岡山大学大学院教育学研究科研究集録　第167号（2018）37－43

歌唱における声区転換の可視化に関する研究（１）

―音楽専門家による評価結果と被験者へのヒアリング調査との対応―

虫明眞砂子　・　財満　健史*　・　大脇　雅直**

声楽初学者や小中学生が声区転換領域の発声理解に困難を憶えている現状に対して，母音発声の録音および可視化を利用する方法が有効ではないかと考え，そのための基礎研究を行った。まず，基礎となる音声として，プロ歌手の声区転換領域の母音発声を用い，その音声を録音し，同時に可視化した。録音された音声を音楽専門家３名に評価してもらい，その結果に歌手に対して行ったヒアリング調査の結果を反映させ，さらに，発声時の可視化情報を総合して，声区転換前後での発声を評価すると，発声評価に変化が見られることが確認された。その結果は，以下のようにまとめることができる。１．声区転換の可視化情報によって，胸声区と頭声区の違いを確認できた。２．胸声区から頭声区の転換によって，発声の聴取評価が上昇した。３．プロ歌手は，胸声と頭声の声区転換領域の発声について，頭声への意識をもち，響きの増幅や身体の開放に留意している。この結果により，発声の録音情報と可視化情報から，声区転換領域での発声状態を理解できる可能性を示した。

Keywords：声区転換，評価，音の可視化，周波数特性，音圧レベル

Ⅰ．はじめに

小中学校の歌唱指導に携わる多くの教師は，頭声的な発声が弱々しい，低音域と高音域との声の質が極端に変わってしまう，低い音域が地声になってしまう等々，発声指導に関するさまざまな悩みを抱えている[1]。また，教員養成課程の１年生必修科目「初等音楽内容研究」の受講生では，地声と裏声の切り替えがうまくいかない，わからないと感じている学生が約86％（36中31名）に上ることがわかった[2]。その具体的な声の症状は，「高音が出にくい」が一番多く，次に「発声しにくい」,「音量が出ない」,「裏声が響きにくい」等である。これらが原因で歌唱に自信を持てず，その結果，歌を避けるようになる学生も少なからず存在すると思われる。

人間の声は誰でも，ある高さで音の性質が変化し，発声がある声区から別の声区に変化するときは，声区の変換が生じる[3]。音の性質が変化する音高は，ほぼE_4～F_4のあたりになると言われている[4]。その場所は,「パッサッジョ」（伊）とか「ブレーク」（英）と呼ばれ，日本では,「喚声点」という用語が提案されている[4]。本稿では，声区が切り替わる発声現象のことを声区転換[5]，切り替わる場所を喚声点と呼称することとする。歌唱教育の古典的な目的のひとつは，声区間の声質の変化を少なくする，またはなくすことであり，異なる声区への移行は，最小限の声質の変化をともなうのが最適であるとされる[6]。プロの歌手の場合は，声区の切り替えが目立たないように発声訓練を行うため，聴衆には，声が一つの声区で歌われているように聴こえる。コーネリウス・リードは，２つの声区を一つの機能的実質として働

岡山大学大学院教育学研究科　芸術教育学系　700－8530　岡山市北区津島中３－１－１
*株式会社熊谷組　技術本部　技術研究所　環境工学研究室　300－2651　つくば市鬼ヶ窪1043
**株式会社熊谷組　技術本部　162－8557　新宿区津久戸町２－１

A Study on Visualization of Register Transitions in Singing Part 1 - Correspondence with Evaluation Results for Music Specialist and Hearing Survey to Subjects -

Masako MUSHIAKI, Takefumi ZAIMA*, and Masanao OWAKI**
Division of Art Education, Graduate School of Education, Okayama University, 3-1-1 Tsushima-naka, Kita-ku, Okayama 700-8530
*Technical Research & Development Institute, Kumagaigumi Co., Ltd., 1043 Onigakubo, Tsukuba 300-2651
**Technical Research & Development Division, Kumagaigumi Co., Ltd., 2-1 Tsukudo-cho, Shinjuku-ku 162-8557

