

外部演奏から律した声量コントロールを目指す合唱練習

Choral practice for autonomous voice control from external performance

山上大翔 (Tsubasa Yamagami)*

法政大学 情報科学部 デジタルメディア学科
tsubasa.yamagami.2q@stu.hosei.ac.jp

Abstract

Choral singing requires the ability to sing without being influenced by surrounding singers. However, beginners tend to have difficulty accurately perceiving their own voices during choral performances, making it challenging for singers to adjust pitch and maintain an objective volume balance due to the performances of surrounding singers. A practice method is proposed in this study where singers wear closed-type headphones and sing while listening to choral recordings at various volumes, enabling them to produce consistent vocalization without being influenced by surrounding sound levels. Singing practice was conducted for beginners using choral recordings at four different volume levels over a period of four days. The results showed that the pitch error rate improved by 0.258 when the choral recording was at 90dB. Furthermore, closed-type headphones, which produce an occlusion effect, showed greater improvement in pitch error rates compared to open-ear headphones when choral volume was present. These findings indicate the effectiveness of this method as a short-term practice for singers to avoid being influenced by surrounding singers.

1 はじめに

合唱は、人々の心に深く響く音楽表現の一つとして幅広い年齢層に愛され続けており、その魅力は、複数の声が織りなす美しいハーモニーだけでなく、共に歌うことで生まれる一体感や達成感にもある。日本の学校教育においても、生徒たちの音楽的能力の向上だけでなく、協調性や自主性を育む機会として合唱は重要な位置を占めている。

合唱における活動は、演奏会や合唱祭だけでなく合唱コンクールも盛んである。合唱コンクールは学生の部活動から社会人合唱団まで、様々な属性の団体が参加する競技会となっており、合唱が一つの競技活動として認知される所以である。そんななか、合唱に取り組む多くの参加者にとっては学業や仕事と

の両立が課題となっており、限られた時間の中で効率的な練習が求められている。

合唱は独唱に比べ様々な要素を考慮する必要があるが、特に周りの歌い手につられずに歌えることが重要である。合唱ではパート間の調和が大切であり、音高をはじめ声量のバランスや発声タイミングの一致など、周りの歌い手をよく聞くことが求められる。

しかし、初心者は合唱中に自分の声を正確に聞き取れていない傾向にあり、周りの歌い手をよく聞こうとすると、自分の歌声をうまく制御できずつられてしまうことがある。これは、合唱全体の演奏における音高の正確さが悪化したり、自分の発声をより聞き取ろうとして急激に声量を大きくすることで声量バランスの乱れにつながる恐れがある。すなわち、現状の発声練習の環境において、周りの歌い手の演奏によって音高の調整や歌唱者は客観的な声量バランスをとることが難しく、これは特に初心者に顕著である。

本研究では、合唱において周りの声量に捉われずに一貫した発声を小さい声量でも出せるような合唱練習を提案する。本研究で提案する練習は、合唱の経験年数や年齢問わず、誰でも簡単にできるような、コンクールや演奏会に向けて限られた時間で演奏の質を向上させる効果のあるものであることを目標とする。

2 関連研究

本稿で合唱練習を提案するうえでは、自分の発声がどのように聞こえているのか、またそれが初心者と熟練者では異なるのかどうかが必要となるため、それにまつわる研究を紹介する。

2.1 聴覚フィードバック

合唱では、自分の声の聞こえ方が十分にあり、また安定していることが非常に大切である。この、ヒトが自身の声を聞き無意識に発話を制御していることを聴覚フィードバックと呼ぶ [1]。

また、聴覚フィードバックは、反響音と気導音を経路とする外的聴覚フィードバック、骨伝導を経路とする内的聴覚フィードバックに分かれている。

* 指導教員：伊藤克亘 教授

2.2 外的聴覚フィードバック

外的聴覚フィードバックは、主に自分の発した声が壁や障害物に反射することによって自分に返ってくるフィードバックであるが、知覚される声が環境の音響によって大きく変化してしまう。特に、合唱では歌う場所の音響の変化や、伴奏、他メンバーの声も聞こえてくる場合があるため、この外的聴覚フィードバックはかなり不安定になる。

