

E-010

## 筋電センサーを用いた歌声分析のための喉頭音源分析 Analysis of laryngeal sound source for discrimination of singing voice using EMG sensor

平山健太郎<sup>†</sup> 伊藤克巨<sup>‡</sup>  
Kentaro Hirayama, Katunobu Itou

### 1 まえがき

カラオケはいまや日本の代表的な文化のひとつである。カラオケで歌われるジャンルはポップスから始まりロックやメタル、演歌まで様々である。人気のあるポップスやロックの中には歌唱の難易度が高いものも多く、特に高音を要求してくるものが多い。その場合には、高音を発声するために無理に喉を締め上げて歌われることがあり、声が枯れてしまったり、裏返ってしまう。教則本やカラオケの採点システムなど、歌唱能力の向上を目的としたものは多様にあるが、どれもユーザが独学で学ぶには難しい状況にある。例えば、教則本を見ても理想とされる発声の仕組みがわかるだけで、実際には自身が長い時間をかけて歌唱訓練を試行錯誤を繰り返しながら行い、その結果体得するものだろう。採点システムでは音程や抑揚、ピブラートといったものが得点として評価されるが、ユーザの発声や歌い方の評価はされていない。

従来より歌唱音声の研究が行われてきた [1] が、声区や高音域の発声状態に注目した歌唱力自動評価の研究事例はなかった。本研究では、歌唱における高音域の発声調査を行い、実際の歌唱より得られた音声データからユーザの発声状態を自動判別し、与えられたピッチに対して適切な発声ができているかどうかを倍音成分やフォルマント周波数などの特徴量から評価するシステム構築を目指す。本稿では筋電センサーを用いて発声中の喉の筋肉の使われ方を調査し、音響特徴量との関連性から喉への負担を計る基準になるかどうかを検討する。

### 2 音声生理学的観点から見た発声器官の機能

先行研究 [2] では喉締め声の定義・ラベル付けをする際に、判断する為の有効な特徴量変化を観測するのが難しいために主観的な情報のみを用いており、被験者の喉への主観的な負担度合いの意見や声の裏返りが起こった直前の箇所に喉締め声のラベルを付けていた。しかし、喉に負担がかかっているのではという推測の領域を出ないため、実際の判別結果の信頼性も低くなってしまった。そこで、筋電センサーを用いることで客観的に発声中の喉の状態を観測し、学習データを作成の為の喉締め声のラベル付けに有効な手段となるかを検討する。この章では最初に発声器官の生理学的な機能に注目し、歌唱に使う筋肉の説明と喉締め声が起きる原因について述べる。

#### 2.1 歌唱時に使用する筋肉

発声器官の硬直は、ふつうに話している時であっても慢性的に行われる。このような発声器官に「歌う」という大きな声の仕事をさせなければならぬとすれば、絶



図 1. 舌骨筋

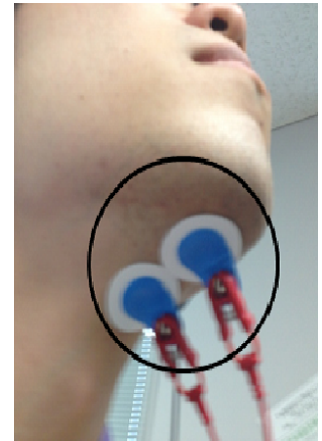


図 2. 筋電センサー部位

対に硬直させなければならない。喉頭をその中に吊るし保っている弾力的な足場枠、すなわち「歌うための筋肉(喉頭懸垂筋機構)」は、歌うという試みを始める瞬間まで、一度も本質的に運動させられたことはない。歌唱に慣れていない人は、この未開発の筋肉系の働きが不足しているため、最初に歌おうと試みる際にもっともよく神経支配が行き届いている、「本来担当すべきではない他の筋群」が自動的に喉頭に支えを与えるという仕事を代行してしまう。その代行すべきでない筋群のひとつが、「舌骨筋」である(図 1)。舌骨とともに喉頭が、過度に上方に引き上げられて固定される。これによって声の通り道がふさがれてしまい、その結果必ずある種の狭められた苦しげな声となる [3]。実験では、この舌骨筋の動きを観測し、「苦しげな声」の指標にならないか検討する。

