

令和 5 年 6 月 24 日現在

機関番号：44429

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2022

課題番号：20K22261

研究課題名（和文）歌唱におけるメタ認知的言語と、歌声の音響的・生理的特徴の関係性解明

研究課題名（英文）Elucidation of the relationship between metacognitive language in singing and acoustic and physiological characteristics of singing voice

研究代表者

高橋 純（Takahashi, Jun）

大阪芸術大学短期大学部・その他部局・講師

研究者番号：50883055

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、メタ認知的に言語化された歌声に対するイメージや感覚が、歌声の音響的特徴や発声器官の生理的特徴と、どのように関係しているのかを検討した。まず、アンケート調査を行い、歌い手は身体の動きや歌声に対する感覚を実際の動作を結びつけて、メタ認知的な言葉に変換していることが明らかになった。次に、rtMRIを用いて声量の変化と横隔膜の制御について調査し、プロの歌手は声量を減少させる際に、横隔膜の上昇度合いを徐々に抑制させていることが明らかになった。さらに、声の明るさを歌い分ける際には、口唇の開閉や、喉頭の上下動と咽頭の伸長・拡大によって変化させていることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、歌唱における歌手のメタ認知的言語と、歌声の音声分析、そしてリアルタイムMRI動画による発声器官の観察をあわせて検討した。メタ認知は認知科学の研究分野において、教育の学習プロセスやスポーツのスキル獲得などで注目されてきた。歌唱指導においてもメタ認知的言語は必要不可欠であり、歌手の意識下で制御されている歌声の音響的特徴と、発声器官の生理的特徴をあわせて行う研究は少ない。歌唱における声量や声の明るさの制御に関する見地は、歌唱指導における新たな指導法や学習プロセスの構築につながると期待できる。

研究成果の概要（英文）：This study examined how metacognitively verbalized images and sensations of the singing voice are related to the acoustic characteristics of the singing voice and the physiological characteristics of the vocal organs.

First, a questionnaire survey was conducted, which revealed that singers transformed their body movements and perceptions of the singing voice into metacognitive language by linking them to actual actions. Next, using rtMRI, we investigated changes in voice volume and diaphragm control, and found that professional singers gradually suppressed the degree of diaphragm elevation as they decreased voice volume. Furthermore, it was revealed that the brightness of the voice was altered by opening and closing the lips and by the vertical movement of the larynx and the elongation and expansion of the pharynx when singing.

研究分野：音声科学

キーワード：歌声 オペラ歌唱 MRI 音声分析 声道

1. 研究開始当初の背景

今日の音楽教育において「歌唱」は音の発生に必要な動作を外部から観察できないため、指導者や学習者は、歌唱時の身体や声に対する感覚を言語化し、互いに共有することによって演奏技能の習得を目指さなければならない。認知科学では、このようなスキル習得において自分の意識や、身体感覚について考え制御することを「メタ認知」と呼び、言語化することで、学習プロセスの向上につながる事が明らかとなっている。しかし、このような歌唱時の身体や声に対する感覚と、実際の歌声の音響的特徴、そして発声器官(声道や横隔膜)の生理的特徴との関係は明らかになっていない。

近年急速に進歩した音声分析処理と生体計測技術の導入により、歌声の音響的・生理的特徴を客観的に示すことが可能となった。歌声には、共通する音響的特性として「歌手のフォルマント **Singer's formant** (以下 **SF**)」と呼ばれる **3kHz** 付近の周波数の高まりが存在する。申請者がおこなった研究において、プロの歌手と音楽大学で声楽を学ぶ学生の歌声に含まれる **SF** の占有率を比較検討した結果、プロの歌手の歌声の方が **SF** の占有率 (歌声全体の中に占める **SF** の割合) が高いことが明らかとなった。また、申請者が研究協力者として携わったリアルタイム **MRI** 動画を用いて声道(口腔、咽頭腔、喉頭腔)を観察する研究では、プロの歌手は歌唱時に下咽頭腔を下方に維持し、拡大する傾向にあることが明らかとなっている。しかし、いずれの知見においても、歌手が身体や声に対してどのような感覚で歌唱を行ない、実際の歌声や発声器官のふるまいと、どう関係しているのかは明らかになっていなかった。

