

歌声の習熟度に関連する周波数特性に基づく 音響特徴量の特定個人の長期的変化

吉田 祥^{†1} 香山 瑞恵^{†1} 池田 京子^{†2} 山下 泰樹^{†3} 伊東 一典^{†1} 浅沼 和志^{†4}

概要: 本研究では、歌声の響きに関連する周波数特性の強度や割合の定量化を検討し、歌声評価指標として提案することを目的としている。これまでの研究で、心理的印象に影響を与える音響特徴量が歌唱指導により変化することが確認されている。また、この音響特徴量を評価するための声楽初学者に特化した歌唱評価指標を検討してきた。本稿では、これらの成果をふまえ、既提案指標の妥当性を再度検討した上で、声楽を専門に学ぶ特定個人の長期間での歌声変化解析への適用を試みる。その結果と声楽指導者の主観的評価との相違を考察した結果、声楽指導者の主観的評価と定量化した指標との相関が確認されたことから、歌声の習熟度を評価する指標としての可能性を見出した成果について述べる。

キーワード: 歌声, 周波数特性, 歌唱評価指標, 音響特徴量, 特定個人, 定量化, Singer's formant

Individual long term changes of singing acoustic features based on frequency features related to skill-development of singing voice

Sho YOSHIDA^{†1} Mizue KAYAMA^{†1} Kyoko IKEDA^{†2}
Yasuki YAMASHITA^{†3} Kazunori ITOH^{†1} Kazushi ASANUMA^{†4}

Abstract: The purpose of this study is to develop metrics for singing skill based on acoustic features of singing voice. In this paper, we focus on Singer's Formant ratio (SFR), peak sharpness of the Singer's formant (Q-factor), and Second Convex of LPC spectrum as acoustic features of the singing voice. Two experiments have been conducted to confirm the validity of these metrics. As the result, we show the evidence to detect of skill development with these metrics for different two groups (novice singers and professional singers). Then, we have clarified the skill development of two novice singers in two years training.

Keywords: Singing Voice, Features of frequency, Metrics for Singing Voice, Acoustical Features, Personalized, Quantification, Singer's formant

1. はじめに

歌声研究分野において、歌唱力と音響特徴量の関係について長年に渡って検討がなされている。物理的に良い声とされている条件に関する研究や不快な歌声の音響特徴量に関する調査など歌唱の習熟度と音響特徴量の関係した研究が数多くある^[1,2]。しかし、これらの研究はプロ歌手を対象としたものが多く、声楽初学者の歌唱指導と各音響特徴量の関係についてまだ議論が十分にされていない。

また、歌声は特異なスペクトル形状を持つことが知られている。その1つとして、歌声の3kHz付近のスペクトルピークがあり、Singer's formant と称される^[1,5]。これは母音によらず一定で、男女に関わらず「響く声」「艶のある声」を特徴付けるといわれる。また、典型的な良い歌声の条件

としてビブラートやSinger's formantの存在が指摘されており、これらを有することにより「歌声らしい」という聴感的印象となる^[4]。

本研究では、歌声の響きに関連する周波数特性の強度や割合の定量化を検討し、歌声評価指標として提案することを目的としている。これまでの研究で、心理的印象に影響を与える音響特徴量が歌唱指導により変化することが確認されている^[6]。また、この音響特徴量を評価するための声楽初学者に特化した歌唱評価指標としてSinger's formantの強度と割合の定量化を行ってきた。そして、これらが初学者とプロ歌手の歌声分析から、いずれかもしくはその両方の上昇が声楽の上達に必要なことが分かっている^[8]。本稿では、これらの成果をふまえ、既提案指標の妥当性を再度検討した上で、声楽を専門に学ぶ特定個人の長期間での歌声変化解析への適用を試みる。

