガがかからなくなったときにHoldにすれば, 雑音により乱されことなく波形を固定して見せることができる。

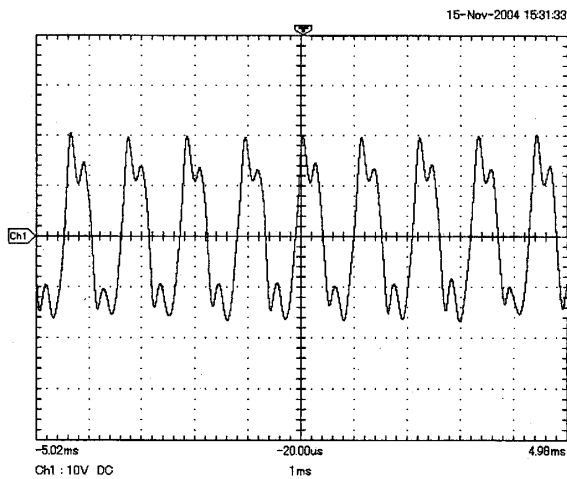


図2 リコーダーの波形

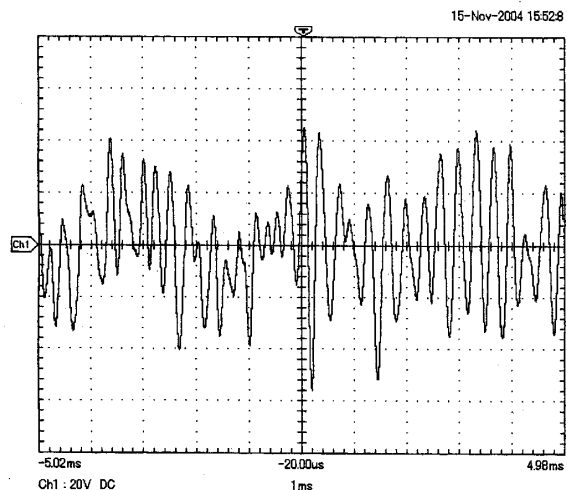


図3 小太鼓の波形

4. 授業の実施と達成度評価

(1) 授業の実際

2004年度および2005年度に鹿児島県立吹上高等学校の2学年全3クラスにおいて「音の科学」の授業を行った。人数は2004年度が男子86名, 女子32名, 計118名, 2005年度が男子91名, 女子20

名, 計111名である。指導計画の概略は表1に示す通りである。(指導案の一部を付録1に示してある。)

シンセサイザは2, 3, 4時間目に, オシロスコープは2, 3時間目に使用した。また, 1時間目には縦波を横波表示するシミュレーションプログラムを使用した。

表1 「音の科学」指導案概略

時数	タイトル	内 容
1	音とは	① 音を伝えるもの
		② 波動
		③ 音は縦波(疎密波)
2	音の強さ 音の高さ	① 音の強さと振幅
		② 音の高さと振動数
		③ ドップラー効果
		④ 共鳴とうなり
3	さまざまな音色 調和的倍音	① 音色と波形
		② 純音と倍音
4	弦による音	① 弦による音の強弱
		② 弦による音の高さ
		③ 弦による音の音色
5	テスト	ヒアリングテストによる評価

表2 ヒアリングテストの内容

問題番号	項 目
①	音の強弱(振幅)
②	音の高さ(振動数)
③	音色(純音と倍音を多く含む音)
④	リコーダーと小太鼓(楽音と騒音)
⑤	音の強弱(リコーダー)
⑥	音の高さ(リコーダー)
⑦	音色(理論的ギター音の撥弦位置の違い)
⑧	口笛と拍手(楽音と騒音)

(2) ヒアリングテストの実施と結果

授業後, ヒアリングテストを実施した。試験内容は, 表2に示すように2つの音を聞かせ, それぞれ2つの波形のグラフのいずれに対応するかを答えさせるものとした。実際に使用した解答用紙を付録2に示してある。音は放送設備を用いて流し

