

修士論文

# 裏声判別指標を用いたボイストレーニング ソフトウェア



平成 25 年度

三重大学大学院 工学研究科  
博士前期課程 物理工学専攻

浅野 翔大

# 目次

第1章 序論	4
1.1 研究の背景と必要性	4
1.2 本研究の目的と内容	5
1.3 他の研究との比較	6
1.4 本論文の構成	7
第2章 YUBA メソッドについて	8
2.1 ヒトの発声メカニズム	8
2.2 音韻と音程の違い	8
2.3 裏声と表声の違い	10
2.4 換声点及び換声点ショック	11
2.5 YUBA メソッド	11
2.6 普及のための課題	13
第3章 裏声・表声のスペクトル波形の違いに基づく裏声判別指標について	15
3.1 LPC 分析による声帯音源の抽出	15
3.2 スペクトル重心に基づく指標 $f_g/f_0$ の導入	18
3.3 歌唱音声に対する $f_g/f_0$ の算出結果	19
3.4 まとめと課題	20
第4章 トレーニングソフトウェア	22
4.1 ソフトウェアの仕様	22
4.2 トレーニング方法	23
4.3 解析結果の表示	23
4.3.1 指標推移図	25

	3
4.3.2 ピッチ推移図 . . . . .	25
4.3.3 指標分布図 . . . . .	26
4.3.4 ピッチエラー . . . . .	27
4.3.5 出し分けスコア . . . . .	28
4.4 まとめ . . . . .	30
<b>第5章 ソフトウェアによる視覚化の効果の検証実験</b>	<b>31</b>
5.1 比較実験の目的 . . . . .	31
5.2 実験方法 . . . . .	31
5.3 アンケートの集計結果 . . . . .	33
5.4 解析結果の分析 . . . . .	34
5.5 解析による判定と熟練者の耳による判定の比較 . . . . .	37
5.5.1 聞き取り調査方法 . . . . .	37
5.5.2 聞き取り調査結果 . . . . .	38
5.6 まとめと課題 . . . . .	39
<b>第6章 総括</b>	<b>41</b>
<b>第7章 謝辞</b>	<b>43</b>

# 第1章 序論

## 1.1 研究の背景と必要性

最近、若者だけでなく、中高年でも趣味でカラオケを楽しんだり合唱サークルに所属して歌を歌う人が多い。また、その人達が歌いたいと思う曲には高音域の発声（裏声あるいはファルセットボイスという）を要するものも多く、どうすればプロ歌手のように高音をきれいに発声できるのかということに彼等は強い関心を持っている。その中で、ここ2,3年、YUBAメソッドという発声トレーニング法がテレビなどのメディアでよく紹介され<sup>1-4</sup>、注目を集めている。YUBAメソッドとは三重大学教育学部教授弓場徹が提唱する歌唱トレーニング法（第2章参照）であり、本研究はこれに関連する教授との共同研究の一部として実施されたものである。

ここで、まずYUBAメソッドのトレーニング法について簡単に説明する。YUBAメソッドでは最初に音域の拡張を目的に裏声（ファルセットボイス）と表声（地声ともいう）を分離して発声する訓練を行う。その後、表声が声帯の振動様態の異なる裏声に切り換わる音域つまり換声域<sup>5</sup>での音色の急激な変化や音程の乱れ（換声点ショックという）を目立たせないように裏声と表声を滑らかに変化させる訓練に移行する。このような一連の訓練を行うには裏声が正しく発声されているか、裏声と表声が滑らかに変化しているか（換声点ショックが小さいか）について熟練した指導者が耳で聞いて判断する必要がある。そのため、これまでにYUBAメソッドの普及を目的に、その具体的な方法を解説した書籍<sup>6-11</sup>、CD<sup>12,13</sup>、DVD<sup>14-18</sup>が多数出版・販売されている。しかし、一般の人が購入しても、近くに適切な指導者がいないと発声状態の確認は自己判断に委ねられ、間違った判断により練習が効率的に進まない事例があった。

そこで、このような問題を避けるため、当研究室ではマイクロホンで収録した練習者の音声をスペクトル解析し、裏声が正しく発声されているかを定量的に判定する指標を提案した<sup>19</sup>。しかし現状では、指標による判定結果をトレーニングに役立てるには

### 1. 録音装置のある環境でトレーニングを行い音声を録音する



2. 解析を行うコンピュータに録音音声に移す
3. 機械による判定結果を解説し理解してもらうために、トレーニング実施者が結果を見ることができる環境にデータを移す

などの手順が必要であり、判定結果を即座にトレーニング内容にフィードバックさせられなかった。この状況を解決すべく、本研究では YUBA メソッドに基づくトレーニングと、音程や裏声/表声判別指標の裏声/表声の出し分けの判定結果の確認が同時にできる発声トレーニングソフトウェアを開発（試作）することを目的とした。将来的には、スマートフォンのアプリのような、どこでも使えるソフトウェアの開発を目指している。YUBA メソッドに基づくトレーニングシステムにこのような信号解析による裏声発声の判別指標の表示機能を追加すれば、練習者は近くに指導者がいない場合でも個人でコンピュータ、スマートフォンあるいはタブレット端末の画面を見ながら、インタラクティブに歌唱トレーニングをすることが可能となる。

## 1.2 本研究の目的と内容

これまでに YUBA メソッドを利用した歌唱トレーニングでの音痴克服や安定した歌唱習得の成果は発表<sup>19,20</sup>されており、YUBA メソッド自体の有効性は既に確認されている。だが先に述べたように個人による歌唱トレーニングでは自分自身の音声の習熟度を測ることが難しいという問題があり、練習が効率的に進まない事例が報告されている。そこで本研究では、YUBA メソッドに基づくトレーニングと機械による音程や表声/裏声の出し分けの判定を同時に実行できるソフトウェアを開発し、その効果を確認することを目的とした。

開発するソフトウェアには以下の特徴がある。

1. ガイド音に同期させて録音したトレーニング時の音声を自動解析し
  - 1) 当研究室が提案する裏声/表声判別指標の時間推移 (指標推移図)
  - 2) ガイド音と発声音声の音程の時間推移 (ピッチ推移図)
  - 3) 2) の裏声/表声判別指標の累積度数分布 (指標分布図)の3つのグラフと
- 4) 1) に基づくピッチエラー

## 5) 3)に基づく裏声/表声の出し分けスコア

の2つの数値(スコア)を画面表示する。(解析結果の視覚化によりトレーニングの効率化を図ることが目的である)

2. ノートパソコンにヘッドセットをつなぐだけでトレーニングを行えるため、練習場所を選ばない。(将来的にはスマートフォン等で実行することを想定している)
3. 音程をリアルタイムで分析・表示するものは既にカラオケ採点システムで実用化されているが、裏声/表声の出し分けを定量的に判定・表示する装置やソフトウェアは実用化されていない。(本研究の新規性)

開発したソフトウェアによるトレーニングの効果を検証するため、被験者16名に10回のトレーニングを連続して実施してもらった。このとき、被験者を前述の解析結果1)~5)を前半5回のみ表示するグループと、後半5回のみ表示するグループとに分けて実施し、両グループ間においてピッチエラーや裏声/表声の出し分けスコアに差が生じるかをアンケートとともに音声の解析結果から検証した。

### 1.3 他の研究との比較

ここで、歌唱音声の評価に関しては、YUBA メソッドとは関係ない形で類似研究が実施されているので、それらとの相違点について簡単に触れておく。このような研究が行われているのは、やはり歌唱音声の評価に関する関心の高さが背景にあると考えられる。

類似研究は平山らによる“ポピュラー音楽の歌唱を対象とする高音域発声評価システムの構築”<sup>21</sup>である。この研究では主にカラオケの採点システムを念頭に、発声される男声を2声区(地声・裏声)、女声を3声区(胸声区・中声区・頭声区)に分類することを考えている。そして声区の判別では、歌唱音声の基本周波数(以後ピッチと記す) $f_0$ とその2倍の周波数(第2倍音の周波数のことで、以後、倍ピッチと記す) $2f_0$ のレベル差 $\Delta f_0$ を算出し、 $f_0$ と $\Delta f_0$ の2つのパラメータに基づいた線形判別により声区を特定している。

これに対して、当研究室では声区の分類について、YUBA メソッドの考え方にに基づき男女共に2声区(裏声・表声)しか存在しないものとしているという点で平山らの研究とは異なっており、彼らの指標をYUBA メソッドのトレーニングシステムにそのまま組み込むことは不可能である。

## 1.4 本論文の構成

以下に本論文の構成を示す。

第1章では、研究背景・目的

第2章では、YUBA メソッドと発声メカニズム

第3章では、ソフトウェアの解析に用いる裏声判別指標

第4章では、ソフトウェアの仕様やトレーニング方法

第5章では、ソフトウェアを用いた比較実験

について述べる。

## 第2章 YUBA メソッドについて

本章では、ヒトの音声の特徴とともに研究の遂行に必要となる裏声・表声の発声メカニズムと歌唱トレーニング法『YUBA メソッド』について概説する。

### 2.1 ヒトの発声メカニズム

歌唱音声に限らず、ヒトが発する様々な声の多く（有声音として母音が代表的）は、肺から送られた呼気流によって声帯（声門）が振動する（閉じたり開いたりする状態を繰り返す）ことで生じた音（声帯音源という）によって作り出されている。声帯音源は気流の断続で生ずる波形（三角波に近い形状）で、どちらかといえばブザー音のようなものであり、我々が普段耳にする声とは異質のものである。しかし、これが口腔・咽頭・喉頭・鼻腔・副鼻腔で構成される断面形状が長手方向に複雑に変化する管（音声学的には声道という）を通ることで特定の周波数成分が強調されたり抑圧されたりして（周波数スペクトルに変化が生じ）、口や鼻孔から聞き慣れた声として大気中に放射されている。つまり声道は声帯原音のスペクトルを変化させて声に変換するフィルタ装置と見なすことができ、これを声道フィルタと呼ぶ。要約すれば、ヒトの声は声帯で発生した声帯音源を声道フィルタに通すことで得られる音といえる。図 2.1 は声帯音源から音声が作られるイメージを図示したものである。

### 2.2 音韻と音程の違い

ヒトの声の特徴付けるものとして、大きさ、音韻、音高（ピッチ）がある。音声の大きさの変化が声帯音源の大きさに依存していることは自明である。

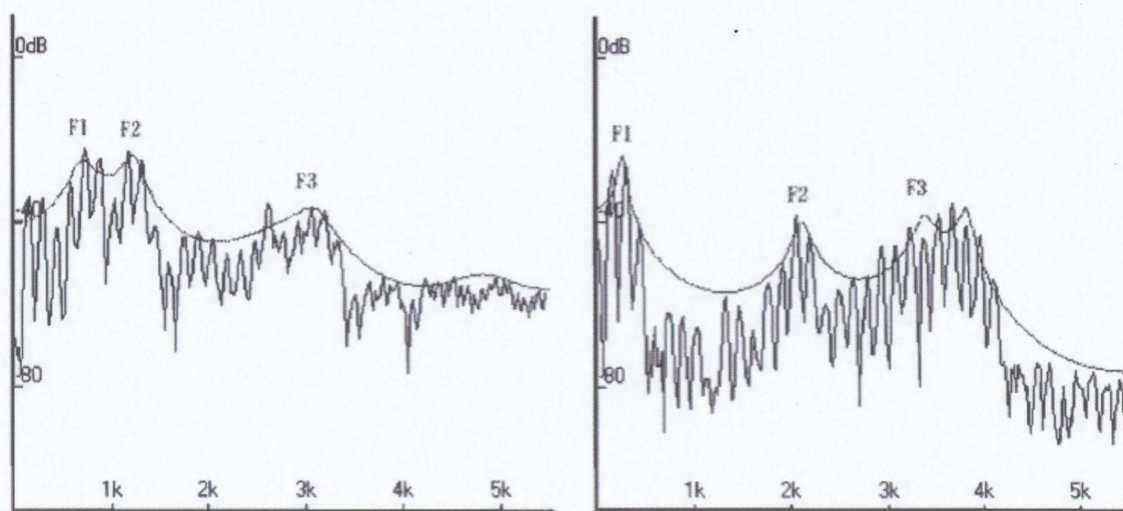
これに対して、「あ」「い」「う」のような音韻の認識の違いは音声のスペクトルのエンベロープのピーク、すなわち声道フィルタの局所ピーク（フォルマントと呼ばれる）の相対的なレベルとその位置関係（フォルマント周波数の組み合わせ）によるものと考えられている。



図 2.1: 人の発声過程の図

また、声の高さ（ピッチ、音高）は音声のフォルマントとは関係なく声帯原音の周期に依存しており、その逆数である基本波周波数で決定される。つまり、音の高さはフォルマント情報には関係がなく声帯の振動周期のみに依存していることになる。

