

医学基礎実験における音響教育「なんでもスピーカの製作」*

佐藤教昭*¹ 大野宏毅*² 戸上英憲*²
鳥巢伊知郎*³ 小林英幸*⁴ 門野敏彦*²

キーワード 教育実践, スピーカ, ボイスコイル, 周波数特性, 高速フーリエ変換

Education practice, Loudspeaker, Voice coil, Frequency characteristics, Fast Fourier transform

1. はじめに

産業医科大学では、医学部医学科 1 年生を対象に医学基礎実験のカリキュラムが組まれている。このカリキュラムは物理系、化学系、生物系実験で構成されており、おのおの四つずつのテーマを計 12 回行う。物理系実験テーマは、「パルスオキシメータの製作」, 「コンデンサの放電現象とその応用」, 「電解質溶液の電気伝導率の測定」 [1], 「なんでもスピーカの製作」である。学生は、1 班約 3 名からなり、三つの班が同時に同じテーマで実験を行う。教員側から見ると 3 班約 9 名に対して、同じ内容を 12 回繰り返して行うことになる。本稿では、2013 年度から始めた新たなテーマ「なんでもスピーカの製作」による医学生への音響教育について述べる。

本実験の目的は、以下のとおりである。iPod やステレオなどの音響機器から流れる音楽を耳で聞くためには電気信号を音波に変換しなければならない。スピーカの内部を覗く機会はほとんどないが、電気信号を音波=空気の振動に変える原理は、高校の物理で理解できる。どのような仕組みで電気信号を音に変えているのかを、実際にスピーカを製作することによって学ぶ(エナメル線を巻いて作ったコイルと磁石を用いたスピーカの製作についての詳細は、例えば [2] を参照)。

また、製作したスピーカからの音をマイクロホンで集音し、フーリエ解析することによって、一つに聞こえる音が実際には様々な周波数の音の重ね合わせであることを理解する。

2. 実験方法

2.1 コイルの製作—実験器具

- エナメル線 (長さ 2.5m・太さ 0.32 mm × 1 本)
- 工具 (ニッパ, 鉄の爪 (スクレーパ))
- フィルムケース
- テスタ

2.2 コイルの製作—作業手順

- エナメル線を用意された型 (フィルムケース) に巻いていく (図-1(a)); 巻き終わってから、エナメル線自身や糸を巻き付けるなどして、ばらばらにならないようにする
- エナメル線の両端を鉄の爪で削る (表面のコーティングを剥がす) (図-1(b))
- エナメル線の両端にテスタを接続して導通を確認する (図-1(c))

2.3 はんだ付け

エナメル線の両端を鉄の爪で削ると、その削り方によってはエナメル線両端がもろくなる。これを補強するため、見栄えをよくするため、更に、はんだ付け体験のために、当初は両端とビニール被覆線とをはんだ付けする作業も実験の一部として学生に行わせていた。作業手順は、以下のとおりであった。

- エナメル線の両端を鉄の爪で削った後、ビニール被覆線をはんだ付けする
 - 接続部分を熱収縮チューブで覆う
 - ドライヤの熱風により熱収縮チューブを固定する
- しかし、1 時間ほど余分に時間を取られることと、この作業自体は本質的でないことから、後半 3 分の 1 の学生からは、はんだ付けを省略した。

* Education on acoustics for medical students through fabrication of a voice coil as a loudspeaker component, by Noriaki Satoh, Koki Ohno, Hidenori Togami, Ichiro Torisu, Hideyuki Kobayashi and Toshihiko Kadono.

*¹ 産業医科大学共同利用研究センター

*² 産業医科大学医学部医学科物理学

*³ 産業医科大学医学部数学概論

*⁴ 産業医科大学医学部生体物質化学

(問合先: 佐藤教昭 〒807-8555 福岡県北九州市八幡西区医生ヶ丘 1-1 産業医科大学共同利用研究センター e-mail: satoh@med.uoeh-u.ac.jp)

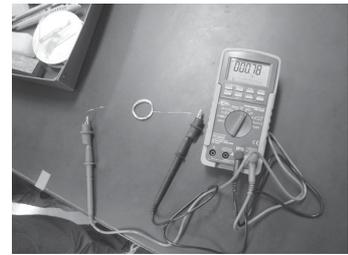
(2013 年 10 月 16 日受付, 2014 年 2 月 26 日採録決定)