たが、サウンドファイルにしておけば、コンピュータにスピーカーを接続したものでクラス全体に聞かせることができる。

ヒアリングテストの結果は図4の通りで、(a)は2004年度の、(b)は2005年度の実施結果である。

まず注目すべき点は、誤答率がかなり低いことである。授業で行った内容ではあるが、予想以上の好成績であり、これは2年間にわたり同様であった。

グラフを見ると明らかだが、問題⑦の誤答率が他と比べて高い。これは、ギターの撥弦位置によって変わる音を波形で識別する問題で、一般にはかなり難解な問題に属するだろう。それでも正答率は78%であるから、二者択一問題であることを考慮すると、約半数の生徒が倍音の振幅が微妙に異なるときの音色と波形を正しく認識できたことになる。

また、図5は得点分布を示したものである。ここでも実施年度による差はあまり見られない。結果は予想を遥かに超える好成績で、全問正解者が全体の6割で、1問だけ間違った生徒を入れると9割を超えるなど、かなりの高得点率であった。この結果を見る限り、感覚を重視した「音の科学」の授業は概ねその目的を達成することができたと考えられる。

(3) 授業後のアンケート調査

「音の科学」の授業を行った全クラスでアンケートを実施した。図6、図7は結果の一部である。理解できたか問う質問では、「できた」「ややできた」を合わせていづれも7割以上である。また、「物理」に対するイメージについて「大きく変わった」「変わった」を合わせていづれも約3分の1である。従来の理科の授業からすると、興味・関心、理解度ともにかなりよい結果が得られたと考えられる。

