

オペラ歌唱における音高と声道形状に関する検討*

☆戸田菜月, 竹本浩典 (千葉工大), 高橋純 (大阪芸大)

1 はじめに

オペラ歌唱は拡声機器を使わなくてもホール全体によく響く歌声が特徴であり[1], 歌手は低音から高音まで厚みのある声で観衆を魅了する。これを実現するために, オペラ歌手は声道形状を制御する特殊な技術を習得する。しかし, 声道は直接観測することが困難であるため, 実際の歌唱中にどのような制御が行われているのか明らかでない。

近年, 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) が発展した。そして, これを用いて発話時や歌唱時の声道や横隔膜の運動を観測することが可能となった[2,3]。

前報では, プロと学生のオペラ歌手が声楽的な発声 (オペラで指向する歌唱法) と非声楽的な発声 (オペラの初学者を模擬した歌唱法) でそれぞれ音高を変化させたときの声道形状を特定のフレームで比較した[3,4]。その結果, 歌唱法や音高による形状の相違は明らかになったが, どのような運動でこれを実現したか明らかにすることはできなかった。

そこで本研究では, 歌手をプロに絞り, rtMRI 動画の全フレームから声道形状の輪郭を点群として抽出して主成分分析した。そして, 得られた声道の動きを示す主成分とそのスコアが歌唱法や音高とどのような関係があるかを考察したので報告する。

2 方法

2.1 実験参加者と歌唱課題

プロとして活躍中のオペラ歌手1名を実験参加者とした。声種はテノールである。



Fig. 1 音高と発声方法の変化を含む歌唱課題

実験参加者は音高の変化と発声方法の変化を含む歌唱課題 (Fig. 1) を行った。音高の変化は完全5度跳躍進行とし, 3つの音型を各3回歌唱する。1つの音型の中で, 1・3回目を非声楽的な発声 (青色), 2回目を声楽的な発声 (赤色) とした。また, 3つ目の音型の最高音は, 声区のブレイク[5]と呼ばれる, 地声と裏声の声区が交差する音域より高い音に設定した。

2.2 rtMRI 撮像

ATR-Promotions に設置されている装置 (Siemens MAGNETOM Prisma fit 3T) を撮像に用いた。実験参加者はMRI装置内で仰臥して歌唱課題を行い, その間10フレーム毎秒の速度で頭頸部の矢状断面の動画を50秒間撮像した。なお, スライス厚は10mm, ピクセルサイズは1×1mmとした。

2.3 輪郭の分析

まず, 矢状断面における発話器官などの輪郭を10つの部位に分け, それぞれ5~17フレームにおいて点群としてトレースした。次に, これを教師データとして学習機を生成し, 全フレームから発話器官の輪郭を抽出した[2]。Fig. 2はその1例である。そして, 全フレームで各部位の輪郭の終点と始点は解剖学的に相同で, 輪郭を構成する点数は等しいので, フレームごと, 部位ごとに輪郭を構成する点群を等間隔に再配置すれば, フレーム間で各点を対応させることが可能, すなわち, 輪郭の変動を分析可能となる。よって, 等間隔化した後, 主成分分析を行った。

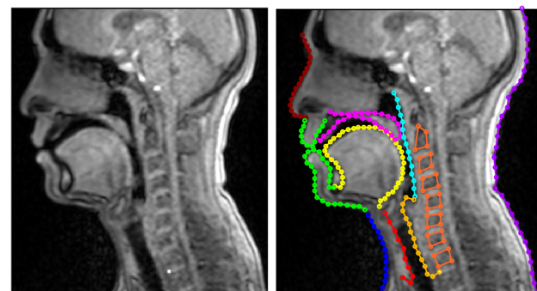


Fig. 2 頭頸部の正中矢状断面画像 (左) 抽出した発話器官の輪郭 (右)

*Examination of pitch and vocal tract shape in opera singing, by TODA, Natsuki, TAKEMOTO, Hironori (Chiba Institute of Technology), and TAKAHASHI, Jun (Osaka University of Arts).

