

歌唱評価のための指導者知識に基づく合唱学習支援

- 1音評価とフレーズ評価 -

A Mechanism for Chorus Learning Support Based on the Expertise for Singing Voice Training

- Some instructional expertise for the one note singing and the phrase singing -

香山 瑞恵^{*1}
Mizue Kayama伊東 一典^{*1}
Kazunori Itoh浅沼 和志^{*2}
Kazushi Asanuma橋本 昌巳^{*1}
Masami Hashimoto大谷 真^{*1}
Makoto Otani^{*1} 信州大学工学部
Shinshu University^{*2} 長野県工科短期大学校
Nagano Prefectural Institute of Technology

The purpose of this study is to explore an intelligent chorus learning environment that supports individual learning of singers. In this research, we developed a learning environment to evaluate the adequacy of the pitch and the validity of the volume for each singing note and phrase in a song. In this environment, the acoustic features of a singing voice (pitch and volume) were evaluated based on the expertise of a choral leader in real-time. After a learner sang a song with this system, a set of feedback information was provided as instructional guidance. This information was generated using some special instructional words of the choral leader. In this paper, we consider the expertise of a chorus leader. The instructional expertise for each note and phrase singing are discussed.

1. はじめに

合唱とは、多くの歌唱者が、いくつかのパートに分かれ、各パートの声が互いに和声をなしながら、全体で曲をなすように歌うことである。さらに、教師や指揮者などの指導者が大勢の歌唱者の音楽解釈を統一し、自身の音楽観に基づき歌声を総合することで合唱が構成される。本研究の目的は、個人で行う合唱練習を支援するための環境を探究することである。これまでに、歌声の音響特徴量を指標とした指導者知識に基づく支援環境を構築してきた。ここでは、合唱曲における各音および特定フレーズに対する歌唱評価と指導の機能が具備されている。本稿では、歌唱指導と歌唱評価のための指導者知識に関して考察し、その知識を実装したシステムを概観する。

2. 先行研究

歌唱の練習支援の主たる方法は、理論的な事柄を中心に座学で学習する方法と、実際の歌唱行為を通して体験的に学習する方法がある。特に、後者の先行研究としては、音高の軌跡を可視化する D.M.Howard らの SINGAD[Howard 1989]や ALBERT, SING&SEE, WinSINGAD に関する研究[Hoppe 2006]などがある。これらの研究成果として、目標とされる音高に対する学習者の音高のずれを提示することが、音高の再現の正確さの向上に寄与することが報告されている。Mirusinger[中野 2007]はお手本歌唱や自らの歌唱の音高変化を視覚フィードバックとして与えることによる歌唱方法の理解の促進と歌唱力向上のためのシステムを提案している。合唱練習に特化した商用ソフトウェアも発表された。

これらでは、楽譜に示された音高やお手本歌唱の音高との差異を少なくするような歌唱支援が主眼とされる。一方、本研究では、合唱学習に際して、指導者の音楽観や演奏解釈、すなわち指導者知識に着目し、これらの知識に基づく支援を検討する。

3. 指導者知識

システムに組み込む指導者知識の抽出を試みた。本研究で

は、指導者の個性を活かした支援の実現を目指す。そのため、抽出対象とする指導者知識は特定の指導者 1 名(合唱指導歴 29 年、以下、対象指導者と称す)のものとする。対象曲は「夜の歌」(作詞: 阪田寛夫、作曲: 佐々木伸尚)とした。これは、指導者自身によって初心者向けの混声三部に編曲されており、対象指導者が複数の合唱サークルへの指導経験を有する曲である。

3.1 指導に関わる知識

対象指導者に対して、歌声評価および指導の際に着目する歌声の要素(以下、評価観点と称す)を調査した結果、大きさ(音量)、高さ(音高)、音色、長さ(音価)、リズムの 5 つが指摘された。各評価観点への重み付けは指導者によって異なる。これらの重みの違いから指導の優先順位の同定を試みる。ここでは指導者からの聴取と実際の歌声に対する主観評価実験の 2 つの側面から検討する。