くことを「声区の統一」と呼び，それによって，声域が広がり，より大きな強弱の対比が得られ，さらに，柔軟性の増大，共鳴の向上が可能となると述べており，一般的に素晴らしい歌唱と関連する属性を含んでいるとしている[7]。したがって，声区転換をスムーズに乗り切ることは，発声向上に必要なテクニックであり，そのため歌唱を学ぶ学生･生徒にとって，声区転換について理解を深めることが重要である。また，理解を深めることが歌唱の自信につながることとなる。なお，声区の用語については，現在も認識にばらつきが見られる。人はそれぞれ違う身体条件を持っており，男女の別や声域の高低・広さによって，声区の融合は異なる[8]。一般的に，地声と頭声の切り替えを声区転換と捉えていることが多く，胸声と地声の理解もさまざまである[9]が，本稿では，リチャード・ミラーの考え方に基づいて，声区を胸声区，中声区，頭声区と分けて論じる。

筆者らは，声区転換を視覚的に提示することが，声区転換領域の発声の理解を促す有力な方法となり得ると考え，その方法を提案するものである。まず，プロ歌手２名の母音発声の録音および可視化を行う。次に，この録音結果を音楽専門家３名が聴いて声区転換領域の発声の良否について評価する。その結果にプロ歌手のヒアリング結果を反映させ，さらに，発声時の可視化情報を総合して，声区転換前後での発声評価を求めた。これらにより，学生・生徒に声区転換の理解を進める新しい方法について検討する。

Ⅱ．音の可視化装置による音声の可視化について

音声分析には，従来から音声波形やスペクトログラム等物理的な測定が用いられてきた。音声生理学の分野では，リアルタイムで声帯の動きや音声をとらえたビデオ映像，MRI装置を用いて，声道や歌唱状態の喉頭，口腔や舌等の変化を画像でも見ることもできるようになってきた[10]。米山は，音を視覚的に計ることを別の視点から検討することを提案し，体壁振動をサーモグラフィーとレーザー干渉計による呼吸法の異なる発声の体表温度の比較，また，音の可視化装置[11]を用いて，歌手の発声時の体外放出音の拡散状態について検討している[12]。音の可視化装置は，音圧レベルを円の大きさで，周波数特性を色で示し，これらの情報を，音源を含む映像上に音の発生と同時に表示可能である。このような特性を利用して，さまざまな分野で活用されている。自動車の車室内における異音探査，風力発電用風車から発生する音の可視化，象の低周波音コミュニケーションの可視化などに加えて，音楽分野では，発声の可視化について熊谷組と信州大学の共同研究が行われている。歌唱者が歌唱状態を視覚的・直観的に感受でき，客観的な歌唱の評価につながる可能性がある。音の可視化装置を用いて声を改善することができれば，この方法は，いわば歌唱画像診断となり得ることが期待できる。

齊藤等は，音の可視化装置を用いた音楽教育にかかわる声の可視化に関する基礎的検討を行い，次の３点を明らかにしている[13]。１．頭声発声は頭部のみでなく，胸部や腹部から放射されていること。２．低音域から高音域まで放射される場所は頭部と胸部が中心になっていること。３．「歌声」と「話声」は，基本的に声が放射される部位は頭部と胸部で，高音域になるにつれて頭部からの放射が強調される現象は見られなかったこと。

では，胸声区，頭声区などの声区転換において，音の可視化装置では放射に変化が見られるかどうかについて，本稿ではプロの歌手を対象に行った歌唱の可視化実験を行う。

Ⅲ．音の可視化実験

１．概要

⑴　実験日時：2016年11月21日，27日

⑵　実験場所：熊谷組技術研究所無響室（図１）

⑶　被験者：プロの歌手８名（男性４名，女性４名）本稿では，うち２名の分析を行う。

⑷　実験内容：母音（a，e，i，o，u）を発声し，ピッチを少なくとも５段階上昇させた。発声時の状況は，被験者の正面から音の可視化装置で計測し，同時にPCMレコーダで録音した。可視化装置は５つのマイクロホンと１つの小型カメラを装備しており，マイクロホンで収録した音情報を用いて音源方向を推定し，音情報と小型カメラから得られた映像情報をパソコン上で組み合わせて表示する。被験者と音の可視化装置の距離は1,200mmとした。解析に用いる音声信号は全てＡ特性補正を行い，周波数範囲300 ～ 7600Hz，音圧レベル40dB以上の成分を対象に行った。音源方向の計算は0.25秒間のデータを用いて行い，これを1/30秒ずつずらしながら表示することで時系列変化を確認した。FFTによる周波数特性は，サンプリング周波数16384Hz，データ長１秒，ハミング窓を用いて計算した結果とした。