### 3 筋電センサー実験

筋肉は関節をはさみ、骨と骨とを連絡し、その収縮によって運動を行う。そして収縮時には、電気的な筋放電と呼ばれる放電が行われる。逆に筋肉が弛緩しているときには放電は見られない。この筋肉から発する放電を経皮的に電極で記録したものが筋電図となる。この章では筋電図による実験について述べる。

#### 3.1 実験環境

ロジカルプロダクト社製のワイヤレス表面筋電位(EMG) ロガーと湿式 2 極筋電センサーを使用し、歌唱時に使うべきではない筋群、舌骨筋の硬直度を計測した。被験者の舌骨筋の動きを調べるために、粘着性の電極を顎の先端よりと喉頭よりの 2 箇所に貼り(図 2)、サンプリング周波数 1000Hz、中心電圧 2.5V で計測を行なった。実験内容は、1 分間ほどの音読、音階発声、歌唱を行い、音声データと筋電図の関連性を分析することである。音階発声は、

<sup>†</sup>法政大学大学院情報科学研究科, GSCIS, HOSEI Univ

<sup>‡</sup>法政大学情報科学部, CIS, HOSEI Univ

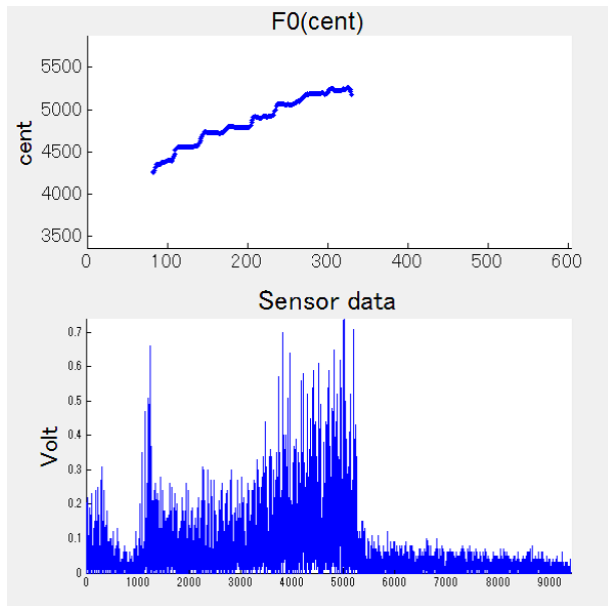


図 3. 地声母音/a/の音階発声時の基本周波数と筋電図

長音階の発声を日本語各 5 母音, 周波数幅を 130Hz(C2) から 392Hz(G3) に設定した. 被験者は喉締め声が観測されやすく, 声枯れが観測しやすい男性のみを対象とした. 実際の楽曲の歌唱については, 換声点付近を最高音となるようにキーを変更したものを歌わせた.

### 3.2 実験結果

故意に舌骨筋に力を込めたり嚙下を行うことで筋電センサーに反応があるか確認し, 十分に機能していることを確かめた上で発声実験を行なった.

音階発声では, 換声点付近 (5000cent 周辺) になると電圧が上がるといった傾向が各母音で観測できた (図 3). 筋電図の縦軸は中心電圧 2.5V からの距離 (単位 V) を表す. 図 3 の発声開始時点で電圧が上がっているのは, 母音/a/ の発声をするために口を開け, その際に舌骨筋を使用したからだと思われる. 各母音とも負担のかかかっていない低いピッチでの発声では, 中心電圧から  $\pm 0.1 \sim 0.2V$  ほどしか放電が観測されなかった. 換声点付近の, 先行研究 [2] で喉締め声と判定された場所では, 中心電圧から  $\pm 0.7 \sim 1.0V$  の放電を観測した. 平常発声時の 3 倍から 4 倍の放電であると喉締め声の可能性が高い. また, 裏声の音階発声を行なったところ, 裏声発声に慣れている被験者は中心電圧との差が最高で約 0.4V だったのに対し, 裏声発声を得意とせず, 息漏れ成分が多い被験者の場合は最高電圧差 1.6V を記録した.