(1) 聴き取り調査

指導者に対して、評価観点の指導優先順位を聴取したところ、1.音高、2.音量、3.音価、4.音色、5.リズムという順位となった。この順位決定の理由を求めたところ、「上位とした音高や音量、音価は歌唱者の歌唱技術に因る観点である。今回の指導対象である初心者の場合には、歌唱技術がまだ発達不十分であることから、まず歌唱者に起因する部分から指導を行う。一方、下位に位置づけられた音色やリズムに関しては指導者に起因する観点である。これらの観点は、歌唱者の技術がある程度習熟した段階で指導していくものであるため、学習初期段階での優先順位は低くなる。」という回答を得た。

(2) 主観評価実験

対象指導者の意見を参考に、対象曲中で歌唱評価に差が出やすいと考えられる 4 小節程度の 2 フレーズ分の歌唱を対象指導者に聴取させた。歌唱データの歌唱者は合唱経験の異なる 20~50 代の男女 17 名とした。各パートの人数はソプラノ 7、アルト 3、バス 7 である。これら 17 名のうち 5 名は対象指導者による合唱指導を受けた経験がある者であり、残りの 12 名は対象指導者からの指導を受けた経験がない初心者である。いずれ

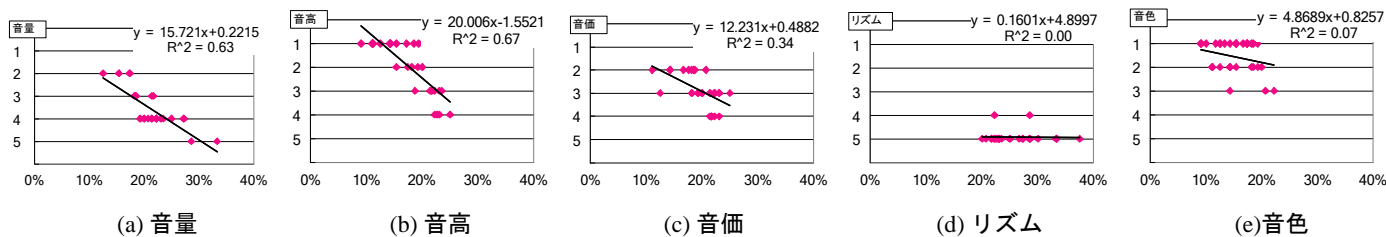


図1 各観点の評価点数の割合

の歌唱者に対しても、対象曲の各自パートのサンプル歌唱音声(対象指導者が用意)を、歌唱者が自らの歌唱に問題ないと判断するまで聴かせた上で実験用に歌唱させた。

実験環境としては、評価フレーズの聴取は無響室にて、ノートパソコン(DELL LATITUDE D400)、サウンドボード(EDIROL VA-101)、ヘッドホン(Victor HP-DX1)を用いた。また、評価音特性としては、聴取音量を対象指導者自身に聞きやすい音量に設定させ一定とした。評価対象フレーズは 44.1kHz, 16bit でサンプリングされたモノラル音声信号である。その歌声評価の点数(7段階)と、5つの評価観点の指導優先順位とを回答させた。

各優先順位の平均値は音高 1.97, 音量 3.62, 音価 2.91, 音色 1.56, リズム 4.94 であった。音色と音高は順位が高いことから、対象指導者は音色と音高を優先する傾向が見られる。しかし、平均値だけでは評価得点に偏りがある場合を考慮できない。

そこで、各観点での評価点数の割合から優先順位を検討する。いずれの観点においても割合が増えるにつれ、評価の順位が下がっていた。これは、その観点に対する評価点数が上がることで優先順位が下がるためである。そこで、この結果を線形近似し、傾きを求めた(図1参照)。この傾きが大きければ、順位における支配度が高くなり、優先順位が上がることを意味する。傾きは数値が大きい方から、音高 20.0, 音量 15.7, 音価 12.2, 音色 4.9, リズム 0.2 の順となった。音色は優先順位の平均値が高い(5項目中最高)にもかかわらず、傾きが小さい。これは、評価点数の割合に関わらず優先順位が高くなることを示している。

すなわち、評価得点の割合と評価順位との関係の近似直線の傾きより、音高・音色・音量の優先順位が高く、リズムや音価は順位が低いことが示された。これは(1)に示した対象指導者への聴取調査の結果と合致していた。