図 2.2 に左から母音「あ」「い」の音声波形とスペクトルの一例を示す。

図 2.2: 各母音のフォルマント図<sup>23</sup>

これは横軸周波数 [kHz]、縦軸音量 [dB] で、それぞれのスペクトルの細かな周期構造がピッチを、ゆるやかなスペクトル包絡が音韻を決める要素になっている。

ところで、会話音声のピッチ（声の高さ）はおそらく声帯が最も効率よく振動する周波数で決

定されており、個人毎の、特に男女のピッチ差は声帯の長さ・質量・引っ張りなどに関連がある。通常の会話音声の場合、個人差によりピッチは男声で60~260[Hz]、女声で120~520[Hz]に分布するが、通常の会話で各個人が変化させる範囲はせいぜい100~200[Hz]程度である。しかし、歌を歌う場合にはこのピッチをメロディに合わせて、より広い範囲で変化させることが必要となる。当然、通常の会話音声の発声とは異なる声帯の振動が必要とされる。後述するように特に高音を発声する場合には声帯のコントロールが難しくなり、発声ができなかったり、音程を外す原因となる。

## 2.3 裏声と表声の違い

弓場の著書“奇跡のボイストレーニング BOOK (主婦の友社,2004)”によれば、裏声と表声の発声法の違いには内喉頭筋群が関係している。内喉頭筋群とは声帯を引っ張ったり、声門（左右の声帯のすき間）を閉じたり開いたりして、声帯の動きをコントロールしている喉にある一連の筋肉群のことであり、喉ぼとけや甲状軟骨に付随する閉鎖筋群や開大筋がある（図 2.3 参照）。

弓場はこれらの筋肉の中でも声帯を引っ張り伸ばす筋肉や声門を閉じる筋肉ことを、歌うことの中心的な役割を担っているので「歌う筋肉」と呼んでいる。

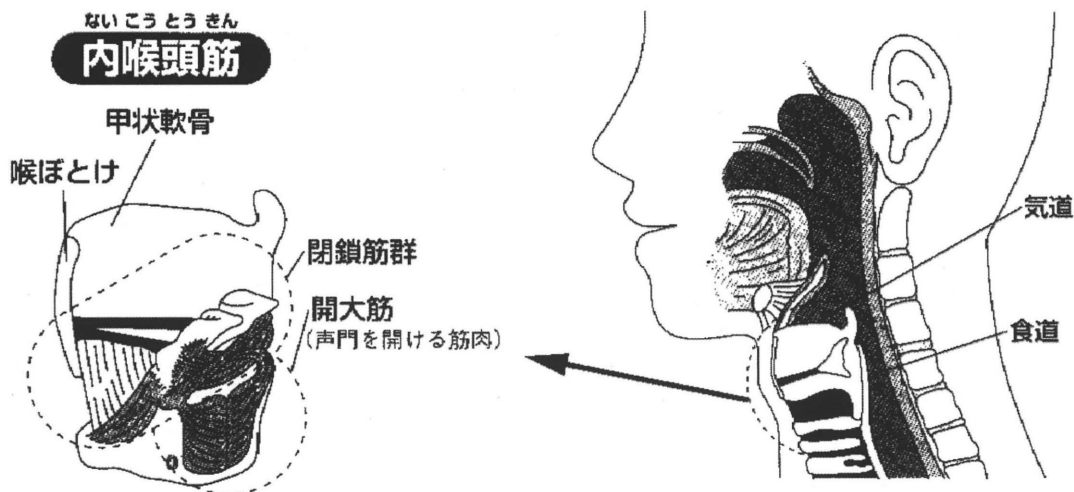


図 2.3: 内喉頭筋の様子<sup>5</sup>

これら筋肉のうち、音の高さを変えるのに主役となって働くのが輪状甲状筋である。この筋肉は気管の一番上にある輪状軟骨と甲状軟骨（突出したところを一般に喉ぼとけと呼ぶ）をつないでいる。この筋肉が働くと、甲状軟骨と輪状軟骨が近づいて声帯が引き伸ばされこの時声帯の傾きが弱く声帯の質量が小さいと音が高くなり裏声が出る。一方、閉鎖筋群が輪状甲状筋に対して



優勢に働き、声帯筋の働きにより声帯の質量が大きい状態で声門が閉じられると息漏れの少ない表声になる。

したがって表声か裏声かは、内喉頭筋の筋肉運動による声帯の振動状態の違いで決まるのであって、声の響きの状態で決まるわけではない。図 2.4 に裏声発声時の輪状甲状筋の働きを示す。ここでファルセットーネとは表声と裏声の間間的な音声であり、裏声のみで滑らかに歌唱する際声帯が張り息漏れのあり力強い声が出せないが、表声の発声状態に近づけることで息漏れの少ない力強い裏声が出せている状態をファルセットーネ（ミックストボイスとも言う）と呼んでいる。

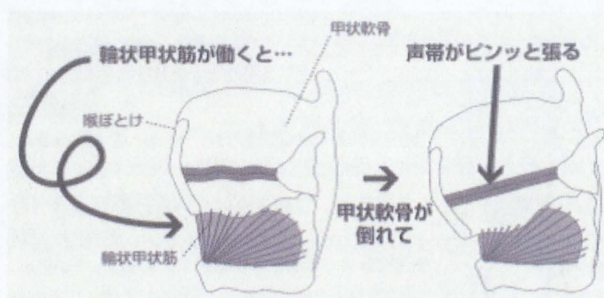


図 2.4: 裏声発声時の輪状甲状筋の働き<sup>5</sup>

## 2.4 換声点及び換声点ショック

換声点とは、裏声と表声の変わり目のことを指す。例えば低い表声から徐々に高い裏声に行かせたり、逆に高い裏声から徐々に低い表声に行かせていくと、途中で急に音質や音量が変化するところがある。これが換声点である。歌唱中に換声点を挟んで表声から裏声に切り替わる瞬間に音程が外れ、歌唱が不安定になる（換声点ショックと呼ばれる）人も多い。これは声帯の筋肉が表声を発声するよう働いていたのに、換声点付近で急に裏声の筋肉運動へ変えたため、筋肉運動が提示された音声の変化についていけない状態と考えられる。

## 2.5 YUBA メソッド

YUBA メソッドとは弓場が提唱しているボイストレーニング法のことである。このトレーニング法は、ヒトは内喉頭筋を直接意識してコントロールすることは出来ないが、出す声によってどの筋肉が働くかはおよそ予想できるため、モデルとなる声をまねて発声することにより間接的

に「歌う筋肉」を効率よくコントロールできるようになるという考え方、つまり YUBA 理論（発声制御理論）に基づいている。トレーニング手順の簡単な流れは図 2.5 に示す通りである。

図 2.5 中のそれぞれの Stage の目的と練習内容は次のように定義されている。

● **Stage 1:** 裏声と表声をはっきりと分けて出す

例 1：息漏れのある高い裏声を出す

フクロウの鳴き声「ホー」や犬の遠吠え「ウォー」等をまねて発声し、裏声を出すことに慣れる。

例 2：息漏れのない表声を出す

口を「あ」の形に開け、息を止めてからひと息で「アー」とはっきりした息漏れのない（実際には、息が効率よく声帯振動に変わる状態に相当する）低めの声で 2~3 秒声を出す。

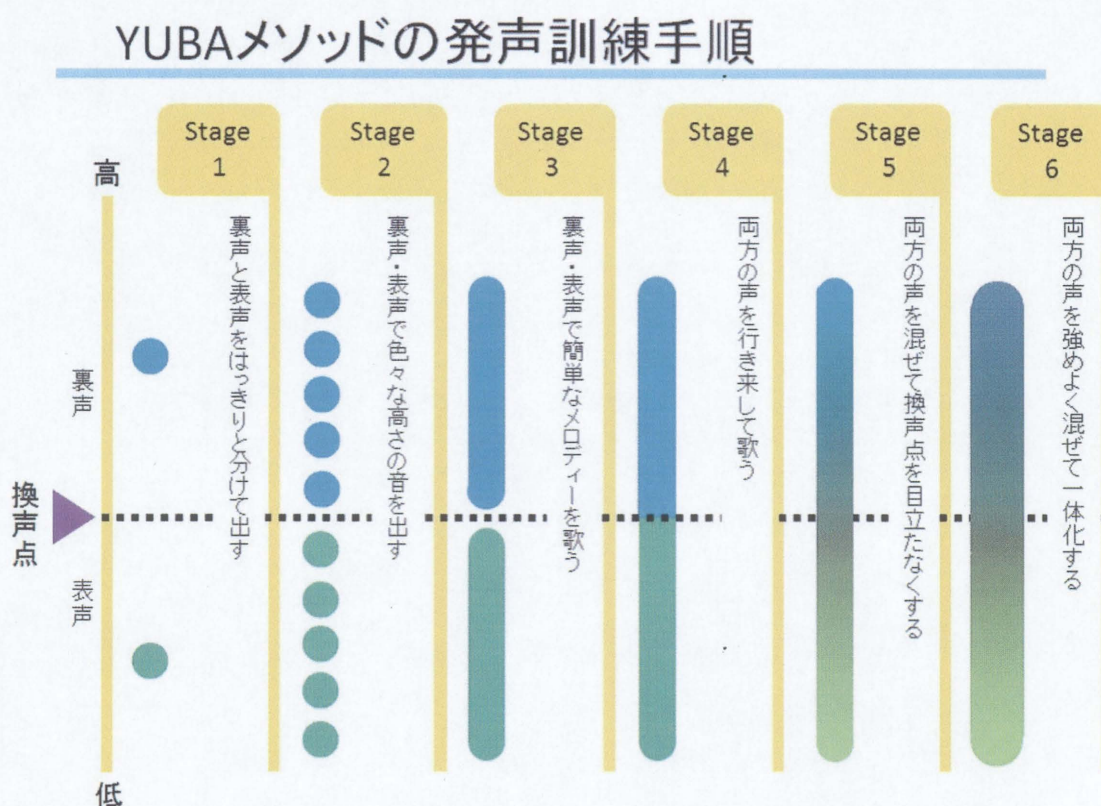


図 2.5: YUBA メソッドのトレーニング段階図（弓場によるイメージ図）



- **Stage 2:** 裏声・表声でいろいろな高さの音を出す

例：Stage1 で発声した音を様々な音程で歌唱する

「ホー」と高めの裏声で始め、「ホー・ホー・ホー・ホー」と一声ずつ音の高さを変えて出す。次に「ホー」を表声の「アー」に変えて行う。

- **Stage 3:** 裏声・表声で簡単なメロディを歌う

例：「かえるの合唱」などの簡単なメロディーを高い音域の裏声「オー」（または「ウー」）で歌う。息漏れを少なくし、一息で長めのフレーズを歌う。次に音域を下げて低めの息漏れない表声「アー」で同じメロディーを歌う。

- **Stage 4:** 裏声と表声の両方の声を行き来して歌う

例：「ドーシーラーソーファーマーレードー」と高い音から「裏声→表声」に向かって歌い、反対に低い音から「表声→裏声」でも練習する。途中換声点で声がひっくり返ったり、出しにくくなっても音程が外れなければ良好な状態と判断する。

- **Stage 5:** 両方の声を混ぜて換声点を目立たなくする

例：出来るだけ高めの息漏れのない裏声を「オー」（息漏れするようなら「アー」）で歌い始め、表声に向かって2オクターブ（ドーシラソファミレドーシラソファミレドー）下げていく。

- **Stage 6:** 両方の声を強めよく混ぜて一体化する

例：さらに喉の筋肉トレーニングが進んで Stage 5 がより発展した状態である。

このボイストレーニング法を行うことで、表声と裏声の境目である換声点での急激な音質や音量の変化を減らし、広い音域をなめらかに発声することが可能になる。

インストラクターの模範発声をまねて実線的にボイストレーニングできるトレーニング本（CD 付）や CD、DVD<sup>11-17</sup> が出版されている。

## 2.6 普及のための課題

本章で紹介した YUBA メソッドの発声・歌唱教育上の効果の高さは検証されている<sup>21</sup>が、第1章で述べたように、個人で本（CD 付）や DVD を購入してトレーニングする場合を考えると、発

声状態の確認は自己判断に委ねられるため練習が効率的に進まないことが多々ある。そのため、個人レベルで客観的に自分の発声が裏声なのか表声なのか（裏声らしいのか表声らしいのか）が判断できるように、裏声・表声発声時のスペクトル波形構造の違いに注目した裏声／表声判別指標を導入することが求められる。また、このような指標を利用した個人で簡単かつ効率的にトレーニングできるアプリケーションの開発が期待されている。

