

## [招待講演] 音声生成の物理モデルの諸分野における応用例 — 上智大学荒井研究室と関わる事例から —

辻 慎也<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 上智大学理工学部 〒102-8554 東京都千代田区紀尾井町 7-1

E-mail: <sup>†</sup> s-tsuji-119@eagle.sophia.ac.jp

**あらまし** ヒトの声道を模擬した物理的なモデルである、声道模型がこれまでに多く提案されてきた。声道模型を教材としたデモンストレーションなどを通して、その教育的効果がこれまでに示されている。一方、教材としての活用にとどまらず、音声工学的な研究や芸術などの幅広い分野においても声道模型が応用されている。本稿では、上智大学荒井研究室と関わる、主に 2020 年以降の事例をいくつかふり返る。音声工学的な研究では、英語の母音に対する声道模型の試作や声道模型から産出された音声の放射特性の測定といった研究がなされてきた。声道形状が可変な声道模型を用いた研究では、子音を産出する試みや、それらを用いた音声のフレーズや歌唱を生成する取り組みがなされた。さらに、芸術においては「ヴォカリーズ」という楽器に声道模型が応用される例もあった。

**キーワード** 声道模型, 音声科学, 音響教育・音声教育, 音声工学, 応用

## Some applications of physical models for speech production in various fields — A perspective from Arai Laboratory at Sophia University —

Shinya TSUJI<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Faculty of Science and Technology, Sophia University 7-1 Kioi-cho, Chiyoda-ku, Tokyo, 102-8554 Japan

E-mail: <sup>†</sup> s-tsuji-119@eagle.sophia.ac.jp

**Abstract** Many physical models of the human vocal tract have been developed. Previous studies have shown that these vocal-tract models are particularly effective for educational purposes. However, beyond their use as teaching materials, vocal-tract models have also been applied in various fields, including research in speech technology and the arts. This paper highlights some applications of vocal-tract models related to Arai Laboratory at Sophia University, primarily after 2020. For research in speech technology, studies have been conducted on prototyping some vocal-tract models for English vowels, measuring the radiation characteristics of speech sounds produced by a vocal-tract model, and more. In studies using dynamic vocal-tract models, attempts have been made to produce consonants, as well as to generate phrases and singing voice using these consonants. Furthermore, in the artistic field, vocal-tract models have been applied to an instrument called “vocalize.”

**Keywords** Speech Production Model, Speech Science, Education, Speech Technology, Application

### 1. はじめに

上智大学荒井研究室において、千葉・梶山[1]によるものの復元[2]をはじめ、ヒトの声道を模擬した物理的なモデルである、声道模型が様々に提案されてきた[3]。これまでに、声道模型を用いたデモンストレーションなどを通して、音声学などにおける教育的効果が示されている[4]。一方、教材としての活用にとどまらず、音声工学的な研究や芸術などの幅広い分野においても声道模型が応用されている。

本稿では、上智大学荒井研究室と関わる、主に 2020 年以降の事例をいくつかふり返る。

### 2. 諸分野における応用例

2020 年度以降、音声工学的な研究として、日本語母音/e/に対応する声道模型[5]を基にして、英語母音[e]に対して計 24 種類の声道模型 (Fig. 1) が試作された[6]。また、唇・歯・舌といったヒトの調音器官を模擬したパーツを伴った日本語母音/a/に対応する声道模型[7]の放射特性 (Fig. 2) を測定する研究もなされた[8]。

声道形状が可変なものを用いた研究では、スライド式 3 音響管モデル (VTM-S24) [9]に対して、ロボットアーム (Fig. 3) により声道模型の機械的制御を試みた例もあった[10]。アクチュエータにより VTM-S24 を機械的に制御した (Fig. 4) 研究では、DIVA (Directions into velocities of articulators) モデルによって声道模型

