

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：34506

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2012～2015

課題番号：24650088

研究課題名(和文)皮膚振動の視覚的フィードバックを用いた発声訓練手法の開発

研究課題名(英文)Development of voice training method using visual feedback of facial skin surface vibration pattern

研究代表者

北村 達也 (Kitamura, Tatsuya)

甲南大学・知能情報学部・教授

研究者番号：60293594

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)：本研究では、発声時や歌唱時の体表面の皮膚振動パターンを計測する方法、さらには発声訓練において皮膚振動を視覚的にフィードバックする方法について検討した。まず、歌唱時の皮膚振動パターンをスキャニング型レーザードップラ振動計により計測した。そして、裏声と地声により顔面の皮膚振動パターンが異なること、歌声の基本周波数によって前額の皮膚振動のパワーが増加することなどを明らかにした。また、ストロー発声に基づく発声訓練において口唇部の皮膚振動の情報をフィードバックするシステムを開発した。10名を対象にした評価実験の結果、このシステムを利用することによって訓練効果が向上することが示された。

研究成果の概要(英文)：This research project explored methods of measuring skin surface vibration patterns during speaking and singing and methods of utilizing them to provide feedback in voice training. First, we measured vibration patterns of facial skin surface during singing by a scanning-type laser Doppler vibrometer. The results indicated that the vibration patterns were different between modal and falsetto singings and the vibration amplitude of the forehead of professional soprano singers increased with increasing the pitch frequency of singing voices. Second, we developed a system to provide the vibration amplitude of the upper lip surface to trainees as a feedback during vocal exercises. The results of evaluation experiments indicated that the system could work well for voice training.

研究分野：音声科学

キーワード：音声 歌唱 皮膚振動 発声訓練 歌唱訓練 ストロー発声 声区

### 1. 研究開始当初の背景

発声や歌唱の際には声帯振動や声道内の空気の振動に起因して皮膚や骨格も振動する。この振動は、話者や歌手に響きの感覚をもたらしていると考えられる。Titze (2001) は、肺で生成された空力的エネルギーが喉頭において効率的に音響的エネルギーに変換されているときほど頭頸部の皮膚振動が大きくなることを示している。

発声や歌唱の訓練法の中には振動感覚に意識を向けさせるものがある。例えば、Lessac-Madsen 共鳴強調訓練では患者の振動感覚を重視する。従って、皮膚振動を正確かつ簡便に計測できれば訓練対象者へのフィードバックとして利用できると考えられる。さらに、皮膚振動に基づいて発声や歌唱の状態を評価できる可能性がある。そこで、本研究では、皮膚振動の計測手法とその訓練への利用法について検討した。

従来、発声や歌唱に伴う体表面の振動は、主として加速度ピックアップ等を用いて計測され、その特性が分析されていた。しかし、この方法ではセンサーを皮膚に接触させる必要があるため、わずかとはいえセンサーが振動に影響を及ぼすことが避けられなかった。一方、皮膚振動パターンを光学的に非接触で計測する手法も開発されていた。

著者らは、スキャニング型レーザードップラ振動計を用いて発声時の皮膚振動パターンを計測できることを 2012 年に初めて示した。この装置は、測定対象にレーザー光を当て、反射光に生じるドップラ効果を利用して振動速度や変位を計測するものである。またあらかじめ指定していた複数の点を自動的にスキャンして面上の振動パターンを得ることができる。

### 2. 研究の目的

本研究では、スキャニング型レーザードップラ振動計を用いて、発声時および歌唱時の皮膚振動パターンを計測する手法を確立し、計測精度の評価を行う。そして、様々な発声法や歌唱法における皮膚振動パターン特性の解明を試みる。

また、「皮膚振動の情報は、従来の音声スペクトルや言葉によるフィードバックよりも体性感覚との因果関係を結びつけやすく、訓練効果が向上する」という仮説の下、発声訓練における皮膚振動の活用法を開発し、その評価を行う。

### 3. 研究の方法

以下の実験は「甲南大学におけるヒトを対象とした研究審査」により承認されている。

#### (1) 実験 1

声楽経験者 3 名が歌唱している際の顔面の皮膚振動をスキャニング型レーザードップラ振動計 (Polytech PSV-500) (図 1) にて計測し、計測の再現性を評価した。この振動計

は、レーザー光を照射・受光するスキャニングヘッドおよびコントローラーから成る。さらに、ハードウェアの制御、計測結果の表示・分析等を担うソフトウェアを加え、全体のシステムを構成する。



図 1 スキャニング型レーザードップラ振動計 (Polytech PSV-500)

この実験において、被験者は椅子に座り、あご台を利用して頭部を固定した (あごは固定していない)。なお、振動計から発せられるレーザー光から被験者の眼を保護するため、レーザー用フィルターを用いたゴーグルを作製し装着させた。