2.3 内的聴覚フィードバック

内的聴覚フィードバックは、発声時に話者自身が感じる身体内部からのフィードバックとして、固有受容フィードバックとも呼ばれている。このフィードバックは、発声においては、主に喉や口腔、呼吸器官の位置や状態を感知する能力として重要な役割を果たす [2]。これらの内部感覚は主に振動感覚と筋肉感覚で構成されており、特に、振動感覚は歌唱者が発声時に体内で感じる振動を知覚する能力を指し、外部からの音として聞こえるのではなく、体内で感じる振動である。

この振動感覚は、歌唱者が自身の声の質や強さを調整する際の重要な手がかりとなり、歌唱者は微細な声の調整が可能になる。また、外的聴覚フィードバックとは異なり、環境の音響特性に影響されにくいいためより安定した発声制御の手段となる。

2.4 プロと非プロでの外的聴覚フィードバックの依存度

クラシックの発声トレーニングの目標の1つは、空間の音響に左右されない一貫した音を出すことである。したがって、声楽家は外的フィードバックよりも、内的聴覚フィードバックにも依存することが示唆されている。Pasquale Bottalico らは、プロと非プロで外的聴覚フィードバックの依存度がどれほど変わるのか評価した。

プロ 10 名と非プロ 10 名のクラシック歌手が歌う星条旗（アメリカ国歌）の抜粋の録音を分析し、両グループについて、歌手の声量と外的聴覚フィードバックの関係を評価した。評価は、周囲の音量が大きくなると、無意識に声を大きく甲高くするロンバード効果を利用し、音響条件を変更した際の被験者の声量の上昇度から行った。結果、外的聴覚フィードバックが 1dB 上がると、非プロは声量が 0.21dB 上がり、プロは声量が 0.02dB 上がった。この結果から、プロは内的聴覚フィードバックに頼るようになり、練習を積むほど伴奏や周りの歌声につられなくなることが示されている [1]。

すなわち、初心者が合唱における歌唱を上達させるには、歌唱中に自分の声の外的聴覚フィードバックに頼らず、内的聴覚フィードバックに頼るようになることが重要であることが示唆される。

2.5 内的聴覚フィードバックの増やし方

内的聴覚フィードバックを増やす選択肢の一つとして、閉塞効果が挙げられる。閉塞効果は、外耳道が塞がれることで自身の声や体内音が増幅して聞こえる現象であり、これは主に低周波数帯域で顕著に現れる。これは、外耳道を塞ぐことで、骨伝導音の外耳道からの逃げ道が遮断され、内耳に伝わる音圧が増加するためである。Toshihisa Murofushi らの研究によると、

外耳道を塞ぐことで、骨伝導音の聴取閾値が 10 から 20 dB 改善することが報告されている [3]。

骨伝導音による閉塞効果は、単音節の明瞭度を向上させることが示されている [4] 他、耳道が塞がれることで、内部の振動がより強く感じられる [5] ことが報告されている。これらの閉塞効果は、内部感覚、特に振動感覚の増幅につながる可能性がある。

また、自分の声の知覚は、ヘッドホン、ヘッドセット、補聴器などのデバイスの受容に影響を与える [6] が、これらのデバイスが外耳道を完全に、または部分的に塞ぐと閉塞効果が発生する。そのため、閉塞効果をもたらす方法の1つとして、ヘッドホンの装着が挙げられる。

2.6 聴覚フィードバックと音程との関係

音程の制御は歌唱を行ううえで特に重要事項の一つであり、聴覚フィードバックと深い関係にある。人間は、声を出し始める時、脳は予測した音と実際の音を比較し、声を出し続ける時は、直前に聞いた音と比較して声の安定を保つ [7]。Nichole E. Scheerer, Jeffery A. Jones らは、人間が声を出す際の基本周波数の制御に関する研究を行った。被験者に声を出してもらい、その基本周波数を途中で少し変えて聞かせた。声の開始時に高さを変える場合と変えない場合の2種類の条件を設定し、被験者の脳波（ERP）と声の反応を記録した。

結果、声の開始時に高さを変えなかった場合、被験者はより大きな反応を示した。この結果から、声を出し続ける時も、脳は予測した音と実際の音を比較していると考えられる。つまり、聴覚フィードバックは単に声を安定させるだけでなく、望む高さの声を出すためにも使われていることが示唆された。

