

フレーズ間類似度に基づく楽曲構造提示機能をもつ 暗譜支援システムの設計と実装

伊藤 悠真^{†1} 竹川 佳成^{†2}
寺田 努^{†1,†3} 塚本 昌彦^{†1}

コンサートやライブなどでは楽曲を暗譜して演奏することが一般的であるため、暗譜は楽器演奏者にとって重要である。しかし、暗譜するためには楽曲を何度も演奏したり聴いたりする必要があり多大な労力を要する。そこで本研究では、楽曲のフレーズ間の類似度に着目した暗譜支援システムを構築することを目的とする。提案システムは、任意の楽曲に対してフレーズの類似度を算出し、それに基づいて楽曲構造や類似しているフレーズ間の相違点などを提示する機能をもつ。これにより、学習者は直観的に楽譜の構造を理解できると同時に、共通点や相違点を意識することで暗譜に必要な情報量を削減できる。提案システムが生成した楽譜と既存の楽譜を比較した評価実験により、提案手法の有効性を検証した。

Design and Implementation on a System for Learning Songs by Presenting Musical Structures based on Phrase Similarity

YUMA ITO,^{†1} YOSHINARI TAKEGAWA,^{†2}
TSUTOMU TERADA^{†1,†3} and MASAHIKO TSUKAMOTO^{†1}

Players on musical instruments usually memorize musical scores for concerts and live performances. However, for memorizing songs, it efforts on players so much by playing and listening the song over again. Therefore, the goal of our study is to construct a system for memorizing musical scores based on phrase similarity. The proposed system calculates phrase similarity in the target song, and presents the musical structures and the difference points in similar phrases based on the phrase similarity. The user can understand the musical structure immediately, and memorizing the musical score in the short time because of the reducing duplicated information of the song between the similar phrases. We confirmed that our method had advantages compared with conventional musical scores from the result of evaluation.

1. はじめに

コンサートやライブなどでは楽曲を暗譜して演奏することが一般的である。また、街角や路上での演奏では照明が暗かったり設置スペースの問題から楽譜を見られない場合や訓練時間が十分確保できない場合もあり、暗譜は楽器演奏者にとって重要である。しかし、暗譜するためには楽曲を何度も演奏したり聴いたりする必要があり多大な時間や労力を要する。また、正確に暗譜することは難しく、本番の演奏では緊張などから同じ箇所を複数回演奏したり、一部の箇所を忘れてしまう場合も少なくない。

一方、楽曲は A メロディや B メロディといった音楽構造をもち、さらに A メロディの中にも細かな音楽構造が存在する。また、これらの音楽構造は A メロディや A' メロディといったように類似した旋律で構成されている場合が多く、フレーズ（音楽的なまとまりのある連続する音符群）単位でみた場合、「1音だけ音高が異なる」「左手の伴奏のリズムだけ異なる」「移調している」といったように同じ楽曲中にも多くの類似したフレーズが存在する。また、共通点を見つけることで情報量の削減を図れると同時に、相違点を意識することで正確にフレーズを記憶できると考えられる。

そこで本研究では、楽曲のフレーズ間の類似度に着目した暗譜支援システムの構築を目的とする。提案システムは、任意の楽曲に対してフレーズの類似度を算出する機能をもつ。また、楽譜上に楽曲構造を視覚的に提示し、類似したフレーズや類似フレーズ中の相違点にアノテーションを付与する。これにより、学習者は直観的に楽譜の構造を理解できると同時に、共通点や相違点を意識することで暗譜に必要な情報量を削減できる。さらに、システムは大局的な楽曲構造から局所的な構造まで多段の楽曲構造を保持しており、各楽曲構造において必要な情報のみを提示することで過度な情報の提供を防ぐ。

以下、2章では関連研究について述べ、3章で提案システムの設計について説明する。4章でシステムの実装と、提案システムの評価と考察について述べ、最後に5章で本論文のまとめを行う。

