

## 文章課題を用いた話声位（SFF）の計測

### Reports of Speaking Fundamental Frequency (SFF) by Experiment of Reading Task

山崎 英明

Hideaki YAMAZAKI

#### Abstract

The purpose of this paper is to report that speaking fundamental frequency of 47 adults are measured. SFF refers to speaking fundamental frequency. Generally, as for the adult male, approximately 120Hz, for the adult woman it is usually said to be approximately 240Hz.

SFF is included in check of the ability for vocal condition, but methods are different by investigators. This study was experimented on the reading task as a speech sample. I analyzed fundamental frequency ( $F_0$ ) in “Wave Surfer” which was the free software of the sound analysis with a speech sample. As a result of measurement, it was almost accorded by general SFF of the adults.

Keywords: speaking fundamental frequency, vocal-range, reading aloud,  
pitch, Wave Surfer

#### はじめに

発声時に声帯が振動する際の高さを基本周波数（以下  $F_0$ ）といい、ヒトの話し声の高さ（pitch）のことを話声位（Speaking Fundamental Frequency、以下 SFF）という。日常会話において、一般に幼少時や女性の声は高く、成人男性は低い声となっている。また、加齢により声の高さは変化する<sup>[1]</sup>。

SFF の計測は日常的な発声状態の客観的な評価基準を把握する上で重要な指標となる。嚥声などの音声障害の治療における指標はもとより喉頭疾患患者の術後の音声変化を測定する際の指標としても使用されている。

1970年代前後に声域と SFF に関する計測や研究が行われるようになり、1980年代に入るとコンピューターを用いて計測する方法も考案されるようになった。

古くは音叉やピアノやオルガンなどの楽器を用いて聴覚的に判定することが主流であった。そのため判定に必要な音声サンプルに工夫をし、聴覚的判断をし易い様にしてきた。しかしこの方法では複雑に変動する話声のピッチを一つの高さの音（或いは周波数）で代表し、SFF として記載するのであるが、本方法は必ずしも誰にでも出来るというものではなく、かなりの熟練と経験を必要とした。近年 ME 機器の進歩から或はコンピューターの応用が容易になってから、SFF の分析は比較的容易に行えるようになり、又その分析結果を表示する方法にも種々の工夫が行えるようになった<sup>[2]</sup>。現在ではさらなる技術の進歩によって、様々な計測方法で SFF を定量化することで臨牀的に応用されてきている。

日本声楽発声学会<sup>[3]</sup>によると、男性の SFF はおよそ120Hz、女性はおよそ240Hz とされているが、実際は同一個人における会話においても比較的大きな pitch 変動があり、報告者により種々異なった測定方法がとられ、異なった成績の報告をみるのが現状である<sup>[1]</sup>。また、言語によっても SFF は異なることがわかっており、とりわけ日本語は他の言語よりも高くなる傾向がある。そのため言語ごとに計測する必要がある、日本語以外を用いた先行研究の課題をそのまま適応することはできない。これまでの計測は氏名や特定の言葉（単語）を発声するなどの方法が多く、朗読課題をおこなった例は少ない。さらに、一定以上の長さ・音節を持った文章を用いた研究もない。

本研究は SFF の計測方法を検討することを目的に、統制された一定の文章を朗読するという方法で各被験者の音声データを収集・解析した結果を報告するものである。

## 1 発声機構

ここでは SFF の計測において前提となる発声機構について述べる。以下、呼吸・声帯振動・共鳴の3つの領域について概要を示す。

### 1-1 呼吸と発声の原理

胸郭調節により呼気圧が上昇すると、声門下圧も上昇する。声門下圧により声帯が押し上げられ声門に間隙が生じると、肺胞から口腔に向かう呼気流が生じる（図1）。声門直上には空気の粗密波が周期的に出現し、音声が生じる<sup>[4]</sup>。

## 1-2 声帯

声帯は喉頭（larynx）の中に左右一対あるヒダ状組織で、筋と粘膜で構成されている。声を出すときは、声門（glottis）の閉鎖によって呼気が通過して声帯を振動させることにより喉頭原音（primary laryngeal tone）が生じる。

発話時の声帯振動は1秒間に100回から300回と言われている。声帯の振動は、単純な左右方向の開閉運動ではなく、上下方向の波動をも伴った運動である（図2および図3）。声帯の1回の振動は、声帯が開き始める瞬間から次に開き始めるまでをいう。声帯が開いていく期間を開大期（opening phase）、閉じていく期間を閉小期（closing phase）、開大期と閉小期を合わせた期間を開放期（open phase）、声帯が閉じている期間を閉鎖期（closed phase）と呼んでいる。また、1回の振動に要する時間を基本周期（fundamental period）と呼び、1周期中で開放期が占める割合を開放時間率（open quotient, OQ）、閉鎖期が占める割合を閉鎖時間率（closed quotient, CQ）と呼んでいる<sup>[5]</sup>。