被験者は、それぞれが出しやすい音程にて母音「あ」を連続歌唱した。その間、前額、鼻周辺、口唇周辺の計 59 点の皮膚振動を計測した。

#### (2) 実験 2

プロの声楽家がさまざまな音程および声区にて歌唱した際の顔面の皮膚振動パターンを計測した。この実験において、被験者は本研究にて開発した専用の椅子に座って計測を行った。この椅子は背もたれ部に 2 本のバーを取り付けてあり、これらを用いて頭部を側面から固定する。さらに、手術用クッションにより頸部を固定した。これによって歌唱に伴う下顎の動きを制約せずに計測できるようになった。計測の様子を図 2 に示す。

データ収集は被験者が最も発声しやすい音程で母音「あ」、「い」を地声および裏声にて発声している状態で実施した。計測点数は被験者ごとに異なるが、約 70 点から 100 点の間に設定した。



図 2 スキャニング型レーザードップラ振動計を用いた計測の様子 (被験者は椅子に座った状態)

### (3) 実験 3

裏声（ファルセット）歌唱時は，本人の頭内に共鳴の感覚が生じると言われている．声楽指導者として著名な Miller (2009) は，「（歌声の）スペクトルのバランスが完全であれば，歌い手の頭部の骨格に共振の感覚が生まれます．それは，バランスの悪い発声の場合とは全く異なる感覚です」と述べている．そこで，この振動を体外から計測することを試みた．プロのソプラノ歌手 3 名が地声および裏声にて歌唱し，その間に前額上の 10 点の皮膚振動を計測した．この実験では被験者の頭部の動きを抑えるため，彼女らに図 3 のようにあおむけ（仰臥位）にて歌唱させた．

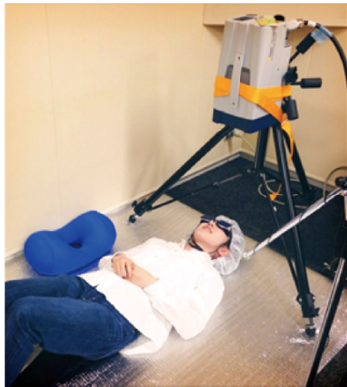


図 3 スキャニング型レーザードップラ振動計を用いた計測の様子（被験者はあおむけの状態）

### (4) 実験 4

言語聴覚士 2 名が，発声訓練時に用いられる様々な方法で発声している状態での顔面の皮膚振動パターンを計測した．チューブ発声や声に関する意識を変えつつ計測した．チューブ発声とは，直径 10 mm ほどのストローをくわえた状態で繰り返し持続的な有声音を発声する訓練法である．その効果が認められ，近年，国内外で研究が活発に行われている．皮膚振動の計測に加え，自覚的評価も記録した．

### (5) 実験 5

チューブ発声による発声訓練を支援するシステムを開発した．チューブ発声においては訓練対象者にわかりやすくかつ客観的な指標がないことが課題であった．

本研究では，上口唇の皮膚振動を小型の加速度ピックアップで取得し，そのパワーをフィードバックするシステムを開発した．このシステムでは，PC の画面に示された顔のイラスト上に円を表示し，パワーの大小に応じてその円の直径を変化させる．加速度ピックアップを用いたのは，訓練対象者の体の動きの影響を避けるためである．

発声に問題のない被験者 10 名を対象にしてこのシステムの効果を評価した．彼らはフィードバック有り/無し状態で 50 回の練習を行い，その過程の皮膚振動およびその前後に収録した母音の特徴を分析した．

## 4. 研究成果

### (1) 実験 1

声楽経験者 3 名を対象にした 3 回の計測結果を比較した結果，皮膚振動速度の平均二乗誤差は 4.0 dB 以下であった．また，3 回の計測値の中央値から 6 dB 外れている計測点は全計測点の 2.4 % とわずかであり，これらの多くはレーザー光が垂直に当たりにくい部分であった．

これらの結果から，スキャニング型レーザードップラ振動計を用いた計測法はおおむね再現性があると判断できた．しかし，この計測法は，データ取得中の被験者の動きに弱いことが明らかになった．特に，顔の曲面部に外れ値が生じることがあり，計測点の選定や頭部の固定法にはさらなる検討が求められる．（雑誌論文，学会発表）

### (2) 実験 2

3 名の被験者のうち 1 名が 2 つの声の高さ（A4 と F5）にて母音「い」を持続歌唱した際の皮膚振動パターンを図 2 に示す．暖色になるほど振動速度が大きく，寒色になるほど振動速度が小さい．この結果から，母音「い」歌唱時には鼻周辺および頬の振動速度が大きいことがわかる．これは他の被験者にも共通する傾向であった．これは母音「い」発声時に口腔内圧変動が大きいことに起因すると考えられる．

また，歌声の基本周波数が高くなると前額の振動速度が大きくなる傾向があった．これは，「高い声はあてて出す」，「高い声は突き抜けるイメージ」といった声楽家の感覚と対応しているものと推測される．その他，地声と裏声の皮膚振動パターンも異なることも明らかとなった．（学会発表，）

