

鼻音生成時の伝達関数に生じる零点の生成要因の検討

☆杉浦唯, 竹本浩典 (千葉工大), 北村達也 (甲南大), 鴻信義 (慈恵医大)

1 はじめに

鼻音生成において声門から鼻孔に向かう経路に対して分岐管となる, 口腔, 喉頭蓋谷, 梨状窩, 副鼻腔は, スペクトルにディップを生成する。そのため, 鼻音のスペクトルは非常に複雑である。副鼻腔とそれ以外の分岐管は離れている上に鼻咽腔が狭いため, 音響的に独立していると考えられる。また, 鼻腔内では, 篩骨洞を除く副鼻腔は開口部が互いに離れているため, それぞれ音響的に独立していると考えられる。その一方, 口腔, 喉頭蓋谷, 梨状窩はすべて広い咽頭腔に開口するため, 複雑な連成振動系として音声スペクトルにディップを生成すると考えられる[1]。しかし, この問題についてこれまで検討されたことはなかった。そこで本研究では, 鼻音発声時の声道形状を CT で撮像したデータと計算機シミュレーションを用いて, 咽頭に開口する口腔, 喉頭蓋谷, 梨状窩がどのようにディップを生成するか検討したので報告する。

2 材料と方法

2.1 CT 撮像と音声収録

被験者が仰臥位で鼻音/m/を発声中の声道形状を CT (CANON Aquilion Prime) で撮像した。空間解像度は $0.38 \times 0.38 \times 0.5$ mm, スキャン時間は 1 s であった。/m/の発声はできるだけ舌を口蓋に密着させ, 発声しやすい音高とするように指示した。なお, 本研究は東京慈恵会医科大学附属病院の倫理委員会の承認を受けた (受付番号: 30-471(9492))。

2.2 分析に用いた声道形状

撮像した 10 名のうち 3 名の男性被験者 (M1, M2, M3) は, 舌が口蓋に密着しておらず, 口腔が明確に分岐管となっていた。そこで本研究では, この 3 名の声門から上咽頭下部までの声道形状を分析に用いることとした。

まず, 声門から上咽頭下部までの声道形状を領域拡大法で CT 画像から抽出した。この

とき, 体組織と空気を -190 の閾値で分離した [2]。抽出した声道形状に厚さ 3 mm の壁を付与し, 0.5 mm の間隔で等方向に離散化し, これを ORG モデルとした (Fig. 1)。次に, 各分岐管が生成するディップを特定するため, 口腔 (OC), 左喉頭蓋谷 (EVL), 右喉頭蓋谷 (EVR), 左梨状窩 (PFL), 右梨状窩 (PFR) のみを残してそれ以外は閉塞した同名のモデルを作成した。また, 全ての分岐管を閉塞したモデルを NONE とした。なお, 閉塞したのは, 口腔は冠状断面で, それ以外の分岐管は水平断面でその分岐管が声道の他の部分から独立して観測される部分とした。

2.3 伝達関数の計算

前節で作成した全てのモデルに対して, 声門の中央直上に置いた音源点から, 上咽頭下部の開口部に置いた観測点までの 20 ms のガウシアンパルス応答を時間領域差分法 [3] で計算して伝達関数を求めた。なお, シミュレーションの周波数は 2 MHz とした。

2.4 瞬時音圧分布

伝達関数のディップ周波数を特定し, ディップ周波数を持つ正弦波を音源点に入力して声道を励振した。そして, 定常状態における瞬時音圧分布を可視化した。

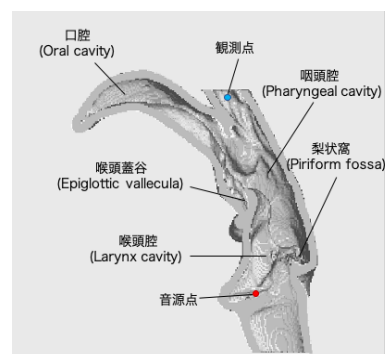


Fig. 1 正中面左側を除去した声道形状

3 結果と考察

Fig. 2 は M1 の 7 つのモデルの伝達関数である。NONE では, 4440 Hz (Δ) と 5220 Hz (\blacktriangle) に極零対が観測された。これらの周波数にお

* Examination of causal factors which generate spectral dips on transfer functions of nasals, by SUGIURA, Yui, TAKEMOTO, HIRONORI, (Chiba Institute of Technology), KITAMURA, Tatsuya (Konan Univ.), and OTORI, Nobuyoshi (The Jikei Univ.).