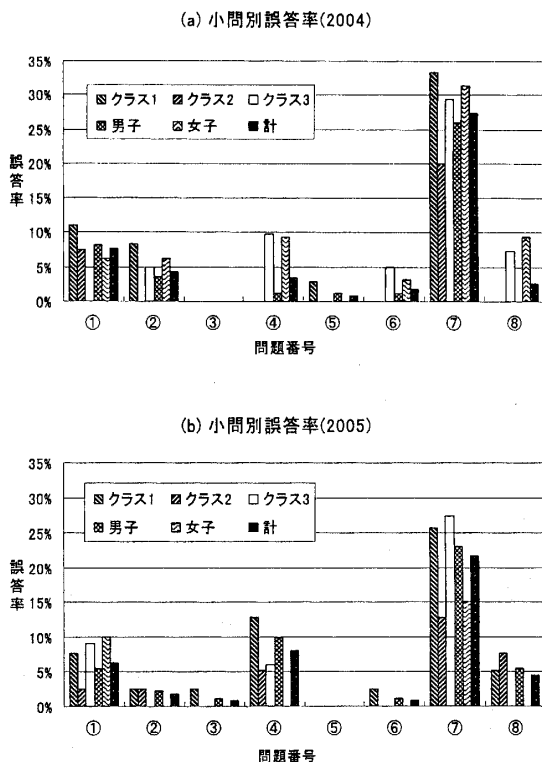


図4 小問誤答率
(a)2004年度 (b)2005年度

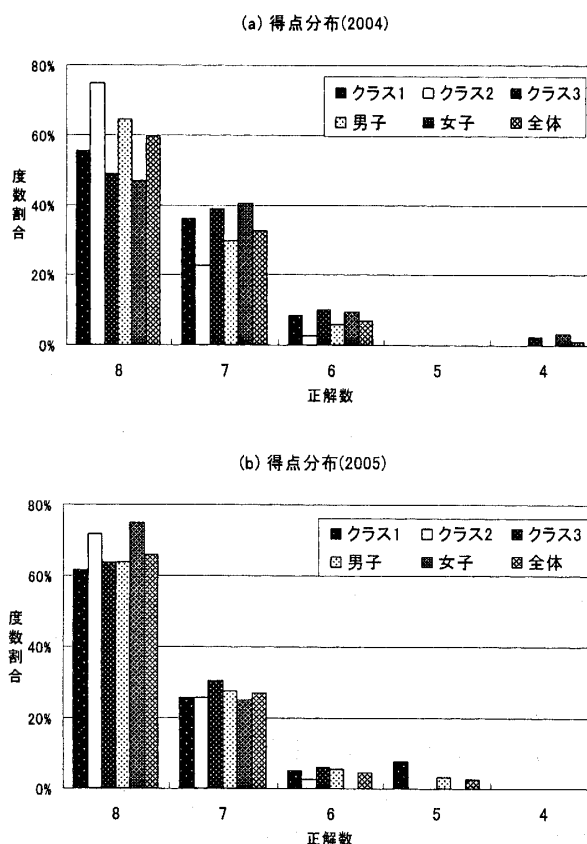


図5 ヒアリングテストの得点分布
(a)2004年度 (b)2005年度

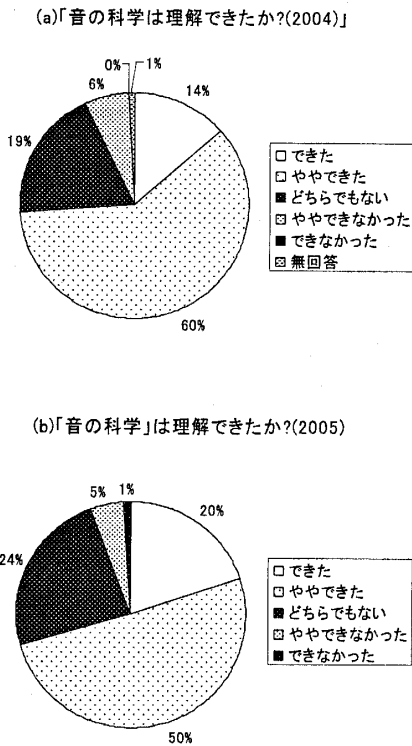


図6 「音の科学」は理解できたか？
(a)2004年度 (b)2005年度

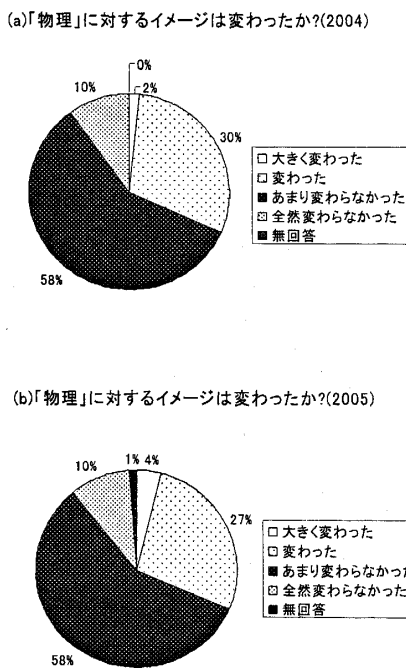


図7 「物理」に対するイメージは変わったか？
(a)2004年度 (b)2005年度

5. おわりに

以上で述べたように、視覚と聴覚に基づく音の授業を計画し、実施したところ、きわめて良好な結果を得た。

冒頭で述べたように、物理の理解に感覚を通じた体験は必要不可欠な場合が多い。この授業は専門高校において行ったが、感覚を重視した授業を行うことにより学力に関わらず学ぶことができることがわかった。一方、大学進学者が多い高等学校においても、視覚・聴覚に基づく授業は有効であると考えられるので、より多く取り入れて行く必要があるだろう。

ここで行った授業の問題点としては、以下の点が挙げられる。

初年度は1時間目に公式等をかなり詰め込む形になっていたため、生徒の授業に対する当初の関心が低く、アンケート調査でも1時間目で興味を失っていたことが分かった。そこで、2年目の授業はかなり定性的な内容に改めて行った。しかしそれでも1時間目に対する生徒の興味・関心は低く、さらに大胆に授業構成を変える必要があるであろう。

また、楽器などの準備に手間がかかることも問題点として挙げられるかもしれない。この点に関しては、いくつかの楽器を演奏している映像とオシロスコープの画面とを合成した映像教材で代用することが考えられる。臨場感は下がってしまうが、効率化のためには、このような映像教材の開発も重要であると思われる。

「音」は高校物理の内容からすればごく一部に過ぎず、「光」等の他の波動分野を始めとして、感覚を重視した授業の応用範囲は広い。今後は他の分野でも同様な試みを行っていきたい。