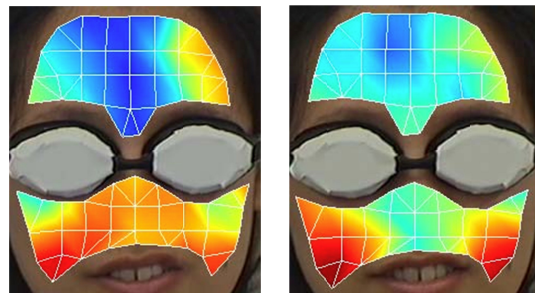


図 3 (左)A4 (440 Hz)と(右)F5 (698.5 Hz)にて母音「い」を歌唱した際の皮膚振動パターン

### (3) 実験 3

計測の結果，歌声の基本周波数と前額の皮膚振動速度の振幅の間に有意な相関があることが示された．前額には前頭洞等の副鼻腔が存在するので，この空間における音の共鳴が皮膚振動に関与している可能性がある．本研究で用いた手法では被験者に接触せず短時間で計測できるという利点がある．その一方で，定常的な皮膚振動パターンの傾向を観測することができなかった．これはトレードオフの問題であるが，定常的傾向を観測する

には計測手法を見直す必要がある。(雑誌論文, 学会発表, )

#### (4) 実験 4

チューブ発声前後で皮膚振動パターンが変化したことから, 訓練前後の音響エネルギー分布の変化を可視化できると考えられる。また, 皮膚振動パターンと自覚的評価の結果が必ずしも一致しなかった。従って, 自覚的な振動感覚だけを指標とせず, 皮膚振動のような客観的評価を用いて訓練効果を測定することが重要といえる。これは本研究の仮説を支持するものである。(学会発表)

#### (5) 実験 5

チューブ発声中の上口唇の振動を切り出し, その平均パワーを求めた。その結果, フィードバック有りの条件の方が無しの条件よりも皮膚振動のパワーが有意に大きかった。これは, 喉頭における空力学的エネルギーから音響的エネルギーへの変換効率が向上したこと, 簡単に言えば, 良い発声になったことを示している。

また, 実験では被験者に振動感覚の自覚の程度を記録させた。そのデータを分析したところ, フィードバック無しの条件では, 皮膚振動のパワーの変化と振動感覚の自覚評価の変化との間に違いが見られた。これは, 訓練対象者自身の感覚に頼るだけでは不十分であり, 客観的データを訓練対象者にフィードバックする必要があることを意味する。これは, 本研究の仮説を支持している。

今後, 本システムをタブレット PC 等で簡便かつ安価に利用できるように改良する計画である。

### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計2件)

Tatsuya Kitamura, Keisuke Ohtani, Non-contact measurement of facial surface vibration patterns during singing by scanning laser Doppler vibrometer, *Frontiers in Psychology, section Performance Science*, 査読有り, Vol. 6, 2015, pp. 1-8  
DOI: 10.3389/fpsyg.2015.01682

北村達也, スキャニングレーザードップラ振動計による歌唱時の皮膚振動計測における再現性の検証, *音声言語医学*, 査読有り, Vol. 55, No. 2, 2014, pp. 167-172  
DOI: 10.5112/jjlp.55.167

〔学会発表〕(計5件)

Tatsuya Kitamura, Keisuke Ohtani, Measurement of vibration on foreheads of soprano singers during

singing, *International Symposium on Performance Science*, 2015年9月4日

北村達也, ソプラノ歌手の歌唱時の前額振動計測, *音楽音響研究会*, 2014年7月26日, Vol. 33, No. 20, pp. 25-30

北村達也, 金澤咲弥, 歌唱時の皮膚振動計測における再現性の調査, *日本音響学会研究発表会講演論文集*, 2014年3月11日, No. 1, pp. 519-520

Tatsuya Kitamura, Hiroaki Hatano, Takeshi Saitou, Yui Shimokura, Eri Haneishi, Hiroko Kishimoto, Pilot study of vibration pattern measurement for facial surface during singing by using scanning vibrometer, *Proceedings of SMAC2013*, 2013年7月31日

川村直子, 北村達也, 城本修, スキャニング型レーザードップラ振動計によるチューブ発声法の皮膚振動計測, *日本音声言語医学会・学術講演会プログラム・予稿集*, 2013年10月17日, p. 106

北村達也, 波多野博顕, 齋藤毅, 下倉結衣, 羽石英里, 岸本宏子, 細川久美子, 声楽家の歌唱時の皮膚振動計測, *日本音響学会研究発表会講演論文集*, 2012年9月20日, No. 2, pp. 317-318

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕  
出願状況(計0件)

取得状況(計0件)

〔その他〕  
ホームページ等  
<http://basil.is.konan-u.ac.jp/>

### 6. 研究組織

#### (1) 研究代表者

北村 達也 (KITAMURA, Tatsuya)  
甲南大学・知能情報学部・教授  
研究者番号: 60293594