

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 25 年 6 月 15 日現在

機関番号：13601

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500880

研究課題名（和文） 声の見える化による発声トレーニング法の研究

研究課題名（英文） Research of the vocal music utterance training method
by voice visualization

研究代表者

池田 京子（IKEDA KYOKO）

信州大学・教育学部・教授

研究者番号：60283222

研究成果の概要（和文）：これまで、正しい発声法は熟達したプロのヴォイストレーナーによる個別訓練によってのみ習得できるとされてきた。本研究では、パソコンを用いて「自分の声を聞く」ことにより、正しい発声法を習得できる方法の基礎を作った。歌声の個別訓練方法を検討し、そのプロトタイプを開発した。これにより、これまで「あくびをするように歌いましょう」といった漠然とした表現を使ってなされてきた発声指導を、科学的な声のデータ解析に基づいた正しい発声法を習得できる個別訓練方法の端緒を創った。

研究成果の概要（英文）：The prototype was developed for the purpose of developing the individual training methods which can master the right vocalization by what it “has [a thing] a look at its voice” for the right vocalization it has so far been supposed that can be mastered only by individual training by the proficient pro’s voice trainer using a personal computer. The start of the individual training methods which can master the right vocalization was made by this visualizing voice for utterance instruction made until now using a vague expression “Let’s sing in the form which yawns.” based on the data analysis of scientific voice.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
2011年度	900,000	270,000	1,170,000
2012年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：声楽

科研費の分科・細目：科学教育・教育工学

キーワード：可視化，声楽，歌声，発声トレーニング法，音楽教育

1. 研究開始当初の背景

平成10年度の学習指導要領の改訂（平成14年度より施行）により、教育評価に関する認識が高まり、評価基準の作成や、評価方法の工夫改善が急務の課題となっている。音楽教育においても、この問題は深く認識されて

おり、その具体的な方法について様々に検討され始めている。

学力テストなどにより、数値的にその能力を測ることのできる分野では、その国際比較も行われているが、音楽の技術的な能力を数値などで客観的に測ることは、今まで行われ

ていない。また、計算や漢字の練習のように、日々の反復学習によって培われるものは、生まれつきの才能や幼年期の訓練に大きく左右されるものではない。申請者のこれまでの指導経験からも、聴音をはじめとする音楽の基礎能力の育成は、才能や時期だけに大きく関係するのではなく、学齢期のいつから始めても、日々訓練を重ねることによって十分に可能であると考えられる。

近年、歌声の音響分析による習熟度評価の報告は多くされている。本研究の先行研究とし、歌声の音響的な特性に着目したもの、歌声の心理的な特性に着目したもの等が挙げられる。その中で、音響的情報として、主に男性オペラ歌唱者に見られる 2.4-4.0 kHz のピークである Singer's formant や、ピッチの周期的変動であるビブラートに着目した報告が多い。例えば、歌声知覚における歌声特有の音響特徴量の役割について検討、歌唱指導前後での音響特徴量の変化に関する検討、習熟度の異なる歌声の音響分析による比較が挙げられる。しかし、人が歌声を聴く中で、良いと感じる歌声の心理的印象とその音響特徴量の関係については不明な点が多い。また、音響分析の結果は歌声合成や歌声検索などに応用されていることが多いが、歌唱の教育場面の習熟度評価に音響分析の結果が応用される事例は少ない。

したがって、パソコン画面で正しい発声の個別訓練方法を導入し、児童生徒をはじめ、教員養成大学の学生や、研修教員、広くは社会人合唱団に所属する音楽愛好家が用いることのできるトレーニングシステムの意義は大きい。

2. 研究の目的

これまで熟達したプロのヴォイストレーナーによる個別訓練によってのみ習得できるとされてきた正しい発声法を、パソコンを用いて「自分の声を診る」ことにより、正しい発声法を習得できる訓練方法を開発することを目指し、その開発のための基礎的知見を得ることを目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、習熟度の異なる歌唱者の歌声の心理的印象評価実験を行い、音響特徴量との相関関係について調査した。

