

[研究ノート]

声楽経験の異なる女性の歌声の音響分析による比較検討 —フォルマント周波数を通して—

水越 美和

1. はじめに

声楽演奏者にとって、発音の明瞭度をできるだけ保ちつつも各母音の響きをそろえると同時に、いかに効率良く歌声の響かせるかは重要な課題である。発声を学ぶ際に、「喉を開けて」、「喉を下げて」、「顎や舌を楽に」といった注意を受けることがよくある。筆者自身も指導の際にこうしたことがらに直面することがしばしば起こり、発声技術を習得する過程で生じる諸問題について興味を持ち、歌声について客観的に記述する手だてのひとつとして音響学的手法を用いて検討してきた。

本研究では、大きさ、高さ、長さがほぼ同じ複数の音声を比較する手段としてフォルマント formant 周波数²⁾に着目し、声楽指導者から一般学生まで、声楽経験の異なる女性を被験者として録音実験、音響分析を行い、中音域を中心とした音域における歌声について比較検討を行う。

2. 研究方法

2.1 実験方法

単音で3種の母音/a:/, /i:/, /u:/を、異なる4つの音高D4(295Hz)、G4(394Hz)、D5(590Hz)、G5(788Hz)で³⁾、それぞれ約2秒間ずつのばして発声したものをDATテープレコーダーに録音する。使用機器はDATテープレコーダー(ソニーTCD-D10)、マイクロホン(ソニーECM-672)とする。被験者は日本人女性11名で、本学(お茶の水女子大学)の声楽講師及び助手、声楽専攻学生及び一般学生とする(表1)。

2.2 分析方法

録音実験で得られた歌声をパーソナルコンピューターに取り込み、各歌声の波形の安定した部分を約1秒間だけ抽出し、Windows対応の音声音響分析ソフトウェアMulti-Speech Model 3700(Kay Elemetrics Corp. 製)を用いてスペクトログラム(SPG)及び長期平均パワースペクトル(LTAS)の抽出、第1～第5フォルマント(以下F1～F5のように表記する)、の計測を行う(SPG及びLTASのグラフについては、後出のグラフ2を参照)。

2.3 検討方法

分析結果をもとに、(1) $F1$ と $F2$ の変化⁴⁾、特に $F1$ に関してはフォルマント同調 formant tuning⁵⁾の有無について、(2)「歌手のフォルマント」“singer’s formant”⁶⁾の有無について検討する。(1)では、主としてスンドベリ Jhohan Sundberg がプロのソプラノ歌手を対象に行った研究⁷⁾を手がかりに(資料1)、また、フォルマント同調に関してはジョリヴォー Elodie Joliveau らによる研究⁸⁾を参考にして(資料2)検討を行う。資料1では、プロのソプラノ歌手が異なるピッチで歌唱した場合の、5母音についての $F1$ ~ $F4$ の推移が示されている。 $F1$ は基本周波数(発声周波数)より低くならないよう上昇(同調)し、また後舌母音である/u:/、/a:/の $F2$ は上昇し、前舌母音である/e:/、/i:/の $F2$ は下降していることがわかる。資料2では、ソプラノのプロ歌手または大学院生らを被験者として、4種類の単語を異なるピッチで歌った場合の $F1$ の変化が示されており、母音によるフォルマント同調の違いが表れている。

(2)については、全被験者の全データについて LTAS を抽出し、池田；伊東による先行研究⁹⁾を参考にして判定を行う。すなわち LTAS グラフにパワー・スペクトルの包絡線を引き、2.5~4.0KHz 付近に明確な山が存在し、かつ 15dB 以上の振幅上昇がある場合を「歌手のフォルマント」有りとし○印、そのような山が無い場合は「歌手のフォルマント」無しとし×印、どちらとも判断しがたいものは△印として検討を行う。

3. 結果と考察

3.1 $F1$ と $F2$ の変化について

本実験の被験者の声楽経験はそれぞれ異なっているが、そのうち声楽経験の近い2名を1グループとして選出、「講師」「院生」「4年」「3年」「一般」の5グループ計10名¹⁰⁾を対象に、各グループの各音、各母音の $F1$ と $F2$ の平均値をグラフ化(グラフ1)、前述した先行研究とも比較検討し、その結果について考察していく。

