

## オペラ歌唱の演奏技法の違いによる肺圧の制御に関する研究\*

☆戸田菜月, 竹本浩典 (千葉工大), 高橋純 (大阪芸大), 足立整治 (帝塚山大)

## 1. はじめに

オペラ歌唱に特有の豊かな声量[1]は、横隔膜などの制御を高度化することにより獲得されると考えられる。これらの部位の直接観測は困難だが、近年、磁気共鳴画像法 (MRI: Magnetic Resonance Imaging) による実時間動画撮像法 (rtMRI) が発展し、歌唱時の横隔膜などの運動を観測可能となった[2]。

前報では、オペラ歌手が高音から低音へ移行する際に用いる「支え直す」技術を検討するため、動画から抽出した肺の面積から肺の容積や肺圧を推定した[3]。その結果、高音から低音へ移行する際に、横隔膜の背側を僅かに下降させて肺の容積を一時的に増大させることで急激に肺圧を下げ、低音に必要な低い肺圧を得た後、再び肺圧を上昇させていることが明らかとなった。この制御は跳躍幅が広く、音高が高くなるほど顕著であった。しかし、これは跳躍時に演奏技法を特に指定しない場合の技術と考えられる。

そこで本研究では、演奏技法の違いによる肺圧の制御を比較検討するため、歌唱中の肺の容積と肺圧を推定したので報告する。



Fig.1 演奏技法の変化を含む歌唱課題

## 2. 方法

## 2.1. 実験参加者と歌唱課題

実験参加者はプロとして活躍中のオペラ歌手2名 (バリトン・テノール) である。Fig. 1 は9つの小課題で構成される歌唱課題を示す。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回目を演奏技法の指示なし (①④⑦)、2回目をアクセント (②⑤⑧)、3回目をポルタメント (③⑥⑨) とした。アクセントとは跳躍時

に強く演奏することであり、ポルタメントとは滑らかに演奏することを意味する[4]。また、実験参加者ごとの最大吸気時と最大呼気時の肺の容積を推定するために、深呼吸を繰り返す課題も行った。

## 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と深呼吸の課題を行い、その間10フレーム毎秒の速度で約50秒間の胸腹部の動画 (500フレーム) を撮像した。また、スライス厚は10mm、ピクセルサイズは1.22×1.22mmとした。

## 2.3. 知覚実験

演奏技法の違いが知覚できるか判断するため、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の合計5名を評価者として、MRI撮像と同時に録音した音声を評価させた。評価は、アクセントに聴こえる場合を1、ポルタメントに聴こえる場合を5とし、5段階で行った。なお、評価に用いた音声にはMRIの装置雑音が含まれているが、雑音除去などの処理は行わなかった。

## 2.4. 分析

実験参加者ごとに動画から肺の輪郭を抽出する学習機を生成した[2]。これを用いて、歌唱と深呼吸の課題の動画から、肺の輪郭を点群データとして抽出して面積を計算した。深呼吸の課題で断面積が最大のときを最大吸気時、最小のときを最大呼気時とし、その容積がそれぞれ7000 cm<sup>3</sup>、2000 cm<sup>3</sup>であると仮定して、フレームごとに肺の容積を推定した。

この肺の容積変化から、前報で示した方法を用いて肺圧を推定した[3]。なお、歌唱中の平均声門面積は知られていない。そこで、それぞれの小課題で、低音では0.08 cm<sup>2</sup>、高音では0.065 cm<sup>2</sup>と仮定して分析を進めた。

\*Research on the control of lung pressure due to different performance techniques in opera singing, by TODA, Natsuki, TAKEMOTO, Hironori (Chiba Institute of Technology), TAKAHASHI, Jun (Osaka University of Arts), and ADACHI, Seiji (Tezukayama University).