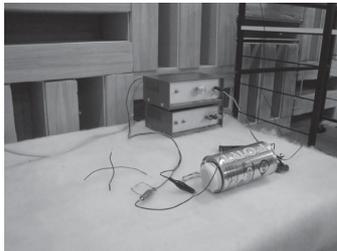
(a) エナメル線をフィルムケースに巻く



(b) エナメル線の両端を鉄の爪で削る



(c) テスターで導通チェックする



(d) テニスボール缶底にコイルを取り付け、磁石で固定、増幅器に接続



(e) 測定の様子



(f) 測定の様子

図-1 実験の風景

2.4 周波数特性の測定—実験器具

- 磁石 (KOKUYO フク-217)
- 増幅器・電源
- 小型マイクロホン (SONY ECM-PC60)
- ノートパソコン
- 周波数解析フリーソフトウェア WaveSpectra
- 基準音 MP3 ファイル
- プリンタ
- ガラス瓶, テニスボール缶など
- 定規
- 携帯音楽プレーヤ

2.5 周波数特性の測定—作業手順

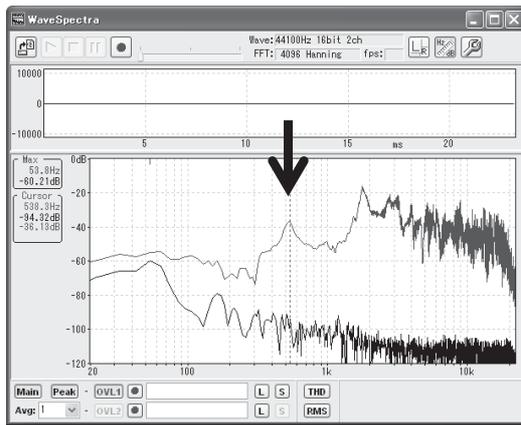
- 無響室に移動する
- テニスボール缶の底 (外側) にコイルを置き, その上から磁石をのせる; 磁石は缶にくっつきコイルが固定される
- コイルの両端を増幅器と接続する (図-1(d))
- 携帯音楽プレーヤと増幅器を接続し, プレーヤより音楽を再生する
- 増幅器のボリュームを調節し, 音が聞こえることを確認する
- 一定強度で周波数が連続的に変化する基準音 (スイープ音) を各自の携帯音楽プレーヤにコピーした後, その基準音を再生し, スピーカから音を出す
- 開口端付近にマイクロホンを設置して, 周波数解析フリーソフトウェア WaveSpectra を用いて周波数特性をパソコンで計測する (図-1(e), (f))
- 計測された複数のピークのうち, 最も周波数の低い

ピーク周波数 (基本周波数) を記録する

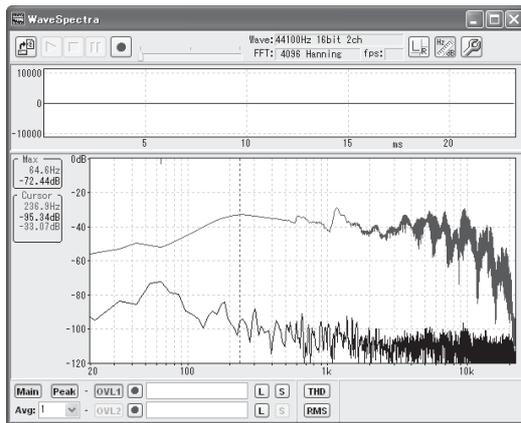
- ガラス瓶とアクリルパイプで同様のことを行う (これらの物質の底には磁石は付かないので, 手でしっかり固定する)
- テニスボール缶, ガラス瓶, アクリルパイプの深さをそれぞれ定規で計測しておく
- 比較のため, 「本物」のスピーカ (BOSE AD111) の周波数特性も計測する
- テニスボール缶で好みの音楽を再生してみる

計測されたテニスボール缶と本物のスピーカの周波数特性の一例を, 図-2(a), (b) にそれぞれ示す。各図の2本の線は上部がスイープ音で計測された周波数特性曲線, 下部はバックグラウンドノイズの周波数特性曲線を表している。図-2(a)の矢印から, 実験に使用したテニスボール缶の共振周波数は, 538 Hz であったことが分かる。テニスボール缶の深さと半径はそれぞれ 0.14 m, 0.035 m であるので, 開口端補正をした場合の共振周波数理論値 534 Hz は, 実測値 538 Hz とほぼ一致する。補正をしない場合の理論値は 614 Hz である (音速 344 m/s とした)。