†1 神戸大学大学院工学研究科

Graduate School of Engineering, Kobe University

†2 神戸大学自然科学系先端融合研究環

Organization of Advanced Science and Technology, Kobe University

†3 科学技術振興機構さきがけ

PRESTO, Japan Science and Technology Agency

2. 関連研究

2.1 楽曲構造の提示

本研究のように楽曲構造の提示に着目した試みはいくつかあり、例えば、ジャンルなど楽曲の特性を視覚化する研究^{1)~3)}や、音響信号から楽曲構造を抽出し提示する研究^{4),5)}がある。これらの研究は、音楽を視聴するユーザを対象としている。一方、本研究と同じ演奏家や指揮者を対象としている Scorelluminator⁶⁾は、オーケストラスコア（楽曲のすべてのパートを記した楽譜）をメロディや伴奏など役割ごとに色分けすることで指揮者や演奏者の読譜力を支援している。文献⁷⁾ではパート間のリズムの特徴量から、コンデンススコア（全てのパートを記したフルスコアを2段から数段にまとめたスコア）を生成している。これらの研究はスコアの可読性の向上を目的としているため、個々の音符を覚える行為である暗譜を目的とする本研究とは異なる。

2.2 暗譜支援

効果的な暗譜法に関して科学的に検証している研究は少なく、プロフェッショナルな演奏家の経験則をもとにした暗譜法がほとんどである。例えば文献⁸⁾では、プロフェッショナルな演奏家達が実践している暗譜学習法を累積し考察している。これによると暗譜は、

- (1) 指や手の運動感覚的記憶によって曲を覚える。
- (2) 音の聴覚的記憶によって覚える。
- (3) 楽譜・鍵盤・手の動きなどの視覚的記憶によって覚える。
- (4) 楽曲分析を行う。
- (5) イメージトレーニングを行う。

という5つの学習法に大別され、中でも、(4)の楽曲分析を実践している演奏家は最も多く、(1)や(2)の学習法で覚えられるのは数ページ以下の単純な形式の楽曲のみに限られ、複雑な曲や長い曲を確実に暗譜するためには、(1)や(2)の学習法と(4)を併用することではじめて、確実に暗譜ができると述べられている。そして、(1)の学習法のみにした暗譜による演奏の危険性について、弾いている間にいつの間にか覚えた運動感覚的記憶は、意識して覚えた記憶ではないため、日頃のリラックスして弾いている時には問題なく思い出せるが、本番になって緊張したり他のことを意識したりすると突然思い出せなくなることがあると述べられ、(4)の楽曲分析を行うことの重要性が指摘されている。本研究では、楽曲分析として楽曲の構造や、フレーズ間の類似度を表示することで(3)や(2)に基づいた暗譜を支援するものである。



図1 フレーズの階層構造

文献⁹⁾では人が音楽を記憶するときのプロセスを認知心理学的見地と情報理論の見地から調査している。特に音楽の長期記憶には図1に示すようにフレーズの音楽構造を意識することが重要である。また、長期記憶は類似したフレーズがある場合、相違点を意識することなく曖昧に記憶されてしまうと述べている。本研究では、楽譜上に類似しているフレーズ間の相違点を提示することで、曖昧に記憶してしまうことを防ぎ、正確に暗譜できるような支援を行う。

3. 設 計

2章で述べたように暗譜するには楽曲の構造理解が重要な要素であると同時に、人は類似したフレーズを聴いた場合、曖昧に記憶してしまうという特性があるため、類似しているフレーズの相違点を強調する仕組みが求められる。また、階層にはAメロディやBメロディといった大局的な構造もあれば、図1の赤囲みで示すように局所的な階層も存在する。大局的な階層は、階層に属するフレーズの数が少ないため階層そのものを容易に記憶できるが、フレーズ間の相違点が多くなり記憶に残りにくい。一方、局所的な階層は、フレーズ間の相違点は少なくなるが階層そのものが複雑になってしまう。最適な階層構造のレベルは学習者の理解度により異なるため、柔軟に提示する階層を変更できる仕組みが求められる。

