

音響学と言語聴覚士との間を取り持つ物理模型の提案*

○荒井隆行（上智大・理工）

1 はじめに

著者は1999年より上智大学大学院にて、「音響・音声・聴覚情報処理」という講義を開講し、毎回、理系・文系を問わず様々な背景を持つ学生を対象に講義を重ねてきた。その中には、言語学専攻に設置されている言語聴覚士養成に対応した言語聴覚研究コースに在籍する受講生も多く含まれる。その講義の歴史はちょうど、言語聴覚士の国家試験制度の歴史と重なるものがあるが、それ以前からも著者は幸い、言語治療に従事される先生方と、「音響学」を巡る議論を重ねる機会を得てきた。

そのような中でまず問題になっていたのが、当時、音声学や音響音声学など、音声と音響学に関わる教科書が少ないということであった。そのような中、上智大学音声学研究室を中心に行われた読書会にて取り上げられた教科書 "Acoustic Analysis of Speech" を翻訳するという話が立ち上がり、1996年に初版が出版された[1]。その本は、音声学や音声学分野のみならず、音言言語医学分野などにも広く読まれ、その分野での教科書の重要性を改めて痛感した。そのことが追い風となり、その後、さらに3冊の翻訳本が出版された[2-4]。

教科書と並行して著者自身が課題として捉えていたこととして、わかりにくい音響現象をより直感的に理解できるような工夫などがあった。例えば、音声分野では基本的な考え方となっている音源フィルタ理論を1つ例に挙げてみても、最終的に教科書に書かれていることは、例えば音源のスペクトルに声道フィルタの伝達関数が乗算され（さらに放射特性が乗算されて）出力音声のスペクトルになるなどである。しかしこれを直感的に理解するためには、そのことを容易に示すことができるような模型の存在が教育的にも有効であろうと考えた。

その結果、たどり着いたのがプレート型と筒型の声道模型であった[5,6]。声道模型を用いると、教科書だけでは分かりづらかった音源と声道フィルタを独立に分けて取り扱うという考え方が、直感的に体得できるなど、その教育的効果は大きいものを実感した。その後、声道模型の開発を続けた結果、声道模型は教育のみならず、臨床への応用の可能性や研究上の手段としても非常に重要であることを感じている。

そこで、本稿ではその可能性と試みについて論じる。

2 様々な声道模型

プレート型・筒型声道模型以来、様々な声道模型を開発してきた。当初は主に、教育的な効果を追求した模型が多かったが、同時に著者は音響学の言語聴覚分野への応用を考えていた。例えば、ある構音障害の音響的特徴を、電気回路やコンピュータによるモデルによってシミュレーションすることなどがその一例である。しかし、電気回路やコンピュータモデルでは場合によって、直感的には理解しにくい面も存在していた。そのような中、言語障害分野にも声道模型を取り入れることが有効であることが考えられた。以下では、そのいくつかの例を紹介する。

2.1 軟らかい舌による声道模型[8]

Fig. 1 は、上歯を伴う軟らかい舌による声道模型である。この図を見ると分かるように、人間の声道の様子を保ちながら、手によって母音（や一部の子音）についてその舌位置や声道形状を実現できると同時に、その形状や調音ジェスチャーによって生み出させる音を確認することができる。

* Proposing physical models of the human vocal tract as a bridge between acoustics and speech pathologists, by ARAI, Takayuki (Sophia University).



Fig. 1. Physical model of the human vocal tract with a flexible tongue.

この模型は舌の上面を含む声道の下側部分が、軟らかい素材でできている。利用者は下から手を添えて、指などを動かすことによって様々な口腔形状を実現することが可能となる。

2.2 開鼻声

口蓋裂などにより鼻咽腔閉鎖が不全な場合、開鼻声を呈することがしばしばある。その他、聴覚障害の場合には、聴覚フィードバックが弱いために軟口蓋が下がり気味になり、発話が鼻音化することがある。そのような際に、鼻腔と咽頭腔の結合があることによって音響的にどのような変化があるかを確認したり、シミュレーションするには声道模型が有効である。

