

はじき音を生成する声道模型の開発*

○荒井隆行（上智大・理工）

1 はじめに

今まで、我々は声道模型を研究や教育（音声科学、音響音声学などの分野を中心に）を目的として開発・利用してきた[1-5]. 我々の初期のモデルは、Chiba and Kajiyama による声道模型の復元版[1]に始まったが、ここでは筒型モデルとプレート型モデルの2タイプを開発した[6]. 筒型モデルは、Chiba and Kajiyama が行った直線近似（1次近似）をそのまま円筒管で実現したものである。それを階段近似（0次近似）にして穴の開いたプレートを横に並べる形式にしたのが、プレート型モデルである。いずれのモデルも、講義で用いられている他、一部の博物館・科学館などにおいても展示が行われている。

その後、声道模型はさらにシンプルな形状から頭部形状模型に代表されるようにより人間の音声生成機構に近いものまで多岐に渡って開発が進められた。その中には、声道がまっすぐなモデルと、途中で直角に曲がるモデルとの両方が存在する。前者の例としては、スライド式3音響管モデル（sliding three-tube model; S3T model）がある[3]. このS3Tモデルを用いることによって、声道内の狭窄の位置と、母音の質の関係を確認することができる。また他のモデル同様、S3Tモデルによって音声生成の音源フィルタ理論をデモンストレーションすることが可能である。

より複雑な声道形状を実現した模型には、例えば、MRIに基づく声道形状の測定結果から製作した模型などがある[7]. このような模型を使うことによって、同じ母音でも形状の細部の違いによって話者の個性が変わって聞こえる様子を見るのが可能となる。

その他のより人間に近い声道模型の例として、声道形状をダイナミックに変えることができるような梅田・寺西による声道模

型の改良版がある[5,8]. もともと、梅田・寺西による模型[5]では、プラスチックの角棒を側面から出したり引っこめたりすることによって、声道形状を変えることが可能となっている。我々は、その角棒にアクチュエータを取り付け、PCを介してその制御を行うことができるように改良した[8]. これにより、時々刻々と変化する声道形状を模型にて再現することが可能となった。

このように声道模型は、静的なものと同動的なものに分類されることが分かる。静的な模型は定常母音を生成するのに適している。一方、動的な模型は二重母音や連続する母音、そして子音、特にわたり音などの共鳴音を生成することが可能である。

そのような背景の中、本研究では言語指導や音声教育において声道模型が教具としてどのように活用され得るかを検討するため、「はじき音」に注目した。

2 3つの声道模型

2.1 はじき音用の声道模型

はじき音は日本語にも英語にも存在する。日本語のはじき音はラ行子音に登場し、その多くは歯茎あるいは後部歯茎の位置において調音される。舌は、その舌尖部が文字通り「はじく」ように口蓋をたたき、すぐに再びもとの位置に戻る。舌尖が口蓋をはじく際、短い時間の閉鎖が形成されるため、語中のはじき音を観測すると、スペクトログラム上で20-50 ms程度の短い空白の区間が確認される。

このように「はじく舌」を伴う声道模型の例として、Fig. 1にその試作模型を示す[9]. この模型では、舌がresting positionにあるときには母音/e/の声道形状となっている（Fig. 1a）. 舌の上面から10 mmの部分をアルミ製の板で作る、アルミ製の舌には中心線に沿って溝が作られている。また、母音/e/を実現するために、そのアルミ製の

* Developing a vocal-tract model for producing a flap sound, by ARAI, Takayuki (Sophia University).

舌の両側部は歯列に接しており、また、舌の前方部だけ回転軸を介して上方に起き上がるように設計されている。舌前方部が起き上がる動作は、回転軸に取り付けられたレバーを倒すことによって実現されるように設計されている。舌尖が口蓋に接触する際、側方が上の歯列で囲まれていることか

ら、完全な閉鎖が実現される。

2.2 側面接近音用の声道模型

もともと、英語の/r/や/l/に代表される接近音を生成するために開発された声道模型 [9]で、はじき音が生成されるかについて検討する。Fig. 2 にその模型を示す。

