

研究概要報告書【サウンド技術振興部門】

( 1/5 )

|       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |        |      |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------|------|
| 研究題目  | 聴覚フィードバックに着目した歌唱訓練システムの構築                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 報告書作成者 | 飯島聡志 |
| 研究従事者 | 飯島聡志                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |        |      |
| 研究目的  | <p>人の音声生成には、音を出すための発声機能と、その音に母音や子音などの音韻情報を加える構音機能が関わっている。そしてこの音声を会話や歌唱に用いる際、人はその音声の大きさ、高さ、音色などの情報を聴覚器官により知覚し、フィードバックして発声をコントロールしている。聴覚器官から音声生成へのフィードバックは聴覚フィードバックと呼ばれ、その相互作用についてロンバード効果や遅延聴覚フィードバックに関する研究など様々な研究が行われている。しかし、多くは発話に対する研究であり歌唱に対する研究はあまり行われていない。</p> <p>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最も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。しかし、現在でもカラオケが根強い人気を獲得しているように、歌唱は最も身近な音楽演奏スタイルの一つである。また歌うことで心肺の機能を高め、ストレスを発散できる健康効果が期待でき、子どもの頃や若い頃に歌った歌を歌うことで脳が活性化され認知症の防止にもつながる。同世代の者が集って歌えばコミュニケーションも生まれ人が元気になる。このように歌唱という素晴らしい行為はQOLの向上につながり、より多くの人々が精神的苦痛を受けることなく楽しめる環境が望まれている。</p> <p>本研究では、発声時にヘッドフォンから変調させた聴覚フィードバック音声を提示することで、歌声に現れる影響について調査する。特に苦手意識の原因となっている音高はずれと声質への影響を調査するためピッチと高周波域の変調について検討する。最終的に聴覚フィードバックが歌唱時の音声生成に与える影響を活かした歌唱訓練システムを構築することを目的とする。</p> |        |      |

## 研究内容

本研究では、聴覚フィードバックが歌声に与える影響を調査するため Lombard 効果, Fletcher 効果及び帯域強調フィードバックが歌声に与える影響について調査した。

**研究 1. Lombard 効果が歌声に与える影響**

Lombard 効果は、雑音が多い環境で発話した時に音声の音圧レベル, 基本周波数, フォルマント周波数の上昇や発話時間が長くなることが確認されている現象である。研究 1 の被験者は歌唱訓練経験のない 21-23 歳の聴覚健常男性 6 名で、被験者には事前に適性調査のため提示した 2 つの音の高低を判断する音感チェックテストを行った。実験装置は、計測用マイクロフォン(Brüel & Kjær / Type 4189), マイクロフォン用プリアンプ(Brüel & Kjær / Type 2671), マイクロフォンアンプ(ONOSOKKI / SR-2200), ヘッドフォンアンプ(Brüel & Kjær / ZE0769), ミキサ(ZOOM / R24), PC (MacBook Air), ヘッドフォン(SONY / MDR-Z7), デジタルレコーダ(Brüel & Kjær / LAN-XI3050-060)で構成した。実験は無響室内で実施し、騒音計(RION / NL-31)を設置して発声音圧レベルを A 特性で計測した。被験者は、ヘッドフォンを装着し母音/a/を C3(130.81 Hz), G3(196 Hz), C4(261.63 Hz)の 3 音高で約 5 秒間持続発声した。マイクロフォンは口元から 30 cm の位置に設置し、発声音圧レベルは 85 dB になるよう無響室内に設置された騒音計で被験者自身が確認しながら発声した。また、被験者は被験者自身の音声のフィードバックをヘッドフォンから受けながら発声し、フィードバックされる音声の音圧レベルは発声音圧レベルと同じ 85 dB になるよう設定した。雑音環境は発声中にヘッドフォンから提示されるピンクノイズにより構築された。ノイズの提示音圧レベルは 60, 70, 80, 90 dB 及びノイズ無しに設定した。

分析は基本周波数, 音圧レベル, 第 1, 第 2 フォルマント周波数について行った。これらの指標は Praat の推定機能を用いて算出した。また、得られたデータからピッチとノイズによる二要因分散分析を行った。