まず習熟度の異なる歌唱者の歌声に対して、SD法による心理的印象評価実験を行い、音響特徴量との関連について調べた。そして、心理的印象と音響特徴量との対応から、パワーや Singer's formant、ビブラートの振幅や継続時間が歌唱の習熟度と関連し、心理的印象

に影響を与える音響特徴量となる可能性を見出した。

この実験において評価対象とした歌声(以下、評価用音声)は、声楽に関する習熟度の異なる男女8名のものとした。歌唱者8名の声楽経験を表1に示す。具体的には、声楽発声の指導者(以下、P群と称する)が2名(男性1名:PM01, 女性1名:PF01)、教育学部音楽科所属で声楽指導を受けた経験のある大学生(S群)が5名(男性2名:SM01, SM02, 女性3名:SF01-SF03)、そして非音楽系学科所属で声楽未経験な大学生(N群)が1名(女性:NF01)による歌声である。

表1: 歌唱者の声楽経験のプロフィール

歌唱者	歌唱経験	パート
PM01	声楽経験年数 40 年 歌唱指導経験年数 24 年	ソプラノ
PF01	声楽年数 30 年 歌唱指導経験年数 21 年	バリトン
SM01	声楽経験 6 年	テノール
SF01	声楽経験 6 年	ソプラノ
SF02	声楽経験 5 年	ソプラノ
SM02	声楽経験 4 年	テノール
SF03	声楽経験 3 年	ソプラノ
NF01	声楽経験なし	



図1: 使用楽曲「故郷」楽譜の一部

評価用音声を収集するための楽曲は、声楽指導者の意見を参考にして、「故郷」(作詞:高野辰之, 作曲:岡野貞一)とし、1番の歌唱データを評価用音声として用いることとした。使用楽曲の一部を図1に示す。さらに、評価用音声のうち「かのやま」の箇所を評価対象区間とした。これらの音声の収録は、静かな教室で行った。歌唱者には、レコーダ(SANYO: ICR-PS605RM)から 2m 離れた正面において立位で歌唱させた。音声の収録条件は、サンプリング周波数 44.1 kHz, 量子化ビット数 16bit である。

(1) 主観評価実験

声楽に関する習熟度の異なる複数の評価用音声に対する主観評価のために、SD法(Semantic Differential Method)を用いた。その結果を因子分析し、音声を評価する際の因子を求めた。以下、まずSD法で用いた形容

詞対の選択方法を示し、その上で、本研究で実施した主観評価実験の方法と結果を示す。

(2) 評価のための形容詞対

音色を表現する形容詞対として北村らにより提案された 40 語対を、本実験の形容詞対の候補とした。さらに、声楽発声の指導者 2 名(前述の P 群)に、評価用音声の評価対象区間を聴取させ、当該の音声の評価する形容詞対としての適不適を 3 段階で評価させた。○は「評価できる」、△は「どちらともいえない」、×は「評価できない」を表している。そして両指導者が評価に適していると○をつけた、灰色で示す形容詞対 10 対を選び、本実験に用いた。

(3) 実験方法

主観評価実験の被験者は、教育学部音楽科所属で声楽指導を受けた経験のある大学生 15 名とした。これらの被験者には評価用音声を歌った者は含まれていない。被験者には評価用音声の中から、評価対象区間に先行する 2 節を含む「うさぎおしかのやま」を聴取させ、評価対象区間である「かのやま」の部分のみを評価するように指示した。

評価用音声は、レコーダ(前出)を用い、ヘッドホン(SENNEISER : HDA200)を介して被験者に提示した。評価用音声の提示順序はランダムとした。本実験での SD 法のカテゴリ数は 7 段階(1:非常に、2:かなり 3:やや 4:どちらでもない 5:やや 6:かなり 7:非常に)とした。被験者には、各自の評価結果をノートパソコン(TOSHIBA : Dynabook SS N11)を用いて入力させた。

(4) 実験結果

SD 法により収集された主観評価の結果に対して、因子分析を行った。因子抽出法として主因子法とプロマックス回転を用いた。プロマックス回転を用いた理由は、因子間での相関が無いとはいききれないためである。

