

平成 28 年 6 月 20 日現在

機関番号：30110

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2013～2015

課題番号：25540074

研究課題名(和文) 声帯振動の3次元計測と音声ダイナミクス・プロファイリング

研究課題名(英文) 3-dimensional observation of vocal fold vibration and profiling of vocal dynamics

研究代表者

榊原 健一 (Sakakibara, Ken-Ichi)

北海道医療大学・リハビリテーション科学部・准教授

研究者番号：80396168

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)：声帯振動の3次元計測および音声のダイナミクスについてプロファイリングにおける基礎的検討をおこなった。声帯振動の3次元計測に関しては、新しく構築したステレオ喉頭側視鏡を用い、声帯振動のステレオ喉頭デジタル撮像のステレオマッチングの方法を提案、実装した。それらの方法を用い、発声中にin vivoで記録された高速度デジタル画像から、声帯縁の上下動を分析した。音声のダイナミクスのプロファイリングをおこなうための基礎的な検討として、喉頭全体の筋緊張を反映するとされるパラメータである声門開放時間率を、構造的な音声課題を用いて異なる定義の声門開放時間率と音響パラメータを比較した。

研究成果の概要(英文)：In this research project, three-dimensional observation of vocal fold vibrations and analysis of parameters useful for profiling of vocal dynamics have been realized. Three-dimensional observation of vocal fold vibrations has been carried out by using a newly developed stereo-endoscope and a new stereo-matching method for stereographic high-speed images of vocal fold vibrations using SAD method. These new device and method developed in this project were used to analyze superior-inferior displacement of vocal folds during phonation in vivo. As a basic study for profiling vocal dynamics, we analyzed O_q (open quotient) which are considered to totally reflects kinematical tension of laryngeal muscles for systematic vocal tasks with various fundamental frequencies, intensities, and vocal styles. Several different O_q were defined based on indirect and direct observation data, and compared to acoustical parameters, and optimal definition for O_q were clarified.

研究分野：音声科学

キーワード：音声情報処理 音声生成 声帯振動 音声プロファイル

1. 研究開始当初の背景

発声における基本的なパラメータは、空力的変数と、声帯の物理的特性である。高さや強さの異なる発声課題における声帯の物性の変化および発声に関連する特徴量の変化を明らかにすることは、個人性や発声様式分析には必須である。

声帯の物理的特性に関しては、これまで、屍体 (in vitro) の摘出喉頭を用いた声帯の物理的特性の報告があるが、生体 (in vivo) における発声時の声帯の物性は、発声時に活動する外喉頭筋などの影響を受け、また、発声課題によっても大きく変化する。

したがって、in vitro と in vivo とでは、得られる声帯の物理的特性は大きく異なり、また、in vitro のデータから、発声課題に応じて変化する in vivo での声帯の物性の推定も困難である。

また本研究開始当初、現在に至るまで、観測方法として、狭い喉頭領域で発声を阻害せずに、発声中の声帯の粘弾性等の物理特性を計測する直接的な方法も存在せず、計算機上の物理シミュレーションにより、物理的ダイナミクスの定性的な推定がおこなわれているのみであった。

また、空力的パラメータ、声帯の物理特性によって規定される物理現象である声帯振動に関しても、これまで、生体における発声中の声帯振動の計測は二次元的な相対値の計測であり、発声中の声帯の物性推定に必要な、声帯長、声門幅、声門面積、声帯の粘膜波動の振幅などの基本的な物理的特性に関しても、実測値を計測した例は、本研究開始時は、皆無であった。

本研究では、本研究の代表者、分担者らは、本研究開始時にすでに、声帯ステレオ側視鏡を用いた声帯運動の三次元的な計測 (図1) を用い、発声中の声帯長、声門幅、声門面積の実測をおこなっていた[1]。これら基本的な声帯の物理的特性量は、計算機上のシミュレーションにおいても重要であり、また、粘弾性等の他の物理量を推定する上でも基本的