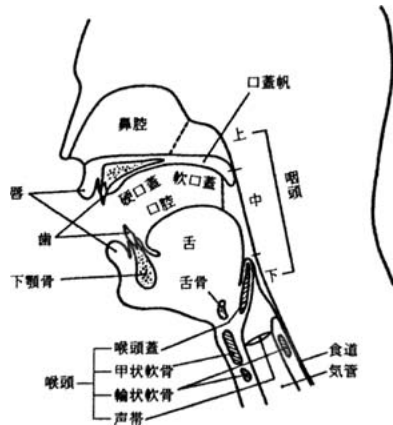


図1 発声の仕組み（付属管腔諸器官の正中断面図）<sup>[6]</sup>

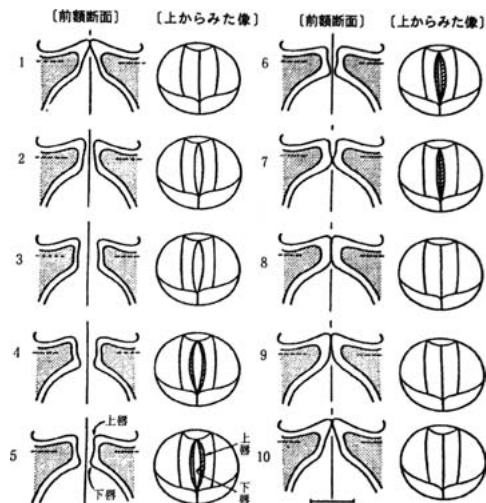


図2 声帯振動の基本周期 1～3：開大期 3～7：閉小期 7～10：閉鎖期<sup>[7]</sup>

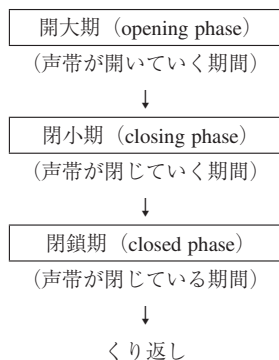


図3 声帯振動の基本周期 (図2に基づいて筆者が作成)

### 1-3 共鳴と構音 (調音)

喉頭原音の音量は極めて小さく、音声するにはこれを拡張することが必要となる。これを共鳴といい、声道 (vocal tract) が大きく関与している。声道とは付属管腔諸器官 (図1) の声門から唇および鼻孔の開口部までの管のことである。声道の形状をさまざまに変化させることによって喉頭原音が増幅・拡張され、はじめて“声”となる。

言語音をつくることを構音 (調音) と呼び、これも付属管腔諸器官で行わ

れる。主に母音は、顎、舌、唇などを動かすなどして咽頭部と口腔の形状を変化させることでつくられるが、実際には鼻腔への開閉も含めて色々と組み合わせることによって行われる。子音は唇や舌、軟口蓋などで口腔内の呼吸を利用するなどしてつくられる。

## 2 実験

### 2-1 実験の手続き

実験はヤマハ社製の防音室(アビテックス)の中で行われた。被験者にケンウッド社製のヘッドセット (KENWOOD UBZ-LP20) を装着して着席させた。録音はローランド社製24bit デジタルオーディオレコーダー (Roland EDIROL R-1) を用いておこなった。ヘッドセットにはマイクが口前30cm に設置されているため、被験者自身の音声フィードバックできるようになっている。

### 2-2 被験者

被験者は18～25歳の成人男性17名、成人女性30名の47名で、いずれの被験者も聴力と音声に障害はない(表1)。日本語での日常会話をするのが難しい者やプロとして音楽活動をしている者、または大学や専門学校で音楽を専攻した者は特定のバイアスがかかることを考慮して対象から除外した。各被験者には実験の目的と個人情報の取得に関して実験者(筆者)が十分な説明を行い、同意書を得た。

表1 被験者の内訳

性別	人数(人)	平均年齢(歳)	標準偏差(以下SD)
男性	17	20.6	0.6
女性	30	20.3	0.5

### 2-3 課題

音声処理や自然言語処理の音響研究などで広く用いられる例文集「ATR 研究用日本語音声データベース セット A (ATR 音素バランス503文)」の一文を、各自の習慣で最も安定した声の高さと大きさで朗読させ、各被験者の音声を録音した。被験者には実験の説明後に文章課題を印刷した用紙を渡し、事前に漢字の読み方などを確認した。なお、実験の手続きと課題に順応させ、習慣的な発声状態での朗読を可能にするために一連の課題を事前に1度練習をおこなった。また、緊張による影響をできるだけ取り除くため、防音室に

は被験者以外の立入りを禁止し、一人で課題をおこなった。

以下に文章課題を示す。文章課題の長さは19～46拍、14～39音節となっている。

文章課題：「ATR 研究用日本語音声データベース セット A」より<sup>1)</sup>

- ① あらゆる現実をすべて自分のほうへねじ曲げたのだ（26拍23音節）  
〈ARRAYURUGENZITSUWOSUBETEZIBUNNOHOUENEZIMAGETANODA〉
- ② 一週間ばかりニューヨーク取材した（20拍14音節）  
〈ISSYUUKANBAKARINYUUYOUKUWOSYUZAISHITA〉
- ③ テレビゲームやパソコンでゲームをして遊ぶ（21拍18音節）  
〈TEREBIGEEMUYAPASOKONDEGEEMUWOSHITESOBU〉
- ④ 物価の変動を考慮して給付水準を決める必要がある（32拍25音節）  
〈BUKKANOHENDOUWOKOURYOSHITEKYUUHUSUIJUNWOKIMERUHIT  
UYOUGAARU〉
- ⑤ 救急車が十分に動けず救助作業が遅れている（28拍22音節）  
〈KYUUKYUUSYAGAJUUBUNNIUGOKEZUKYUUJOSAGYOUGAOKURETEI  
RU〉
- ⑥ 言論の自由は一步譲れば百歩も千歩も攻めこまれる（30拍24音節）  
〈GENRONNOZIYUUAIPPOYUZUREBAHYAPPOMOSENPMOSEMEKOM  
ARERU〉
- ⑦ 会場の周辺には原宿駅や代々木駅もあるしちょっと歩けば新宿御苑駅もある（46拍39音節）  
〈KAJOUNOSYUUHENNIWAHARAJUKUEKIYAYOYOGIEKIMOARUSHITYO  
TTOARUKEBASINJUKUGYOENKIMOARU〉
- ⑧ 老人ホームの場合は健康器具やひざ掛けだ（24拍18音節）  
〈ROUZINHOUMUNOBAAIWAKENKOUKIGUYAHIZAKAKEDA〉

⑨ ちょっと遅い昼食をとるためファミリーレストランに入ったのです (32拍26音節)

〈TYOTTOOSOITYUUSYOKUWOTORUTAMEFAMIRIIRESUTORANNIHAITT  
ANODESU〉

⑩ 嬉しいはずがゆっくり寝てもいられない (19拍17音節)

