

リサージュ曲線を用いた音波の可視化に関する演示実験

安塚 周磨*

(令和元年10月29日受付)

A demonstration of visualizing sound waves by utilizing Lissajous curves

Syuma YASUZUKA

(Received Oct. 29, 2019)

Abstract

An attractive demonstration, observation of chaotic Lissajous curves originating from sound waves, was presented for the general public. A simple experimental setup used in this demonstration consists of an optical lever, a rotating mirror, and a laser beam source. This system can detect a variety of Lissajous patterns without an oscilloscope. Thus, this system can be regarded as a budget oscilloscope. The application to program-based learning in physics education is briefly discussed.

Key Words: demonstration experiment, sound wave, Lissajous curve, He-Ne laser, optical lever

1. はじめに

物理学はすべての理工学の基礎であるだけでなく、客観的な観測事実を拠りどころに自然現象を科学的に理解し、数学的に自然現象をとらえるものであるから、物理学の方法論はあらゆる自然科学の規範になっている。多くの理工系の大学では、2年次になれば所属学科の専門教育が始まり、学科ごとに1年次に履修した数学・物理学を土台にした専門科目に対して必修科目と選択科目が定められている。前者では、専門基礎のコアとなる基礎知識を、後者では将来専門分野をサポートする周辺分野の知識を学ぶことになる。したがって、理工学を学ぶ人は初年次において物理学の履修を避けて通ることはできない。また、物理学は我々が存在する自然界のあらゆる現象を説明する基礎学問でもある。それゆえ、理工学を学ばない人にとっても、物理学の面白さと大切さを理解することにより、スポーツや芸術と同じように彼らの人生をより楽しく豊かにすることができるだろう。しかし、物理学は敷居が高いことも確かである。私は、本学の学生はもとより、見識ある一般市民

に対しても、「物理学とは何か?」という学問の捉え方について、どのような知識や思考法が役立つかを考えながら、物理学の面白さと大切さを学外へ伝える活動をマイペースで取り組んできた。

本稿では、私が一般市民10名に対して行った「音の可視化に関する実験」の概要を紹介したい。また、問題解決型(課題解決型)の内容を取り入れる形で物理学の基礎教育にも応用可能であると考えられる。この点についても議論する。

2. 音の可視化に関する実験

今回のテーマは「音(音波)の可視化」である。音は身近な物理現象のひとつであり、中学校理科や高校物理でも音を波動現象のひとつと位置付けて学習する。一般の方を対象にする以上、とにかく「楽しんでもらう」ことを第一目標にしたが、やはり物理学の本質をしっかりと伝えることが大切であると考え、「講義+クイズ+実験+解説」の組み合わせで、自分なりに工夫を凝らしてみた。

* 広島工業大学工学部知能機械工学科

表1 様々な音の振動数 [1]。

音の種類	振動数 (周波数)
NHK の時報 (高音)	880 Hz
NHK の時報 (低音)	440 Hz
救急車のサイレン (ピー)	960 Hz
救急車のサイレン (ポー)	770 Hz
人間の声 (会話時)	~1000 Hz
コウモリの鳴き声	~10 kHz
猫の鳴き声	~2000 Hz
ヴァイオリンの音域	100~3000 Hz
トランペットの音域	200~1000 Hz
ピアノの音域	40~4000 Hz

2.1 音 (音波) についての解説

最初に、音が振動現象であることを説明するために、弦楽器は弦の振動、打楽器は革などの膜の振動など、なじみのある楽器をいくつか例にとりあげて話を進めた。別の例としては、人の声が声帯の振動であることにも触れた。さらに、振動現象のキーワードである「振動数」について簡単に説明するとともに、可聴音の振動数領域が20 Hz ~ 20 kHzにあることにも触れた。このように、音がいかに早い空気の振動であるかを認識してもらった。いくつかの音と振動数の関係を表1に示す [1]。