2.7 短期間音声トレーニングの効果

リアルタイムで被験者の音程を変化させる短期間の音声トレーニングが、声の制御と関連する脳の反応に影響を与えることが示唆されている [8]。

Oleg Korzyukov Charles R らは、聞こえる音の高さと、「反対方向」、「同じ方向」、「音の変化を無視して一定の高さを保つ」の3つのグループに分かれて4日間のトレーニングを行い、脳波（ERP）と基本周波数で評価した。

結果、トレーニング後、全グループで脳波の反応が早く、大きくなった。また、全グループで基本周波数変化の反応が早くなり、変化の幅は小さくなった。この結果から、短期間のトレーニングでも、声の制御と関連する脳の処理が変化することが示され、声の制御がより自動化され、聴覚情報の処理が効率化されたことを示唆している。

3 提案手法

合唱練習を提案するうえで、合唱では周りの歌い手につられやすくなってしまう現象を解決することが重要である。

本稿では、周りの声量に捉われずに一貫した発声を小さい声量でも出せるような合唱練習として、クローズド型ヘッドホンを着用して様々な音量で合唱音源を聞かせながら歌唱する練習

を提案する。

この練習の目的は、合唱時に周りの歌い手につられないようにすることと、内的聴覚フィードバックを養うことである。通常の合唱時よりも小さい音量で聴かせることによって自分の声の外的聴覚フィードバックを増やしてつられないようにする環境を作る。そこから徐々に聞かせる合唱音源の音量を上げていくことによって外的聴覚フィードバックを減らして本来の合唱での歌唱の環境に戻していく。また、クローズド型ヘッドホンを着用することで閉塞効果をもたらし、振動感覚を増幅させることで内的聴覚フィードバックの活用を通常の歌唱時よりも加速化させる。

この練習を行うことで、最初は小さい音量で音源を聞いて合唱時に自分の発声を十分に聞く経験を養い、声の制御がより自動化されて徐々に音源の音量を上げて実際に合唱をしている状態でもつられないように成長できることが期待できる。

この練習は、ヘッドホンをするだけのため誰でも簡単にでき、合唱練習中に自分の声を聞くことができるため、本研究に適した練習法といえる。

4 実験条件

本稿で実験を行ううえで事前に設定する条件を述べる。

4.1 ヘッドホンから流す特定の音圧レベル

独唱で練習を行う際に、合唱の中で歌っている様子を再現するために、ヘッドホンから事前に録音した合唱の音源を流す。そのうえで、ヘッドホンから流れる音量を、実際に合唱の中で歌っている音量になるようにする必要がある。以下にその手順を示す。PC とオーディオインターフェイスを接続し、まずスピーカーを使って任意の音量の音を出力し、騒音計で確認する。次に、騒音計の代わりにダミーヘッドマイクを設置し、騒音計が同じ音量を示したのと全く同じ条件でスピーカー再生し、ダミーヘッドマイクの表示レベルを確認する。そしてダミーヘッドマイクにヘッドホンをかぶせ、PC による音源再生を行い、ヘッドホンから出力される音によって、ダミーヘッドマイクの表示レベルが、先ほどのスピーカー再生で出力したレベルと同じになるようにオーディオインターフェイスのボリュームを調整する。

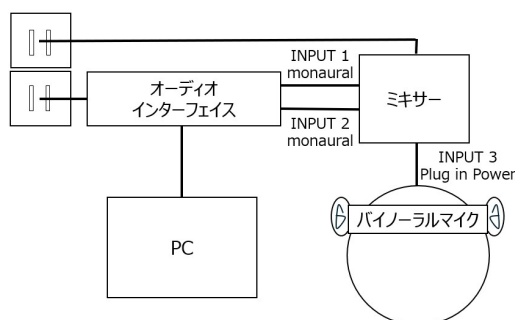


図1 音圧調整時の機材接続図

4.2 ピッチ誤り率

本稿では、歌唱評価にピッチ誤り率を使用する。ピッチ誤り率は、歌声の音高評価において重要な指標として広く用いられており、歌唱者が目標とする音高をどれだけ正確に再現できているかを数値化したものである。歌唱者が歌った音高と、楽譜に記載された目標音高との差を測定し、この差が一定の許容範囲から外れた場合、その歌唱部分を誤りとみなす。