(3) 考察

聴取調査および主観評価実験で得られた指導優先順位は音色を除いてほぼ合致していた。音色を除く4つの評価観点における対象指導者の指導優先順位は、音高、音量、音価、リズムの順である。2種の結果が合致していたため、学習支援曲の変更の際には各評価観点の優先順位は指導者からの聴取結果を反映できることが示唆された。

また、一般に、楽譜に示される情報は、曲やフレーズのリズム、ブレス位置、音高、音量、音価、歌詞などがある。本研究では、楽譜に示される情報の中から物理量との対応が可能な音高、音量、音価、リズムに着目し、楽譜基礎情報として組み込む。歌声から得られる特徴量として、音高(基本周波数)、音量、スペクトル構造、シンガーズホルマントなどが挙げられる。さらに、これらの時間変化から、音価、リズム、ヴィブラートなども得ることができる。これらの特徴量のうち、音高、音量、音価、リズムは楽譜基礎情報との対応が可能である。しかし、スペクトル構造やシンガーズホルマント等は物理量との対応は可能であるが、その可否や良不良の評価が客観的に定まるものではない。

以上より、本研究では指導優先順位が高く、楽譜と歌声の両側面から得られる音響特徴量である音高と音量を評価観点の指標に用いることとする。

3.2 音高を評価する知識

指導者は歌唱における音高評価を行う際に、指導者の基準にある程度の許容範囲を認めてその範囲内にあるものを適正とし、その範囲から外れたものに対して指導していると考えられる。そこで、特定の1音歌唱とフレーズ歌唱に対する評価実験から、音高における評価適正範囲の抽出を試みる。

(1) 1音歌唱に対する評価

特定の1音の歌唱に対する音高を評価するための指導者知識の抽出を試みた。聴取させる評価フレーズは、対象指導者の意見を参考に、歌唱評価に差が出やすいと考えられる4小節程度のフレーズ2種(聴取フレーズA, B)とした。各フレーズの平均長は6[s]である。実験環境と評価音特性は3.1と同様である。歌唱データの歌唱者は対象指導者からの指導経験がない初心者の男性11名22データとした。対象指導者には各フレーズ最後の1音の音高について5段階評価させた。評価音の平均長は約1.5秒である。聴取フレーズAの評価音はCの音(純正律:155.74[Hz])、聴取フレーズBの評価音はBの音(純正律:124.59[Hz])であり、これを基準とする。評価音の音高が基準から50~50[cent]の範囲を網羅するように歌唱者が複数回歌った歌唱の中からデータを選別し、実験に利用した。

聴取フレーズAに対する音高の適正範囲は-11~27[cent]であった。この結果と他の音に対する評価実験の結果とを統合し、対象指導者の音高評価適正範囲は-25~25[cent](±1/4音)の範囲であると推察された。

しかしながら、適正範囲内の音高ずれであっても指導対象となる歌唱が存在する。これらには以下の特徴が見いだせることを確認している。

- 評価音の前の音が基準から50cent以上ずれる。
- 基準の音高変化の推移傾向に背くような音高変化を示している(例:楽譜では徐々に音高が低くなるのに、歌唱の音高は急に低くなる)。

これらは、後述するフレーズ歌唱に対する音高評価の指導者知識と関連する。

(2) フレーズ歌唱に対する評価

フレーズ単位での歌唱における音高を評価するための指導者知識の抽出を試みた。対象指導者に対して(1)と同様のフレーズ歌唱データを聴取させ、各歌唱に対して指導の要不要を判断させ、歌声評価コメントを明示させた。

聴取フレーズAの歌唱データの内、指導対象となったのは11データ中3データである。これらのデータに対する指導者の評価コメントを次に示す。

- 評価対象フレーズ以前から音程が全体的にずれており、評価フレーズも同様の傾向を示した。
- 特定の1音の音高が極端に低い。
- 評価対象フレーズ以前から音高が非常に不安定であり、評価フレーズも同様の傾向を示した。

また、聴取フレーズ B で指導対象となったのは 11 データ中 2 データであった。これらのデータに対する指導者の評価コメントを以下に示す。2 データとも共通のコメントが得られた。