〈URESHIIHAZUGAYUKKURINETEMOIRARENAI〉

## 2-4 解析

出力した音声データをノート型パーソナルコンピューター (MacBook Air 13-inch, Mid 2011) に取り込まれている音声分析ソフトウェア「Wave Surfer」を用いて、サンプリング周波数を44.1kHzとして $F_0$ の解析をおこなった。なお、本実験では有声周期音の平均値をもってSFFとしている。

Wave Surferはスウェーデン王立工科大学が開発・運用している音声分析ソフトウェアである。このプログラムはフリーソフトのため一般性に富んでおり、大きなサイズの音声ファイルも処理することができる<sup>2)</sup>。

## 3 結果

以下の図4から図50は各被験者のSFFをWave Surferの解析画面で示したものである。上部は原音声を示し、下部は正相の $F_0$ 軌跡を示している。

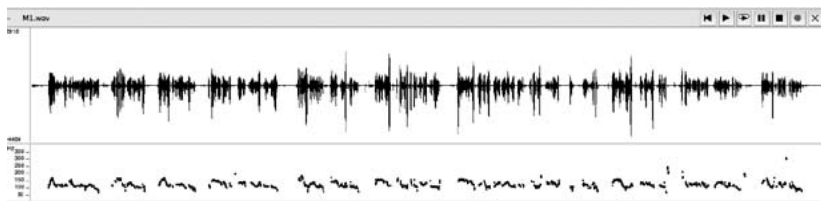


図4 男性被験者1 (M1)

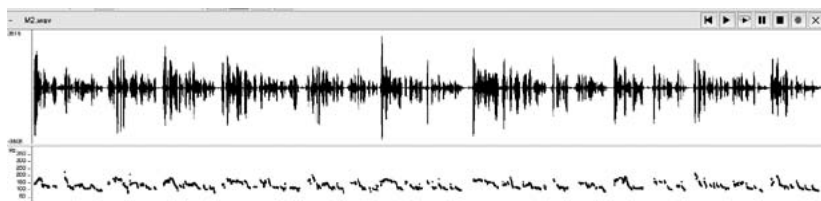


図5 男性被験者2 (M2)

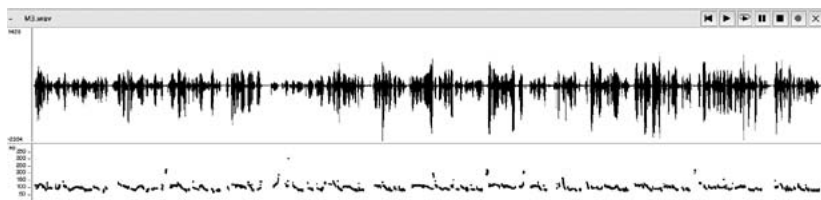


図6 男性被験者3 (M3)

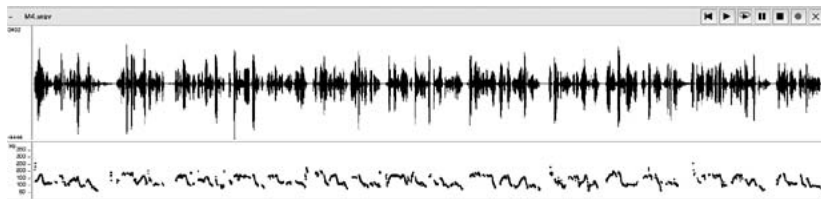


図7 男性被験者4 (M4)



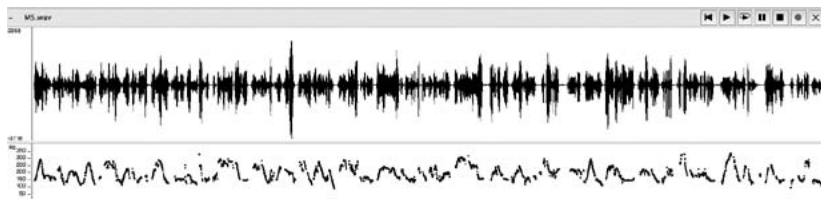


図8 男性被験者5 (M5)

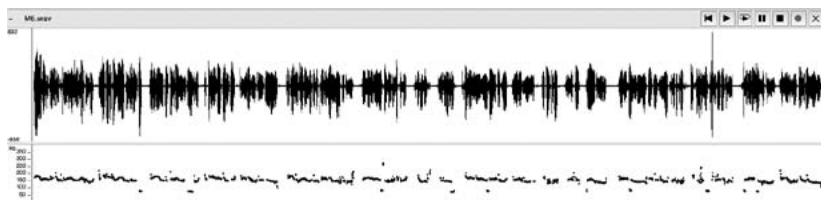


図9 男性被験者6 (M6)

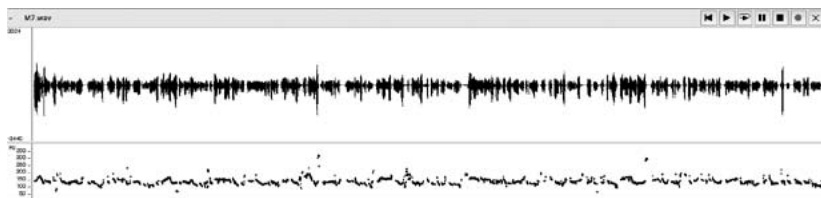


図10 男性被験者7 (M7)

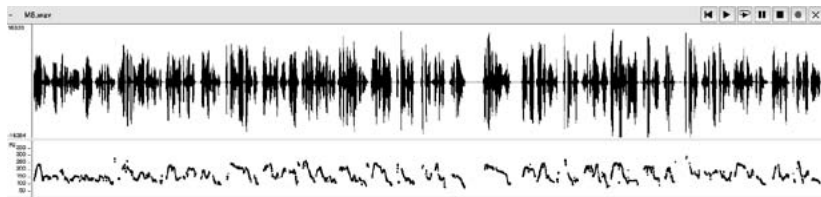


図11 男性被験者8 (M8)

