

氏名	上原 崇寛
ヨミガナ	カンバラ タカヒロ
学位の種類	博士（学術）
学位記番号	博音第370号
学位授与年月日	令和4年9月30日
学位論文等題目	複数人歌唱・同一音高での「声を合わせること」に関する音響特徴量の振る舞いと聴感の関係

論文等審査委員

（主査）	東京藝術大学	教授	（大学院音楽研究科）	亀川 徹
（副査）	東京藝術大学	教授	（大学院音楽研究科）	丸井 淳史
（副査）	東京藝術大学	准教授	（大学院音楽研究科）	後藤 英
（副査）	東京藝術大学	准教授	（大学院音楽研究科）	田村 文生
（副査）	東京藝術大学	准教授	（大学院音楽研究科）	萩原 潤
（副査）	九州大学	教授		鏑木 時彦

（論文内容の要旨）

最も盛んな声楽の一形態である合唱において、同じパート内で声を合わせるよう努めることは非常に重要であり、基本となる。合唱指導者や熟練者は経験に基づいて上手く“声を合わせる”が、その際における音響学的な振る舞いは十分精査しきれておらず、発展的な取り組みも進んでいなかった。これは、音響特徴量の抽出が、歌手同士の声が混ざり合うことにより厳密に検討しづらかったためだった。そこで今回は、独唱の実験で取り組まれてきた外部の装置や分析法を用いることで複数人による同一音高の歌声を精度良く収集・分析し、“声が合っている”と感じる際にどのような音響特徴量の関係がなされているのか検討した。

まず第2章では、初期検討として、1人の合唱歌手が別歌手の参照歌唱音を聴きながら発声する予備的な測定実験を行った。被験者要因は後の章の分析に任せ、男声のテナー歌手1人のみに類似の実験セットを用いて繰り返した。参照歌唱音は収録済みの別の被験者による音声とし、参照音を聴かない独唱発声と重唱で主に第1,2声道共鳴周波数の振る舞いを比較した。次に第3章では、第2章で得られた実験設定や分析結果に関わる知見を踏まえた上で、実験設定を改良した同じ趣旨の測定実験を実施した。実際の発声シーンに近い同一音高・同時発声の歌唱を想定し、実験被験者を4人まで増やした上で、主に第1,2声道共鳴周波数に関する振る舞いを比較する。更に、簡易的な歌手向けの評価実験も実施し、歌手は実験最中に「声を合わせられたか」について4段階尺度で発声毎に回答した。その上で第4章では、第3章の実験設定の枠組みを用いた歌唱測定実験を被験者39人に対して実施し、第1,2声道共鳴以外にも1.3節に記載した広範な音響特徴量を抽出するほか、オープンクエスチョンによる実験被験者へのヒアリングやそれに伴う複数回の収録により、より細かな歌手評価による分析を実施した。その結果、第1,2声道共鳴周波数は、声を合わせている時に歌手間で近接し、第2声道共鳴周波数の方が第1声道共鳴周波数よりもより近接する傾向にあった。また、第1,2声道共鳴が近接している程度は、歌手自身の感覚と一致していた。例えば、歌手同士でお互いに声を合わせやすいと感じたり、発声評価に良い感触を持った場合、第1,2声道共鳴周波数はより近接していた。また、聴き手視点でより良い感触がある場合も、第1,2声道共鳴周波数はより近接していた。

その後第5章では、第4章で得た音響特徴量と「声が合っているか」に関する聴感との対応関係を調べるため、全国の合唱歌手に対して聴取実験の参加を募り、第4章で得た音源の一部に関する聴取評価を実

施した。評価に用いる評価語は現場に即したものとなるよう、アンケート調査による評価語の選別を別途実施した。また聴取用音源は、外部音響励振法の影響で含まれている雑音の消音アルゴリズムを実装、使用した上で用いる。分析は、発声方法や歌手評価毎における聴取因子の比較、第1,2声道共鳴周波数をはじめとする音響特微量と聴取評価との比較を実施し、最終的に聴取評価の潜在因子「声があるか」と音響特微量の比較まで行う。

