

# 音を聴いて学ぶ音響音声学

## Learning Acoustic Phonetics by Listening to Sounds

荒井隆行 (上智大学)

Takayuki Arai (Sophia University)

**概要:** 我々は以前より、音響音声学を中心とした音教材として、様々なデモンストレーション等を集めた「音響音声学デモンストレーション」を提案している。本稿では、その内容について触れながら改めて具体的な例を述べる。それに加え、新たなトピックについても提案する。このようなデモの対象としては、言語学、音声学、音韻論、言語障がい・病理学、Audiology、認知心理学、人工知能分野、音声工学などの専門分野を学ぶ学生が考えられるが、その他に一般の言語学習者などにとっても有益であると考えられる。いずれの場合も、概念の理解に留まることなく、「耳」を鍛えるための訓練が重要である。

**キーワード** 音響教育, 音響音声学, 訓練, 言語聴覚士, 言語学習

## 1 はじめに

音響音声学を始め、多くの分野において古くから視聴覚教材が工夫されてきている。教科書等の記述に加え、視覚や聴覚など五感に訴える教材は、学習者の直感的な理解を大いに助け、その教育的効果も大きい。最近ではコンピュータやネットワークの普及により、教材のマルチメディア化が促進されると共に WWW (worldwide web) を介して全世界の電子教材が様々なところで使われるようになってきている。

ところで、音響学は「音」を対象とした学問であることから、音に関する教材も当然多いはずである。一方、音に関わる振動そのものは目で確認することが難しい場合も少なくない。そのような場合には、様々な形で音を可視化することも試みられている。このように、音や音声を収録した教材や、現象を可視化するなどして作られた実験・デモ機材、あるいはそれを納めた静止画・映像、あるいは現象等をシミュレーションやコンピュータグラフィックスなどによって画像にした動画やアニメーションなど、そのコンテンツは様々なものがあり得る。

音響教育教材としては、例えば日本音響学会音響教育調査研究委員会が音教材関連情報を集めて、ホームページ上で公開している[1]。聴覚分野では、アメリカ音響学会による Auditory

Demonstrations という CD がある[2]。その中では、臨界帯域、音圧やラウドネス、マスキング、ピッチ、音色、うなり・歪み・エコー、両耳効果などに関する音のデモンストレーションが解説付きで納められている。

我々は、音響音声学を中心とした音教材として、様々なデモンストレーション等を集めた「音響音声学デモンストレーション」を提案している[3]。そこでは、言語学、音声学、音韻論、言語障がい・病理学、Audiology、認知心理学、人工知能分野、音声工学などの専門分野を学ぶ学生が対象として考えられる。特に例えば言語聴覚士を目指す学生などにとっては、音の訓練は重要である。それに加え、専門分野を学ぶ学生のみならず、一般に言語を学習する者にとっても音の訓練は発音の上達、さらには聞き取りの上達に有益であると考えられる。いずれの場合も、概念の理解に留まることなく、「耳」を鍛えるための訓練が重要である。

本稿では、その内容について触れながら改めて具体的な例を述べる。それに加え、新たなトピックについても提案する。

## 2 音響音声学デモンストレーション

Table 1 に、提案する「音響音声学デモンストレーション」の一覧を示す[3]。分野は音響音声

学を中心に、調音音声学、聴覚音声学、心理音響学などもカバーしている（表中では関連する分野名も記述している）。この表では、さらに適していると思われる教材の形態を示した（教材の形態については、文献[4]を参照）。本稿ではさらに Table 2 の項目を新規に提案する。以上の項目は、主に音響音声学を専門に学ぶ学習者のために構成されている。しかし、一般に言語を学習する者にとっても有効な項目も含まれると考えられる。

以下では、いくつかの具体例について詳細を見てみることにする。

## 2.1 音源フィルタ理論等 (ID1)

声道の物理模型である「声道模型」は、音響教育教材としてその有効性が高いことが報告されている[5]。この声道模型と人工喉頭などの音源を組み合わせてることによって、

- ・音源フィルタ理論
- ・声道形状と母音の韻質との関係

などを直感的に理解することができる。肺の模型や頭部形状模型を用いることによって、発声から調音までを体系的に体得することができる[5]。

なお、物理模型を用いるところにポイントがあるので、なるべく実物を目の前にした体験型デモンストレーションが有効である。しかし、常に物理模型が使用できる環境ばかりとは限らないので、デモンストレーションを納めた動画も有効である。Fig. 1 に、コンピュータシミュレーションによる音声信号を交えた説明の例を示す。

