

音声に関わる音響学のオンライン授業のために*

○荒井隆行（上智大・理工）

1 はじめに

近年、電子教材などオンライン上で教材が公開されたり、動画が配信されるなど、教育における ICT 活用は高まってきていた。そのような中、2020 年においては新型コロナウイルス（COVID-19）感染拡大に伴い、多くの講義がオンラインで実施されることとなり、教育におけるオンライン化は結果的に加速した。音響学に関わる分野も例外ではなく、音に関わる実験などもオンラインでいかに見せるかなど、様々な工夫が行われた。また、対面授業であっても新型コロナウイルス感染予防を意識した対策が施された。

2020 年春学期に私が担当した上智大学の講義の中には、特に音響学に関わるものとして「音声・音響工学」と「音声・音響・聴覚情報処理」の 2 科目あった。それらの講義は共にオンラインで実施され、通常の対面授業では教室でのデモンストレーションを行っていた場合も、動画再生に切り替えるケースもあった。またその他に、国立障害者リハビリテーションセンター学院での音響学の授業と、東京医科歯科大学での大学院特別講義「見て 触って 聴いて 分かる、音声科学」を行った。前者は新型コロナウイルス感染防止策を十分施した上で対面で行われた。後者についてはオンラインで実施されたが、毎年行われてきたこの講義はそもそも対面授業においてデモンストレーションや体験を重要視してきたことから、オンライン授業になってもいかにその要素を取り入れるかという工夫が必要であった。

本稿では、上記のように音声に関わる内容を中心に音響学の授業のために実施されたいくつかの事例を紹介すると共に、そこで取り扱った内容や新たに導入した工夫などについて紹介する。

2 Acoustic-Phonetics Demonstrations (APD)

2010 年の本学会研究発表会[1]にて提案した音響音声学に関わるデモンストレーション“Acoustic-Phonetics Demonstrations” [2]は、動画や音声、図などを交えながらそれぞれのトピックを説明するオンライン教材としてスタートした。声道模型などのデモンストレーションは対面で見るのが一番効果がある一方、それが難しい場合でも動画を見ることでも十分教育的効果が発揮される。そのため、徐々にコンテンツを増やしてきたのだが、2020 年に入りコロナ禍において音響学の授業ではこの APD のコンテンツが非常に役に立った。関連して YouTube の同名のチャンネルには、APD の動画が無料配信されている。その中でも声道模型に関するデモを収めた 6 本の動画コンテンツについては、従来日本語での説明音声が入っていたものについて、2020 年 12 月のアメリカ音響学会、音響教育セッションにおける招待講演[3]に合わせて英語のナレーションに吹き替えると同時に、英語の字幕も入れてリリースされ、早速、世界各国からアクセスされている (Fig. 1 は英語の字幕が入った動画の例)。その他のコンテンツについても、新しいトピックやそれに伴う動画・音声などが随時追加されている。



Fig. 1: English version of a video clip on the APD YouTube channel.

* For online courses on speech-related acoustics, by ARAI, Takayuki (Sophia University).

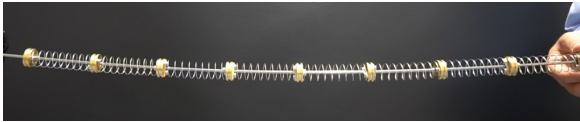


Fig. 2: Demonstration on the transverse wave.

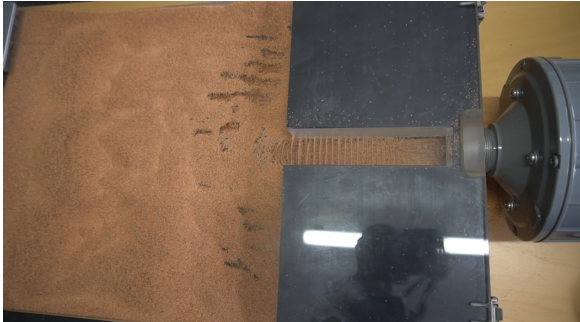


Fig. 3: 2D Kundt's experiment.

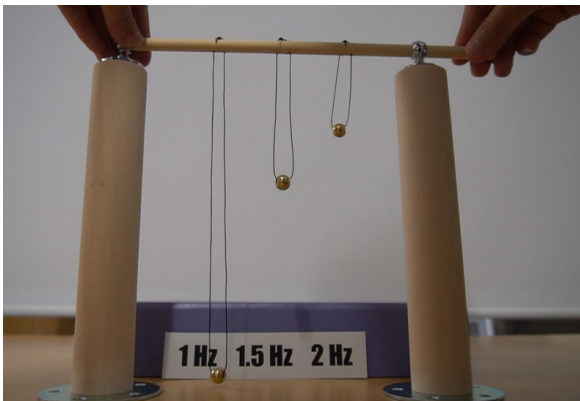


Fig. 4: Multiple pendulums.