2. 本研究で用いる評価指標

本章では、本研究での歌声分析における歌声評価指標について述べる。ここでは歌声音声に含まれる周波数成分から習熟度に関係すると思われる響きの有無や程度について

^{†1} 信州大学工学部
Faculty of Engineering, Shinshu University

^{†2} 信州大学教育学部
Faculty of Education, Shinshu University

^{†3} 長野県工科短期大学校
Nagano Prefectural Institute of Technology

^{†4} 国立長野工業高等専門学校
National Institute of Technology, Nagano College

検討するため、高次 (2.4~4.0 kHz) の倍音に着目する。本研究では、この帯域の周波数成分の割合と強さを定量化した結果を歌声評価指標とする。

2.1 周波数成分の割合

歌声データに対する高速フーリエ変換 (Fast Fourier Transform : FFT) の結果に基づき、高次倍音成分の割合を算出する。歌声データの FFT により基本周波数と倍音がピークとして現れる。FFT の分析条件を以下に示す。

窓関数 : ハミング窓, フレーム周期 : 10 ms, 窓長 : 30 ms
 FFT 後のデータにおける振幅スペクトル特性の大きさを d とすると、RMS 値は式(1)により求められる。

$$\text{RMS} = 10^{\left(\frac{d+80}{20}\right)} \quad (1)$$

RMS から歌声の Singer's formant が含まれるとされる 4.0 kHz までの帯域成分のうち、2.4~4.0 kHz の帯域の合計値の割合を SFR とする。以下の式(2)で算出する。

$$\text{SFR} = \frac{\text{2.4~4.0 kHz の RMS 値の合計}}{\text{4.0kHz までの RMS 値の合計}} \times 100 \quad (2)$$

2.2 周波数成分の強さ

2.2.1 LPC 包絡線の算出方法

歌声に対する LPC 包絡線から高次倍音成分の強さを算出する。LPC 包絡線は以下の手順で求めるものとする。

- I. 音声データを読み込む。
- II. 音声波形の中心部分を切り出す。波形 x とする。
- III. プリエンファシスフィルタをかける。
- IV. ハミング窓をかける。
- V. LPC 次数 12 として、FFT のサンプル数 N 、自己相関関数のサイズを τ として、波形 x の自己相関 r を以下の式(3)で求める。

$$r(\tau) = \frac{1}{N-\tau} \sum_{k=0}^{N-1-\tau} x_k x_{k+\tau} \quad (\tau=0,1,\dots,\tau_{\max}) \quad (3)$$

- VI. 自己相関 r を用いて、LevinsonDurbin アルゴリズムから LPC 係数を算出する。

手順IIIではプリエンファシスフィルタを用いる。このフィルタは、音声のスペクトルの平坦化しダイナミックレンジを圧縮することで実効的な SNR を高める。また、手順Vの自己相関関数は先行研究^[7]での分析時の計算式とは異なり、サンプル数から自己相関関数のサイズを減じた値で除算することとした。

2.2.2 Q 値

2.2.1 項に示した手順で求められた LPC 包絡線を用いて、倍音成分の強さとしての Singer's formant の鋭さを算出する。LPC 包絡線における Singer's formant の鋭さを Q 値とする。2.4~4.0 kHz の帯域において、最大ピークの周波数を f_a 、

ピークの両側に -3 dB となる周波数を f_b, f_c ($f_b > f_c$) として、Q 値を以下の式(4)で算出する。

$$Q = \frac{f_a}{f_b - f_c} \quad (4)$$

2.2.3 2 凸

声楽初学者の場合、Singer's formant 帯域の成分が十分でなく、Q 値が算出しづらいことがわかっている^[7]。そこで、3 kHz 付近のピークの高さを Q 値に代わる指標とすることとした。図 1 にこの指標の求め方を示す。縦軸は周波数成分の強度の相対レベル、横軸は周波数を表す。Singer's formant が含まれるとされる帯域のピークとそのピークの直前にある谷との差を 2 凸とする。

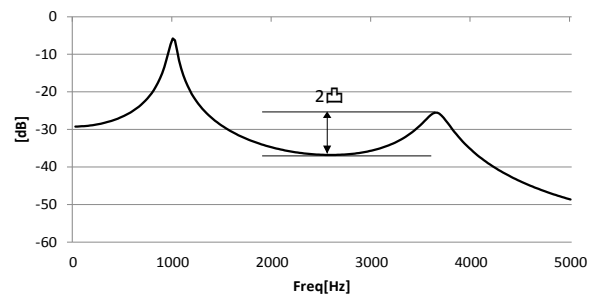


図 1 2 凸の求め方

3. 評価指標の妥当性評価実験

本章では、前章で示した評価指標の妥当性を評価する実験について述べる。

3.1 実験環境

本実験の被験者は、女性の初学者 2 名とプロ歌手 13 名 (男性 6 名, 女性 7 名) である。初学者は、教育学部音楽教育コース所属の大学生であり、大学のカリキュラムに沿ったレッスンを継続的に受けている。プロ歌手は、男女ともに声楽のキャリアと指導歴を十分に有している。それぞれのプロフィールを表 1 に示す。被験者の声種は男声 3 種、女声 2 種である。