そこで、本研究で提案するシステムでは図2に示すような情報提示を行うことで上記の要求を満たした学習環境を提供する。提案システムは各音符の音高、発音時間、指の配置といった楽譜データをもとにフレーズ間の類似度を算出し、暗譜支援に有用なアノテーションが付与された楽譜を表示する。

3.1 フレーズ間類似度

本研究ではフレーズ単位で類似度を計算する。フレーズおよびフレーズの階層構造の生成にはLerdahlらが提案しているGTTM¹⁰⁾をもとに浜中らが提案したフレーズおよび階層構造のためのグルーピング手法¹¹⁾を用いる。また、本研究では類似度を使用する楽器に依存する類似度（演奏的類似度）と楽器に依存しない類似度（音楽的類似度）の2つに分類し

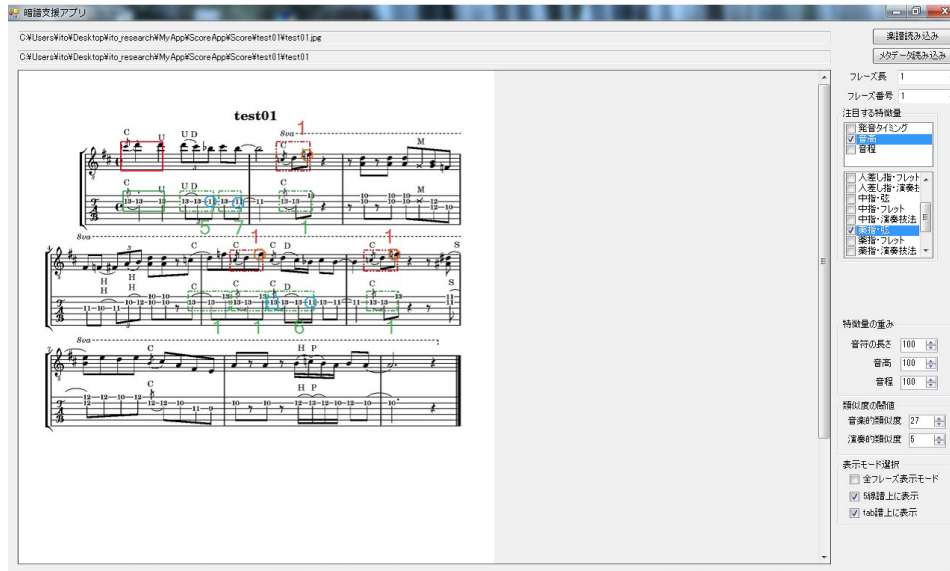


図 2 提案システムの提示例



図 3 タイミングの類似例

て定義する.

音楽的類似度

各フレーズから抽出される音高やリズムなどの特徴量をもとにフレーズ間の音楽的類似度を算出する. 以下にその特徴量を列挙する.

- タイミング: フレーズの最初の音を基準とし, 各音符の発音タイミングを特徴量とする. 例えば図 3 に示すように, 個々の音符の長さは異なるが, 発音タイミングが同じ音符 (図 3 の赤色音符) があり, タイミングの類似度が高くなる.
- 音高: 各音符の絶対的な音の高さを音高の特徴量として定義する. 図 4 に示すように,



図 4 音高の類似例

図 5 音程の類似例

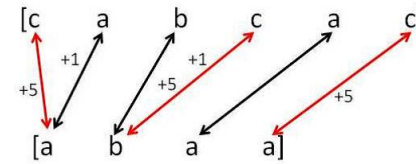


図 6 DP マッチングのコスト計算

フレーズ (a) とフレーズ (b) はタイミングでは類似度が低くなるが, 音高の類似度は高くなる.

- 音程: フレーズの最初の音を基準とし直前の音符との音高の差を音程の特徴量として定義する. 図 5 の場合, 2 つのフレーズは音高は類似していないが音程は類似関係にある.

