研究成果報告書 科学研究費助成事業

今和 5 年 6 月 1 1 日現在

機関番号: 32503

研究種目: 基盤研究(C)(一般)

研究期間: 2019~2022

課題番号: 19K12048

研究課題名(和文)オペラ歌唱における声道と横隔膜の制御に関する研究

研究課題名(英文)Research on control of the vocal tract and diaphragm in operatic singing

研究代表者

竹本 浩典 (Takemoto, Hironori)

千葉工業大学・先進工学部・教授

研究者番号:40374102

交付決定額(研究期間全体):(直接経費) 2.900.000円

研究成果の概要(和文):オペラ歌唱において声道や横隔膜は声の高さや大きさの制御のために重要である。しかし、これらの器官は体内にあって観測が困難であった。そこで本研究では、歌唱中のオペラ歌手の頭頸部と胸腹部の運動をリアルタイムMRIで動画として記録して分析した。その結果、声が高くなると頸椎の後弯が大きくなること、声の高さの変化量に応じて横隔膜の上下動を変化させていることが明らかになった。前者は喉頭の構 造を利用して声帯の張力を制御し、後者は空気の圧縮性を利用して肺圧を制御していることを示すと思われる。

研究成果の学術的意義や社会的意義 声が高くなると口が開くことは知られていたが、これに加えて頸椎の後弯の度合いが大きくなることを世界で初めて明らかにした。これは、従来知られていなかった喉頭の構造を利用した声の高さの制御方法が存在することを示唆する。また、一般的に歌唱中は呼気が生み出すために横角に関係している。また、一般的に歌唱中は呼気が大きな出ために横角に関係していることを明ら を下げるために空気の圧縮性を利用して呼気流を生み出しながらも一時的に横隔膜を下降させていることを明らかにした。これも世界で初めて得られた知見で、歌唱技術の指導に貢献する。

研究成果の概要(英文): In the operatic singing, the vocal tract and diaphragm are important for controlling the pitch and loudness. These organs, however, are difficult to be observed because they are internal structures of the human body. Thus, in the present study, movements of these organs during singing were recorded and analyzed by using real-time MRI. As a result, it was revealed that the cervical spines were bended backward as the pitch increased and vertical movements of the diaphragm depended on the amount of the pitch changes. The former seems to mean that the structure of the larynx is used to control the tension of the vocal folds, and the latter seems to mean that the compressibility of the air is used to control the lung pressure.

研究分野: 音声生成

キーワード: リアルタイムMRI オペラ 声道 横隔膜 呼気圧

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等に ついては、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1.研究開始当初の背景

オペラ歌唱に特有の声量があって良く響く声はフォルマント同調(図1)によって生み出され ていると言われている。近年、歌唱中のオペラ歌手の口唇から信号を入力すると同時に声道から の反射を録音して分析した結果、声帯振動の基本周波数(fo)あるいは倍音成分(nfo,n=1,2,3, ...)に声道の第 1 共鳴 (fR1)と場合によっては第 2 共鳴 (fR2)を同調させていること、声種 と音高によって同調の様式が異なることが明らかになった[1]。このフォルマント同調により、 声帯振動の特定の倍音成分が大きく増幅されて、オペラ歌唱に特徴的な声となる。

しかし、フォルマント同調には生理学的に解明されていない問題が2 つある。第1 に、倍音 成分に同調させるために、声道のどの部分をどのよう に変形させて共鳴周波数を制御しているのかという 問題である。歌唱中の声道形状の変化を直接観測する ことは困難であり、音高が上昇するにつれて口の開き が大きくなることを除き、どのような制御が行われて いるのかほとんど知られていない。第2に、声量と直 結している呼気圧をどのように制御しているかとい う問題である。声量を増すために呼気圧を大きくする と、声帯振動の基本周波数が上昇する。つまり、ある 声量と音高で発声するためには、呼気圧、声帯の張力、 声道共鳴の周波数の 3 つを同時に適切に調整する必 要がある。呼気圧を生成するのは主として横隔膜の上 昇であるが、歌唱中にどのような制御が行われている のかあまり検討されていない。

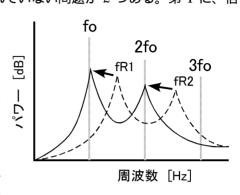


図1:フォルマント同調の例。声帯振動の 基本周波数(fo)と2倍音(2fo)に声道の 第1、第2共鳴(fR1, fR2)を一致させる。

2.研究の目的

本研究の目的は、オペラ歌手がどのように声道を変形させて声道共鳴を制御し、どのように横 隔膜を変位させて呼気を制御してフォルマント同調を行い、特有の歌声を生成しているのかを リアルタイム MRI 動画による観測とシミュレーションにより明らかにすることである。