### 3. 結果と考察

#### 3.1. 知覚実験

Table 1 はバリトンとテノールの演奏技法ごとに求めた評価値の平均値である。分散分析により歌手と演奏技法に交互作用がみられたため、単純主効果を分析した。その結果、バリトンでは演奏技法の間にすべて有意差がみられたが、テノールでは指示なしとアクセントの間に有意差がみられなかった。

Table 1 知覚実験の結果

	指示なし	アクセント	ポルタメント
バリトン	3.3	1.5	4.7
テノール	2.6	2.1	4.6

#### 3.2. 肺の体積変化と肺圧

Fig. 2 は動画から推定した肺の容積変化である。①-⑨は各小課題を示す。網掛けの部分は歌唱中の区間、やや濃い網掛けの部分は各小課題における最高音の区間である。

バリトンもテノールも、演奏技法によらず、高音ほど肺の容量が大きな状態で歌唱していた。つまり、①-③より④-⑥、④-⑥より⑦-⑨で歌唱時の全体的な肺の容積が大きかった。これは、高音ほど横隔膜を下げて歌うという内観報告と一致した。

肺容積の変動パターンは演奏技法によって異なっていたが、バリトンの高音域の歌唱（⑦-⑨）で顕著であった。そこで、この歌唱時の肺の容積と肺圧の変化を Fig. 3 に示す。

演奏技法が指示なしの場合、高音から低音へ移行する際に前報で報告した明確な肺容積の増大は見られなかったが、高音での発声途中から移行直前まで肺容積をほぼ一定に保つことで、肺圧を下降させていた。そして、低音での発声開始時に一時的に肺圧を上昇させていた。これは「支え直す」内観報告と関係すると思われる。

演奏技法がアクセントの場合、各音高での発声開始時に急激に肺圧が上昇した。これは発声開始時に強い呼気流を発生させるためと思われる、高音で顕著であった。そして、肺圧は高音での発声中に急激に低下し、低音での発声開始時には指示なしと同程度であった。また、低音での発声開始時に、指示なしと同様に一時的に肺圧を上昇させていた。

演奏技法がポルタメントの場合、肺圧が最高になる時刻は、最高音の歌唱区間の後半であった。低音での発声開始時からこの時刻ま

で肺圧を連続的に上昇させながら高音に移行した。また、この時刻から低音での発声終了時まで肺圧を連続的に低下させていた。なお、低音への移行時の肺圧は他の2つの演奏技法と比べて2倍程度高いままであったが、移行中あるいは移行後に急激に肺圧を低下させた。

演奏技法による肺圧の制御の違いは、バリトンの他の小課題やテノールでは顕著でなかった。とくにテノールでは、指示なしとアクセントの間で差が小さかった。これが、知覚実験でも差が小さかったことの要因と考えられる。また、指示なしの場合の高音から低音への移行時には「支え直す」技術と関連すると思われる肺圧の操作がみられたが、前報より程度が小さかった。これは、跳躍幅が前報では1オクターブ、本稿では5度と小さかったためと考えられる。

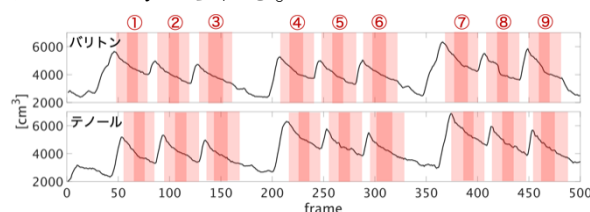


Fig. 2 推定した肺の体積変化

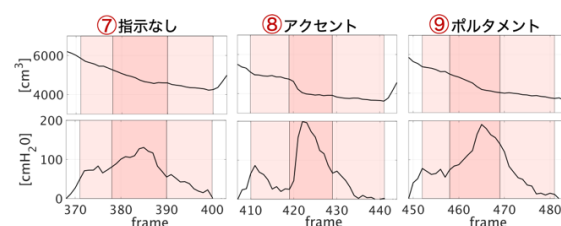


Fig. 3 バリトンの肺の容積と肺圧（⑦-⑨）

#### 4. まとめ

本研究では、演奏技法による肺圧の制御を検討した。その結果、演奏技法によって音高の移行時における肺圧の制御が異なっていた。今後は、跳躍幅と演奏技法による肺圧制御の検討や、音高による声門の平均面積の検討などが必要であると考えられる。

#### 謝辞

本研究はJSPS 科研費 19K12048 の支援を受けた。また、実験参加者に感謝する。

#### 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] 戸田ら, 音講論 (春), 825-826, 2022.
- [4] 池内友次郎ら編, 新音楽辞典, 1977.