## 第3章 裏声・表声のスペクトル波形の違いに基づく裏声判別指標について

本研究で開発を目指すトレーニングソフトウェアでは自分の発声している声が裏声なのか表声なのか（裏声らしいのか表声らしいのか）が判断できるように、発声時のスペクトル波形構造の違いに注目した裏声／表声判別指標を用いることを想定している。本章ではこの指標に関して説明する。

まず最初に前章で述べたように、裏声と表声の違いは声帯の振動状態のみによって決まり、裏声判別において重要な情報は、歌唱音声ではなく声帯から出る声帯音源であると考えられるため、録音された音声から、より声帯音源に近い波形を得るために利用する LPC 分析について説明を始める。

### 3.1 LPC 分析による声帯音源の抽出

ヒトの発声メカニズムを簡潔に述べると、図 3.1 に示すように声帯から発生した原音（声帯音源）に声道を通る過程でその特性が加わり、最終的に口から出る音声となる。裏声か表声かは声道の特性ではなく声帯の振動やその開き具合により決まるため、裏声／表声判別には声帯音源を利用することが一番と考えられる。そのため、歌唱音声から声帯音源を取り出すことを考えた。そこで、本研究の分析には、声帯音源を得るために音声処理で一般的な LPC 分析を利用した。LPC 分析とは、声帯音源を入力信号、口から発せられる音声を出力信号と考え、声道を線形なデジタルフィルタとしてモデル化し、音声を分析する手法である。分析の前提となる音声の発声メカニズムは図 3.2 のように、声道を各境界面で透過・反射が起きる口径の異なる微小管が直列に接続された音響管とみなして、声帯音源にその多重共振特性（フォルマント）が加わることで音声となるというものである。図 3.3 に実際の音声に対するスペクトル重心に基づく裏声/表声判別のための指標値<sup>18</sup>の算出手順を示す。

まず録音（サンプルレート:44.1kHz）した歌唱音声を高域強調（プリエンファシス）した上で、

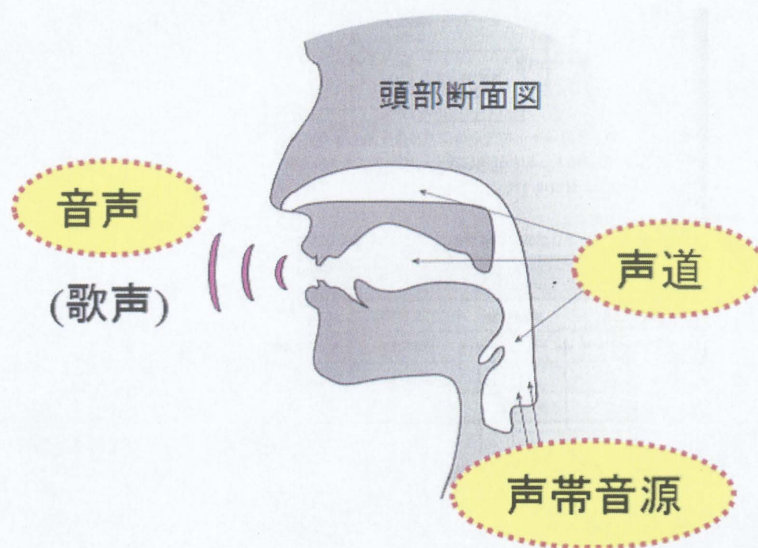


図 3.1: 人の発声過程の図

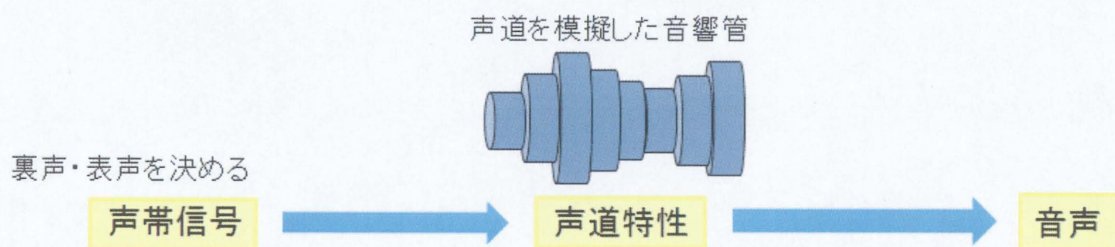


図 3.2: 声道モデルのイメージ図<sup>26</sup>

フレーム（フレーム長:23.2ms, 1024 サンプル）毎に切り出し、ハミング窓を掛ける（窓処理）。次にLPC分析（28次）により声道特性（フィルタ係数）を推定し、この声道特性の逆フィルタに音声信号を通すことで残差信号（ $\approx$  声帯音源信号）を得る。もちろん推定誤差を伴うため逆フィルタリングによって音声から完全に声道特性を除去できる訳ではない<sup>25</sup>が、一般に音声分析の分野ではLPC 残差信号は音声そのものよりも声帯音源信号に近いと考えられている<sup>24,25</sup>ため、分析ではこの残差信号を声帯音源信号とみなし、後述する基本周波数（ピッチ） $f_0$  やスペクトル重心  $f_g$  を求めることにした。

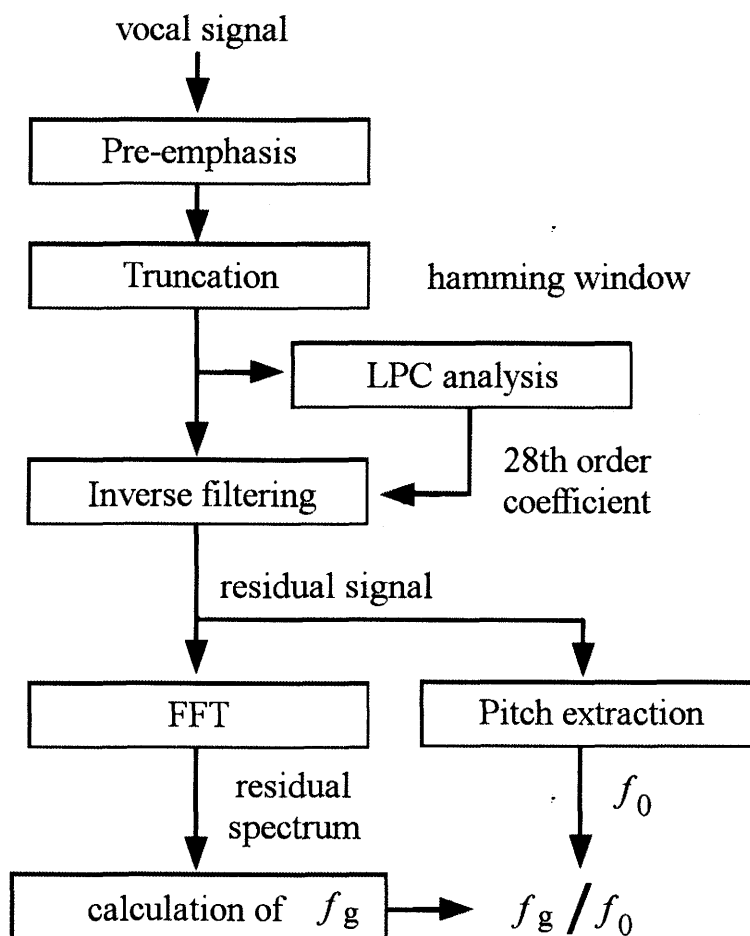


図 3.3: 線形分析法のフローチャート



### 3.2 スペクトル重心に基づく指標 $f_g/f_0$ の導入

裏声／表声判別指標を考えるにあたり、まず裏声と表声にはそもそもどのような違いがあるのかを説明する。

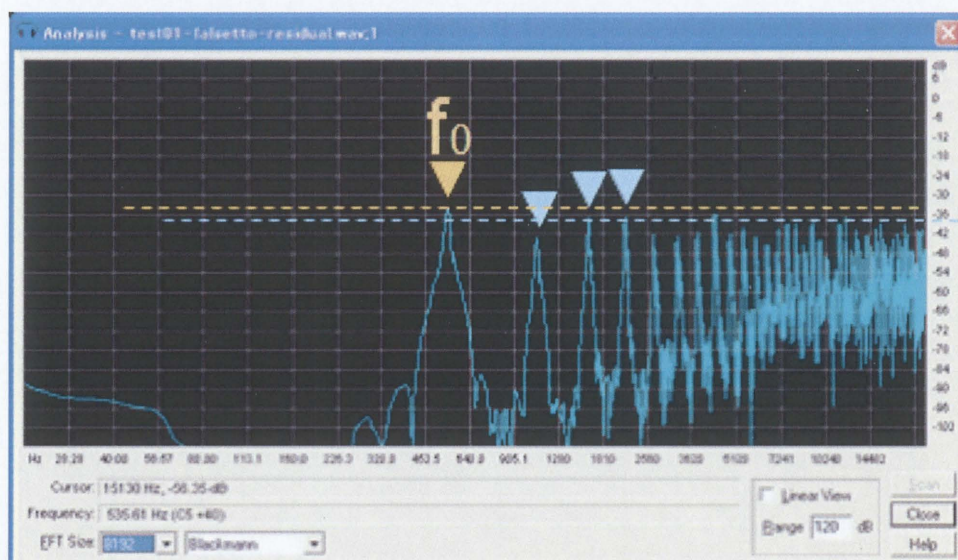


図 3.4: 歌唱音声「あ」の裏声のスペクトル

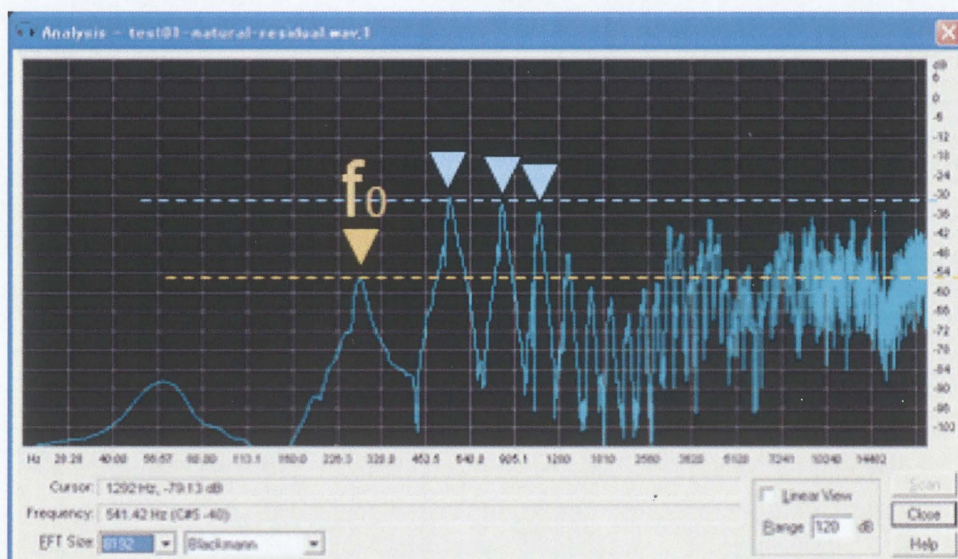


図 3.5: 歌唱音声「あ」の表声のスペクトル

図 3.4 と図 3.5 は声楽家の判定の下、それぞれ同じ人が母音「あ」を裏声と表声で発声した時の代表的な音声スペクトル（一例）である。これらの図より表声では基本周波数  $f_0$  と倍音（図中

の▽印)のエネルギー差が大きいのに対し、裏声では両者の差があまりなく基本周波数が表声に比して相対的に増加している傾向が認められる。このような特徴を捉えられるよう、次のような指標<sup>18</sup>

$$f_g/f_0 = \frac{\text{Spectral Moment } f_g}{\text{Pitch Frequency } f_0} \quad (3.1)$$

を導入した。この指標はスペクトル重心  $f_g$  を基本周波数  $f_0$  で割ったものである。ここでスペクトル重心  $f_g$  は、信号のパワースペクトル密度 (PSD)  $S(f)$  より

$$f_g = \int_0^{\infty} f S(f) df \quad (3.2)$$

で定義されるが、今回は音声の主要な帯域として 50~2500Hz の範囲で  $f_g$  を算出した。裏声では基本波が相対的に大きくなるため重心が低くなり値が小さく、逆に表声では重心が高く値が大きくなることを利用するものである。そこで、線形予測法で得た残差信号からピッチ  $f_0$  を推定すると共に、それを FFT して得られるパワースペクトルから重心  $f_g$  を求め、分析フレーム毎に  $f_g/f_0$  の指標値を算出した。