⑸　倫理的配慮：本実験では，協力願ったプロ歌手に対して，実験内容とデータの取り扱いについて文書と口頭で説明を行い，理解と協力を求めた。なお，調査の対象となったプロ歌手には，学会発表や調査結果の論文への使用の了解を得ている。

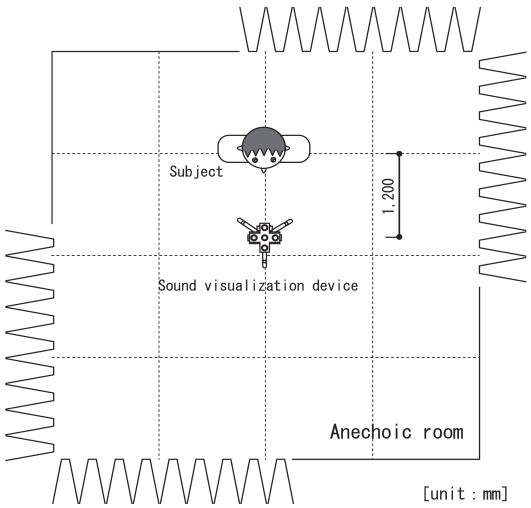

図１　実験時の状況（無響室）

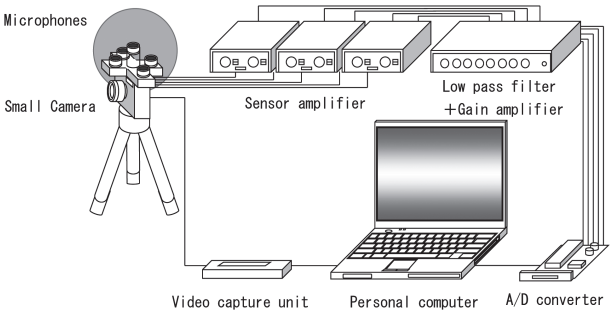

図２　可視化装置　システム系統

２．音の可視化実験の実験結果および考察

FFTによる発声時の周波数特性および可視化装置による測定結果を図３，４に示す。本稿では，被験者８名のうち，総合評価（10点満点）の得点が高かった上位２名（ソプラノ，バリトン）のデータを使用した。被験者のソプラノは，コロラトゥーラの軽い声質を持っており，バリトンは，リリック的な声質を持っている。FFTによる発声時の周波数特性および可視化装置による測定結果から，ピッチが上昇して声区転換が行われると，倍音成分が増加していることがわかった。男性被験者Ａ（バリトン）の場合は，低音域にピークを持つ成分の周波数幅が大きくなっており，高音域の成分は特定の周波数というよりも広い範囲で周波数幅が増加していた。女性被験者Ｂ（ソプラノ）の場合は，低音域にピークを持つ成分の周波数幅が大きくなっているが，鋭いピークは残っている。高音域の成分は倍音成分が増加していた。Ｂの場合，さらに高音域においても声区転換が行われていると考えられる。

