

小特集—現代のニーズに即した魅力ある音響教育—

# 言語聴覚士のための音響教育

—基礎から実用へ—\*

今 泉 敏 (県立広島大学)\*\*・荒井 隆 行 (上智大学)\*\*

43.25.Zx

## 1. はじめに

言語聴覚士はコミュニケーションに障害を持つ人々の検査や訓練、支援を行う国家資格で規定された専門職である。聴覚や発声発語機能、言語機能、摂食・嚥下機能、認知や遂行に関わる高次脳機能の検査・訓練から、補聴器などコミュニケーション機器の選択・使用支援、障害者のコミュニケーション活動の支援、生活の質の改善支援、社会参加支援などにも関わり、医療機関や保健・福祉機関、教育機関で活動する。日本における言語聴覚士の実質的活動の歴史は長いものの、国家資格が制定されたのは1999年のことであり、まだ生後9年の発達期にある専門職とも言える。

言語聴覚士に対する社会的期待、ないしニーズは音響学の専門的知識の提供ではもちろんなく、コミュニケーション障害の改善支援にある。したがって、音響学の講義も、基本的な音響理論の理解を基盤とはするものの、音を介したコミュニケーションの仕組みやその障害の理解、コミュニケーション機器の理解などが主目的になる。例えば補聴器の調整などの現場で実際に使える概念の体得が目標となる。

一方、言語聴覚士を目指す学生の気質をみると、文系指向が強いことが多く、高校で理系科目を履修していない場合も少なくない。そのため、数式を使わずに音響学を理解する、体験を重視し実用に繋がるように教授するなど、学生の指向に合致した様々な教育的工夫を必要とする。また、本学

会員が中心となって制作した教科書 [1-15] をはじめ、学会で活発に発表されている音の可視化技術や声道モデル、各種の音声データベース、声帯振動・調音運動の視聴覚データベース [16-21]、音声生成・合成・分析ソフト [22-32]、音声・聴覚・脳機構モデル [31]、脳機能の解析システム [32] などをも含めて、最新の研究成果が極めて役に立っている。

そのような背景のもとに行われている言語聴覚士のための音響教育について、前半の2章、3章では今泉がカリキュラム設計の視点から、後半4章以下では荒井が教育資源開発研究の視点から簡潔に紹介する。

## 2. ニーズに合致したカリキュラム設計

言語聴覚士に対する社会的期待に呼応して設計されるカリキュラムは、従来の分類に従うと文系、理系に分断されていた分野の双方に広く跨ることになる。例えば言語聴覚士になるためにまず合格しなければならない国家試験でも、コミュニケーション障害学はもちろんのこと、それに関連する医学、保健・福祉学、工学、音声学・言語学、心理学、法学、社会学など広範な基礎的、専門的知識が問われるものとなっている。

中でも音や音声、聴覚など日本音響学会が得意とする分野は、人のコミュニケーションの基盤を形成しており、言語聴覚士にとっても重要な分野である。学部の講義だけをあげても、音響学や音声・聴覚科学を中心とした「音声・聴覚情報処理学」や「音声学・言語学」、言葉の発達を学ぶ「言語発達学」、音の知覚や学習、認知に関わる「心理学」、コミュニケーションの障害を理解し支援するための発達・聴覚・発声発語・認知に関わる障害学、更にコミュニケーション福祉工学や拡大・代替コミュニケーション、音楽療法、対人コミュニケーション論、グループダイナミックス (多数者

\* Education of acoustics for speech-language-hearing pathologists: From the basis to practice.