2. 研究の目的

「歌唱」は、音の発生に必要な動作を外部から観察できないため、指導内容を伝えることが難しい。そのため指導者や学習者は、メタ認知的言語(歌唱時の身体や声に対する感覚を言語化したもの)を頼りに演奏技能の習得を目指さなければならない。しかし、このような歌手の身体や声に対する感覚と、実際の歌声の音響的特徴、そして発声器官の生理的特徴との関係は明らかになっていない。

近年、科学技術の発展により、歌声の音響的・生理的特徴を客観的に示すことが可能となった。そこで本研究では、歌手が身体や声に対してどのような感覚で歌唱を行なっているのか、また、それが実際の歌声の音響的特徴や発声器官の生理的特徴とどのように関係しているのかを、歌手のメタ認知的言語と、歌声の音声分析、そしてリアルタイム **MRI** 動画による発声器官の観察により明らかにする。

3. 研究の方法

(1) 被験者の選定と歌唱収録

経験年数や技能に基づいて分類した様々な熟達度の被験者を選定し、歌声の収録を行なった。

(2) メタ認知的言語のアンケート調査

音楽大学で声楽を学ぶ学生を対象に、歌声に関するアンケート調査を行い、歌唱中の目に見えない歌声に対する意識やイメージが、どのようなものなのかを言葉で表現するように求めた。

(3) リアルタイム **MRI** 動画の撮像

撮像は(株)ATR Promotions 脳機能イメージングセンターで行なった。撮像に用いた **MRI** 装置は Siemens 製 **MAGNETOM Prisma fit 3T** であった。被験者は **MRI** 装置内で仰臥し、歌唱課題を横隔膜と喉頭の撮影のためコイルを交換して2回ずつ行った。横隔膜、喉頭とも動画をスライス厚 **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横隔膜で **1.2153 × 1.2153 mm**、喉頭で **1 × 1mm** とした。

(4) 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** 分析法[Kawahara et al., 1999]によって平滑化スペクトルを求め、そのサウンドスペクトログラムから音程変化部、母音変化部などを観察し検討を行なった。

(5) 評価実験

歌声を客観的に評価するために、**MRI** 撮像と同時に録音された歌声の明るさを評価する評価実験を行った。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。

(6) 動画分析

リアルタイム MRI 動画から、歌唱時の声道の形状の変化と横隔膜やそれに付随する発声器官の変化を観察し検討を行なった。観察の方法としては、動画として動的に観察するだけでなく、声道では輪郭を抽出して重ね合わせることでより変化を観察し、横隔膜では特定の断面の上下動をカイモグラフで示した。断面の位置と角度は目視で決定したが、これらは多少変化しても、カイモグラフに現れる各部位の変動パターンには同一であることを予備実験で確認している。

4. 研究成果

(1) 歌唱技術に関するメタ認知言語の調査

音楽大学で声楽を学ぶ学生を対象に、歌声に関するアンケート調査を行なった。具体的なアンケートの内容は、「声帯」「声道」「歌手のフォルマント」などの学術的用語や、「息の支え」「アクト」「パッサージョ」など、声楽指導で一般的に使われている指導用語についての理解度について調べ、「口の開け方」「立ち方」「お腹の使い方」など、実際にそれらをどのように意識して歌唱しているのかを調査した。さらに「喉の開き方」「横隔膜の使い方」などの体の内側や、「声の響き」「声の的(方向)」などの目に見えない歌唱中の歌声に対する意識やイメージがどのようなものなのかを「言葉」で表現するように求めた。その結果、「口を大きく開けるといよりは、奥をしっかり開けるように意識する」「糸で釣り上げられている様に立つ」「声の支えは鳩尾あたりにある」などの歌唱中の「意識」と、実際の「動作」を結びつける回答が多く見られ、さらに「横隔膜の動きを意識してお腹を前後に動かす」「声を鼻腔に当てる」「声を頬骨に当てる」「声を前歯の裏に当てる」「鼻の先の 15 cm 先に集める」「眉間あたりの空間に」のように、歌唱時の身体の動きや歌声に対する感覚を、メタ認知的な性質をもった言葉に変換した回答が得られた。