因子分析の結果を図 2 (左) に示す。また、図 2 (右) に、各評価用音声に対する 15 名の被験者の評価平均値を示す。その結果 2 種の因子が抽出された。各因子に対応する形容詞対を考慮して、第 1 因子を迫力因子、第 2 因子を響き因子と命名することとした。2 つの因子に関係する形容詞対に対する評価結果から、多くの形容詞対において P 群、S 群、N 群の順に評価が高いことがわかった。

形容詞対	因子	
	迫力	響き
力強いー弱々しい	1.11	-0.26
芯のあるー締りのない	-0.91	0.13
厚みのあるー薄っぺらな	0.90	0.03
拡がりのあるーやせた	0.74	0.19
豊かなー貧弱な	-0.69	-0.32
つやのあるー生氣のない	-0.42	-0.40
やわらかいーかたい	0.26	-0.81
なめらかなーざらざらした	0.02	0.67
ひびきのあるーつまった	0.25	0.65
抜けのいいーこもった	0.31	0.40

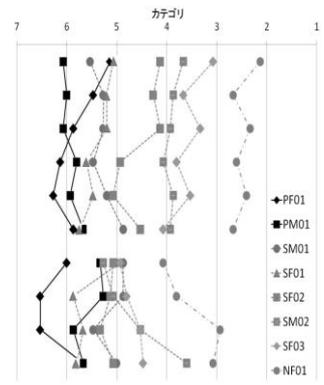


図 2 : 因子分析の結果 と 8 名の評価平均値

(5) 音響特徴量

本実験では、評価用音声の評価対象区間に対して、パワー、Singer's formant の鋭さ、ビブラートの 3 種の音響特徴量に着目する。パワーは声楽発声指導者からの意見を参考にし、着目した。ビブラートと Singer's formant に着目したのは、ビブラートと Singer's formant を有することが典型的な良い歌声の条件であり、それらが「歌声らしい」という聴感的印象に影響を与えているという知見があるためである。

パワーは評価対象区間全体での平均値 [dB] として求める。Singer's formant の鋭さとして、評価対象区間における 4 つの母音区間に対する LPC ケプストラム曲線それぞれのピークの鋭さ (Q 値) の平均値を用いる。平均値を用いたのは、どの歌唱者も 4 つの母音の間で Q 値の差が小さいためである。3 群各 1 名の LPC ケプストラム曲線の結果を図 3 に示す。図より、P 群、S 群、N 群の順にピークが小さくなることがわかる。そのため、LPC ケプストラム曲線の Q 値の平均値により、評価できると考えられる。ビブラートは評価対象区間において 2 分音符の長さを有する「ま」のピッチパタンから、周波数 [Hz]、振幅 [cent]、継続時間 [sec] を求める。各音響分析には音声工房 (NTT アドバンステクノロジー) を用いた。分析条件を以下に示す。

- ・パワー：窓長：30 ms, フレーム周期：10 ms
- ・ピッチ：計算法：変形相関法, 窓長：30 ms

8 名の評価用音声毎のパワーと Q 値を図 4 に示す。パワー (灰色) については、N 群のみ極端に低い値となったが、P 群と S 群とでは差異が大きくない。これは、声楽指導の経験の有無による違いが影響していると考えられる。一方、Q 値 (黒色) は P 群 S 群 N 群の順で値が小さくなる傾向にある。また、ビブラー

トに関する特徴を図5に示す。周波数(灰色実線)については、習熟度の程度による差は確認できない。一方、継続時間(灰色点線)と振幅(黒色)は、P群S群N群の順で値が小さくなる傾向にある。ここでは、振幅における値の変化がより顕著である。これらのことから、習熟度が高くなるに従い、パワー、Q値、ビブラートの振幅と継続時間は、その値が高くなると考えられる。すなわち、パワーとQ値、ビブラートの振幅と継続時間と、習熟度との関係が示唆された。

主観評価実験で得られた2つの因子と、習熟度との関連が示唆された4つの音響特徴量との関係を整理した。具体的には、これらの中での重回帰分析を行い、重相関係数と標準偏回帰係数を求め、その有意性を検討した。