## 2.2 スペクトログラム等 (ID2)

音声の時間波形と（短時間）スペクトルの関係、あるいは短時間スペクトルとスペクトログラムの関係は初学者には捉えにくい概念である。正弦波の組み合わせによって任意の波形をフーリエ合成するアニメーションや、短時間スペクトルが時間と共に連続的に変化していく様子がスペクトログラムになるようなアニメーションなどが、理解の助けになる。

## 2.3 VOT 連続体 (ID4)

閉鎖子音において、閉鎖が解放される破裂から有声区間が開始する時間、すなわち VOT (voice

onset time) を変えた連続体を用いることによって、有声音と無声音の違いをデモすることが可能である (VOT については例えば文献[6, 7]を参照)。Fig. 1 に、音声合成による音声信号を交えた説明の例を示す。

## 2.4 スペクトロリーディング (ID5)

スペクトログラムとして表現された音声、2次元の濃淡（あるいはカラー）のパターンから読み取るには、音声学上のあらゆる知識が要求される。その技術を習得することは、教育的にも効果がある。

さらに、デジタル・パターン・プレイバック (DPP) [8, 9] の技術を使って、スペクトログラムを再び音声に再合成することも有効である。Fig. 1 にその例を示す。

## 2.5 舌の調音位置とフォルマント等 (ID6)

声道における舌の調音位置によってフォルマント周波数がどのように変化するかを見るには、Fant [10] による 3 音響管モデルを Stevens [11] による近似で解釈すると分かり易い。それを物理模型で示したのが、スライド式 3 音響管モデル [12] であり、その動画やアニメーションは関係の理解に有効であると考えられる。

また、舌の位置が動くとき、母音図の位置、スペクトルとフォルマントが連動して動き、該当する音が同時に聞こえると教育的である。

## 2.6 ローカス (ID7)

閉鎖子音に母音が後続する場合、後続母音が変わっても声道内の閉鎖の位置は変わらなければ、第 2 フォルマント (F2) の遷移の開始周波数 (ローカス) は一定となる[13,14]。

F1 遷移を固定し、F2 遷移のローカスを低い周波数から徐々に高くしていくような連続体を、DPP によって音声刺激にすることで簡単で、かつ効果的なデモが可能となる。Fig. 1 に、フォルマント合成による音声信号を交えた説明の例を示す。

## 2.7 ローカス摩擦音と閉鎖音、破擦音の違い (ID8)

摩擦音/s/を徐々に短くすると、次第に閉鎖音/t/と知覚されるようになる。あるいは、摩擦音/s/・/sh/の立ち上がりの傾斜を徐々に急にしていく

と、次第に破擦音/ts/・/ch/に知覚されるようになる。

また先行母音 V<sub>1</sub>に後続する/s/・/sh/について、母音・子音間の無音区間を徐々に広げていくと、次第に破擦音/ts/・/ch/に知覚されるようになる [15-17]. Fig. 1 に、合成音声を変えた説明の例を示す。

## 2.8 接近音 (ID9)

わたり音 /w/, /j/ は、共に母音に似た性質を持つが、調音器官の動きを伴うため、フォルマント遷移が重要である。そこで、F1 と F2 からなる母音を DPP によって合成することを考える。F2 ローカスからの遷移を設けることで、[bi] という単音節を基準に、そのフォルマント遷移を徐々に緩やかな傾斜になるように変えながら合成していくと、いずれ[wɪ]と聞こえるようになり、最終的には[ui]となる。一方、[du]を基準に、同様にフォルマント遷移を緩やかにしていくと、いずれ[ju]となり、最終的には[i u]と聞こえるようになる [18]. Fig. 1 に、合成音声を変えた説明の例を示す。

一方、英語の /t/, /l/ もフォルマント遷移が重要である。英単語の “rock” から “lock” への連続体を、F1, F2, F3 から合成した音声を用いてデモすることができる [19].