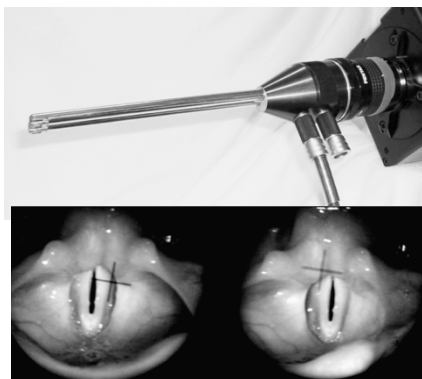


図1. ステレオ側視鏡 (上) および喉頭のステレオ像

なデータとなる。

これらの計測データを、声帯の物性と結びつけるためには、声帯のダイナミクスの変化を記述するプロファイリングが必要である。

すなわち、声帯の物性や、声帯振動のダイナミクスを明らかにするためには、声帯の物理特性から規定される、声帯振動に関して、1つの課題における声帯振動様式分析ではなく、声の高さ、強さをシステムティックに変化させた課題に関し、in vivo での声帯振動を通常の側視鏡による2次元での観測、ステレオ側視鏡を用いた3次元での観測により、声帯長、声門幅、声門面積を相対値、実値での計測をし、振幅、開閉速度を分析し、同時に実施する声門下圧や流量の計測から得られる空気力学的パラメータと合わせて、声帯の様々な物理特性と等価な特徴量へと結びつけることが重要となる。

2. 研究の目的

本研究は、声帯の物性と等価なパラメータを、構造化された発声課題を用い、ステレオ側視鏡を用いた声帯の三次元の動態計測、および、発声に関連する各種パラメータに関するダイナミクスのプロファイリングをおこない、声帯の物理的な特性の推定方法を構築することを目的とする。声帯振動の観察は、これまで、in vivo では水平方向の開閉運動のみ二次元的な観測のみが可能であったが、本研究では、高速度デジタルステレオ撮像を用いた声帯振動の三次元動態により、声帯長、声門面積を実測し、発声の強さ・基本周波数を構造化した課題を発声させ、声帯の様々な物性と等価なパラメータのダイナミクスを推定し、多数の発話者の発声を特徴づける発声のダイナミクスに関しプロファイリングを行うことを目的とした。

3. 研究の方法

本研究では、まず、精度の高い高速度デジタルステレオ撮像法を提案する。これには、ステレオ側視鏡の精度の向上、画像処理技術として本研究目的に有効なステレオマッチング法の考案が必要である。構築された方法を用い、声帯振動の三次元動態の観測を行う。

次に、発声者の、基本周波数および音圧レベルを適切なステップで区切り、声区を指定し、一連の発声課題を課し、高速度デジタル撮像、空気力学的計測により、声帯振動のダイナミクスを計測し、声帯の物理パラメータを推定する。また実体モデルを用いた吹鳴実験、物理モデルによるシミュレーションをおこない、声帯の物理パラメータと発振条件との関係を分析する。健常者、音声障害者に関し、発声のダイナミクスに関しプロファイリングをおこない基礎データを構築し、様々な

物理パラメータの個人差、健常値の範囲を分析する。

4. 研究成果

声帯振動のステレオ側視鏡を用いた高速デジタル撮像により、声帯振動の3次元の動態の再構成をおこなった[2]。

また、3次元撮像の精度を向上させるために、新たなステレオ側視鏡を導入し、校正データを構築した。また、ステレオ側視鏡による高速デジタル撮像データから、声帯振動における喉頭像の3次元座標の計算をおこなうために、SAD法を用いた声帯の高速デジタル撮像におけるステレオマッチング法を提案し、声帯振動中の声帯縁の上下方向の変動を解析した[3]。これまでの摘出喉頭での観察結果より数mm程度大きい値が推定されたが、左右の視差からくる声帯の厚みの分の誤差を考慮すると従来研究と合致する妥当な値となった。

音声のダイナミクスのプロファイリングをおこなうための基礎的な検討として、喉頭全体の筋緊張を反映するとされるパラメータである声門開放時間率 (Open quotient) O_q について、構造的に声の大きさ、高さ、発声様式を変えた課題を用いて、直接的観測方法 (高速デジタル撮像)、間接的観測方法 (EGG) における異なる定義の O_q を分析パラメータとして設定し、様々な音響パラメータを比較し、音声プロファイリングにおいて有効な O_q を明らかにした[4]。声帯の前後方向の多点で計測した声門幅から求められる O_q の平均値が音響分析から得られるスペクトル傾斜との相関が高かった。

