

歌声の音響特徴量を指標とした指導者知識に基づく合唱学習支援

A chorus learning support system based on the chorus leader's tutoring knowledge in the indexing for acoustical features of the singing voice

香山瑞恵^{*1} 中西将^{*2} 岡部真実^{*1} 浅沼和志^{*3}
 Mizue Kayama Masaru Nakanishi Mami Okabe Kazushi Asanuma

伊東一典^{*1} 為末隆弘^{*4} 橋本昌巳^{*1}
 Kazunori Itoh Takahiro Tamesue Masami Hashimoto

^{*1}信州大学
 Shinshu University

^{*2}信州大学大学院
 Graduate School of Science and
 Technology, Shinshu University

^{*3}長野県工科短期大学校
 Nagano Prefectural
 Institute of Technology

^{*4}山口大学
 Yamaguchi
 University

The purpose of this study is to explore the chorus learning support environment based on the tutoring knowledge of chorus leader. In the general chorus practice, a chorus leader tends to instruct his chorus member based on the multiple aspects, not score information, but a chorus leader's sense of value and/or his musical philosophy. Then, we try to extract the tutoring knowledge of evaluation/reviewing for singing voice from a chorus leader. The extracted knowledge is expressed in a computational form and implemented in a learning support system. In this paper, a chorus learning support system is proposed. At first, the tutoring knowledge of a chorus leader is described. Then, the architecture and functions of the proposed system is shown. Finally, we discuss the evaluation results of the adequacy of the extracted knowledge and the effectiveness of chorus learning with our system.

1. はじめに

合唱は、歌いながら指導者からの指導を受け、歌唱誤りを認識し、それに対して修正を加えて再度歌うという流れを繰り返すことにより、適切な歌唱方法を身につけていくスキル学習である。スキル学習とは身体動作を伴った学習のことである [古川 2008]。スキル上達のための支援を人間の指導者に代わってコンピュータが行う環境を整えれば、学習者は個人でスキル上達のための学習が可能となる。近年、ペン字 [稲見 2004]、陶芸 [凍田 1997]、デッサン [曾我 2008]、ドローイング [永井 2008]、サンバ演奏 [河上 2008] 等、様々なスキル学習支援環境が探究されている。これらの学習では、学習者による専門家や上級者の模倣を通して、学習者のスキル向上支援を実現している。

一方、合唱の練習では、指導者が有する理想の歌声やハーモニーに近づくことが目的とされる。ここでは、個々の指導者独自の合唱観や音楽知識に基づく練習がなされ、様々な指導方法がとられる [竹内 1992, 村谷 1980]。すなわち、合唱の練習では指導者という存在が重要となる。現在、指導者に着目した支援を検討した研究事例はない。

本研究では、合唱指導のための指導者の知識の抽出および具体化を試み、指導者知識に基づく合唱学習支援システムの実現を目指す。

2. 指導者知識

本研究では、特定合唱団の練習に対する継続的観察を通して、指導者がなす歌声評価と指導方法の事例を収集した [中西 2008]。その結果に基づき指導者知識を整理する。

2.1 分類

合唱においては、合唱団の個性や指導者の音楽観、そして演奏解釈を考慮した指導が重要となる。本研究では、これらに関する知識を指導者知識と称する。指導者知識の分類を図 1

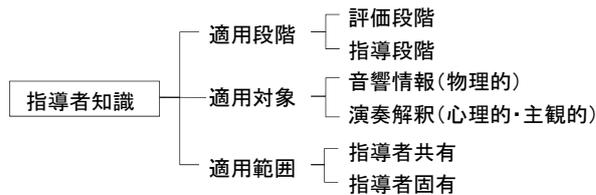


図 1 指導者知識の分類

に示す。指導者知識を適用段階、適用対象、適用範囲で分類した。適用段階は、合唱練習のフェーズに相当し、評価と指導の 2 種に分類できる。適用対象は、歌声の情報に相当し、物理量としての音響情報と、心理量としての演奏解釈とに分類できる。適用範囲は、指導者毎の知識の差異に相当する。指導者知識はいずれの指導者にも共通な知識も存在するが、多くの場合、各指導者の音楽観や経験によって異なる。つまり、適用範囲においては指導者共通と指導者固有とに分類できる。

2.2 抽出対象

本研究で抽出を試みる指導者知識を次に示す。

適用段階: 評価段階と指導段階

適用対象: 音響情報

適用範囲: 指導者共通と指導者固有(区別しない)