\*\* Satoshi Imaizumi (Department of Communication Sciences and Disorders, Prefectural University of Hiroshima, Mihara 723-0053)  
e-mail: imaizumi@pu-hiroshima.ac.jp

\*\*\* Takayuki Arai (Faculty of Science and Technology, Sophia University, Tokyo 102-8554)  
e-mail: arai@sophia.ac.jp

間のコミュニケーション論), コミュニケーション科学研究法など, 多少なりとも音に関連する多彩なカリキュラムが組まれている。

音に関する教育は, 単一の講義で完了するものではない。複数の学年に跨って行われる, 講義, 演習, 実習と形の異なる複数の教科を介して, 基礎的概念の理解から使える概念へと育成していくことになる。「基礎から実用へ」を重視する互いに関連した講義, 演習, 実習のシラバス設計, ファカルティデベロップメントが重要な意味を持つ。

また, 音には必ずしも限定されないものの, 人々の私的, 社会的コミュニケーション活動の健康維持を支援する専門職として身につけるべき職業意識, 倫理観の育成なども重要な教育課題となっている。

### 3. 「基礎から実用へ」を重視するシラバス設計

学生の気質に呼応したシラバス設計を, 例えば「デシベル」の教育を例に考えてみる [15]。高校で理系科目を履修していない学生や文系指向の強い学生にとって, 「デシベル」は必ずしも理解しやすい概念ではない。「音圧レベル」と「音の強さのレベル」, 更には「音の大きさのレベル」など「レベル」と表現される概念は, 学生達が躓きやすい関門の一つである。躓きを最小限にするため, 講義, 演習, 実習と複数の学年の複数の単位を介して, 基礎的理解を基盤とした実用的概念の修得に繋げる工夫を加えている。

講義ではまず, 純音の周波数, 最大振幅, 位相と「聞こえ」の関係, 実効音圧や音の強さと「聞こえ」の関係, スペクトルと「聞こえ」の関係を体験させ, 自分の感覚として基礎的概念を教授する。各種の音響分析・合成ソフト [25, 26] を活用して演習を交えた講義を行う。この体験を通して学生達は「聞こえ」が閾値からその  $10^6$  倍もの範囲で成立することに驚くのが普通である。この驚きを桁数の大きい量の表現のために考案された対数という概念に導き, 「デシベル」を導入する。

「デシベル」の教育はこれで終わるわけではない。聴覚障害学では聴覚検査や補聴器装用などに, また発声発語障害学では発声機能検査などに関する講義と演習, 実習を通して, 「デシベル」やより高難度の「マスキングレベル」といった概念の意味するところを実感として修得できる機会が設け

られている。

受験に不要な科目は必修であっても開講しないという昨今一部に見られた風潮を体現してきたせいか, 最近の学生達はしばしば自分にとって直接役に立つかどうかで学ぶ態度が全く異なる傾向がある。そこで「デシベル」に限らず, ある概念を導入するときには, それがなぜ重要なのか, 何に役立つのか, その単元の目的を強調することから講義を始めることにしている。

基礎から実用への流れを重視する方法は, 「デシベル」に限らず音響学全般に渡る。例えば病的音声など「声」に関する講義では, まず声帯振動の様子を具体的にみることから始める。この場合, 高速度デジタル撮影やストロボ撮影された声帯振動のデータベース [16] が非常に役に立つ。健康な声帯がどのように振動するか, 病変があるとそれがどのように変化するか, そしてそれが声の聞こえにどう影響するかをまず実感してもらう。その上で左右声帯の動き (声門面積) と音源波形, 音声波形, それらのスペクトルとの関係を考えていく。スペクトルの理解と同時並行して, 音声生成シミュレータ, 調音運動の MRI や X 線撮像データベースを用いて声道の共鳴と調音による変化を具体的に学んでもらう。学生一人一人が音声合成ソフトを使って口の構えと音声の関係を調べる実習時間も設けている [15, 24]。

より高学年で履修する発声発語障害学では更に, 発声時の呼気圧, 呼気流, 基本周波数, 音の強さを実測する方法や, 声を聴覚心理的, 音響分析的に評価する方法を演習, 実習を介して具体的に学ぶことになる。

大学院レベルで行われる音に関する脳機能や認知機能の講義は最近の研究成果の恩恵を最も受けている分野の一つと言えるだろう。単語音声の親密度 [19] や心像性 [20] が語彙判断や語想起にどのように影響するかをまず実験的に体験する。その上で語彙が脳の中でどのように表現されているか, 音声言語を知覚・認知する機構がどのように構成されているか, 各種コミュニケーション障害の音声言語認知機能をどう捉えるべきかなどを, 自主的に学んでいく。このような過程で語の親密度や心像性に関するデータベース [19, 20], 認知特性を調べるために音声を種々に加工することが出来る STRAIGHT [31], 脳機能画像を解析できる

