

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*

©高橋純（大阪芸大），戸田菜月，工藤理佐子，竹本浩典（千葉工大）

1 はじめに

優れた歌手の歌声には、歌い手のフォルマント(Singer's formant(以下 SF))と呼ばれる音響的特徴が存在する[1]。これは、3 kHz 付近のフォルマントで、人間が可聴しやすい周波数帯域であり、他の楽器にはないピークであるためマスクされにくい。

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[2,3]。

前報では、プロのオペラ歌手は音高に応じて横隔膜や声道形状を制御することを報告した。しかし、声道形状と歌声の音響的特徴との関係は明らかになっていない。そこで本研究では、オペラ歌手が熟達した歌唱法を用いて発声 (以下、声楽的発声) した際と、その歌唱法を用いずに発声 (以下、非声楽的発声) した際の声道形状、歌声の音響的特徴、歌声の評価結果を比較検討したので報告する。

2 方法

2.1 被験者と歌唱課題

被験者はプロとして活躍するテノール (pTen), バリトン (pBar), バスバリトン (pBas) を各 1 名と、声楽を学んでいる学生のテノール (aTen1,2) 2 名の合計 5 名とした。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 つのパターン (低音①~③, 中音④~⑥, 高音部⑦~⑨) を 3 回ずつ歌唱する。1 つのパターンにつき、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

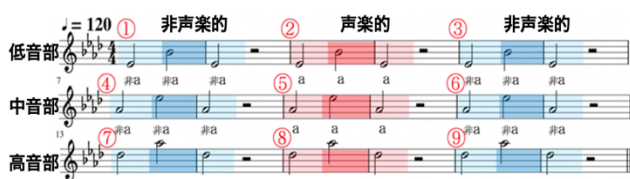


Fig. 1 音高と発声方法の変化を含む歌唱課題

した。また、pBar, pBas には短三度低い歌唱課題を用いた。

2.2 スペクトルパワー集中率の計算方法

STRAIGHT 分析法[4]によって平滑化スペクトルを求め、非声楽的・声楽的発声の区間の平均スペクトルを求めた。そして 12 kHz までのパワーの総和を求め、0-2 kHz, 2-4 kHz, 4-12 kHz の各帯域に占めるパワーを除してその割合をパワー集中率とした。特に、2-4 kHz のパワー集中率を SF 集中率とした。前報より歌唱課題③⑥⑨の区間は非声楽的な発声に聴こえにくいことから、①②④⑤⑦⑧の区間を分析対象とした[3]。

2.3 rtMRI 撮像

ATR-Promotions に設置されている装置 (Siemens, MAGNETOM Prisma fit 3T) を用いた。被験者は MRI 装置内で仰臥して歌唱し、声道をスライス厚 10 mm, 10 フレーム毎秒の速度で 50 秒間の動画を撮像した。なお、ピクセルサイズは 1×1 mm とした。

2.4 評価実験

歌声を声楽的に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。声楽的な発声に成功している場合を最高点として 5 段階で評価を行った。

2.5 回帰分析

パワー集中率と、歌声の評価値の相関関係を検討するために回帰分析を行った。

3 結果と考察

Fig.2 は、声楽的発声と非声楽的発声のパワー集中率の差を示す。プロでは、pBas の高音部を除き、パワー集中率は声楽的発声で 0-2 kHz では減少し、逆に 2-4 kHz では増加する傾向があった。一方、学生では aTen.1 の低音部を除いてプロと逆の結果となった。また、4-12 kHz では両群とも減少する傾向があった。

Table 1 は、評価実験から得られた各歌唱課題の平均評価値である。t 検定の結果、声楽

* Acoustic Analysis of singing voice when opera singers imitate non-operatic singing style, by TAKAHASHI, Jun (Osaka University of Arts), TODA, Natsuki, KUDO, Risako, TAKEMOTO, Hironori (Chiba Institute of Technology).

