

鼻音生成時における副鼻腔の連成振動の検討*

☆伯田亜海, 杉浦唯, 竹本浩典 (千葉工大), 北村達也 (甲南大),
内尾紀彦 (そらいろ耳鼻咽喉科センター北駅前院), △鴻信義 (慈恵医大)

1 はじめに

鼻腔・副鼻腔は形状が複雑で個人差が大きく、音声の個人性の生成要因の1つである[1]。副鼻腔は前頭洞、上顎洞、蝶形骨洞、篩骨洞からなり、鼻腔の周囲の空洞である。これらが共鳴することにより、鼻音のスペクトルにディップが生じ、音響的な特徴となる。しかし、これらの副鼻腔は比較的近い位置に開口しているため、相互作用が生じて連成振動などの複雑な振動が生じると考えられるがはっきりとしたことは分かっていない。

また、健常者では副鼻腔の自然口や副口が狭く、CT画像上での同定が難しいことも少なからずあり、副鼻腔自体の共鳴周波数の計算も難しい。しかし、副鼻腔の手術などを受けることで、自然口や副口が拡大されて画像上での同定や共鳴周波数の計算が容易になる。

そこで本研究では、副鼻腔の手術を受けた被験者のCTデータを用いて、まず各副鼻腔の共鳴周波数やそれぞれを付加した際の伝達関数を計算する。そして、副鼻腔の相互の振動の位相を分析し、副鼻腔の連成振動について検討したので報告する。

2 材料と方法

2.1 被験者とCT画像

被験者は両側 ESS III 型鼻中隔湾曲矯正術(前頭洞・前篩骨洞・上顎洞の開放, 病的粘膜炎の処置, 鼻中隔湾曲の矯正)を受けた成人男性1名である。

鼻音/m/発声時の声道形状をCT (SIEMENS SOMATOM Definition Flash) で撮像した。空間解像度は $0.507 \times 0.507 \times 0.5$ mm で、スキャン時間は1sであった。鼻音/m/の発声の際は、出来るだけ舌を口蓋に付け、被験者の発声しやすい音高とするよう指示した。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))。

CT画像において、体組織と空気とをCT値

-190で2値化して分離し[2], 空間解像度が $0.5 \times 0.5 \times 0.5$ mm となるように変換した。そして、声門から外鼻孔までの鼻腔・副鼻腔を含む分析空間を領域拡大法により抽出した。

2.2 分析モデル

2.1 節で抽出した分析空間から篩骨洞を除くすべての副鼻腔を除去したモデルを None とした。そして、None に左前頭洞, 左上顎洞, 左蝶形骨洞, 右前頭洞, 右上顎洞, 右蝶形骨洞のみを付加したモデルをそれぞれ, FSL, MSL, SSL, FSR, MSR, SSR とした。

2.3 各モデルと各副鼻腔の伝達関数の計算

各モデルを用いて、閉鎖した声門中央直上に置いた音源点から、正中面で外鼻孔から約2cmの位置に置いた観測点までの伝達関数と、各副鼻腔のみの形状を用いて、各副鼻腔の中央に置いた音源点から、副鼻腔の自然口から約2cmの位置に置いた観測点までの伝達関数を時間領域差分法[3]で計算した。なお、シミュレーション周波数は2MHzとした。

2.4 瞬時音圧分布

伝達関数のディップ周波数を持つ正弦波を音源点に入力して励振し、定常状態に達した後、瞬時音圧分布を可視化した。

3 結果と考察

左前頭洞, 左上顎洞, 左蝶形骨洞, 右前頭洞, 右上顎洞, 右蝶形骨洞の第1共鳴の周波数はそれぞれ780, 1140, 1360, 1340, 1260, 520 Hz であり、全て1500 Hz 以下であった。各モデルでは、None モデルに付加した副鼻腔の第1共鳴周波数の近傍に新たにディップが生じると予想される。そこで、本研究では、各モデルの2000 Hz 以下に新たに生じた明確なディップに着目して考察する。

Fig 1 に、各モデルの伝達関数、2000 Hz 以下のディップ (○), 各副鼻腔の第1共鳴の周波数 (▼) を示す。None の2つのディップは820, 1360 Hz であった。左右の篩骨洞は、820

* Examination of coupled vibration of the paranasal sinuses during nasal production, by HAKUTA, Ami, SUGIURA, Yui, TAKEMOTO, Hironori (Chiba Institute of Technology), KITAMURA, Tatsuya (Konan Univ.), UCHIO, Norihiko (SORAIRO ENT CLINIC), and OTORI, Nobuyoshi (The Jikei Univ.).

