

研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

(1/4)

研究題目	歌唱における歌い手のフォルマントの安定性 ～音高と母音の変化における歌声のスペクトル分析と喉頭音源波の観測～	報告書作成者	津崎実
研究従事者	津崎実, 高橋純, 齋藤毅		
研究目的	<p>西洋的な歌唱法の中で、オペラなどの歌唱の場面では「歌い手のフォルマント」と呼ばれる 3 kHz 周辺の共鳴の顕著さが歌唱技量の高さに結びつくと考えられている。この共振は歌い手の通常の会話音声には存在せず、その様式で歌うときだけに観察される特徴である。さらに、伴奏するオーケストラの楽器の長時間スペクトルを観察した場合には、基本的に高域になるほどフーリエ・パワー・スペクトルが単調減少する特性を示し、この「歌い手のフォルマント」の存在は多数の音の混合の中で歌声の存在を顕在化させる手掛かりとして働いていると考えられてきた。今日ではベルカント唱法と言え、この「歌い手のフォルマント」を顕著に含む声だと一般の人が考えるほどになっている。歴史的な経緯としては当初のベルカント唱法は今日のそれとは異なるようであるが、オペラを成立させる様式として確立した「歌い手のフォルマント」の振る舞いについてさらに歌唱技術の観点を導入しながら探究することを本研究では目的とした。</p> <p>その際の問題意識として、これまで観察されてきた歌い手のフォルマントの存在は音声音響信号の長時間スペクトルに基づいた長時間にわたる「平均」として確認されてきたという点に注目した。実際の歌唱場面では、歌手は様々なピッチで様々な母音を歌うことを要求される。前者がなければ旋律のバリエーションはもたらせないし、後者がなければ歌詞を歌うことはできない。高さの制御は喉頭で作られる音源周波数の変化によって担われる。</p> <p>このピッチの変化、母音の変化が伴う場合の、歌い手のフォルマントの安定性に歌唱技術の熟練との対応が見られるか否かが本研究の課題設定である。声のピッチを制御するのは喉頭に存在する声帯の緊張と呼気圧の関係である。声帯の緊張を制御するためには喉頭に存在するいくつかの筋群の弛緩と緊張のバランスを取る必要があり、その際に喉頭の位置が変化する可能性がある。これは物理的に声道を捉えるとその全長が変化することを意味し、共振周波数の変化に繋がらう。その一方で母音を作るには、舌の上下・前後の位置や口唇の丸め具合を変化させ、声道形状を変化させる必要がある。歌い手のフォルマントは喉頭室と呼ばれる喉頭の直上の部分の形状に由来すると考えられているが、このような背景で考えるとピッチの変化や母音の変化は、歌い手のフォルマントに当然影響する要因となってくる。歌唱時には大きなピッチの跳躍の場合に歌声の音色が極端に変わることを嫌う場合が多いが、それほど大きくない跳躍の場合でも歌い手のフォルマントが安定することが、歌唱技量の向上に伴って観察される可能性をこのことは示す。その観点から、歌唱音声の音響分析を試み、さらにその要因として喉頭の制御と制動の制御のいずれが主たる要因となっているかを調べることを本研究の具体的な目的とした。</p>		

研究内容

【実験計画】

熟達度の異なる 2 群の歌唱者による歌唱音声の音響分析を実施し、群間の差の有無を検討する。その際にはピッチの異同、母音の異同を考慮した 2 音の連続歌唱をすべての歌唱音声提供者に課した。母音は“a,i,u”の 3 種とし、ピッチについてはひとつの基準に対して1度(ユニゾン, 即ちピッチ変化無し), 上昇完全 5 度と下降完全 4 度とし、基準音の設定はその範囲が各歌唱者の最も得意とする音域となり、かつ上昇の場合にはパッセージ(声区転換)を経過することになるように設定した。3種類の母音による2音の順列として9種類, 各系列について3種類のピッチ変化の都合 27 種類の条件について、以下に示す歌唱者各自からサンプルを取得した。

【歌唱提供者】

歌唱音声については、京都市立芸術大学の声楽専攻の大学院生と学部生からなる7名の(低熟達群)と同大学院の修了者で現在プロフェッショナルとしての活動をしている2名(高熟達群)とした。

【歌唱音収録と音響分析】

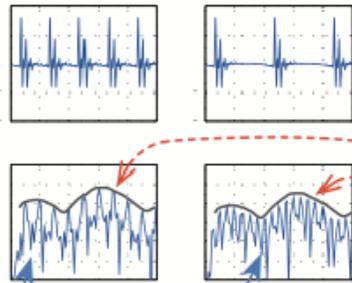
すべての歌唱音声はヘッドセット・マイクロフォンを介して、)により 44.1 kHz, 24 bit でデジタル収録された。今回の研究対象の焦点は歌手のフォルマントに相当する共振周波数の顕在性とその安定度に関するものである。音声に限らず音響分析で頻繁に用いられるフーリエ分析ベースのパワースペクトルの場合、今回用いたような歌唱母音の分析結果には必ず調波的な構造が出現する。2つの音の違いを観察したい場合、例えばそれぞれのスペクトルの差分を計算して定量化するという手法はごく自然に受容される。しかし、調波構造を有する場合、そのピッチ(物理的には基本周波数)が異なれば、調波構造を持つ線スペクトルのすべての要素が異なってくる。音色の差は、この微細な線スペクトル構造ではなく、それぞれの頂点を繋いだスペクトル包絡に見出される。そこで最小限の仮定で動作する平滑化スペクトルの導出法である STRAIGHT 分析を実施し、それで得られた平滑化スペクトル上での差分を計算した。2 音間の差分について、3 kHz 周辺のスペクトル包絡の RMS 誤差、ならびにその付近に出現するピークを合わせた上での誤差を求めた結果、いずれの指標においても高熟達群の方が低熟達群に比べて 2 音間の差が小さい傾向となる群間差が観察された。