まず、各因子の因子負荷量の高い形容詞対(迫力因子：力強い-弱々しい、響き因子：やわらかい-かたい)に対する15名の被験者の評価値の平均を目的変数、4つの音響特徴量を説明変数とし、重相関係数を求めた。この時、共線性の関係から、パワーとQ値と、ビブラートに關係する2つの音響特徴量を区別して計算した。

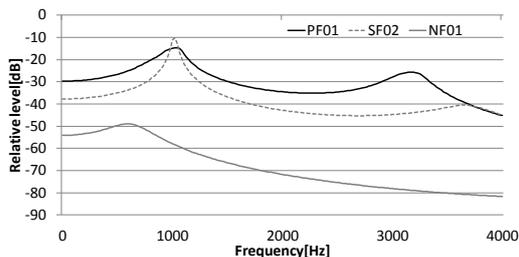


図3：3群各1名のLPCケブストラム曲線について

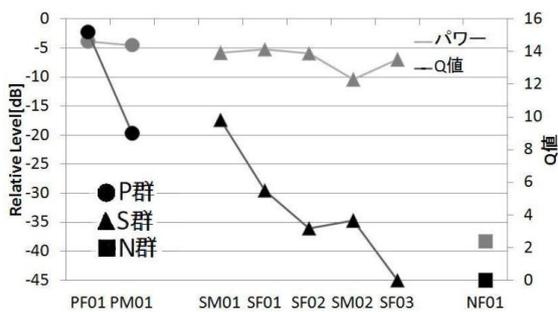


図4：評価用音声毎のパワーとQ値

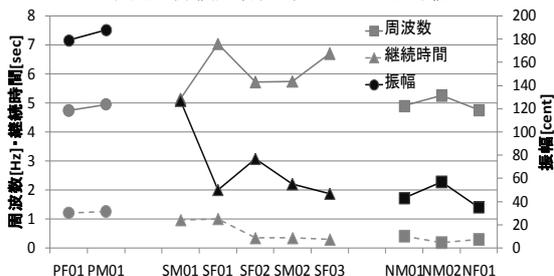


図5：評価用音声毎のビブラートに関する音響特徴量

2つの因子に対するパワーとQ値の重相関係数は、迫力因子で0.97、響き因子で0.77となった。また、ビブラートの振幅と継続時間では、迫力因子で0.72、響き因子で0.89となった。いずれの重相関係数も高い値となった。このことから、パワーとQ値は迫力因子に、ビブラートの振幅と継続時間は響き因子に対してより強く影響していると言えた。

次に、4つの音響特徴量の影響度を確認するため、標準偏回帰係数を求めた。標準偏回帰係数について表2に示す。この結果より、パワーは響き因子、Q値は迫力因子に対しての値が大きいことから、より強く影響を与えていることがわかる。また、ビブラートの振幅は迫力因子に、ビブラートの継続時間は響き因子に対してより強く影響していることがわかる。

また、それぞれの標準偏回帰係数について有意性を検討した。その結果、迫力因子において、パワーとQ値では95%信頼区間で有意判定された。さらに、Q値では99%信頼区間で有意判定された。一方、2つの因子において、ビブラートの振幅と継続時間では95%信頼区間で有意判定されなかったが、90%信頼区間では有意判定された。これらの結果より、習熟度との関連が示唆された4つの音響特徴量の中から、迫力因子に対してパワーとQ値が有意な影響を与えており、その中でもQ値が特に有意に影響を与えていることが示唆された。

表2：パワーとQ値に関する標準偏回帰係数

	迫力因子	響き因子
パワー	0.36	0.65
Q値	0.73	0.20
振幅	0.74	0.16
継続時間	-0.34	0.75

(6) 歌唱指導実験

指導を受ける被験者は、非音楽系学科所属で声楽未経験な大学生4名(男性2名:NM01, NM02, 女性2名:NF01, NF02)である。指導は声楽発声指導者(前述のP群)によって行われた。