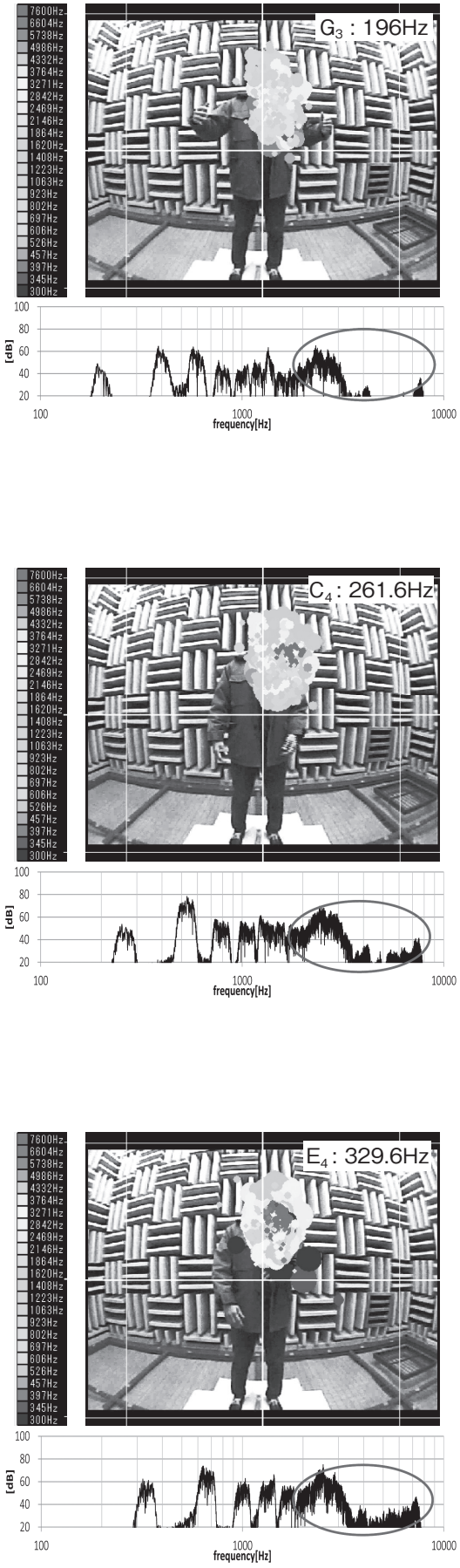

図３　測定結果：男性被験者Ａ
Vowel: a, Pitch: G_3, C_4, E_4

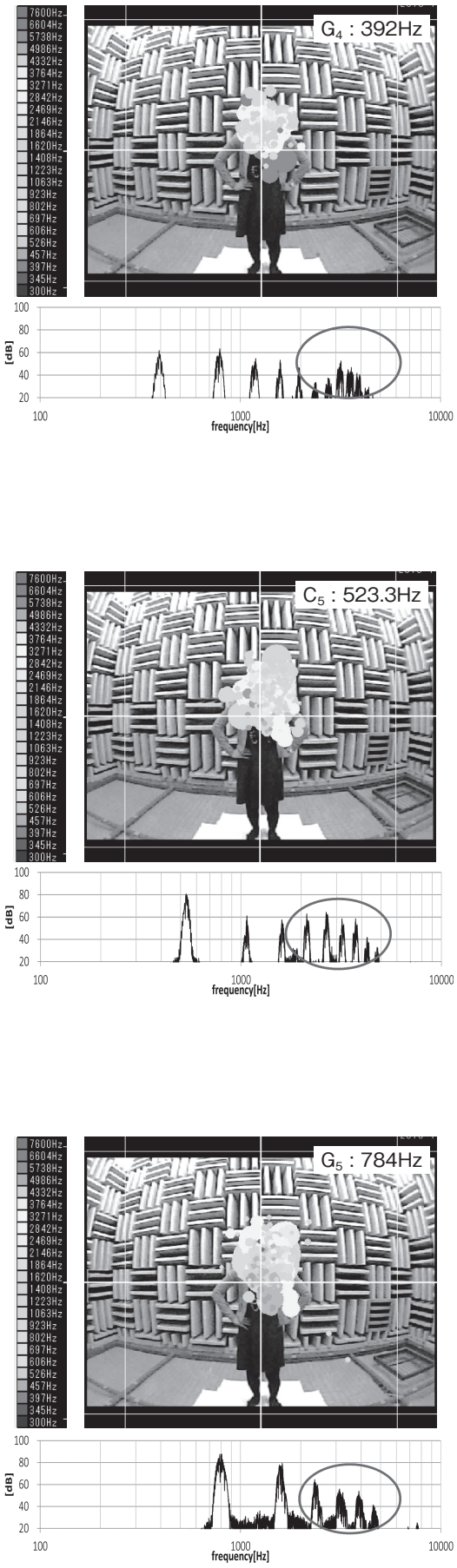

図４　測定結果：女性被験者Ｂ
Vowel: a, Pitch: G_4, C_5, G_5

Ⅲ．音楽専門家の評価

１．概要

⑴　調査日程：2017年５月８日

⑵　調査者:音楽専門家３名（男性１名，女性２名）

⑶　調査内容：可視化実験で録音した８名の音声を，発声の被験者およびピッチごとに試聴し，表１に示す評価項目に４件法で回答してもらった。評価の結果は３名の平均値で集計した。さらに，評価の最後に，各歌手の総合評価を10点満点で採点してもらった。

表１　評価項目

Item	#1 響きが豊かである
	#2 息の流れがよい
	#3 音程が正確である
	#4 音質（声質）がよい
	#5 声量がある
	#6 心地よいビブラートである
	#7 個性的な声である
	#8 ブレスがスムーズである
Scale	1　全くそうでない
	2　あまりそうでない
	3　まあそうである
	4　とてもそうである

