

ポップアウトボイス生成時の調音運動のカイモグラフによる分析*

☆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レベルが高いだけでなく、同じ音圧レベルでも際立って知覚されるという特徴がある。これはポップアウトボイスでは基本周波数が高いこと、高周波領域で音が強いことなどが要因と考えられている[2]。

前報では、ポップアウトする声 (PV) とポップアウトしない声 (NV) で発声した母音声道形状を比較分析した結果, PV では全ての母音で口の開きが大きくなり、主として口腔が拡大していることを報告した[3]。本報では、PV と NV で文章を読み上げた際の調音運動をリアルタイム MRI (rtMRI) で記録し、カイモグラフを用いて分析したので報告する。

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) と一般女性3名 (F1~3) である。なお、M1, F1, F3 は日本語母国語話者, F2 は中国語母国語話者であった。また、いずれの実験参加者も PV を有していた[4]。

2.2 rtMRI 撮像

実験参加者は MRI 装置 (ATR-Promotions に設置された Siemens MAGNETOM Prisma fit 3T) 内で仰臥して PV と NV で「北風と太陽」を読み上げ、その調音運動を rtMRI 撮像法で動画として記録した。各動画は 13.8 フレーム毎秒の速度で約 38 秒間記録したので、512 フレームで構成されている。なお、スライス厚は 10 mm, ピクセルサイズは 1.0×1.0 mm である。

2.3 カイモグラフの分析

動画の画素ごとに輝度値の変動の標準偏差を求めて PV と NV で差分を求めたところ、

口腔で差が大きくなる傾向が見られた。これは、PV と NV の調音運動の差が口腔で大きいことを示す。そこで、全ての実験参加者に対して、座標系が同一の PV と NV の動画で口腔の同一位置におけるカイモグラフを求め (Fig. 1), 硬口蓋と舌の変位を計算した。なお、カイモグラフの位置が多少変動しても、硬口蓋と舌の相対的な変位パターンに影響がないことを確認した。

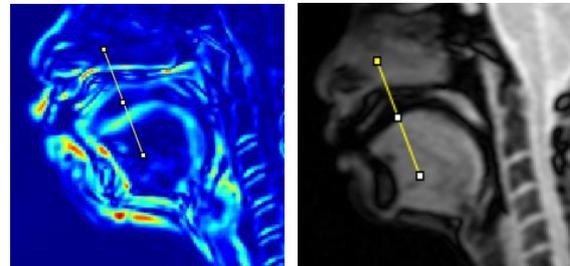


Fig. 1 F3 の PV と NV の画素の標準偏差の差分 (左), カイモグラフの位置 (右)

2.4 音声分析

MRI 撮像時に Optoacoustics 製光マイクロホン (FOMRI-I) を使用して音声データを収録した。音声データからスペクトルサブトラクション法でコイルの振動音を除去した後、Praat [5]を用いて音声波形に手動で音素ラベリングした。なお、マイクロホンの位置と設定は PV と NV で同一である。

3 結果・考察

3.1 声道形状分析

Fig. 2 は M1 の PV と NV における硬口蓋と軟口蓋の変位である。全ての実験参加者の NV より PV において平均位置は口蓋では約 2.0 mm 上方へ、舌では約 1.0 mm 下方へ変位し、標準偏差は口蓋では約 0.5 mm, 舌では約 1.0 mm 増大した。これは PV の調音運動は口腔容積が拡大することを示す。

Fig. 3 は、PV と NV で音素が対応するフレームを特定して硬口蓋と舌の距離を計測し、

* Kymograph analysis of articulatory movements 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).

フレームごとに比較した図である。NV と PV で距離の増減パターンは一致し、PV ではその程度が大きくなったが、文全体としては増加した。これは全ての実験参加者で共通していた。なお、本研究に用いた rtMRI のフレームレートは話速に対して十分に高くなかったため、必ずしも 1 フレームに 1 音素の調音運動が含まれず、2 つの音素の調音運動が混在する場合があった。そのほとんどはモーラの先行子音と後続母音の中間的なフレームであった。