まず、指導前の音声として指導開始前に「故郷」を2度収録した。その後、指導者から発声指導を受け、指導終了後に指導後の音声を2度収録した。その指導前後の音声を分析し、音響特徴量の違いを比較した。発声指導はおよそ30分間であり、全員が同じ指導を受けた。収録条件は上述の収録条件と同様である。4名の歌唱者は音高のずれは大きく無いと指導者が判断したため、音高のずれには着目していない。

(7) 実験結果

図 6 に歌唱者毎の指導前後のパワーと Q 値の変化を示す。パワーについては、指導前か

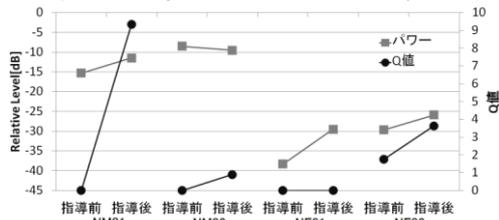


図 6：指導前後でのパワーと Q 値の変化

ら大きかった PM02 以外の歌唱者では大きくなるという結果が得られ。一方、Q 値は、PF01 では指導前後で Q 値が確認されなかったが、その他の歌唱者では Q 値の向上が確認された。また、図 7 に歌唱者毎の指導前後のビブラートに関する音響特徴量の変化を示す。振幅に関しては、NF01 以外の歌唱者では指導後に振幅が大きくなっていることがわかる。継続時間については、歌唱者によって変化が異なっており、共通した変化は見られなかった。

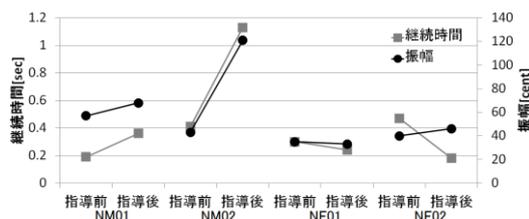


図 7：指導前後でのビブラートに関する特徴量の変化

次に、指導前後での結果の有意性について検討するために t 検定を行った。その結果、パワーと Q 値では指導後に有意に値が向上していることが確認された ($p < 0.05$, 両側 t 検定)。しかし、ビブラートの振幅と継続時間では、指導前後で有意な差は確認されなかった ($p < 0.05$, 両側 t 検定)。したがって、指導前後ではパワーと Q 値が有意に変化していることが確認された。

歌声の心理的印象と音響特徴量との関連について、習熟度に着目し結果について述べた。具体的には、習熟度の異なる歌唱者の歌声の心理的印象を主観評価実験により調べ、迫力因子と響き因子を抽出した。また、パワー、Q 値、ビブラートの振幅と継続時間といった音響特徴量と習熟度の関係が示唆された。その上で、重回帰分析により、迫力因子にはパワーと Q 値が有意な影響を与えていることが確認された。次に、声楽指導を受けた経験の無い歌唱者に対して、声楽発声指導者による発声指導実験を行った。その結果、指導後ではパワーや Q 値が有意に向上していることが確認された。また、ビブラートに関しても値の

向上が確認された。次に、P 群、S 群、N 群の経験の違いによる有意差の検定を行った。すなわち、声楽指導を受けた経験の歌唱者の指導後の音響特徴量が声楽経験者の音響特徴量に近づいていくことが確認された。そのため、パワーや Q 値といった音響特徴量は歌唱の習熟度評価を行う上で、特に有効な特徴量であると考えられる。

(8) プロトタイプ作成

起動画面 (図 8) から録音を選択すると録音モードに入ることができる。録音を選択すると、男女を選択するダイアログ (図 9) が出現し、どちらかにチェックを入れて OK ボタンを押すことで録音を開始される。これは、設定が多すぎた先行研究の反省を生かして、簡単に選択ができるようにしたためである。現在は録音中に伴奏の音はない。録音中は図 10 のような画面に変わり、上のグラフにピッチ、下のグラフにパワーが表示される。表示されるピッチ、パワー、およびピッチ推定範囲は表 4 に示す。ピッチ推定に用いるピッチ推定範囲は男性の生理的声域上下限と情勢の生理的声域上下限を参考にしている。