２．評価の結果および考察

音の可視化実験の被験者２名，男性被験者Ａ（バリトン）と女性被験者Ｂ（ソプラノ）の評価結果について考察する。表１に示した評価項目は，合唱歌唱の声の評価に大きく関係する内容を選択項目とした[14]。これらの評価項目のうち，音の可視化情報に対応しているのは#1, #3, #5, #6の項目となる（表２）。評価の結果を図５，６に示す。

表２　評価項目と可視化情報との対応

	評価項目	可視化情報
#1	響き豊かである	周波数，時間，倍音成分
#3	音程が正確である	周波数
#5	声量がある	音圧レベル（音の大きさ）
#6	心地よいビブラートである	周波数の幅

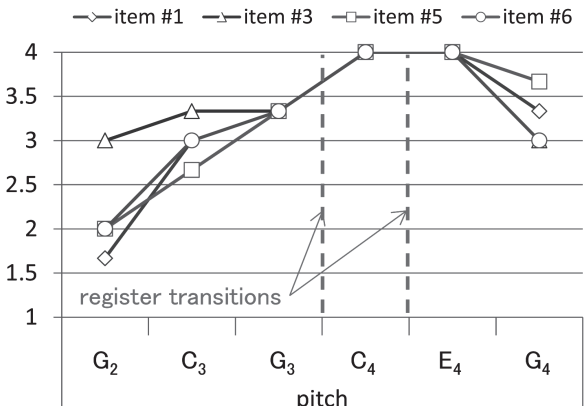

図５　評価結果（男性被験者Ａ）

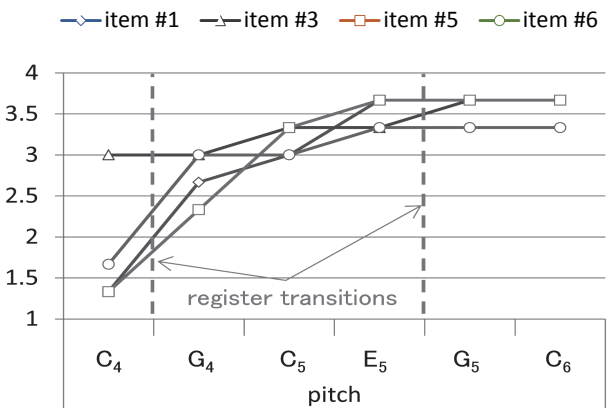

図６　評価結果（女性被験者Ｂ）

リチャード・ミラーによれば，声区転換の位置は，バリトンは，$B^{\flat}{}_3$と$E^{\flat}{}_4$，ソプラノは，$E^{\flat}{}_4$と$F^{\#}{}_5$とされる[15]。また，クラシックの歌唱の声は，胸声，頭声をなめらかにむらなくつなげるための調整（声区融合）が行われる中声区の部分に分けられる[8]。男性被験者Ａは，喚声点を挟む音高G_3～C_4およびC_4～E_4間に，評価項目「響きが豊かである」「声量がある」「心地よいビブラートである」「音程が正確である」の評価点の上昇が見られ，４項目とも評価は一致しており，高いものであった。女性被験者Ｂは，低声部の喚声点を挟む音高C_4～G_4の間に評価点の上昇が見られたが，評価にばらつきが見られた。Ｂは，評価項目＃1，＃5，＃6が低めであったが，第１音は，男性被験者Ａにも同じような傾向が見られた。表３の歌手のヒアリング調査のコメントに見られるように，声種にかかわらず，第1音目の低音は，歌手にとって発声しにくい音域であるといえる。さらに，女性被験者Ｂの場合は，喚声点$E^{\flat}{}_4$の前の低声部であることも影響があったのではないかと思われる。高音域の喚声点を挟む音高E_5～G_5では，全体の項目の評価はおおむね高く，さらに上の音域も変わらず評価が高いのが特徴となっている。女性被験者Ｂのようなハイソプラノの場合，頭声区の上に，笛声区（フラジオレット）がある[16]ことから，さらに高音域でも声区転換が行われている可能性が考えられる。