## 2.9 鼻音化 (ID10)

鼻腔を伴う声道模型 [5] を用いると、鼻咽腔結合の度合いを変化させながら、異なる程度の鼻音化母音を生成することが可能である。このようにして作られた鼻音化母音の連続体を用いて、異なる母音を用いて鼻音化の程度が異なることを体感することができる。

## 2.10 IPA と単音 (ID12, 13)

UCLA では、世界中の異なる言語音を IPA (International Phonetic Alphabet) によって記述している [20-22]. Web ベースの教材も存在する [23].

## 2.11 調音結合 (ID25)

例えば、鼻音/n/, /m/+母音/a/の単音節において、子音と母音を分離して子音部を入れ替えるなど、様々なデモが可能である。

## 2.12 カテゴリー知覚 (ID27)

例えば、VOT を連続的に変化させた/p/から/b/への連続体を用いると、識別実験では識別率がカテゴリー内で高くカテゴリー外で低くなる一方、弁別実験ではカテゴリー境界付近で弁別能力が高くそれ以外で低い結果になる [24]. このような連続体を用いて、カテゴリー知覚を示すことができる。

## 2.13 F2' (ID32)

母音を F1~F4 というように最初の4つのフォルマントから合成したものと、F1 と F2'だけから合成したものを用いて識別実験を行ったとする。母音/i/では F2'が F4 に近い周波数に位置するのに対し、母音/a/では F2'は F2 にほぼ一致する。これは母音のフォルマントが、約 3.5 バークという広い帯域幅をもって積分され知覚されることで説明される [25 他].

## 2.14 音韻修復 (ID33)

音声の一部が削除されると了解度が下がるが、削除された無音部に別の音が挿入されると音声修復されて聞こえることがある [26]. 音韻修復に関する最も古い例として、垣根効果がある [27]. 例えば、音声を 10 Hz で中断した場合、中断部分が無音の場合は耳障りなのに対し、中断部分に雑音が挿入されると連続かつ自然に聞こえる。

## 4 おわりに

音響音声学を中心とした音教材としての「音響音声学デモンストレーション」について、その具体的な例を改めて考察した。今後は、その詳細を吟味すると同時に、デモを以下の URL で順次公開していく予定である：

[http://www.splab.ee.sophia.ac.jp/acoustic-phonetics\\_demonstrations/index-j.html](http://www.splab.ee.sophia.ac.jp/acoustic-phonetics_demonstrations/index-j.html)

## 謝 辞

本研究の実現のためにご協力いただいた上智大学荒井研究室メンバー他、特に網野加苗さん、西海枝洋子さん、安啓一さんに感謝します。内容の一部は日本学術振興会の科学研究費補助金 (21500841)、及び文部科学省私立大学学術研究高度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」の助成を得た。

