

梨状窩によって生じる声道伝達特性の極零パターン*

北村達也, 竹本浩典, 本多清志 (ATR 人間情報科学研究所)

1 はじめに

声道下部に位置する下咽頭腔は喉頭腔および梨状窩から成る．その形状の個人差は音声の個人性の生成要因の1つであるため [1], 我々はその音響特性を詳細に検討している．梨状窩は披裂部の左右に1つずつある声道の分岐管で, 音声スペクトルの 4 kHz から 5 kHz に零を生じさせると報告されている [2]. ところが, 声道模型を用いて梨状窩の音響的影響を計測したところ, 梨状窩が上述の零ばかりでなく, 5 kHz から 6 kHz に極を生じさせることを示唆する結果が得られた [3]. また, この極は実音声のスペクトルでも確認できる．そこで, 本研究では声道模型の音響的計測と有限要素法 (FEM) による音響解析を用いて, この極の生成に梨状窩が寄与することを示し, その生成メカニズムを明らかにする．

2 音響計測

2.1 声道模型

MRI 同期撮像法により成人男性 1 名の日本語 5 母音発声時の MR 画像を撮像した [6]. その MR 画像を $0.5 \times 0.5 \times 0.5$ mm/voxel のボリュームデータに変換し, 事前に作成していた歯列データを補填した．次に, 閾値処理に目視による修正を加えて声道領域を抽出し, 光造形により模型を製作した [3].

2.2 計測方法

計測機器の構成を図 1 に示す．声道模型はその口唇部がホーンドライバーユニットの出力部に正対するように設置した．声道模型の声門部を直径 1.2 mm の穴を開けたプラスチック板でふさぎ, その穴にマイク (B&K 4182) のプローブを挿入した．これは, 声門部の音響インピーダンスを高くすることにより, 声門開口が声道音響特性に与える影響 [3][4] を抑えるためである．

計測においては, アンプ (Accuphase E-305) を介してホーンドライバーユニット (エール音響研究所 7550DE) から Optimized Aoshima's time-stretched pulse [5] を出力した．そして, 声門部における音圧をアンプ (B&K 5935) を介してレコーダ (Marantz PMD-670) に標準化周波数 48 kHz, 量子化 16 bit にて保存した．計測は気温 20 °C の無響室にて行った．

梨状窩の音響的影響を調べるため, 声道模型の梨状窩にパテを埋めた状態でも計測を行った．

2.3 結果

母音 /a/ と /i/ の声道模型の音響特性を図 2 に示す．梨状窩を除去することによって 3.7 kHz から 4.6 kHz における 2 つの零が消失する．さらに, 5.3 kHz 付近

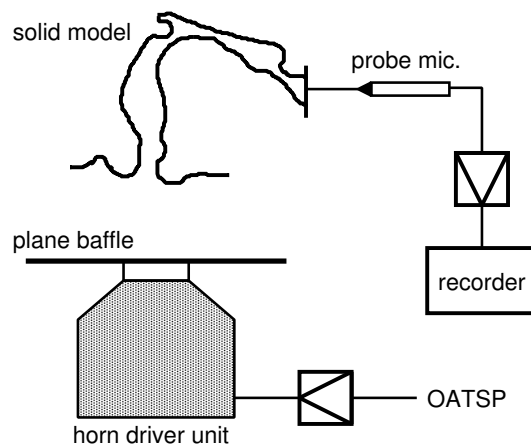


Fig. 1 A diagram of measurement setup.

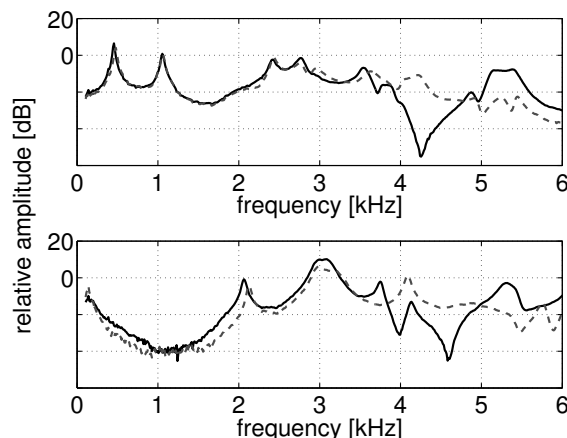


Fig. 2 Acoustic characteristics of solid vocal tract models for the vowels /a/ (top panel) and /i/ (bottom panel) with empty (solid line) and filled (dashed line) piriform fossa.

の極も消失し, これにより 5 kHz から 6 kHz の帯域のパワーが減少する．

3 FEM による音響解析

3.1 有限要素モデル

母音 /a/ の歯列補填済みのボリュームデータから声道領域および放射領域を抽出し, その領域に対して 6 面体 (立方体および直方体) で要素分割を行った [6]. 放射領域において前鼻孔はふさいだ．また, この被験者は母音 /a/ 発声時に主声道と鼻咽腔が連結するが, この鼻咽腔開口部もふさいだ．

声道および顔近傍の領域は $2 \times 2 \times 2$ mm の要素で分割し, 放射領域は $2 \times 2 \times 8$ mm の要素で分割した．放射領域は, 外鼻の先端から下顎下端までの上下約 100 mm, 両口角を含む左右約 70 mm, 前後方

* A pole-zero pattern generated by the piriform fossa on vocal tract transfer functions by KITAMURA Tatsuya, TAKEMOTO Hironori, and HONDA Kiyoshi (ATR Human Information Science Laboratories)