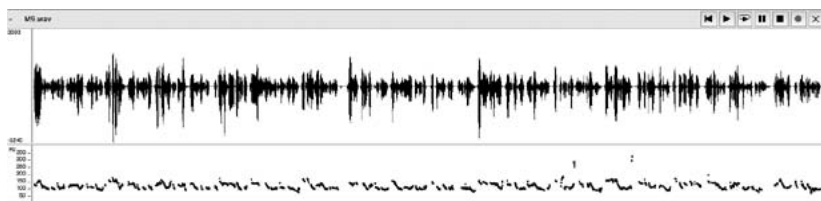


図12 男性被験者9 (M9)

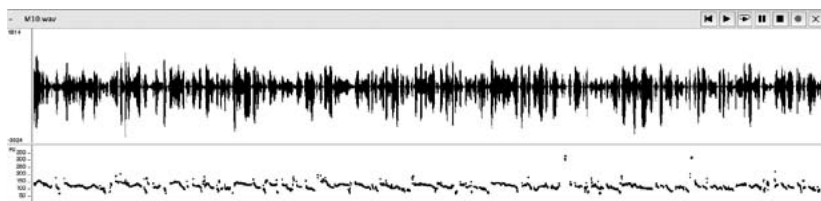


図13 男性被験者10 (M10)

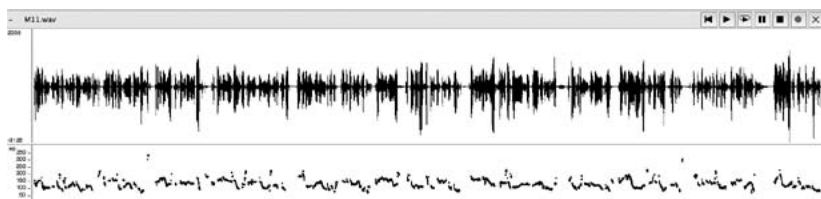


図14 男性被験者11 (M11)

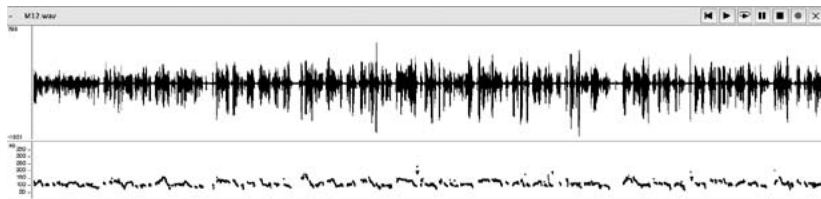


図15 男性被験者12 (M12)

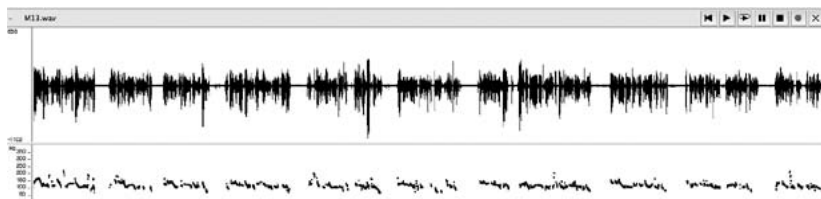


図16 男性被験者13 (M13)

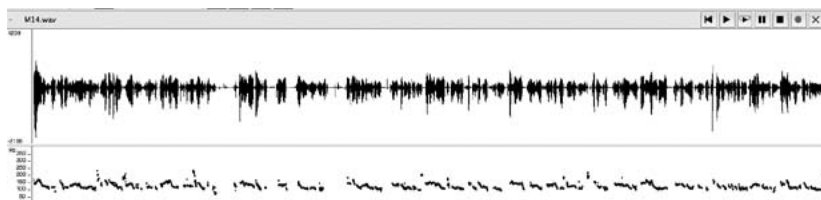


図17 男性被験者14 (M14)

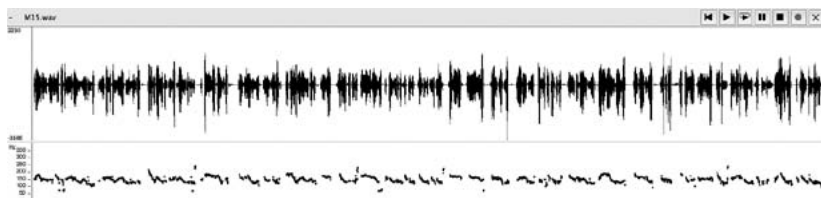


図18 男性被験者15 (M15)

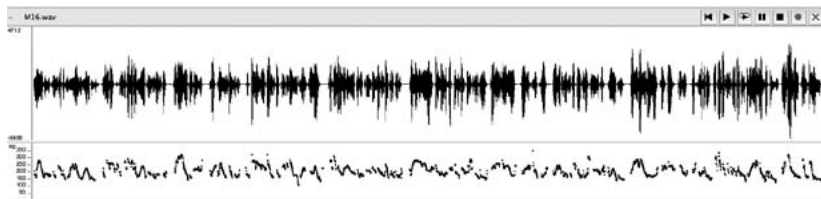


図19 男性被験者16 (M16)

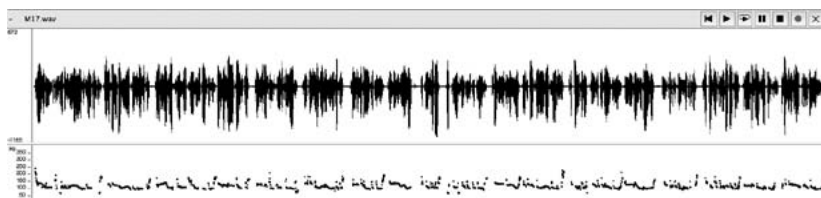


図20 男性被験者17 (M17)

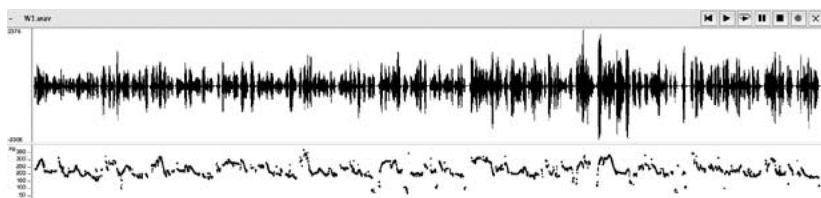


図21 女性被験者1 (W1)

