

高校生を対象とした声道模型による音響教育

Education in Acoustics for High-School Students Using Mechanical Vocal Tract

前田絵理, 荒井隆行

Eri Maeda and Takayuki Arai

上智大学理工学部電気・電子工学科

Dept. of Electrical and Electronics Engineering, Sophia University

われわれはこれまで Chiba and Kajiyama の測定に基づいて声道模型を復元・開発してきた。日本語 5 母音の模型には筒型とプレート型があり、鼻母音には分岐を持つ筒型についても製作してきた。声帯振動を模擬した音源には電気式人工喉頭や笛式人工喉頭の他、ホーンスピーカのドライバユニットを応用したものも使用してきた。われわれはこれらの模型を音声科学の研究のほかにも音響教育の教材として活用してきた。本論文では、これらの模型の音響教育の教材としての役割を見るために、高等学校の物理の授業で実際に用いて音響教育を行った事例について報告し、考察する。

1.はじめに

われわれはこれまで、Chiba and Kajiyama [1]の測定に基づいた声道模型を復元・開発してきた[2]-[10]。これらは音声科学の研究としての一面を持つだけでなく、われわれは音響教育の教材としても活用してきた。昨今特に言われるようになってきた若者の理数離れは、平成 14 年度から始まった学習指導要領の「ゆとり教育」とともに私たち工学者としても頭に入れておかななくてはならないことなのかもしれない。

研究者としてこれからの世代に何を残せるかを考えるときに、教育されるべき内容を今、下の世代に伝え、若手研究者の育成をすることは少子化もあいまって重要なことである。小原國芳は著書の中で理論と実際、思索と体験、学と術、概念と生命、これら二つを一つにしようとし、その上で理論なき実際、思索なき体験、学なき方法ぐらいつまらないものはないと述べている[11]。また、教育者である彼はその一面、一生学者、真理探究者で

ありたいと願い、実際家と学者の二つのかけ渡しをすることに力を尽した。ホントの教育がこの国に生まれるために、と大正デモクラシーといわれる日本の近代文化興隆期に全人教育の理念を確立している[12]。音響教育に携わるものは彼のように教育者でもあり、また研究者でなくてはならないと考える。

われわれは Arai[2]を中心として音響学の音声生成的側面について、直観的にとらえられるための教材として声道模型を提案してきた。直観教育は 17 世紀ごろからコメニウス、ペスタロッチらによって提唱されてきた教育方法で、実物や教本、模型などを使って直感に訴える教育を重視したことが知られている。コメニウスの「大教授学」(J. A. Comenius, *Didactica magna*, 1657.)では、実物をまず見て理解力を訓練させ、その後言葉をつけて説明することを学ばせる、感覚でものごとを理解させ、より実物に近いものを教材として活用することの重要性を訴えている[13]。教材を工夫することに言及したことは今日にお

いても傾聴すべきものであり、人体の内部器官など実物の利用が困難な場合は模型が重要であるとしている。われわれも授業における教材の重要性について考え、声道模型の教材としての有効活用を試みる。

2.教材について

授業は教師、教材、児童・生徒の3要素が構成するものであるといわれている。その中で教材は教師と児童・生徒の相互関係を成り立たせ、児童・生徒に授業目標・単元目標へ到達させるためのもので、児童・生徒の興味・関心や能力などの実態を踏まえた上で、目的・目標を十分に達成できるように考慮しなくてはならないといわれている[13]。

教材は抽象的なものを対象としたものから具体的なものを対象としたものまであり、「教授及び学習の材料。教師及び児童・生徒の間を媒介して教育活動を成立させるもの」と広辞苑にあるように、児童・生徒が用いる教科書もその教育内容や概念、法則までもが「教材」という言葉に含まれている。厳密に分類するならば、教具と教材に分けることもできるが、さまざまな教育関係書がある中での表現・分類方法がさまざまであり、実際の教育現場で区別して使用することが少ないのでここでは教材という言葉に教具が含有されているとする。