指導者知識の抽出対象者は、特定の指導者 1 名(合唱指導歴 29 年。以下、対象指導者と称する)とする。指導者知識の抽出対象曲は、対象指導者が混声三部用に編曲した合唱曲「夜の歌」(作詞: 阪田寛夫, 作曲: 佐々木伸尚)とした。

3. 指導に関する知識

3.1 指導優先順位

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

[岡部 2008]. 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。

聴取された順位結果は1.音高, 2.音量, 3.音価, 4.音色, 5.リズムとなった。この中で音高, 音量, 音価については歌唱者に起因し, 音色とリズムに関しては指導者に起因する観点であることが指摘された。また, 指導対象の習熟度が変わると順位が変動することも指摘され, 今回の観察対象とした合唱団の合唱に関する習熟度が低いため, 前述の順位結果となったという。

一方, 主観評価の結果は, 縦軸を優先順位, 横軸を評価得点とした分布に対する傾き(線形近似)として整理した。この値は, 順位における支配度を示しており, この支配度が高くなると優先順位が上がることになる。傾きは音高, 音量, 音価, 音色, リズムの順で大きくなった。ここで, 音色は優先順位の平均値が高いにも関わらず, 傾きが小さい結果となった。これは, 音色は評価得点に因らず優先順位が高くなるためである。

以上の結果より, 対象指導者における, 初心者合唱団に対する指導優先順位は, 音高と音色が高く, 次に, 音量, 音価, リズムと続くことがわかった。

3.2 評価観点と音響特徴量

楽譜に示される情報には, 曲やフレーズのリズム, プレス位置, 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容易な音高, 音量, 音価, リズムに着目し, 楽譜基礎情報として組み込む。一方, 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, ビブラートなども得ることができる。これらのうち, 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, その評価が客観的に定まるものではない。

本研究では, 指導優先順位が高く, 楽譜と歌声との両側面から得られる音響特徴量である音高と音量とを歌声の評価のための指標として用いることとする。

4. 評価に関する知識

4.1 音高の評価

一般に指導者は音高の評価を行う際に, 指導者の基準に対して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, 範囲から外れたものを指導対象としていいると考えられる。そこで, 対象指導者による特定の音に対する音高の評価実験から, 適正範囲の具体化を試みる。

実験結果を図2に示す。横軸が理論上の基準との相対音高, 縦軸は評価点数である。指導の必要がないと判断された評価点数4以上の音は, 理論上の基準を中心に分布しており, 音高の適性範囲は ± 25 [cent]であると考えられる。他の音に対する実験においても同様の結果が得られた。これらの結果より, 対象指導者の音高評価適正範囲は ± 25 [cent], すなわち $\pm 1/4$ 音の範囲であると推察される。

また, 適正範囲内の音ずれにも関わらず, 指導対象と判断された歌声に対して, 評価対象音を含むフレーズ単位での解析を試みた。その結果, 対象フレーズ内に音高が50[cent]以上ずれるものや, 音高変化の仕方が楽譜と合わないものに対しても, 指導対象となる可能性が示唆された。

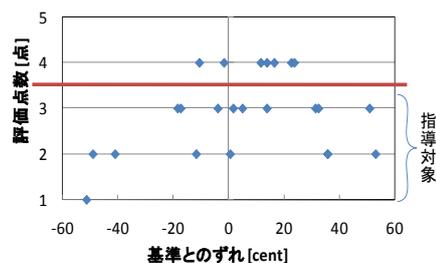


図2 評価音 C(155.47[Hz])に対する音高評価結果

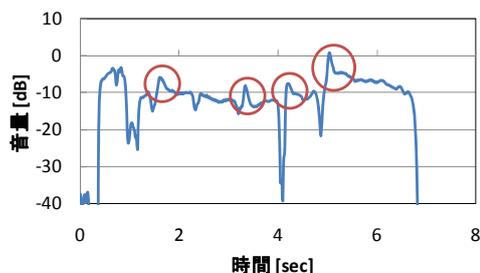


図3 音量のオーバーシュート

4.2 音量の評価

ここでは, 相対的な音量変化に対する指導者の主観評価実験の結果から, 音量における指導者知識の具体化を試みる。

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。しかしながら, 図3に示す成分, すなわち発音直後が強く, その後すぐに弱くなり, その後安定した発声となる瞬時的な変動成分(音量のオーバーシュートと称す)が確認された。この音量のオーバーシュートは指導対象外と評価されたデータには40%, 指導対象には80%含まれていた。つまり, 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ていることが示唆された。本システムにおいても, 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することとする。