本稿は、筆者の一人の修士論文〔文献10〕を要約し、新しい実践データを追加したものである。

参考文献

- 1) 広井禎「高校物理履修者の大きな減少」, 物理教育Vol. 31, No. 4, 240 (1983)
- 2) 唐木宏「高校物理教育の危機」, 物理教育 Vol. 38, No. 3, 163(1990)
- 3) 笠耐「授業を創造して, 交流の輪を広げていこう」, 物理教育Vol. 37, No. 2, 135(1989)
- 4) G. L. Hoffman and I. Jouny, "Using music to teach physics", Am. J. Phys., vol. 64, 1304 (1996)
- 5) J. E. Smedley, "Spectrum analysis for introductory musical acoustics", Am. J. Phys., vol. 66, 144(1998)
- 6) 小野修司「これからはじめるVisualC#. NET 入門編」秀和システム(2002), C. Petzold「C#によるプログラミングWindows上下」日経BPソフトプレス (2002)
- 7) N.H. フレッチャー, T.D. ロッシング「楽器の物理学」シュプリンガー・フェアラーク東京 (2002)
- 8) 三仲啓「ギターにおける弦の振動と楽器音の関係」鹿児島大学教育学部研究紀要, 自然科学編, Vol. 49, 17(1998), 吉岡信裕「弦の振動の物理的解析」鹿児島大学教育学部卒業論文 (1983)
- 9) J. W. S. Rayleigh, "The Theory of Sound", Dover (1945), 原本はMacmillan (1894)
- 10) 川野和昭「感覚を重視した音の授業とその評価」鹿児島大学大学院教育学研究科修士論文 (2005)

付録 1 学習指導案（「音の科学」3 時間目）抜粋

1. 単元設定の理由

理科の中でも物理分野は、初めから難しいという先入観で敬遠されることが多い。このような状況下においては、日常生活の中で体験する身近な事象に密接に関連する分野を初めに履修させることが効果的である。この単元は物理分野の学習への円滑な導入を目的として設定した。オシロスコープ画面をプロジェクタで投影すること、自作の簡易シンセサイザを使用することを特徴として構成している。

2. 単元の目標

身近な波動現象である音をテーマに、その性質を観察、実験などを通して探究し、視覚的、聴覚的に音の基本的な概念や法則を理解させるとともに、それらを日常生活と関連付けて考察できるようにする。

3. 指導計画

第Ⅱ章
序節 「音の科学」(4 時間)

- ① 音とは (1 時間)
- ② 音の強さ、音の高さ (1 時間)
- ③ ささまざまな音色 (1 時間) 本時
- ④ 弦の振動 (1 時間)

4. 本時の実際

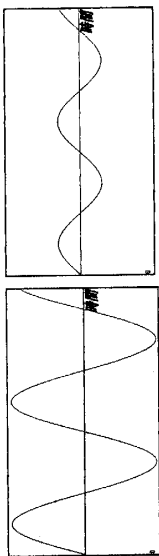
- (1) 本時の目標
- ① 音色の違いはオシロスコープなどで観察される波形によることを理解する。
 - ② 楽音の波形の複雑さは倍音構成で説明されることを理解するとともに、実際の楽音は調和的倍音だけでなく、非調和的倍音もあることを理解する。

(2) 授業展開

過程	学習活動	時間	指導上の留意点
導入	前時の復習	5 分	前時とのつながり示す。
展 開	① 音色と波形 ・様々な音を波形を観察しながら聞く。 (1) リコーダー (2) トランペット (3) グロッケン (4) 小太鼓 ・ワークシートに示した波形がどの楽器の音か解答する。	20 分	[関心・意欲・態度] ・オシロスコープを利用する。 [知識・理解] [思考・判断] [思考・判断] [技能・表現] ・それぞれの波形の特徴を指摘する。
	② 純音と倍音 ・音叉の波形をオシロスコープで観察する。 ・簡易シンセサイザで純音を聞き、波形を観察する。 ・簡易シンセサイザで倍音を重ねて調和的倍音を作る。 ・楽音と騒音の違いを確認する。 ・グロッケンの波形をサブプリングレートを変えて観察し、周期性を確認する。	20 分	[知識・理解] ・重ね合わせの原理は示してないが、簡単に触れる。 [思考・判断] ・楽器の種類により非調和性の強いものと弱いものがあることを指摘する。 [知識・理解]
終末	まとめ 次時の予告	5 分	授業のポイントを振り返る。