3 . 研究の方法

実験参加者はのべ 12 人のプロのオペラ歌手とオペラを学ぶ学生で、声種(バリトン、テノー ル、ソプラノ)や歌唱技術を考慮して選定した。各実験参加者は MRI 装置内 (ATR-Promotions, 京都府相楽郡精華町)に仰臥し、5度跳躍進行などの指定された歌唱課題を歌唱する。同一の歌 唱課題に対して、歌唱中の頭頸部と右側胸腹部の矢状断面においてリアルタイム MRI 動画を撮 像した。空間解像度は頭頸部では1.0×1.0×10 mm、胸腹部では1.2×1.2×10 mm、撮像速度は いずれも 10 フレーム毎秒とした。

得られた動画の各フレームから、発声器官各部の輪郭と肺の輪郭を機械学習により点群デー タとして抽出した[2]。なお抽出にあたっては、各フレームで解剖学的に同定可能なランドマー クを輪郭の始点と終点とし、その間の輪郭はフレーム間で同数の等間隔の点群(セミランドマー ク)とした。これにより輪郭の統計分析が可能になったので、頭頸部の動画に関しては、音高変 化時の主成分分析を行った。一方、胸腹部の動画に関しては、音高変化時の肺の断面積の変化か ら、呼気流量と肺圧の推定を行った。

4.研究成果

統計分析により様々な知見が得られたが、ここでは主要な2つの知見を報告する。

まず、音高変化時の声道形状の制御について得られた知見について述べる。図2はプロのテノ ールが5度跳躍進行を行った際の発声器官の運動の第1主成分(PC1)とそのスコアを示したも のである。PC1 は口の開閉と頸椎が後弯する動作を表す。PC1 の寄与率は 68%、そのスコアと音 高の相関係数は 0.85 である。したがってこの結果は、音高が上昇すると口が開き、頸椎の後弯 の度合いが大きくなり、結果として口腔と咽頭の容積が増大することを示す。この実験参加者は プロのテノールで音声スペクトルからフォルマント同調を行うために fR1 を上昇させているこ とが確認できているので、これらの運動は音高の上昇に合わせて fR1 を上昇させる効果をもた らすと考えられる。音高の上昇にともなうこれらの運動は、他のプロの歌手でも観測された。

先行研究により、音高に合わせて口の開きが大きくなることは知られており、これが fR1 の上 昇に寄与するとされていたが[3]、頸椎の後弯の度合いも連続的に大きくなることは知られてい なかった。頸椎の後弯が大きくなると、咽頭が拡大するという声道形状の変化が生じるだけでな く、甲状軟骨と輪状軟骨の角度に対して輪状甲状筋の収縮と同様の変化をもたらし、結果として 声帯の張力を高めると考えられる。すなわち、頸椎の後弯は声道形状を変化させるだけでなく、 声帯張力を増加させる。また、プロでは声区のブレイクによらず音高の上昇に合わせて頸椎の後 弯の度合いは連続的に大きくなったが、歌唱技術を十分に習得していない学生では、声区のブレ イクを超えた最高音でのみ頸椎の後弯が見られたことから、 頸椎の連続的な後弯は地声と裏声を滑らかに連続させる声区 融合の技術と関係があることを示唆する。

研究開始時には、声道形状とその共鳴の変化に着目していたが、研究の結果得られた音高の上昇にともなう頸椎の後弯は、声道形状のみならず声帯張力も変化させる可能性がある。前述したように、これは喉頭の構造を利用して声帯の張力を連続的にしかも大きく変化させることが可能なメカニズムであり、声区融合の技術と関係があると思われる。声区融合はオペラ歌唱の重要な技術であり、そのメカニズムは未解明であるので、本研究で得られた知見は今後の研究に大きなインパクトを与えるものと考えられる。

次に、音高変化時の横隔膜の制御について得られた知見について述べる。図3上はプロのテノール歌手の1オクターブ跳躍進行時(Ab3 Ab4 Ab3)の音声波形と声の高さ(基本周波数)で、網掛けの色の薄い区間がAb3(約207.7 Hz)濃い区間がAb4(約415.3 Hz)である。高音から低音へ移行する直前に音声波形が小さくなり、基本周波数の抽出が途切れた。図4上はリアルタイムMRI動画の該当するフレームから抽出した肺の断面積が体積の3/2乗に比例し、最大吸気時の肺の容積が5500 cm³と仮定した場合の肺の容積変化を表す。高音から低音に移行する直前の音声波形が小さくなったフレームで、一時的に吸気したかのように肺の容積が増加する現象が見られた。この現象は他の歌手でも見られ、音型が全体として高く、跳躍幅が大きくなるほど顕著に見られた。