SPM [32] のような公開ソフトは大変貴重である。また、今後の目標として、e-learning を活用した副教材の活用も計画している。

#### 4. 音声生成

##### 4.1 声道模型による可視化と可聴化

音声生成の基本となる音源フィルタ理論を教える際、手軽に母音を生成できるような実体模型は有効である。声道の形状を物理的に音響管で実現した声道模型を用いると、音声を視覚的に捉えることができると同時に、それを音として確認することが可能となる。Arai (2001) [33] は、千葉・梶山 [34] による声道形状の計測結果から作られる声道模型を復元した。この声道模型は、声道形状を単純化することで個人性等の情報は取り除かれている。

その後、Arai の声道模型は肺の模型 [35, 36] を用いた呼吸から頭部形状模型 [35, 36] による母音発声まで、音響教育システム [37] (図-1) として発展している (その有効性については [37] を参照)。

実際に言語聴覚士を目指す学生に対し、これらの実体模型を使った音響教育を実践し、その教育的効果を評価した [37]。まず、3時間ほどの音声科学に関する入門的な説明をスライドとコンピュータ上のデモンストレーションを交えながら行った。その後、1.5時間にわたり実体模型を用いたデモンストレーションを行い理論等の理解を補った。そのうちの15分は、実際に Arai (2001) [33] の中でもプレート型の声道模型 (直径が異なる穴の空いたプレートを複数並べて任意の声道形状を実現できる) を使った実験を行った。その後のアンケート

の結果、実体模型を通じて以下のようなことが体感されたことが分かった：

- 肺の模型により、横隔膜と連動し胸郭が陰圧になり息が吸い込まれる
- 肺の体積は受動的にしか変化しない
- 肺に付けられた U 字管内の水面差を見ることで気圧の変化が見える
- 人工喉頭 (音源) と声道模型 (声道フィルタ) を組み合わせることで母音を作ることによって、音源フィルタ理論が理解される
- 筒型 [4] から人間のような母音が出る
- 管がまっすぐでも同じような母音が出る
- プレート型 [33] で声道形状のわずかな差が聴覚印象の大きな差を生むことがある
- 鼻咽腔結合を担う弁を開閉することによって、鼻音化の程度が変わる
- 舌可動式頭部形状模型において舌の位置が母音の質を決めるのに重要である

コンピュータ上でマルチメディア化されることの恩恵は非常に大きい。その一方で実際のものを使って見たり聞いたりすることは、「直感的」であり、「実物」と「コンピュータ・モデル」との共存の重要性も指摘されている [38-40]。

##### 4.2 スライド式声道模型

Fant [41] は三つの一様な音響管を縦続に接続した 3 音響管モデルを電気回路として構築し、声道共鳴のシミュレーションを行っている。Arai (2006) [42] はその 3 音響管モデルの物理模型を、1本の太い管とその中をスライドする狭窄用の細く短い管 (スライド部) で実現している。このスライド式 3 音響管モデルの外観を図-2 に示す。狭窄用のスライド部が左右にスライドすることによって、三つの音響管のうち両側の二つの音響管の長さが変わる。適切な位置に適切な断面積の狭窄を置くと、所望の母音を作り出すことができる [42]。

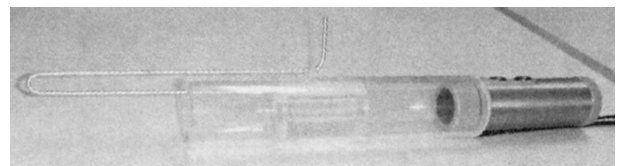


図-2 Arai によるスライド式 3 音響モデルに基づく声道模型 (文献 [42] より)。太い管の中に細く短い狭窄用の管 (スライド部) があり、左右にスライドさせることで異なる母音を発することができる。写真の右端にあるのは音源用の電気喉頭。

