

## ポップアウトボイス生成時における母音声道形状の分析\*

☆相馬巧海, △深澤佑樹, 竹本浩典 (千葉工大),  
北村達也 (甲南大), 天野成昭 (愛知淑徳大)

## 1 はじめに

背景雑音などの妨害音がある環境下でも聞き取りやすい音声が存在し, この音声をポップアウトボイスと呼ぶ[1]。ポップアウトボイスは単に音圧の大きな音声のことではなく, 同じ音圧レベルでも際立って知覚される。ポップアウトボイスの特徴は, 全体的な音の強さ, 高周波領域の音の強さ, 基本周波数, スペクトルの動的特徴, 高周波領域のスペクトル形状と関係があることが示されている[2]。しかし, その生成メカニズムは明らかになっていない。

そこで本研究では, この生成メカニズムの解明を目的として, ポップアウトボイスを持つ話者がポップアウトする声 (PV) で発声した場合とポップアウトしない声 (NV) で発声した場合の両方において, 声道形状の MRI 撮像と音声録音を実施し, そのデータを用いて PV と NV の比較・分析を行った。

## 2 材料と方法

## 2.1 実験参加者

実験参加者はプロダクションに所属する男性ナレーター1名 (M1) と女性ナレーター1名 (F1) および一般女性3名 (F2~4) である。なお, いずれの実験参加者も PV を有することを確認している[3]。

## 2.2 MRI データ

実験参加者は MRI 内で仰臥して PV と NV で日本語5母音を約15秒間発声し, そのときの声道を含む頭頸部の3次元形状を MRI で計測した。これを3次元 MRI データとする。MRI では歯列と口腔が共に低い輝度値 (黒) となるため, このままでは口腔形状を正確に計測できない。そこでまず, MRI で高い輝度値 (白) になる唇と舌を歯列に押し付けて黒い歯列を白い組織で囲んだ。次に, 上顎と下

顎の歯列を手動で抽出して白黒反転させた。そして, 母音発声中の3次元 MRI データに補填した[4]。

## 2.3 声道形状の分析

まず, 全ての PV と NV の3次元 MRI データから正中矢状断面を抽出し, 発声器官の輪郭をトレースした。次に, 上唇と下唇の先端を結ぶ線分1, 口蓋垂から舌までが最短となる線分2, 声帯位置に対応する線分3を目視で引き, 線分1と2で囲まれた部分を口腔, 線分2と3で囲まれた部分を咽頭として面積をピクセル数で求めた (Fig. 1)。そして, 実験参加者の母音ごとに, 口腔, 咽頭, 声道全体の面積を PV と NV で比較した。

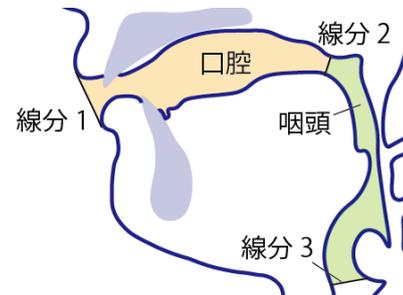


Fig. 1 発声器官のトレースと口腔・咽頭

## 2.4 音声分析

MRI 撮像時に Optoacoustics 製光マイクロホン (FOMRI-I) を使用して音声を録音した。なお, PV と NV でマイクロホンの位置と設定は同一であった。音声データの冒頭部分にはコイルの振動音が含まれていない。そこで, 全ての音声データの冒頭部分から母音の基本周波数とスペクトルを抽出した。

## 3 結果・考察

## 3.1 声道形状分析

Fig. 2 は F4 の母音/a/の PV と NV の輪郭である。PV では顔がやや上を向き, 口が開いて口腔も咽頭も拡大した。Table 1 は口腔, 咽

\* Analysis of the vocal tract shape of vowels during pop-out voice production, by SOMA, Takumi, FUKAZAWA, Yuki, TAKEMOTO, Hironori (Chiba Institute of Technology), KITAMURA, Tatsuya (Konan University), and AMANO, Shigeaki (Aichi Shukutoku University).

頭，声道全体の NV に対する PV の面積の比を 5 名で平均した値を示す。声道全体の面積では，F3 の /i/ (0.94)，/e/ (0.88) を除く全ての場合で 1.0 を超えており，PV で拡大する傾向が強い。口腔では M1 の /o/ (0.99)，咽頭では M1 の /o/ (0.99)，F2 の /i/ (0.94)，F3 の /a/ (0.91)，/i/ (0.90)，/u/ (0.83)，/e/ (0.80)，F4 の /o/ (0.80) を除くすべての場合で 1.0 を超えていた。

これらの結果より，個人差もあるが，咽頭より口腔の方が顕著に PV で拡大した。また，母音ごとに口腔の比を見ると，狭めの制約が比較的強い /i/，/u/，/o/ より比較的弱い /a/，/e/ で大きかった。