波形が小さくなったとはいえ、発声が持続しているにも関わらず肺の容積が一時的に増加した要因を追求するために、空気の圧縮性を考慮した分析を行った。リアルタイムMRI 動画は肺の断面を 1 秒間に 10 フレーム記録できるので、歌唱中の肺の容積の変化を 0.1 秒間隔で推定可能である。まず、吸気から呼気に移行する直前の肺圧が大気圧と等しいとする。そして、肺の容積変化により肺圧が変化し、その後の 0.1 秒間に発声による呼気流で減圧するとする。つまり、あるフレームに移行した瞬間に容積変化により圧力が変化(断熱変化)し、その後の 0.1 秒間に肺の容積は一定で発声により減圧する過程が繰り返されるとする。このとき、単位時間に流出する空気の質量がは以下の式で表される[4]。

$$\dot{m} = \frac{Ap}{\sqrt{RT}} \sqrt{\frac{2\gamma}{\gamma - 1}} \left\{ \left(\frac{p_a}{p}\right)^{\frac{2}{\gamma}} - \left(\frac{p_a}{p}\right)^{\frac{\gamma + 1}{\gamma}} \right\} \qquad kg/s.$$

ここでAは平均の声門の面積で $0.05~{\rm cm}^2$ 、pは肺圧、Rは空気の気体定数で $287.1~{\rm J/(kgK)}$ 、Tは空気の温度で $310~{\rm K}$ 、 γ は空気の比熱比で 1.4、 p_a は大気圧で $100~{\rm kPa}$ とした。

図4下は、上式によって肺圧(大気圧との差圧)を推定し

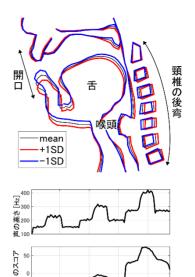


図2:声の高さの変化による運動の PC1(上)とそのスコアの変化(下)

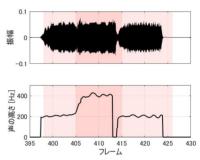


図 3:音声波形(上)と声の高さ(下)

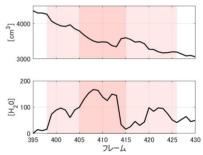


図4:肺の容積(上)と肺圧(下)

た結果である。高音から低音に移行する 415 フレームの直前に、肺の容積が一時的に増加したことによって肺圧が減少して 0 に近くなったが、その後再び肺の容積は減少して肺圧が上昇した。同様の肺圧の変化は他の歌手でも見られた。

歌手の内観報告によれば、高音から低音への移行時には、「支え直す」技術を用いているとのことであった。一般に、音高によって適切な肺圧は異なり、高い音高では高い肺圧が、低い音高では低い肺圧が必要である[5]。そのため、1 オクタープ下へ移行する場合、急激な減圧が必要となる。肺圧は発声を中止して声門を開けば急激に下降するが、発声を持続しながら下降させるためには、発声を持続しながら一時的に横隔膜を緊張させて肺容積を増加させ、空気の圧縮性を用いて減圧していると考えられる。その後、再び肺圧を上昇させて低音を歌唱する。つまり、「支え直す」とは、一旦肺圧を下降させた後で再び上昇させながら低音の発声を行う技術なのではないかと推測される。

オペラ歌唱において横隔膜の制御は重要とされるが、体内にあって観測が困難であったため、これまでほとんど着目されてこなかった。しかし本研究では、歌唱中の横隔膜を含めた肺の断面形状の変化をリアルタイム MRI で実測して分析した。そして、前述したように肺の断面積から推定した容積の変化から空気を圧縮性流体とみなして肺圧や呼気流量を推定する手法を用いて、高音から低音へ移行時に用いられる「支え直し」と呼ばれる歌唱技術を解明することができた。このように目に見えない歌唱技術をリアルタイム MRI の動画を分析することで解明した研究は世界的にみても類例が少ないが、これから発展する可能性がある。

<参考文献>

- [1] N. Henrich, J. Smith, and J. Wolfe, "Vocal tract resonances in singing: Strategies used by sopranos, altos, tenors, and baritones," *J. Acoust. Soc. Am.*, **129**, 1024-1035 (2011).
- [2] H. Takemoto, T. Goto, Y. Hagihara, S. Hamanaka, T. Kitamura, Y. Nota, and K. Maekawa. "Speech Organ Contour Extraction Using Real-Time MRI and Machine Learning Method," *Proc. of the Interspeech 2019*, 904-908, (2019).
- [3] J. Sundberg, THE SCIENCE OF THE SINGING VOICE, Northern Illinois University Press, State of Illinois, 1987.
- [4] 松尾一泰, 圧縮性流体力学, (2020).
- [5] J. Sundberg, I. Titze, and R. Scherer. "Phonatory control in male singing: A study of the effects of subglottal pressure, fundamental frequency, and mode of phonation on the voice source," *J. Voice*, 7(1), 15-29, (1993).