3 結果と考察

Fig 3 は声道形状変化の第1～3主成分(PC1, PC2, PC3)とその累積寄与率である。黒線は平均形状、赤線・青線はそれぞれ各主成分スコアの最大値・最小値による形状である。

まず、各主成分の正のスコアによる声道形状の変化を分析した。PC1は主に、口を開く動き、舌を後下方に引く動き、軟口蓋を挙上させる動き、喉頭を下降させる動きをもたらす。PC2は主に、顎を下げて顔を上向きにすることで口の開きを大きくする動き、軟口蓋を僅かに下降させて咽頭口を開く動き、舌根を前方に引いて下部の頸椎と咽頭後壁を後方へ引く動き、喉頭を挙上させる動きをもたらす。PC3は主に、舌根を後方に引き、上部の頸椎と咽頭後壁を後方へ引く動き、喉頭を下降させる動き、軟口蓋を下降させて鼻咽口を開く動きをもたらす。

Fig 4は、主成分スコアのフレームによる変動を示す。①～⑨および青と赤の網掛けはFig. 1に対応する。PC1は発声区間の直前からスコアが上昇し始め、発声区間でスコアが高くなった。よって、PC1は主に/a/の口の構えに伴う運動であると考えられる。PC2は後半の音型ほど、また音高が高くなるほどスコアが上昇することから、主に音高の制御に伴う運動であると考えられる。PC3はPC2同様に後半の音型ほどスコアが上昇する傾向が見られるが、必ずしも各音型の最高音では上昇せず、歌唱直前・直後の吸気時に顕著にスコアが上昇することから、主に吸気に伴う運動であると考えられる。

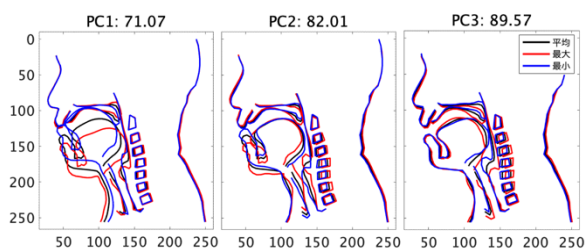


Fig 3 声道形状の主成分分析の結果

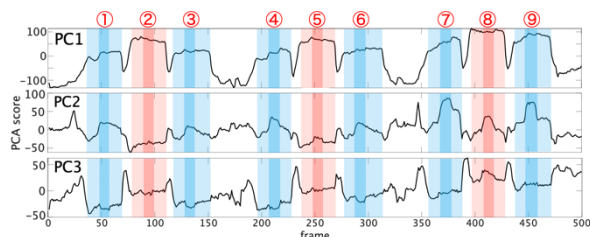


Fig 4 主成分分析のスコア

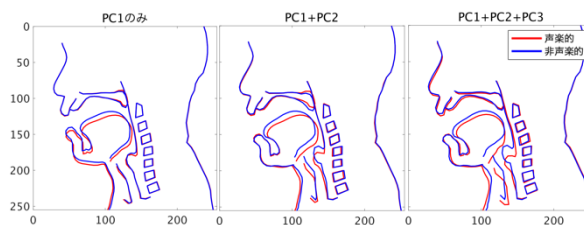


Fig 5 ⑦と⑧の声道形状の再構成

PC1, PC2, PC3はそれぞれ、/a/の口の構え、音高の制御、吸気に伴う運動に対応付けられた。しかし、声楽的・非声楽的な発声の特徴づける運動は複数の主成分にまたがって表れた。例えば、喉頭の位置は、各成分のスコアが上昇すると、PC1では下降、PC2では上昇、PC3では下降する。Fig. 5で示すように、これらの運動の線形和により結果的に声楽的な発声では喉頭の位置は下降し、非声楽的な発声では喉頭は上昇するという差が表れた。なお、PC2でスコアが上昇すると喉頭が上昇するのは、非声楽的な発声では音高にもなると喉頭が顕著に上昇することを反映しているためと考えられる。

4 まとめ

本研究では、プロのテノール歌手の歌唱時におけるrtMRI動画から声道形状の輪廓を抽出して主成分分析した。その結果、PC1は主として/a/の口の構えに伴う運動、PC2は主として音高の制御に伴う運動、PC3は主として吸気に伴う運動であった。しかし、声楽的な発声や非声楽的な発声の特徴づける運動はこれらの主成分にまたがって観察された。

謝辞

本研究はJSPS科研費19K12048の支援を受けた。また、実験に参加して頂いた方に感謝する。

参考文献

- [1] Sundberg, J, *THE SCIENCE OF THE SINGING VOICE*, 1987.
- [2] Takemoto *et al.*, Proc. Interspeech 2019, 904-908, 2019.
- [3] 戸田他, 音講論 (秋), 677-678, 2020.
- [4] 高橋他, 音講論 (春), 737-738, 2021.
- [5] コーネリウス・L・リード, 渡部東吾訳, *ベル・カント唱法 その原理と実践*, 音楽之友社, 1987年.