

オペラ歌唱における声の明暗の表現と声道形状の制御の検討*

©高橋純（大阪芸大），戸田菜月，竹本浩典（千葉工大）

1 はじめに

優れた歌手は、曲種やその曲で求められる「表現」にあわせて、同じ母音、同じ音高でも、歌声の音色を変化させることができる。しかし、そのメカニズムは知られていない。

近年では磁気共鳴画像法（MRI: Magnetic Resonance Imaging）を用いて体内運動を任意の断面でリアルタイムの動画として撮像する技術（rtMRI）が発展し、歌唱時の発声器官の運動を観測することが可能となった[1]。

前報では、オペラ歌手が非声楽的な発声を模擬した際の歌声の音響的特徴と声道形状の挙動との関係について報告した[2]。しかし、実際の歌唱において「表現」をするために、歌手がどのように歌声の音色を変化させているのかは明らかになっていない。そこで本研究では、オペラ歌手が「普通」の声、「明るい」声、「暗い」声を歌い分けた際の音響特性の変化と声道形状の変化を分析し、歌い分けのメカニズムを検討したので報告する。

2 方法

2.1 実験参加者と歌唱課題

実験参加者（以下歌手）はプロとして活躍するバスバリトン（pBas）、テノール（pTen）各1名と、声楽の経験がない大学生（ama）の1名である。Fig. 1は歌唱課題で、音高の変化は完全5度跳躍進行とし、3つの歌声の表現（普通、明るい、暗い）を各2回ずつ母音/a/で歌唱した。なお、1音目の音高は事前にアンケートを行い、各被験者の歌唱可能音域に合わせて設定した。



Fig. 1 音高と明・暗の変化を含む歌唱課題

2.2 rtMRI 撮像

ATR-Promotions に設置されている装置（Siemens, MAGNETOM Prisma fit 3T）を用いた。歌手は MRI 装置内で仰臥して歌唱し、スライス厚 10 mm, 10 フレーム毎秒の速度で 50 秒間の正中矢状断面における声道の動画を撮像した。なお、ピクセルサイズは 1×1 mm とした。

2.3 音声分析

MRI 撮像中に歌手の口元で録音した音声と、撮像後に静穏な室内で撮像中と同じ条件で録音した音声を STRAIGHT [3] で分析した。そして、歌唱区間全体にわたる平均スペクトルを求めて3つの表現で比較した。

2.4 評価実験

MRI 撮像と同時に録音された歌声の明・暗を評価する実験を行った。評価者はプロの歌手と声楽の伴奏経験が豊富なプロのピアニスト計5名とした。明るい声を5、暗い声を1として5段階で評価を行った。

3 結果と考察

Fig. 2 は実験後の音声の平均スペクトルである。3つの表現で pBas と pTen は第1～3フォルマント周波数（F1～F3）に顕著な変化が見られたが、ama では見られなかった。pBas と pTen で共通した変化は、「明るい」に

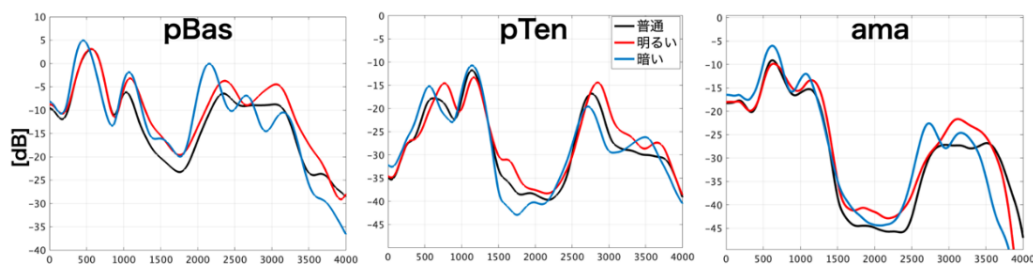


Fig.1 3つの表現の歌声のスペクトル [Hz]

* A study on expression of voice brightness and darkness and control of vocal tract shape in operatic singing, by TAKAHASHI, Jun (Osaka University of Arts), TODA, Natsuki, TAKEMOTO, Hironori (Chiba Institute of Technology).