このピッチ誤り率が低いほど歌唱者は楽譜通りに正確に歌えているということになる。また、実験で合唱音源を聞かせるうえで、音源の音量が大きいほどピッチ誤り率が高くなると、被験者は周りの歌い手につられているといえる。

4.3 評価基準の選定

今回の実験では、本稿で提案した練習の効果を検証するうえで、初心者が短期間でどれほどピッチ誤り率を改善させるべきか調べるため、初心者と熟練者でそれぞれ聞かせる歌唱音源の音量別にピッチ誤り率を求める。被験者は、部活や団での合唱経験のない大学生、熟練者は合唱経験が5年以上ある大学生として、それぞれ1名ずつ防音室で録音を行った。

4.3.1 歌唱内容

被験者には、安岡優作詩、安岡優・松下耕作曲の男声4部合唱曲「言葉にすれば」から、1小節目から10小節目の部分のバスパートを歌唱してもらった。この範囲は、すべてのパートが最後の2小節を除いて「Ooh」という母音で歌唱される。また、テンポもBPM72と一般的に高速でなく、強弱記号もpからmfまでと極端な強弱が求められておらず比較的歌唱しやすいと判断した。

4.3.2 流す合唱音源の音量選定

被験者にオープンイヤー型のヘッドホンから合唱を聞かせる際に流す音源をMIDIで作成した。合唱音源の音量を決定するため、計30人(Top:10人、Sec:8人、Bari:7人、Bass:5人)からなる男声4部合唱で、合唱の中で歌っている想定で声量を測定したところ、発声の強弱記号ごとの声量は以下のようになった。ここでの強弱記号は、全パートが特定の強弱記号となっている場合であり、録音した楽曲は、三好達治・丸山薫作詩、信長貴富作曲の「わが誌友」から3.浅春偶語である。

表1 強弱記号別合唱における声量

音量環境	声量 (dB)	測定位置
p	70.0	15小節目「に」
mp	73.7	1小節目「よ」
mf	75.9	14小節目「も」
f	89.1	31小節目「あ」
ff	92.0	43小節目「ま」

今回録音した組曲の中でppの部分はなかったものの、合唱時の伴奏は概ね70dBから90dBの範囲内であることがわかる。そのため、本稿の実験で合唱音源の音量は、なし(acapella)、70dB、80dB、90dBの4パターンで行うこととした。

4.3.3 fo 推定とピッチ誤り率計算

音声信号の基本周波数 (fo) 推定とピッチ誤り率の評価を MATLAB を用いて実装した。異なる音量レベル (acapella、70dB、80dB、90dB) で録音された音声ファイルを読み込み、各音声信号は最大振幅で正規化される。

fo 推定には WORLD [9](D4C edition [10]) を使用する。DIO (基本周波数推定法) を用いて音声の周期性を利用して fo を推定する。また、StoneMask アルゴリズムで fo 推定値を補正し、より正確な fo 推定が可能となる。最後に、ウィンドウサイズ 5 の中央値フィルタを適用して平滑化を行う。

ピッチ誤り率の評価には、手動で作成した基準データを使用した。基準データを各フレームに展開し、推定した fo と基準の fo をセント値に変換する。推定した fo を $f_{\text{estimated}}$ 、正解の fo を $f_{\text{ground truth}}$ とすると、セント値変換式は以下の計算式で表される。

$$\text{cents} = 1200 \times \log_2 \left(\frac{f_{\text{estimated}}}{f_{\text{ground truth}}} \right)$$

推定した fo と基準の fo の差が ± 50 セント以外であれば誤りとみなす。ピッチ誤り率を、全フレーム数のうちの誤りのフレーム数の割合で求める。

4.3.4 結果

表 2 熟練度ごとの合唱音源音量別ピッチ誤り率

音量環境	初心者	熟練者
acapella	0.125	0.094
70dB	0.128	0.100
80dB	0.131	0.125
90dB	0.179	0.126