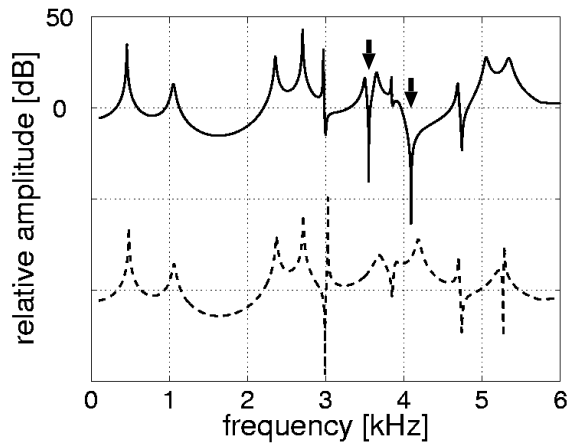


Fig. 3 Pressure-to-velocity transfer functions of finite element models for the vowel /a/. The solid line shows data for the model with the piriform fossa and the dashed line shows data for the model without the fossa. Arrows show zeros generated by the fossa.

向 98 mm から成る．なお，2 mm 角の要素を用いたことにより， $0.5 \times 0.5 \times 0.5$ mm/voxel のボリュームデータに対して声道領域の体積に 2.6 % の差異が生じた．

梨状窩の音響的影響を調べるため，上記の有限要素モデルから梨状窩を除去したモデルも作成した．

3.2 伝達特性の推定法

音圧 p に関する波動方程式は以下の式で与えられる．

$$\nabla^2 p + k^2 p = 0 \quad (1)$$

ここで， k は波数 ($k = \frac{\omega}{c}$ ， ω : 周波数， c : 音速) である．有限要素モデルの声門部を入力端とし，正弦波振幅 1.0 m/sec の体積速度で励振させた．放射領域の境界面には空気の固有インピーダンス ρc を与えた．入力端と放射領域の境界面以外の境界面は剛壁とした．気温を 20 °C とし，音速 c および空気密度 ρ はそれぞれ $c = 343.38$ m/sec， $\rho = 1.1972$ Kg/m³ を用いた．以上の条件で上記の波動方程式をガラーキン法で解いた．伝達特性 $H(\omega)$ は次の式で求めた．

$$H(\omega) = \frac{P_{out}(\omega)}{U_{in}(\omega)} \quad (2)$$

ここで ω は周波数， $P_{out}(\omega)$ は正中矢状断面における口唇先端から水平方向 82 mm の点の音圧， $U_{in}(\omega)$ は入力端における体積速度である．伝達関数は 100 Hz から 6 kHz までを 10 Hz きざみで計算し，極および零の前後では 1 Hz きざみで計算した．

3.3 結果と考察

FEM により得られた伝達特性 $H(\omega)$ を図 3 に示す．これらの伝達特性における極および零の周波数は，音響計測の結果とよく一致している．また，梨状窩を

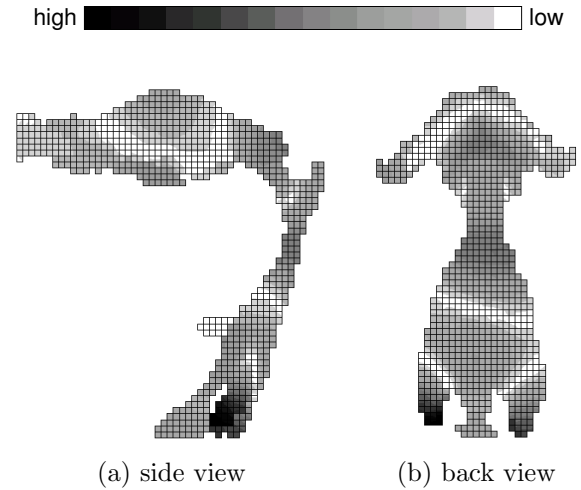


Fig. 4 Pressure distribution in the vocal tract at 5052 Hz.

除去することによって 3500 Hz および 4090 Hz の零が消失する．さらに，5052 Hz および 5340 Hz の極も消失し，これにより 5 kHz から 6 kHz の帯域のパワーが減少する．

極が生じる 5052 Hz における声道の音圧分布を図 4 に示す．この図から，梨状窩の下端に音圧が最大になる部分が現れ，かつ声道全体に定在波が生じていることがわかる．加えて，この極は梨状窩を除去することにより消失する．以上より，この極は，低次ホルムントのように声門から口唇までを結ぶ伝搬経路に沿った定在波によって生じたものではなく，梨状窩の下端から口唇までを結ぶ経路に沿った定在波によって生じたものと結論できる．この共鳴パターンは従来の音声生成理論では知られていなかった新しい現象である．

4 おわりに

声道模型の音響特性の計測と FEM による音響解析により，梨状窩の音響特性について調査した．その結果，梨状窩は零ばかりでなく極の生成にも寄与することを示した．この極は，梨状窩の下端から口唇までを結ぶ経路に沿った定在波によって生じるものである．梨状窩のサイズと形状は個人差が大きいため [1]，この極は音声スペクトルの個人性特徴の一要因とみなすことができる．

謝辞 本研究は情報通信研究機構の研究委託「人間情報コミュニケーションの研究開発」により実施したものである．

参考文献

- [1] Kitamura *et. al.*, AST, 26, 16–26, 2005.
- [2] Dang & Honda, JASA, 101, 456–465, 1997.
- [3] 本多ら，音講論 (秋)，313–314, 2005.
- [4] 北村ら，音講論 (秋)，415–416, 2005.
- [5] Suzuki *et. al.*, JASA, 97, 1119–1123, 1995.
- [6] 北村ら，信学技報 SP2004-78, 2004.