

機関番号：30110

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008~2010

課題番号：20500161

研究課題名(和文) 特異な発声の生成メカニズムの研究

研究課題名(英文) Production mechanism of ab- and supra-normal phonations

研究代表者

榑原 健一 (SAKAKIBARA KEN-ICHI)

北海道医療大学・心理科学部・准教授

研究者番号：80396168

研究成果の概要(和文)：

本研究では、歌声、病的音声など特異な発声時の喉頭音源生成メカニズムを、高速度デジタル撮像、声門下圧測定などの生理学的観察方法、および、シミュレーションにより明らかにした。声帯振動の分析方法として、高速度デジタル撮像のモード解析である喉頭トポグラフ、ステレオ高速度撮像による声帯振動の三次元実測の方法を確立した。また、生理学的観察に基づく、準周期振動を含む病的音声の音源合成方法を提案し、実装した。

研究成果の概要(英文)：

In this research project, we revealed production mechanisms of ab- and supra normal phonations using physiological observations, such as high-speed digital recordings of vocal fold vibrations, and physical simulations. We proposed and implemented a laryngo-topography which is a method for modal analysis of vocal fold vibrations, and 3-dimensional measurements of vocal fold vibrations using stereographic high-speed digital imaging. We also proposed and implemented a new method for synthesis of subharmonic voices based on physiological observations.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,000,000	600,000	2,600,000
2009年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2010年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：音声科学

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：喉頭音源、声区、声帯振動、歌声、病的音声、複雑系、音声生成、高速度カメラ

1. 研究開始当初の背景

ヒトは、会話音声や歌声のみならず、声色(声帯模写)などの芸に代表されるように、実にさまざまな音色を、発声器官を用いて声として作り出すことができる。そのような多様な声を発声する能力の獲得には、進化生物学的には喉頭の下降が重要であったと言われており、様々な発声が可能なる発声器官を形

態として獲得した後、可能な運動に対して、知覚、運動におけるさまざまな制約が加わり、現在のヒトの音声コミュニケーションにおける発声運動の総体が成立したと考えられる。したがって、喉頭の動作の可能性、限界の解明は、音声コミュニケーションの起源(音声言語、歌声)の解明に対する科学的なアプローチとして期待できる。

また、近年、感情音声など、さまざまな音声に関する生理学的、音声工学的研究が行われるようになってきたが、民族音楽の歌声や、自然の音を模写する声色など名人芸的な技巧的発声 (supranormal voice) や、病的音声などの異常な声 (abnormal voice) といった特異な声の発声のメカニズムに関する研究は、十分になされているとは言えなかった。したがって、これら特異な発声のメカニズムを解明することにより、連続的な制御により引き起こされる様々な発声様式の張る連続的な空間全体の特性が明らかになることが期待できる。

2. 研究の目的

本研究は、声質、韻律などの重要な情報を付与する発声器官である喉頭がどのような「芸当」を行なえるのか、すべての可能性を解明することを目的とする。感覚、運動的な制約と学習によって得られた言語音声の生成のメカニズムを解明するために、喉頭における運動の可能性と限界と明らかにし、さまざまな声質の生成において主体的な役割を担う喉頭の運動に焦点を当て、言語的情報生成に関与する調音運動は喉頭調節との協調動作の観点から考察を行なう。

また、本研究では、民族音楽の歌声や、自然の音を模写する声色など名人芸的な技巧的発声 (supranormal voice)、病的音声などの異常な声 (abnormal voice)、など特異な発声を主な研究の対象とし、これらの発声を実現する喉頭の運動メカニズムを解明し、喉頭の運動やその運動に伴い生成される音の可能性と限界を明らかにすることを旨とする。また、本研究は特異な発声に焦点を当てた研究であるが、喉頭の運動や音源生成の可能性を明らかにし、可能な発声運動のすべてを知ることによって、通常の音声における音源生成のメカニズムを詳細かつ客観的に理解することも目標としている。

3. 研究の方法

本研究は、特異な発声に対し、(1) 生理学的観察、音声分析による発声メカニズムの解析、(2) 物理モデルによる計算機上での音声生成のシミュレーション、の2つの方法を援用して進めて行く。生理学的、音響的観察結果をもとにシミュレーションを行い、観測と実験の整合性を確認しながら、モデルの妥当性を確認し、また、生理学的な現象や要因を推測し、新たに生理学実験を行なうという、2つの方法論を相互補完的に遂行して行く。