【EGG の追加実験】

本研究のもうひとつの目的として、もたらされるような差分が喉頭の制御の巧みさに起因するのか、声道形状の制御の巧みさに起因するのかの切り分けがあった。しかしながら、喉頭の情報を得るための機材である EGG(Electroglottography)の導入が種々の不可抗力により予想以上に遅くなったため、先にレポートした歌唱提供者(高熟達者の場合は、その実験スケジュールの調整が困難)からのデータを得ることはできなかった。その一方で購入した EGG を用いて、同一歌唱者に異なる様式の歌唱法での歌唱を実施した場合は、オペラ的な発声の場合とポップス的な発声の場合では異なる EGG データとなることが示された。

研究のポイント	<p>これまで音声の長時間スペクトル上に観察された歌手のフォルマントについて、実際の歌唱場面に近づけたピッチ変動、母音変動を伴う2音歌唱という課題を用い、単にフォルマントの顕在性だけでなくその安定した出現に焦点を当てたことが最も独創的な点である。この歌唱課題と分析手法は、今後の歌唱法研究にとってもひとつの標準的なものとなりうると自己評価している。</p> <p>このアイデアの確立には、主に歌唱者としての技量向上を研鑽の主眼としている高橋と、音声音響信号処理・音声生成基礎過程に関心の高い齋藤、ならびに音楽心理学、音響心理学を専門とする津崎の3名が相互に情報交換し、新しい切り口を見出すべく努力した結果である。このような異分野間の相互活性化が円滑にできた点が喜ばしい。</p>
研究結果	<p>これまで言われてきた3 kHz 付近に高い共振があるという、オペラ的な歌唱の特徴についてさらに掘り下げた検討を今回は加えることができた。まず、大きな発見は単に大きくフォルマントが存在するかどうかは、歌唱技術訓練効果の1次的な段階であり、より熟練をした歌唱とするには、その安定した制御をするべきということが今回の分析結果の重要なポイントである。</p> <p>この結果については、ある程度の歌唱経験者であればそうあって当然と受け入れられる内容であると想像するが、今回はそれを潜入会を持たずに客観的な計測によって確認することができた。</p>
今後の課題	<p>今までのところ、低熟達群と高熟達群の2群間の差について純粋に音響信号レベルで統計的に検定したレベルに留まっている。もちろん、音響信号レベルでの有意差がないことには、聴感上の有意差を生むはずがない一方で、それは必ずしも見出した差が真に聴感上の差に繋がる知覚の手掛かりとして機能していることを保証するものではない。その上で、実際の人間の聴取者による評価実験を加え、その評価実験結果を着目した音響指標がどの程度予測可能であるかを検証しつつ、最終的には人間の知覚評価に関する計算モデルの構築につなげることが望ましい展開である。</p> <p>また、助成を受けた研究資金のすべてを投入して導入した機材である EGG については、まだまだ十分に活用できていない状態に留まっている。EGG は喉頭の開閉に関するデータをアナログ波形として提供してくれるものであるが、この時間波形に対する音響信号処理が意味をなすものかについて今後検討を進めるべきである。それと平行して、EGG は最低限信頼できる情報である周期情報だけを取得し、生成に関する計算モデルを駆使した合成による分析(Analysis-by-Synthesis)手法により声帯音源情報と声道情報への分離を図る手法についてその手法の開発・精緻化を図る研究グループとの共同研究の可能性を探りたい。</p>

② 同じ母音を異なるピッチで発した場合の時間波形とパワースペクトル



基本周波数の違いによりフーリエ・パワー・スペクトルは異なったものとなる

母音が同一であればスペクトル包絡は同じものとなる

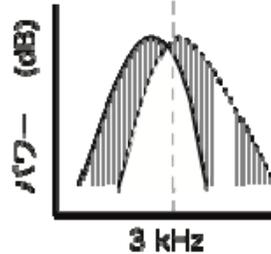
① 異なるピッチ、異なる母音での歌唱について、歌い手のフォルマントの出方を比較



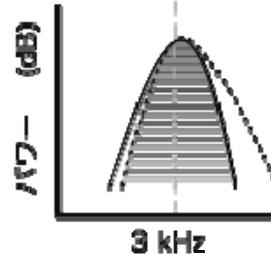
③ STRAIGHTスペクトルは、このスペクトル包絡を提供する一手法

④ 「歌い手のフォルマント」の安定性の2つの指標

3 kHz付近の2つのスペクトルのRMS誤差



3 kHz付近のピークの位置を合わせた上での面積の差



⑤ どちらの指標を用いても高熟達群の値は小さい。即ち、変動が少なく安定していることが示された。