2.2 水を用いたおんさの振動の観察

空気を媒質とする音波は、空気の密度の振動が伝播する疎密波であるが、目視による観測はできない。最初の実験では、おんさを専用のハンマーで強めに叩き、音が鳴っている状態でおんさを水に浸した。このときの演示の様子を図1に示す。使用したおんさは振動数 $f=440$ Hz の「ラ」の音が鳴るものである。空気中では比較的長く鳴るが、水に浸すと、1秒程度で振動が止まってしまう。短時間ではあるものの、水しぶきが出る様子を確認してもらった。



図1 おんさを水面に軽く触れさせたときの演示実験の様子。

2.3 光てこの原理を用いたおんさの振動の観察

次の実験に入る前に先ず、縦軸に空気の圧力変化、横軸に時間をとった場合の正弦波のグラフについて解説した。特徴的時間スケールとして「周期」について解説し、「振動数」との関係についても述べた。

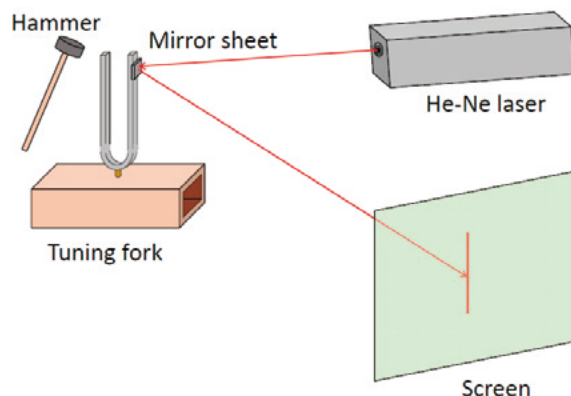


図2 レーザー光と光てこを組合わせた光学系。

次に、光てこの原理を利用して、おんさの振動の様子を調べる実験に進んだ。図2に示すように、おんさの先端に小さなミラーシートを貼り、そこにレーザー光を当てて、反射光の輝点をスクリーンに映した [2]。ここで「おんさを叩くと輝点はどのように振舞うか？」とクイズ形式で問いかけた。準備した選択肢は①輝点のサイズが大きくなる、②輝点がリングになる、③縦に伸びる、④輝点が消える、の4択である。レーザー光源の光をミラーシートに当てた状態でおんさをたたくと、おんさに取り付けられたミラーシートからの輝点が上下に振動し、縦長の輝線をえがく。答は③であり、実際の実験で示した。縦長の輝線は、意外性が高く、おんさの振動の様子から比較的簡単な説明で納得してもらえるので、この実験はインパクトが強いと思われる。このときの実験の様子を図3に示す。



図3 おんさを強く叩いたときに現れる縦長のリサージュ図形の確認の様子。

2.4 光でこと回転ミラーを用いた実験

続いて、回転ミラーを用いて同じ場所で上下方向にのみ振動していた“輝線”を、横軸を時間にとった“正弦波”に変換させた。PowerPointで補足説明を行い、受講者にオシログラフの原理を理解させることができた。図4に回転ミラーを組み合わせた光学系を示す[2]。