- 音高が半分以上ずれていた。
- これらより、フレーズ評価の観点は以下の 3 点と考えられる。
1. 音高の不安定性。
 2. フレーズ内の全音の理想音高からのずれ幅の平均。
 3. 理想音高から許容範囲以上ずれている音の割合。
- 1.の観点に関しては、対象曲中の最短音符の 1/2 の音価(ここでは 16 音符間隔)での歌唱音高平均が、基準音に対して高くなる低くなるという変化を繰り返し示し、かつその変化量が各 25cent 以上の場合、不安定と評価することとした。2.の観点に関しては、平均音高が理想音高に比べ $\pm 50 \sim 60$ [cent]以上ずれている場合、指導対象とされることがわかった。3.の観点に関しては、許容範囲は理想音高から ± 50 [cent]より少ないずれであり、その範囲をはずれた音がフレーズ内の音数の 50[%]以上であった場合、指導対象とされることがわかった。

しかし、上記の観点到該当しないデータが 1 種存在する。これは、音価や音色等、他要因が作用していることが考えられる。

3.3 音量評価に関する知識

音量は、絶対的な評価を行うことは困難である。しかしながら、楽譜には強弱記号として記載されていることから、指導者は相対的な変化に対する評価を行っていると考えられる。そこで、本システムにおいても相対的な評価を行うことで、音量における指導者知識の具体化を試みる。

(1) 主観評価実験

3.1 と同様の対象曲中、音高の極端な変化が少なく強弱記号が含まれる約 2 小節分を評価フレーズとした。歌唱者は 3.2 と同様である。対象指導者に歌唱データを聴取させ、音量を 5 段階評価させた。実験環境と評価音特性は 3.1 と同様である。

(2) 実験結果

指導対象として 22 データ中 12 データが指摘された。これらの指導対象歌唱には、楽譜上の強弱記号と対象指導者の主観評価との間に相関は見られなかった(非指導対象歌唱も同様)。

しかしながら、瞬時的な音量の変動成分(音量のオーバーシュートと称す)が確認された。本研究では、音量のオーバーシュートとは発声区間の定常部分に対して 5[dB]以上の立ち上がりを示す 100-200[ms]間継続する音量変動と定義した。この音量のオーバーシュートが 1 ヶ所でも確認された歌唱は、指導対象と評価された 12 データ中 10 データ(83[%]、立ち上がりの平均 15[dB])、指導対象外と評価された 10 データ中 4 データ(40[%]、立ち上がりの平均 6[dB])で存在した。指導対象の立ち上がり値は t 検定により 3%水準で有意な差が確認された。つまり、発声区間の立ち上がりが顕著な音量のオーバーシュートが対象指導者の評価結果に影響を与える 1 要因と考えられる。

実験後に音量評価の判定基準を対象指導者に聴取したところ、以下のコメントを得た。

- 全体/パートとしての音量のバランスが重要となる。
- 音量は連続性が重要で、滑らかな変化が適切である。
- 音量が断続的に変化した場合には指導が必要となる。
- 音の始まりで突然大きく、もしくは小さくなってしまふものは指導が必要である。

(3) 考察

対象指導者が指摘した事柄と指導対象となった歌唱の特徴を考慮すると、歌声に顕著な音量のオーバーシュートが存在す

ると音の始まりでのみ音量が大きくなり、音量変化の連続性が損なわれ、歌唱が断続的になるため、指導対象と判断されたとも考えられる。これらを鑑み、本システムにおいては、音量のオーバーシュートを音量に対する評価指標として採用した。

しかしながら、音量のオーバーシュートが出現する非指導対象歌唱も存在する。これまでの実験の結果から音量のオーバーシュートの立ち上がりの大きさが評価に影響する可能性が示唆されている。そこで、本研究においても立ち上がりの大きな歌唱に対して優先して指導を与えることとする。

音量のオーバーシュートは、特定音の歌唱のみならず、フレーズ歌唱の際にも存在することが確認されている。この基準を複数音からなるフレーズ歌唱に対する音量評価のための指導者知識としても利用することとする。

4. 指導者知識に基づく歌唱指導の効果

3 章で示した各種の知識を具備した合唱支援システムを開発した。合唱学習および合唱指導への適用を鑑みた場合、他パートを意識した練習機能の有無による合唱学習効果を検討することが、本システムの有効性および抽出した指導者知識の妥当性を検証することにつながると考えた。