実験後に指導者に対して, 音量評価の際に着目する点を聴取したところ, 以下の指摘を得た。

- 全体・パートとしての音量のバランスが重要であること。
- 音量は変化の連続性が重要であること。

今回着目した音量のオーバーシュートは変化の連続性を損なうことになるため指導対象となったと考えられる。

5. 合唱学習支援システム

5.1 概要

本合唱学習支援システムでは, 合成音声/MIDI音源のピアノ音による自パートあるいは他パートの聴覚フィードバックを得ながら歌唱した学習者の歌声を入力として, 4章で示した指導者知識に基づきシステムが歌声を評価し, さらに評価結果と当該学習者の歌声評価履歴とに基づいて求められた適切な指導を提示する。ここでの指導とは, 以下の2種の情報提示を指す。

- 音高と音量とについて, 不適切な歌唱を改善するための方法を示唆すること
- 当該曲歌唱での音高および音量に関して, 多くの歌唱者が誤りやすい箇所を提示すること

前者により当該学習者に適応的な指導を実現し, 後者により当該曲に適応的な指導を実現していることになる。これらの指導の際には, 対象指導者による実際の合唱指導で用いられた指導語が利用される。

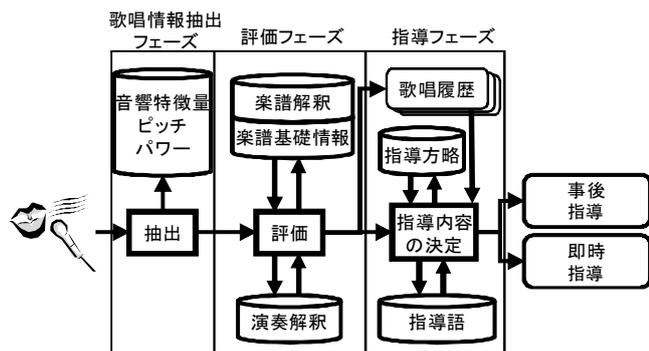


図4 システムの構成概要

5.2 構成

本システムの構成を図4に示す。本システムは、歌唱情報抽出、評価、指導の3つのフェーズで構成される。

歌唱情報抽出フェーズでは、入力された歌声から、音高と音量に関する歌唱情報が抽出される。評価フェーズでは、歌唱情報抽出フェーズで抽出された歌唱情報と、楽譜および指導者の学習解釈や演奏解釈との差異の検出を行う。指導フェーズでは、指導が必要と判断された歌唱情報に対して、修正すべき項目の優先順序、およびそのための指導語を決定する。指導の優先順序は指導方略に関する知識として、また当該指導者特有の指導表現が、指導語データベースとして各々組み込まれる。これらの処理結果を学習者にフィードバックすることで、指導者知識を評価と指導とに反映させた合唱学習支援を実現した。

5.3 練習形態

本システムでは、パート練習、全体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、自らが担当するパート(自パート)、および聴覚フィードバックとして同時に提示されるパートを指示する。パート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。

5.4 即時指導と事後指導

(1) 学習の流れ

学習者は、歌唱時の即時指導と歌唱後の事後指導とを受けながら学習を進める。学習者は、まず即時指導として視覚・聴覚両面からのリアルタイムのフィードバックを受けながら歌唱を行う。次に、歌唱のログデータをシステムに登録することで、全体歌唱に対する評価と修正点に対する指導が学習者に提示される。そして、提示された指導結果をふまえて、再度歌唱し即時指導を受ける。このような流れで繰り返し歌唱することで、修正が必要な箇所とそれへの修正成果の有無を確認しながら学習を進める。

(2) インタフェース

即時指導のインタフェース例を図5に示す。歌詞・指導語表示エリア(図中1)、音高エリア(同2)、五線譜エリア(同3)、音量エリア(同4)で構成される。以下、各エリアの機能と特徴を示す。

1: 歌詞・指導語表示エリア。歌詞と前回歌唱時の事後指導で提示された指導語とが示される。歌詞は、当該箇所の歌唱直前にフレーズで提示する(図中B)。また、当該曲での誤りやすい箇所を歌詞中で赤字表示する(図中Bの「の」)。さらに、前回の事後指導での指導箇所に対して、同一の指導語による指摘がなされる(図中A)。その指摘に対する修正成果は即時評価され、対象音の歌唱直後にその評価結果が示される。