本実験で分析対象とする歌声データの概要を表 2 に示す。ここでは、対象レベルとしての長期指導前あるいは歌声としては不適切な声と、対象外レベルとしての長期指導後あるいは歌声として適切な声との差に着目する。歌声が未成熟な初学者においては教育学部音楽教育コース入学直後の声を対象レベル (8 歌唱データ) とし、1 年間の声楽指導を経た歌声を対象外レベル (5 歌唱データ) とする。歌声が成熟しているプロ歌手においては、意図的に出したノンビブラートの声あるいは浅い声を対象レベル (20 歌唱データ) とし、ビブラートを意識した声あるいは良い声を対象外レベル (23 歌唱データ) とする。

表 1 プロ歌手の情報

被験者	所属・演奏キャリア	指導歴	声種
A	藤原歌劇団・28年	25年	バス・バリトン
B	関西二期会・20年	11年	ソプラノ
C	東京二期会・33年	21年	ソプラノ
D	藤原歌劇団・28年	5年	バリトン
E	東京二期会・37年	28年	バス・バリトン
F	東京二期会・37年	21年	メゾ・ソプラノ
G	藤原歌劇団・17年	7年	メゾ・ソプラノ
H	藤原歌劇団・25年	14年	バリトン
I	東京二期会・35年	29年	ソプラノ
J	藤原歌劇団・16年	16年	バリトン
K	東京二期会・32年	28年	ソプラノ
L	東京二期会・19年	13年	テノール
M	東京二期会・26年	21年	メゾ・ソプラノ

表 2 分析対象とした歌声の概要

被験者	対象レベル	対象外レベル
初学者	・長期指導前の歌声	・1年間の長期指導後の歌声
プロ歌手	・歌声に不適切な声（ノンビブラートの声、浅い声）	・歌声に適切な声（ビブラートを意識した声、良い声）

本実験で使用する楽曲は、指導者の意見から「故郷」（作詞：高野辰之、作曲：岡野貞一）とした。被験者は、分析対象とする区間を独唱し、各被験者につき1回の収録で2回ずつの歌唱をさせた。収録は音の反響しない静かな部屋で行い、レコーダはICR-PS605 RM (SANYO)を使用した。被験者にはレコーダから2m離れた正面立位で歌唱させた。音声はサンプリング周波数 44.1 kHz、量子化ビット数 16 bit で収録した。分析対象とするデータは、指導者に録音した2つの歌声データを聴かせ、被験者の習熟の程度がよく表れていると判断された1つの歌声とした。また、「故郷」内の歌詞「かのやま」区間の「ま」の母音の安定区間を評価対象区間とした。

また、本稿では、各指標のデータ偏りを可視化するために、独自に定めた2次元箱ひげ図を用いる。この図は通常1つのデータ群に対して作成される箱ひげ図を、2組の値で表されるデータ群に対するように拡張したものである。描画方法は、次の通りである。箱の頂点は、各被験者の歌声データの解析結果に対して SFR と Q 値または 2 凸の第 1 四分位値と第 3 四分位値とする。そして、それぞれの四分位値を 4 つの頂点とする箱を描画する。この箱は頂点が各データの四分位の値のため、箱内にプロットされた点の個数は全データ数の半分となる。また、箱が全データに対してどの位置に存在するかを表すために、2 つの指標それぞれの最大値、最小値、中央値を線で描画する。2 次元箱ひげ図は 2 本の線が箱を貫くように表現されることになる。