音読と歌唱では音素単位で電圧に反応があり, 口の閉閉に使う筋肉として舌骨筋が働いていた. このことから 2 章で述べたように, 普段話しているときにも発声器官を硬直させていることがわかる. 歌唱でも同じ現象が観測できたが, 表面筋電位に大きな違いがあり, 歌唱のほうが筋肉の硬直度高いことがわかった.

### 3.3 実験考察

舌骨筋に硬直が見られた場所は先行研究 [2] で喉締め声のラベル付けを行なった箇所と重なる部分があり, 他の

表 1. 表面筋電位の電圧差

音声データ	被験者 1	被験者 2
嚙下	1.0 ~ 1.3V	1.0 ~ 1.2V
音読	0.3 ~ 0.5V	0.3 ~ 0.6V
歌唱	0.3 ~ 1.0V	0.3 ~ 0.9V
音階発声 (地声)	0.1 ~ 0.5V	0.1 ~ 0.4V
音階発声 (裏声)	0.3 ~ 1.6V	0.2 ~ 0.4V

音響特徴量の変化として第 2 フォルマントの上昇があった. 第 2 フォルマントは舌の前後によって変わるが, 本来同じ母音なら変わることはない. 発声中に変化するという事は, 声道の形そのものが変化している可能性が高い. 意図しない舌の動きが舌骨筋によって引き起こされたのなら, 喉締め声となる箇所では充分考えられる. 音読では, 文末や句読点の直前の音素を発声する際に電圧が一瞬上がるといった傾向が見られた. 呼吸量が少なくなった中で音高を低くしないために喉に力を入れてピッチの大幅な低下を防いでいるためと考察できる.

### 3.4 先行研究との違い

先行研究 [2] の発声判別システムの評価と筋電センサーから得られた結果を考察した. 先行研究では, 地声について負担がかかっているかどうかを判別するシステムを作成することを目的としており, 負担がかかるような声であれば裏声を使うことを推奨していた. 同じ音域であれば, 裏声のほうが負担が少ないというものであった. ある程度その推測は実験でも確かめられたが, 被験者・音域によっては裏声でも喉に負担がかかることが筋電図より明らかになった. これによって, 地声, 裏声どちらの場合でも負担がかかっているか判別する必要がある.

## 4 あとがき

筋電センサー実験によって舌骨筋の硬直度が喉締め声の度合いに関連していることを示した. 実験では, 地声だけではなく, 裏声にも喉締め声が存在することがわかった. 今後の課題として, 筋電センサーで計る部位を増やし独立成分分析で各々の筋肉の動きを推定し, 更に細かく喉の状態と音声データとの関連性を調査する. その調査から音声データだけではラベリングが難しい発声の分類を行い, 発声判別システムの向上を目指す. また, 地声・裏声のほかに声区を融合したような声, ミックスボイスの定義をしたのち収録を行いラベル付けを今回の実験と同じように行う.

### 参考文献

- [1] 中野他”楽譜情報を用いない歌唱力自動評価手法”, 情処学論, 48 巻 1 号, pp.227-36, 2007-01-15
- [2] 平山他”ポピュラー歌唱における高音域の声区と発声状態の判別手法”, 情処学第 74 回全国大会, 2S-10, 2012
- [3] Frederick Husler and Yvonne Rodd-Mariling, ”Singing : The Physical Nature of the Vocal Organ”, p.40, 1965