このように, 磁石とコイルを付けることができるものなら, 机, 段ボール箱, やかん, ヒトの頭, 手のひらなど, 何でもスピーカとなる [2]。これが本実験タイトルの所以である。特に, テニスボール缶などの長さの異なる閉管を使うのは, その共振周波数を実測し, 「音の違い」は「スピーカの周波数特性の違い」であることを実感することが音と周波数の関係の理解につながると考えているためである。



(a) テニスボール缶の周波数特性



(b) 本物のスピーカの周波数特性

図-2 フリーソフトウェア WaveSpectra で測定した周波数特性

3. 実験レポートと考察

実験後に学生が提出するレポートに課した検討課題は、以下のとおりである。

- (1) スピーカ製作過程を図と共に報告し、電気信号が音波に変換される原理を考察する
- (2) 瓶や缶の深さとピーク周波数との関係を、グラフ化して関係式を求め、ピーク周波数は、何によって決まっているかを考察する
- (3) スピーカの材質や形状が、周波数スペクトルとどのような関係にあるのかを考察する
- (4) 実際に耳で聞こえる音とスペクトルの特徴との関係を調べる

(1) は、電磁誘導とローレンツ力を用いて考察することを想定している。多くの学生が理解し、レポートに記述していた。しかし、高校によっては、理科は選択制で、物理を履修していない学生もいたため、次の(2)と合わせて理解していない学生も一部に見られた。

(2) は、閉管の共振周波数が閉管の深さに反比例するグラフを描き $f = c/4L$ (f : ピーク周波数, c : 音速, L : 管の深さ) より、周波数は管の深さで決ま

ることを理解させることを想定している。実際に測定した一例では、 L (m) と f (Hz) の組み合わせが $(L, f) = (0.140, 517), (0.177, 334), (0.277, 280)$ であった。これら3点を滑らかな曲線で結んだグラフを描き、結果をまとめる。しかし前半の学生では一部で、右下がりの直線やでこぼこのグラフを描いた例もあった。理解の一助として、後半の学生には、基本振動、3倍、5倍振動での閉管の固有振動を図と式で表した資料を提示した。これにより後半の多数の学生が周波数は管の深さで決まることを考察に記述していた。

(3) は「なんでも」スピーカにすることができるという特徴を使った課題であったが、時間内に様々な材質や形状で周波数スペクトルを測定しなければならず、学生が考察を記述するのが困難だったと思われる。やや曖昧な課題であり、時間が限られた実験ではもう少し具体的な指示を与えた方が良かったかもしれない。来年度以降は削除することも考えている。

(4) は、学生が日常、市販のスピーカを通して聞いている音楽と、缶や瓶などで鳴らした音との違いを、測定したスペクトルの特徴とあわせて考えることを意図した課題であった。瓶や缶で鳴らした音楽は市販のスピーカで聞く音楽と比べて、音がこもっている、低音が出ていないなど音質が良くない。それは一部の周波数で共振していて、(実測した BOSE スピーカのような) 平坦な周波数特性でないからという理解を求めている。実験中にヒントとなる説明をしたが、正確に記述した学生はほとんどいなかった。そのため、周波数特性グラフ (スペクトル) の見方など、正しい理解へ誘導する説明方法が今後の課題である。

また、閉管の開口端補正については全く触れなかったが、考察にこのことを記述した学生が1名のみいた。(2)と関連するため、開口端補正の説明も実習書や口頭で行うべきであると思われる。

4. アンケート結果

「なんでもスピーカの製作」は、2013年度から始めた新たなテーマであり、学生の反応や感想などを把握し、来年度以降の実験の進め方などの参考にするために、実験終了時に図-3の用紙を用いて、アンケートを実施した。医学基礎実験の履修登録者106名(男62名、女44名)のうち、欠席者2名、アンケート回答者104名(回答率100%)であった。

問1から4までのアンケート集計結果を表-1に示す。いずれの問いも概ね好意的な回答が得られた。選択肢①から⑤を選択肢番号の数字で重みづけした各問いの荷重平均値は、問1から4までそれぞれ、2.3、1.9、2.2、2.0であった。この数値は小さいほど好評だった