申請者らは、これまで、特異な発声のうち、唸り声や喉歌などについて、生理学的観察、シミュレーション、合成などを行ってきており、これらの研究成果および研究を通じて得

た着想をもとに、以下のことを明らかにする。

- ・ 特異な発声における生理学的メカニズム、流体音響現象
- ・ 声帯-仮声帯発声、声帯-披裂部発声に関する解剖学的基礎付け、生理学的メカニズム
- ・ 発声時の過渡的な現象における声帯振動様式
- ・ 特異な発声においてしばしば重要な役割を担う喉頭の声門上部構造の生理学、解剖学的メカニズム

なお、シミュレーションに用いるモデル(2段2量モデルなど)の定式化、各種生理学的計測手法は、これまでの研究ですでに通じ確立しており、更なる生理観察計測方法の考案、観察データの蓄積、新たなモデルの提案と、モデルを用いたシミュレーションを進めて行く。

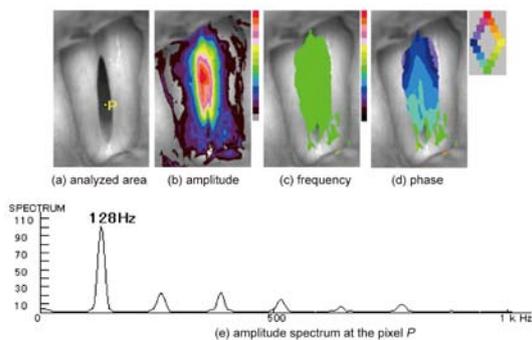
4. 研究成果

研究成果は以下である。

(1) 発声中の喉頭動態を観察した高速度デジタル撮像分析方法として、喉頭トポグラフを提案、実装した。喉頭トポグラフは、喉頭内の声帯等の振動を、高速度デジタル撮像の輝度変化を周波数分析することにより、喉頭における振動モード解析を行う手法である。喉頭トポグラフを用いることにより、重畳された喉頭内の振動のモード解析が可能となり、視覚的に表示することが可能となった(図1)。喉頭トポグラフは、病的音声にも適用することが可能で、臨床的にも応用価値は大きい。また、喉頭トポグラフを用い、病的音声に関し、声帯振動が準周期を含み、知覚的に二重声となる例について、声帯振動に含まれる振動のモード解析により二重声の要因となる振動における周波数成分の存在を明らかにした。

図1：喉頭トポグラフの表示例(健常者)

(2) 低い圧力により振動が励起される発声の代表であるフライ声区の声帯振動様式に



ついて、高速度デジタル画像および物理モ

デルによりシミュレーションにより、周期的、非周期的、二重周期的の3種類に振動様式が分類でき、それらが、わずかなパラメータの差により相転移することを明らかにした。

(3) 吸気発声について、発声中の声帯振動の高速度デジタル撮影を行い、声帯振動における粘膜波動が上から下に伝播していることを観測し、また、2質量モデルを用いて、発振条件について検討を行い、静止時の声門面積が狭い場合は、通常(の呼気)発声よりも発振しにくいことを明らかにした。吸気発声については、声帯振動様式についてはこれまでに、様々な観察が行われてきたが、粘膜波動の伝播や、モデルを用いた発振条件のシミュレーションはこれまで行われてこなかった。吸気発声は、過緊張性の発声障害者に、軟起声発声を誘導する音声訓練の手技として用いられることがあるが、シミュレーションによる結果は、これらの臨床主義の有効性に関する科学的根拠の一つを示唆したといえる。

(4) ソプラノ歌唱における最も基本周波数が高い声区であるホイッスル声区について、発声中の声帯振動の高速度デジタル撮影を8000 fpsで行い、左右声帯の位相が反転して振動していることを観測した。また、喉頭トポグラフを用い、声帯における振動部位が裏声よりもさらに辺縁に限局されることを明らかにした。

