

声道模型を用いた音声生成時における飛沫の可視化*

○荒井隆行（上智大・理工）

1 はじめに

新型コロナウイルス感染拡大に伴い、会話や歌唱時の飛沫の問題が注目されている[1]。一般的にレーザー光を照射することで飛沫の可視化は実現されるが、人体への影響を考えると声道模型を用いて音声の生成過程を模擬した上での可視化が試みられている[2,3]。特に[2]においては、肺の模型と人工喉頭、頭部形状模型を用いて呼吸から発声、母音生成までを物理模型で再現しており、エアロゾルの可視化を試みている。また、声道模型に軟らかい口唇モデルを装着し破裂音生成時における飛沫の飛散についても可視化を行っている。その際に問題となったのが、口腔内圧をどこまで高められるかという点であった。そこで、本稿においては、改めて声道模型の中でも子音[b], [m], [w], [r], [l]を生成することを目的に作られた BMW-RL モデル[4]に注目し、検討する。

2 実験

2.1 BMW-RL モデル

本稿でとりあげる BMW-RL モデル[4]を用いた実験の様子を Fig. 1 に示す。このモデルでは舌を前半分反らせることが可能であり、それによって[r]や[l]の音を出せるが、測定時には舌は水平に寝かせた状態で実験を行った。また、このモデルは鼻腔を伴い、鼻咽腔結合の程度もダイヤルによってコントロールできるが、測定時には鼻咽腔結合は無しとした。そして、今回はもう1つの可動部である下唇のみを上下させた。なお、下唇は手動で上方へ押し上げ、両唇による閉鎖を実現する。空気ポンプから呼気を送られるが、両唇が閉鎖することによって呼気の流れは遮断され、口腔内圧が高まる仕組みとなっている。その後、下唇を開く際、モデル前面両脇にあるバネの復元力を利用して、一気に口唇の閉鎖の解放が実現される。

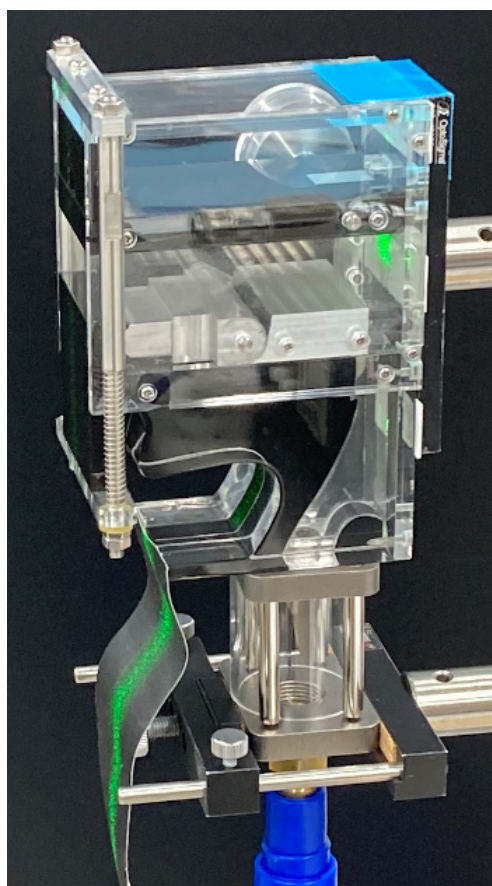


Fig. 1: Experimental settings using the BMW-RL Model [4].

2.2 音源

音源にはリード式の SS-R30 を用いた[5]。空気ポンプから呼気を模擬した気流が送られ、リードが振動する。リードにはステンレス製で厚さが 0.06 mm のものを用い、振動するリードの長さは 22 mm、幅は 10 mm であった。

2.3 飛沫用の模擬唾液

飛沫用に、人工的に模擬された simulated saliva [6]を用いた。この水溶液は、グリセリン 76 g と塩化ナトリウム 12 g を 1 L の蒸留水に溶かして作られた。

2.4 方法

レーザーシートを声道の正中矢状面に沿って照射し、測定実験を行った。実験では試

* Visualizing droplets using vocal-tract models of human speech production, by ARAI, Takayuki, (Sophia University).

