

## 歌声による歌唱中の体内運動の推定\*

©高橋純(大阪芸大), 志々目樹, 戸田菜月, 竹本浩典(千葉工大)

## 1 はじめに

歌唱指導において、歌唱中の体内運動は外部から観察できない。そのため、指導者は、学習者の歌声から歌唱中の体内運動を推定して歌唱指導をおこなっている。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、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[1,2]。

前報では、声楽未経験の学生の音声と声道形状が1年間の指導の前後でどのように変化したかをrtMRIを用いて検討した[3]。その結果、指導によって歌声の評価値が向上すること、口の開き・口腔・咽頭が拡大し、喉頭が下降することが明らかになった。さらに、歌声の評価を行ったプロの歌手は、口の開きなどの声道形状の変化を歌声から推定できることが裏付けられた。本稿では、プロの歌手の数を増し、声楽の伴奏経験がある器楽奏者と音楽経験のある学生を用いて、この点を追求したので報告する。

## 2 方法

## 2.1 被験者と歌唱課題

被験者は声楽の経験がない一般大学学生で、歌唱指導は音楽大学で教鞭を執るプロの声楽家によって行われた。本実験での歌唱指導は全てオンラインで行われ、期間は約1年間で、合計24回のレッスンを行なった。Fig. 1は歌唱指導による変化を比較するための歌唱課題である。連続する3音と/a/, /i/, /u/の3母音を含む歌唱課題で、/i/と/u/は/a/を経由して歌唱する。被験者は、歌唱指導を行う前(訓練前)に歌唱課題を収録し、さらに1年後(訓練後)にも収録を行った。



Fig. 1 3母音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。被験者はMRI装置内で仰臥して歌唱し、声道をスライス厚10mm, 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1×1mmとした。

## 2.3 声道形状の分析

全てのrtMRI動画から母音/a/, /i/, /u/の中心フレームで声道の輪郭をトレースした。上唇と下唇が最短となる線分1、軟口蓋と咽頭後壁の接触点から舌までが最短となる線分2、披裂部上部と喉頭蓋谷下端を結ぶ線分3を目視で引いた。線分1の長さを口唇の開閉の長さ、線分1と2で囲まれた声道を口腔の広さ、線分2と3で囲まれた声道を咽頭腔の広さ、咽頭腔の上下方向の長さを喉頭の高さとしてピクセル数で求めた(Fig. 2)。

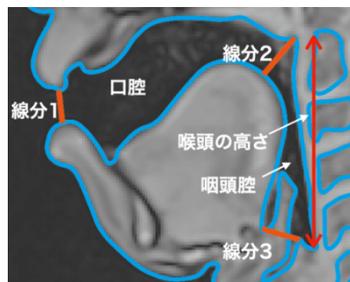


Fig. 2 声道のトレースと各部位

## 2.4 評価実験

評価実験は歌唱指導経験があるプロの歌手12名(ProS: ソプラノ3名; テノール3名; バリトン6名)と、声楽の伴奏・合奏経験があるプロの器楽奏者6名(ProI: ピアノ5名; バイオリン1名),そして歌唱やピアノの学習歴のある学生6名(AmaS)の3グループによって行われた。歌声の評価は声楽的に「良い声」を5点として5段階で評価した。さらに、歌声から推定した口唇の開き、口腔の広さ、喉頭の高さの度合い、咽頭の広さについて最も程度が大きい場合を5点として5段階で評価した。

\* Estimation of articulatory gestures during singing by singing voice, by TAKAHASHI, Jun (Osaka University of Arts), SHISHIME, Itsuki, TODA, Natsuki, and TAKEMOTO, Hironori (Chiba Institute of Technology).