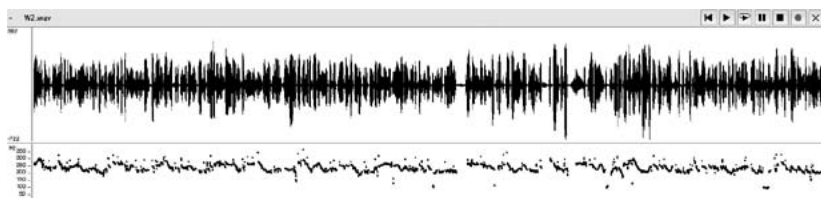


図22 女性被験者2 (W2)

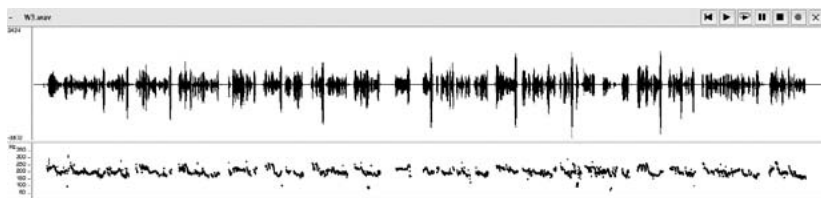


図23 女性被験者3 (W3)

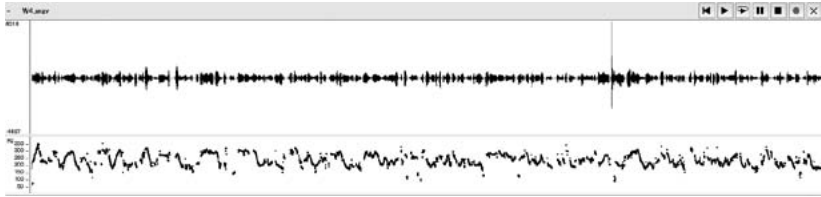


図24 女性被験者4 (W4)

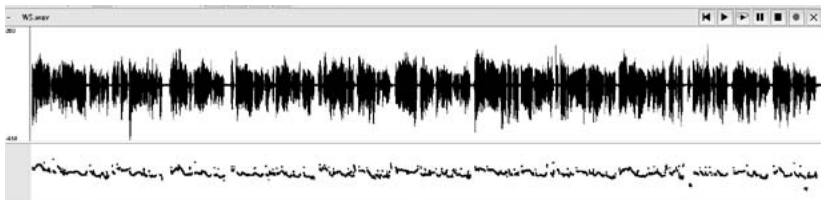


図25 女性被験者5 (W5)

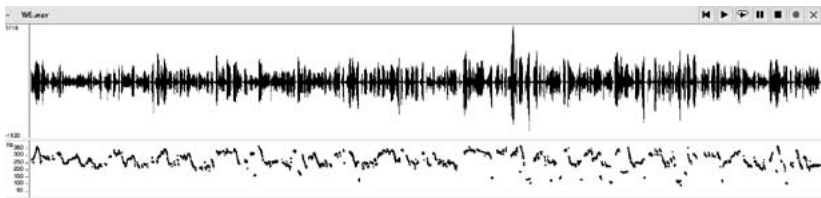


図26 女性被験者6 (W6)

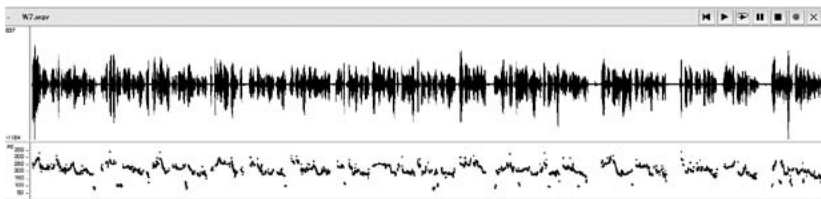


図27 女性被験者7 (W7)

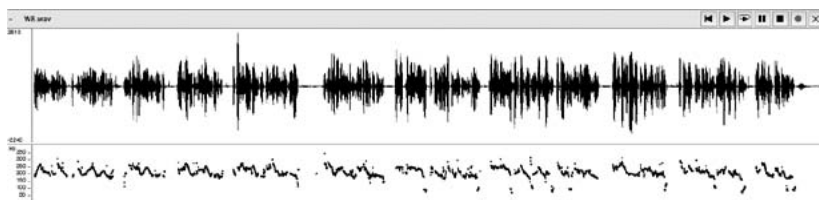


図28 女性被験者8 (W8)

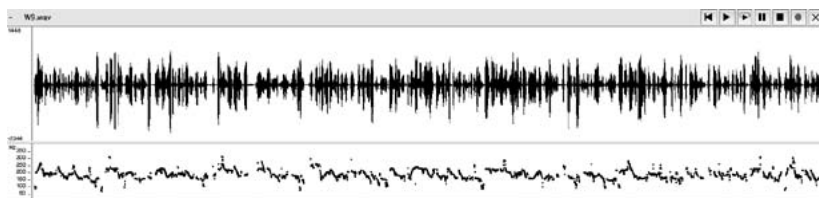


図29 女性被験者9 (W9)

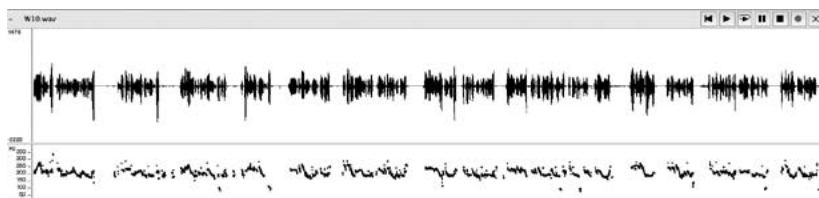


図30 女性被験者10 (W10)