これらのことから、歌手は歌唱時の身体の動きや歌声に対する感覚を、実際の動作を結びつけて、メタ認知的な言葉に変換していることが示唆された。

(2) 歌唱における声量の変化と発声器官の制御についての検討

豊かな声量は、優れたオペラ歌手の歌声に共通する音響的特徴である。また、プロの歌手は、声量をその意識下で巧みにコントロールすることができる。しかし、声量の変化において発声器官がどのように制御されているのかは明らかになっていない。そこで、プロと学生の歌唱時の発声器官の運動をリアルタイム MRI で観測し、声量の減少に伴う横隔膜の変位と声道形状の変化を検討した。

図 1 は声量と横隔膜の上下動の関係を表している。図 1 の声量のグラフから、中音域では声量を減衰させる際に、プロも学生も比較的緩やかな声量の減少が見られた。しかし、高音域では、プロでは中音域と同様に緩やかな声量の減少が見られたが、学生では一時的な増加や急激な変化が見られた。つまり、中音域ではプロも学生も声量を徐々に減少させることができたが、より歌唱難易度の高い高音域では、学生は声量を徐々に減少させることができなかった。これはプロと学生の歌唱技術の差を示していると考えられる。

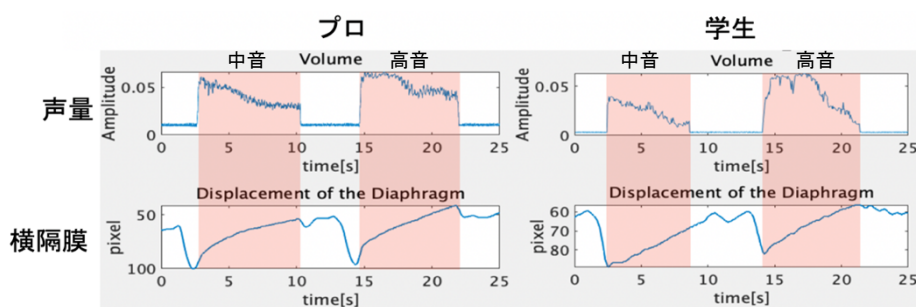


図 1 声量と横隔膜の上下動の関係

図 1 の横隔膜のカイモグラフでは、プロと学生では歌唱に伴う横隔膜の変位が異なり、プロは曲線的に上昇しているのに対して学生は直線的に上昇している。横隔膜の上昇は呼気が、下降は吸気が生じることを意味している。プロは横隔膜の上昇度合いを徐々に抑制させることで呼気を制御し、声量を減少させている。それに対して学生では、横隔膜の上昇度合いが一定で、それに伴って呼気流量もほぼ一定であると考えられるため、横隔膜の制御以外の機構を用いて呼気流量を制御し、声量を増減させていると考えられる。

図2は、高音域の歌唱時で声量が最大と最小のフレームにおける声道の輪郭を抽出して重ねたものである。プロでは声量が変化しても声道形状は変化しなかったが、学生では声量が減少すると口唇が閉じ、舌が上昇して声道が狭くなった。これは、肺から口唇までの呼気流が通過する経路の出口を絞ることによって呼気流量を低下させることにより喉頭音源の音量を減少させたと考えられる。

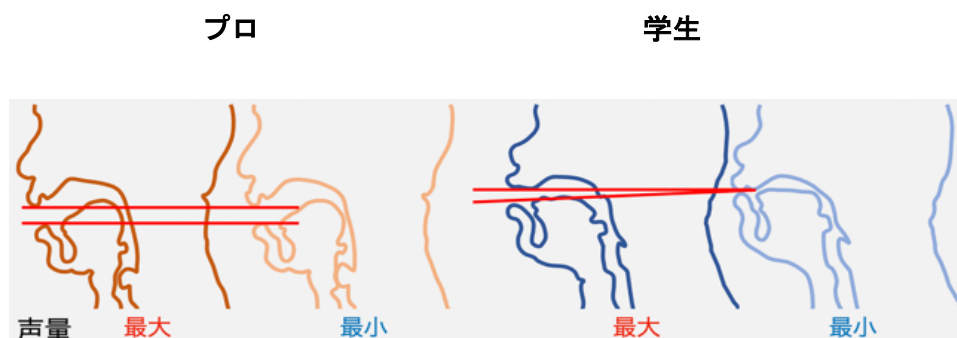


図2 声量の変化に伴う声道形状の変化

(3) 歌唱における声の明暗の表現と声道形状の制御の検討

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、同じ音高であっても歌声の音色を変化させることができる。図3は、プロとして活躍するバスバリトン (pBas)、テノール (pTen) と、声楽の経験がない大学生 (ama) の1名が、普通・明るい・暗い歌声を歌い分けた際の平均スペクトルである。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。