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計20件(うち査読付論文 3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	4 . 巻
Takemoto Hironori, Adachi Seiji, Toda Natsuki	44
Takomoto mitohori, Addom oorji, Toda Natodki	
2 *A-Y-4-TIT	F 38/- F
2.論文標題	5 . 発行年
One-dimensional static vocal tract model in the time domain	2023年
3.雑誌名	6.最初と最後の頁
Acoustical Science and Technology	9 ~ 16
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	査読の有無
10.1250/ast.44.9	有
10.1250/401.11.0	[
オープンアクセス	国際共著
	国际共有 目际共有
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	-
1 . 著者名	4 . 巻
戸田 菜月、工藤 理佐子、竹本 浩典、高橋 純	78
2.論文標題	5.発行年
リアルタイムMRIを用いたオペラ歌唱における呼気の制御に関する研究	2022年
TO THE CONTROL OF STATE OF STA	
그 사람 수 것	6 見知し目後の否
3.雑誌名	6.最初と最後の頁
日本音響学会誌	646 ~ 649
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	査読の有無
10.20697/jasj.78.11_646	有
オープンアクセス	国際共著
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	_
4 \$2.67	A ++
1. 著者名	4 . 巻
戸田 菜月,竹本 浩典,高橋 純, 足立 整治	SP2022-9
2.論文標題	5 . 発行年
リアルタイムMRI動画を用いた オペラ歌唱における「支え直す」技術の検討	
リアルダイム(MKI) 割回を用いた オペン歌唱にのける・文え且9」技術の検討	2022年
3.雑誌名	6.最初と最後の頁
信学技報	30 ~ 34
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	大芸の大师
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	査読の有無
なし	宜読の有無 無
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
オープンアクセス	無
なし	無
なし 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
なし 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 1 . 著者名	国際共著 - 4 . 巻
なし 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
なし 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 1.著者名	国際共著 -
なし 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 1 . 著者名 戸田 菜月, 竹本 浩典, 高橋 純, 足立 整治	無 国際共著 - 4.巻 2022年9月
なし 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 1 . 著者名 戸田 菜月, 竹本 浩典, 高橋 純, 足立 整治 2 . 論文標題	無 国際共著 - 4.巻 2022年9月 5.発行年
なし 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 1 . 著者名 戸田 菜月,竹本 浩典,高橋 純,足立 整治	無 国際共著 - 4 . 巻 2022年9月
なし 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 1 . 著者名 戸田 菜月 , 竹本 浩典 , 高橋 純 , 足立 整治 2 . 論文標題 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	無 国際共著 - 4.巻 2022年9月 5.発行年 2022年
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 1 . 著者名 戸田 菜月, 竹本 浩典, 高橋 純, 足立 整治 2 . 論文標題	無 国際共著 - 4.巻 2022年9月 5.発行年
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 1 . 著者名 戸田 菜月,竹本 浩典,高橋 純,足立 整治 2 . 論文標題 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 3 . 雑誌名	無 国際共著 - 4 . 巻 2022年9月 5 . 発行年 2022年 6 . 最初と最後の頁
なし 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 1 . 著者名 戸田 菜月 , 竹本 浩典 , 高橋 純 , 足立 整治 2 . 論文標題 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	無 国際共著 - 4.巻 2022年9月 5.発行年 2022年
なし 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 1 . 著者名 戸田 菜月,竹本 浩典,高橋 純,足立 整治 2 . 論文標題 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 3 . 雑誌名	無 国際共著 - 4 . 巻 2022年9月 5 . 発行年 2022年 6 . 最初と最後の頁
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 1 . 著者名 戸田 菜月,竹本 浩典,高橋 純,足立 整治 2 . 論文標題 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 3 . 雑誌名 日本音響学会講演論文集	無 国際共著 - 4 . 巻 2022年9月 5 . 発行年 2022年 6 . 最初と最後の頁 1033~1034
なし 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 1 . 著者名 戸田 菜月,竹本 浩典,高橋 純,足立 整治 2 . 論文標題 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 3 . 雑誌名	無 国際共著 - 4 . 巻 2022年9月 5 . 発行年 2022年 6 . 最初と最後の頁
なし 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 1 . 著者名 戸田 菜月,竹本 浩典,高橋 純,足立 整治 2 . 論文標題 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 3 . 雑誌名 日本音響学会講演論文集	無 国際共著 - 4 . 巻 2022年9月 5 . 発行年 2022年 6 . 最初と最後の頁 1033~1034
なし 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 1 . 著者名 戸田 菜月,竹本 浩典,高橋 純,足立 整治 2 . 論文標題 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 3 . 雑誌名 日本音響学会講演論文集	無 国際共著 - 4 . 巻 2022年9月 5 . 発行年 2022年 6 . 最初と最後の頁 1033~1034
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 1 . 著者名 戸田 菜月,竹本 浩典,高橋 純,足立 整治 2 . 論文標題 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 3 . 雑誌名 日本音響学会講演論文集 掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)なし	無 国際共著 - 4 . 巻 2022年9月 5 . 発行年 2022年 6 . 最初と最後の頁 1033~1034 査読の有無
なし 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 1 . 著者名 戸田 菜月,竹本 浩典,高橋 純,足立 整治 2 . 論文標題 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 3 . 雑誌名 日本音響学会講演論文集 掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	無 国際共著 - 4 . 巻 2022年9月 5 . 発行年 2022年 6 . 最初と最後の頁 1033~1034