**研究 2. Fletcher 効果が歌声に与える影響**

Fletcher 効果は、発話中に発話者自身の音声をフィードバックしたとき、フィードバック音声の音圧レベルが大きくなると発話音声の音圧レベルが小さくなる反応が生じる現象である。被験者は、研究 1 と同様に歌唱訓練経験のない 21-23 歳の聴覚健常男性 6 名で、実験手順も研究 1 と同じであった。研究 2 では、被験者にフィードバックする音声の音圧レベルを 75, 85, 及び 95 dB に設定し、被験者の音声をマスクするためのマスキングノイズは用いなかった。分析は、基本周波数, 音圧レベル, 第 1, 第 2 フォルマント周波数について行った。これらの指標は Praat の推定機能を用いて算出した。また、得られたデータからピッチとフィードバック音声の音圧レベルによる二要因分散分析を行った。

**研究 3. 帯域強調聴覚フィードバックが歌声に与える影響**

研究 3 では、フィードバック音声の音質の変化が歌声に与える影響を調査するため、ハイパスフィルタを用いて帯域強調した音声をフィードバック音声として用いた実験を行った。カットオフ周波数は、1,000、2,000 及び 3,000 Hz に設定し、いずれの条件においてもフィルタを通過したフィードバック音声は 85 dB になるように設定した。使用したフィルタの特性は 8 次のバターワースで減衰率は 48 dB/Oct. であった。その他の実験環境、分析の条件等は研究 1 及び 2 と同様であった。研究 3 においても、被験者の音声をマスクするためのマスキングノイズは用いなかった。また、得られたデータからピッチと帯域強調による二要因分散分析を行った。

|         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
|---------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 研究のポイント | <p>本研究のポイントは、これまで発話音声に対して行われてきた聴覚フィードバックに関する研究を歌声に応用した点である。通常の発話に対して行われた実験では、発話条件は発話者の話しやすい声の大きさ、高さ、速さで行われることが多かったが、本研究では大きさ(音圧レベル)、高さ(基本周波数)及び発声の持続時間を指定することで、より歌唱時に近い条件での実験を行った。また、これまであまり検討されていなかった声質に対する影響を調査するために、研究 3 では帯域強調した音声をフィードバックする実験を行った点も本研究のポイントである。</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| 研究結果    | <p><b>研究 1. Lombard 効果が歌声に与える影響</b></p> <p>分析結果から、発話に関する先行研究で観測された基本周波数の上昇は歌声では確認されなかった。これは歌声が通常の発話とは違い積極的に基本周波数を制御していることが原因であると考えられる。音圧レベルでは、ノイズの音圧レベルが上昇するにつれて発聲音圧レベルも上昇することが明らかになった(図 1)。この点は発話に関する先行研究の結果と一致した。第1, 第2フォルマント周波数に関してはノイズの影響は観測されなかった。発話で観測されたフォルマント周波数の上昇は、基本周波数の上昇に対応していることが考えられるため、基本周波数が一定に保たれている歌声ではフォルマント周波数が上昇しなかったことが考えられる。</p> <p><b>研究 2. Fletcher 効果が歌声に与える影響</b></p> <p>基本周波数の分析結果から、フィードバック音声の音圧レベルの変化による影響は確認されなかった。このことから歌声の場合、周囲の雑音やフィードバック音声の音圧レベルの変化が基本周波数に与える影響は小さいことが考えられる。音圧レベルでは、フィードバック音声の音圧レベルが発声の音圧レベルより小さくなれば発声の音圧レベルは有意に大きくなり、反対にフィードバック音声の音圧レベルが大きくなれば発声の音圧レベルは有意に小さくなることが明らかになった(図 2)。フォルマント周波数に関しては、第 1, 第 2 フォルマント周波数ともにフィードバック音声の音圧レベルが上昇するにつれてフォルマント周波数が下降することが確認された(図 3)。</p> <p><b>研究 3. 帯域強調聴覚フィードバックが歌声に与える影響</b></p> <p>基本周波数の分析結果から、2,000 及び 3,000 Hz 以上の帯域強調をした音声をフィードバックした条件において、帯域強調をしなかった条件と比べて基本周波数が発声の目標とする周波数より有意に低くなることが確認された(図 4)。音圧レベルにおいても同様に 2,000 及び 3,000 Hz 以上の帯域強調をした音声をフィードバックした条件で、帯域強調をしなかった条件と比べて有意に発声の音圧レベルが下降することが確認された(図 5)。フォルマント周波数の分析結果から、帯域強調は第 1, 第 2 フォルマント周波数ともに影響を与えないことが確認された。</p> <p>研究 1 と 2 の結果から、単にフィードバック音声の音圧レベルが上昇する条件と 2,000 Hz 以上の帯域強調をした音声のフィードバックを受ける条件では反応に違いがあることが明らかになった。このことは、人の聴覚が 3-4,000 Hz で敏感になることが影響していることが考えられるが更なる検討が必要である。</p> |

|       |                                                                                                                                                                                                                                                            |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 今後の課題 | 歌唱訓練システムの構築までを予定していたがそこまで実施することが出来なかった。今回の研究により人は高周波帯域の音声情報も鋭敏に知覚し発声にフィードバックしている可能性が明らかになった。今後は、基本周波数の制御及び声質に聴覚フィードバックが与える影響について、基本周波数に影響を及ぼしやすいガイド音の選定やノッチフィルタなど様々なフィルタを用いた音質変換フィードバックを用いた検討を行う。そして、歌声生成と知覚の相互作用を明らかにすることと、歌唱訓練システムへの実装を両輪として研究を進める予定である。 |
|-------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