### 3.3 歌唱音声に対する $f_g/f_0$ の算出結果

歌唱音声には、YUBA メソッドのトレーニング初期段階 (Stage 1~3) における裏声と表声を、インストラクターの模範発声を被験者がまねて発声した音声を用いた。

- **Stage 1:** 最初に裏声 (模範発声と同音高) を発声し、次に表声 (模範発声と同音高) を発声することを 2 回行う
- **Stage 2:** 最初に裏声で様々な高さの音を 4 回発声し、次に表声で様々な高さの音を 4 回発声する
- **Stage 3:** 最初に裏声で「カエルの合唱」の短いフレーズを歌唱し、次に表声で「カエルの合唱」の短いフレーズを歌唱する

図 3.6 は、男声の発声例について、左から Stage 1~3 の音声を歌唱した時のピッチ (基本周波数)  $f_0$  [Hz] の変化 (上段) と、裏声判別指標  $f_g/f_0$  の変化 (中段)、裏声判別指標  $f_g/f_0$  のヒストグラム [%] (下段) を表示したものである。ここで上段・中段の図で縦にラインが引かれているの



は発声が裏声から表声に変わった時刻である。また、下段のヒストグラムは裏声歌唱時（青色）と表声歌唱時（赤色）をそれぞれ色分けして集計を行い、横軸が判別指標の算出結果で縦軸が裏声と表声それぞれで現れる割合を示している。ヒストグラムの形状を見ると意図通り裏声を歌唱した時は低い値に山ができ、表声を歌唱しているときは高い値に山ができていくことがわかる。これらの図より、Stage 1 では、裏声と表声歌唱時における判別指標  $f_g/f_0$  の値に開きがあり、はっきりと出し分けができていくことがヒストグラムからも分かる。次に Stage 2・3 の結果を見ると、表声歌唱時の判別指標  $f_g/f_0$  の値にバラつきが大きくなり、ヒストグラムの山が末広がりな形となっているが、表声・裏声発声時の重なりは少なく、出し分けができていくことが確認できる。

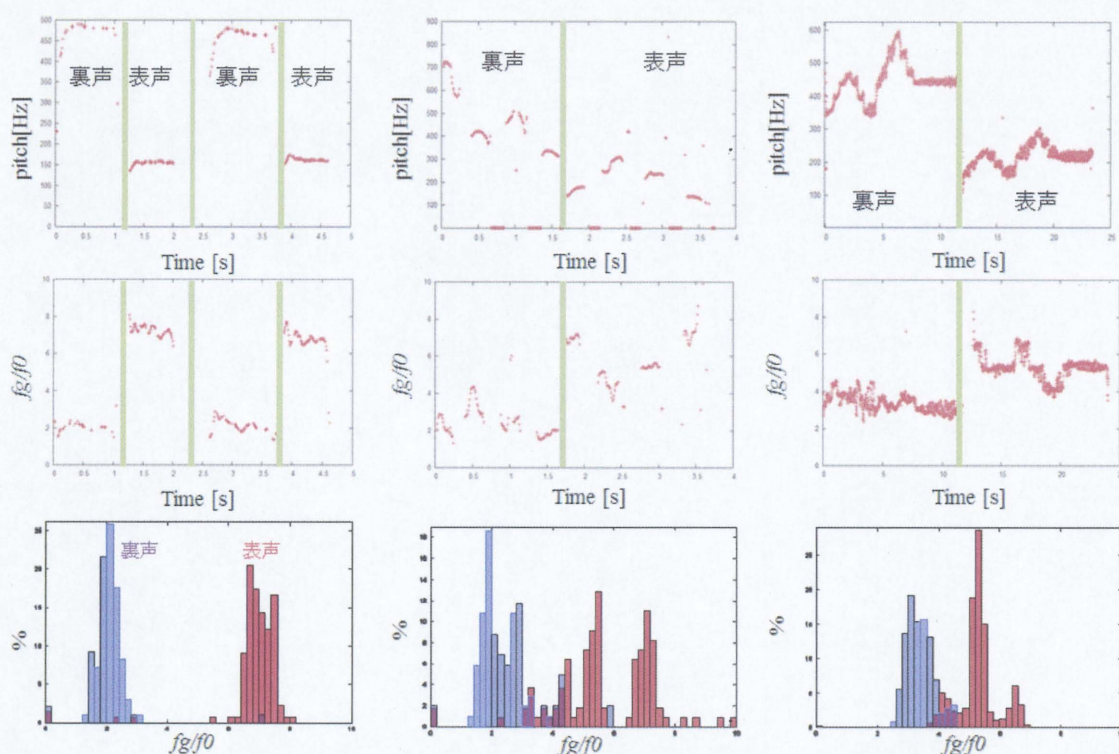


図 3.6: 男声被験者のピッチ変化と解析結果<sup>18</sup>

### 3.4 まとめと課題

本章では、YUBA メソッドのトレーニング初期段階 (Stage 1~3) における裏声と表声の出し分けの様子を発声音声のスペクトルから判別する指標として、声道特性を除去した音声の LPC 残差信号のスペクトル重心  $f_g$  をピッチ周波数  $f_0$  で除した値  $f_g/f_0$  を説明した。

YUBA メソッドを用いてトレーニング中に実際に収録した表声と裏声の発声音声に対してこの



指標を算出し、それぞれのヒストグラムを重ねて表示すると声の出し分けの様子を視覚的に捉えることができた。この指標を用いた解析結果を発声中の訓練者にリアルタイムに(現状では、収録後の音声に対して算出している)視覚情報としてフィードバックすれば、トレーニングの効果や効率を高めることができると考えられる。

## 第4章 トレーニングソフトウェア

ここまでの章でYUBA メソッドのトレーニング方法、裏声/表声判別指標について説明してきた。本章では、本研究で開発(試作)するソフトウェアの仕様とそれを用いたトレーニングの方法について説明する。

### 4.1 ソフトウェアの仕様

第1章で述べたように、従来の方法では、トレーニングから解析結果を確認するまでに、録音機器から録音データをコンピュータに移し、データの解析を行った後、トレーニングを受けた者に解析結果を見せていたため、時間が掛かってしまい、効率的なトレーニングが行えない状況であった。そのため、本研究では、従来の解析プログラムと録音を行うプログラムとを同期させ、録音と解析を同時に実行できるソフトウェアを試作した。従来の方法と比較すると、録音後すぐに解析を開始し結果を画面に表示できるため効率よくトレーニングが行えるようになった。また、歌唱トレーニングは図 4.1 のように、ノートパソコンにヘッドセットをつなぐだけで実行できるため、練習場所を選ばない。

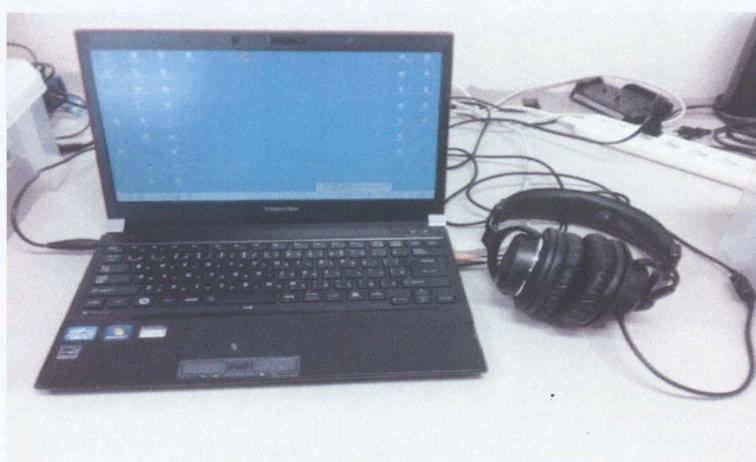


図 4.1: トレーニング機器

## 4.2 トレーニング方法

トレーニングは第2章で説明した YUBA メソッドのトレーニングの基礎である Stage 1 の裏声表声の出し分け部分について行う。トレーニングは以下の手順で進める。

1. ノートパソコンのデスクトップ上にあるトレーニングソフトウェアを起動する。
2. 性別によって異なった動画を視聴する。  
(動画は YUBA メソッドに基づいた発声方法の説明が流れる。)
3. トレーニング開始。トレーニングは、手本となる声に続きハイという合図の後に手本をまねて発声する。
4. トレーニング終了後に発声の解析結果が表示される。
5. 解析結果を確認後、次のトレーニングを行う。

以上のように、トレーニング後すぐに解析結果の表示を見て自分の発声を確認できるので、効率よくトレーニングが行える。

## 4.3 解析結果の表示

解析は、0.01 秒毎に音高（ピッチまたは基本周波数  $f_0$ ）と指標値  $f_g/f_0$  を算出する。なお、工学的には、ピッチは周波数 [Hz] で表すことが多いが、本研究では利用者が音楽に精通した人であることを考慮して周波数を MIDI#(MIDI note ナンバー) に換算して表示する。 $f_0$  から MIDI# への換算式は以下に示す通りである。

$$\text{MIDI\#} = 12 * \log_2 \left( \frac{f_0}{440} \right) + 69$$

MIDI#とは、0～127 の数字で音高を表すもので、鍵盤で半音上がるごとに MIDI#は 1 大きくなる。また、半音上がることを (MIDI# が 1 増すことを) 別の単位系のセント (cent) を用いて 100 セント高くなるともいう。図 4.2 は、MIDI#と周波数と鍵盤との対応を示したものである。

オクターブ	音名	MIDI#	周波数[Hz]	鍵盤
5	B	83	987.8	
	A#	82	932.3	■
	A	81	880	
	G#	80	830.6	■
	G	79	784	
	F#	78	740	■
	F	77	698.5	
	E	76	659.3	
	D#	75	622.3	■
	D	74	587.3	
	C#5	73	554.4	■
	C	72	523.3	
4	B	71	493.9	
	A#	70	466.2	■
	A	69	440	
	G#	68	415.3	■
	G	67	392	
	F#	66	370	■
	F	65	349.2	
	E	64	329.6	
	D#	63	311.1	■
	D	62	293.7	
	C#	61	277.2	■
	C	60	261.6	
3	B	59	246.9	
	A#	58	233.1	■
	A	57	220	
	G#	56	207.7	■
	G	55	196	
	F#	54	185	■
	F	53	174.6	
	E	52	164.8	
	D#	51	155.6	■
	D	50	146.8	
	C#3	49	138.6	■
	C	48	130.8	

図 4.2: MIDI#と周波数と鍵盤との対応



これら音高と指標値を用いてトレーニング後に表示する解析結果は、序論で述べたように5つある。以下にそれぞれの詳細を示す。

#### 4.3.1 指標推移図

1つ目は、発声に対して裏声/表声判別指標  $f_g/f_0$  の時間変化をプロットした指標推移図である。

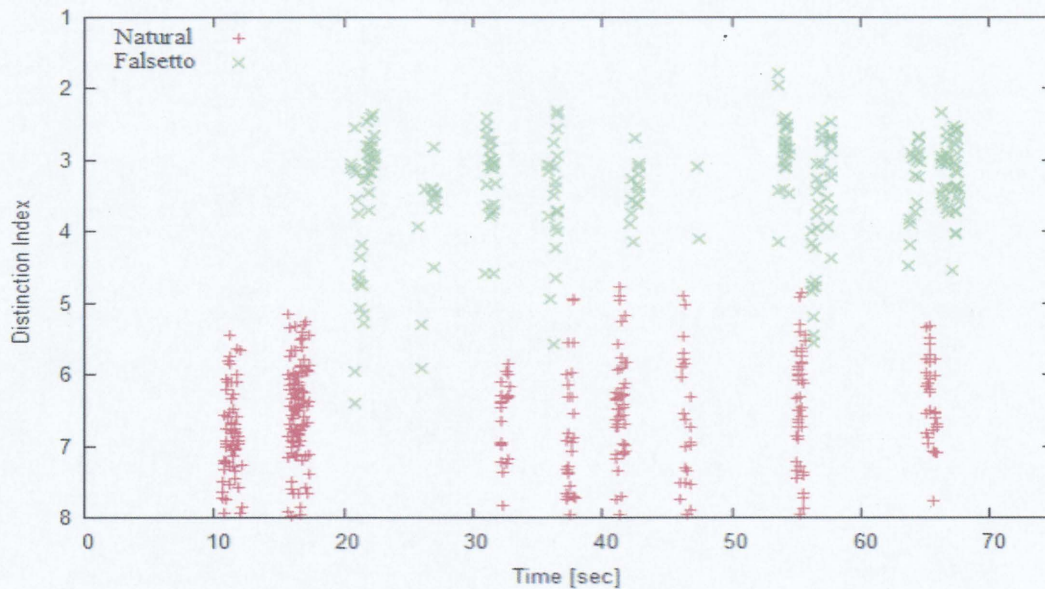


図 4.3: 指標推移図

図 4.3 は、実際に表示される指標推移図の例である。横軸は時間 [sec]、縦軸は式 (3.1) で算出される指標値  $f_g/f_0$  となっており、赤の点が表声時の発声の指標値、緑の点が裏声の発声時の指標値を示している。また、縦軸は前章でも示したように値が小さいほど裏声度合いの高い発声、値が大きいくほど表声度合いの高い発声ということを示している。ちなみに、裏声は高音で出すことが多く、そのイメージに合うように音楽関係者の意見を取り入れて、縦軸の目盛を上下反転させている。これより指標推移図では上に行くほど値が小さくなり裏声度合いが高い発声として描かれる。横軸が時間軸なので、どこで裏声または表声を出しているかを確認できる。