#### Education System in Acoustics of Speech Production Using the Physical Models

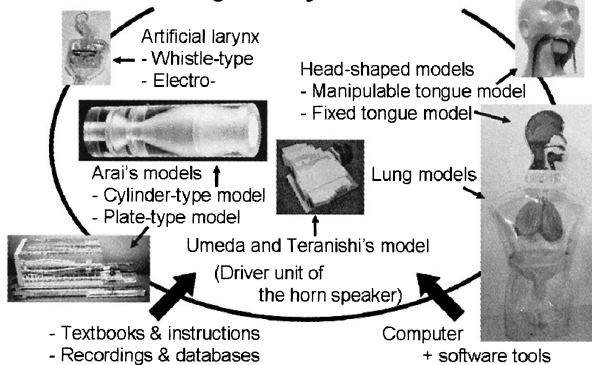


図-1 Arai による声道模型を用いた音声生成の音響教育システム (文献 [37] より)。

この3音響管モデルでは、狭窄が十分に狭ければ音響管内の共鳴現象を前腔と後腔のそれぞれの共鳴として分離して考えることができる。分離された後に分解された音響管は単一音響管であったりヘルムホルツ音響管と見なされるので、その共鳴は比較的容易に説明が出来る [42]。その点で、言語聴覚士を目指す学生にも適したモデルと言える。

## 5. 音声知覚

音声信号を可視化したスペクトログラムは、パターン・プレイバックを用いることで再び音声に戻すことが可能となる。パターン・プレイバック (Pattern Playback) はスペクトログラムから音声信号を復元する機械として、Haskins 研究所の Cooper らによって 1940 年代終わり頃に作られ、その後の音声研究の飛躍的な発展に大きく寄与した [43-45]。特に、この機械で可聴化することによって、スペクトログラムに反映される情報の中でもどのような音響的キューが音声知覚に重要であるかを確認することができる。場合によってはその音響的キューを単純化して表現し、また系統的に変化させながら合成することも可能となる。これによって、閉鎖子音の知覚において後続する母音の第2ホルマントの軌跡が重要であることを説明するローカス理論など多くの実験が行われた [3]。

このパターン・プレイバックは、近年のデジタル処理により容易にデジタル化され得る [46]。Arai *et al.* [47, 48] は、デジタル・パターン・プレイバックのアルゴリズムの可能性を再検討し、比較的単純な信号処理を用いて現代版パターン・プレイバックを実現した。第1のアルゴリズムは、デジタル的に発生させた正弦波による倍音構造を駆動源とし、それをスペクトログラムによって振幅変調する手法 (AM 法) で、これはオリジナルの原理をそのままデジタル的に実現したもので、音源フィルタ理論的な考えに基づいている。第2のアルゴリズムは、FFT (高速フーリエ変換) を用いる方法で、スペクトログラムの濃淡からフレームごとにスペクトル包絡を求め、それを逆FFTすることによってそのフレームでの声道のインパルス応答を近似する。フレーム周期 (シフト幅) をピッチ周期に合わせることによって、容易に倍音構造を達成することができるようになる。

このデジタル・パターン・プレイバックはその

教育的応用の価値は高く、音声に関わる音響教育における効果が確認されている [18]。例えば、あるスペクトログラムから個人性を含む余計な成分を削除し低次ホルマントや音声知覚に重要な子音のキューだけを残したような単純化したスペクトログラムからでも十分、明瞭な音声を再合成することができる。このように、同じカテゴリーの音に共通な特徴を絞り込むことによって、音声信号に含まれる知覚に関わる特徴の確認に有効である。

実際に言語聴覚士を目指す学生に対し、デジタル・パターン・プレイバックを使った音響教育を実践し、その教育的効果を評価した [48]。その結果、全員が興味を示した上、そのうちの8割以上がコンピュータ上でのデモンストレーションだけではなく紙の上に印刷されたスペクトログラムからカメラを介して画像をコンピュータ上に取り込み音声に変換するデモンストレーションに興味を示していた。分析ソフトウェアによって描かれるスペクトログラムを印刷し、その上に重ねた白紙上で音声知覚に重要と思われる音響的キューをペンでなぞることで簡略化されたスペクトログラムを自分で作り、それを音声変換することも可能であり、実際に手を動かす音響教育の重要性が再確認された。