このような声道共鳴周波数の近接は、ただ母音の調節のみに留まらず、他の音響指標にも影響を与えていた。特に最も重要な指標の1つであるピッチ知覚は、同一音高において、第1,2声道共鳴周波数が声帯基本周波数や音高変動率よりも大きな影響を及ぼしていた。このことは、同一音高において音色情報が声帯基本周波数よりもピッチ知覚へ作用していることをより示唆する結果となった。加え、2つの声道共鳴はそれぞれが異なる聴感へ作用していた。第1声道共鳴周波数の調節は声の大きさの統制にも関連し、「響き(響きが共鳴している、空間がよく響いている)」の感覚にも特に作用していた。また、第2声道共鳴周波数の調節はSinger's formant帯域の統制にも影響を与え、「まとまり(ハーモニーが心地よく聴こえる、全体がまとまって聴こえる、溶け合っている、声同士が1つになっている)」「呼吸(息の流れがあっている、無理のない発声)」「声質(声質が合っている、倍音が綺麗に聴こえる)」の感覚にも特に作用していた。第1,2声道共鳴周波数以外で「声が合っているか」という聴感へ大きく作用する音響特微量としては、「発声初期の音高変動率」「声帯接触速度率のばらつき(四分位偏差)」「LSF」が特に挙がることわかった。「発声初期の音高変動率」が歌手同士で近接している場合は、前述した「響き」「声質」の感覚、並びに母音が揃う聴感へ良い作用を与えていた。「声帯接触速度率のばらつき(四分位偏差)」が歌手同士で近接している場合は、MIE(音高間の基本周波数誤差)も歌手同士でより近い値を取る他、母音以外の5つの聴取評価指標で良い作用を与えていた。「LSF」が歌手同士で近接している場合は、逆に全ての聴取評価指標に悪い影響を与えていた他、LSFの近接と第1,2声道共鳴の近接が適度にバランス良く保たれることが良い聴感へと繋がっていた。

ただし、聴取評価においては発声形式(独唱/重唱)の差が大きな影響を与えておらず、歌手視点の評価が良かったり、第1,2声道共鳴周波数が近接している独唱音源の組み合わせであれば、聴取側でも良い聴感を得ていた。なお、発声形式の差が最も反映されていた聴取評価指標は「呼吸(息の流れがあっている、無理のない発声)」だった。また、「呼吸」の評価指標と深く関わる音響特微量には時間変動に関連するものが多いため、独唱と重唱の差異、並びに声を直接合わせた際の影響は、時間変動の観点から着目することが、今後の検討において有用であると考えられる。

#### (総合審査結果の要旨)

本論文は、合唱における「声を合わせること」に着目し、その中でも基本となる同じ音高を複数人で歌唱する場合の音響的特徴の解明を試みたものである。合唱時の発声状態を調べるためには、個々の発声音を個別に分析する必要があるが、周りの声を聞きながら歌唱するという複数歌唱の状態を録音して分析することは困難である。本論文では、申請者が九州大学での修士論文で取り組んだ、声道を音響振動で駆動することで歌唱中の喉頭や声道の状態によって生じる共鳴周波数(フォルマント)を分析する「外部音響励振法」や、声帯振動を測定する電気式喉頭計(EGG)を用いて、本学博士課程でさらに深く研究した成果としてまとめられた。

論文は6章で構成され、第1章では本論文で扱う歌唱に関する生理学および音響学の基礎、実験で使用した測定方法・分析方法を紹介し、第2章から第4章で外部音響励振法などを用いた重唱時の声道共鳴周波数をはじめとする音響特微量の測定・分析をおこなった。そして第5章では4章で得られた歌唱音源を用いておこなった聴取実験を詳述し、第6章で全体を総括している。

聴取実験における「声があるか」という評価には、全国のいくつかの合唱団を対象におこなった合唱の評価に関するアンケートの結果を元に得られた「まとまり・ピッチ・呼吸・響き・声質・母音」の6つの観点を用いて、歌唱時の参照音の有無、聴取環境(ヘッドホン・スピーカ)などの異なる条件下での

重唱の録音を評価した。これらの主観評価の結果と対応する歌唱の音響特徴量との関連を共分散構造分析（SEM）という統計手法を用いて、声が合っていることと関連する音響特徴量を導き出した。

外部音響励振法を用いた44名の測定や、ネット環境を駆使して実施した合唱関係者60名が参加した聴取実験など、多くの貴重なデータから得られた様々な知見は本論文の価値として評価に値する。一方でこれらのデータを十分に生かしきれていない点が多々あることも否めない。特に本論文のテーマである「声が合っている」ということの定義が十分論じられないまま、聴取実験の結果とその後の分析をおこなっている点や、関連する音響特徴量として挙げられた、声道共鳴周波数や声帯接触率、フォルマントのばらつきなどの値が平均値として扱われており、実際の歌唱時で声を合わせる際におこなわれる時系列上の変化について論じられていない点はさらに検討の必要がある。また今回は測定方法の限界から/a//o/の2種類の母音のみの結果であり、子音も含めたより複雑な歌唱についての検討は今後の課題といえる。多くの参考文献を丁寧に引用して論じる一方で、専門家以外には一読して理解しづらい表現が散見される点も改善の余地がある。歌唱実験や聴取実験において、本学で研究できる最大のメリットである「身近にいる優れた演奏者」との意見交換を本研究にもう少し反映できれば、本研究の方向性が明確に見出せたのでは無いだろうか。

以上を総合的に検討した上で、本論で得られた合唱などの複数歌唱における音響的な振る舞いに関する知見は、今後の歌唱の研究に大いに役立つ事が期待できる点を評価し、音楽音響創造の博士論文としての水準に達していると判断した。