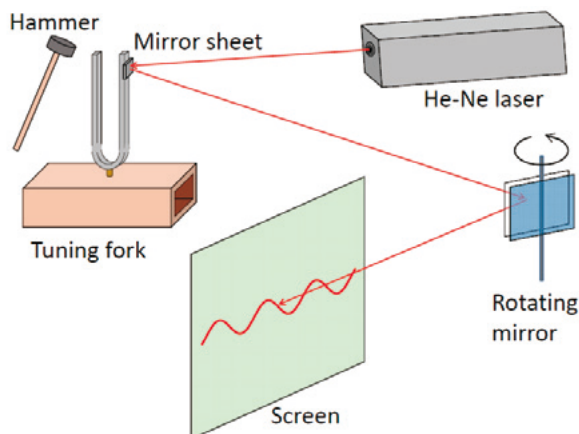


図4 光でこと回転ミラーを組み合わせた光学系。

2.5 声の可視化に関する実験

次に応用編という形で、「声の可視化」に進んだ。底抜けのオフィスカップにポリ袋を張った簡易マイクを準備した。ポリ袋に小さなミラーシートを張り、先ほどのおんさと同じようにレーザーの反射光の輝点をスクリーンに映したところで、「私の声をマイクに吹き込むと、輝点はどのように振舞うか?」とおんさの時と同様の4択のクイズ形式で問いかけてみた。実際に実験をしてみると、複雑なループが現れるが、解説ではリング状のリサージュ図形について、PowerPointにアニメーションを多めに取り入れながら解説した。おんさで一次元的な振動による縦長のリサージュ図形については十分理解できているので、これを踏まえたうえで、膜の振動が二次元的であること、および直進行する正弦波の合成によるリサージュについて解説した。

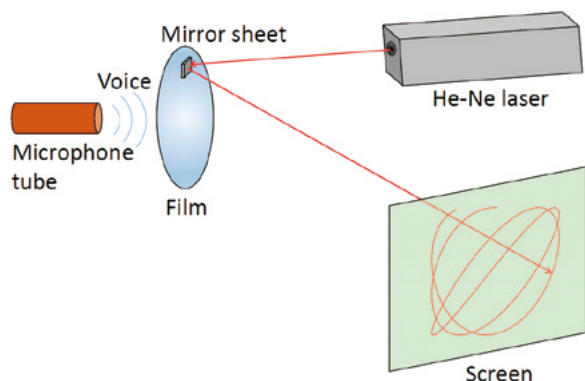


図5 音声のリサージュ曲線を観測するための測定系。



図6 音声によるリサージュ曲線の確認の様子。

受講者の理解は良かったように思う。このときの測定系を図5に、また、そのときの様子を図6に示す。この場合も回転ミラーを用いて正弦波を見てもらった。

2.6 実社会への応用

最後に「物理学は役に立つ」というメッセージを残したかったので、「今回のテーマに強く関係している職業は何か?」とクイズ形式で問いかけた。準備した選択肢は①楽器リペアマン、②医者、③警察、④パイロット、⑤大工の5択である。正解は③の警察であり、声紋による犯罪捜査に応用されている。人間の声は主に声帯の大きさによって違いが生じるが、骨格や口、鼻などの形によっても影響を受ける。体つきや顔が違うように声の特徴も人によって違うので、誰の声か特定が可能である。声の特徴を専用の装置で分析すると、声紋と呼ばれる一人一人異なるパターンが現れる。声紋はカゼをひいた声でも、他人をまねた声でも、正しく判別することが可能である。指紋と同じように、犯罪捜査や個人を識別する目的で使われている。音楽と関係が薄い「警察」で応用されているという事実が、参加者には意外性を与え、また声のメカニズムが声帯の振動ということから、個人の同定にも威力を発揮するという理解も得られたと思う。

3. 演示実験の感想

私が実際にこの実験をしてみて感じたことであるが、いわゆる出前実験なので、現地でデリケートな光学系を組むのは結構プレッシャーを感じる作業であった。また、おんさを叩くと、光学系が狂うことがあった。このようなトラブルはマイナスかと思いきや、参加者には「実験の臨場感」が伝わったようで、思わぬ収穫であった。以下に参加者の感想を紹介したい。

参加者 A :

周磨さんのお人柄溢れるおもしろ物理でした。問の写真

の入れかたが絶妙でした。Sさんと周磨さんの専門的な会話を盗み聞きするのもまた楽しかったです。二人の協同講座が見てみたいです。

参加者 B:

有難うございました。前日まで眠る時間がない程忙しくお仕事されていて、やっと取れた貴重な時間を私たちの為に費やして下さい感謝しています。本当におもしろ物理でした。楽しい時を過ごす事ができました。