3.2 実験結果

初学者の SFR と 2 凸の分析結果を図 2 と図 3 に、プロ歌手の SFR と Q 値の分析結果を図 4 と図 5 に示す。いずれのグラフも横軸が SFR であり、縦軸は 2 凸あるいは Q 値である。ここでは、分析対象区間において算出された全ての点をプロットしている。図 2 と図 4 は対象レベルであり、図 3 と図 5 は対象外レベルである。

図 2 に示す初学者の対象レベルの結果では、いずれの歌声データもグラフ左下に 2 次元箱（以下、箱と略す）が位置し、縦長の形状になっている。横方向の中央線に比べ、縦方向の中央線は長くかつ歌唱データ毎のばらつきが大きい。図 3 に示す初学者の対象外レベルの結果では、箱は図 2 よりも広範囲に分布し、箱が横方向に大きくなる傾向が

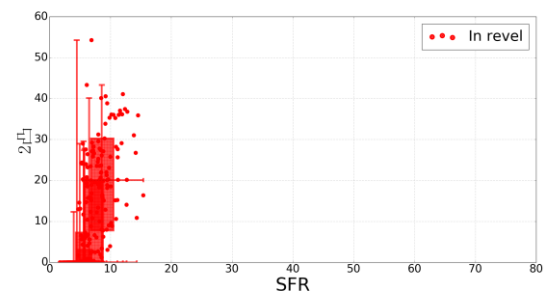


図 2 初学者の対象レベルの SFR と 2 凸

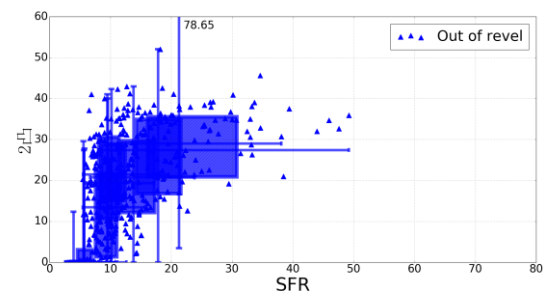


図 3 初学者の対象外レベルの SFR と 2 凸

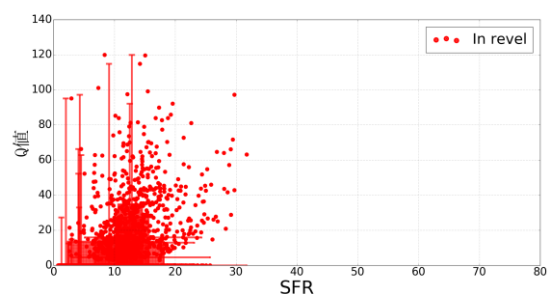


図 4 プロ歌手の対象レベルの SFR と Q 値

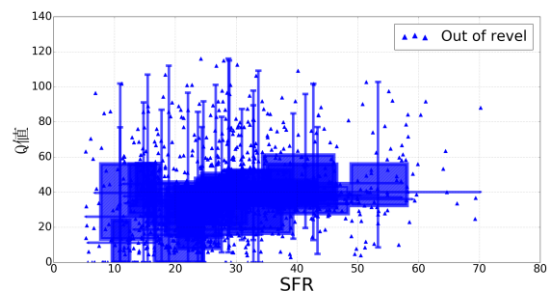


図 5 プロ歌手の対象外レベルの SFR と Q 値

ある。中央線は図2に比べて縦横方向共に長くなっている。この傾向は図4と図5でも同様である。図4のプロ歌手の対象レベルの結果では、図2よりもさらに左下に箱が位置しており、箱の形は横長の傾向にある。

また、図6には初学者の歌声データを、対象レベル群と対象外レベル群とに分けて分析した結果を示す。2つの箱はいずれも左下に位置しているが、対象外レベルの箱の方がSFRは高い位置にある。また、対象外レベルの箱の方が対象レベルの箱よりも縦横共に大きい。対象レベルの2凸の中央線は箱に対して低い位置にある。これは、0.00付近に多くのデータが分布していることを示している。SFRの中央線はいずれも箱の横方向における中央付近に位置している。SFRと2凸ともにグラフの右方向と上方向に中央線が長く、データの分布に偏りがあり、中央値よりも大きい範囲に分布が広いことが分かる。