3 工夫の例

コロナ禍でのオンライン授業で行った、いくつかの工夫の例を紹介する。

3.1 短い動画のコレクション

オンライン授業などでは、ちょっとしたデモンストレーションは、短い動画などを挟むことでその理解を助けることが多い。そこで、今まで自分が欲しいと思ってきた短い動画を改めて収録し集めてみた。

縦波の実験

波の伝搬や定常波を観測するために、ウェーブマシンを用いてきたが、その様子は横波であった。縦波を可視化するにはスlinkyを用いてきたが、両側を自由端にするデモンストレーションが出来ないなどがあった。そこで、バネ質量系の連結させた

簡単なモデルを作り使用した (Fig. 2)。

2D Kundt の実験

通常の Kundt の実験では両側閉じた管の中で観測されるのに対し、片側が閉じて片側が開いている管の共鳴を可視化するために、2次元に拡張した Kundt の実験を応用した [4] (Fig. 3)。ここで示す図では、ホーンスピーカのドライバユニットが接続された細い管の部分において 1/4 波長の共鳴が起きている様子が観測される。

複数の振り子の実験

1つの回転軸に対し、長さが異なる複数の振り子がぶら下がっている装置を応用した (Fig. 4)。軸に対して小さい角度で正弦的に往復運動を与えると、固有振動に合致した振り子が共振する。一方、軸に対してインパルスな運動を繰り返し与えると、その高調波成分に固有振動が合致した振り子が複数共振する様子が観測される。Fig. 4では、軸に加えるインパルス列の基本周波数が 1 Hz のため、固有周波数が 1 Hz (左) と 2 Hz (右) の振り子が振動している。

3.2 身近な素材で作る声道模型

前述の通り、東京医科歯科大学での特別講義では、2020年に実施されたオンライン授業の中で、いかに「体験」の要素を取り入れるかということが課題となった。そこで、受講者の方々には身近な材料や道具を事前に準備しておいていただき、それを各自が手にして講義に臨むというスタイルをとった。そこで行った hands-on の活動は以下の通り。

気圧の可視化

水を入れたコップにストローを 5-10 cm 入れて、呼気を吹き入れブクブクとストローの先から気泡を出す体験を行った。これによって、5-10 cm H₂O という声帯振動に必要な気圧を体感してもらった。

肺をシミュレーション

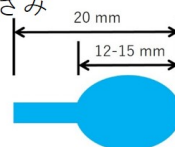
ペットボトルを上から 15 cm 残し、そこから下を切り離した上で、切り口は危なくないようガムテープを貼った。風船を飲み口

準備するもの：

ストロー1本、クリアフォルダー(OHPシート)、筒、ゴム栓やゴムパッキン、工作用紙、竹串、セロハンテープ、はさみ

手順：

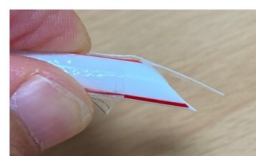
- 1) クリアフォルダーを右図のような形状にはさみで切る。



- 2) ストローを5 cm前後のところで斜めに切る(切り口はまっすぐになるよう整える。)

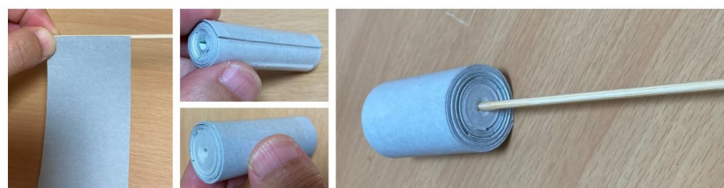


- 3) 切ったクリアフォルダーの細い端をテープでストローに固定する。そのとき、細い端を固定する位置を少し前後にずらして、右図のように少し「蓋」が開くようにする。



- 4) 筒としてラップやアルミホイルの芯を使う場合、15-17 cmの長さで切る。ゴムパッキンの中央にストローを通し、筒とピッタリ合わせる。

- 5) 竹串や針金に幅5 cmの工作用紙をキッチリと巻き付ける。筒の内径よりも一回り(1 mm程度)小さい円柱になるまで、工作用紙を巻き続ける。



- 6) 円柱を筒に挿入する。

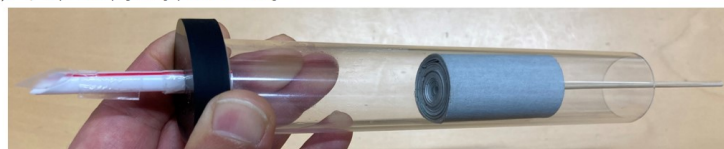


Fig. 5: Instructions for a simple vocal-tract model.

