

## 鼻音生成時の声道形状の抽出と音響特性の解析\*

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

### 1 はじめに

鼻腔・副鼻腔の形状は複雑で、鼻音のスペクトルには多数のピークやディップが存在する[1]。その形状は個人差が大きくしかも可動部分がないため、音声に定常的な響き、つまり個人性を付与すると考えられる。

そのため、鼻腔・副鼻腔の手術により音声の個人性が変化するが、今のところ術前にその程度等を予測するすべがない。これは声優や声楽家にとっては大きな問題である。そこでわれわれは、多数の被験者の術前・術後の鼻腔・副鼻腔の形状を CT で計測し、形状の変化による音声の変化の原因を音響シミュレーションで追及することで、術前の音声変化の予測に役立てようとしている。

しかし、音響シミュレーションを実施するにあたり、2つの問題を検討する必要がある。まず、声門の開度である。CT は撮像に時間がかかるため、発声に伴う声門の開閉が平均化されて画像となる。そのため、画像上では声門は開いている。しかし、音声スペクトルへの影響は声門が閉じている瞬間が最大であるため、声門の開度を検討する必要がある。次に、体組織と空気を分離する閾値 (CT 値) である。CT 値は空気が-1000、水が 0 となるように正規化されている。しかし、ノイズなどにより、鼻腔・副鼻腔の粘膜と腔の間で CT 値は連続的に変化する。そこで、両者を分離する適切な閾値を検討する必要がある。本稿では、鼻音生成時の鼻腔・副鼻腔を含む声道形状を抽出してこれら 2つの検討を行ったので報告する。

## 2 材料と方法

### 2.1 CT 画像と音声データ

これまでにデータを取得した被験者は患者 5 名と健常者 4 名であるが、本研究では成人男性の患者 1 名を用いた。いずれも事前に研究の趣旨等を説明し、同意書に署名すること

で承諾を得た。CT 装置は CANON Aquilion Prime で、撮像は被験者が仰臥位で鼻音/m/を発声中に行い、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。また、CT 撮像に先立ち、仰臥位における/m/の発声を外鼻孔から 2 cm の位置で SONY PCM-A10 で録音した。/m/の発声には、録音時、撮像時とも舌を口蓋に密着させて発声しやすい音高とするように被験者に教示した。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))。

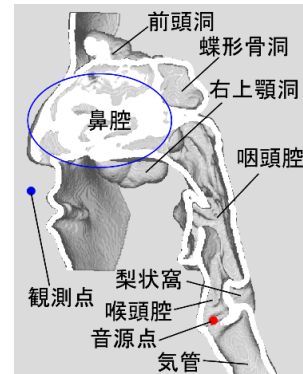


Fig. 1 抽出した声道形状の右半分

### 2.2 声道形状の抽出

声門下約 5 cm の気管から外鼻孔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 -160, -190, -220, -250, -280 の 5 通りの閾値で分離した。これは、鼻腔・副鼻腔の微細構造が妥当に抽出できる閾値が -200 程度であると目視により判断したためである。次に、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た (Fig. 1)。そして、この形状データの声門の開度を検討するために、閾値 -200 で抽出した形状の声門の開度を未編集 (開放), 声門を半分程度閉鎖 (半開放), 声門を完全閉鎖とした 3 通りの伝達関数を音声スペクトルと比較検討した。

### 2.3 伝達関数の計算

声門の中央直上に置いた音源点から、正中

\* Extraction of the vocal tract shape during production of nasals and its acoustic analysis, by SUGIURA, Yui, TAKEMOTO, Hironori, (Chiba Institute of Technology), KITAMURA, Tatsuya (Konan Univ.), UCHIO, Norihiko, and OTORI, Nobuyoshi (The Jikei Univ.).