### 参考文献

- [1] <http://wwwsoc.nii.ac.jp/asj/edu/demo/>
- [2] <http://asa.aip.org/discs.html>
- [3] 網野加苗, 荒井隆行, “音響教育を目的としたデジタル教材の内容および形態の調査報告,” 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, 1331-1334, 2009.
- [4] 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.
- [5] Arai, T., “Education system in acoustics of speech production using physical models of the human vocal tract,” *Acoust. Sci. Tech.*, 28(3), 190-201, 2007.
- [6] Lisker, L. and Abramson, A. S., “A cross-language study of voicing in initial stops: Acoustical measurements,” *Word*, 20, 384-422, 1964.
- [7] 清水克正, “日英語における閉鎖子音の有声性・無声性の音声的特徴,” 音声研究, 3(2), 4-11, 1999.
- [8] 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,” 日本音響学会秋季研究発表会講演論文集, 429-430, 2005.
- [9] Arai, T., Yasu, K. and Goto, T., “Digital pattern playback: Converting spectrograms to sound for educational purposes,” *Acoust. Sci. Tech.*, 27(6), 393-395, 2006.
- [10] Fant, G., *Acoustic Theory of Speech Production*, Mouton, The Hague, Netherlands, 1960.
- [11] Stevens, K. N., *Acoustic Phonetics*, MIT Press, Cambridge, 1998.
- [12] Arai, T., “Sliding three-tube model as a simple educational tool for vowel production,” *Acoust. Sci. Tech.*, 27(6), 384-388, 2006.
- [13] Delattre, P., Liberman, A. M. and Cooper, F. S., “Acoustic loci and transitional cues for consonants,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 27, 769-774, 1955.
- [14] 荒井隆行, 菅原勉監訳, 音声の音響分析, 海文堂, 1996.
- [15] Dorman, M. F., Raphael, L. J. and Isenberg, D., “Acoustic cues for a fricative-affricate contrast in word-final position,” *J. of Phonetics*, 8, 397-405, 1980.
- [16] 安啓一, 荒井隆行, 小林敬, 進藤美津子, “高齢者を対象とした無声摩擦音・破擦音連続体の識別実験: 若年者の実験結果との比較,” 日本音響学会春季研究発表会, 609-612, 2010.
- [17] 安啓一, 荒井隆行, 小林敬, 進藤美津子, “高齢者の聴覚特性の劣化が無声摩擦音・破擦音連続体の弁別および識別に及ぼす影響,” 日本音響学会秋季研究発表会, 497-500, 2010.
- [18] Liberman, A. M., Delattre, P. C., Gerstman, L. J. and Cooper, F. S., “Tempo of frequency change as a cue for distinguishing classes of speech sounds,” *J. Experimental Psychology*, 52, 127-137, 1956.
- [19] Polka, L. and Strange, W., “Perceptual equivalence of acoustic cues that differentiate /r/ and /l/,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 78, 1187-1206, 1985.
- [20] <http://www.phonetics.ucla.edu/>
- [21] Ladefoged, P., *Vowels and Consonants: An Introduction to the Sounds of Languages*, Blackwell Pub., Oxford, 2000.
- [22] Ladefoged, P., *A Course in Phonetics*, Heinle & Heinle Pub., Boston, 2001.
- [23] Arai, T., “Physical and computer-based tools for teaching Phonetics,” *Proc of ICPhS*, 1, 305-308, 2003.
- [24] 今富摂子, 荒井隆行, 菅原勉監訳, 音声知覚の基礎, 海文堂, 2003.
- [25] Chistovich, L. A. and Lublinskaja, V. V., “The ‘center of gravity’ effect in vowel spectra and critical distance between formants: Psychoacoustical study of perception of vowel-like stimuli,” *Hearing Research*, 1, 185-195, 1979.
- [26] 柏野牧夫, “音韻修復: 消えた音声を修復する脳,” 日本音響学会誌, 61(5), 263-268, 2005.
- [27] Miller, G. A. and Licklider, J. C. R., “The intelligibility of interrupted speech,” *J. Acoust. Soc. Am.*, 22, 167-173, 1950.

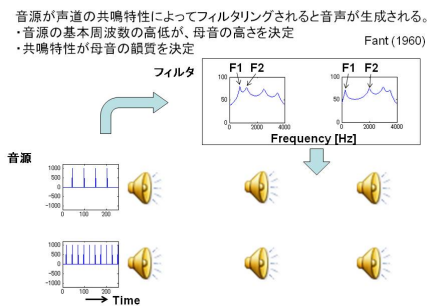
Table 1 音響音声学デモンストレーションの例 (文献[4]より)

ID	内容	分野	教材の形態
1	音源フィルタ理論等	音響	体験・演習型+説明型
2	時間波形・スペクトル・スペクトログラム	音響	説明型
3	フォルマント周波数と帯域幅の弁別閾	音響, 聴覚	体験・演習型+説明型
4	VOT 連続体 (閉鎖子音の有声・無声)	音響, 調音	体験・演習型+説明型
5	スペクトロリーディング(DPP)	音響, 調音	体験・演習型
6	舌の調音位置と母音のフォルマント等	音響, 調音	体験・演習型+説明型
7	ローカス周波数と閉鎖音の調音点	音響, 調音	体験・演習型+説明型
8	摩擦音と閉鎖音, 破擦音の違い	音響, 調音	体験・演習型+説明型
9	接近音とフォルマント遷移	音響, 調音	体験・演習型+説明型
10	鼻音化, 開鼻声	音響, 調音	体験・演習型+説明型
11	発声様式 (modal/breathy/creaky whisper)	音響, 調音	体験・演習型+説明型
12	IPA 記号と単音	言語	体験・演習型
13	精密表記と簡略表記	言語, 調音	体験・演習型
14	日本語方言アクセント (ピッチパタン, 声調, リズム)	言語, 音響	説明型
15	日本語の特性(特殊拍など)	言語, 音響	体験・演習型+説明型
16	ピッチアクセントとストレスアクセント	言語, 音響	体験・演習型+説明型
17	モーラリズム, ストレスリズム	言語, 調音	体験・演習型+説明型
18	声調(音節内:北京語, 広東語, タイ語など; 単語内:アフリカ言語, 京都方言)	言語, 調音	体験・演習型+説明型
19	先行音効果(ハース効果)	心理, 音響	体験・演習型
20	選択的順応の実験	心理, 聴覚	体験・演習型
21	プライミング効果	心理, 聴覚	体験・演習型
22	マガーク効果	心理, 聴覚	体験・演習型
23	選択的注意(カクテルパーティ現象など)	心理, 聴覚	体験・演習型
24	トップダウン処理とボトムアップ処理	心理, 聴覚	体験・演習型
25	調音結合	調音, 音響	体験・演習型
26	言語間の母音図の違い	調音, 言語	体験・演習型
27	カテゴリー知覚(VOT, ローカスと調音点等)	聴覚, 音響	体験・演習型
28	VOT の識別と同定, 言語ごとの閾値	聴覚, 言語	体験・演習型+説明型
29	二重知覚の実験	聴覚, 心理	体験・演習型+説明型
30	両耳分離聴	聴覚, 心理	説明型
31	DAF (Delayed Auditory Feedback)	聴覚, 心理	体験・演習型
32	F2'	聴覚, 心理	体験・演習型+説明型
33	音韻修復	聴覚, 心理	体験・演習型+説明型