3.1.1 $F1$ の変化について

もともと母音/a:/は $F1$ が 800Hz 付近と高く、フォルマント同調がなされる必要がないためか、本研究対象となった音域においては基本周波数の上昇に対して一定の傾向は認められなかった。ジョリヴォーらによる先行研究においても、/a:/の発音を含む‘hard’では、800Hz 付近までは基本周波数の上昇に伴った変化はみられず、またスンドベリの研究結果も同様で、本研究でも等しい結果が得られたといえよう。

低い周波数に位置する/i:/及び/u:/の $F1$ は、全グループにおいて基本周波数の上昇に伴って上昇しており、すなわちフォルマント同調がなされていることがはっきりと認められた。このことから、本実験の音域内においては声楽経験にかかわらずフォルマント同調が行われることが明らかになった。

3.1.2 F2の変化について

母音/a:/では、スンドベリの先行研究によるとプロのソプラノ歌手は600Hzを超えたあたりから大幅な上昇が始まっており、これと「講師」、「4年」、「3年」の結果とは一致していた。しかしその一方で、「一般」はD5からG5にかけて約250Hzも下降しているが、F2のこうした変化は先行研究にはみられなかった結果である。

また、スンドベリの専攻研究によると、プロのソプラノ歌手では前舌母音である/i:/のF2は下降し、後舌母音である/u:/のF2は上昇しているが、それとほぼ一致する結果が現れたのは「講師」のみであり、他のグループにおいては、母音/a:/におけるF2の場合と同様に、先行研究にはない結果が得られた。

このような基本周波数の上昇に応じたF2の変化の仕方は、声楽経験と深く関わっていると考えられ、このことから、さまざまな音高を発声する際に、舌などの発話器官を制御するための技術を習得するにはある程度の声楽経験が必要であると推測されるが、これについては今後さらなる調査が必要とされよう。

3.2 「歌手のフォルマント」の有無について

2.3で述べた手順で判定を行い(表1)、その結果について以下の3つの観点から考察を行った。

3.2.1 母音と「歌手のフォルマント」

全体的に、3つの母音のうち/a:/は「歌手のフォルマント」が比較的現れやすかった。/i:/の結果は被験者によってかなり違いが出たが、「歌手のフォルマント」の現れ方が音高と深く関わっていることがわかった。すなわちD4やG4のような、比較的低い音域では現れやすいが、高い音域では現れにくく、特にD5では全く現れなかった。×印が最も多かった/u:/については、被験者によって現れる場合と現れない場合とに明確に分かれた。

3.2.2 経験年数の差と「歌手のフォルマント」

/i:/に関しては、経験による差というよりはむしろ個人差、また音高による違いが顕著であったが、/u:/においては、経験年数が「歌手のフォルマント」の現れ方に深くかかわっているようで、被験者A,B,Cに集中して観察された。また比較的「歌手のフォルマント」が現れやすかった母音/a:/においても、経験年数が増すにつれて「歌手のフォルマント」が現れやすい傾向がみられた(表1およびグラフ3を参照)。

参考までに、同一被験者において、本研究のデータと、約1年前に同じ条件で録音した歌声のデータとを比較してみると、同様のことがいえよう(グラフ2)。

3. 2. 3 各被験者の個性と「歌手のフォルマント」

特に/u:/では経験年数が増すほうが「歌手のフォルマント」が現れやすい傾向にあると考えられるが、/i:/はどちらかといえば経験年数にかかわらず、被験者によってこの母音の発音を得意、または不得意とするようである。また/a:/や/u:/においては、被験者 A（メゾソプラノ）のように低い音域を得意とする者は低い音高、逆に被験者 C（ソプラノ）のように高い音域を得意とする者は高い音高に「歌手のフォルマント」が顕著に現れやすい傾向にあることも考えられる（グラフ 3）。