日本では学習指導内容が示されているが、それぞれの教科書によって内容や教材は若干異なっているのが現状で、教材選択の余地は若干教師側にもある。教師が教材がもたらす生徒への影響など、その選択の重要性はわかっていても、授業数に比べて指導内容量の過多が問題となり、教材の研究・開発をしても有効的に活用できなかつたり、教材研究をしている暇もないほど教師が忙しかつたりするなど、現実的な問題も多い。個を大切にすることがさげばれている今日[14]、児童・生徒が実際に教材を手にし、実験をすることが理科などでは理解を助けるのに有効的であるとされているが、児童・生徒実験をしている時間数がなく、教師の模範実験ですませしてしまうことが多いのも今日の日本が抱える大きな問題である。そこではやはり直観的に捉えられるた

めの教材が必要であり、「感性」を基盤とする授業も大切であると考え[15]。

3.音響教育分野の教材について

われわれがテーマとしている音響教育は、初等・中等教育においては理科、物理の時間を中心に教えられている。「音」という分野であるにもかかわらず、音楽ではあまり教えられていないのが現状だ。物理学は、人間誰もが持っている身近な自然の事物・現象に対する興味関心から始まっている。人間の感覚を中心にして対象とする自然の事物・現象に見られるそれらの構造、機能、原理、法則等を見つけることに始まったといえる。つまり、観察・実験によって、自然の事象から情報を収集し、それらの間にある諸関係を見出そうとしてきた。また、自然の事象に潜む規則性を見いだすために、大きさを定義できる量、すなわち物理量と称するものを取り扱っている。そのために、定量的な観察、実験が多く見られたり、事象の関係が数式で表されたりすることが多い。これらの物理学は古典物理学、または現象論的物理学とよばれていて、いくつかの学問に分かれそれぞれ発展してきている。人間の感覚と関連する学問分野でも光学、力学、熱学、音響学など多岐にわたる。

日本における音響教育は明治時代以降についてみると、音教育の大きな変遷の流れとしては、初期には音響学の初歩そのものを単元に取り上げようとしたり、音と光との類似性に注目した内容を取り上げたりしているのが目立つ。また、さらにそこから発展して音を振動・波動教育の導入に役立てようという試みが始まる。明治時代の初期には1872(明治5)年に頒布された「学制」のもとで使用された教科書は、どれも音の単元にかかなりのスペースが割かれている。音と光が対応付けられていて、多くの教科書が<音は振動によって生じること—音の源/音は空気などの媒体を通して伝わること—伝播/音の反射/音の速さ>といった内容を取り上げていて、<光との類似性>に注目するものが少なくないのである。

その後はスチュワートの物理書の訳本が日本の物理教育の核をなしていくものとなる。1886(明治19)年の「小学校令」の頃あたりか

ら音教育に関しては一時簡略されることもあったが、生活化を試みたため、1900(明治33)年頃から、音を耳や声と結合して取り上げる教材が取り上げられるようになり、音教材は重視された。棚橋源太郎らの「小学理科教科書」(明治33年検定認可)では、「音」の章を「音の発生・伝播・高低・強弱/耳/反響・共鳴」という3節で構成している。その第1節も音の発生器としての声帯を理解させることにねらいが置かれていた。明治37年ごろの教科書禁止時代まで棚橋は「人体の感覚器」という章で耳/音の発生・伝達・高低/発声器/楽器を取り上げていた。その後国定教科書時代になり、楽器を中心に音への興味関心を高めようとされ、1941、42(昭和16、17)年の国民学校の教科書でその頂点に達する。しかし、戦後の教育改革の中で教材も変遷し、1970(昭和45)年ごろには中学教育において波動を扱うことはなくなってしまった[16]。

現在では波動は高等学校の選択科目である物理の分野におかれ、すべての生徒が履修しなくともよい、という状況である。物理の概念が難しそうだから、といったような考えから、理数離れが広まっていることがあるが、楽器や声などの「音」といった万人に身近で興味のあることから関心を高め、手元の数式にとらわれることなく本質を見抜き、音響学のみならず多くの分野に興味をもてるような教材、教育が今こそ必要なのではないかと考える。