図5 即時指導時のインタフェース

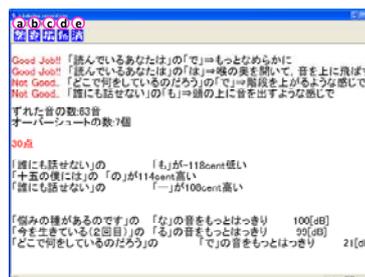


図6 事後指導時のインタフェース

- 2: 音高エリア。楽譜音の音高と入力歌声の音高を可視化し、同時提示する。縦軸が音の高さであり、歌声の軌跡が上にあるほど高い音を示す。楽譜音の音高は緑の直線(初心者が誤りやすい箇所は赤)で示され、その上に提示される点が学習者の歌声の音高となる。この時、入力歌声に修正が必要と評価された場合は赤点、不必要な場合は青点が表示される。また、学習者が過去の歌唱において音高を誤った箇所に対してはアラート(図中D)が提示される。
- 3: 五線譜エリア。学習者パートの五線譜情報が表示される。プレス位置の情報も示される。
- 4: 音量エリア。入力された歌声の音量を提示する。縦軸は音の大きさ[dB]であり、音量が大きいほど上に描画される。また、音量のオーバーシュートに対する評価を行い、出現が確認された場合は学習者に提示する(図中E)。

事後指導時のインタフェース例を図6に示す。直近の歌唱ログと以前からの歌唱履歴データとを利用することで、直近の歌唱における音高と音量の誤り箇所の提示と、それらに対する修正方法の指示が与えられる。

6. システム評価

6.1 評価知識の妥当性の検証

指導者知識である音高の適正範囲と音量のオーバーシュートによる歌声評価と、対象指導者の主観による歌声評価の比較から妥当性を検証する。

図7に、主観評価の結果である評価順位に対する、音高のずれと音量のオーバーシュートの関連を示す。横軸が対象指導者によって評価された順位である。左の縦軸が基準音から±25cent以上ずれた音の数(赤の折れ線)であり、右の縦軸が音量のオーバーシュートの数(青の折れ線)である。

音高のずれの数は順位が下がるにつれ、多くなっていく。このことから、音高のずれを評価基準としたことは歌声評価において妥当であることが示唆される。しかし、順位3と6の歌声は、前後の歌声より音高のずれが少ないにもかかわらず、順位が下がっている。これは、これらの歌声に音量のオーバーシュートが他の歌声よりも多く生じていたためであると考えられる。すなわち、音高がまず優先的に評価され、次に音量についての評価

が補足されたことが伺える。今回、指導者知識として具体化された音高のずれと音量のオーバーシュートを歌声評価に用いることで、指導者に近い評価が可能となることが確認された。

しかしながら、順位 9 の歌声は今回抽出した 2 つの指標のみからでは説明がつかない。対象指導者は他にも評価指標を用いて歌声を評価していることが推察される。

6.2 指導機能の有効性の検証

ここでは、即時指導と事後指導の有無が、音高のずれと音量のオーバーシュートの改善に及ぼす影響を取り上げる。評価対象曲は「夜の歌」と「手紙～拝啓十五の君へ～」(作詞・作曲: アンジェラキ, 編曲: 大田桜子。以下、「手紙」と略す)を用いる。指導者知識抽出時の対象曲以外の曲を用いることで、合唱学習支援システムの汎用性の検討も行う。

被験者は対象指導者に指導を受けた経験のない歌唱初心者とした。被験者を 3 グループに分け、以下の条件を与えた。

- A: 即時指導と事後指導を与える。
- B: 即時指導のみを与える。
- C: 指導を与えず、MIDI 音源の聴覚フィードバックを与える。歌唱条件は以下の 2 つとした。

条件 1: 聴覚フィードバックに合成音声の自パートを用いる。

条件 2: 聴覚フィードバックに合成音声の全パートを用いる。

条件 1 はパート練習, 条件 2 は全体練習を想定している。この条件下で、各曲を 10 回ずつ歌唱させた。また A と B に対して、毎歌唱後に提示された指導に関する質問紙調査を行った。

改善がみられた被験者数を表 1 に示す。音高では、両曲共に、A と B で条件による改善の幅に違いがあるものの、半数以上の被験者に改善がみられた。C ではいずれの条件でも改善はみられなかった。音量では、「夜の歌」において、いずれの条件でも改善された被験者は 0~2 人であり、グループ間での差はみられなかった。「手紙」では、いずれの条件でも C の改善がみられず、総体として音高ほどの練習効果は確認されなかった。

C と他グループとの比較から、即時指導により、単純な音取りの練習と比べて、音高のずれが修正されることが示唆された。また、新曲の練習に際して、いずれの条件でも音高の改善が確認された。すなわち、即時指導による音高のずれの修正は、少ない練習回数であっても効果があげられることが示唆された。