図7において、対象レベルの箱は極端に左下に位置している。これは、2凸の第1四分位(1Q)と第3四分位(3Q)が0.00であり、箱が2次元形状になっていないためである。対象外レベルの箱は右上に位置している。また、対象レベルの箱では、SFRの中央線は箱に対して中央付近にあるのに対し、2凸では0.00にある。一方、対象外レベルではQ値の中央線はより上部にあることから、35以上に分布が偏っていることがわかる。また、図6と同様に、SFRと2凸ともにグラフの右方向と上方向に中央線が長く、データの分布に偏りがあり、中央値よりも大きい範囲に分布が広いことが分かる。

3.3 考察

3.3.1 初学者の変化から見た評価指標の妥当性

図2と図3、および図6より、初学者においては対象レベルと対象外レベルを比較した場合、SFRの方が2凸よりも値の上昇が顕著であった。先行研究では、初学者の経年変化の傾向としてSFRが上昇した後に2凸が上昇することが指摘されている^[8]。今回の実験でもこの傾向が確認された。図6に示した歌声データについて、対象レベル群と対象外レベル群との平均値の差を検定した。その結果、SFRと2凸の両方で統計的に有意差が確認された(SFR: $F(1692,1049)=2.98, p<.01$, 2凸: $F(1692,1049)=1.32, p<.01$)。このことは、初学者2名の歌声は、指導者から「指導後には声が成長している」と評価されていることとも合致する。これらのことから、本研究で用いる歌声の習熟度を評価する指標の妥当性が示唆されたと考えられる。

3.3.2 プロ歌手から見た評価指標の妥当性

図7に示したプロ歌手のSFRとQ値における対象レベル群と対象外レベル群の平均値の差を検定した。その結果、SFRとQ値の両方で統計的に有意差が確認された(SFR: $F(3957,4620)=4.55, p<.01$, Q値: $F(3917,4620)=2.83, p<.01$)。プロ歌手においては、歌声として不適切な声と適切な声に本指標上での有意差が認められたことから、これらの評価

指標は歌声の適不適を評価する指標としての妥当性が示唆されたと考えられる。

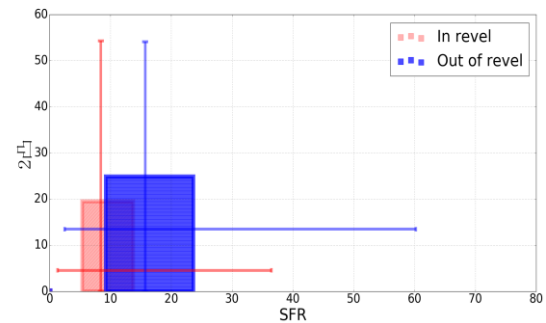


図6 初学者の歌唱データに対するレベル比較

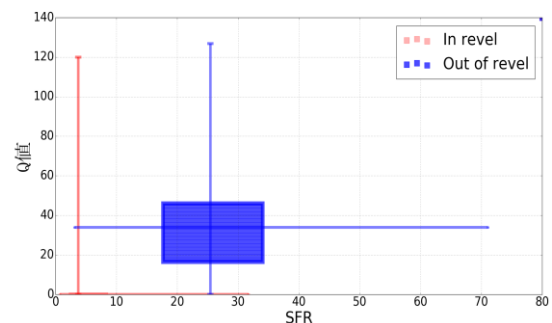


図7 プロ歌手の歌唱データに対する鶴レベル比較

4. 特定個人の長期的変化

3章の結果から、歌声の習熟度と適不適に対する本研究の評価指標の妥当性が示唆された。そこで、本章ではこれらの指標を用いて、特定個人の長期間にわたる歌声変化を解析する。これにより、本研究で用いる評価指標が声楽指導における客観評価の根拠となる可能性を検討する。