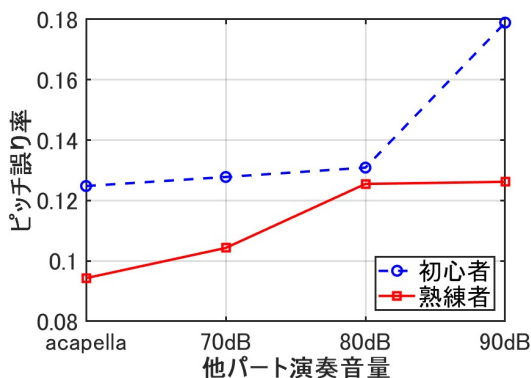


図 2 熟練度ごとの合唱音源音量別ピッチ誤り率の推移

初心者と熟練者の両方において、音量の増加に伴いピッチ誤り率が上昇する傾向が見られた。しかし、この傾向の程度は両者で異なっていた。全ての音量条件下において、熟練者のピッチ誤り率は初心者よりも低値を示した。この差は特に 90dB 条件下で顕著であり、初心者の誤り率が 0.179 であったのに対

し、熟練者では 0.126 であった。また、acapella から 70dB、80dB への音量上昇に対し、両者ともピッチ誤り率の変化は比較的小さかった。しかし、90dB 条件下では、特に初心者において顕著な誤り率の上昇が観察された。

5 実験

クローズド型ヘッドホンを着用して様々な音量で合唱音源を聞かせながら歌唱し、ピッチ誤り率が低下するのか検証を行った。被験者は、部活や団での合唱経験のない大学生 6 名で、それぞれ防音室で録音を行った。評価基準の選定と同様、被験者には、安岡優作詩、安岡優・松下耕作曲の男声 4 部合唱曲「言葉にすれば」から、1 小節目から 10 小節目の部分のバスパートを歌唱してもらった。

5.1 練習方法

被験者 6 名のうち 3 名はクローズド型ヘッドホンを着用し、残りの 3 名はオープンイヤー型ヘッドホンを着用して歌唱練習をした。合唱音源の音量が、なし (acapella)、70dB、80dB、90dB の順で、各音量 5 回ずつ練習したらその次の音量で同じ練習を行い、計 20 回の歌唱練習を行った。合唱音源はクローズド型ヘッドホンから流し、歌唱練習を行った後、もう一度各音量で 1 回ずつ歌唱した後にピッチ歌唱率を計算する。

5.2 結果

合唱音源がない場合の練習前のピッチ誤り率を 1 として、合唱音源音量別ピッチ誤り率の比の平均で比較する。

5.2.1 クローズド型ヘッドホンにおける練習前後での比較

表 3 クローズド型ヘッドホンで練習した際の練習前後ごとのピッチ誤り率の比の平均

音量環境	練習前	練習後
acapella	1.000	0.741
70dB	1.100	0.882
80dB	1.123	0.950
90dB	1.248	0.990

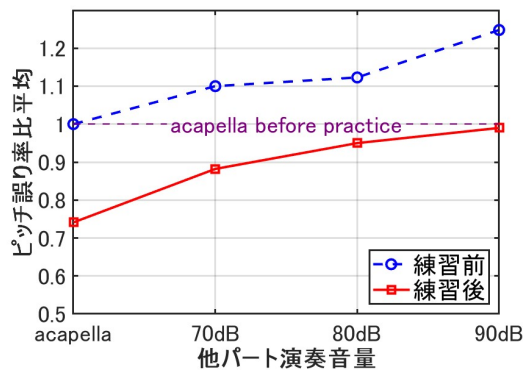


図 3 クローズド型ヘッドホンで練習した際の練習前後ごとのピッチ誤り率の比の平均の推移

表4 クローズド型ヘッドホンで練習した際の練習前後ごとのピッチ誤り率の比の標準偏差

練習段階	平均	標準偏差
練習前	1.118	0.118
練習後	0.891	0.215

クローズド型ヘッドホンの被験者において、練習を重ねるごとにピッチ誤り率の改善が見られた。練習前の平均ピッチ誤り率は、acapella 時を 1 とした場合、70dB で 1.100、80dB で 1.123、90dB で 1.248 であった。これに対し、4 回目の練習後では、それぞれ 0.882、0.950、0.990 と減少した。特筆すべき点として、音量が上がるにつれてピッチ誤り率も上昇する傾向が見られたが、練習を重ねることでこの傾向が緩和された。例えば、練習前では 90dB と 70dB の差が 0.148 であったのに対し、4 回目練習後ではその差が 0.108 に縮小した。また、練習後の 90dB 時のピッチ誤り率は、練習前の acapella 時よりも改善された。全音量の平均値を比較すると、練習前は 1.118 であったのに対し、4 回目練習後では 0.891 まで低下した。これは約 20% の改善を示している。標準偏差は練習前の 0.118 から 4 回目練習後の 0.215 へと増加し、個人差が顕在化した。