## 6. おわりに

言語聴覚士のための音響教育について述べた。日本音響学会で活発に発表されている音とコミュニケーションに関する基礎研究はもちろんのこと、各種データベース、ソフトウェア、教科書はこの分野の教育に貴重な恩恵を与えている。今後、例えばアメリカ音響学会のようにコミュニケーション障害に対する研究発表の機会が増え理解が深まることや、学習者個々人の必要に応じて活用できる e-learning 音響教材の開発などに、日本音響学会の活動に期待したい。

### 謝 辞

紹介した内容の一部は日本学術振興会の科研費 (A-2, 16203041 並びに C-2, 17500603, 19500758) および文部科学省私立大学学術研究化推進事業上智大学オープン・リサーチ・センター「人間情報科学研究プロジェクト」から助成を得た。

## 文 献

- [1] 日本音響学会編, 聴覚と音響心理 (コロナ社, 東京, 1978).
- [2] 日本音声言語医学会編, 声の検査法第1版 (医歯薬出版, 東京, 1979); 同第2版 (基礎編, 臨床編) (医歯薬出版, 東京, 2007).
- [3] 荒井隆行, 菅原勉監訳, 音声の音響分析 (海文堂, 東京, 1996).
- [4] 伊福部達, 音の福祉工学 (コロナ社, 東京, 1997).
- [5] 荒井隆行, 菅原勉監訳, 音声・聴覚のための信号とシステム (海文堂, 東京, 1998).
- [6] 荒井隆行, 菅原勉監訳, 音入門: 聴覚・音声科学のための音響学 (海文堂, 東京, 2002).
- [7] 重野 純, 音の世界の心理学 (ナカニシヤ出版, 京都, 2003).
- [8] 日本音響学会編, 音響用語辞典 (コロナ社, 東京, 2003).
- [9] 石井直樹著, 音声工房を用いた音声処理入門 (コロナ社, 東京, 2002).
- [10] 今富撰子, 荒井隆行, 菅原勉監訳, 音声知覚の基礎 (海文堂, 東京, 2003).
- [11] 新美成二監訳, 音声生成の科学: 発声と障害 (医歯薬出版, 東京, 2003).
- [12] 廣瀬 肇訳, 新ことばの科学入門 (医学書院, 東京, 2005).
- [13] 廣瀬肇監修, 小松崎篤, 岩田 誠, 藤田郁代編集, 言語聴覚士テキスト (医歯薬出版, 東京, 2005).
- [14] 笹沼澄子 (編集), 辰巳 格 (編集協力), 言語コミュニケーション障害の新しい視点と介入理論 (医学書院, 東京, 2005).
- [15] 今泉 敏, 言語聴覚士のための音響学 (医歯薬出版, 東京, 2007).
- [16] 日本音声言語医学会企画・監修, 動画で見る音声障害 (DVD) (インテルナ出版, 東京, 2005).
- [17] 日本音声言語医学会企画監修, 耳で診断することばの異常. 麻痺性構音障害の評価用基準テープ (メディアカルリサーチセンター, 東京, 1982).
- [18] 日本音声言語医学会企画・監修, 口蓋裂の構音障害: 基礎編 (スピーチサンプル), 及び応用編 (聞き取り訓練), いずれも CD-ROM (インテルナ出版, 東京, 1999).
- [19] 天野成昭, 近藤公久, NTT データベースシリーズ「日本語の語彙特性」第1巻~第7巻 (三省堂, 東京, 1999).
- [20] 佐久間尚子, 伊集院睦雄, 伏見貴夫, 辰巳 格, 田中正之, 天野成昭, 近藤公久, NTT データベースシリーズ「日本語の語彙特性」第8巻「単語心像データベース」(三省堂, 東京, 2005).
- [21] 国立国語研究所, 情報通信研究機構, 日本語話し言葉コーパス (2004).
- [22] A. Houtsma, T. Rossing and W. Wagenaars, *Auditory Demonstrations* (ASA, New York, 1987).
- [23] B. Moore, *Audio Demonstrations to Accompany Perceptual Consequences of Cochlear Damage* (Oxford University Press, London, 1995).
- [24] S. Maeda, VTCalcs, <http://ed268.univ-paris3.fr/lpp/index.php?page=ressources/logiciels>
- [25] 今川 博, 音声録聞見 for Windows, <http://www.cd4power.jp/onsei/>
- [26] 音声工房 Pro 及び音声工房 LongData, NTT アドバンステクノロジ株式会社
- [27] CSL4500 及びマルチスピーチ 3700, PENTAX 又は KAYPENTAX <http://www.pentax.co.jp/japan/products/medical/kay/index.html>
- [28] 杉藤美代子監修, SUGI SpeechAnalyzer, アニモ, <http://www.animo.co.jp/products/analyze/index.jsp>
- [29] P. Boersma and D. Weenink, Praat, University of Amsterdam <http://www.fon.hum.uva.nl/praat/>
- [30] スウェーデン王立工科大学 (KTH), WaveSurfer, <http://www.speech.kth.se/software/>
