

氏名（本籍）	いじま さとし 飯島 聡志（広島県）
学位の種類	博士（情報科学）
学位記番号	乙第12号
学位授与年月日	平成30年3月23日
学位授与の要件	広島市立大学大学院学則第36条第3項及び広島市立大学学位規程第3条第3項の規定による
学位論文題目	Influence of auditory feedback on singing voice 聴覚フィードバックが歌声に与える影響
論文審査委員	主査 教授 石光 俊介 副査 教授 岩城 敏 副査 教授 藤坂 尚登 副査 教授 三村 和史

論文内容の要旨

平均寿命の延伸により、健康寿命そして生活の質(QOL)の重要性が謳われている。QOLの向上のために様々な活動が行われるが、その中の一つとして音楽演奏がある。中でも楽器を使わずに演奏できる歌唱は、最も身近な演奏スタイルの一つである。しかし、歌唱は誰もが気軽に行える反面、苦手意識を持つ人にとっては、敬遠したいものであることも事実である。その苦手意識を持つ理由としては、音痴であること、音域が狭いこと、声に自信がないことなどがあげられる。これらの苦手意識を克服するためには、歌唱訓練が必要となる。これまでの歌唱訓練は、伝統的に教師の経験から培われた感覚に頼った指導により行われている。生徒は、教師の歌唱を模倣するなどして訓練するが、発声者自身に聞こえる音声には、気導音と骨導音が混ざっており、どのような歌声が生成されているかを知覚しコントロールするにはかなりの熟達を要する。これまでに、伝統的な歌唱指導の補助や新しい歌唱訓練システムの提案を目的として多くの研究が行われてきた。これらの研究は、主に視覚フィードバックを用いており、リアルタイムで歌声のピッチやスペクトログラムなどを、歌唱者に提示するものである。視覚フィードバックを用いた歌唱訓練は、教育的にも有効であることが示されているが、一方で歌声の音響特徴を表示するだけなので、音高がはずれていることなどが視覚的に分かったとしても、それを学習者だけで修正するのは困難であるという問題もある。そこで、著者は聴覚フィードバックによる歌唱訓練システムを提案する。

音声生成において、人は発声した音声を聴覚器官により知覚し、知覚した情報を発声器官にフィードバックすることで発声を調節している。聴覚から発声へのフィードバックは、聴覚フィードバックと呼ばれ、音声の生成と知覚の相互作用を明らかにするために、聴覚フィードバックに関する研究が数多く行われてきた。しかし、その多くは発話音声に関する研究で、聴覚フィードバックが歌声に与える影響については、十分な研究がなされてい

ない。そこで、本研究は聴覚フィードバックが歌声に与える影響について Lombard 効果、Fletcher 効果及び帯域強調聴覚フィードバックの観点から調査した。本研究では、歌声について調査するために、発声の基本周波数、音圧レベル及び発声時間を規定し、結果の分析は発声の基本周波数、音圧レベル及び第 1、第 2 フォルマント周波数の観点から行った。

Lombard 効果が歌声に与える影響については、発声中に 60 から 90 dB まで 10 dB 刻みで増幅した、ピンクノイズを提示することで調査した。歌声における Lombard 効果の影響については、これまでに検討があまり行われていない。発話における先行研究から、発声の基本周波数、音圧レベルやフォルマント周波数の上昇などの影響が確認されることが予想されたが、本章の調査結果から歌声においても、提示するノイズの音圧レベルが上昇すると発声音圧レベルも上昇することが示された。基本周波数、第 1、第 2 フォルマント周波数においては、Lombard 効果による影響は確認されなかった。この結果は、より自由な状態で発声する発話と、制約の中で生成される歌声の発声条件の違いから生じたものであると考えられる。よって、話声と歌声とでは音声に現れるノイズの影響に、違いがあることが示唆された。

Fletcher 効果が、歌声に与える影響については、フィードバック音声の音圧レベルを発声音圧レベルから -10、0 及び +10 dB に設定し調査した。結果として、フィードバック音声の音圧レベルの上昇に伴って、発声の音圧レベルが下降することが明らかになった。また、第 1、第 2 フォルマント周波数も同様に、フィードバック音声の音圧レベルが上昇すると、フォルマント周波数が下降することが確認された。歌声における Fletcher 効果は、Lombard 効果と同様に基本周波数には大きな影響を与えなかった。その理由として、発声の基本周波数を保つことは、歌声において重要な要素であるので、ノイズやフィードバック音声の音圧レベルの変化だけでは、発声の基本周波数は影響を受けにくいことが考えられる。