以上，音声の評価が喚声点の後で上昇し，可視化による評価で，音圧レベルの上昇と高音域の音圧レベルの上昇が確認された。次に，可視化実験に対する発声時のコメントを被験者２名に，半構造式ヒアリング調査を行った。

Ⅳ．歌手に対するヒアリング調査

１．概要

⑴　日程：2017年５月15日　２名　都内スタジオ（一人１時間）

⑵　内容：2016年11月に行った音の可視化装置による歌唱実験に対するヒアリング（半構造化形式）

1）歌唱時の感覚についての質問内容：声区の歌唱時の響き，身体の状態，息の流れ，変化，及び，各々歌手の感じ方について。（音声のみの聴取）

2）音の可視化装置の画像を見て，自身の発声について自由にコメントする。

3）音源と画像は，無響室で録音，録画した音声（母音a，e，i，o，u）を再生したものを使用。

２．ヒアリング調査の結果及び考察

喚声点の前後のコメントを見ると，被験者Ａの場合，G_3に「上を開ける」意識を持ち，C_4ではそのまま開けていく感覚を保ち「出しやすくなる」，E_4では，

表３　各歌手の声区の変化における歌唱時の状態

	第１音 G_2	第２音 C_3	第３音 G_3	第４音 C_4	第５音 E_4	第６音　G_4
男性被験者Ａ	①出るかなという感覚。様子を伺う感じ。 ②下の音は声帯が緩んでいるので，iは閉めると下がなくなる。もっと下に青がでるといいな。理想としては，足から出るのは理想的。	①下を意識している。胸声で歌う。 ②一緒ですね。	①**上を開けるようにしている。**奥をちょっと開ける感覚。 **はまってきている。マスケラに響かせる。**まんべんなく縦に出る。	①**出しやすくなる。**自由で，もっと瞬発力がいる。弱くなると低い音が安定しなくなる。**もっと開けていく。楽になる。** ②**楽ですね。まんべんなく出る。**	①**あけている。** ②**上と下を引っ張っている。**あけて後ろでとるイメージ。よく下に引っ張る。	①iとかuは**息が落ちてくる。**ひっくり返る。 ②**つながらなくなる。**下の青色が出ない。高い音になるとそうなるのか。
声区	**胸声区**			**中声区（声区融合領域）**	**頭声区**	

	第１音 C_4	第２音 G_4	第３音 C_5	第４音 E_5	第５音 G_5	第６音 C_6
女性被験者Ｂ	①吐いている。違う感じ。音がつながると息は流しやすい。無理やり出している。響かせている場所は，無理やり音を作っている。 ②**ちゃんと鳴っていない。**	①ちがう。さっきの音は，落としている。このとき，身体は変わっていない，**頭声を意識した感じ。調子がいいと上のままで歌える。** ②安定している。	①**失敗はしない区域。**前に吐いている感じ。普段の響きが聞こえない。普段聴こえている響きが全く聞こえないので，どうしようと思った。 ②後ろがあいたら，低周波が出る。**筒っぽく歌っている。**	①**音が高いので，上の響きが増えている** 出し方は変わらない。	①**出し方変わらない。**響きがのっかりきっていない。しゃーっとなっている。身体は動かない。 ②**音の取り方は上を意識。**	①自分のソロとの感覚ではぱさぱさ。声の密度がもう一つ。直接的に音の取り方 ②**声帯を薄く引っ張っている。**

＊各歌手の喚声点を太線で示している。①は画像を視聴前，②は視聴後のコメント。特徴的なことばを太字で表わす。

上と下を引っ張るというように開ける感覚をさらに広げているように思われる。被験者Bは，ヒアリング調査では，常に残響が聴こえない無響室のため，普段のように自分の声が聴こえない状態で違和感があったと述べている。また，残響を含みながら音程をとっていることがわかったとも述べている。

被験者Aは，さらに喚声点について，次のような意識をもって発声していると述べている。

> 音の出し入れにおいて，頭声から胸声，胸声から頭声とテクニックを必要とする繋ぎ目。その辺りの切り替え地点といいますか，換声点がパッサッジョなのかなと思います。実声だけでは，声が生っぽく，喉も上がってしまう。眼の奥，鼻の奥を広げ，後ろをよく開けて，背筋を使って，身体を心地よく広げ，支えを保つ。ブレスも足の裏，深い所から吸い上げる事で，結果的に吸気筋がバランス良く使えて，パッサッジョを意識せずとも頭声も混ざった統一感のある声になるのではないかと思います。