300 秒が経過するか、画面下の終了ボタンを押すことによって録音が終了され、保存ボタンを押すと、日時によって名前がつけられた Wav ファイルが、本システムの Result フォルダ内に出力される。その後、自動的に再生モードに切り替えがおこなわれる。録音の形式を以下の表 3 に示す。

表 3：録音時の形式

サンプリング周波数	44100Hz
サンプリングビット数	16bit
チャンネル数	1 (モノラル)
出力形式	.wav 形式
最大録音時間	300 秒

表 4：録音モードの分析能力

フーリエ変換長	4096 (92 ms 相当)
秒間検査回数	40 回/秒
音高推定範囲 (男性)	60Hz-590Hz
音高推定範囲 (女性)	130Hz-790Hz



図 8：起動画面



図 9：男声・女声選択画面

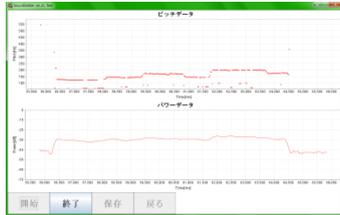


図 10：録音モード

4. 研究成果

これまでは歌声の音響的な特性や心理的な特性を捉えた研究が主であったが、本研究により、歌声の音響特徴量を可視化することで、自然で無理のない発声法を支援するシステムの構築に有用な要素を見出した。そのための「習熟度の異なる歌声の心理的印象」と音響特徴量との対応付けができた。習熟度の異なる歌声に対するSD法による心理的印象評価実験を行うことによって、パワーやSinger's formant, ビブラートの振幅や継続時間が歌唱の習熟度と関連し、心理的印象に影響を与える音響特徴量となることを見出した。さらに、声楽の未経験者に対して声楽発声指導者による短時間の発声指導、声楽初学者に対して中長期的な声楽発声指導を行い、その指導前後での音響特徴量の変化を解析した結果、パワーやSinger's formant, ビブラートの変化が確認され、これらの音響特徴量による習熟度評価の可能性が拓けた。これに加え、ピッチ、FFTスペクトル、LPCスペクトルの観点からも、声の出し方の違いによる音響特徴量の違いについて検討し、その結果をまとめ、声楽発声指導にフィードバックするシステムに取り入れた。以上、このシステム構築研究から得られた知見を取りまとめ、学会で発表を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

① 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

山辺大貴, 池田京子, 伊東一典, 他 4 名
電子情報通信学会 応用音響研究会 信学技報, vol.112, no.266, EA2012-75, 61-66, 2012. (査読無)

② 児童・生徒用情報端末の基本機能の開発

と試行

東原 義訓, 五十嵐 俊子, 他 2 名

日本教育工学会第 27 回全国大会, 講演論文集 785-786, 2011. (査読無)

③ デジタル教科書に対応する児童・生徒用情報端末の基本設計

東原 義訓, 余田 義彦, 他 2 名

日本教育工学会第 26 回全国大会, 講演論文集 871-872, 2010. (査読無)

〔学会発表〕(計4件)

① 音響特徴量に基づく初学者の歌唱評価法の検討

佐久間雄輝, 池田京子, 伊東一典

第 38 回教育システム情報学会全国大会 2013 年 9 月 2 日~4 日, 金沢市

② 歌声を可視化する試み

池田京子

日本声楽発声学会長野支部会第 80 回例会 2012 年 12 月 01 日, 長野市

③ 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

山辺大貴, 池田京子, 伊東一典

電子情報通信学会 応用音響研究会

2012年10月27日, 富山市

④ 歌声の心理的印象と音響特徴量に関する検討

山辺大貴, 池田京子, 伊東一典

計測自動制御学会中部支部シンポジウム

2012 年 09 月 25 日, 長野市

6. 研究組織

(1) 研究代表者

池田 京子 (IKEDA KYOKO)

信州大学・教育学部・教授

研究者番号：60283222

(2) 研究分担者

伊東 一典 (ITO KAZUNORI)

信州大学・工学部・教授

研究者番号：30043045

東原 義訓 (HIGASHIBARA YOSHINORI)

信州大学・教育学部・教授

研究者番号：90143172

谷塚 光典 (YATSUKA MITSUNORI)

信州大学・教育学部・准教授

研究者番号：30323231