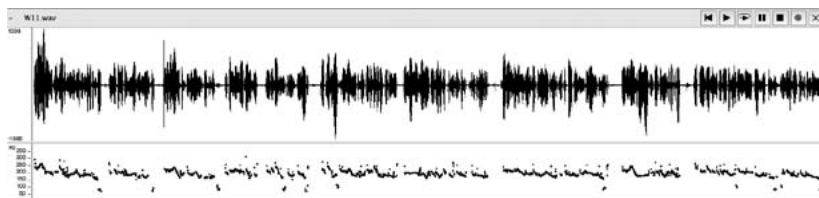


図31 女性被験者11 (W11)

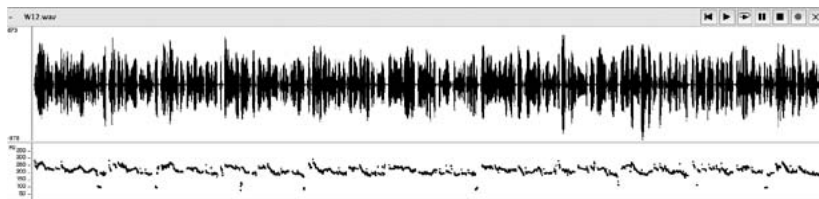


図32 女性被験者12 (W12)

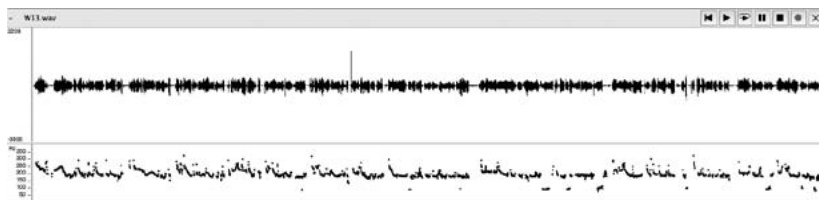


図33 女性被験者13 (W13)

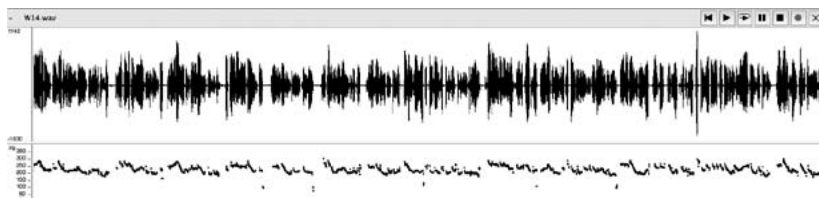


図34 女性被験者14 (W14)

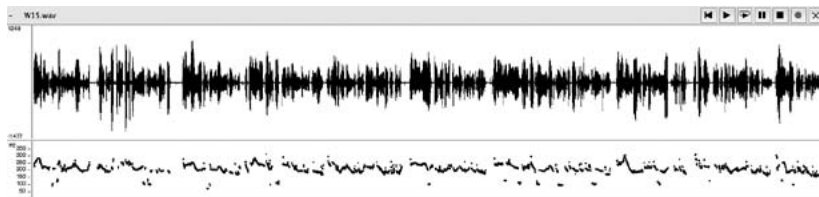


図35 女性被験者15 (W15)

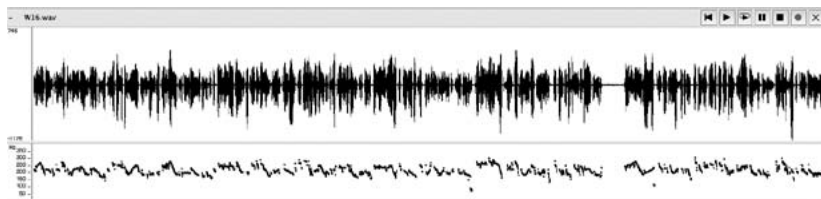


図36 女性被験者16 (W16)

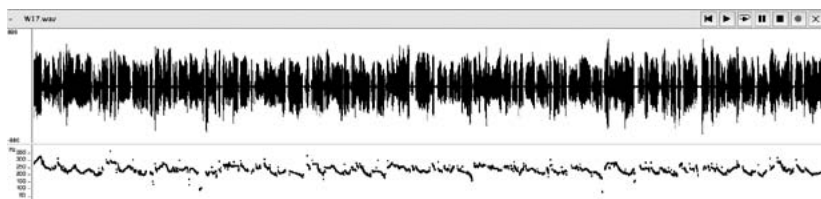


図37 女性被験者17 (W17)

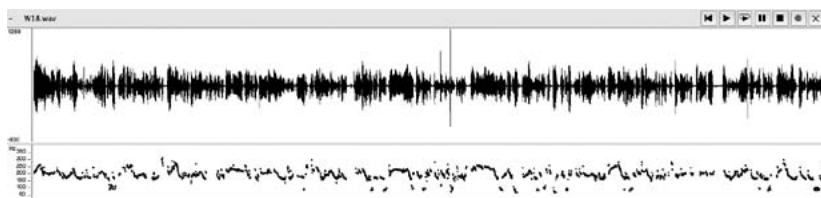


図38 女性被験者18 (W18)

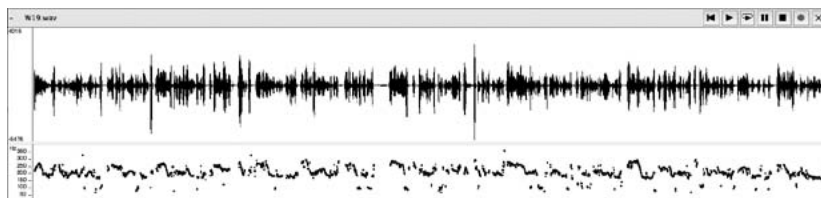


図39 女性被験者19 (W19)