被験者AおよびBのコメントに,「頭声を意識した」「頭声も混ざった統一感のある」とあるように，頭声発声が重要な要素になっていることが窺える。インゴ・ティッツェは,「伝統的な歌の訓練では，円滑な移行をつくるための声区の橋渡しが多く行われている。歌い手は中声区とファルセットの混在する頭声を用いることを教わる。－中略－ 頭声は声区のうちでは最もバランスの取れたものである。頭声は歌の個性的な表現を行うためにより大きな可能性を持っている。[17]」と述べている。被験者Aは，頭声を基本に統一感のある声を目指して，背筋，身体の支え，ブレスとともに呼気筋に注意を払っていることから，喚声点の移行には，身体がより楽器になる意識が必要となると考えられる。第６音のG_4では，図５に示しているように，評価が下がっている。「息が落ちる」「つながらない」という表現にも見られるように，息のスピードや量が減少しているのではないかと考えられる。被験者Bの場合は，ハイソプラノで，胸声区と頭声区の間に中声区が入るため，喚声点の位置が離れている。また，低音部のC_4では音が鳴っていないという意識をもっている。喚声点を越えたG_4では頭声を意識して発声している。さらに，C_5の中声区は失敗しない区域との認識を持っており，その上の喚声点の前のE_4では上の響きが増えている感覚を持ち，G_5ではそのまま出し方を変えないで発声しているとコメントしている。両者に共通しているのは，声区転換の前後に，頭声への意識をもち，響きの増幅や身体の開放に留意している点である。クラシック歌手の場合，歌唱の基本は声区転換での音質の変化を上手に乗り越えて，低い音から高い音までその歌手が歌えるすべての音をむらのない響きで，なおかつ歌詞がよく分かるように歌うことであるとされている[4]。フースラーも，声区と声区のあいだでは，いわゆる声区の「分裂」が生じやすく，歌手はそれを「融合させ」なければならないと述べている[18]。これらのことから，プロの歌手は，低音域から高音域まで切れ目のない発声法を理想としており，喚声区において，響きを増幅させるために，発声を調節し，声区の変化がわからないように努力していることが確認できた。

Ⅳ．まとめ

声楽初学者や小中学生が声区転換領域の発声理解に困難を憶えている現状に対して，母音発声の録音および可視化を利用する方法が有効ではないかと考え，そのための基礎研究を行った。まず，基礎となる音声として，プロ歌手の声区転換領域の母音発声を用い，その音声を録音し，同時に可視化した。録

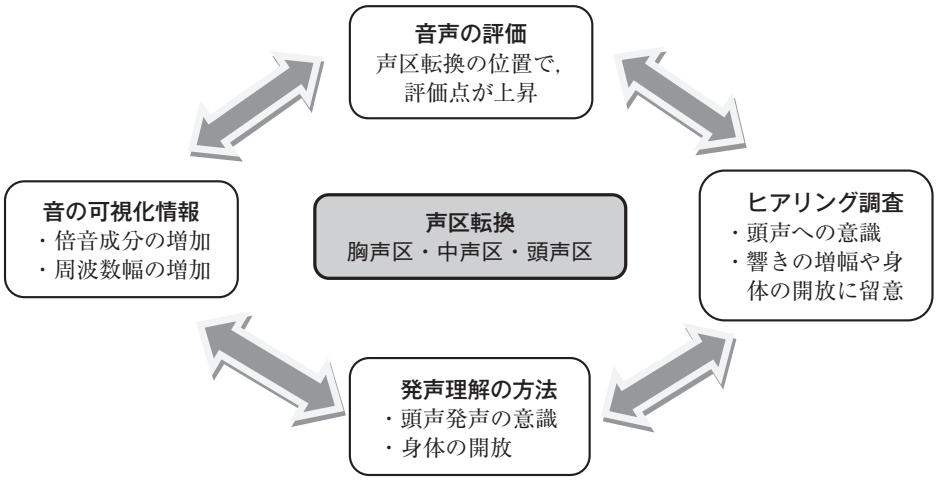

図７　声区転換の可視化と発声理解

音された音声を音楽専門家3名に評価してもらい，その結果に歌手に対して行ったヒアリング調査の結果を反映させ，さらに，発声時の可視化情報を総合して，声区転換前後での発声を評価すると，発声評価に変化が見られることが確認された。その結果は，以下のようにまとめることができる。