実体モデル計測に関しては、人工吹鳴実験システムを構築し、吹鳴時の声帯振動の高速デジタル撮像などの予備的実験を実施したに留まった。

<引用文献>

- [1] K.-I. Sakakibara, H. Imagawa, I. T. Tokuda, H. Yokonishi, M. Otsuka, and N. Tayama, Estimation of glottal function using stereo-endoscopic high-speed imaging, *Proc. Maveba*, 2011.
- [2] I. T. Tokuda, M. Iwawaki, K.-I. Sakakibara, H. Imagawa, T. Nito, T. Yamasoba, and N. Tayama, Reconstruction three-dimensional vocal fold movement via stereo matching, *Acoust. Sci. & Tech.*, 34(5):374—377, 2013.
- [3] D.E. Sommer, I. T. Tokuda, S.D. Peterson, K.-I. Sakakibara, H. Imagawa, A. Yamauchi, T. Nito, and T. Yamasoba, Estimation of inferior-superior vocal fold kinematics from high-speed stereo endoscopic data *in vivo*, *J. Acoust. Soc. Am.*,

136(6):3290—3300, 2014.

- [4] H. Yokonishi, H. Imagawa, K.-I. Sakakibara, A. Yamauchi, T. Nito, T. Yamasoba, and N. Tayama, Relationship of various open quotients with acoustic property, phonation types, fundamental frequency, and intensity, *J. Voice*, 30:145—157, 2016.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 11 件)

1. H. Yokonishi, H. Imagawa, K.-I. Sakakibara, A. Yamauchi, T. Nito, T. Yamasoba, and N. Tayama, Relationship of various open quotients with acoustic property, phonation types, fundamental frequency, and intensity, *J. Voice*, 査読有, 2016, 30:145—157. DOI:10.1016/j.jvoice.2015.01.009
2. A. Yamauchi, H. Yokonishi, H. Imagawa, K.-I. Sakakibara, T. Nito, T. Yamasoba, and N. Tayama, *J. Voice*, 査読有, 2016, 30:205—214, DOI:10.1016/j.jvoice.2015.04.016
3. A. Yamauchi, H. Yokonishi, H. Imagawa, K.-I. Sakakibara, T. Nito, N. Tayama, and T. Yamasoba, Vocal fold vibration in vocal fold atrophy: quantitative analysis with high-speed digital imaging, *J. Voice*, 査読有, 2015, 29:755—762, DOI:10.1016/j.jvoice.2014.12.008
4. 榑原 健一, 発声と声帯振動の基礎, 日本音響学会誌, 査読無, 2015, 71(2):73—79.
5. D.E. Sommer, T. Tokuda, S.D. Peterson, K.-I. Sakakibara, H. Imagawa, A. Yamauchi, T. Nito, and T. Yamasoba, Estimation of inferior-superior vocal fold kinematics from high-speed stereo endoscopic data *in vivo*, *J. Acoust. Soc. Am.*, 査読有, 2014, 136(6):3290—3300. DOI:10.1121/1.4900572
6. 榑原 健一, 世界の歌唱法——様々な歌唱法における supranormal な声, 日本音響学会誌, 査読有, 2014, 70(9):499—507.
7. A. Yamauchi, H. Yokonishi, H. Imagawa, K.-I. Sakakibara, T. Nito, N. Tayama, and T. Yamasoba, Age- and Gender related difference of vocal fold vibration and glottal configuration in normal speakers: analysis with glottal area waveform, *J. Voice*, 査読有, 2014, 28(5):523—531.