4.1 実験方法

(1) 本システムの概要

本システムでは、パート練習、全体練習、フレーズ練習といった合唱特有の練習形態を模擬しながら学習を進めることになる。利用に際しては、自らが担当するパート(自パート)を指定し、同時に他パートの中から聴覚情報として練習中に提示を希望するものを指示する。自パート練習やフレーズ練習では音取りを中心とした訓練を、他パートとの練習では合唱に特有の和声の訓練やつられ防止の訓練が可能である。

視覚情報として、楽譜情報から得た音高と、学習者の歌唱情報から抽出した音高と音量がリアルタイムに表示される。さらに、以下で示す即時フィードバックの情報が、指導対象箇所と同期しながら提示される。

聴覚情報として、学習者の歌唱に合わせる歌声がシステムから提示される。提示されるパートは複数選択することが可能である。他パート歌唱はコンピュータによる歌声合成音を利用した。歌声提示の指定がなかった場合には自パートの MIDI (Musical Instrument Digital Interface) 音源のピアノ音が提示される。

本システムの指導機能として、即時フィードバックと事後フィードバックがある。両フィードバックの様子を図 2 に示す。即時フィードバックは、曲全体を歌唱練習する機能と任意のフレーズ歌唱を練習する機能とを有する。ここでは、歌唱における音高および音量に関する指導語によるアドバイスをリアルタイムに生成する。この結果は次回の歌唱指導に反映され、前回歌唱で

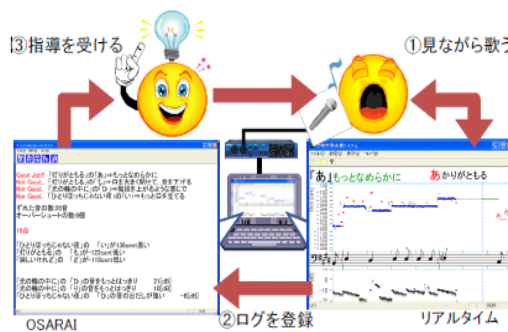


図2 即時フィードバック(右)と事後フィードバック(左)

指導対象と判定された歌唱の前に、正しい歌唱のための指導語が示され、歌唱後には音高および音量が妥当であったのか否かが指導者の言葉で表示される。即時指導時の歌唱では、学習者に提示される聴覚情報として、MIDI ピアノによる伴奏音、MIDI ピアノによる指定パート音、音声合成エンジンによる指定パート歌唱を任意に選択できる。

事後フィードバックでは、直近歌唱における音高と音量を評価した結果が示される。理想音高とのずれが大きかった箇所、および大きな音量のオーバーシュートが生じた箇所がフレーズ歌詞と共に示される。同時に、次の歌唱時にどのように歌えばその誤りが是正されるのかを、指導語により示される。

(2) 実験概要

対象曲は「夜の歌」とし、被験者は 3.2 および 3.3 の被験者 11 名の中から、2 週間の継続した合唱練習に参加可能な 8 名とした。4 名には即時および事後フィードバックを与え、残りの 4 名には即時フィードバックのみ与える練習を課した。実験は継続練習後 2 週間たって実施した。これは対象曲での自パートの音高変化や歌詞が被験者に概ね記憶されている状態での、他パートを意識した練習を再現するためである。本システムが提示する学習支援情報の内、聴覚情報の別(MIDI の自パート、合成音声の自パート、合成音声の全パート、合成音声の自パート以外)を実験条件として、それぞれシステム有と無の場合とで 3 回ずつランダムに計 24 回の歌唱をさせた。

4.2 結果

特に効果が示された音高の改善について述べる。システムの有無の歌唱結果を比較し音高が±25cent 以上ずれた音の数が 5%以上減少した場合を改善、増加した場合を悪化、それ以外を変化なしとまとめた(図 3 参照)。全パートを聴きながらの練習

