

和音の構成音のずれから生じるうなりの強調提示による 歌声を協和させる技術の練習支援システム

引原 翼¹ 大西 鮎美² 寺田 努^{2,a)} 塚本 昌彦²

概要: 合唱で美しい和音を実現するためには、自分の歌声を自分以外の歌声と協和させる技術が必要である。この技術を習得するための既存の練習では、歌手は指導者の指示に従って歌声の高さを調整する。しかしこの練習には、歌手が不協和を自覚して声の高さを調整する練習にはならないという問題がある。そこで本研究では、不協和音で発生するうなりを聞き取りやすく合成して聞かせ、歌手に不協和を自覚させることで、歌声を協和させる技術の練習を支援するシステムを提案する。評価実験より、提案システムを使用した練習で、うなりを聞き取る能力が向上する可能性を確認した。

1. 研究の背景と目的

合唱で美しい和音を実現するために、歌手は他パートと協和する音の高さで歌う。ここで協和とは、和音に含まれる音の周波数の比が簡単な整数比で、和音が美しく響いて聞こえる状態を指す。合唱団等で行われる歌声を協和させる練習では、協和と不協和を聞き分けられる指導者が不協和の原因となっている歌手に指示を出し、歌手はその指示に従って声の高さを調整する。しかし、このような既存の練習は、合唱時に必要な歌手が不協和を自覚して声の高さを修正する技術の練習にはならない。この技術の習得には、歌手が和音の不協和を自覚して、不協和が解消されるように声の高さを調整する練習が必要である。

合唱の練習支援に関する先行研究として、練習者の歌声が事前に登録された楽譜データの音の高さから一定以上離れている場合に、音量や音高に関するフィードバックを表示し指導を行うシステムがある [1]。しかし、このシステムでは絶対的な音の高さを基準としているため、他のパートの歌声を聞き、それと協和するように声の高さを調整する練習はできない。

そこで本研究では、和音が不協和なときに発生する、音量の周期的な変化であるうなりに着目し、合唱時に歌声を協和させる技術を歌手に習得させるために、聞き取りやすく合成したうなりを聞かせることで、歌手に不協和を自覚させる練習支援システムを提案する。



図1 提案システムの構成

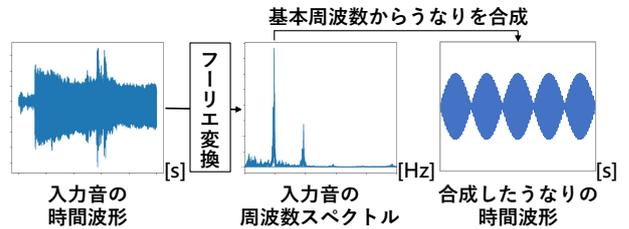


図2 提案システムが行う信号処理の流れ

2. 提案システム

提案システムは、聞き取りやすいうなりを合成して練習中のユーザに聞かせることで、和音の不協和を自覚させる。システムの構成を図1に示す。ユーザは他パートの声に見立てた基準音をイヤホンから聞きながら、基準音と協和する高さの歌声をマイクに入力する。入力音と基準音の音声信号はPC上でリアルタイムに処理され、聞き取りやすく合成されたうなりがイヤホンから出力される。ユーザはそれを聞きながら歌声の高さを調節する。うなりの音量変化の周期は和音が協和に近づくにつれて大きくなるため、ユーザはうなりの音量変化の周期が大きくなるように歌うことで、歌声を協和させる技術の向上が見込める。

提案システムが行う信号処理は、入力音の基本周波数の推定・うなりが発生するか否かの判定・うなりの合成の3つに分けられ、音声信号は図2のように処理される。提案システムはまず、入力された音声から得られる時間波形をフー

¹ 神戸大学工学部
² 神戸大学大学院工学研究科
^{a)} tsutomu@eedept.kobe-u.ac.jp

リエ変換し、その基本周波数を推定する。フーリエ変換では窓長と周波数分解能がトレードオフの関係になるため、提案システムでは窓長を1秒、周波数分解能を1Hzとして、入力が出力に反映されるのにかかる時間を1秒に収めた。次にフーリエ変換によって推定した基本周波数をもとに、基準音と入力音声それぞれにもつ正数倍音成分が干渉しあってうなりが発生するかを判定する。この判定条件は、うなりの音量変化の周波数 f 、基準音の基本周波数 f_{base} 、入力音の基本周波数 f_0 、基準音と入力音の干渉する倍音の字数 n_1, n_2 を用いて (1) 式のように表せる。

$$f = |n_1 f_{base} - n_2 f_0| \leq 20 \quad (1)$$

うなりの音量変化の周波数が可聴周波数帯域内 (20 Hz-20,000 Hz) にある場合、人間はうなりを認識できない。そのため提案システムでは、うなりの音量変化の周波数が 20 Hz 以下であればうなりが発生したと判定する。最後に、この判定でうなりが発生したとみなした場合には、うなりを合成して出力する。このとき、ユーザの発声技術に起因する、ユーザの意図しない歌声の周波数の揺らぎの影響を抑えるために、うなりの合成には推定した基本周波数の移動平均を用いる。