的・非声楽的な発声と評価値には有意差がみられた[t(27.96)=4.54 p<.0001]。

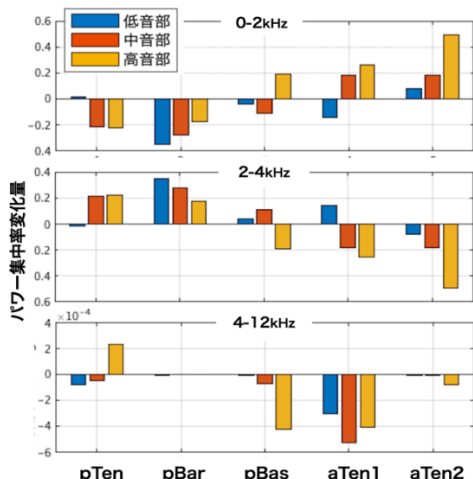


Fig. 2 各周波数帯域のパワー集中率の変化
Table1 歌唱者別の歌唱課題の平均評価値

		pTen	pBar	pBas	aTen1	aTen2
低音部	①	2.33	3.14	2.48	2.14	2.10
	②	4.43	4.48	3.81	2.52	3.05
中音部	④	1.90	4.14	1.33	1.33	1.57
	⑤	4.29	4.48	3.38	3.10	3.67
高音部	⑦	1.62	3.48	1.52	2.00	1.19
	⑧	3.90	4.43	1.95	3.14	2.48

次に、pBas の高音部の SF 集中率の変化量が負となった原因を検討するため、プロの高音部における 1, 2 音目の声道形状を比較した(Fig.3)。pTen と pBar では、音高が上昇しても喉頭の位置は同じか下降し、頸椎が後弯して咽頭の容積が増大する傾向にあった。一方、pBas では音高の上昇に伴って喉頭も上昇した。これは、高音部が pBas の声楽的に歌唱可能な音域を超えたためと考えられる。これにより、喉頭に由来する SF が弱まったと推測される。また、歌唱時の喉頭の上昇は平たく艶がない歌声を引き起こすとされており[5]、これが pBas で平均評価値が 1.95 と低かった原因であると考えられる。

また、学生群では、ほぼ SF 集中率の変化量が負となった原因を検討するため、aTen2 の高音部の声道の形状を声楽的発声と非声楽的発声とで比較した(Fig.4)。声楽的発声の方が喉頭の位置は低いが、プロと異なり、咽頭の容積は増大しなかった。これが SF の生成に必要な喉頭と咽頭との大きな断面積比[1]を生じさせなかった要因と考えられる。

これらの結果から、プロも学生も声楽的・非声楽的な発声を使い分けていることが客観的にも認識できた。しかし、両群でスペクト

ル形状の変化のパターンが異なり、プロのパワー集中率は、低次フォルマントを含む 0-2 kHz で減少し、SF を含む 2-4 kHz では増加したが、学生では逆になった。これらは歌唱技術の差で、喉頭の位置や咽頭の容積の変化が関係していると考えられる。

次に、歌声の平均評価値を目的変数、各周波数帯域のパワー集中率の値を説明変数として回帰分析を行った結果、平均評価値と 4-12 kHz 帯域のパワー集中率の値が負の相関で有意となった[F(1,28)=6.57 p=0.016]。これは 4-12kHz のパワーが少ない歌声ほど、聴き手に高い評価を得る傾向があることを示している。



Fig.3 プロの高音部における声道形状の相違

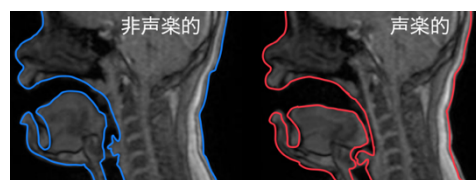


Fig.4 aTen2 の声楽的・非声楽的発声の際の声道形状の相違 (高音部の 2 音目を比較)

4 まとめ

本研究では、プロと学生の声楽的・非声楽的発声における歌声の音響的特性と声道の制御の違いを検討した。その結果、プロと学生ではスペクトル形状の変化のパターンが異なることが明らかとなり、その原因が喉頭の位置や咽頭の容積の変化であることが示唆された。

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全ての方々に感謝する。

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] Kawahara *et al.*, Speech Communication,1999,187-207,1999.
- [5] Husler.F *et al.*, *SINGING*,1965.