1 至子夕	
1.著者名	4 . 巻
高橋純,戸田菜月,竹本浩典	2022年9月
2.論文標題	F 発行生
·····	5.発行年
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	2022年
3.雑誌名	6.最初と最後の頁
日本音響学会講演論文集	1035 ~ 1036
1700万分晚/大师人未	1000 1000
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	
なし	
4 U	無
オープンアクセス	国際共著
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	-
1.著者名	4 . 巻
	_
戸田菜月,竹本浩典,高橋純	2023年3月
2 . 論文標題	5.発行年
リアルタイムMRIを用いたソプラノ歌手の高音発声に関する研究	2023年
o kett	€ 見知し見後の否
3.雑誌名	6.最初と最後の頁
日本音響学会講演論文集	1159 ~ 1160
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)	査読の有無
なし	無
オープンアクセス	国際共著
オープンアッセス 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	国际六有
1 . 著者名	4 . 巻
高橋純,戸田菜月,竹本浩典	2023年3月
2 . 論文標題	5 . 発行年
- 1 MMス MMス MMス MMス MMス MMス MMス MMス MMス M	2023年
日产力111 〜 平73 建到 少 観 別 に 至 ノ \ 秋 旧 11 1 1 1 1 5 ツ ツ 北 注	20254
3.雑誌名	6.最初と最後の頁
日本音響学会講演論文集	1161 ~ 1164
ヨギシシャの2017 デックリナーブン カナ 地口フン	 査読の有無
気動(論 V (1)1111 (ナンノタ ル・オーバント・武 前 ナー)	
· · · · · · · · · · · · · · · · · · ·	
⁶ 載論文のDOT(デンタルオフシェクト試別子) なし	無
なし オープンアクセス	
なし	無
なし 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
なし 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 1.著者名	国際共著 - 4 . 巻
なし 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
なし 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 1.著者名 戸田菜月,竹本浩典,高橋純	無 国際共著 - 4.巻 2021年9月
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 1 . 著者名 戸田菜月,竹本浩典,高橋純	無 国際共著 - 4.巻 2021年9月 5.発行年
なし 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 1.著者名 戸田菜月,竹本浩典,高橋純	無 国際共著 - 4.巻 2021年9月
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 1 . 著者名 戸田菜月,竹本浩典,高橋純 2 . 論文標題 オペラ歌唱における音高と声道形状に関する検討	無 国際共著 - 4.巻 2021年9月 5.発行年 2021年
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 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 1 . 著者名 戸田菜月,竹本浩典,高橋純 2 . 論文標題 オペラ歌唱における音高と声道形状に関する検討 3 . 雑誌名	無 国際共著 - 4 . 巻 2021年9月 5 . 発行年 2021年 6 . 最初と最後の頁
なし 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 1 . 著者名 戸田菜月,竹本浩典,高橋純 2 . 論文標題 オペラ歌唱における音高と声道形状に関する検討	無 国際共著 - 4.巻 2021年9月 5.発行年 2021年
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 1 . 著者名 戸田菜月,竹本浩典,高橋純 2 . 論文標題 オペラ歌唱における音高と声道形状に関する検討 3 . 雑誌名 日本音響学会講演論文集	無 国際共著 - 4 . 巻 2021年9月 5 . 発行年 2021年 6 . 最初と最後の頁 821-822
なし 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 1 . 著者名 戸田菜月,竹本浩典,高橋純 2 . 論文標題 オペラ歌唱における音高と声道形状に関する検討 3 . 雑誌名 日本音響学会講演論文集 曷載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	無 国際共著 - 4 . 巻 2021年9月 5 . 発行年 2021年 6 . 最初と最後の頁 821-822 査読の有無
なし 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 1 . 著者名 戸田菜月,竹本浩典,高橋純 2 . 論文標題 オペラ歌唱における音高と声道形状に関する検討 3 . 雑誌名 日本音響学会講演論文集	無 国際共著 - 4 . 巻 2021年9月 5 . 発行年 2021年 6 . 最初と最後の頁 821-822
オープンアクセス	無 国際共著 - 4 . 巻 2021年9月 5 . 発行年 2021年 6 . 最初と最後の頁 821-822 査読の有無