次の章ではわれわれが実際に研究している教材となる声道模型について述べる。

4. 使用している声道模型について

これまで荒井、薄木、雑賀らを中心に日本語の5母音(鼻音化母音も含む)に関して、Chiba and Kajiyama[1]の測定を元に声道模型を復元・開発してきた[2]。声道模型は音声合成を行う上で、母音生成に関しては比較的簡単な器具で操作できることや、素材を選ぶことによって模型という形でその形状なども可視化することができるために、普段われわれが何気なく発声しているという現象に対してのイメージが掴み易くなることなどの利点がある。本論文でも Arai らによる模型を使用

しているが、模型のタイプにはプレート型と筒型のモデルがある。プレート型のモデルは、一片の長さが 50mm 四方の正方形、厚さ 10mm のアクリル樹脂のプレートを数枚用意し、それぞれの中心に径の異なる円形の穴が開いている。プレートを声道の平均的な長さに近い 14-16 枚並べることによって、プレート型のモデルとした(図1参照)。それぞれのプレートの中心の円形の穴は、口唇から声帯までの声道を近似している。プレートを並べ替えることによって声道においてその狭めの位置が母音の音質に大きく影響していることなど[10]、母音生成のメカニズムを知るうえで重要な点を理解することができる。筒型のモデルは、直径 50mm、長さ 160mm のアクリル樹脂の筒の内部を、Chiba and Kajiyama[1]の測定に基づいて、くり貫いたものである。どちらのモデルも、透明な素材を用いたことで、口唇から声帯までの声道形状を観察することが出来る。これらの模型について実験を繰り返えし、音響学の普及を願い教育の現場などで使用してきた。

近年の音響教育の教育現場では学生の理解を助けるためにさまざまな教材が開発され用いられてきている。また、高等教育機関では音響関連の科目は電気系のみならず、音声系、機械系、建築系、音楽系などの多岐の分野にわたって専門科目として取り上げられている[17]。これらのことも踏まえて研究を進めた。

Arai らは以前、音声を専門的に学ぶ音声学専攻生や音声処理を学ぶ理工系の大学院生を中心に、開発した声道模型を音響教育の現場

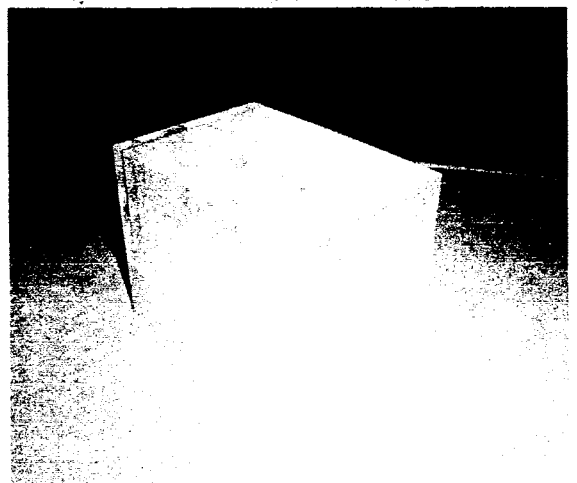


図1 声道模型(プレート型モデル)

で用い、その事例について報告した[2]。

われわれは、音響学を専門に学ぶものだけでなく、さまざまなバックグラウンドを持つ学生がだれでも、より直観的にとらえられ、理解しやすい教材の開発と利用を目的の一つとして研究を進めてきた。そこで、今回はこれまでに母音生成における音響教育現象の理解を深めるために、われわれが提案してきた声道模型を、音声に関しての学習経験の少ない高校生に対してその基礎を教えるための授業に教材として用いた事例について報告すると同時に、その有用性について考察する。

これまでは教育の現場では、音声生成機構における音響学的な現象を捉えるのに、教科書などのように紙の上に書かれた説明が中心であった。最近では、コンピュータでのシミュレーションなどを用いて講義される場合も増え、そのような教材開発が進んでいることも確かである。われわれはそうした視聴覚教材と模型とを併用することによって直観的にとらえ、より多くの分野の学生が理解することができるのではないかと考える。

5. 教育現場で用いた例

今回はプレート型と筒型の日本語 5 母音の模型を音響教育の現場で教材として使用した。また、これに加えて、より直観的にとらえてもらうために木製の彫刻を作成し、声道模型の教育に用いた。