#### 4.3.2 ピッチ推移図

2つ目は、発声のピッチの時間推移をプロットした推移図である。

図 4.4 は、実際に表示されるピッチ推移図である。横軸は時間 [sec]、縦軸は音高 (MIDI#) を示したものとなっている。図中の黒い実線は手本の MIDI# を示しており、赤の点が表声のピッチ、

緑の点が裏声のピッチを示している。指標推移図と同様に横軸が時間軸のため、実線と発声を比較することにより、どこでピッチがずれているかを確認できる。

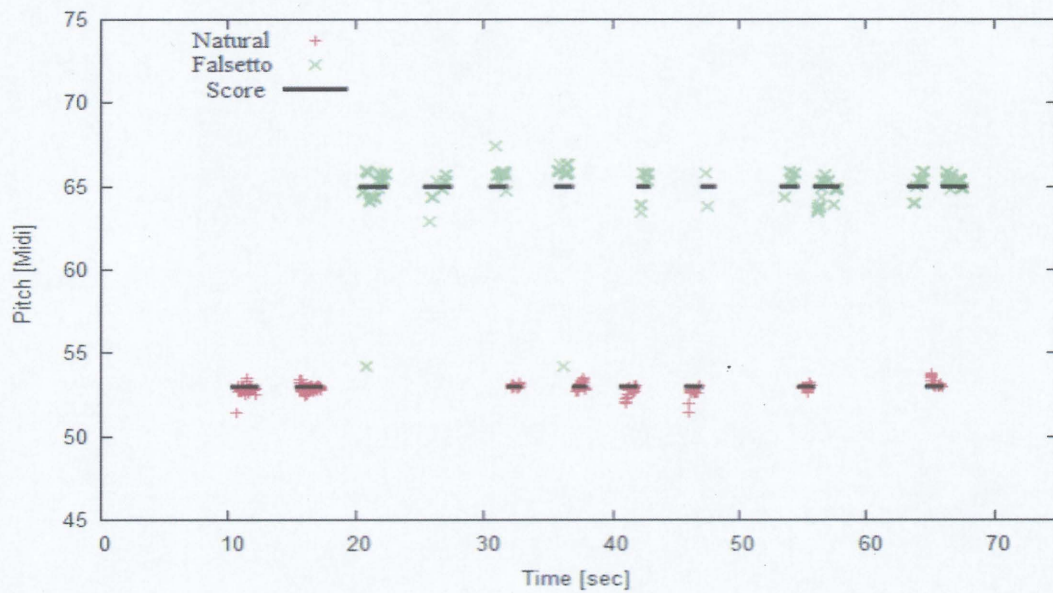


図 4.4: ピッチ推移図

#### 4.3.3 指標分布図

3つ目は、指標値図の裏声と表声別に累積度数曲線（分布関数）を描いた指標分布図である。

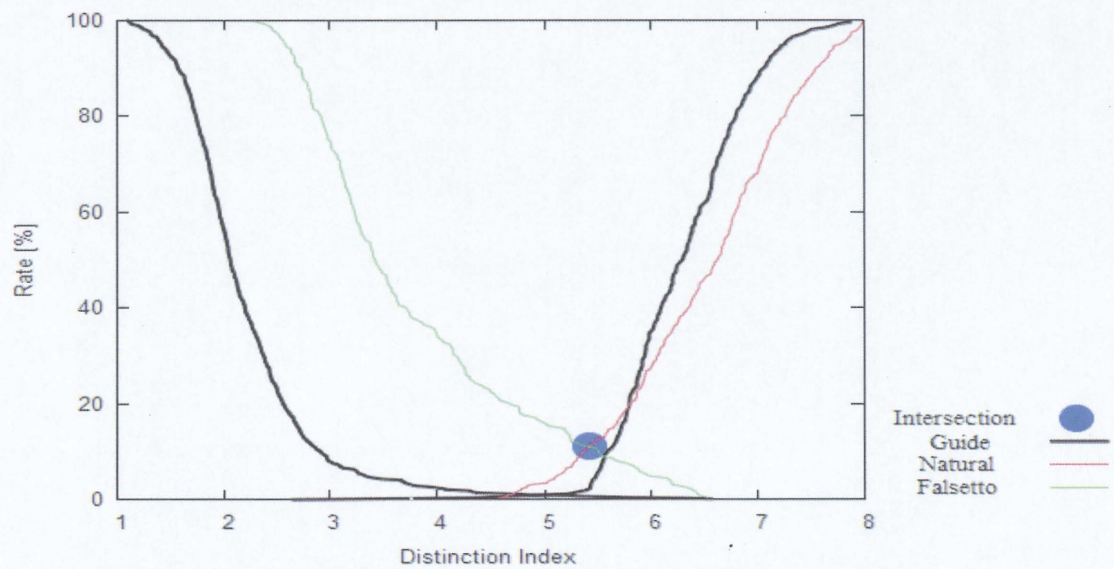


図 4.5: 指標分布図

図 4.5 は実際に表示される指標分布図である。横軸が指標値、縦軸が発声された割合を示しており、黒の実線が手本による発声の指標値を裏声と表声別に累積度数曲線で描いたもので、赤の線が実際に発声された音声のうち表声の指標値の累積度数曲線、緑の線が裏声の指標値の累積度数曲線を示している。また、青い点は2つの累積度数曲線（赤と緑の線）の交点を表している。これより、裏声と表声が混じっている発声ならばそれぞれの交点の位置が高くなり、逆に裏声と表声の出し分けがはっきりできている発声ならば、交点の位置が低くなるか、あるいは交点が生じないことになる。この図を見ることにより、手本のようにはっきり裏声と表声を出し分けて発声しているかを確認できる。

ここまでの3つの図より、実際のトレーニングでは指標推移図とピッチ推移図を見ながらにより発声状態を改善していき、指標分布図で手本と自分の発声を比較しながら行っていくように設計されている。次の2つの表示は解析結果による判定を数値化したものであり、被験者のモチベーションの向上を目的に追加した。

#### 4.3.4 ピッチエラー

4つ目の表示は、ピッチ推移図より算出した発声の音程の正確さを示すピッチエラーである。ピッチエラーは楽譜（手本）に対しての音のズレを数値化したもので楽譜のピッチと発声のピッチ  $f_0$  との差の絶対値平均誤差として算出されており、単位はセントである。図 4.6 に算出の概要を示す。ピッチエラーを確認することにより、発声音のズレを定量的に判断することができる。

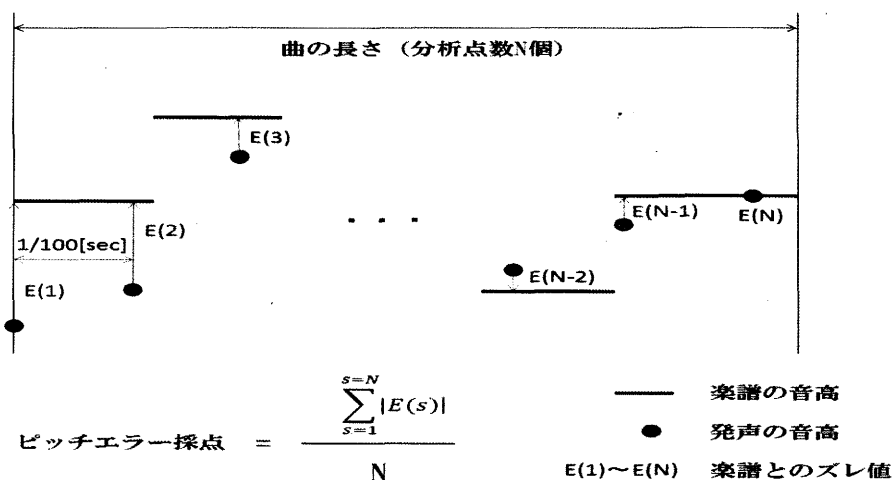


図 4.6: ピッチエラー算出の概略図



## 4.3.5 出し分けスコア

5つ目の表示は、発声の裏声と表声の出し分け度合いを得点化した出し分けスコアである。本研究において、新たに導入した評価値である。

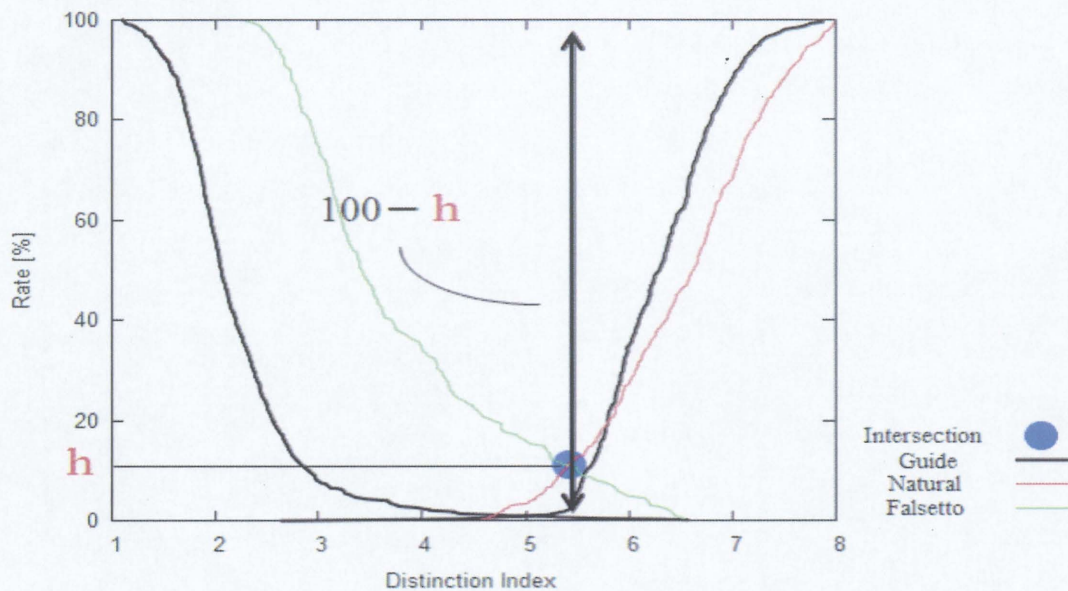


図 4.7: 裏声と表声の出し分けスコア算出方法

図 4.7 に示すように指標分布図の累積度数曲線の交点の高さ  $h$  から

$$\text{出し分けスコア} = \left( \frac{100 - h}{100} \right)^5 \times 100 \text{ [点]}$$

によってスコア（100 点満点）を算出する。 $h = 0$  で表声/裏声が手本通りに完全に出し分けられていればスコアは 100 点となる。算出式に含まれる乗数 5 はスコアがある程度ばらつくように試行的に設定した値である。このスコアの妥当性を検証するために裏声/表声が混じっている発声と出し分けがはっきりできている発声を、実際にこの方法で算出した結果を以下に示す。

図 4.8 は裏声と表声が混じっている場合の指標分布図であり、交点の位置が高くなり得点が低くなることが分かる。実際のスコアは 55 点と算出された。

次に、図 4.9 は裏声と表声の出し分けがはっきりできている場合の指標分布図であり、交点の位置が低くなり得点は高くなることがわかる。この場合のスコアは  $h = 0$  で 100 点と算出された。