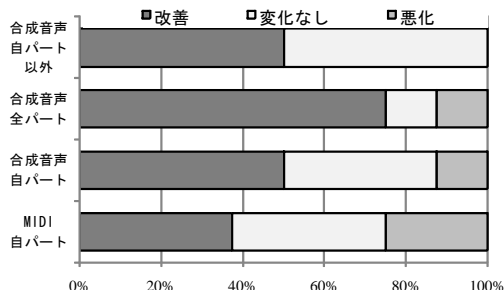
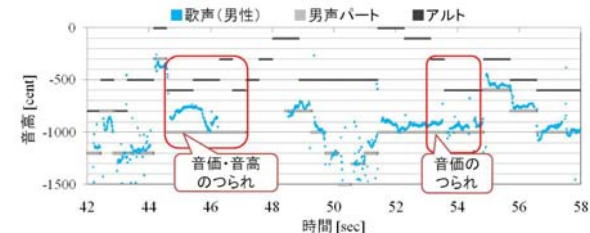
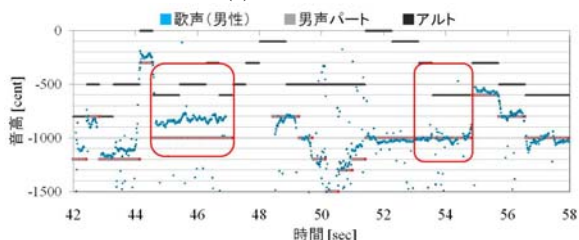


図 3 実験前後での音高ずれの変化の比較



(a) システム無



(b) システム有

図 4 音価のつられと音高のつられの改善例

時に最も改善割合が高く、自パート以外を聴きながらの練習においても自パートを聴きながらと同程度に改善がみられる。一方、自パート、特に MIDI を聴きながらの練習ではシステムを利用することで音高評価が悪化した割合が多い。

4.3 考察

他パートを意識した合唱特有の練習形態において本システムの利用による音高改善が確認された。改善の内容を分析したところ、特に全パートを聴きながらの練習では他パートへの“つられ”の改善が 8 名中 6 名で確認された。観察されたつられには、音高のつられと音価のつられがある。音高のつられとは他パートの音高に影響され同調するような音高が変化してしまう現象であり、他パートの音高変化が自パートの変化と類似しており、かつ、自パートの音高変化量が大きい場合に発生する傾向がみられた。音価のつられとは、本来歌唱すべき音価よりも短い長さで歌を止めてしまう現象であり、自パートの方が他パートより長い音価で同一の音を歌唱する場合にみられた。

図 4 にソプラノ/アルト/男声の混声三部合唱の練習におけるつられの改善の様子を示す。これは 8 名の被験者の内で代表的な例である。図にはアルトと男声パートの音高推移と各音価、被験者の音高推移とを示す。(a)がシステム無、(b)がシステム有の場合である。図中(a)の 45[s]~47[s]では音価のつられと音高のつられが、51[s]~55[s]においては音価のつられが確認できる。前半のつられでは、まず男声パートの音高まで下がることができず、次にアルトの音高変化のタイミングに同調するかのようにならなうと、結果的に歌唱を中断している。後半のつられでは、男声パートの音高は保っているが、その音価はアルトの音価の切れ目に同調する箇所が途切れている。しかし(b)では、両者の音価のつられは改善し、特に前半では音高のつられも改善が確認できる。

ここに示した歌唱時にはシステムから音高および音量の改善を促す指導語が示されている。他パートとの調和を促す指導語は使用していない。自パートを正確に歌唱するような指導語を示すことのみでも、つられが改善されていたといえる。また、対象指導者に同一被験者の本実験後の歌唱と 3.1 の実験時の歌唱とを聴取させた。その結果、「音の高さの不安定さがだいぶ改善された」、「音の大きさの推移が滑らかになったし、歌詞もしっかりとしてきた」という主観評価を得た。

5. おわりに

本稿では、合唱指導に関する指導者知識に関して考察し、それらの知識を具備した合唱学習支援システムの有効性等に関して検証した。指導者知識に基づき指導語によりガイドする機能は、合唱特有の練習形態への支援においても有効であると考えられる。また、今回の実験において、音高と音量に関する指導機能を利用することで音価の改善が確認された。次のステップとして、音価に関する指導者知識の具体化を試みる。

参考文献

- [Howard 1989] D.M.Howard, and G.F.Welch, “Microcomputer-based singing ability assessment and development”, Applied Acoustics, 27, pp.89-102, 1989.
- [Hoppe 2006] D.Hoppe, M.Sadakata and P.Desain, “Development of real-time visual feedback assistance in singing training : a review,” JCAL, 22, pp.308-316, 2006.
- [中野 2007] 中野倫靖・後藤真孝・平賀謙, “楽譜情報を用いない歌唱力自動評価手法,” 情報処理学会論文誌,48(1), pp.227-236, 2007.