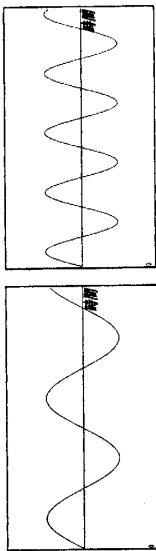
付録2 ヒアリングテストの解答用紙

① 下のグラフはこれから流す A、B、2 種類の音をあらわしたグラフです。(音を流す順番に並んでいるわけではありません) 放送を聞いて、それぞれの音を表すグラフに記号を書き入れなさい。



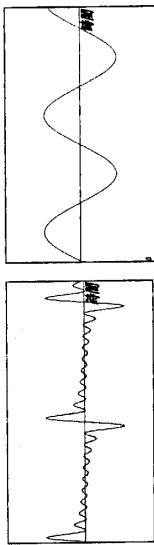
[] []

② 下のグラフはこれから流す A、B、2 種類の音をあらわしたグラフです。(音を流す順番に並んでいるわけではありません) 放送を聞いて、それぞれの音を表すグラフに記号を書き入れなさい。



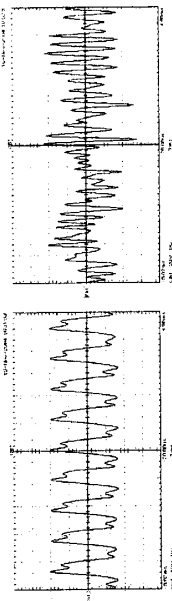
[] []

③ 下のグラフはこれから流す A、B、2 種類の音をあらわしたグラフです。(音を流す順番に並んでいるわけではありません) 放送を聞いて、それぞれの音を表すグラフに記号を書き入れなさい。



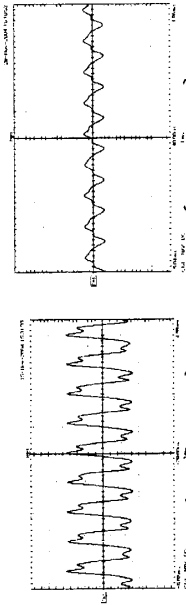
[] []

④ 下のグラフはこれから流す A、B、2 種類の音をあらわしたグラフです。(音を流す順番に並んでいるわけではありません) 放送を聞いて、それぞれの音を表すグラフに記号を書き入れなさい。



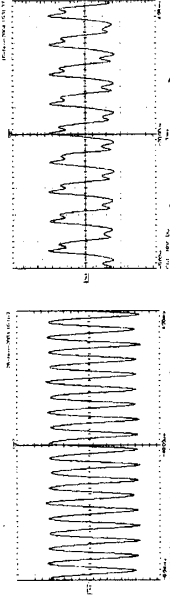
[] []

⑤ 下のグラフはこれから流す A、B、2 種類の音をあらわしたグラフです。(音を流す順番に並んでいるわけではありません) 放送を聞いて、それぞれの音を表すグラフに記号を書き入れなさい。



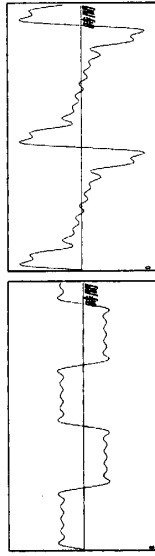
[] []

⑥ 下のグラフはこれから流す A、B、2 種類の音をあらわしたグラフです。(音を流す順番に並んでいるわけではありません) 放送を聞いて、それぞれの音を表すグラフに記号を書き入れなさい。



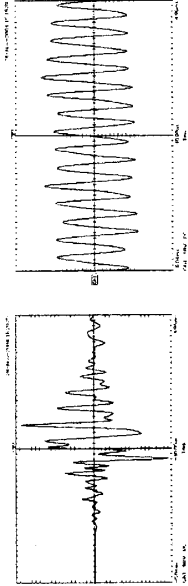
[] []

⑦ 下のグラフはこれから流す A、B、2 種類の音をあらわしたグラフです。(音を流す順番に並んでいるわけではありません) 放送を聞いて、それぞれの音を表すグラフに記号を書き入れなさい。



[] []

⑧ 下のグラフはこれから流す A、B、2 種類の音をあらわしたグラフです。(音を流す順番に並んでいるわけではありません) 放送を聞いて、それぞれの音を表すグラフに記号を書き入れなさい。



[] []