面で外鼻孔から 2 cm の位置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[2]で計算して伝達関数を得た。なお、声門が開いている場合の気管の下端は無反射境界とし、シミュレーションの周波数は 2 MHz とした。

### 3 結果と考察

まず、声門の開度が伝達関数に与える影響を検討した。Fig. 2 は鼻音/m/のケプストラムによる約 5.5 秒間の平均スペクトル (/m/) と声門を閉鎖 (close), 開放 (open), 半開放 (half) としたときの伝達関数である。開放と半開放の伝達関数はほぼ完全に重複した。声門を開くと、第 1 共鳴のレベルが低下して周波数が上昇し[3], 喉頭腔共鳴 (Fig. 2 の▼) と梨状窩による零点 (Fig. 2 の▲) が消失または高域に移動した。これらの特徴は/m/のスペクトルには見られないこと、声門を閉鎖したときの伝達関数の方が/m/のスペクトルに概形が類似していることから、声門は閉鎖しているとみなして伝達関数を計算すべきである。

なお、喉頭腔共鳴とは喉頭腔が誘導する共鳴で、その形状に微小変動を与えたとき、選択的に大きな変動が生じる伝達関数のピークである[4]。また、梨状窩による零点とは、左右の梨状窩が連成振動することによって生じる反共鳴で、伝達関数の深いディップである[5]。これらはいずれも正弦波で励振した際の音圧分布パターンに基づいて同定した。

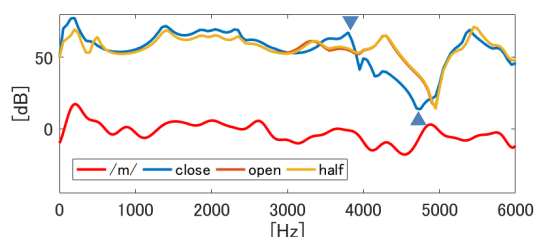


Fig. 2 音声スペクトルと 3 種類の声門の開度で計算した伝達関数。▼は喉頭腔共鳴, ▲は梨状窩による反共鳴。

次に、閾値が伝達関数に与える影響を検討した。Fig. 3 は/m/のスペクトルと、5 つの閾値の伝達関数である。Table 1 で示すように、閾値-190 の伝達関数が/m/のスペクトルとスペクトル距離 (周波数ビンごとのスペクトルの差の絶対値の平均) が最小であった。そこで、Fig. 3 では、閾値-190 の伝達関数を太線、

それ以外を灰色として、閾値が伝達関数に与える変動を示した。伝達関数の概形は/m/のスペクトルにほぼ一致した。また、閾値は伝達関数の概形にはあまり影響しないが、1500 Hz 以上の伝達関数の微細構造に影響することが明らかになった。

しかし、/m/のスペクトルと伝達関数にはいくつかの相違がみられた。/m/のスペクトルには約 900 Hz に小さなピークが観察されたが、伝達関数には観察されなかった。また、/m/のスペクトルには 4900 Hz 付近にピークが見られたが、伝達関数では 5400 Hz 付近に見られた。これらの相違は、/m/発声時の鼻腔を除く声道形状のばらつきが一つの原因と考えられる。

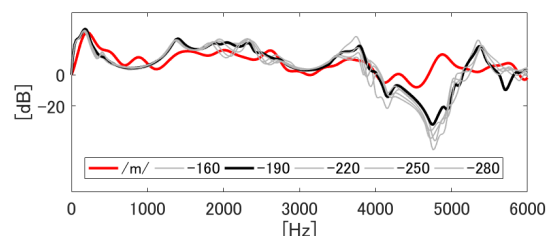


Fig. 3 音声スペクトルと 5 種類の閾値で声道を抽出して計算した伝達関数

Table 1 /m/のスペクトルと各閾値で声道を抽出して計算した伝達関数とのスペクトル距離 (Spectral Distance: SD)。単位: dB。

閾値	-160	-190	-220	-250	-280
SD	7.97	7.04	7.48	7.56	7.78

### 4 おわりに

本稿では、CT で計測した/m/発声時の声道形状から伝達関数を計算して/m/のスペクトルと比較した。その結果、声門は閉鎖しているとみなしてよいこと、体組織と空気を分離する閾値は-190 であることが明らかになった。

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 19K12048, 19K12031 の助成を受けた。

### 参考文献

- [1] Dang *et al.*, JASA, 2088-2100, 1994.
- [2] Takemoto *et al.*, JASA, 3724-3738, 2010.
- [3] Fujimura and Lindqvist, JASA, 541-558, 1971.
- [4] Takemoto *et al.*, JASA, 2228-2238, 2006.
- [5] Takemoto *et al.*, JASA, 2955-2964, 2013.