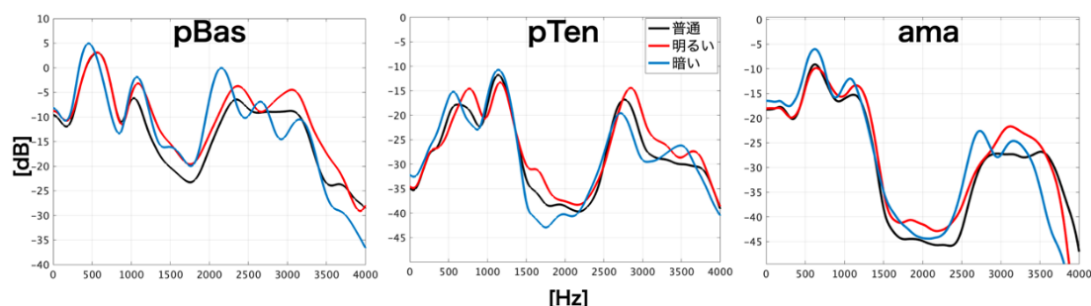


図3 3つの表現の歌声のスペクトル

図4は、rtMRI 画像からトレースした低音域と高音域の普通・明るい・暗い歌声の声道形状である。ama の声道形状は音高によらず声の明るさ度合いで声道形状の変化は小さかった。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。高音域では低音域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。

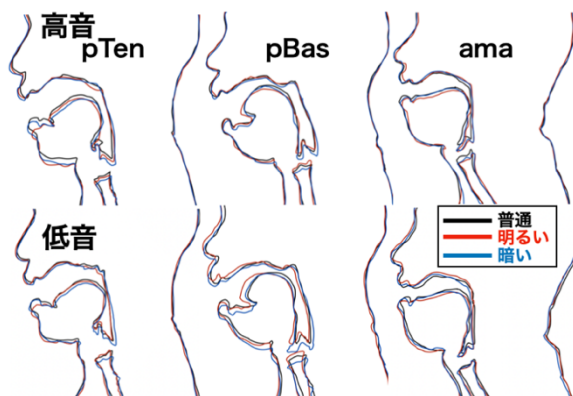


図4 普通・明るい・暗い歌声の声道形状の比較

これらのことから、オペラ歌手が「普通」の声、「明るい」声、「暗い」声を歌い分けた際、「暗い」声では喉頭を下降させて咽頭を伸長・拡大して F1 を下降させ、「明るい」声では、口唇を開いて F2 を上昇させていることが明らかになった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 0件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 高橋純, 幸実優, 佐々木香諒, 戸田菜月, 竹本浩典	4. 巻 2021年11月
2. 論文標題 リアルタイムMRIに基づくオペラ歌唱の音量の制御に関する研究	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本音響学会音楽音響研究会資料	6. 最初と最後の頁 7-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高橋純	4. 巻 2021年9月
2. 論文標題 プロの歌手と音楽大学の学生における歌い手のフォルマントの検討	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 日本音響学会音声研究会資料	6. 最初と最後の頁 173-175
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高橋純, 戸田菜月, 竹本浩典	4. 巻 2022年秋季
2. 論文標題 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	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 日本音響学会講演論文集	6. 最初と最後の頁 1035-1036
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高橋純, 戸田菜月, 竹本浩典	4. 巻 2023春季
2. 論文標題 音声分析と体内運動の観測に基づく歌唱指導の可能性	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 日本音響学会講演論文集	6. 最初と最後の頁 1161-1164
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 高橋純, 幸実優, 佐々木香諒, 戸田菜月, 竹本浩典
2. 発表標題 リアルタイムMRIに基づくオペラ歌唱の音量の制御に関する研究
3. 学会等名 日本音響学会音楽音響研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋純
2. 発表標題 プロの歌手と音楽大学の学生における歌い手のフォルマントの検討
3. 学会等名 日本音響学会音声研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 高橋純, 戸田菜月, 竹本浩典
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本音響学会2022年秋季研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 高橋純, 戸田菜月, 竹本浩典
2. 発表標題 音声分析と体内運動の観測に基づく歌唱指導の可能性
3. 学会等名 日本音響学会2023年春季研究発表会（招待講演）
4. 発表年 2023年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------