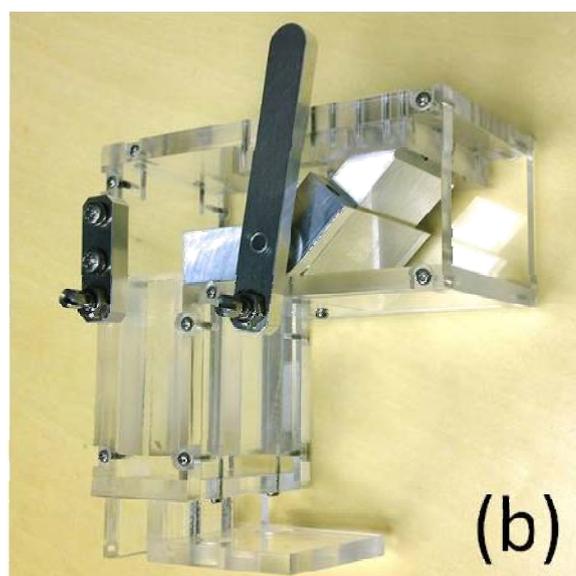
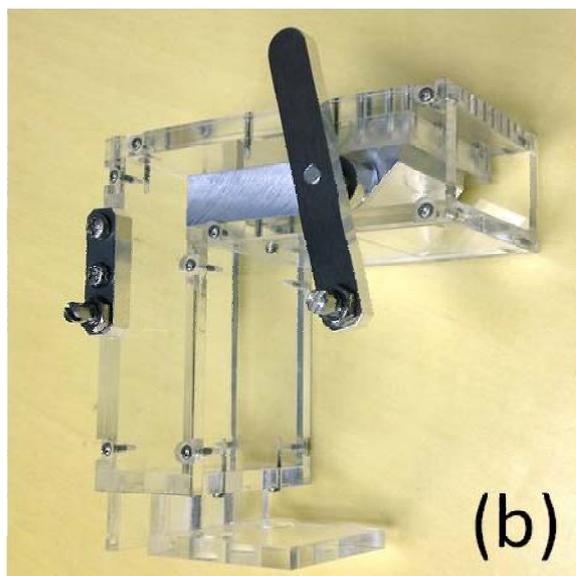
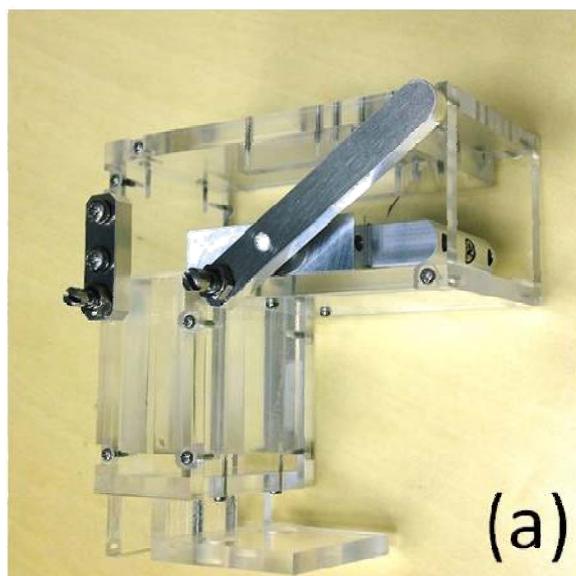
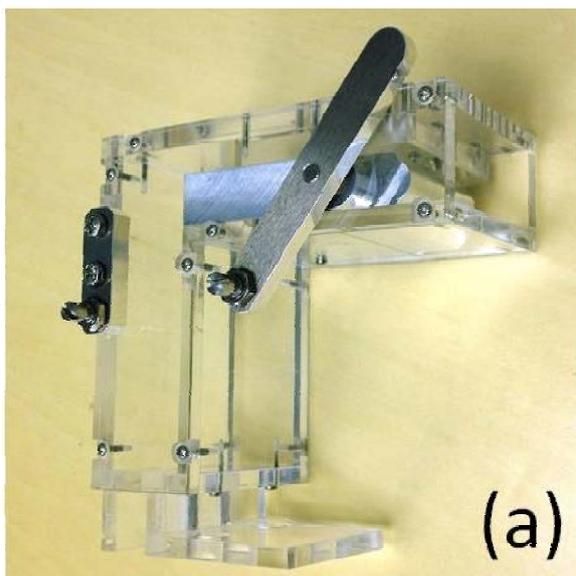


Fig. 1. Model for flap sounds: (a) the tongue is in resting position; and (b) the tongue blade is touching the palate.

Fig. 2. Model for lateral approximants: (a) the tongue is in resting position; (b) the tongue blade is touching the palate.



Fig. 3. Flexible-tongue model.

Fig. 2 を見てもらうとわかるように、2.1 節のはじき音用のものと同様に、舌の上面 10 mm がアルミ製でできており、アルミ製の舌の前方部分がはやり回転軸を介して上方に起き上がるような仕組みになっている。しかし、舌が resting position にある場合、Fig. 2 では母音の/a/になるように設計されている (Fig. 2a)。そのため、口腔断面積ははじき音用のものに比べ、接近音用のもののほうが大きい。また、舌尖が口蓋に接した場合においても、舌側方には両側から気流が流れることから、側面接近音が生成されることがわかる。

ところで、Arai [10]によって指摘されているように、日本語ラ行子音には異音が多く存在し、側面接近音のみならず、側面はじき音という音も異音として見なされる。そこで、Fig. 2 の側面接近音用の模型を用いて、2.1 節のはじき音同様、素早いレバー操作によってのはじき音が生成されることが期待される。

2.3 ゲル素材による軟らかい舌を伴う声道模型

我々は以前、舌の位置を柔軟に変えられるように、軟らかいゲル素材を用いた舌を伴う声道模型を開発している (Fig. 3) [4]。この模型を用いても、舌を素早く口蓋にはじくことができれば、はじき音を生成することが可能であると考えられる。