から産出された音声ターゲット母音に近づく (i.e., 母音を獲得する) 過程の検討がなされた[11]。同様のアクチュエータを用いた口唇モデル (Fig. 5) も開発された[12]。

梅田・寺西式声道模型[13]をアクチュエータにより制御するモデル (VTM-UT45-D11, Fig. 6) [14]を用いた研究では, /b/, /d/, /g/といった子音を産出する試みや, それらにより音声のフレーズや歌唱を生成するという取り組みがなされた[15, 16]。一方で, アクチュエータによらず手動, あるいはカム機構を用いて声道形状を変化させる声道模型 (例えば VTM-UT45-D6, Fig. 7) [16]によってもフレーズの産出が試みられた[15, 17, 18]。

さらに, 工学的な研究にとどまらず, 芸術といった分野においても声道模型がこれまでに応用されている。例えば, 声道模型を応用したダブルリードの管楽器である「ヴォカリーズ」 (Fig. 8) が制作されている[19]。ヴォカリーズはリードに息を吹き込むことにより/a/, /e/, /i/, /o/, /u/の声に似た音で演奏ができるというものである。



Fig. 1 英語母音[ε]に対して試作された24種類の声道模型[6]

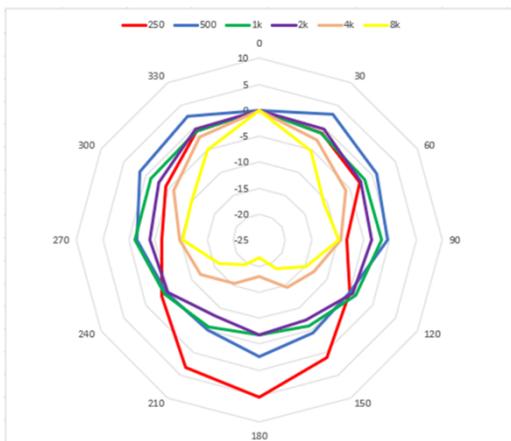


Fig. 2 日本語母音/a/に対応する声道模型[7]によって産出された音声の放射特性[8]



Fig. 3 スライド式3音響管モデル (VTM-S24) をロボットアームにより制御する装置[10]



Fig. 4 アクチュエータにより VTM-S24 を機械的に制御する装置[11]



Fig. 5 アクチュエータを用いて口唇モデルを機械的に制御する装置[12]



2024.

- [12] 川端千尋, “人間の唇の動きを実現する口唇モデルの検討,” 卒業論文, 上智大学, 2025.
- [13] 梅田規子, 寺西立年, “声の韻質と声質: 音響的声道模型による音声の合成,” 日本音響学会誌, vol. 22, no. 4, pp. 195–203, Jul. 1966.
- [14] T. Arai, “Mechanical vocal-tract models for speech dynamics,” Proc. INTERSPEECH, pp. 1025–1028, Chiba, Japan, Sep. 2010.
- [15] 中川千沙希, “声道形状が可変の模型に対する時間制御について,” 卒業論文, 上智大学, 2025.
- [16] T. Arai, R. Suzuki, C. Earp, S. Tsuji, and K. Ochi, “Production of phrases by mechanical models of the human vocal tract,” Proc. INTERSPEECH, pp. 987–988, Kos, Greece, Sep. 2024.
- [17] T. Arai, C. Nakagawa, R. Suzuki, C. Earp, and S. Tsuji, “Tongue bracing for improved control of vocal-tract model,” 187th Meeting of the Acoustical Society of America, A105, Oct. 2024.
- [18] 荒井隆行, 中川千沙希, 川端千尋, 鈴木良平, 辻慎也, “調音のダイナミックスを考慮した声道模型の動きと出力音声の関係,” 日本音響学会春季研究発表会講演論文集, Mar. 2025.
- [19] 姜英里, “人間に近い声色を持つ声道楽器ーヴォカリーズー,” <https://www.tamabi.ac.jp/works/39314/> (参照 2025/03/01).