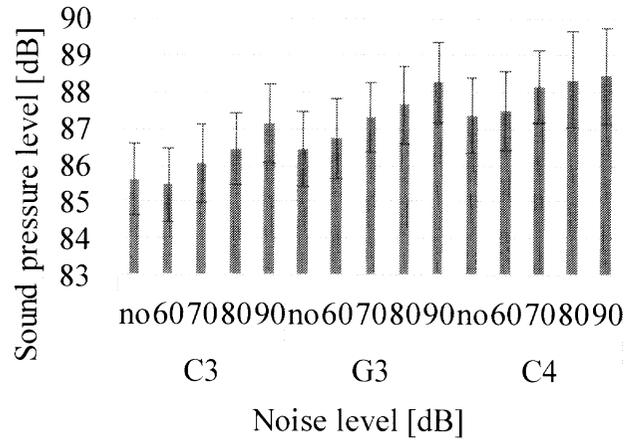


図1 研究1の各音高と各ノイズ条件における音圧レベルの結果. エラーバーは95%信頼区間を示している.

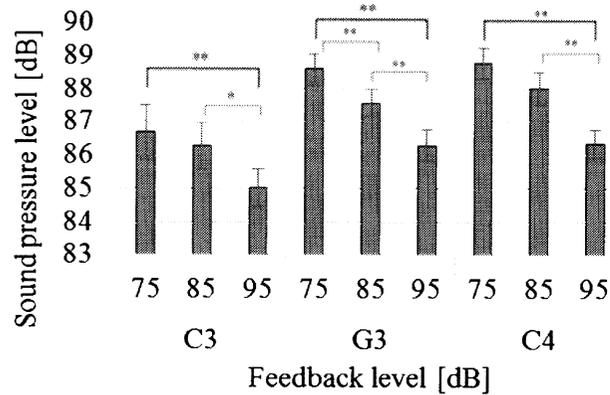


図2 研究2の各音高と各フィードバック条件における音圧レベルの結果. エラーバーは95%信頼区間を示している. 有意差はTukey-Kramerの多重比較により検定した(\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ ).

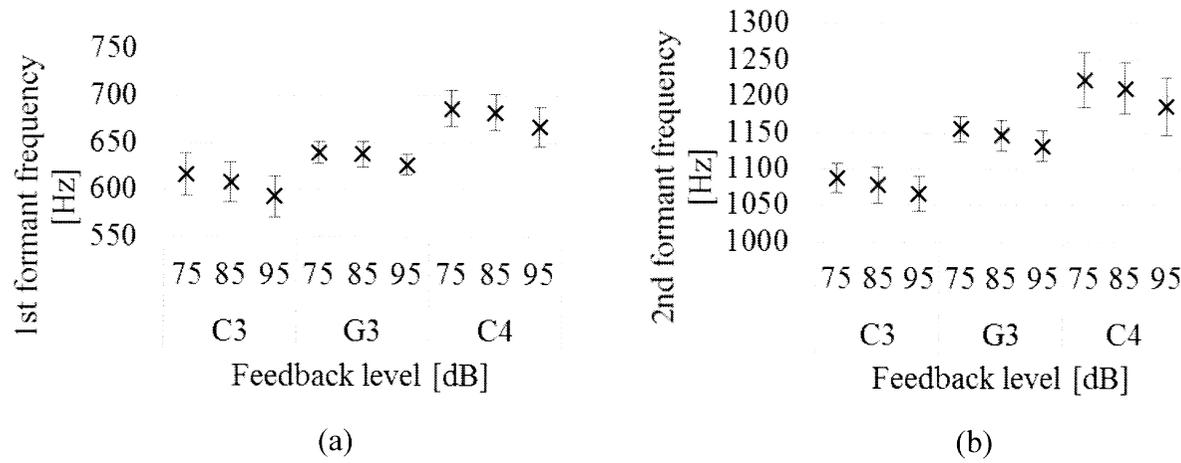


図3 研究2の各音高と各フィードバック条件における第1フォルマント周波数(a)及び第2フォルマント周波数(b)の結果. エラーバーは95%信頼区間を示している.