また、A における指導語に着目し、A と B の歌唱結果の比較から事後評価の効果を検討する。「夜の歌」の歌唱練習前と後とで、条件 2 での指導語の有無が歌唱変化に及ぼした影響を図 8 に示す。図中、指導語ありが A での音高の変化の平均を、指導語なしが B での音の変化の平均を示す。条件 1 と比較して、条件 2 の方が顕著な差を示した。この差は t 検定により、条件 2 で 1% 水準、条件 1 でも 3% 水準で有意であった。「手紙」においても、条件 1, 2 共に 1% 水準で有意であった。このような改善は、音量のオーバーシュートの出現回数の変化でも確認された。

7. おわりに

本稿では、個人で合唱練習ができる合唱学習支援環境の実現を目指し、音高と音量の評価に関する指導者知識の抽出と、それらを組み込んだ学習支援システム、システムによる学習の有効性に関して述べた。提案システムでは、コンピュータによる音声合成機能を用いることで擬似的にパート練習や全体練習の再現を可能とし、即時指導と事後指導とによる効果的かつ効率的で、個々の学習者に適応的な合唱練習環境を実現した。

今後の課題として、音価やリズムなどの評価観点に関する指導者知識の抽出、さらなる指導語の収集、学習者へ提示する指導情報の精査等を検討する。

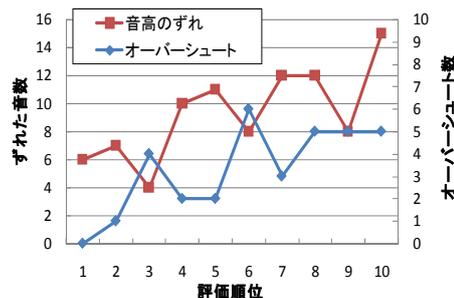


図 7 妥当性評価の結果

表 1 改善された被験者数
(a) 「夜の歌」(4 名中) (b) 「手紙」(3 名中)

グループ	音高		音量	
	条件 1	条件 2	条件 1	条件 2
A	4	2	1	1
B	2	3	1	0
C	1	1	2	0

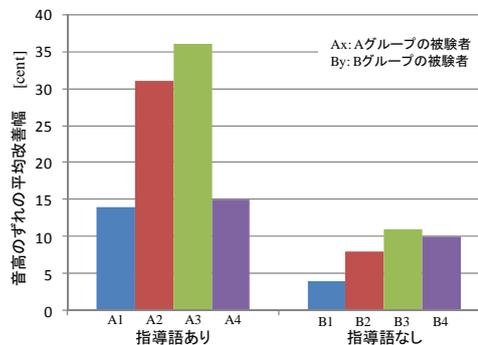


図 8 指導語の有無による音高の改善幅

参考文献

[古川 2007]古川康一:スキルサイエンスの展望, 人工知能学会第 21 回全国大会予稿集, 1H3-7 (2007).

[稲見 2004]稲見望他:筆記具の動きを学ぶ体感型書き方学習システム, 電子情報通信学会論文誌 D-1, Vol.J87-D-I, No.12, pp.1128-1135 (2004).

[凍田 1997]凍田和美他:対話型 3 次元仮想陶芸作業環境の設計と実現, 大分県立芸術短期大学研究紀要, Vol.35, (1997).

[曾我 2008]曾我真人他:デッサン描画中に描画領域に依存したアドバイスを提示するデッサン学習支援環境, 人工知能学会論文誌, 23 卷, 3 号, pp.96-104 (2008).

[永井 2008]永井孝他:“遠隔ドローイング学習支援の可能性とドローイングプロセスの再利用に関する検討”, 教育システム情報学会研究報告, vol.23, no.4, pp.54-61 (2008).

[河上 2008]河上聖人他:シェイカーによるサンバ演奏技能の習得支援システムの開発, 人工知能学会第 22 回全国大会予稿集, 1B2-1(2008).

[竹内 1992]竹内秀男:合唱指導の実際と運営, 音楽之友社 (1992).

[村谷 1980]村谷達也他:コーラスハンドブック, 西田書店 (1980).

[中西 2008]中西将他:初学者のための合唱学習支援システムにおける教師知識の基礎的検討, 情報処理学会研究報告情報研報, Vol.2008, No.12, pp.19-24 (2008).

[岡部 2008]岡部真実他:合唱指導者の歌声に対する指導方略に関する基礎的研究, 教育システム情報学会第 33 回全国大会講演論文集, pp.266-267 (2008).