これまでホイッスル声区についてはその基本周波数の高さから、有効な高速度デジタル撮像が困難であったが、本研究で国際的にも初めて観察に成功した。

(5) 高速度デジタル画像に基づく、サブハーモニックな発声の音源モデルを信号モデルとして実現した。多変数喉頭音源モデルのパラメータを、高速度デジタル画像から抽出される声門面積関数を参照して決定し、左右声帯の非同期振動や、左右声帯の同期したサブハーモニックな振動などについて、音声合成を行った。これらは従来知られているLFモデルや、Rモデルなどの音源モデルでは実現不可能であるという点で新規性を持つ。また、聴取実験の結果、二重声の合成に有効であることが示された。

(6) ステレオ高速度デジタル撮像について、声門面積、声門幅、声門長の時系列データの分析アルゴリズムを提案し実装した。声帯のステレオ高速度デジタル画像の分析は、画像処理のステレオマッチングの問題としても難易度の高い問題であるが、本研究では、空間、時間の両方の領域において測定誤差に関する平滑化を行い、妥当な推定方法を考案した。

本研究での推定値は、声門面積関数形状ともにこれまで知られている結果を支持するものであり、推定値はほぼ実際の値を反映できていると考えられる。

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8件)

- [1] Ken-Ichi Sakakibara, Hiroshi Imagawa, Hisayuki Yokonishi, Takao Goto, Miwako Kimura, Takaharu Nito, Niro Tayama, Laryngeal adjustments and vibratory patterns of vocal fry, Proc. of International Conference on Voice Physiology and Biomechanics, 査読有、2008、95-96
- [2] Miwako Kimura, Hiroshi Imagawa, Ken-Ichi Sakakibara, Niro Tayama, Roger W. Chan, High speed recording of quasi-periodic perturbation in vocal fold vibration, International Conf. on Voice Physiology and Biomechanics, 査読有、2008、106-108
- [3] 榭原 健一, 今川 博, 横西 久幸, 後藤 多嘉緒, 二藤 隆春, 木村 美和子, 田山 二郎, 吸気発声における喉頭音源生成、IEICE technical report Speech, 査読無、109(99)、7-10、2009 <http://ci.nii.ac.jp/naid/110007340432>
- [4] 今川 博, 榭原 健一, 木村 美和子, 田山 二郎, 喉頭トポグラフによる声帯振動様式の分析、IEICE technical report Speech, 査読無、109(99)、23-28、2009 <http://ci.nii.ac.jp/naid/110007340429>
- [5] Miwako Kimura, Takaharu Nito, Hiroshi Imagawa, Ken-Ichi Sakakibara, Roger W. Chan, Niro Tayama, Collagen injection for correcting of vocal fold asymmetry: high-speed imaging, Ann. Otol. Rhinol. Laryngol., 査読有、119(6)、359-368、2010
- [6] Miwako Kimura, Takaharu Nito, Hiroshi Imagawa, Ken-Ichi Sakakibara, Roger W. Chan, Niro Tayama, Arytenoid adduction for correcting vocal fold asymmetry: high-speed imaging, Ann. Otol. Rhinol. Laryngol., 査読有、119(6)、439-446、2010
- [7] 今川 博, 榭原 健一, 横西 久幸, 木村 美和子, 田山 二郎, 声門面積解析に基づく喉頭音源モデルによる病的音声合成と知覚評価、IEICE technical report

Speech、査読無、EA 110(71)、71-76、2010
<http://ci.nii.ac.jp/naid/110007890739>

- [8] 今川 博、榊原 健一、徳田 功、大塚 満美子、田山 二郎、立体内視鏡とハイスピードカメラによる声門面積関数の計測、音声研究、査読有、14(2)、37-46、2010

[学会発表] (計 3 3 件)