医学基礎実験アンケート 医科物理学系 「なんでもスピーカの製作」

記入日 2013年 ____月 ____日 性別 男・女

「なんでもスピーカの製作」は今年度から始めたテーマである。そのため改善・改良しなければならぬ点などいくつかあると思われる。本テーマを行った印象を正直に書いてもらいたい。

あてはまる番号を○で囲んでください

1 実験の内容はわかりやすいものでしたか？
 非常にわかりやすい わかりやすい 普通 わかりにくい 非常にわかりにくい

2 スピーカの製作に興味を持ちましたか？
 非常に興味を持った 興味を持った どちらでもない あまり興味なし 全く興味なし

3 スピーカの周波数特性（あるいはその測定）に興味を持ちましたか？
 非常に興味を持った 興味を持った どちらでもない あまり興味なし 全く興味なし

4 この実験に満足しましたか？
 非常に満足 満足 どちらでもない 不満 非常に不満

5 感想（レポートに書かずにここに記入してください）

図-3 アンケート用紙

ことを示している。つまり、問2スピーカ製作自体には興味を持ち、問4実験全体としての満足度は高い、が他の2項目（問1内容の分かり易さ、及び問3周波数特性の測定に対する興味）ではやや評価の低い結果となった。

問5では実験の感想を自由に記述してもらった。「無響室に入ったことが貴重な体験だった」や「気分が悪くなった」など無響室の印象に関する記述が最も多く32件あった。

その他、肯定的な意見として、

- 周波数スペクトル観察が面白かった、ためになった
 - スピーカの原理を知ることができた
 - 一つに聞こえる音が、実際には様々な周波数の重ね合わせだということを目で見て確認できた
- また、否定的な意見として、
- 今自分が何をしているのかが、分からないことが多々あった
 - 実験内容が少し難しかった
 - フーリエ変換をどこで使っていたのかよく分からなかった
 - 比較する対象が不適切だったため、考察が書きにくかった；実験するなら、きちんとした実験をするべきだと思った

などがあった。実験前や実験中の説明は、初めて実施するテーマということもあり、どこまで説明すべきか

表-1 アンケート集計結果：各問いに対して①から⑤を選択した人数

	問 1	問 2	問 3	問 4
①	20	25	17	24
②	46	63	59	56
③	27	14	24	22
④	11	1	2	2
⑤	0	1	2	0
合計	104	104	104	104
荷重平均	2.3	1.9	2.2	2.0

判断に迷った。実験前に時間をかけて説明しすぎても学生は退屈し、さじ加減が難しい。最初手探り状態で実験をスタートしたが、説明不足のためか、上記の否定的な意見が出たので、学生への説明を修正した。修正の効果をみるために、前半と後半で各問いの回答に違いがあるかを調べた。前半3分の2と後半3分の1のグループに分け、各問いの荷重平均値の変化を求めたところ、問1から4までそれぞれ、2.4 → 2.1, 2.0 → 1.9, 2.2 → 2.1, 2.1 → 1.9 とすべての問いで修正の効果が見られた。実際、後半の学生からは教員の説明に関してあまりネガティブな意見は出なかった。来年度以降も、今年度後半のように実験前の説明をかなり詳しくする必要があると思われる。

5. ま と め

スピーカの製作を通じて音響教育を医学生に行った事例を報告した。学生は、デジタル信号処理、フーリエ変換の知識はないが、周波数スペクトルを目で確認でき、実際に聞こえる音と対比して、音質とスペクトルの関係が理解できたのではないかと考える。事前に、デジタル信号処理とフーリエ変換の講義を行っておけば理想的だが、時間的に困難かもしれない。

新しいテーマで学生実験を実施して、問題点が明らかになったので、これらを改善して次年度以降、学生が理解し易く、興味を持つような実験に改良していきたいと考えている。具体的には、(1) 実験前に十分な説明を行う、特に周波数特性グラフの見方、閉管の固有振動、その基本振動の共振周波数を記録することなど、(2) 考察の意図を学生に伝える、(3) 課題(3)は除く、(4) 開口端補正の説明を加える、などである。

文 献

[1] 大野宏毅, 高木俊明, “身の回りの“水”の電気伝導率—物理実習への導入の試み—,” 物理教育, 48, 220-223 (2000).

[2] 愛知・岐阜物理サークル, いきいき物理わくわく実験1 (日本評論社, 東京, 1988), pp. 68-69.