- [31] H. Kawahara, STRAIGHT, a speech analysis, modification and synthesis system, <http://www.wakayama-u.ac.jp/~kawahara/STRAIGHTadv/>
- [32] Wellcome Department of Imaging Neuroscience, SPM (Statistical Parametric Mapping), <http://www.fil.ion.ucl.ac.uk/spm/>
- [33] T. Arai, "The replication of Chiba and Kajiyama's mechanical models of the human vocal cavity," *J. Phonet. Soc. Jpn.*, 5(2), pp.31-38 (2001).
- [34] T. Chiba and M. Kajiyama, *The Vowel, Its Nature and Structure* (Tokyo-Kaiseikan, Tokyo, 1942).
- [35] 荒井隆行, "肺の模型と声道形状を視覚的に捉えられる頭部模型を用いた音響教育教材," 音講論集, 1, pp. 273-274 (2005.3).
- [36] T. Arai, "Lung model and head-shaped model with visible vocal tract as educational tools in acoustics," *Acoust. Sci. & Tech.*, 27, 111-113 (2006).
- [37] T. Arai, "Education system in acoustics of speech production using physical models of the human vocal tract," *Acoust. Sci. & Tech.*, 28, 190-201 (2007).
- [38] T. Arai, "An effective method for education in acoustics and speech science: Integrating textbooks, computer simulation and physical models," *Proc. Forum Acusticum Sevilla* (2002).
- [39] T. Arai, "Physical and computer-based tools for teaching Phonetics," *Proc. Int. Congr. Phonetic Sciences*, 1, pp. 305-308, Barcelona (2003).
- [40] 荒井隆行, "音声信号の可視化とその音声学的価値," 日本音声学会全国大会予稿集, 3 (2005).
- [41] G. Fant, *Acoustic Theory of Speech Production* (Mouton, The Hague, 1960).
- [42] T. Arai, "Sliding three-tube model as a simple educational tool for vowel production," *Acoust. Sci. & Tech.*, 27, 384-388 (2006).
- [43] F.S. Cooper, A.M. Liberman and J.M. Borst, "The interconversion of audible and visible patterns as a basis for research in the perception of speech," *PNAS*, 37, 318-325 (1951).
- [44] F.S. Cooper, P.C. Delattre, A.M. Liberman, J.M. Borst and L.J. Gerstman, "Some experiments on the perception of synthetic speech sounds," *J. Acoust. Soc. Am.*, 24, 597-606 (1952).
- [45] J.M. Borst, "The use of spectrograms for speech analysis and synthesis," *J. Audio Eng. Soc.*, 4, 14-23 (1956).
- [46] P.W. Nye, L.J. Reiss, F.S. Cooper, R.M. McGuire, P. Mermelstein and T. Montlick, "A digital pattern playback for the analysis and manipulation of speech signals," *Haskins Lab. Status Rep. Speech Res.*, **SR-44**, 95-107 (1975).
- [47] 荒井隆行, 安 啓一, 後藤崇公, "デジタル・パターン・プレイバック," 音講論集, 429-430 (2005.10).
- [48] T. Arai, K. Yasu and T. Goto, "Digital pattern playback: Converting spectrograms to sound for educational purposes," *Acoust. Sci. & Tech.*, 27, 393-395 (2006).