4.1 解析条件

本解析における被験者は3章とは異なる初学者2名(以下、被験者A、被験者Bと称す)である。この2名の被験者は、教育学部音楽教育コースに所属する学生である。彼女らの専門的な声楽学習開始時期は2014年4月(大学2年生当初)である。はじめの1年間では基本的な呼吸法や発声法、レガート唱法やマルカート唱法等の歌唱技術の習得が目的とされ、教材としてはイタリア古典歌曲集を扱っている。次の半年では、習得した基本的な発声法や歌唱技法を発展させることが目的とされ、教材としてはロマン派や近代イタリア歌曲を取り上げている(信州大学教育学部シラバスより)。本解析の対象は2年間の声楽指導中の歌声変化とする。解析対象データは、2014年10月から2016年4月までの間で、2ヶ月から10ヶ月のインターバルで5回収録された。収録環境、解析方法、解析対象、解析データの可視化方法等の実験環境は3章と同様である。

4.2 解析結果

5回の収録データにおけるSFRと2凸の解析結果を図8

(被験者 A) と図 9 (被験者 B) に示す。グラフ中の凡例は、被験者の学年とその收音月の頭文字を表している。例えば、2-O は 2 年生 10 月 (2014 年 10 月) の收音データ群である。3.2 節と同様に、各收音データ単位で 2 次元箱ひげ図を示している。

図 8 に示す被験者 A においては、グラフ中での收音順の箱の位置変化は、右中→左下→右中であった。まず、学習開始から半年後の 2-O での SFR の 1Q は 29.9, 3Q は 35.6 であり、5.7 の幅があった。これらは共に 5 データ中最高値であった。2 凸は 1Q で 17.5, 3Q で 23.4 であり、5.9 の幅があった。これらは共に 5 データ中 4 番目の高さであった。続く 2~4 回目の收音データである 2-F, 3-O, 3-F では、SFR の 1Q が約 10.0, 3Q が約 13.7 であり、約 3.7 の幅となった。2-O のデータと比較して 1Q と 3Q 共に顕著に低下した。2 凸では 1Q は 0.0 (測定不能値), 3Q は約 21.5 であった。2 凸の 1Q が大きく低下したため、箱ひげが縦長の形状となった。5 回目の收音データである 4-A では、SFR の 3Q が 2-O に近い値にまで上昇した。1Q が 18.9, 3Q が 32.3 であり、13.4 の幅となった。一方、2 凸は 1Q と 3Q 共に收音データ中の最高値となった。1Q が 23.5, 3Q が 32.7 であり、9.2 の幅となった。SFR の幅が広いいため箱が横長の形状となった。また、箱が右上に位置する 2-O と 4-A において、SFR の中央線はグラフ左右方向に長く、2 凸の中央線は上下方向で短い。

図 9 に示す被験者 B においては、グラフ中での收音順の箱の位置変化はあまりなく、いずれも左下に位置していた。被験者 A と比べて、收音時期毎の位置変化が少ない。全收音データにおいて、SFR の 1Q は 7.5~11.5, 3Q は 10.1~15.2 であり、幅はいずれも 3.7 程度であった。一方、2 凸

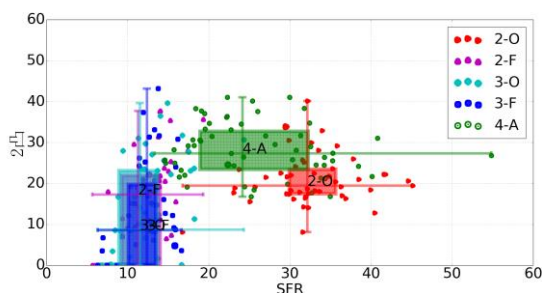


図 8 被験者 A の SFR と 2 凸

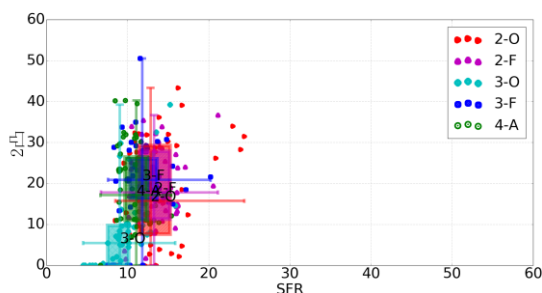


図 9 被験者 B の SFR と 2 凸

は 1Q が 0.0~16.1, 3Q が 9.7~29.3 といずれも広い範囲となった。幅についても 9.7~21.6 と多様である。SFR に比べて広い幅となるため、いずれの收音データの箱も縦長の形状となった。中央線の長さは SFR と 2 凸共に変化が確認できなかった