DOI:10.1016/j.jvoice.2014.01.016

8. A. Yamauchi, H. Yokonishi, H. Imagawa, K.-I. Sakakibara, T. Nito, N. Tayama, and T. Yamasoba, Quantitative analysis of digital videokymography: a preliminary study on age- and gender- related difference of vocal fold vibration in normal speakers, *J. Voice*, 査読有, 2014, 29(1):109—119.
DOI:10.1016/j.jvoice.2014.05.006
 9. I. T. Tokuda, M. Iwawaki, K.-I. Sakakibara, H. Imagawa, T. Nito, T. Yamasoba, and N. Tayama, Reconstruction three-dimensional vocal fold movement via stereo matching, *Acoust. Sci. & Tech.*, 査読有, 2013, 34(5):374—377. DOI:10.1250/ast.34.374
 10. A. Yamauchi, H. Imagawa, K.-I. Sakakibara, H. Yokonishi, T. Nito, T. Yamasoba, and N. Tayama, Characteristics of vocal fold vibrations in vocally healthy subjects: analysis with multi-line kymography, *J. Speech, Lang. and Hearing Res.*, 査読有, 2013, 57:S648—657.
DOI:10.1044/2014_JSLHR-S-12-02
- [学会発表] (計 8 件)
1. K.-I. Sakakibara, H. Imagawa, I. T. Tokuda, A. Yamauchi, H. Yokonishi, and N. Tayama, Analysis of spatial characteristics of the larynx using high-speed digital imaging, *International Conference on Voice Physiology and Biomechanics*, 招待講演, 2016年3月14—17日, Viña del Mar, Chile.
 2. K.-I. Sakakibara, H. Imagawa, I. T. Tokuda, D.E. Sommer, and N. Tayama, Stereo-endoscopic high-speed imaging, *International Workshop adventures in speech science*, 招待講演, 2014年7月22—23日, 東京大学山上会館 (東京都文京区)
 3. K.-I. Sakakibara, H. Imagawa, I.T. Tokuda, D. E. Sommer, A. Yamauchi, H. Yokonishi, M. Kimura, M. Otsuka, and N. Tayama, Stereo-endoscopic high-speed imaging: its basics and application, *International Conference on Voice Physiology and Biomechanics*, 2014年4月10日—12日, Salt Lake City, USA.
 4. A. Yamauchi, H. Yokonishi, H. Imagawa, K.-I. Sakakibara, T. Nito, N. Tayama, and T. Yamasoba, Qualitative and quantitative assessment of high-speed digital imaging with combined analysis method, *International Conference on Voice Physiology and Biomechanics*, 2014年4月

10日—12日, Salt Lake City, USA.

5. A. Yamauchi, H. Imagawa, H. Yokonishi, K.-I. Sakakibara, R. Ueha, Y. Nito, N. Tayama, and T. Yamasoba, Analysis of vocal fold vibrations using high-speed digital imaging in patients with vocal fold paralysis, *Pan European Voice Conference*, 2013年8月21—24日, Prague, Czech.
6. A. Yamauchi, H. Imagawa, K.-I. Sakakibara, H. Yokonishi, R. Ueha, Y. Nito, N. Tayama, and T. Yamasoba, Vocal fold atrophy patients in a Japanese tertiary medical institute: demographics and treatment, *Pan European Voice Conference*, 2013年8月21—24日, Prague, Czech.
7. H. Yokohisni, H. Imagawa, K.-I. Sakakibara, A. Yamauchi, Y. Nito, T. Yamasoba, and N. Tayama, Relationship of open quotient in different definition to acoustic property, phonation types, F0, and intensity, *Pan European Voice Conference*, 2013年8月21—24日, Prague, Czech.
8. K.-I. Sakakibara, Supranormal voices in singing, 基調講演, 2013年7月30日—8月3日, Stockholm Music Acoustic Conference, Stockholm, Sweden.

[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://www.hoku-iryo-u.ac.jp/~kis/kis.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

榊原 健一 (SAKAKIBARA, Ken-Ichi)

北海道医療大学・リハビリテーション科学部・准教授

研究者番号：80396168

(2) 研究分担者

徳田 功 (TOKUDA, Isao)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：00261389

今川 博 (IMAGAWA, Hiroshi)

東京大学・医学研究科・技術専門員

研究者番号： 30422281

山内 彰人 (YAMAUCHI, Akihito)
国立研究開発法人国立国際医療研究センター・その他部局等・耳鼻咽喉科医師
研究者番号： 90612507

(3)連携研究者
なし

(4)研究協力者
横西 久幸 (YOKONISHI, Hisayuki)
David E. Sommer