から中に入れつつ風船の口をペットボトルの首に折り返して固定し、ペットボトルの底には膜を張った(別の風船やビニール袋などで)。膜を上下させると、触っていない中の風船が膨らんだりしぼんだりすることで、肺での呼吸をシミュレーションしてもらった。

簡単な声道模型の工作

Fig. 5 に示すような手順書を使って、簡単な声道模型の工作を行った。ステップ3)までで音源部が完成するが、そこでリード部側から息を吹き入れると喉頭原音が確認できる。また、リード部分を風船の中に挿入し、ストローの反対側から息を吹き入れ

風船を膨らませると、風船がしぼむ際にやはり同様の音が鳴る。ステップ6)まで完成すると、円柱を入れなければ中性母音のschwaが発せられ、円柱を筒の中でスライドさせることによって声道内で異なる位置にて狭窄が作られ母音が出る(狭窄部が喉頭側にあると母音の/a/, 前方の口腔内、口唇から少しだけ入ったところであれば母音の/i/, 声道の中央付近であれば母音の/u/など)。

なお、Fig. 5 はどちらかというとも男性の母音に近いサイズの工作になっているが、リードの「頭」の長さを10 mm程度とした上でリードがストローの断面を完全に覆うような細めのストローを使用し、声道長も



Fig. 6: When we produced vowel sounds using our own handmade vocal-tract models at a lecture of the Tokyo Medical & Dental Univ.

14 cm 程度（かそれ以下）にすることによって、女性や子どもの母音に近づけることが可能となる。

声道模型を完成させて、受講者と一緒に音を鳴らしているときの様子を Fig. 6 に示す。それぞれの工作の出来は予想以上で、音質も良かった。遠隔で授業を行っているのにも関わらず、同じような実験を参加者間で共有でき、一体感と達成感のある講義となった。

3.3 声道模型に対する音源

従来から教室での対面授業や科学教室などにおいて、声道模型を使ったデモの際に音源として用いるものはホーンスピーカのドライバユニット、電気喉頭その他、笛式やリード式の人工喉頭（自作の音源を含む）であった（例えば [5]）。笛式やリード式音源では呼気でリードを振動させるが、コロナ禍においては空気ポンプや空気入れなどを使うことで衛生面での配慮も行った。例えば、Fig. 7 は風船を使って音源を鳴らす場合の模式図であるが、間に筒を介せば母音が鳴るようになる。風船を使わず、直接音源をつなぐことも可能である（その場合は加える圧力を調整することが重要となる）。

4 おわりに

オンライン教材としての APD の重要性が再認識されると同時に、オンラインであっても身近なもので出来る工作が見直された。過去に行った子ども向けの工作[6]でも似たようなアクティビティーを行っていたが、今回の場合、こちらから工作のための材料



Fig. 7: Air pump + reed + balloon.

を一切渡さず、参加者自身が身近なところで調達できるように工夫した。例えばゴム栓・ゴムパッキンなどはホームセンターの水回りのコーナーなどにあり、場合によっては椅子の足に装着するようなキズ防止用のゴムなどでも代用可能である。筒については、ラップやアルミホイルの芯で使われている紙製のものが身近だが、塩化ビニールやアクリルなどのパイプのほうが音が良く、改良を各自試みるのも良い課題になる。

2020 年には私が監修をする「えいごであそぼ with Orton えいごの音だせるかな? こうさくブック」も発売された。今回紹介した声道模型の工作に加えて、家庭でのアクティビティーの一助になれば幸いである。

謝辞

内容の一部は JSPS 科研費 18K02988, 20K03074 の助成を得た。また、本稿で紹介した活動にご協力いただきました東京医科歯科大学の皆様、特に隅田由香先生、服部麻里子先生に感謝申し上げます。

参考文献

- [1] 荒井隆行, 網野加苗, “音響音声学デモンストラーションの提案,” 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, 1479-1482., 2010.
- [2] <http://splab.net/APD/>
- [3] T. Arai, “Acoustic-phonetics demonstrations for classroom teaching,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 148, p. 2609, 2020.
- [4] S. Sakamoto, K. Ueno and H. Tachibana, “Visualization of resonance phenomena for acoustic education,” *Proc. ICA*, III, 2311-2312, 2004.
- [5] T. Arai, “Vocal-tract models and their applications in education for intuitive understanding of speech production,” *Acoust. Sci. Tech.*, 37, 148-156, 2016.
- [6] T. Arai, “Education in acoustics and speech science using vocal-tract models,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 131(3), 2444-2454, 2012.