1．声区転換の可視化情報によって，胸声区と頭声区の違いを確認できた。
2．胸声区から中声区，頭声区の転換によって，発声の聴取評価が上昇する。
3．プロ歌手は，胸声と頭声の声区転換領域の発声について，頭声への意識をもち，響きの増幅や身体の開放に留意している。

図7は，結果を図式化したものである。

この結果により，声区転換領域で胸声発声から頭声発声への転換が発声法として必須であることを確認し，さらに，発声の録音情報と可視化情報から，個々人の声区転換領域での発声状態を理解できる可能性を示した。今回は，単音の持続による母音発声を対象に検討を行った。今後は，音高の異なるフレーズを伴った発声についても検討していく。

謝辞

ご多忙の中，実験にご協力いただきました声楽家および音楽専門家の皆様に心より感謝いたします。

付記

本稿は，日本音響学会2017年秋季研究発表会において行なった研究発表「各声種にみられる声区転換の可視化に関する研究　その1－音楽専門家によるアンケート結果との対応－」をもとに加筆修正したものである。本研究は科研費（16K04690）の助成を受けたものである。

注と参考文献

1　山本敬，『小学校教員のためのわかりやすい歌唱指導ガイドブック』，教育芸術社，pp.114-124，1994.
2　学部1年生対象の必修科目「初等内容音楽研究」の受講者36名に対して行った調査による（2017年10月24実施）。
3　Johan Sundberg, *The Science of The Singing Voice*, Northern Illinois University Press, 1987. ヨハン・スンドベリ，榊原健一監訳，伊東みか，小西知子，林良子訳『歌声の科学』東京電機大学出版局，p.51，2007.
4　Richard Miller, *Solution for Singers*, Oxford University Press, 2004. リチャード・ミラー，岸本宏子，長岡英訳，『上手に歌うためのQ＆A 歌い手と教師のための手引書』，音楽之友社，p.20，2009.
5　上江洲安史，古川貴博，鏑木時彦，声区転換におけるピッチと第一フォルマンと周波数の関係性の分析，『日本音響学会講演論文集』，p.195，2014.9.
6　前掲書3，p.52.
7　A DICTIONARY of VOCAL TERMINOLOGY by CORNELIUS L. LIED 1983, 1994. コーネリウス・リード，移川澄也 訳・監修，『声楽用語辞典 コーネリウス・リードによる解剖と分析』，キックオフ，p.307，2005.
8　前掲書4，p.21.
9　竹田数章，音声生理学講座 音声医学から考える声種について，『声楽発声研究』No.5，pp.75-76，2014
10　河合孝夫，杉本英治，声楽発声の共鳴腔，『声楽発声研究』No.6，pp.4-12，2015.
11　大脇雅直：音カメラの開発と適用事例，騒音制御Vol.35，No.5，pp.421-426，2011.12.
12　米山文明，『声の呼吸法』，平凡社，pp.218-238，2011.
13　齊藤忠彦，財満健史，大脇雅直，音楽教育における声の可視化に関する基礎的検討，『信州大学教育学部研究論集6』，p.11，2013.
14　虫明眞砂子，須田千帆美，合唱歌唱とソロ歌唱の発声に関する考察（1），『岡山大学大学院教育学研究科研究集録第164号』，p.70，2017.を参照されたい。
15　Richard Miller, “*The Structure of Singing System and Art in Vocal Technique*”, Schirmer Books 1986. リチャード・ミラー，岸本宏子，八尋久仁代訳，『歌唱の仕組み』，音楽之友社，pp.133-169，2014.
16　前掲書4，p.26.
17　Ingo R. Titze, *Principles of Voice Production*, Prentice Hall, 1994. インゴ・ティッツェ，新美成二監訳，田山二郎，今泉敏，山口宏也訳，『音声生成の科学；発声とその障害』，医歯薬出版，p.205，2003.
18　Frederick Husler and Yvonne Rodd-Marling, *Singen; Die physische Natur des Stimmorganes; Anleitung zum Aufschließen der Singstimme*, Schott Musik, 1965. フレデリック・フースラー，イヴォンヌ・ロッド＝マーリング，須永義雄，大熊文子訳『うたうこと　発声器官の肉体的特質-歌声のひみつを解くかぎ』音楽之友社，p.75，1987.