対象者は、高等学校の物理での一般的な音の分野に関する学習を終えたばかりの生徒 34 人で、高校 3 年、理系進学予定者のクラスであった。学習進度としては、音に関するの気柱の共鳴実験やドップラー効果などの学習を終えていた。

授業では、はじめに簡略化された人間の頭部断面図を紙で配布し、声道の部分がりぬかれている木製彫刻を示し、人間の音声器官についての説明から始めた。音源を彫刻の声道に入射し発声させることによって紙の上で議論する以上に音源フィルタ理論等が理解されたようであった。次に、単一音響管モデルを用いて説明を始め、さらに我々が開発してきたプレート型や筒型の声道模型を使って説明を行なった。その後、より理解を深める



図2 彫刻による模型

ために、生徒達をいくつかのグループにわけ、形状に関して数値を提示し、プレートを並べさせた。そこで、各班を回って、並べた模型に音源を入力させ発声させた。各班を回ることによって、率直な疑問にも答えることが出来た。また、与えられた表どおりにプレートを並べ、母音を発声させた後、狭めの位置に当たるプレートを移動させ、発声される音の違いを確かめさせた。このことによって狭めの位置の重要さを理解させた。最後に、簡単なアンケートを取り、その習熟度を調査した。

アンケートの結果、母音生成における声道形状の重要性について、それまではほとんど知らない学生が多かったが、教材を用いた実験によって、理解することができた、という反応を大多数の学生から得た。いくつかのタイプの声道模型を提示したが、興味を示したものとその理由を調べたところ、自分達の手で並べることでできたプレート型に対して半数近くの生徒の興味が集中している様子

かった。学習者参加型の実験での習熟度は高いことがいわれているが、そのことが改めて実証された。また、プレートを並べ替えることによって、音に変化がでることが直観的に捉えられた、という結果が得られ、声道における形状の重要性が認識された。

6. まとめ

冒頭にも述べたように、授業にとっての教育内容、教材の重要性は大きい。2002年12月にわれわれが参加したアメリカ音響学会でも、北・南米を始め各地の音響教育や、その場での教材が紹介されていた。インパクトのある授業を作ることは、児童・生徒の興味関心を引き、「理数離れ」を食い止めるとともに、児童・生徒の心に残る。理科教育では個人実験が子供の主体性を延ばすことが出来るといわれていて[18]、「観察」をすすめ個性的なアプローチをすることが、ひとりひとり違いを持っている児童・生徒の「個別性」の世界の中の概念を発展させ、やがて「普遍性」を得て大人へと成長していくのではないかと考えられる。

教材の歴史を調べていく中で、以前は、われわれが今取り組んでいるような音響教育の“声”に関する事、声帯などについて教えられていたことがわかった。また、米国の物理の教科書にも声帯が振動して発声しているという記述もあり[19]、日本の教科書でも声の時間波形をオシロスコープの画面表示をしているものが折り込み部分に含まれている[20]。こういったものを活用して音響についてなど身近なことから理科の学習を進めていくことも、理数離れを防ぐ一つの手段ではないかと考える。

今回行った高校生を対象とした音響教育の授業から、音声学を専門的に勉強している学生以外でも、我々が開発してきた声道模型は音響教育にとって有用な教材であることが示された[21]-[23]。

今後、これらの手軽に持ち運びの出来、簡単に操作の出来る教材としての特長を生かし、小学校や中学校の授業においても活用し、音響教育の有効な教材としていきたい。また、新たな音源の開発や、子音・鼻音のモデルの開発、応用なども行っていきたい。



図3 授業風景 (上：一斉授業の様子、
下：グループ活動の様子)

7. 謝辞

今回の授業を行うにあたり多大なご協力をしていただきました東京・玉川学園高等部の川端百平先生、小林慎一先生、渡辺康孝先生、生徒の方々、関係者各位に感謝いたします。

また NTT アドバンステクノロジー株式会社の佐藤大和さん、石井直樹さんには模型製作に関し、多大なご協力をしていただき、感謝いたします。

参考文献

- [1] T. Chiba and M. Kajiyama, *The Vowel: Its Nature and Structure*, Tokyo-Kaiseikan Pub. Co., Ltd., Tokyo, 1941.
- [2] T. Arai, "The Replication of Chiba and Kajiyama's Mechanical Models of the Human Vocal Cavity," *J. Phonetic Soc. Japan*, 5(2),