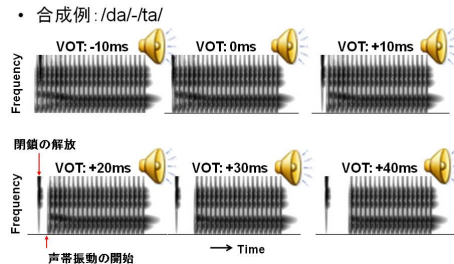
Table 2 音響音声学デモンストレーションの例 (新規提案)

ID	内容	分野	教材の形態
34	言語や方言による母音体系の違い	言語, 調音	体験・演習型+説明型
35	音声のゆらぎの分析(ジッタ, シマ)	音響, 調音	体験・演習型+説明型
36	窓関数の種類とそれによるスペクトルの違い	音響	説明型
37	音韻変化の調音音声学的説明	言語, 調音	説明型
38	言い間違いの調音音声学・音韻論的説明	言語, 調音	説明型
39	構音障がいの種類と評価訓練	音響, 調音	体験・演習型+説明型
40	音声の録音・入力装置の接続・設定	実験	体験・演習型
41	音響音声学用語集		説明型

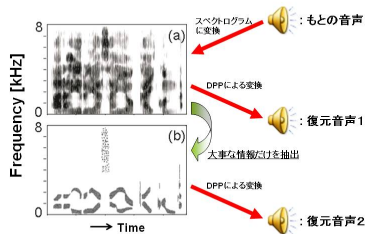
**ID1: 音源フィルタ理論**



**ID4: VOT連続体**



**ID5: パターン・プレイバック**



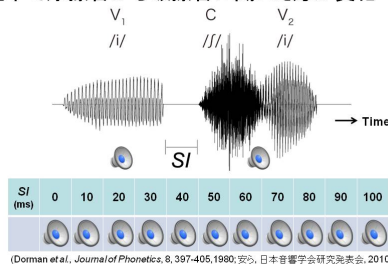
荒井他, "デジタル・パターン・プレイバック," 音韻論, Sep. 2005.  
 T. Arai et al., "Digital Pattern Playback," *Acoust. Sci. Tech.*, 27(6), 393-395, 2006.

**ID7: /ba/から/da/の連続体**



**ID8: 摩擦音と閉鎖音、破擦音の違い**

先行母音V<sub>1</sub>とC間の無音区間Sを変化させると、途中で摩擦音から破擦音に聞こえ方が変化する



**ID9: 閉鎖音-接近音の連続体**

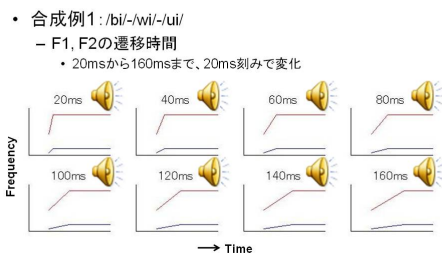


Fig. 1 音響音声学デモンストレーションの各トピックにおける説明の例