1.著者名 杉浦唯,竹本浩典,北村達也,内尾紀彦,鴻信義 2.論文標題 鼻副鼻腔の模擬手術が伝達関数に及ぼす影響	4 . 巻
2.論文標題	_
	2021年9月
鳥副鳥蛇の模擬毛術が伝達問数に及ぼす影響	5 . 発行年
テッテルスグスガーブルルとははないとなりまと	2021年
3.雑誌名	6.最初と最後の頁
日本音響学会講演論文集	799-800
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	査読の有無
なし	無
オープンアクセス	国際共著
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	-
オープンデザビスとはない、大はオープンデザビスが、四乗	-
1. 著者名	4 . 巻
高橋純,幸実優,佐々木香諒,戸田菜月,竹本浩典	40
·	
2 . 論文標題	5.発行年
リアルタイムMRIに基づくオペラ歌唱の声量の制御に関する研究	2021年
3 . 雑誌名	6.最初と最後の頁
音楽音響研究会資料	7-10
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	査読の有無
なし	無
	C Day 11 ++
オープンアクセス	国際共著
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	-
1 . 著者名	4 . 巻
···日日日 戸田菜月,竹本浩典,高橋純,足立整治	2022年3月
广山来月,门华石央,同恂能,足立罡石	2022年3月
- AA N. 1970	- 7× /- -
2.論文標題	5 . 発行年
音高変化におけるオペラ歌唱技術の検討	2022年
3.雑誌名	6.最初と最後の頁
日本音響学会講演論文集	825-826
口坐日音于云碑伊佛人朱	020-020
IT SHILA S	
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	査読の有無
なし	無
オープンアクセス	国際共著
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	
ク フンテノ Cハ Claravi、 入lara - フフテノ C ハル 四天t	<u>-</u>
. ++	
1 . 著者名	4 . 巻
戸田菜月,工藤理佐子,竹本浩典,高橋純	2020年9月
	5.発行年
2 論文煙期	
	2020年
2 . 論文標題 オペラ歌手が非声楽的な発声を模擬したときの横隔膜などの制御	1
オペラ歌手が非声楽的な発声を模擬したときの横隔膜などの制御	
オペラ歌手が非声楽的な発声を模擬したときの横隔膜などの制御	6.最初と最後の頁
オペラ歌手が非声楽的な発声を模擬したときの横隔膜などの制御	6.最初と最後の頁 677-678
オペラ歌手が非声楽的な発声を模擬したときの横隔膜などの制御 3.雑誌名	
オペラ歌手が非声楽的な発声を模擬したときの横隔膜などの制御 3.雑誌名	
オペラ歌手が非声楽的な発声を模擬したときの横隔膜などの制御 3.雑誌名 日本音響学会講演論文集	677-678
オペラ歌手が非声楽的な発声を模擬したときの横隔膜などの制御 3.雑誌名 日本音響学会講演論文集 掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	677-678 査読の有無
オペラ歌手が非声楽的な発声を模擬したときの横隔膜などの制御 3.雑誌名 日本音響学会講演論文集	677-678
オペラ歌手が非声楽的な発声を模擬したときの横隔膜などの制御 3.雑誌名 日本音響学会講演論文集 掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし	677-678 査読の有無
オペラ歌手が非声楽的な発声を模擬したときの横隔膜などの制御 3.雑誌名 日本音響学会講演論文集 掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子) なし	677-678 査読の有無 無
3.雑誌名 日本音響学会講演論文集 掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	677-678 査読の有無

1.著者名	4.巻
杉浦唯,竹本浩典,北村達也,鴻信義	2020年9月
2.論文標題	5.発行年
鼻音生成時の伝達関数に生じる零点の生成要因の検討	2020年
3.雑誌名	6.最初と最後の頁
日本音響学会講演論文集	651-652
	33.7 332
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	
なし	#