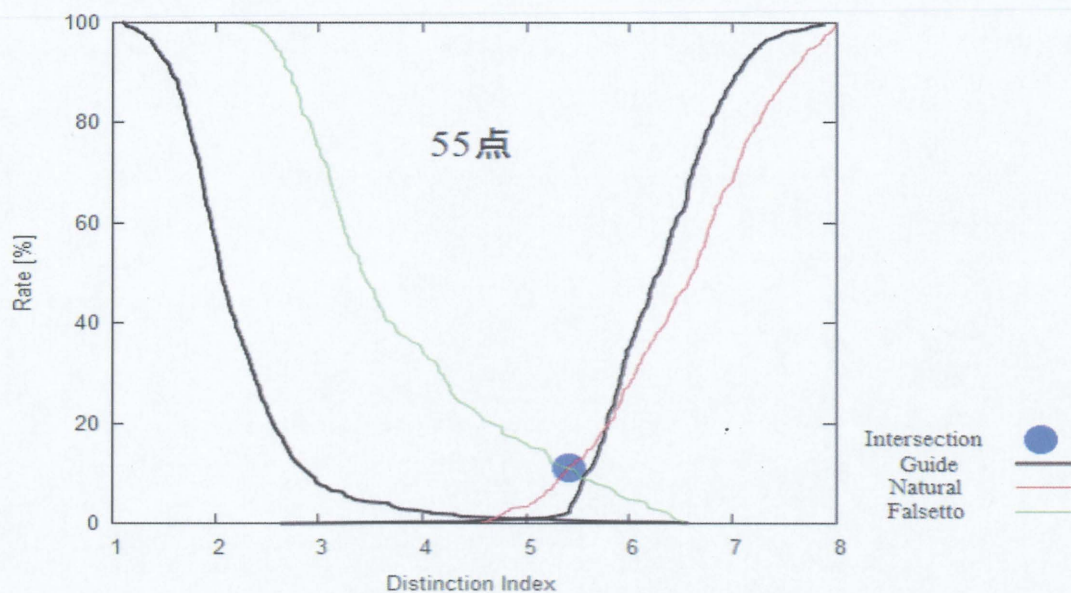


図 4.8: 裏声/表声の出し分けができていない例

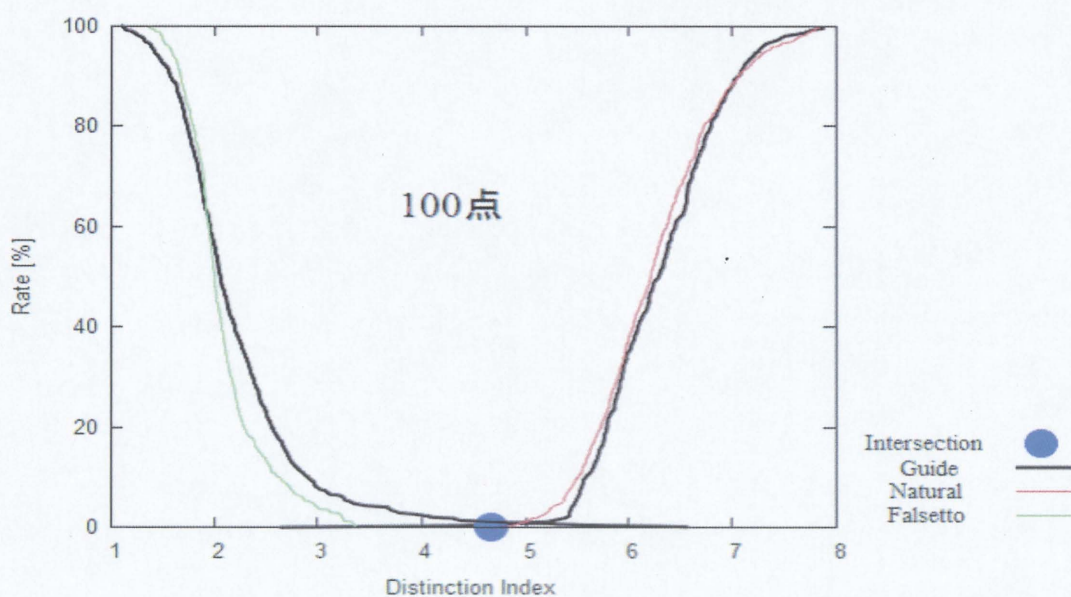


図 4.9: 裏声/表声の出し分けがはっきりできている例

このように裏声/表声の出し分けがはっきりできている発声とできていない発声を区別することができ、この採点を確認すれば、自分がしっかり発声できているかを確認することができる。

#### 4.4 まとめ

本章では、開発したソフトウェアの仕様と、それを用いたトレーニング方法について説明した。開発したソフトウェアは、録音と解析を同時に実行できるため、従来の方法より効率的にトレーニングできる。また、トレーニングはノートパソコンにヘッドセットをつなぐだけで行えるため、練習場所を選ばない。

また、視覚化によるトレーニングの効率化を図るために、指標推移図、ピッチ推移図、指標分布図の3つのグラフと、ピッチエラー、出し分けスコアの2つの採点結果を表示した。出し分けスコアは、本研究で新たに導入した指標である。裏声/表声が混じっている発声と表声/裏声の出し分けがはっきりできている代表的な発声をこの方法で指標化した結果、裏声/表声が混じっている発声は55点、裏声/表声の出し分けがはっきりできている発声は100点と算出された。

本章で述べたような、ピッチと裏声/表声の出し分けの判定・表示する装置やソフトウェアは現在のところ他では実用化されておらず、本研究が新規性を主張する部分である。

## 第5章 ソフトウェアによる視覚化の効果の検証実験

第4章では、YUBA メソッドを利用したトレーニング方法と、ソフトウェアの使用方法について述べた。本章では実際にソフトウェアの使用時と未使用時との比較実験を行い、ピッチと裏声/表声の出し分けの改善度にどのような差が生じるか、またソフトウェアの使用後のアンケート結果より、どの表示がトレーニングに役立ったのか考察する。そして、解析による判定と熟練者の耳での音声の判定結果を比較する。

### 5.1 比較実験の目的

前章ではソフトウェアの仕様やトレーニング方法について示したが、本章では、被験者（16名）にこのソフトウェアを実際に使用してもらい、解析結果の視覚化により、ピッチや裏声/表声の出し分けの改善度に差が生じるかを次節の比較実験により検証する。

### 5.2 実験方法

比較実験には開発したトレーニングソフトウェアを使用し、トレーニングは10回行ってもらった。また、被験者を前半5回に解析結果の表示があるグループ（A グループ8名）と、後半5回に表示があるグループ（B グループ8名）に分けて実施した。（図 5.1 参照）

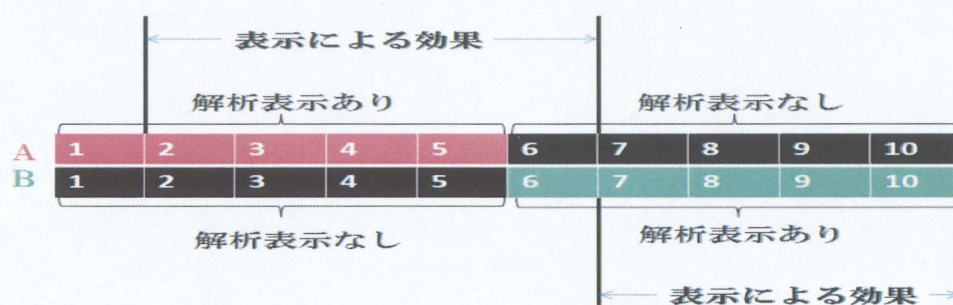


図 5.1: 被験者グループ分け

なお、解析結果は歌唱後に表示されるためその効果が現れるのは、A グループは2回目から6回目であり、B グループは7回目から10回目と予想される。最後に、トレーニング終了後、両グループに対してアンケートを実施する。アンケートの内容は図 5.2 に示す通りである。以上のような比較実験を行い、2 グループ間に音程や裏声/表声の出しわけの改善度の差が生まれるかを解析結果より検証し、アンケート結果よりどの表示がトレーニングの役に立ったのかを調査する。

### アンケート

1. トレーニングにより裏声/表声を出し分けがしやすくなりましたか？  
[ はい・いいえ ] (二択)
2. (1で「はい」と答えた人) ガイド音声を真似ることはトレーニングに役立ちましたか？  
[ はい・いいえ ] (二択)
3. (1で「はい」と答えた人) 音声の分析結果や採点結果の表示はトレーニングに役立ちましたか？  
[ はい・いいえ ] (二択)
4. (3で「はい」と答えた人) それぞれの表示項目についていずれかを選択してください。

指標推移図	: [とても役立った・役立った・役に立たなかった]
ピッチ推移図	: [とても役立った・役立った・役に立たなかった]
指標分布図	: [とても役立った・役立った・役に立たなかった]
ピッチエラー	: [とても役立った・役立った・役に立たなかった]
出し分けスコア	: [とても役立った・役立った・役に立たなかった]
5. 感想 (任意)

図 5.2: アンケート内容



### 5.3 アンケートの集計結果

トレーニングに関するアンケートの集計結果と被験者の意見について述べる。

アンケートの結果より、項目1「トレーニングにより裏声/表声を出し分けがしやすくなりましたか？」では16名中14名の被験者が「はい」と答え、項目2「ガイド音声を真似ることはトレーニングに役立ちましたか？」では14名中13名が「はい」と答えており、YUBAメソッドのガイド音声をまねるトレーニングは効果があると被験者自身が実感していることが分かる。(図 5.3)

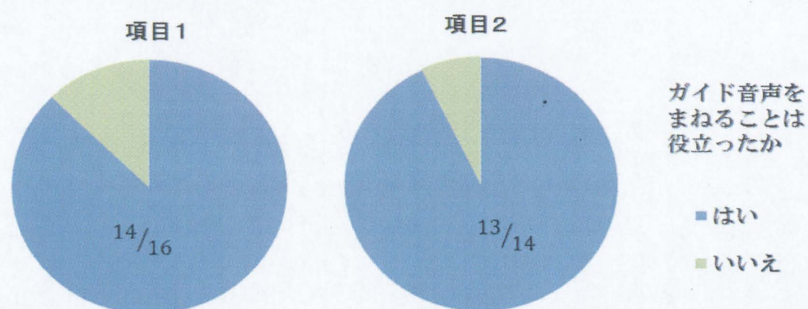


図 5.3: 項目 1,2 の集計結果

次に、項目3「音声の分析結果や採点結果の表示はトレーニングに役立ちましたか？」では14名全員が「はい」と答えていたので、項目4の部分について集計した結果を示す。ただし、項目1で「いいえ」を選択したものについては、項目4のすべての選択について「役に立たなかった」を選択したものとして集計した。

図 5.4 より、アンケートの集計結果は、すべての表示について7割以上が「(トレーニングの)役に立った」という感想であった。最も効果があったと考えられるのはピッチ推移図であり「役に立った」という意見が9割を越えた。また、本研究独自の指標分布図と出し分けスコアについては8割以上が「役に立った」という意見であり、解析結果を視覚化したことによってピッチや裏声/表声の出し分けの改善に効果があったと考えられる。

次に、項目5の感想(7件)を以下に紹介する。

- グラフを見てガイド音に近づけていくということが、わかりやすく楽しかった。
- 裏声の出し分けが、難しかった

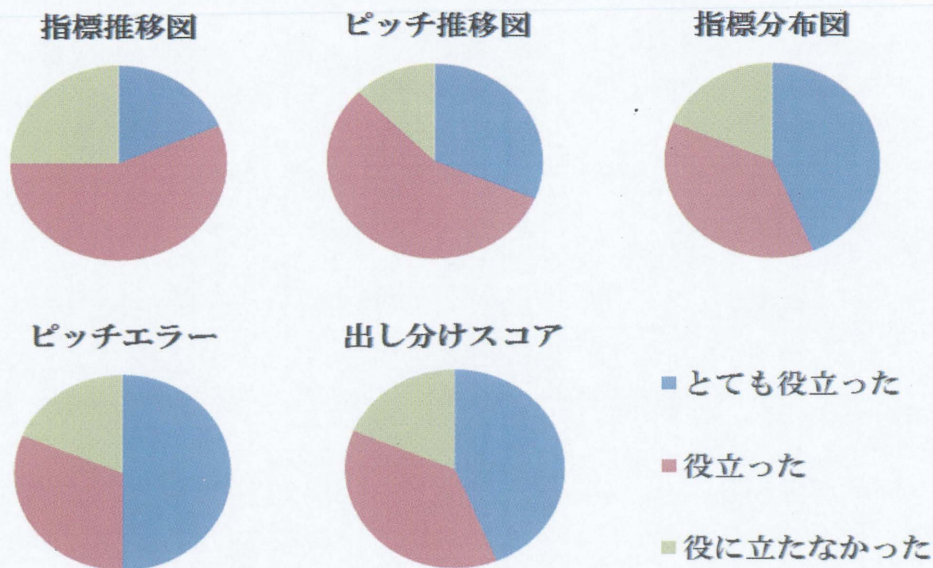


図 5.4: 項目 4 の集計結果

- 点数が出るのはモチベーションにも影響を与えると思うので、よかったです。
- ガイド音声をまねると、音程が合わせやすかったです。
- 回数が多く回を追うごとに、疲れた。
- 高音が難しく、グラフと合わない。
- 何度も発声しているうちに、声が出やすくなるのを感じました。