- Vocal Cavity,” J. Phonetic Soc. Japan, 5(2), pp.31-38. 2001.
- [3]薄木, 荒井, 村原, “母音生成に対する音響教育を目的とした声道模型の作成,” 日本音響学会講演論文集, pp.399-400, Mar. 2001.
- [4]T. Arai, N. Usuki and Y. Murahara, “Prototype of a vocal-tract model for vowel production designed for education in speech science,” Proc. of Eurospeech, Vol.4, pp.2791-2794, 2001.
- [5]荒井, “「より直感に訴える音響教育」を音声科学にとりいれるには,” 日本音響学会講演論文集. pp.1219-1220, Mar. 2002.
- [6]荒井, 雑賀, 前田, 村原, “千葉・梶山による声道模型の復元とその教材としての応用,” 日本音声学会全国大会予稿集, pp.23-28, 2002
- [7]吉田, 薄木, 荒井, 村原, 菅原, “声道の共鳴現象の可視化への試み - 音声科学における音響教育の充実を図る -,” 日本音響学会講演論文集, pp.399-400 Mar. 2002.
- [8]T. Arai, “An effective method for education in acoustics and speech science: Integrating textbooks, computer simulation and physical models,” Proc. of Forum Acusticum Sevilla, 2002.
- [9]E. Maeda, N. Usuki, T. Arai, N. Saika, Y. Murahara, “The importance of Physical Models of the human vocal tract for Education in Acoustics in the Digital Era,” Proc. China-Japan Joint Conference on Acoustics, Nanjing, pp.163-166, 2002.
- [10]薄木, 吉田, H. A. Alwi, 荒井, 村原, “音声科学の教育における声道模型の有効性に関する検討—母音生成におけるPerturbation理論について—,” 日本音響学会講演論文集, pp.403-404, Oct. 2001.
- [11]小原, 贈る言葉, 玉川大学出版部, 1984.
- [12]小原, 教育の根本問題としての哲学, イデア書院, 1923.
- [13]日本理科教育学会編, 理科教育学講座 第6巻 理科教材論(上), 東洋館出版社, 1992.
- [14]高田著, 大浦編, 教職教養 教育学Ⅲ, 山文社, P.82-86, 1990.
- [15]阿部, “「感性」を基盤とする学習環境の整備に関する試論,” 大阪大学人間科学部紀要 24, Mar. 1998.
- [16]板倉, 三井, 永田, 永井編, 理科教育史資料 第5巻理科教材史Ⅱ—物理・科学教材史, 東京法令出版株式会社, pp. 5-11, 179-201, 1987.
- [17]音響調査研究委員会, “大学における音響教育の現状,” 日本音響学会誌 Vol.55, No.3, pp. 211-218, 1999.
- [18]渡辺, “小・中学校理科における実験の学習形態に関する研究 - 児童生徒の実験操作に影響を与える要因-,” 理科教育研究誌, 第 11 巻, pp.71-80, 1999.
- [19] P. G. Hewitt, *Conceptual Physics, Eighth edition*, Addison Wesley, 2001.
- [20]中村, ほか 20 名, 物理 IB, 第一学習社, 2002.
- [21]前田, 荒井, 雑賀, 村原, “声道模型を用いた高等学校での音響教育,” 日本音響学会講演論文, pp.299-300, Sep. 2002.
- [22]E. Maeda, T. Arai, N. Saika and Y. Murahara, “Lab experiment using physical models of the human vocal tract for high-school students,” First Pan - American / Iberian Meeting on Acoustics, Cancun, 2002.
- [23]T. Arai, E. Maeda, N. Saika and Y. Murahara, “Physical models of the human vocal tract as tools for education in acoustics,” First Pan - American / Iberian Meeting on Acoustics, Cancun, 2002.