オープンアクセス	国際共著
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	-
1 . 著者名	4 . 巻
—	_
戸田菜月,工藤理佐子,竹本浩典,高橋純	2021年3月
2 . 論文標題	5.発行年
rtMRI動画を用いたオペラ歌唱における呼気の制御に関する研究	2021年
	·
3 . 雑誌名	6.最初と最後の頁
日本音響学会講演論文集	735-736
曷載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	査読の有無
なし	無
ナープンアクセス	国際共著
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	当你不有 -
The state of the s	-
1 . 著者名	4 . 巻
高橋純,戸田菜月,工藤理佐子,竹本浩典	2021年3月
2 . 論文標題	5.発行年
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	2021年
3.雑誌名	6.最初と最後の頁
日本音響学会講演論文集	737-738
引載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	
	無
ナープンアクセス 	国際共著
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	-
1 . 著者名	4 . 巻
·····································	2021年3月
1770.E. 13-17477 101375 C. FRICAS	,
2 . 論文標題	5 . 発行年
内視鏡下鼻副鼻腔手術による 術前・術後の形状と音響特性の変化の検討	2021年
	·
3.雑誌名	6.最初と最後の頁
日本音響学会講演論文集	743-744
 	 査読の有無
なし	無
+	(F) (M) + 芝
オープンアクセス	国際共著
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	-

1 菜子夕	1 . w
1.著者名	4 . 巻
竹本浩典、足立整治	76
2.論文標題	5.発行年
声道モデルにおけるインパルス応答の生成技術	2020年
3 . 雑誌名	6.最初と最後の頁
日本音響学会誌	188-195
掲載論文のDOI(デジタルオブジェクト識別子)	
なし	有
	E
オープンアクセス	国際共著
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	-
1 . 著者名	4 . 巻
竹本浩典、足立整治	2020年3月
11 中/12 典、 C 生 定 / 1	2020-073
2.論文標題	5 . 発行年
壁振動を考慮した時間領域差分法による1次元の声道音響モデル	2020年
3.雑誌名	6.最初と最後の頁
日本音響学会講演論文集	777-778
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子)	査読の有無
なし	無
オープンアクセス	国際共著
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	国际共有
1 . 著者名	4 . 巻
高橋純、竹本浩典、榊原健一	2020年3月
2 . 論文標題	5.発行年
- rtMRIを用いたオペラ歌唱における喉頭と横隔膜の制御の観察	2020年
「 いい、 で 1月 v い に り ・ \ ノ 引が日 C リナン マ 大火 C 1 円 円 V 円 円 V 円 V 円 F F F F F F F F F	
3.雑誌名	6.最初と最後の頁
日本音響学会講演論文集	773-774
匈乳冊又の001(ノンツルイノンエンド畝加丁)	
g utime COLOT (アクタルタクシェクトauting Transporter) なし	無
なし	無
な し オープンアクセス	
なし	無
なし 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	無
なし 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
なし 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 1.著者名 杉浦唯、竹本浩典、北村達也、内尾紀彦、鴻信義	無 国際共著 - 4.巻 2020年3月
なし 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 1.著者名 杉浦唯、竹本浩典、北村達也、内尾紀彦、鴻信義	国際共著
なし 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 1.著者名 杉浦唯、竹本浩典、北村達也、内尾紀彦、鴻信義	無 国際共著 - 4.巻 2020年3月
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 1 . 著者名 杉浦唯、竹本浩典、北村達也、内尾紀彦、鴻信義 2 . 論文標題 鼻音生成時の声道形状の抽出と音響特性の解析	無 国際共著 - 4.巻 2020年3月 5.発行年 2020年
なし 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 1 . 著者名 杉浦唯、竹本浩典、北村達也、内尾紀彦、鴻信義 2 . 論文標題 鼻音生成時の声道形状の抽出と音響特性の解析 3 . 雑誌名	無 国際共著 - 4 . 巻 2020年3月 5 . 発行年 2020年 6 . 最初と最後の頁
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 1 . 著者名 杉浦唯、竹本浩典、北村達也、内尾紀彦、鴻信義 2 . 論文標題 鼻音生成時の声道形状の抽出と音響特性の解析	無 国際共著 - 4.巻 2020年3月 5.発行年 2020年
なし 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 1 . 著者名 杉浦唯、竹本浩典、北村達也、内尾紀彦、鴻信義 2 . 論文標題 鼻音生成時の声道形状の抽出と音響特性の解析 3 . 雑誌名 日本音響学会講演論文集	無 国際共著 - 4 . 巻 2020年3月 5 . 発行年 2020年 6 . 最初と最後の頁 767-768
なし 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 1 . 著者名 杉浦唯、竹本浩典、北村達也、内尾紀彦、鴻信義 2 . 論文標題 鼻音生成時の声道形状の抽出と音響特性の解析 3 . 雑誌名 日本音響学会講演論文集	無 国際共著 - 4 . 巻 2020年3月 5 . 発行年 2020年 6 . 最初と最後の頁
なし 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 1 . 著者名 杉浦唯、竹本浩典、北村達也、内尾紀彦、鴻信義 2 . 論文標題 鼻音生成時の声道形状の抽出と音響特性の解析 3 . 雑誌名 日本音響学会講演論文集	無 国際共著 - 4 . 巻 2020年3月 5 . 発行年 2020年 6 . 最初と最後の頁 767-768
なし 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 1 . 著者名 杉浦唯、竹本浩典、北村達也、内尾紀彦、鴻信義 2 . 論文標題 鼻音生成時の声道形状の抽出と音響特性の解析 3 . 雑誌名 日本音響学会講演論文集	無 国際共著 - 4 . 巻 2020年3月 5 . 発行年 2020年 6 . 最初と最後の頁 767-768