また提案システムは個人練習での使用を想定している。技術の習熟に合わせて基本周波数の移動平均をとる時間を短くし、システムが合成するうなりを合唱時に起こるうなりに近づけることで、最終的にはシステムなしでうなりを聞き取れることを目標とする。

3. 評価実験

提案システムを使用した練習で歌声を協和させる技術とうなりを聞き取る能力が向上するかを検証する評価実験を行った。被験者は楽器演奏等の音楽経験がある 20 代の男女各 1 名 (被験者 A, B) である。

本実験は協和するように歌う練習と、歌声がどれだけ協和したか測定するテストに分かれ、練習前テスト・練習・練習後テストを 1 試行とした。練習では、被験者はシステムを使用して、もしくは使用しないで、基準音を聞きながら基準音と歌声が協和するように 4 分間歌った。テストでは、被験者は基準音と協和するように 10 秒間歌った。これを 3 回繰り返し、それぞれの歌声の周波数を測定した。そして練習を行う前と後のテストで測定した歌声の周波数がどれだけ協和する音 (正解音) に近づいたかを、被験者の歌声を協和させる技術の評価指標とした。正解音は基準音と完全 5 度 (P5)、完全 4 度 (P4)、長 3 度 (M3) で協和する 3 音とし、被験者はそれぞれの正解音で前述の 1 試行を行った。各被験者で試行順は同様である。被験者 A は正解音を P5, M3 とするとき、被験者 B は正解音を P4 とするとき練習でシステムを使用し、他の正解音での練習ではシステムを使用しなかった。また毎テスト後にうなり

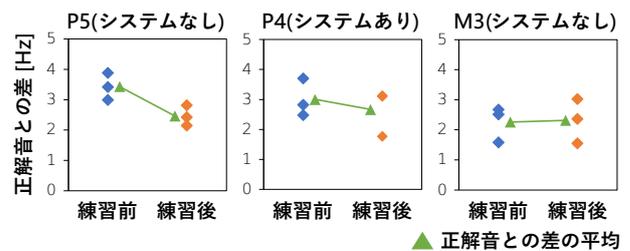


図 3 テストでの歌声と正解音の差の変化 (被験者 B)

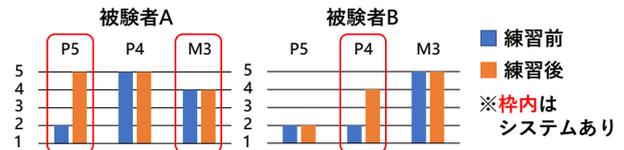


図 4 うなりが聞き取れたかの質問紙調査の結果 (1: 全く聞き取れなかった-5: よく聞き取れた)

が聞き取れるようになったか質問紙調査を行い、被験者のうなりを聞き取る能力が向上したかを評価した。

練習前後のテストでの被験者 B の歌声と正解音の差の変化を図 3 に示す。縦軸は歌声の周波数と正解音の周波数の差を示し、値が 0 に近づくほど歌声を協和させる技術が高くなったといえる。システムなしで練習を行った P5 とシステムありで練習を行った P4 の結果を見ると、ともに練習後の正解音との差の平均は練習前の正解音との差の平均より小さくなっていった。この結果から、システムによって歌声を協和させる技術が向上した可能性があるが、単純に練習による技術の向上が影響している可能性もある。

次にうなりが聞き取れるようになったかの質問紙調査の結果を図 4 に示す。赤色の枠で囲まれた部分はシステムを用いて練習を行った際の結果である。被験者 A の P5 や被験者 B の P4 での結果をみると、システムを使用した練習後にうなりがよく聞き取れるようになっていた。また、全試行の終了後の質問紙調査では「うなりに耳が向くようになって合わせやすかった」等の肯定的な意見が得られた。これらの結果から、提案システムを使用した練習でうなりを聞き取る能力が向上するのではないかと考えられる。

4. まとめ

本研究では合唱時に歌声を協和させる技術の練習を支援するために、和音中のうなりを聞き取りやすく合成して歌手に聞かせるシステムを提案した。評価実験の結果、提案システムを用いることでうなりを聞き取る能力が向上する可能性があった。

参考文献

- [1] 香山瑞恵, 中西 将, 岡部真実, 浅沼和志, 伊東一典, 為末隆弘, 橋本昌巳: 指導者知識に基づく合唱学習支援システムの構築とその評価, 情報処理学会論文誌, Vol. 51, No. 2, pp. 365-379 (Feb. 2010).