4. 結び

声楽経験の異なる女性の歌声を、音響分析を通して比較検討した結果、経験の有無、多少と深く関わっていると考えられる部分($F2$ の変化の仕方や/u:/における「歌手のフォルマント」の現れ方など)と、そうでない部分($F1$ の変化、/i:/における「歌手のフォルマント」など)とがあることが明らかになった。声楽教育の場では、ほとんど全ての生徒に共通して指導すべきことがらと、1人ずつ異なった対応をしなければならないことがらを見極め、共通の課題と個別の課題を与えていかなければならないが、以上のような結果をふまえて、的確な指導につなげていきたい。

注

- 1) 本研究における「歌声」は、洋楽的唱法による歌声 Western opera and concert singing voice あるいはオペラ歌唱による歌声 Operatic singing voice とする。
- 2) 音声のスペクトル包絡上で特定の周波数領域にエネルギーが集中して生じる山。低い周波数から順に第1フォルマント、第2フォルマント、のように呼ばれる。
- 3) 本研究における音高の表示方法は国際式（たとえば1点二はD4）とする。また各音の周波数はA4=442Hzとした場合の値。
- 4) 個々の母音は、それらに固有なフォルマント周波数をもっており、各母音は $F1, F2$ によってほぼグループ分けができるが、 $F1$ は顎の開きまたは声道長と、 $F2$ は舌の形状や位置と深く関わっていると報告されている。
- 5) 基本周波数が発音しようとする母音の本来の $F1$ の範囲を超えたとき、顎の開きを大きくするなどして基本周波数に合わせて $F1$ を上昇させる動き。これによって、高音域の歌声の振幅を効率よく増大させることができる。
- 6) 高次フォルマント ($F3, F4, F5$) の集中によって 2.5-3KHz 付近に生じる周波数スペクトルの高まり。歌手の華麗な歌声にみられるもので、その調音状態は、喉頭が下がり咽頭が広がっていると報告されている。
- 7) SUNDBERG 1978

- 8) JOLIVEAU ; SMITH ; WOLFE 2004
- 9) 池田 ; 伊東 2000
- 10) 被験者一人ずつのデータをグラフ化するとかえって煩雑となり、比較検討が困難となることから、本研究では5つのグループに分けたが、結果として被験者Cがどのグループにも属さなかったため、3.1における検討対象からは敢えて除外した。

主要参考文献

池田, 操 ; 伊東, 一典

- 2000 「音楽科学生と一般学生の歌声の音響分析と評価—シンガーズ・フォルマントを指標として—」『上越教育大学研究紀要』19(2):493-509.

JOLIVEAU, Elodie; SMITH, John ; WOLFE, Joe

- 2004 “Tuning of vocal tract resonance by sopranos” *Nature* 427 : 116.

日本音響学会 (編)

- 2003 『音響用語辞典』 東京 : コロナ社.

SUNDBERG, Johan スンドベリ, ヨハン

- 1978 “Synthesis of singing” *Swedish Journal of Musicology* 60:107-112.

- 1982 “Perception of singing” *The psychology of Music*, DEUTCH, Diana(ed.),
New York:Academic Press : 59-98.

- 1987 日本語訳「歌声と歌唱の知覚」『音楽の心理学(上)』ドイチュ, ダイアナ (編) 寺西,
立年 ; 大串, 健吾 ; 宮崎, 謙一 (監訳), 新潟 : 西村書店 : 71-117.

- 1987 *Science of the Singing voice*, DeKalb, Illinois: Northern Illinois University Press.

- 2007 日本語訳『歌声の科学』榊原, 健一 (監訳), 東京 : 東京電機大学出版局.

みずこし みわ

お茶の水女子大学大学院人文科学研究科修了。現在、お茶の水女子大学人間文化研究科博士後期課程在学中。お茶の水女子大学非常勤講師。論文：林廣子，長田美和「環境空間と歌声」平成11年度～平成14年度科学研究費補助金(基盤研究(C)(2))研究成果報告書「環境空間に応じた歌声についての音響学的検討」(研究代表者 林廣子)，2003年3月，41-82.