また、連続する 2 回の收音データ間での SFR と 2 凸の差を比較すると、両被験者ともに 2-F と 3-O 間で最も変化が大きくなった。これらの收音データ間は時間的に最も長く、多くの指導がなされていたためと考えられる。

4.3 考察

ここでは、歌声に対する定量的な評価結果である本指標での解析結果 (図 8 と図 9) と、指導者による主観的評価との比較から、本研究の評価指標が声楽指導における客観評価の根拠となる可能性を考察する。

声楽指導者からヒアリングと自由記述で得た両被験者の歌唱に対する主観的印象評価を表 3 と表 4 に示す。表 3 は各收音データに対する印象、表 4 は 2 年間での歌声の変化に対する印象である。これらの結果は、指導者の声の嗜好や指導方針の影響を含んだものである。良い声の評価する観点は多様であり、評価方法を一意に決めるのは難しい。このことをふまえて、本指標での解析結果と主観的印象評価の結果を考察する。

表 3 各收音時期の歌声の印象

收音データ	被験者 A	被験者 B
2-O	声帯の発音が未熟で弱々しいが、発声は素直である。	声をよく響かそうとする傾向がある。
2-D	声門閉鎖が弱く、声はカサカサだが、発声は素直である。	素直な発声であり、成長が期待できる。
3-O	響きが暗めだが、声がなめらかである。	突っ張った声ではあるが、喉が開いている。
3-F	声に安定感が必要であるが、母音/a/は明るい。	声を響かせようとしていて、良い傾向である。突っ張った声である。
4-A	声が成長しており、息の支えも安定している。将来性のある声である。	母音/a/が開きすぎであり、響くポジションに入っていない。突っ張った声である。

表 4 2 年間の経年変化

被験者 A	声帯が発育している。声が大人になり、声量も増した。legato 唱法 (なめらかに歌う) の技術が身についてきた。
被験者 B	声楽の技術はついてきているが、この解析での使用楽曲では声の成長が感じられなかった。

4.3.1 被験者 A

SFR が收音データ中で最高値を示した 1 回目の收音 (2-O: 2014 年 10 月) に対する主観的評価は決して良いものではない。しかし「素直な発声」という指摘から、被験

者本人の持ち声の特徴に起因する数値が指標値として表れたことが推察できる。その後の2回目の収録(2-D:2014年12月)から4回目の収録(3-F:2016年2月)については、解析結果の数値には変化が生じていない。しかし、主観的評価には肯定的評価と批判的評価の両方が示されている。解析結果の数値が低いままであった原因として、批判的評価である「声門閉鎖が弱い」の影響がより強く解析結果に影響していたことが考えられる。これは、先行研究から声門閉鎖が強くなることにより、声の密度が増し、歌手にとっての基礎的技術である「声の芯」を獲得することができる⁹⁾とされている。そのため、解析結果の数値が低かったことと主観的評価が対応しているため、解析結果の妥当性を裏付ける事象ととらえることができる。5回目の収録(4-A:2016年4月)は、主観的印象と解析結果のいずれにおいても良好な結果であった。また、2年間での変化に対する主観的評価は肯定的な評価のみであった。指導者による歌唱技術向上の指摘が、解析結果と対応している。特に、2凸の数値の上昇が声の成長を表していると考えられる。これらのことから、本研究の指標を用いた歌唱の習熟評価は声楽指導における客観評価の根拠となりえることが示唆された。

4.3.2 被験者 B

被験者 B は、2年間の収録データに対する解析結果からは習熟変化が確認されていない。一方、主観的評価では、肯定的評価も得ている。しかし、発声の成長過程としては良い傾向にあるとされていたが、響きの暗さや突っ張った声の印象が批判的評価としても指摘されている。収録データ間での解析結果に変化が確認できなかったのは、被験者 B の発声の特徴である突っ張った声が反映したためとも考えられる。この指導者にとって、突っ張った声とは、「響きがなく、力で押した詰まる声」である。歌声の響き成分を評価する本指標の解析結果と主観的評価が対応しており、解析結果の妥当性が示唆された。