Fig. 3 を踏まえて母音ごとの傾向を分析した。前述したように、1 フレームにモーラを構成する子音と母音の中間的な調音運動が含まれている場合があったが、母音は比較的持続時間が長く、先行子音の影響は小さいとして、PV と NV で対応する母音間で比較した。Table 1 は PV と NV で読み上げ文の対応する母音音素フレームごとに硬口蓋と舌の距離の差を求めて平均した値である。日本語母語話者の M1, F1, F3 では /a/ と /o/ で値が正、/i/, /u/, /e/ では負となった。これは、後舌母音では PV で口腔容積が増大し、それ以外では口腔容積が減少することを示している。前報[3]では母音を単独で発声すると、全ての母音で NV より PV で口腔の容積が増大することを示したが、文章の読み上げでは必ずしもすべての母音で口腔の容積が拡大しないことが明らかになった。なお、中国語母語話者の F2 では /u/ 以外では値が正で、口腔容積が増大した。

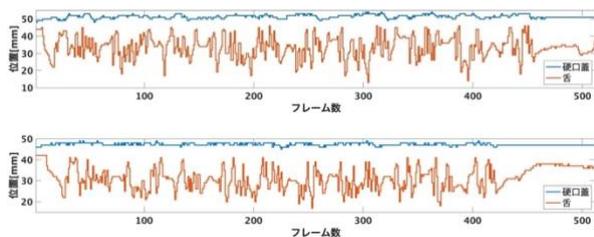


Fig. 2 M1 のカイモグラフから抽出した硬口蓋と舌の位置。上：PV，下：NV

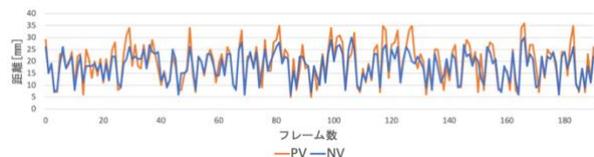


Fig. 3 M1 の硬口蓋と舌の距離

さらに、日本語母語話者の PV と NV で硬口蓋と舌の距離の差が顕著に増大または減少した単独母音以外の音素環境を検討した。以下でリストする /子音+母音/ は、子音と母音が分離できた場合は母音フレーム、子音と母

音が分離できなかった場合はその中間的なフレームを指している。M1 では /no/, /yo/, /ma/, /ra/ で増大、/ke/, /ki/, /mo/, /bi/, /to/, /ri/, /chi/, /to/, /ta/ で減少した。F1 では /ga/, /ka/, /ta/, /ma/, /wa/ で増大、/to/, /be/, /bi/, /no/, /ki/, /ha/, /ku/, /ze/ で減少した。F3 では /mo/, /ta/, /ma/, /ha/ で増大、/be/, /ze/, /no/, /ho/, /to/, /si/, /ka/, /da/, /ni/ で減少した。これらの結果から、PV と NV で口腔の容積が大きく変化する音素環境は個人差が大きかった。しかし、概して言えば、PV 発声では先行子音が /m/ で後続する母音が /a/, /o/ である場合に特に増大し、先行子音が /b/, /n/, /k/ で後続する母音が /i/, /u/, /e/ の場合には特に減少した。

Table 1 PV と NV の硬口蓋と舌の距離の差 (mm) の平均。括弧の中の数値は出現回数

	/a/(73)	/i/(46)	/u/(13)	/e/(13)	/o/(40)
M1	1.38	-0.98	-1.53	-0.83	1.37
F1	1.05	-0.31	-1.75	-0.03	0.44
F3	1.54	-1.13	-0.63	-2.43	0.90
F2	1.00	0.22	-0.25	2.25	0.07

4 おわりに

本研究では、PV と NV で同一の文章を読み上げた際の硬口蓋と舌の距離の変動を分析した。その結果、距離の増大は、文中での出現回数が多く口腔が広い /a/, /o/ で顕著であり、その先行子音は個人差が大きかったが、/m/ は共通していた。逆に、出現回数が少なく口腔が狭い /i/, /u/, /e/ で距離は減少し、特に先行子音が /b/, /n/, /k/ のときに顕著であった。これは、調音運動は全体として増大したが、出現頻度の影響で文全体としては口腔の容積が増大する結果となったと考えられる。今後の展望として、口腔容積の増大が音響的にどのような効果をもたらすか検討する。

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] 相馬ら, 音講論(秋), 1-10-6, 2023
- [4] 北村ら, 音講論(秋), 3-Q-38, 2022.
- [5] Boersma & Heuven, Glot. International 5(9/10): 341-345, 2001.