Hz のディップではほぼ逆相，1360 Hz のディップではほぼ同相で振動していた。これは、これら 2 つのディップは 2 振子の連成振動の基準振動によって生成されることを示す[4]。

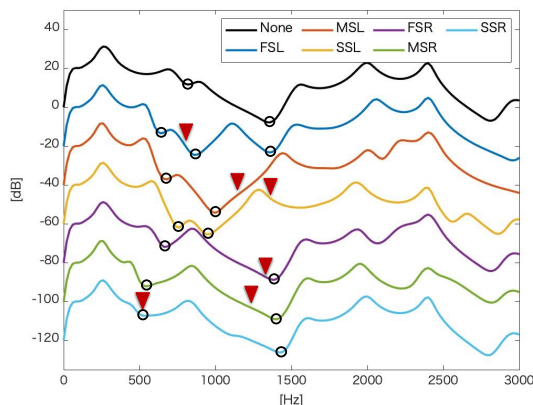


Fig. 1 各モデルの伝達関数，ディップ周波数 (○)，第 1 共鳴周波数 (▼)

まず，左前頭洞以外の各副鼻腔を付加した影響について述べる。副鼻腔を付加しても必ずしもその副鼻腔の第 1 共鳴周波数近傍に新たにディップが付加されたとはいえず，明確なディップは 2 つのままであった。そして，2 つのディップは None の場合と周波数や深さは異なったが，周波数の低いディップでは左右の篩骨洞が逆相で振動し，高いディップでは同相で振動していた。

次に，左前頭洞を付加した影響について述べる。この場合，3 つのディップが現れたが，左前頭洞の第 1 共鳴周波数の近傍にディップが付加されたとは言えなかった。また，周波数が低い 2 つのディップでは左右の篩骨洞が逆相で振動し，その他のディップでは同相で振動していた。

Table 1 は付加した副鼻腔の位相を示す。表中の※1, 2 は，付加した副鼻腔の振幅が小さく，ディップ生成に関与していないと思われる。付加した副鼻腔の位相は，同側の篩骨洞と①同相で振動，②逆相で振動，③同相でも逆相でもない場合があり，それぞれ 9 例，3 例，1 例であった。Fig. 2 はそれぞれの典型的な例を示す。

左上顎洞と左蝶形骨洞を付加した場合のみ，左篩骨洞と常に同相であることから，音響的に一体化して振動したと考えられる。これが None に比べて MSL と SSL のみ，2 つのディップ周波数が共に下降した要因と考えられる。

Table 1 付加した副鼻腔の位相

	左前頭洞	左上顎洞	左蝶形骨洞
	左篩骨洞に対して		
逆相	同相	同相	同相
	逆相		
同相	逆相	同相	同相
	右前頭洞	右上顎洞	右蝶形骨洞
	右篩骨洞に対して		
逆相	同相	同相	同相
同相	※1	同相※2	逆相

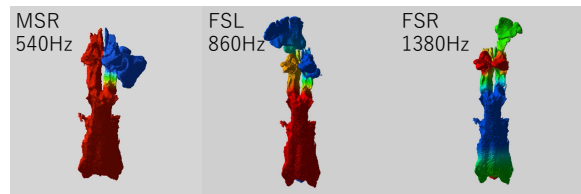


Fig 2 付加した副鼻腔と同側の篩骨洞が同相 (左)，逆相 (中)，いづれでもない (右)

4 まとめ

本研究では，篩骨洞による振動パターンを検討し，そして各副鼻腔を個別に付加した場合の伝達関数と振動パターンを検討した。その結果，篩骨洞のみの場合，低い周波数のディップでは逆相，高いディップでは同相で振動した。副鼻腔を個別に付加すると，付加した副鼻腔と同側の篩骨洞と同相で振動が 9 例，逆相で振動が 3 例，同相でも逆相でもない場合が 1 例であった。

また，左右の篩骨洞と付加した 1 つの副鼻腔によるディップは，3 つの振動子による連成振動の典型的な基準振動 (すべて同相，1 つが静止で 2 つが逆相，2 つが同相で 1 つが逆相) とは数もモードも一致しなかった。副鼻腔を付加して生じたディップは，左右の篩骨洞の 2 振子による連成振動に付加した副鼻腔が，同相，または逆相で関与することによって生成されたと言える。

謝辞

本研究では，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] 杉浦ら，音講論 (春)，767-768, 2020.
- [3] Takemoto *et al.*, JASA, 3724-3738, 2010.
- [4] Takemoto *et al.*, JASA, 2955-2964, 2013.