おける F2, F3 の上昇と、「暗い」における F1 と F3 の下降であった。

Table 1 は MRI 撮像時に収録した歌声の評価結果で、数値は 5 人の評価者による歌声の平均評価値である。pTen と pBas の歌声は「普通」に比べて「明るい」は点数が高く「暗い」は低い。一方、ama の歌声は、3 つの表現ではほとんど差がなかった。これより、pBas と pTen は MRI 撮像時に明確に 3 つの表現を歌い分けたといえる。

Fig. 3 は、rtMRI 画像からトレースした 1 音目（低音）と 2 音目（高音）の表現ごとの声道形状である。ama の声道形状は音高によらず表現間で声道形状の変化の度合いは小さかった。一方、プロの声道形状は、「明るい」では口唇が開き、「暗い」では喉頭が下降して咽頭腔は伸長・拡大した。また、高音では低音よりも表現による声道形状の変化の度合いが小さかった。これは、高音では声帯を伸長させて基本周波数を上昇させるために、ある程度の喉頭の下降が必要[4]で、これらの部分は表現によって変化させることが難しいためと考えられる。

Table 4 歌手ごと・表現ごとの平均評価値

表現	pTen	pBas	ama
明るい	4.40	4.27	3.40
普通	2.93	2.47	3.73
暗い	1.80	1.53	3.73

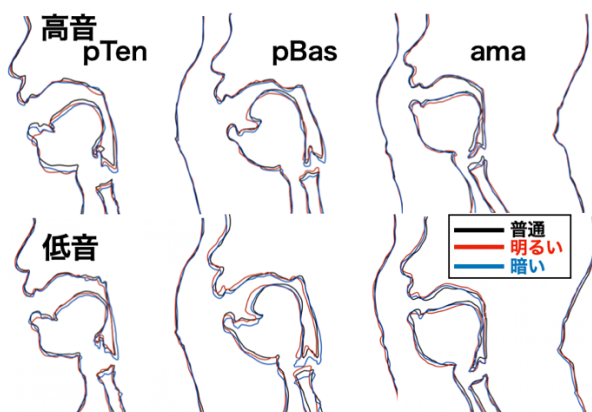


Fig.3 3つの表現での声道形状の比較

口唇を開くことや、咽頭腔を伸長・拡大することが/a/の声道の音響特性に与える影響を、声道断面積関数[5]を用いたシミュレーションで検討した。Fig. 4 上は声道断面積関数とその変化、下は対応する伝達関数である。図

で示すように、咽頭を伸長・拡大すると F1 が下降し、口唇を開くと F2 が上昇した。これらは、MRI 画像と音声の分析結果に一致した。しかし、いずれの操作でも、F3 は変動しなかった。これは、声道の横断面の変化など、正中矢状断面の MRI 画像では観測できない変化が要因と考えられる。

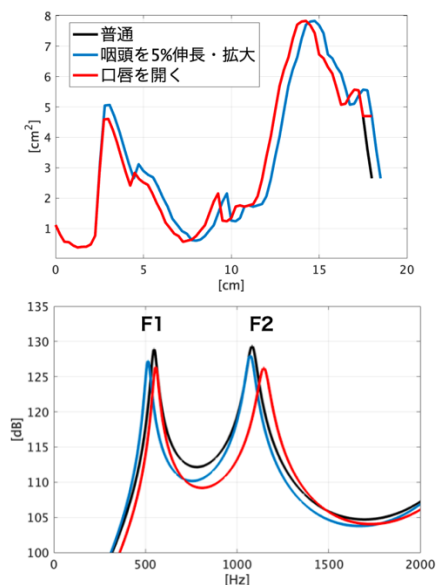


Fig. 4 声道断面積関数によるシミュレーション

4 まとめ

本研究では、オペラ歌手が「普通」の声、「明るい」声、「暗い」声を歌い分けた際の歌声を音響分析し、声道形状を MRI で観測した。その結果、喉頭を下降させて咽頭を伸長・拡大して F1 を下降させて「暗い」声を出していることが明らかになった。しかし、「暗い」声で下降し、「明るい」声で上昇する F3 の変動メカニズムと個人差については明らかにすることができなかった。

謝辞

本研究は JSPS 科研費 19K12048, 20K2261 そして 22K13773 の支援を受けた。また、実験に参加して頂いた全ての方々に感謝する。

参考文献

- [1] Takemoto *et al.*, Proc. Interspeech, 2019,904-908,2019.
- [2] 高橋他, 音講論 (秋), 737-738, 2021.
- [3] Kawahara *et al.*, Speech Communication,1999,187-207,1999.
- [4] 本多清志, 喉頭 8(2), 109-115, 1996.
- [5] T. Kitamura *et al.*, Acoust. Sci. & Tech., 30, 288-296, (2009).