5.2.2 オープンイヤー型ヘッドホンにおける練習前後での比較

表5 オープンイヤー型ヘッドホンで練習した際の練習前後ごとのピッチ誤り率の比の平均の推移

音量環境	練習前	練習後
acapella	1.000	0.525
70dB	1.135	0.779
80dB	1.234	0.834
90dB	1.275	1.070

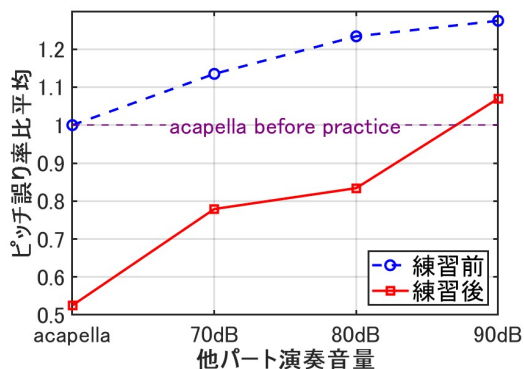


図4 オープンイヤー型ヘッドホンで練習した際の練習前後ごとのピッチ誤り率の比の平均の推移

オープンイヤー型ヘッドホンの被験者も、練習を重ねるごとにピッチ誤り率の改善が観察された。練習前の平均ピッチ誤

表6 オープンイヤー型ヘッドホンで練習した際の練習前後ごとのピッチ誤り率の比の標準偏差

練習段階	平均	標準偏差
練習前	1.161	0.238
練習後	0.802	0.311

り率は、acapella 時を 1 とした場合、70dB で 1.135、80dB で 1.234、90dB で 1.275 であった。4 回目の練習後では、これらの値がそれぞれ 0.779、0.834、1.070 まで減少した。音量の上昇に伴うピッチ誤り率の増加傾向が見られたが、クローズド型ヘッドホンと違い、音量が増加するごとにピッチ誤り率の増加量が下降しなかった。また、練習後の 90dB 時のピッチ誤り率は、練習前の acapella 時より改善には至らなかった。全音量の平均値を比較すると、練習前は 1.161 であったのに対し、4 回目練習後では 0.802 まで低下した。これは約 31% の顕著な改善を示している。標準偏差は練習前の 0.238 から 4 回目練習後の 0.311 へと増加したが、これもクローズド型ヘッドホンと同様に個人差の顕在化によるものと推測される。標準偏差は練習前の 0.118 から 4 回目練習後の 0.215 へと増加し、個人差がクローズド型ヘッドホンのときよりも顕在化した。

6 考察

練習前、合唱音源の音量が 80dB から 90dB に変化した際に、初心者と熟練者の間のピッチ誤り率の上昇に大きな差があった。この差は 0.047 であり、70dB から 80dB への変化時の差 0.022 と比較して 0.025 大きくなった。この結果は、合唱音量が 80dB 付近に初心者の歌唱能力に影響を与える音量の閾値が存在する可能性を示している。自分の歌声の外的聴覚フィードバックは、ff のときに 78dB ほどであり、合唱の声量である 92dB を下回っていた。そのため、外的聴覚フィードバックに大きく依存する初心者にとって外的聴覚フィードバックが弱くかき消されてしまうような状況でピッチ誤り率が上昇したことが示唆される。

また、段階的に合唱音源の音量を上昇させる練習を行ったことで音量増加に伴うピッチ正解率の下落が抑えられたことにより、この練習方法の有効性が高いと考えられる。この練習で、初心者が徐々に高い音量環境に適応し、自己の声を維持する能力の向上が期待される。

さらに、練習後の結果から、被験者が様々な音量環境下で安定したピッチ制御能力を獲得したことを示しており、これは内的聴覚フィードバック能力の向上を示唆している。練習後、音量増加に伴うピッチ正解率の下落が全体的に抑えられ、最も高い音量である 90dB 条件下で、練習前の 1.248 から練習後は 0.990 へと低下したことは、被験者が外部の音量変化に影響されずに自身の声を内的に認識し、制御できるようになったことを示している。