### 3 結果と考察

Table 1 は、訓練前・後の歌声の評価値である。3 グループともに全てのタスクにおいて、訓練前より訓練後で評価が向上し、 $t$  検定の結果、有意となった ( $t(71)=7.60, p<.01$ )。しかし、AmaS は、ProS, ProI に比べて訓練前・後での評価値の差が小さい。これは、学生はプロほど被験者の訓練による歌声の変化を評価できていないことを示唆する。また、ProI の訓練後の評価は ProS に比べて高い。これは、器楽奏者は歌手に比べて評価の基準が低く、詳細な評価を行っていないことを示唆する。

Table 1 訓練前・後の歌声の評価

		ProS	ProI	AmaS
訓練前	/a/	2.3	2.0	3.0
	/i/	2.0	2.0	3.2
	/u/	1.8	1.8	3.2
訓練後	/a/	3.2	4.0	3.3
	/i/	3.1	4.2	3.5
	/u/	3.2	3.7	3.7

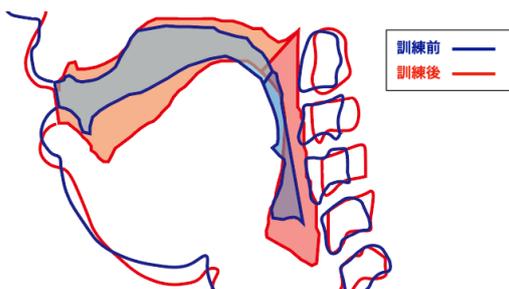


Fig. 3 母音/a/の訓練前・後の声道形状の変化

Fig. 3 は、母音/a/における訓練前・後の声道形状をトレースして重ねたものである。訓練前（青色）に比べて訓練後（赤色）の方は口唇が開き、口腔と咽頭腔が拡大して喉頭が下降している。この傾向は、/i/, /u/でも同様であった。

Table 2 は、母音/a/, /i/, /u/における訓練前・後の各部位のピクセル数と各グループによる評価スコアである。訓練後は各部位のピクセル数は増大した。これに伴って ProS, ProI のスコアは上昇したが、AmaS では訓練後の母音/a/の口唇では下降し、喉頭では変化せず、全般的に訓練前後の差が小さかった。これは、AmaS では体内運動の推定が困難であることを示す。また、ProI は ProS と比べると特に訓練前の咽頭腔と喉頭の評価スコアが高く、部位ごとの差が小さいことから、部位ごとの推定は行っていないと考えられる。

Table 2 訓練前・後における母音/a/, /i/, /u/の各部位のピクセル数と評価スコア

		部位	Pixel	ProS	ProI	AmaS
訓練前	/a/	口唇	11	2.4	3.0	3.5
		口腔	1298	1.8	3.0	2.7
		咽頭腔	432	1.7	1.5	3.2
		喉頭	68	1.7	3.2	3.2
訓練後	/a/	口唇	14	3.9	4.5	3.2
		口腔	2183	4.0	4.3	3.3
		咽頭腔	985	4.2	3.8	3.5
		喉頭	87	3.8	3.7	3.2
訓練前	/i/	口唇	5	2.1	2.3	2.7
		口腔	696	1.8	2.0	3.0
		咽頭腔	994	1.8	2.0	3.0
		喉頭	56	1.6	2.3	2.8
訓練後	/i/	口唇	17	3.6	3.8	3.6
		口腔	2146	4.1	3.8	3.3
		咽頭腔	1321	3.9	4.3	3.5
		喉頭	85	3.6	3.5	3.5
訓練前	/u/	口唇	4	2.3	2.0	3.5
		口腔	1053	2.0	1.7	3.5
		咽頭腔	766	1.6	2.3	3.0
		喉頭	67	1.7	2.2	3.2
訓練後	/u/	口唇	11	3.2	3.2	3.7
		口腔	2306	3.3	3.3	3.8
		咽頭腔	1162	3.0	3.2	3.5
		喉頭	90	3.2	3.3	3.5

### 4 まとめ

本研究では、1年間の歌唱指導を経た声楽未経験者の歌声から、歌声の評価と歌唱中の声道形状をどの程度推定できるのかを検討した。その結果、プロの歌手は訓練前・後の声道形状を詳細に推定できることが示された。器楽奏者は訓練前・後の歌声の変化は評価できるが、声道形状の変化はプロほど詳細に推定しておらず、学生は歌声自体の評価ができないことから、声道形状の変化の推定もできていないことが示された。

### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 22K13773, 23K11172 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), 773-774, 2020.
- [3] 高橋他, 音講論 (秋), 1673-1674, 2023.