Fig. 1 に、母音 /i/ と /a/ に対する頭部形状模型（右）と、それぞれの模型からの出力音声に対するスペクトログラムの結果（左）を示す[7]。この分析において、人工的な喉頭原音を入力した際、鼻咽腔結合を「無し（closed）」の状態から徐々に「有り（open）」へと変化させている。この図を見ると分かるように、鼻音化に伴って伝達関数に極零対が出現し、その位置が鼻咽腔結合の程度の変化に伴って変化したり、結果的にフォルマント周波数や帯域幅が変化している様子が分かる。

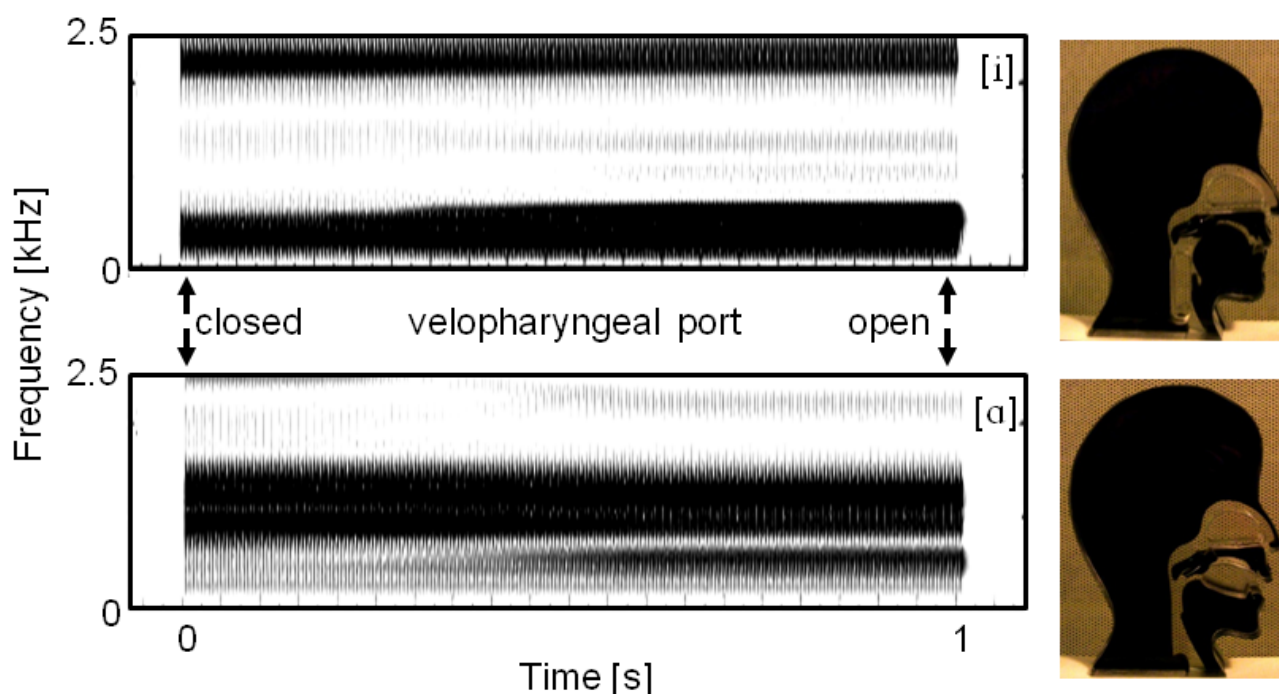


Fig. 2. Physical models of the human vocal tract with the nasal cavity (right) and spectrograms of vowels produced from the physical models (left). The first panel: vowel [i]; and the second panel: vowel [a] (from [7]).

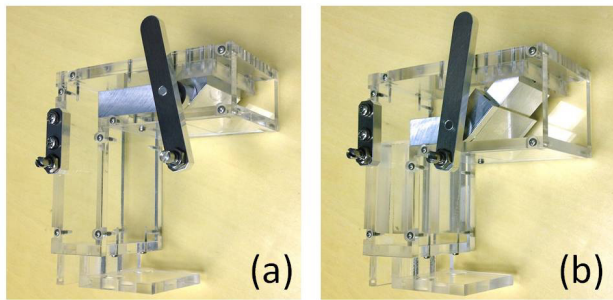


Fig. 3. Physical models of the human vocal tract for flap and approximant sounds (adopted from [9]).