感想には、グラフや採点を見ることにより「楽しい」などの意見もあり、モチベーションに影響を与える効果が見てとれる。また、「回数が多く回を追うごとに、疲れた」とあるので、トレーニングの回数については再検討が必要と思われる。

## 5.4 解析結果の分析

解析はトレーニング 10 回すべてで行っており、被験者毎にピッチエラーと出し分けスコアの 2 つの採点結果を出している。それぞれにどのような傾向があるのか考察していく。

まず、ピッチエラーに関しては、トレーニング 1 回目（初期段階）のピッチエラーに対して 2～10 回目の改善度を算出し、グループ内で平均をとり A,B グループ間に改善度の差が生じているかを見る。図 5.5 は、実際にピッチエラーの推移をグループ別に整理した結果である。



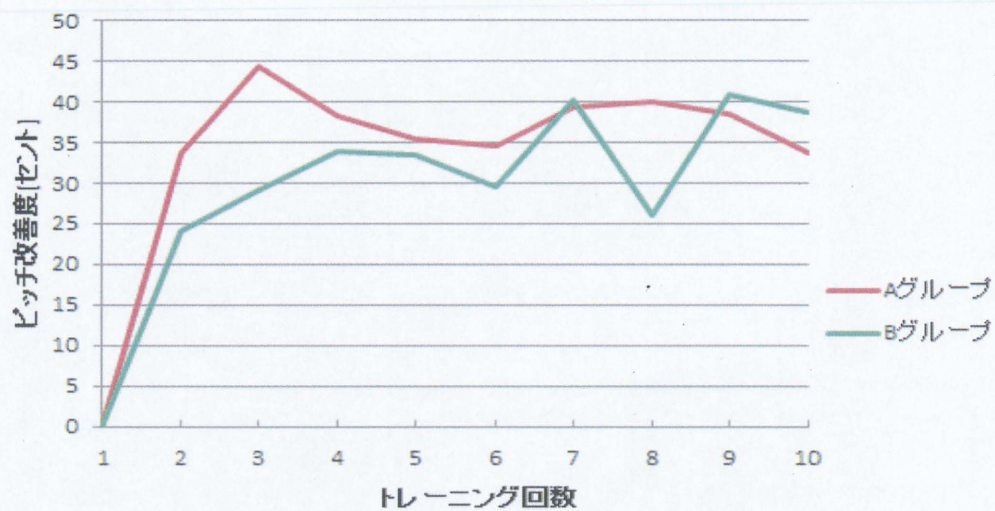


図 5.5: トレーニングによるピッチの改善度推移

この図によると、表示のない B グループに比べて表示のある A グループのトレーニング 2, 3 回目の改善度が大きい傾向があり、3 回目では両グループ間の差は 15 セントまで広がった。また、表示のある B グループのトレーニング 7 回目の改善度が大きくなっていることが分かる。しかし、後半になるにつれて上手く発声できるようになり、改善度の変化が小さくなる傾向が見られた。また、アンケート結果にもあったように「疲れた」などの意見もあり後半はあまり改善が見られない傾向にあると考えられる。

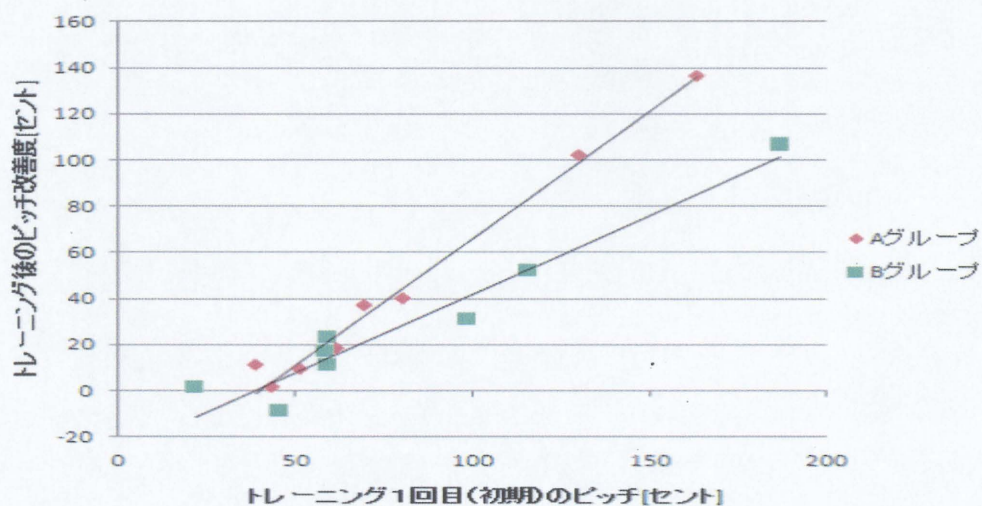


図 5.6: 個人別のピッチの改善度の傾向

図 5.6 は、トレーニング 1 回目のピッチエラーと最もグループ間の改善度の差が大きかったトレーニング 3 回目の改善度との関係を個人ごとにプロットしたものである。この図より、トレーニング 1 回目でピッチエラーが高い被験者ほど改善度が高く、初めからピッチエラーが 50 セント以内で歌えている被験者はほぼ正しく歌えている状態であり、改善の幅が狭く、それ以上の改善があまり見られないことが分かる。この図においても、表示のある A グループの方が B グループに比べて改善度が大きいため、近似直線の傾きが急になっていることが確認できる。

次に裏声/表声の出し分けスコアについては、ピッチエラーと同様の方法でどのような傾向があるかを見る。図 5.7 は、実際に出し分けスコアの推移をグループ別に整理した結果である。

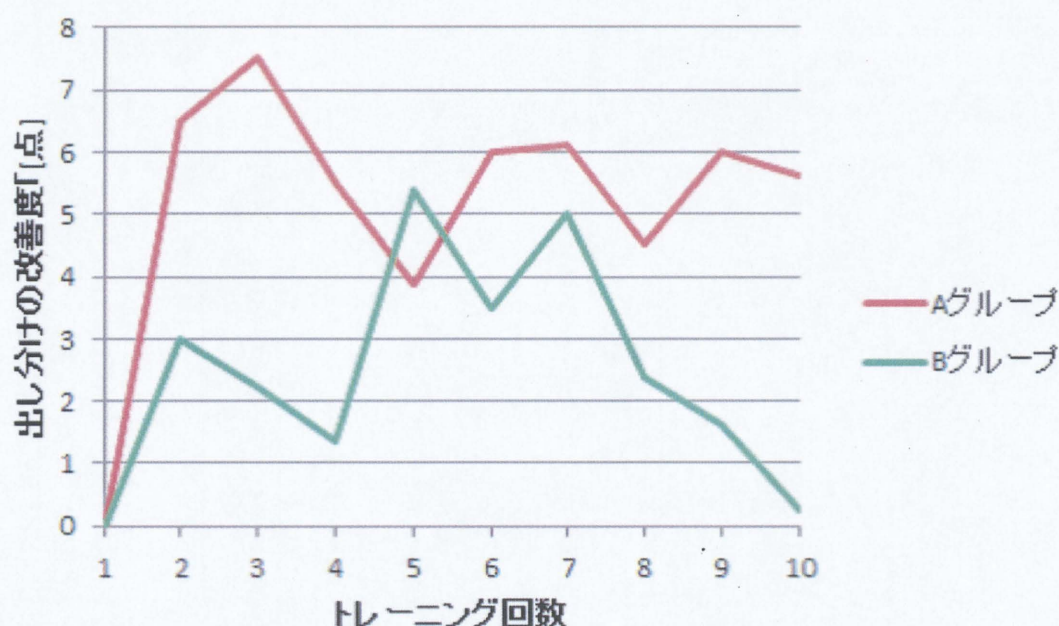


図 5.7: トレーニングによる裏声/表声の出し分け改善度推移

この図より、ピッチエラーと同様、表示のない B グループに比べて表示のある A グループのトレーニング 2, 3 回目の改善度が大きい傾向がみられるが、被験者の半数以上の出し分けスコアが 95 点を越えているため、両グループ間の差は僅かである。図 5.8 も同様に、トレーニング 1 回目のスコアとトレーニング 3 回目の改善度との関係を表したものである。こちらも A グループの方が改善度が大きい傾向がみられ、1 人の改善度が特に大きい (39 点付近) ため、A グループの近似曲線の傾きが大きくなっているように見える。以上のように、本研究で提案した出し分けスコアの採点方法では当初の想定よりも得点が高く出てしまったため、個人間の差が分かり難い結果



となった。したがって、今後は個人間の差が明確になるようなスコアの算出方法に改良していく必要があると思われる。

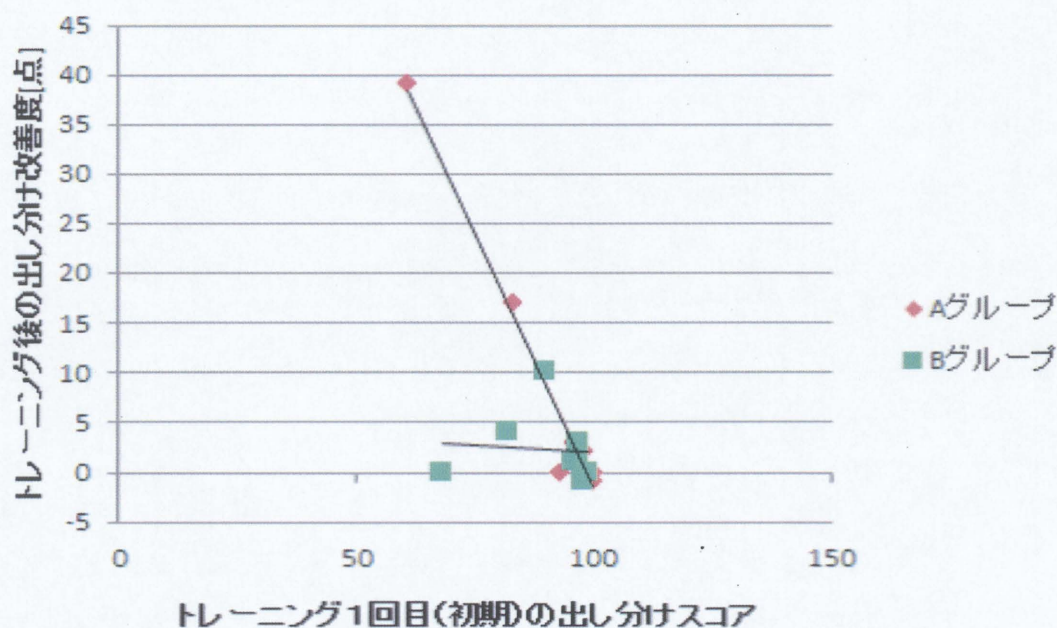


図 5.8: 個人別の出し分け改善度比較

以上ピッチエラーと裏声/表声出し分けスコアのいずれにおいても、表示があるグループの方が改善度が高い傾向が見られた。本実験の統計では被験者数が少なく個人による影響が大きいため、表示による差が有意であると判定までは確認できなかった。そのため、歌を上手く歌えないという被験者を集めて今後も継続的に検証を進める必要がある。

## 5.5 解析による判定と熟練者の耳による判定の比較

前節では、表示のないBグループに比べて表示のあるAグループのトレーニング3回目の改善度が大きい傾向が見られた。そこで、実際に熟練者の耳での判断でも同様の傾向が見られるかを聞き取り調査を行い確認した。

### 5.5.1 聞き取り調査方法

すべてのトレーニング音声の聞き取り調査をすることは膨大な時間を要してしまうため、実験は5人の熟練者に16名分のトレーニング1回目と3回目の音声(計32回分)をランダムに聞いて

もらい、裏声と表声のそれぞれをピッチと出し分けの項目でフレーズ毎に採点してもらう。採点は2点満点で、ピッチについて

1. 半音以上ずれているは0点
2. 許容できる範囲で合っているは1点
3. (ほぼ) 完璧にあっているは2点

出し分けについて

1. 発声できていないは0点
2. 不安定な発声になっているは1点
3. 安定して発声ができているは2点

のように採点した。この採点結果を全フレーズ（裏声については10フレーズ、表声については8フレーズ）について集計し、裏声と表声をそれぞれ50点満点に換算した上で合計100点満点の採点とする。

### 5.5.2 聞き取り調査結果

解析結果と同様に、トレーニング1回目の採点に対する3回目の採点の伸びのグループ平均で考察していく。まず、ピッチに関しては図5.9の傾向が見られた。5人の熟練者すべてが、表示の