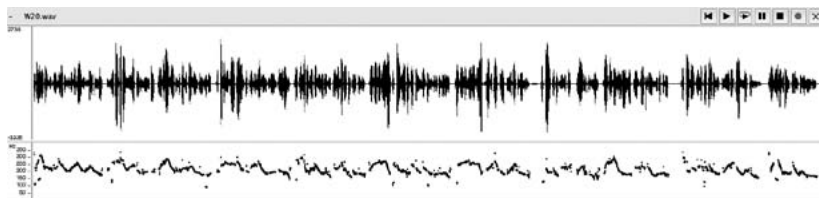


図40 女性被験者20 (W20)

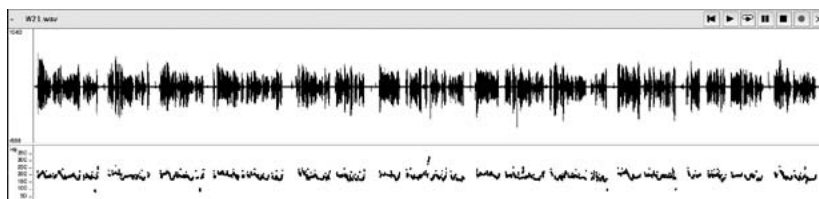


図41 女性被験者21 (W21)

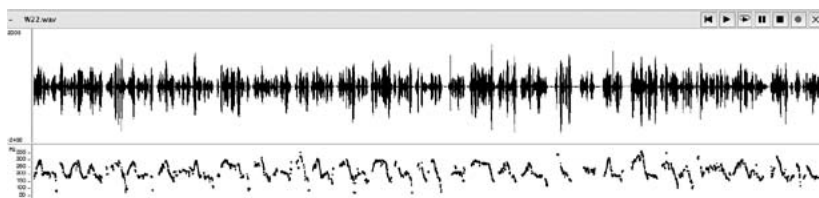


図42 女性被験者22 (W22)

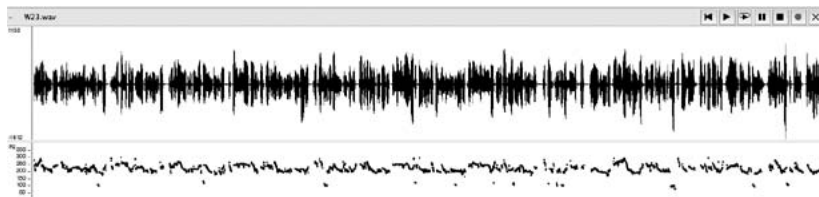


図43 女性被験者23 (W23)

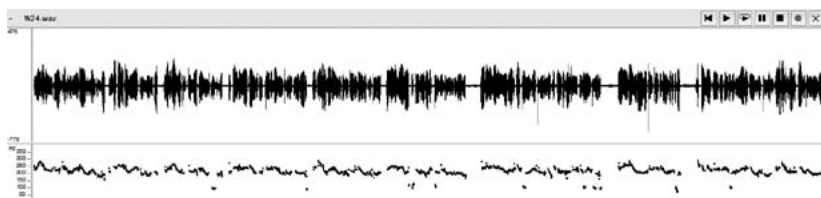


図44 女性被験者24 (W24)

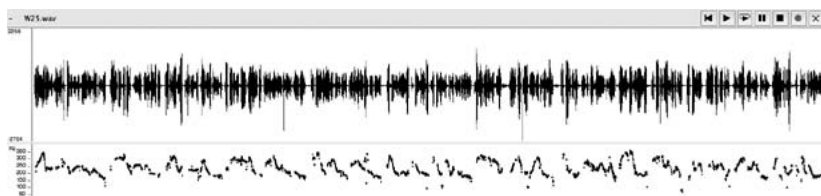


図45 女性被験者25 (W25)

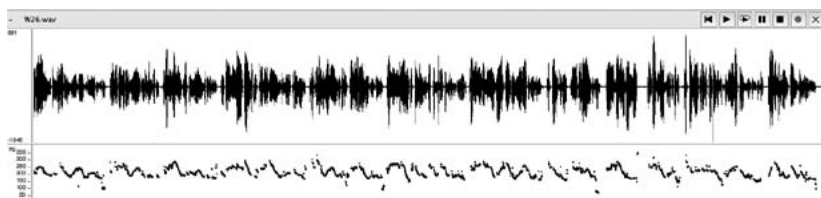


図46 女性被験者26 (W26)

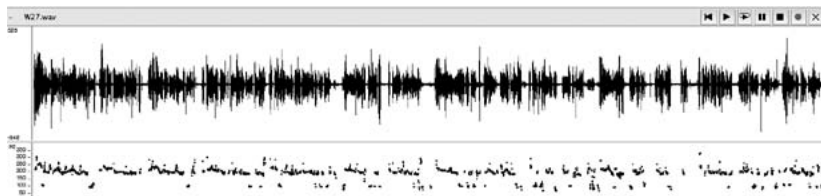


図47 女性被験者27 (W27)

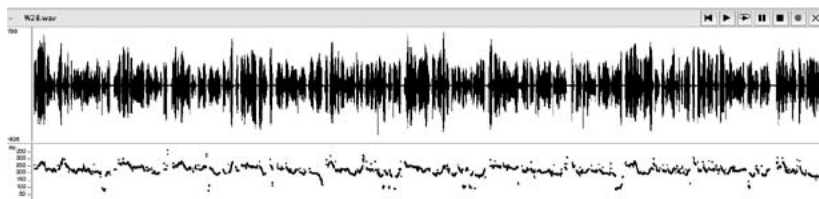


図48 女性被験者28 (W28)

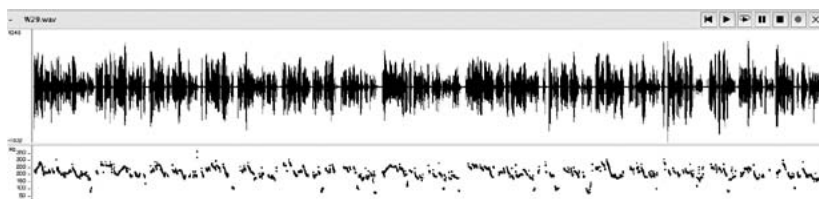


図49 女性被験者29 (W29)