参加者 C:

周磨さんの話も実験も面白かったです。目の前で実験を成功させることの大変さもよくわかったし、研究者とは地道で大変ですね。音楽家と通じるところがあると思いました。次回は土日に是非！長女にも見せたいです。

参加者 D:

企画して良かったと思いました。研究とはコツコツやっていく地味な作業なんですよ。形は違って、何事もコツコツですね。物理だけでなく、いろいろ学べた会でした。次回は土日で、子どもたちにもきてもらえるように企画してみたいです。

4. 物理教育への応用

今回の演示実験では、一般市民を対象に楽しんでもらうことを第1の目標にしていたので、議論は定性的な内容に限られている。実験のような体験型学習は机上中心の座学よりもはるかに印象的である。しかし、物理教育の観点からは、生徒や学生の好奇心や向学心に一時的に刺激を与えるだけでは基礎学力の向上には結びつかない。物理現象の理解を深めるためには、定量的に調べる経験を積む必要がある。今回のテーマに関しては、おんさの振動振幅を縦長のリサージュ図形の長さから見積もることが可能である。類似の実験として、本学では工学部1年生に対して開講している物理学実験のなかで、温度変化に伴う金属棒の僅かな長さの変化を光てこを用いて測定し、線膨張係数を求める実験テーマがある [3]。

また、回転ミラーからスクリーンまでの距離 r [m] とスクリーンに映し出された正弦波の波長 l [m] を精度よく測定できれば、おんさの振動数 f [Hz] は、以下のように見積もることが可能である。今、回転ミラーの角速度を ω [rad/s] とすれば、1周期分の正弦波が描かれる時間 T [s] のあいだに ωT [rad] 回転することから、

l は r を使って近似的に、 $l = r \times 2\pi\omega T$ と表すことができる。回転ミラーの回転数を n [Hz] とすると、 $\omega = 2\pi n$ であり、おんさの振動数 f は周期 T の逆数に等しいので、

$$f = \frac{4\pi nr}{l} \quad (1)$$

と表すことができる。(1)を l について解けば、

$$l = \frac{4\pi nr}{f} \quad (2)$$

となる。今、 $n = 0.50$ Hz、 $r = 4.0$ m、 $f = 440$ Hz として、(2)より l を求めると、 $l = 5.7 \times 10^{-2}$ m = 5.7 cm となる。スクリーンに1 mm 目盛の方眼紙を貼り付けておけば、正弦波の波長は比較的容易に測定可能であるから、(1)を用いれば、有効数字1～2桁の精度でおんさの振動数を決定することが可能と考えられる [2]。

5. まとめ

回転ミラーと光てこを組合わせた簡易オシロスコープ装置を作成した。また、一般市民を対象として演示実験を行い、音の振動が波形としてあらわされることを明瞭に示すとともに、効果的な啓蒙活動も行うことができた。しかし、現時点では、定性的な内容に限られていることから、今後はより定量的な課題を考察し、教育効果の高い演示実験にしていきたいと考えている。

謝 辞

この演示実験は、2015年2月25日に廿日市市宮園市民センターにて「安塚周磨さんのおもしろ物理学」と題して行われました。演示実験の企画と会場の準備をしていただいた川本典子様と平岡とも様に深く感謝いたします。参加者の皆様は、私の説明を熱心に聴いてくださり、また、反応がとても良かったので、私も進捗が楽しく、やりがいがありました。光本茂記様には、専門的な観点から有益なコメントをたくさんいただきました。御礼申し上げます。

文 献

- [1] たとえば、改訂版 高等学校 物理 I (数研出版、平成23年1月10日 発行)
- [2] 樋之口仁 鹿児島県総合教育センター指導資料 第252号 (2005)
- [3] 井上光、尾崎徹、山本愛土、木船弘一、小島健一、安塚周磨 工科系のための物理学実験 (第4版) (東京教学社 2016、ISBN978-4-8082-2075-4)