2.3 はじき音や接近音モデル[9]

言語聴覚士が取り組む言語治療の中には、様々な子音が対象となる。例えば、日本語ラ行子音に見られるようなはじき音はその一例で、獲得が比較難しい音とされている。また、日本語母語話者にとって、接近音はその構音の様子を想像することが難しいと考えられる。Fig. 3 は、そのようなはじき音（左）と接近音（右）のモデルである。これらのモデルでは、いずれも舌の前方部分が上方に反り返る機構を備えている。レバーを倒すことによって舌前方が反り返り、はじき音モデルの場合には舌尖が歯茎に接する際、完全な口腔の閉鎖が実現される。一方、接近音モデルの場合、舌を長く伸ばすと舌尖が歯茎に接すると同時に、舌前方の両側に隙間が開いており、側面接近音が生成されるようにできている。また、同じ接近音モデルにおいて舌を短くしておくと、レバーを倒しても舌尖は口蓋に接することはなく、反り舌接近音などが生成される。

3 考察およびまとめ

解説記事[10]においても述べられているように、声道モデルは言語聴覚分野における音響教育において有効である。その一例が音源フィルタ理論であり、音源の基本周波数が増加することによって出力音声の高さが増加する様子や、声道形状が増加することによって出力音声の母音の質が変化することが直感的に示される。また、2.1 節に示した軟らかい舌によるモデルでは、言語聴覚士自身が舌の位置の変化による母音の質の

変化を体得できる他、そのモデルを臨床の現場に持ち込むことによって、なかなか可視化することが難しい口腔内の様子を模型で患者に示すことが可能になる。実際、言語訓練の助けになりであろうという意見をいただいている。

2.2 節に示した鼻腔を伴う模型では、例えば母音の種類によって同じ鼻咽腔結合の程度でも、知覚される開鼻声の程度が変化することがすぐに実感できる。また、嚙声を伴う声の場合、開鼻声の聴覚印象が変わる問題が指摘されている[11]。そのような喉頭原音と声道の複雑な関係を論じる際に、声道模型を用いたアプローチは直感的にもわかりやすく、またその効果をそのまま実感できる利点がある。

2.3 節でははじき音や接近音を取り扱った。その他、言語治療の上で重要な言語音はいろいろな種類が存在する。そのような音に対して、1 つの模型で多くの音が作れるとしたらそれはそれでメリットもあるものと考えられる。一方、1 つの模型で1 つの音、あるいは数少ない音しか作れなかったとしても、その分、機構をよりシンプルに見せることが可能になり、その音に潜む本質をわかりやすく理解できるようになる。それが言語聴覚士自身の教育のため、あるいは研究上や臨床上、大きなメリットととして秘められているものと考えられる。そのような観点のもと、いろいろな音に対応した様々な模型を今後も展開し続ける予定である。

謝辞

内容の一部は日本学術振興会の科学研究費補助金（21500841）の助成を得た。

参考文献

- [1] 荒井隆行, 菅原勉 (監訳), “音声の音響分析,” 海文堂, 1996.
- [2] 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, 1998.
- [3] 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, 2002.
- [4] 今富撰子, 荒井隆行, 菅原勉 (監訳), “音声知覚の基礎,” 海文堂, 2003.

- [5] T. Arai, "The replication of Chiba and Kajiyama's mechanical models of the human vocal cavity," *Journal of the Phonetic Society of Japan*, 5(2), 31-38, 2001.
- [6] T. Arai, "Education system in acoustics of speech production using physical models of the human vocal tract," *Acoust. Sci. Tech.*, 28(3), 190-201, 2007.
- [7] T. Arai, "Acoustic analysis of formant shifts in nasalized vowels," *the Phonetician*, 104-105, 2012-I-II, 39-50, 2012.
- [8] T. Arai, "Gel-type tongue for a physical model of the human vocal tract as an educational tool in acoustics of speech production," *Acoustical Science and Technology*, 29(2), 188-190, 2008.
- [9] T. Arai, "Physical models of the vocal tract with a flapping tongue for flap and liquid sounds," *Proc. of the Interspeech*, 2019-2023, Lyon, 2013.
- [10] 今泉敏, 荒井隆行, "言語聴覚士のための音響教育: 基礎から実用へ," *日本音響学会誌*, 64(1), 47-51, 2008.
- [11] 今富撰子, 荒井隆行, 加藤正子, "開鼻声の聴覚判定における嘎声の影響: 音源フィルタ理論による検討," *音声言語医学*, 44(4), 304-314, 2003.
-