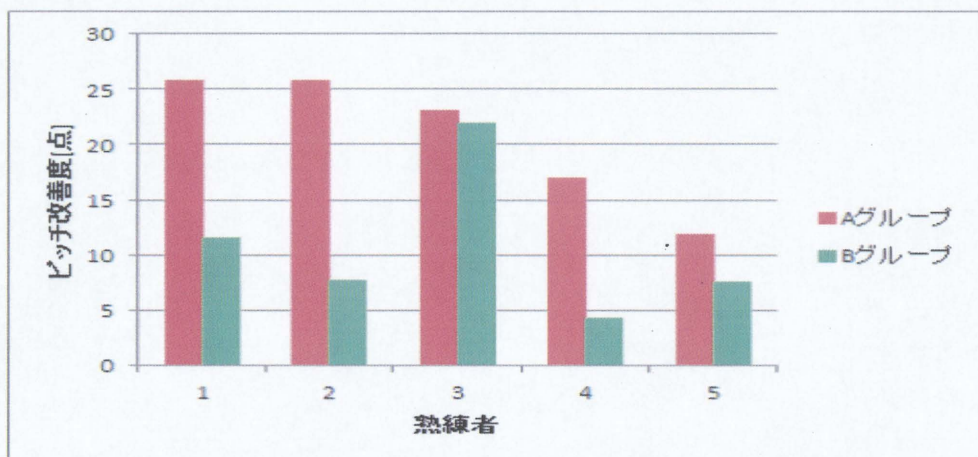


図 5.9: 熟練者の耳によるピッチ採点



ある A グループの方が、表示のない B グループよりも改善度が大きいことを示す採点結果であった。この結果は、解析結果の傾向と同様である。

また、裏声/表声の出し分けに関しては図 5.10 の傾向が見られた。ピッチと同様に、表示のあ

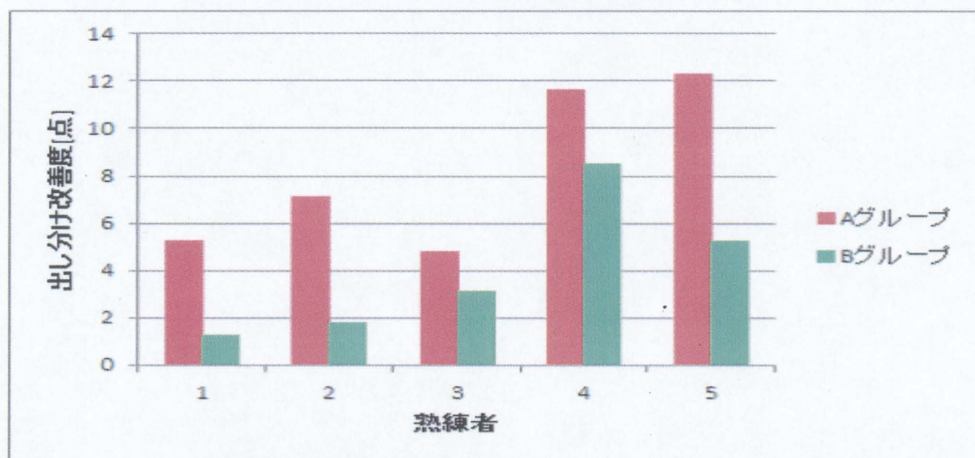


図 5.10: 熟練者の耳による裏声/表声出し分け採点

る A グループの方が、表示のない B グループよりも改善度が大きいことを示す採点結果であった。

以上の結果からもわかるように、やはり解析結果の表示によりピッチ、裏声/表声の出し分けの改善が大きいことが分かる。しかし、少数ではあるが、個人別に熟練者の判断と解析結果を比較すると、裏声/表声の出し分けの判定が逆転してしまう例もあり、トレーニングソフトウェアの出し分けスコアの算出方法を改善する必要がある。

## 5.6 まとめと課題

本章ではソフトウェアを用いて、判定結果を前半のトレーニング5回で表示したグループと後半のトレーニング5回で表示したグループの2グループに分けて比較実験を行った結果について、両グループ間にトレーニング効果の差が生じるかを、アンケートと解析結果の分析を行い調査した。

アンケート結果からは、「(トレーニングの)役に立った」という意見がどの表示も7割を越え、本研究の目的でもある指標分布図と出し分けスコアについては8割を越えた。また、楽しいなどの意見もあり、モチベーションに影響を与える効果もあると考えられる。しかし、トレーニングを行うにつれて疲れたという意見もあり、表示方法とトレーニングの回数を減らした方がいいのかなどの検討をしなければならない。

録音データの解析結果の分析によれば、ピッチエラーについて、表示のあるグループの改善度が2〜3回目で大きくなる傾向がみられ、特に3回目では表示があるグループの方が表示のないグループに比べて平均で15セント改善が見れた。また、出し分けスコアについても同様に、被験者の半数以上が95点以上を越えているため両グループ間の差は僅かであるものの、表示があるグループの方が改善度合いが高い傾向が見られた。

解析結果と熟練者の耳による判定を比較した結果、どちらもピッチ、裏声/表声の出し分けの両方とも表示があるグループの方が改善度合いが高い傾向が見られた。

今後の課題としては、現在の裏声/表声の出し分けスコアが、熟練者の耳による判断と一致しない部分があるため、スコアの算出方法を改善する必要がある。また、本実験の被験者は16名と少なく、表示による効果の差に有意差があると判定できていないため、被験者を増した実証実験も必要である。

## 第6章 総括

本研究は三重大学教育学部教授弓場徹が提唱する歌唱トレーニング法である YUBA メソッドを用いて、使用者の発声の判定結果（ピッチ、裏声と表声の判別）を画面表示し、個人で効率よくトレーニングを行えるソフトウェアの開発を目的とした。

第1章では、上述の本研究の背景・目的について説明を加えた。

第2章では、ヒトの音声の特徴とともに研究の遂行に必要となる裏声・表声の発声メカニズムと歌唱トレーニング法『YUBA メソッド』について概説した。

第3章では、YUBA メソッドのトレーニングにおいて、客観的に自分の音声は裏声なのか表声なのか（裏声らしいのか表声らしいのか）が判断できるように、裏声・表声発声時のスペクトル波形構造の違いに注目した裏声／表声判別指標について説明した。スペクトル構造の違いより、表声では基本周波数  $f_0$  と倍音のエネルギー差が大きいのに対し、裏声では両者の差があまりなく基本周波数が表声に比して相対的に増加している傾向が認められたため、この特徴を捉えられるよう、次のような指標

$$\frac{f_g}{f_0} = \frac{\int_0^{\infty} f S(f) df}{f_0}$$

を導入した。

第4章では、ソフトウェアの仕様とトレーニング方法について説明した。トレーニングの効率化を考え、指標推移図、ピッチ推移図、指標分布図の3つの図とピッチエラーと出し分けスコアの2つの採点を導入した。出し分けスコアは独自の方法により算出した得点である。

第5章では、実際にソフトウェアを用いて判定結果を前半のトレーニング5回で表示したグループと後半のトレーニング5回で表示したグループの2グループに分けて比較実験を行った結果について、両グループ間にトレーニング効果の差が生じるのかを調査した。アンケート結果からは、本研究の目的でもある指標分布図と裏声/表声出し分けスコアについて「(トレーニングの)役に立った」という意見が8割を越えた。また、楽しいなどの意見もありモチベーションに影響を与える



効果もあると考えられる。しかし、トレーニングを行うにつれて疲れたという意見もあり、最適な表示方法やトレーニングの回数などについてはさらに検討を加える必要がある。録音データの解析結果の分析は、両グループ間で効果に最も差が出ると考えられるトレーニング3回目について注目した。ピッチエラーについては、表示があるグループの改善度が表示のないグループに比べて平均で15セント改善された。また、出し分けスコアについては、被験者の半数以上が95点以上（100点満点）を越えているため両グループ間の差は僅かであるものの、表示があるグループの方が改善度合いが高い傾向が見られた。そして、解析結果と熟練者の耳による判定の比較でも、どちらもピッチ、裏声/表声の出し分けに関して解析結果の表示があるグループの方が改善度合いが高い傾向が見られた。

このように、トレーニング中に音声の解析結果を画面に表示させることは、トレーニングを進める上で有用であると考えられる。

今後の課題としては、現在の裏声/表声の出し分けスコアが、熟練指導者の耳による判断と一致しないことから、得点化の方法も含めて算出方法を見直すとともに、被験者を増した実証実験を積み重ねることが挙げられる。また、本研究のトレーニングソフトウェアの普及を目的に、このソフトのスマートフォンアプリへの実装を期待したい。

## 第7章 謝辞

本研究の遂行及び本論文作成に際し、終始多大なる御指導並びに御助言を賜った竹尾隆教授、野呂雄一准教授、歌唱トレーニング法についての御助言と御協力を賜った弓場徹教授に心より感謝の意を表します。また、本研究のために御協力下さった山本好弘技官並びに院生、大久保友加里氏、池天沢氏、ブラザー工業株式会社 青木彦治氏、阿瀬見典昭氏、株式会社エクシング 北村秀仁氏、学部生諸氏に深く御礼申し上げます。

## References

- <sup>1</sup>テレビ番組『すイエんサー』NHKEテレ (2012)
- <sup>2</sup>テレビ番組『元気家族テレビ となりのマエストロ』MBS 毎日放送 TBS 系列 情報バラエティ番組 (2010)
- <sup>3</sup>テレビ番組『DON!』日本テレビ (2010)
- <sup>4</sup>テレビ番組『シルシルミシル』テレビ朝日 (2010)
- <sup>5</sup>換声点ショックの起こる音域 (弓場の造語, 2014)
- <sup>6</sup>弓場徹『奇跡のボイストレーニング BOOK (CD 付)』(主婦の友, 2004)
- <sup>7</sup>弓場徹『奇跡のハイトーンボイストレーニング (プログラム CD 付)』(主婦の友, 2006)
- <sup>8</sup>弓場徹『CD をまねるだけ! 歌のうまい子になる超簡単ボイストレーニング (CD 付)』(朝日新聞出版, 2010)
- <sup>9</sup>弓場徹, 他『合唱指導一悩みと疑問大解決』(音楽之友社)
- <sup>10</sup>弓場徹, 他『JOHNS「音楽・音声・環境音ー音の世界と耳鼻咽喉科」』(東京医学社)
- <sup>11</sup>弓場徹, 他『耳鼻咽喉科・頭頸部外科クリニカルトレンド Part3』(中山書店)
- <sup>12</sup>弓場徹『「歌う筋肉」 男声編』(ビクターエンタテインメント)
- <sup>13</sup>弓場徹『「歌う筋肉」 女声編』(ビクターエンタテインメント)
- <sup>14</sup>弓場徹『YUBA メソッド 初級ボイストレーニング編 あっという間に歌上手 1』(フィークジャパン株式会社, 2009)
- <sup>15</sup>弓場徹『YUBA メソッド 中級ボイストレーニング編 驚異のカラオケ上達法 1』(フィークジャパン株式会社, 2009)
- <sup>16</sup>弓場徹『「YUBA メソッド」による新発声指導法 1 歌う筋肉の秘密』(ビクターエンタテインメント, 2007)
- <sup>17</sup>弓場徹『「YUBA メソッド」による新発声指導法 2 歌う筋肉強化トレーニング 変声前児童 (小学生) & 女声用』(ビクターエンタテインメント, 2007)
- <sup>18</sup>弓場徹『YUBA メソッド』による新発声指導法 3 歌う筋肉強化トレーニング 混声用 (中学校・高等学校)』(ビクターエンタテインメント, 2007)
- <sup>19</sup>福島結香, スペクトル構造に基づく表声/裏声判別指標に関する検討, 日本音響学会 2011 年秋季研究発表会, (2011.9).
- <sup>20</sup>荻安誠, 城本修『改訂 音声障害』(建帛社, 2012)

- <sup>21</sup>講演『YUBA メソッドによるボイストレーニング法～音声障害にならないための声作り』日本  
吟剣詩舞振興会主催 東日本指導者研修会 (2011)
- <sup>22</sup>平山健太郎, “ポピュラー音楽の歌唱を対象とする高音域発声評価システムの構築”, 第 73 回全国  
大会講演論文集, p277 - 279 (2011, 03, 02)
- <sup>23</sup>郡司隆男, 西垣内泰介, 「ことばの科学ハンドブック」(研究社, 2004)
- <sup>24</sup>青木 直史, 「音のプログラミングと MATLAB(Octave・Scilab) における実際デジタル・サウ  
ンド処理入門」(CQ 出版社)
- <sup>25</sup><http://home.kanto-gakuin.ac.jp/~hirasaka/book/c4.pdf>
- <sup>26</sup><http://www.aist-nara.ac.jp/~sawatari/>