- [1] Miwako Kimura、Hiroshi Imagawa、Niro Tayama、Takaharu Nito、Ken-Ichi Sakakibara、Specific vocal fold vibration patterns in arytenoids adduction cases --- analysis by high-speed imaging and laryngotopography、2008 World Congress for Bronchoesophagology、2008年4月1日、東京
- [2] Miwako Kimura、Hiroshi Imagawa、Ken-Ichi Sakakibara、Niro Tayama、Roger W. Chan、High-speed recording quasi-periodic perturbations in vocal fold vibration Japan-Korea Joint Meeting of Otorhinolaryngology, Head and Neck Surgery Bronchoesophagology、2008年4月3日、奈良
- [3] Ken-Ichi Sakakibara、Hiroshi Imagawa、Miwako Kimura、Isao T. Tokuda、Takaharu Nito、Niro Tayama、Observation of vocal registers, Acoustics '08, Paris, EAA and ASA joint meeting、招待講演、2008年7月4日、Paris
- [4] Hiroshi Imagawa、Ken-Ichi Sakakibara、High-speed digital imaging of vocal fold vibration and its clinical applications, Speech Production Workshop --- instrumentation-based approach、招待講演、2008年7月6日、Paris
- [5] 榊原 健一、今川 博、木村 美和子、横西 久幸、山内 彰人、和田 満美子、田山 二郎、ホイッスル声区における音源生成、日本音響学会平成 20 年度秋季研究発表会、2008年9月12日、福岡
- [6] 今川 博、榊原 健一、木村 美和子、田山 二郎、声帯振動トポグラフによる声帯の振動モードの解析、日本音響学会平成 20 年度秋季研究発表会、2008年9月12日、福岡
- [7] 榊原 健一、今川 博、木村 美和子、横西 久幸、山内 彰人、和田 満美子、田山 二郎、ホイッスル声区における喉頭動態の観察、第 53 回日本音声言語医学会学術講演会、2008年10月24

日、三原

- [8] 今川 博、二藤 隆春、山嵜 達也、榊原 健一、木村 美和子、田山 二郎、ステレオ内視鏡と高速度デジタルカメラによる喉頭立体撮影システム、第 53 回日本音声言語医学会学術講演会、2008年10月24日、三原
- [9] Ken-Ichi Sakakibara、Hiroshi Imagawa、Hisayuki Yokonishi、Toakao Goto、Takaharu Nito、Miwako Kimura、Niro Tayama、Vocal fold vibration patterns of reverse phonation, International Symposium on Biomechanical and Physiological Modeling and Speech Science、招待講演、2009年2月21日、金沢
- [10] Miwako Kimura、Hiroshi Imagawa、Ken-Ichi Sakakibara、Takaharu Nito、Niro Tayama、Roger W. Chan、Correction of asymmetric vocal fold vibration patterns with collagen injection --- analysis by videokymography and laryngotopography、Voice Foundation、2009年6月7日、Philadelphia
- [11] Isao Tokuda、Miwako Kimura、Hiroshi Imagawa、Ken-Ichi Sakakibara、Niro Tayama、Parameter estimation of vocal fold paralysis from high-speed image data、Pan European Voice Conference (PEVOC 8)、2009年8月27日、Dresden
- [12] Ken-Ichi Sakakibara、Hiroshi Imagawa、Hisayuki Yokonishi、Takao Goto、Miwako Kimura、Takaharu Nito、Niro Tayama、Vocal fold vibratory patterns of inspiratory phonation、Pan European Voice Conference (PEVOC 8)、2009年8月28日、Dresden
- [13] 榊原 健一、今川 博、横西 久幸、後藤 多嘉緒、二藤 隆春、木村 美和子、田山 二郎、吸気発声における喉頭音源生成、日本音響学会平成 21 年度秋季研究発表会、2009年9月15日、郡山
- [14] 今川 博、榊原 健一、木村 美和子、田山 二郎、声門面積解析に基づく Subharmonic な喉頭音源モデルによる病的音声の合成、日本音響学会平成 21 年度秋季研究発表会、2009年9月17日、郡山
- [15] 山内 彰人、今川 博、大塚 満美子、横西 久幸、榊原 健一、田山 二郎、音響分析および高速度デジタル画像による若年者と高齢者の音声の比較、第 54 回日本音声言語医学会学術講演会 2009年10月16日、福島
- [16] 今川 博、榊原 健一、二藤 隆春、木村 美和子、山嵜 達也、田山 二郎、