4.3.3 2名の被験者に共通する事柄

また、表4の「この使用楽曲では声の成長が感じられなかった」という主観的評価が解析結果と対応しており、歌唱の習熟評価には声楽指導における客観評価の根拠となりえることが示唆される。最も歌声の成長が確認できる2組の収録データを指導者から聴取したところ、2名の被験者ともに2-Fと3-Oという回答であった。これは、収録インターバルが最も長い収録データであり、他の収録データに比べて多くの指導を受けていた区間である。しかし、解析結果から被験者 A, B それぞれの SFR, 2凸の2-Fと3-Oの平均値の差の検定を行った結果、被験者 A の2凸のみが有意差 $F(181,223)=0.18, p<.05$ を確認できず、被験者 A の SFR と被験者 B の SFR と2凸では有意差が確認された。また、「響くポジションに入っていない」や「発声が素直である」などのように指導者の主観的評価の中には解析結果からで

は推察できないものも含まれている。主観的評価と今回の用いた評価指標以外にも、より声楽初学者の歌声評価に適し、良い声に関する聴感的印象に影響を与える音響特徴量の存在が推察できる。

以上に示したように、指導者の主観的評価と本研究で用いる歌声の評価指標による解析結果の間には一致する点が多いことから、本研究の指標を用いた歌唱の習熟評価には声楽指導における客観評価の根拠となりえることが示唆されたと考える。しかし、SFRと2凸の数値が上昇した詳細な理由が解明できるとはいえない。今後、継続して長期的に歌声の成長過程を観察する必要があると考える。

5. おわりに

本稿では、初学者とプロ歌手の歌声に対して、響きに関係する音響特徴量による評価結果から歌声の習熟度や歌声の適切性との関連について考察した。その結果、本研究で用いる評価指標により、初学者の指導前後の歌声と、プロ歌手の歌い分けによる歌声に適した声と不適な声を統計的優位に区別することができた。また、声楽を専門に学んでいる者に対して、長期的な歌声の変化を解析した。その結果、指導が進むにつれて指導者の評価と解析における評価の対応が確認された。これらの成果より、本研究で用いる評価指標と歌唱の習熟度との関係が示唆された。また、これらの評価指標を用いることで、歌声を客観的に評価できる可能性を見出した。しかし、提案指標では説明できない主観的評価もあった。今後は、主観的評価とそれに対応する客観的評価としての解析結果をさらに増やしつつ、長期的かつ個人に特化した歌声評価の分析を進めていく。また、今回用いた歌声を評価する指標以外にも歌唱の習熟度に影響を与える指標の探究も進めていく。

参考文献

- [1] W.T.Bartholomew. A Physical Definition of "Good Voice- Quality" in the Male Voice, *J. Acoust. Soc. Am.*, 6(1), p.25-33, 1934.
- [2] J.Sundberg. The KTH synthesis singing. *Advances in Cognitive Psychology*, Special issue on Music Performance, 2(2-3), p.131-143, 2006.
- [3] 齊藤毅, 後藤真孝. 歌唱指導による音響特徴量の変化とその歌唱力への影響. *信学技報応用音響*. 109(100), pp.1-6, 2009.
- [4] 齊藤毅他. 歌声らしさの知覚モデルに基づいた歌声特有の音響特徴量の分析. *日本音響学会誌*. 64(5), p.405-417, 2008.
- [5] J. Sundberg. Articulatory interpretation of the 'singing formant'. *J. Acoust. Soc. Am.*, 55(4), p.838-844, 1974.
- [6] 山辺大貴他. 歌声の心理的印象と音響特徴量との対応付けによる歌唱の習熟度評価に関する基礎的検討. *信学技報応用音響*. 112(266), p.61-66, 2012.
- [7] 佐久間雄輝他. 歌声の習熟度に関連する周波数特性からみた音響特徴量. *信学技報教育工学*. 114(441), p.45-50, 2015.
- [8] 野田美春他. 歌唱の習熟度に関連する周波数特性に基づく初学者とプロ歌手の音響特徴量に関する考察. *信学技報教育工学*. 115(444), p.35-40, 2016.
- [9] フレデリック・フースラー, イヴォンヌ・ロッド=マーリング. うたうこと 発声器官の肉体的特質. 音楽之友社. 1987.