〔学会発表〕 計12件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)
1.発表者名 戸田菜月,竹本浩典,高橋純
2 . 発表標題 オペラ歌唱における音高と声道形状に関する検討
3 . 学会等名 日本音響学会 2021年秋季研究発表会
4 . 発表年 2021年
1.発表者名 杉浦唯,竹本浩典,北村達也,内尾紀彦,鴻信義
2 . 発表標題 鼻副鼻腔の模擬手術が伝達関数に及ぼす影響
3 . 学会等名 日本音響学会 2021年秋季研究発表会
4 . 発表年 2021年
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声量の制御に関する研究
3 . 学会等名 音楽音響研究会
4 . 発表年 2021年
1.発表者名 戸田菜月,竹本浩典,高橋純,足立整治
2 . 発表標題 音高変化におけるオペラ歌唱技術の検討
3 . 学会等名 日本音響学会 2022年春季研究発表会
4 . 発表年 2022年

4 W=±x4
1.発表者名 戸田菜月,工藤理佐子,竹本浩典,高橋純
, 四木刀,工脉注注 】, 11 华/D类, 10 11 同元
2 7V±+55.05
2 . 発表標題 オペラ歌手が非声楽的な発声を模擬したときの横隔膜などの制御
ス゚ヽフッルテンティテ治未ロシム先治でチン減∪にここの供P関係なこの側側
3.学会等名
日本音響学会2020年秋季研究発表会
4.発表年
2020年
1. 発表者名
杉浦唯,竹本浩典,北村達也,鴻信義
2 . 発表標題
鼻音生成時の伝達関数に生じる零点の生成要因の検討
3.学会等名
日本音響学会2020年秋季研究発表会
4. 発表年
2020年
1.発表者名
戸田菜月,工藤理佐子,竹本浩典,高橋純
2.発表標題
rtMRI動画を用いたオペラ歌唱における呼気の制御に関する研究
3.学会等名
日本音響学会2021年春季研究発表会
4. 発表年
2021年
1
1.発表者名 高橋純,戸田菜月,工藤理佐子,竹本浩典
回响。八日本八」,上欧华庄」,日本石类
3 - 7V ± 15 H5
2 . 発表標題 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
ク゚ヽフッル丁ク゚イト戸木ロクは先戸でイモj減 ∪に 序♥ラルト戸♥目音ロク付は
a. W.A.Mark
3.学会等名
日本音響学会2021年春季研究発表会
4.発表年
2021年

1.発表者名
杉浦唯,竹本浩典,北村達也,鴻信義
- W. + 1707
2 . 発表標題
内視鏡下鼻副鼻腔手術による 術前・術後の形状と音響特性の変化の検討
2 24 6 75 75
3.学会等名
日本音響学会2021年春季研究発表会
4 3V±/r
4.発表年
2021年
1. 発表者名
竹本浩典、足立整治
2. 改丰+西阳
2.発表標題
壁振動を考慮した時間領域差分法による1次元の声道音響モデル
3.学会等名
日本音響学会2020年春季研究発表会
4.発表年
2020年
4 7V ± 12/7
1.発表者名
高橋純、竹本浩典、榊原健一
2.発表標題
rtMRIを用いたオペラ歌唱における喉頭と横隔膜の制御の観察
3.学会等名
日本音響学会2020年春季研究発表会
4 . 発表年
2020年
:
1.発表者名
7.光极有石 杉浦唯、竹本浩典、北村達也、内尾紀彦、鴻信義
1/曲重、11年/0天、4011年じ、13代制度、7周10技
2 . 発表標題
鼻音生成時の声道形状の抽出と音響特性の解析
3.学会等名
日本音響学会2020年春季研究発表会
4 . 発表年
2020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
	榊原 健一	北海道医療大学・リハビリテーション科学部・准教授	
研究分担者	(Sakakibara Kenichi)		
	(80396168)	(30110)	

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
---------	---------