最後に、クローズド型ヘッドホンがオープンイヤー型ヘッドホンと比較して、特に高音量環境下でのピッチ知覚において優

位性を持つ可能性を示唆している。具体的には、音量の上昇に伴いクローズド型ヘッドホンとオープンイヤー型ヘッドホンのピッチ誤り率の差が拡大したことから、クローズド型ヘッドホンの着用による閉塞効果が内的聴覚フィードバックの獲得を促進し、結果として外部音の干渉を軽減しつつより正確なピッチ知覚を可能にしたことが示唆される。

7 おわりに

本稿では、クローズド型ヘッドホンを着用して様々な音量で合唱音源を聞かせながら歌唱する練習を提案した。練習前では合唱の熟練度によって音高で見た時のつられやすさが異なり、特に初心者は合唱音源の音量が90dBのときと比べてピッチ誤り率が大きく上昇した。しかし、提案した練習を行ったことによって合唱音量が90dBのときをはじめ全体でピッチ誤り率が改善され、さらにオープンイヤー型のヘッドホンを着用したときよりも、閉塞効果をもたらすクローズド型ヘッドホンのほうがピッチ誤り率が合唱音量があるときに改善された。

今後の課題は、実際にたくさんの歌い手がいるなかでの合唱でも今回と同様の結果が見込まれるのか検証することである。今回の実験では、実際の合唱時に、特定の歌唱者の録音方法を定めることができなかった。全体録音用マイクと特定の歌唱者専用のマイクを設置するなどして、できる限り周りの歌い手の音声が入らないような録音環境を用意する必要がある。

また、演奏に対するリアルタイム評価の実装も有用である。現在の成果では、被験者に楽曲を歌唱してもらった後にピッチ正解率を確認する程度であるが、これを歌いながら現在のピッチ正解率を確認することができれば初心者にとってありがたいシステムとなるだろう。また、ピッチ正解率は、歌唱の音高精度を客観的に評価できるものの、音色や表現力などの他の要素は考慮されない。そのため、音高以外の要素で合唱におけるつられやすさを計測したい場合は、ピッチ正解率以外の評価方法が有効である。

参考文献

- [1] Simone Graetzer Pasquale Bottalico and Eric J. Hunter. Effect of Training and Level of External Auditory Feedback on the Singing Voice: Volume and Quality. In *Journal of Voice*, Vol. 30, pp. 434–442, 2016.
- [2] Lucy Robertson Georgia Fisher Simon C Gandevia Martin Heroux, Annie A Butler. Proprioception: a new look at an old concept. In *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, Vol. 132(3), 2022.
- [3] Masahito Tsubota Masahito Tsubota Toshihisa Murofushi, Masafumi Ohki Masafumi Ohki. Effects of External Auditory Meatus Occlusion on Ocular Vestibular Evoked Myogenic Potentials Induced by Bone Conducted Sound. In *Neuro-Otology*, Vol. 12, 2021.
- [4] 中川誠司. Effect of occlusion effect by bone-conducted sound on monosyllable articulation. 第2023巻, pp. 1–4, 2023.
- [5] Michael Vorlaender Simon Kersten, Franck C. Sgard. Im-

pact of the ear canal motion on the impedance boundary conditions in models of the occlusion effect. In *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 155(1), 2024.

- [6] Peter Vary Stefan Liebich. Occlusion Effect Cancellation in Headphones and Hearing Devices—The Sister of Active Noise Cancellation. In *IEEE/ACM Transactions on Audio, Speech, and Language Processing*, 第30巻, pp. 35–48, 2021.
- [7] Jeffery A. Jones Nichole E. Scheerer. The Role of Auditory Feedback at Vocalization Onset and Mid-Utterance. In *Frontiers in Psychology*, Vol. 9, 2018.
- [8] Oleg Korzyukov Charles R. Larson Sona Patel, Karen Hebert. Effects of Sensorimotor Voice Training on Event-Related Potentials to Pitch-Shifted Auditory Feedback. In *PLOS ONE*, 2022.
- [9] F. Yokomori M. Morise and K. Ozawa. WORLD: a vocoder-based high-quality speech synthesis system for real-time applications. In *IEICE transactions on information and systems*, Vol. E99-D, no. 7, pp. 1877–1884, 2016.
- [10] M. Morise. D4C, a band-aperiodicity estimator for high-quality speech synthesis. In *Speech Communication*, Vol. 84, pp. 57–65, 2016.