歌声は、話声の時間構造、音圧、音色、音域などが変化したものであると考えられるが、話声と歌声を分ける一つの特徴として「歌手のフォルマント」があげられる。歌手のフォルマントは、ソプラノを除くオペラ歌手に典型的に見られる 3 kHz 付近のスペクトル包絡のピークであり、近年の研究では 8-9 kHz にもエネルギーのピークが現れるとするものもある。また、オペラ歌手に限らず、訓練された歌手の歌声は、話声とはフォルマント周波数に違いがあることが明らかにされている。そこで、発話音声と歌声の特徴的な違いとして、高周波帯域に現れるフォルマント周波数のピークの違いに注目し、ハイパスフィルタのカットオフ周波数を 1,000、2,000 及び 3,000 Hz に設定し、帯域強調した音声をフィードバックすることで、歌声に現れる影響について調査した。帯域強調の結果、2,000 Hz 以上の帯域強調の影響により、基本周波数が下降することが確認された。この結果をもたらした理由として、人の聴覚は 3-4,000 Hz で敏感になるので、2,000 Hz 以上の帯域が強調されたことで、Fletcher 効果の実験のようにフィードバック音声の音圧レベルを単に上昇させたときより、知覚に及ぼす影響が強くなり、基本周波数を下降させた可能性が示唆される。音圧レベルにおいても、2,000 Hz 以上の帯域強調の結果、有意に音圧レベルが下降することが確認された。この結果からも、上述の仮説が支持されることとなった。また、Fletcher 効果に対する結果と同様に、帯域強調の結果においても第 1、第 2 フォルマント周波数が下降することが予想されたが、結果として第 1、第 2 フォルマント周波数は帯域強調の影

響を受けなかった。この理由として、本研究で強調された帯域は第 1, 第 2 フォルマント周波数よりも高い周波数帯域であったため、人はその 2 つのフォルマントが通常通りの音圧レベルでフィードバックされていることを敏感に知覚し、生成する第 1, 第 2 フォルマント周波数を変化させずに発声した可能性が示唆された。

最後に、聴覚フィードバックに関する先行研究において、フィードバック音声と同時にマスキングノイズを提示する研究と提示しない研究が見られることから、マスキングノイズの有無が結果に与える影響について、2,000 Hz 以上の帯域強調聴覚フィードバックを組み合わせて調査した。その結果、音圧レベルにおいて、マスキングノイズを提示した条件で帯域強調の影響から発声の音圧レベルが下降することが示された。マスキングノイズを提示しない条件では、発声の音圧レベルの下降は確認されたが有意差はなかった。このことは、マスキングノイズが適切に発声者自身の音声をマスクし、刺激となるフィードバック音声の効果がより強く作用したからであると考えられる。また一方で、マスキングノイズが提示されることで基本周波数の下降及び第 1, 第 2 フォルマント周波数の上昇が一部で確認された。この結果からマスキングノイズの提示方法やマスキングノイズを提示した条件での結果の考察については今後検討する必要があることが示された。

本研究では、話声だけではなく歌声においても聴覚フィードバックの影響が確認されることが明らかになった。歌声における聴覚フィードバックの研究はこれまでにあまりなされておらず、本研究はその基礎的な研究となった。本研究で得られた知見は今後この分野の研究のさきがけとなり、歌唱訓練システムの開発やカラオケなどの娯楽、補聴器開発や音声治療などの医療・福祉の分野で活用され、人々の生活をより豊かにするものになると思われる。そして、より多くの人々が歌うことに対して困難や不安を感じることなく楽しめる社会を作る助けになることが期待される。

論文審査の結果の要旨

平成30年2月15日午後1時00分から午後2時30分まで博士学位論文発表会(公聴会)を行った。学内外の25名が聴講した。申請者が論文内容について説明を行い、その後、論文内容に関する質疑応答を行った。すべての質疑に対して申請者は的確に回答した。本論文は、話声だけではなく歌声においても聴覚フィードバックの影響が確認されることが明らかにしたものである。歌声における聴覚フィードバックの研究はこれまでにあまりなされておらず、本研究はその基盤的な研究となった。具体的には、聴覚フィードバックが歌声に与える影響について Lombard 効果, Fletcher 効果, 帯域強調聴覚フィードバックの観点から調査している。特に、帯域強調聴覚フィードバックは「歌手のフォルマント」として知られる現象の検証である。また、多くの実験で用いられる聴覚フィードバックへのマスキングノイズが聴感結果に与える影響についても調査を行い、今後の聴覚フィードバックにおける実験手法の指針の一つを提案している。本研究で得られた知見は今後この分野の研究のさきがけとなり、歌唱訓練システムの開発やカラオケなどの娯楽、補聴器開発や音声治療などの医療・福祉の分野で活用され、人々の生活をより豊かにするものになると思われる。以上のことから優れた論文と判断できる。以上により博士論文としては十分な内容であると判断された。本論文の主な成果は、International Journal of Innovative Computing, Information and Control, ICIC Express Letters などに3件論文発表したほか、査読付き国際会議2件公表済みである。以上により審査委員会は論文審査を合格とした。