ける瞬時音圧分布を可視化したところ、4440 Hz のディップは咽頭腔上部の横方向の共鳴（横モード）、5220 Hz のディップは両側の梨状窩の閉塞部分より上部の共鳴であった。

各分岐管により生成された極零対のディップのうち、最も周波数が低いものを Fig. 2 に ▲ で示し、Table 1 に周波数を記載した。同様にして M2, M3 のディップ周波数も Table 1 に記載した。なお、M3 は喉頭蓋と舌が密着して喉頭蓋谷が観測されなかったため、EVL と EVR のディップ周波数は記載していない。

NONEで観測された横モードによるディップは、分岐管の付加により周波数とレベルが変動した。EVLでは、横モードの生成にEVLが関与して周波数が40 Hzほど低下し、ディップが深くなった。PFL, PFRの△で示す3660 Hz と3580 Hzの2つのディップは、それぞれ横モードの生成にPFL, PFRが関与することで周波数が低下し、ディップは浅くなった。

また、鼻音の生成では、これまで着目されていなかった部分が分岐管として機能することが明らかになった。Fig. 3aはPFRの5300 Hzにおける瞬時音圧分布を左前方から可視化したものである。矢印で示した2つの部分は、左右前口蓋弓裏面の中咽頭腔である。これらの部分は複数のディップの生成に関与していた。PFRの5300 Hzでは右側のこの部分が右の梨状窩の底部、左の梨状窩上部と同相で振動し、左のこの部分だけが逆相で振動していた。

つまり、鼻音の生成では、副鼻腔以外に7つの分岐管が存在する。すなわち、口腔、左右の梨状窩、左右の喉頭蓋谷と左右前口蓋弓裏面の中咽頭腔である。これらの分岐管は全て咽頭腔に開口する。そのため、連成振動系として複雑に相互作用すると考えられる[1]。例えば、ORGの▲で示す4180 Hzのディップは、左右の梨状窩と喉頭蓋谷が同相で振動することによって生成され (Fig. 3b)、◆で示す4700 Hzのディップは、左右の梨状窩と喉頭蓋谷に加えて口腔も同相で振動することによって生成されていた (Fig. 3c)。これらの周波数は梨状窩や喉頭蓋谷が単独で生成するディップとは異なっていることから、相互作用の影響であるといえる。この相互作用は、各分岐管が単独で生成するディップ周波数が離れている口腔では小さく、OCでは820 Hz、ORG

では840 Hz (ORGの△) であった。

4 終わりに

本稿では、鼻音生成時の副鼻腔以外の分岐管が生成するディップの成因について検討した。その結果、分岐管は口腔、左右の喉頭蓋谷、左右の梨状窩に加えて、左右前口蓋弓裏面の中咽頭腔の7つあることが明らかになった。そして、これらは連成振動系を形成し、横モードも加わる複雑な相互作用により、多数のディップを生成することが明らかになった。また、これらの結果から、鼻音のスペクトルのディップがどの分岐管に由来するかを特定することは、1000 Hz 付近の口腔に由来するディップ以外は困難であると思われる。

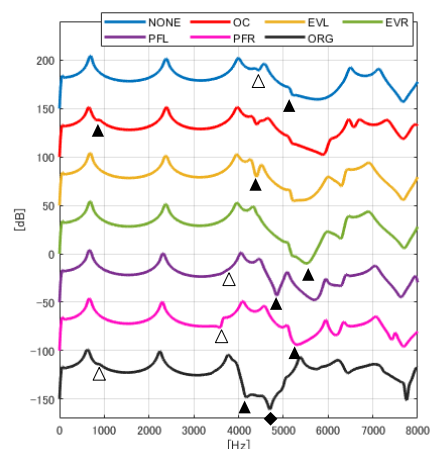


Fig. 2 M1 の7つのモデルの伝達関数

Table 1 各分岐管に由来するディップ周波数 (Hz)

	OC	EVL	EVR	PFL	PFR
M1	820	4400	5520	4680	5300
M2	1280	5280	5720	6700	5820
M3	1180	—	—	5440	3240

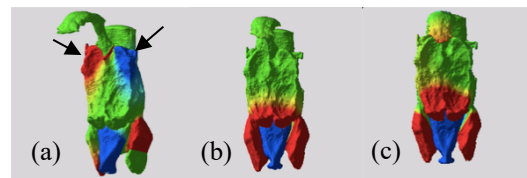


Fig. 3 M1 の瞬時音圧分布パターン

謝辞

本研究は JSPS 科研費 19K12048, 19K12031 の助成を受けた。本研究の実施にあたり、内尾紀彦氏、慈恵医大 今川記恵氏の協力を得た。

参考文献

- [1] Takemoto *et al.*, JASA, 2955–2964, 2013.
- [2] 杉浦ら, 音講論(春), 767-768, 2020.
- [3] Takemoto *et al.*, JASA, 3724-3738, 2010.