3 音響分析

2 節で紹介した 3 つの声道模型を用いて、はじき音をそれぞれに生成し、録音した。録音は簡易防音室内にて、マイクロホンが内蔵されたデジタルレコーダ (SONY, PCM-D1) を用いて行った (標本化周波数 48 kHz, 量子化ビット数 16 bit)。録音後、分析のために音声信号を 8 kHz にまでダウンサンプリングした後、WaveSurfer にて波形とサウンドスペクトログラムを観測した。その結果を、Fig. 4 に示す。

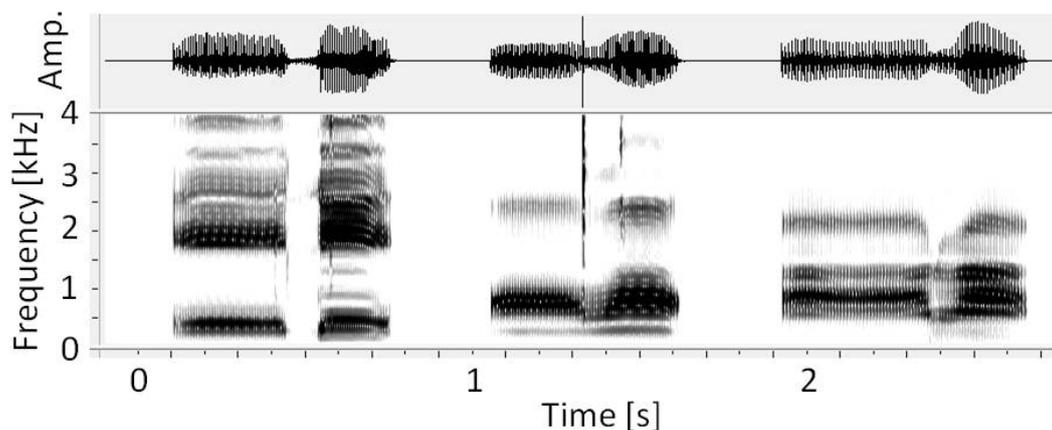


Fig. 4. Sound spectrograms of flap sounds produced by the three models.

Fig. 4 を見るとわかるように、はじき音用の声道模型の場合（図左）では、中央部に短い閉鎖区間が形成されている様子が確認された。一方、側面接近音用の声道模型の場合（図中央）は明確な閉鎖区間は確認されないが、時間波形上も明らかに振幅が弱くなる短い区間が確認された。このことは側面音でありながら同時に舌が「はじいている」ことを表しているものと考えられる。最後に、軟らかい舌による声道模型の場合（図右）は、短い閉鎖区間が確認される一方、その閉鎖の作られ方が安定しておらず、軟らかい舌を操作することの難しさがうかがえる。

4 おわりに

本稿では、開発されたはじき音用の声道模型の他、接近音用の声道模型や軟らかい舌による声道模型を用いたはじき音の生成について取り上げた。日本語ラ行音はその獲得が難しい音であると言われており[10]、言語治療においてもその音の作られ方を説明したり理解するのも困難を有する。また、第2言語として日本語ラ行音を習得する外国語母語話者にとっても、同様の困難さに遭遇することも少なくない。そのような場合も含め、はじき音用の声道模型が音の獲得・習得を助けることが期待される。

謝辞

内容の一部はJSPS 科研費 24501063 の助成を受けた。

参考文献

- [1] Arai, T., "The replication of Chiba and Kajiyama's mechanical models of the human vocal cavity," *J. Phonetic Soc. Jpn.*, 5(2):31-38, 2001.
- [2] 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.
- [3] Arai, T., "Education in acoustics and speech science using vocal-tract models," *J. Acoust. Soc. Am.*, 131(3), Pt. 2, 2444-2454, 2012.
- [4] Arai, T., "Gel-type tongue for a physical model of the human vocal tract as an educational tool in acoustics of speech production," *Acoust. Sci. Tech.*, 29(2):188-190, 2008.
- [5] Arai, T., "Mechanical vocal-tract models for speech dynamics," *Proc. of Interspeech*, 1025-1028, 2010.
- [6] Chiba, T. and Kajiyama, M., *The Vowel: Its Nature and Structure*, Tokyo-Kaiseikan Pub. Co., Ltd., Tokyo, 1941.
- [7] Honda, K., Takemoto, H., Kitamura, T., Fujita, S. and Takano, S., "Exploring human speech production mechanisms by MRI," *IEICE Trans. on Information and Systems*, E87-D(5), 1050-1058, 2004.
- [8] Umeda, N. and Teranishi, R., "Phonemic feature and vocal feature: Synthesis of speech sounds, using an acoustic model of vocal tract," *J. Acoust. Soc. Jpn.*, 22(4):195-203, 1966.
- [9] Arai, T., "Physical Models of the Vocal Tract with a Flapping Tongue for Flap and Liquid Sounds," *Proc. of Interspeech*, 2013.
- [10] 荒井隆行, "日本語/r音の音響特性と幼児音声にみられる speech error," 音講論, 349-352, 2013.3.