行ごとに、約 30 μ L の模擬唾液を下唇の上に乗せた。まず最初に口唇は閉鎖させ、スタンバイ状態とした。その後、空気ポンプから空気を送り閉鎖を解放することで飛沫を飛散させた。録画は、高速度カメラ (Vision Research, Phantom T1340 72GB) を用いてフレームレート 1000 frames/s にて実施した。録音は、騒音計 (Rion, NA-28) とオーディオインタフェース (RME, Fireface UC) を用い、標準化周波数 48 kHz にて行った。なお、マイクロフォンは声道模型の口唇前面から 1 m の距離に設置した。

3 結果・考察

鼻咽腔結合は無し状態で口唇を閉鎖後、口腔内圧が高まった状態で口唇を解放した結果、飛沫の粒子も比較的多く飛散する様子が観測された。音を分析した結果、騒音レベルは約 92 dB で単音節の/ba/の音が発せられていた。参考までに実験では、鼻咽腔結合は有りの状態でも同様の測定を行った。その場合、口唇を閉鎖後、空気ポンプから呼気が送られると鼻音マーマーが生成され、口唇が解放されると、結果的に単音節の/ma/が発せられた。しかし、気流は鼻腔へと流れるため、口腔内圧はそこまで高まらず、飛沫は飛散しなかった。このように、生成される子音によっても飛沫の飛散量は変わることが確認された。

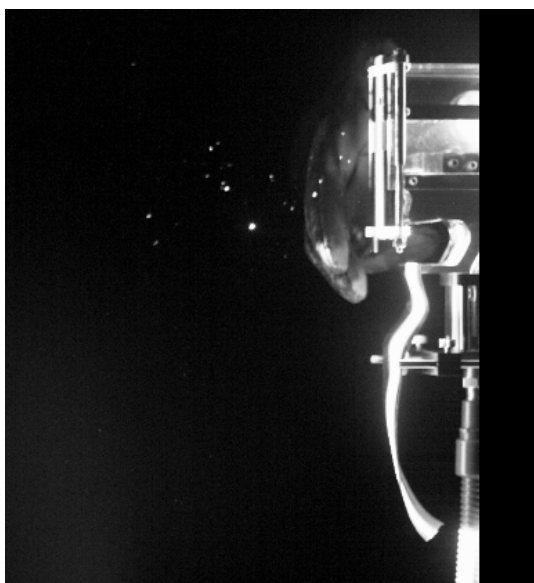


Fig. 2: Snapshot after releasing the lip closure with the BMW-RL Model [4].

4 おわりに

本稿では、声道模型の BMW-RL モデル[4]を用い、人工的に作られた模擬唾液を用いて口唇から飛沫が飛散される様子を可視化した。単音節/ba/を発する際、子音/b/において飛沫が多く飛散される様子が改めて確認された。本モデルは、舌が反り返る機構を備えており、単音節の/la/を生成するようには設計されていた。しかし、舌尖が歯茎に接触する際、側面接近音/l/を生成するために側方にわざと気流の通り道が出来るつくりになっている。もしこの機構を改良し歯茎での口腔閉鎖が実現できれば、単音節/da/についても同様の測定が可能となる。多様な子音に対する測定を進めるために、声道模型の改良を進める予定である。

謝辞

内容の一部は、JSPS 科研費 18K02988 / 21K02889 ならびに上智大学重点領域研究の助成を得た。

参考文献

- [1] P. Anfinrud, V. Stadnytskyi, C. E. Bax, and A. Bax, “Visualizing speech-generated oral fluid droplets with laser light scattering,” *N. Engl. J. Med.*, 382, pp. 2061–2063, 2020.
- [2] T. Arai, “Vocal-tract models to visualize the airstream of human breath and droplets while producing speech,” *Proc. INTERSPEECH*, 2021.
- [3] 飯田・吉永, “会話が COVID-19 の感染リスクに及ぼす影響,” 音講論, 2021.9.
- [4] T. Arai, “Integrated mechanical model of [r]-[l] and [b]-[m]-[w] producing consonant cluster [br],” *Proc. INTERSPEECH*, 2017.
- [5] T. Arai, “Sound sources used in speech production research with physical models of the human vocal tract,” *Proc. of Int'l Workshop on History of Speech Communication Research*, 2019.
- [6] M. P. Wan, C. Y. H. Chao, Y. D. Ng, G. N. Sze To, and W. C. Yu, “Dispersion of expiratory droplets in a general hospital ward with ceiling mixing type mechanical ventilation system,” *Aerosol Sci. Technol.*, 41(3), pp. 244–258, 2007.