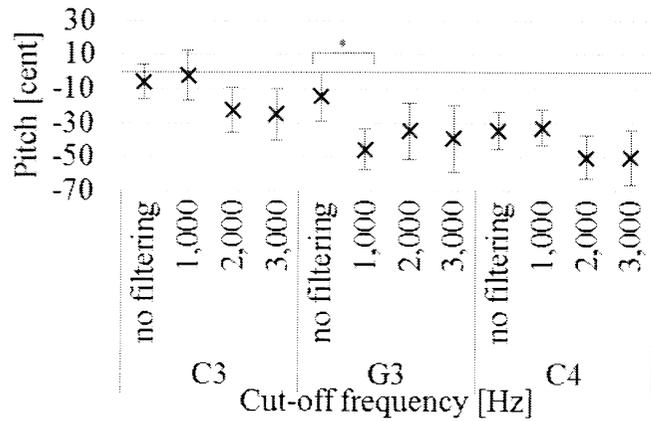


図4 研究3の各音高と各カットオフ周波数条件における基本周波数の結果. エラーバーは95%信頼区間を示している. 有意差はTukey-Kramerの多重比較により検定した(\* $p < 0.05$ ).

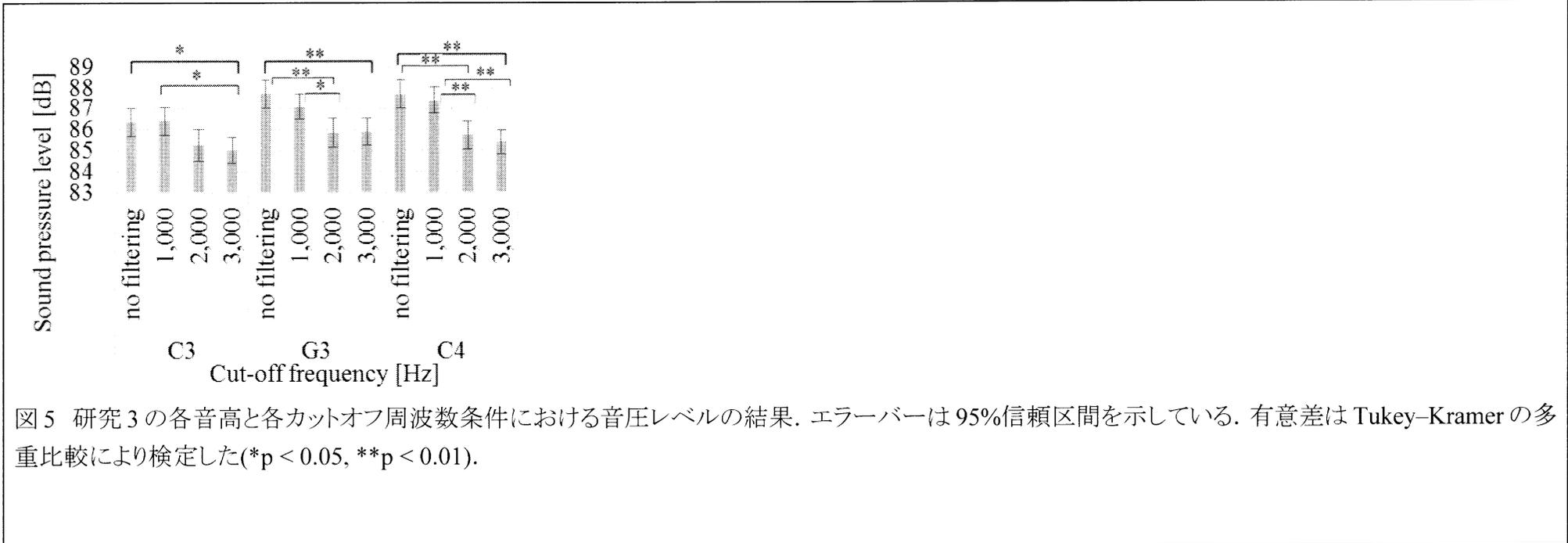


図5 研究3の各音高と各カットオフ周波数条件における音圧レベルの結果. エラーバーは95%信頼区間を示している. 有意差はTukey-Kramerの多重比較により検定した(\* $p < 0.05$ , \*\* $p < 0.01$ ).

(注:フローチャート図, ブロック図, 構成図, 写真, データ表, グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)