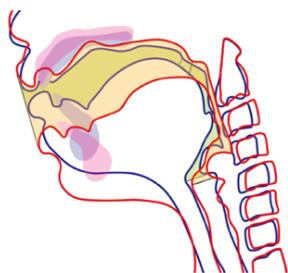


Fig. 2 実験参加者 F4 の母音/a/ 赤：PV，青：NV

Table 1 声道面積の比の平均

|     | 口腔   | 咽頭   | 全体   |
|-----|------|------|------|
| /a/ | 1.71 | 1.05 | 1.54 |
| /i/ | 1.46 | 1.04 | 1.09 |
| /u/ | 1.40 | 1.15 | 1.21 |
| /e/ | 1.79 | 1.06 | 1.22 |
| /o/ | 1.49 | 1.14 | 1.39 |
| 平均  | 1.57 | 1.09 | 1.29 |

Table 2 基本周波数の比

|     | M 1 | F1  | F2  | F3  | F4  | 平均  |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| /a/ | 1.8 | 1.3 | 1.4 | 1.9 | 1.5 | 1.6 |
| /i/ | 1.7 | 1.3 | 1.4 | 1.6 | 1.7 | 1.5 |
| /u/ | 1.8 | 1.3 | 1.4 | 2.1 | 1.8 | 1.7 |
| /e/ | 1.8 | 1.3 | 1.3 | 1.9 | 1.6 | 1.6 |
| /o/ | 1.8 | 1.3 | 1.4 | 1.8 | 1.7 | 1.6 |
| 平均  | 1.8 | 1.3 | 1.4 | 1.9 | 1.7 |     |

### 3.2 音声分析

Table 2 は NV に対する PV の基本周波数の比である。PV では NV より基本周波数が高く，その比は母音によらず個人ではほぼ一定していた。Fig. 3 は 8 kHz までの F4 のケプストラムによるスペクトル包絡である。PV は NV よりどの帯域でもレベルが高く，フォルマントも明瞭であった。Table 3 は 1 kHz の帯域ごとの NV に対する PV の音圧レベルの差を 5 名

で平均した値である。NV に比べて PV では 3 kHz 以上の高域で音圧レベルが上昇する傾向が見られた。この傾向は，1kHz 以上の周波数帯域で音圧レベルが高くなるという，牧ら[5]が示した PV の特徴と部分的に一致した。

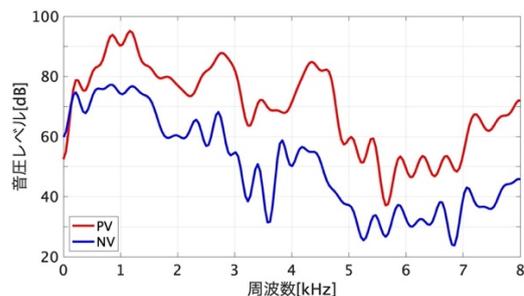


Fig. 3 実験参加者 F4 の母音/a/

Table 3 帯域ごとの音圧レベルの差の平均 (単位: dB)

| kHz | 0-1 | 1-2 | 2-3 | 3-4  | 4-5  | 5-6 | 6-7  | 7-8  | 平均  |
|-----|-----|-----|-----|------|------|-----|------|------|-----|
| /a/ | 4.0 | 7.4 | 6.9 | 8.6  | 9.3  | 8.6 | 10.1 | 9.1  | 8.0 |
| /i/ | 1.1 | 2.9 | 7.3 | 9.3  | 7.4  | 9.2 | 11.6 | 9.0  | 7.2 |
| /u/ | 0.0 | 2.8 | 3.5 | 6.8  | 5.7  | 4.5 | 7.6  | 7.8  | 4.8 |
| /e/ | 3.0 | 7.1 | 7.0 | 9.6  | 8.5  | 6.4 | 7.1  | 10.6 | 7.4 |
| /o/ | 2.7 | 7.9 | 9.3 | 10.7 | 12.9 | 8.1 | 11.0 | 8.5  | 8.9 |
| 平均  | 2.2 | 5.6 | 6.8 | 9.0  | 8.7  | 7.3 | 9.5  | 9.0  |     |

## 4 おわりに

本研究では，PV と NV の正中矢状断面における声道形状を比較検討した。その結果，PV では母音によらず口の開きを大きくし，主に口腔を拡大することが明らかになった。/a/ を大きな声で発声すると口腔が拡大することが知られているが[6]，大きな声と PV の発声の違いについては検討する必要がある。また，音声进行分析した結果，PV では基本周波数が高く，高域でスペクトルが上昇する傾向が見られた。これらは口唇の拡大による放射特性の違いと，声帯音源と声道フィルタの相互作用による声帯振動の違いに起因する可能性があり，今後は声道断面積関数を抽出して検討する必要があると考えられる。

### 謝辞

本研究では，JSPS 科研費 20H00291 の支援を受けた。また，実験参加者に感謝する。

### 参考文献

- [1] 北原ら，音講論(秋)，3-9-3，2022.
- [2] Amano *et al.*, *Acoust. Sci. Tech.*, 43, 105-112, 2022.
- [3] 北村ら，音講論(秋)，3-Q-38，2022.
- [4] 加地ら，音講論(春)，801-802，2022.
- [5] 牧ら，音講論(秋)，3-9-4，2022.
- [6] Tom *et al.*, *JASA*, 109, 742-747, 2001.