高速度デジタルカメラによる声帯振動の撮影条件の検討、第54回日本音言語医学会学術講演会、2009年10月16日、福島

- [17] 横西 久幸、今川 博、榊原 健一、後藤 多嘉緒、山内 彰人、木村 美和子、溜箭 紀子、二藤 隆春、山嵜 達也、田山 二郎、合成音声を用いた二重声の主観評価、第54回日本音言語医学会学術講演会、2009年10月16日、福島
- [18] Donna Erickson、Caroline Menezes、Ken-Ichi Sakakibara、About phonetic and perceptual similarities in laughing, smiling, and crying speech、2nd Pan-American/Iberian Meeting on Acoustics、Cancun、2009年11月17日、Mexico
- [19] 榊原 健一、様々な声質と発声のメカニズム---声区、声帯-仮声帯発声、吸気発声など **supranormal phonation** について、西日本音声外科研究会、招待講演、2009年1月9日、大阪
- [20] 岩脇 正浩、徳田 功、榊原 健一、今川 博、二藤 隆春、山嵜 達也、田山 二郎、ステレオマッチング法による声帯振動の3次元復元に関する基礎研究、日本音響学会平成22年度春季研究発表会、2010年3月8日、東京
- [21] Ken-Ichi Sakakibara、Hiroshi Imagawa、Hisayuki Yokonishi、Niro Tayama、Laryngotopograph for high-speed digital images of normal and pathological vocal fold vibratory patterns、28th World Congress of the International Association of Logoped. and Phoniater.、2010年8月26日、Athens
- [22] Akihiro Yamauchi、Hiroshi Imagawa、Takao Goto、Mamiko Otsuka、Hisayuki Yokonishi、Ken-Ichi Sakakibara、Niro Tayama、Comparison of voice between young and elderly people with high-speed laryngoscopy、The 4th World Voice Congress、2010年9月8日、Seoul
- [23] Seiji Niimi、Ken-Ichi Sakakibara、Hiroshi Imagawa、The recent advance on observation method of the vocal fold vibration、The 4th World Voice Congress、基調講演、2010年9月9日、Seoul
- [24] Ken-Ichi Sakakibara、Hiroshi Imagawa、Miwako Kimura、Seiji Niimi、Niro Tayama、Subharmonic phonation by vocal, ventricular, and aryepiglottic fold vibrations、The 4th World Voice Congress、2010年9月9日、Seoul
- [25] Hiroshi Imagawa、Ken-Ichi

Sakakibara、Isao T. Tokuda、Mamiko Otsuka、Niro Tayama、Estimation of Glottal Area Function Using Stereo-endoscopic High-Speed Digital Imaging、Interspeech 2010、招待講演、2010年9月28日、幕張

- [26] Ken-Ichi Sakakibara、Hiroshi Imagawa、Miwako Kimura、Hisayuki Yokonishi、Niro Tayama、Interspeech 2010、2010年9月28日、幕張
- [27] Ken-Ichi Sakakibara、Physiological basis of singing voice、Intersinging、招待講演、2010年10月1日、東京
- [28] Margarita Mazo、Ken-Ichi Sakakibara、Hiroshi Imagawa、Niro Tayama、Donna Erickson、Vocal fold vibration in lamenting, speaking and singing、Intersinging、招待講演、2010年10月1日、東京
- [29] Ken-Ichi Sakakibara、Physiological observation and synthesis of subharmonic voices、2nd WAVE workshop on event centered speech signal processing and its application、招待講演、2010年10月12日、和歌山
- [30] 今川 博、榊原 健一、徳田 功、大塚 満美子、二藤 隆春、山嵜 達也、田山 二郎、第55回日本音言語医学会学術講演会、2010年10月14日、東京
- [31] Ken-Ichi Sakakibara、Physiological basis of voices、Wave workshop 2011、招待講演、2011年3月7日、東京
- [32] 岩脇 正浩、徳田 功、榊原 健一、今川 博、二藤 隆春、山嵜 達也、田山 二郎、ステレオマッチング法による声帯振動の3次元復元、日本音響学会2011年春季研究発表会、2011年3月9日、東京
- [33] 羽石 英里、河原 英紀、齋藤 毅、榊原 健一、ドナ エリクソン、岸本 宏子、ソプラノ歌唱音声の収録と基本周波数および駆動構造の分析について、日本音響学会2011年春季研究発表会、2011年3月10日、東京

〔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・心理科学部・准教授
研究者番号：80396168

(2) 研究分担者

今川 博 (IMAGAWA HIROSHI)
東京大学・大学院・医学研究科・技術専門
員
研究者番号：30422281
木村 美和子 (KIMURA MIWAKO)
国際医療福祉大学・臨床医学研究センター・講師

(3) 連携研究者

なし