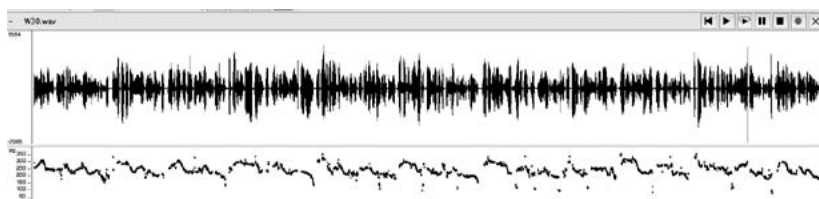


図50 女性被験者30 (W30)

以上のデータから男女別の平均 SFF ならびに SD を表2に示す。また、表3と表4に各被験者の SFF を示す。

表2 男女の SFF と SD

性別	SFF (Hz)	SD
男性	132.0	18.1
女性	216.9	15.7

表3 男性被験者の SFF

被験者 No.	年齢	SFF (Hz)
M1	22	124.5
M2	21	134.4
M3	19	99.5
M4	18	137.9
M5	20	156.8
M6	20	152.7
M7	19	136.1
M8	22	133.6
M9	20	119.4
M10	18	119.7
M11	22	133.6
M12	22	114.2
M13	23	119.5
M14	20	127.1
M15	21	148.2
M16	21	172.4
M17	20	114.8

表4 女性被験者の SFF

被験者 No.	年齢	SFF (Hz)
W1	21	232.5
W2	21	236.6
W3	20	201.3
W4	20	241.2

W5	20	197.5
W6	22	219.3
W7	25	216.1
W8	18	217.3
W9	20	189.3
W10	21	209.5
W11	20	195.2
W12	20	215.6
W13	20	197.1
W14	20	226.9
W15	19	213.5
W16	24	220.4
W17	19	234.3
W18	20	199.9
W19	20	216.3
W20	22	217.7
W21	19	189.2
W22	22	228
W23	19	223.6
W24	19	220.9
W25	21	240.9
W26	18	216.5
W27	20	201.2
W28	20	220.6
W29	18	218.1
W30	22	250.3

## 4 考察

### 4-1 計測について

計測の結果、男性の SFF は132Hz、女性が215.7Hz であった。僅かな誤差はあるものの一般的な男女の SFF とほぼ一致する結果となった。男性被験者17人の中で最も低い SFF は99.5Hz (M3)、最も高い SFF は172.4Hz (M16)、女性被験者30人の中で最も低い SFF は189.2 (W21)、最も高い SFF は250.3Hz (W30) であった。音声の波形や  $F_0$  軌跡を見ると、各被験者によって子音を強く発音したり、アクセントをつけるなど特有の“クセ”が存在していることが観察された。本実験は各自の習慣で最も安定した声の高さと大きさとで朗読させたため、声量や速度などにも個人差が目立った。これらが SFF にも影響することを考えると、実験手続きをより統制することが今後の課題となった。

### 4-2 実験課題について

これまで SFF の計測に用いられてきた課題は以下のようなものがある。

- ①住所・氏名・その他簡単な会話（挨拶）
- ②相槌
- ③自由談話
- ④数の呼称
- ⑤特定の言葉（単語）を発声
- ⑥特定の語の最後の音を引き伸ばした時の音声
- ⑦母音のロングトーン

SFF を定量化するためには単語や氏名などでは短く、母音を伸ばすなどの課題では子音が含まれていないために偏りが出てきてしまう。計測と解析には一定の長さの発声時間が必要だと考え、本研究では簡易な文章を朗読させた。朗読で用いた課題は単語の繋がりが抑揚などに差が出ないように留意し、文章的な意味が非常にわかりにくいことを特徴としている。母音や子音などさまざまな音声がバランス良く含まれるように構成されているため、解析に適切であった。

### おわりに

本研究は、SFF の計測方法を検討することを目的に文章の朗読課題を試み

た。日本語を母国語とする男女47名の音声データを収集し、Wave Surferを用いて解析した結果、男性のSFFは132Hz、女性が215.7Hzであった。音響研究などで広く用いられている「ATR 研究用日本語音声データベース」という統制された一定の文章課題を用いることによって解析に適した音声データを収集することができた。

今回は音声分析のソフトウェアを用いたが、今後は“歌声”まで領域を広げ、計測手法の可能性を引き続き検討していきたい。具体的には発声された音声を実タイムにフィードバックできるシステムなどを用いることで、音声のトレーニングや音楽教育における音程矯正などへと検討していくことを展望とする。

## 引用文献

- [1] 日本音声言語医学会編（2009）『新編 声の検査法』医歯薬出版 p.183
- [2] 岡本健（1984）「喉頭疾患患者の話声位について」『耳鼻と臨床30巻1号』 p.754
- [3] 日本声楽発声学会編（2010）『声楽発声用語集』 p.28
- [4] 牧山清・平井良治・矢田修一郎・児玉ひとみ（2009）「音声外科における発声機能検査の意義と可能性」『音声言語医学第50巻』 p.125
- [5] 水崎誠（2002）「幼児・児童の声および声域の発達—先行研究の検討を通して—」『広島大学大学院教育学研究科音楽文化教育学研究紀要14号』 p.115
- [6] 日本音声言語医学会編（1994）『声の検査法 基礎編』医歯薬出版 p.38
- [7] 前掲書[6] p.98

## 引用 URL

- 1) 音声資源コンソーシアム HP  
<http://research.nii.ac.jp/src/ATR503.html>（2019/12/12アクセス）
- 2) 菊池英明「Wave Surfer ガイド」  
<http://www.f.waseda.jp/kikuchi/tips/wavesurfer.html>（2019/12/12アクセス）

\* 本研究の一部は公益財団法人大幸財団の学芸奨励金を利用した研究である。