本研究ではフレーズによっては音符の個数など長さが異なるパターン間のマッチングが必要となるため, 類似度算出には DP(Dynamic Programming) マッチング¹²⁾ を用いる.

楽曲中のフレーズの個数を N 個とした場合, i 番目と j 番目のフレーズ間の音楽的非類似度 $d_m(i, j)$ を式 (1) で定義する.

$$d_m(i, j) = w_t d_t(i, j) + w_n d_n(i, j) + w_p d_p(i, j) \quad (1)$$

$$(i = 1, \dots, N)(j = 1, \dots, N)$$

ここで, $d_t(i, j)$, $d_n(i, j)$, $d_p(i, j)$ はそれぞれタイミング, 音高, 音程の非類似度であり, DP マッチングの結果として算出される. w_t , w_n , w_p はそれぞれの特徴量の重み係数である. DP マッチングのコストの計算方法は, 2 つの系列を比較し, 対応する要素同士が一致しているならコストを加算せず, 対応する要素同士が異なるなら 5, 対応する要素が 1 つずれるなら 1 をコストとして加算することとした. 例えば図 6 に示すような 2 つの系列があった場合, 黒矢印で結ばれている要素同士は一致しておりコストは加算されず, 赤矢印で結ばれている要素同士は異なるためコストが 5 ずつ加算される. さらに, 1 つの要素から 2 つ以

上の要素と結ばれているものは要素の対応が1つずれていることを表すのでコストを1ずつ加算し、この例では非類似度は17となる。

$d_m(i, j)$ が閾値以下になったものを音楽的に類似しているフレーズとする。

演奏的類似度

楽器固有の特性を扱う演奏的類似度の事例としてギター演奏における指の配置がある。具体的には、図7に示すような2つのフレーズ(上段は5線譜、下段はtab譜)がある場合、3拍目、4拍目の音はそれぞれ異なっているが、フレーズ(b)の3拍目、4拍目の指の配置はフレーズ(a)の3拍目、4拍目の指の配置を弦やフレットに沿ってスライドしただけであるため、演奏的類似度は高くなる。その他に、ピアノ演奏における指使いなども同様に演奏的類似度が適用される。

演奏的類似度の算出も音楽的類似度の場合と同じくDPマッチングを用いる。 i 番目と j 番目のフレーズ間の演奏的非類似度 $d_p(i, j)$ は各指の弦、フレット、演奏技法ごとにDPマッチングを適用した結果の総和で算出される。 $d_p(i, j)$ が閾値を下回ったものを演奏的に類似しているフレーズとする。

3.2 暗譜方法

本研究で提案する暗譜方法について図8を用いて説明する。提案システムは、図8(a)に示す「全フレーズ表示モード」と図8(b)に示す「類似フレーズ表示モード」の2つのモードをもつ。楽曲の構造を理解したり、類似フレーズ表示モードで基準となるフレーズを選択するときには「全フレーズ表示モード」を使用し、選択したフレーズと他のフレーズとの類似度や相違点を見るときには「類似フレーズ表示モード」を使用する。

全フレーズ表示モード

図8(a)に全フレーズ表示モードの提示例を示す。楽曲には図1に示すようなフレーズの階層がいくつかあり、提案システムではこの階層を学習者が自由に切り換えられるようになっている。このモードでは学習者が選択した階層に存在する全てのフレーズを矩形で囲んで提示している。学習者は、現在の階層のフレーズを認識したり、類似フレーズ表示モードにおけるフレーズの利用に利用する。

類似フレーズ表示モード

類似フレーズ表示モードでは、学習者が全フレーズモードで選択したフレーズおよびそのフレーズと類似しているフレーズ(以下、類似フレーズ)を表示する。図8(b)に示すように2種類の表示を提案しており、図8(b)左は既存の楽譜の上に表示をしたもの、図8(b)右は類似したフレーズをまとめて表示したものである。なお、図8(b)の最も右側はtab譜で

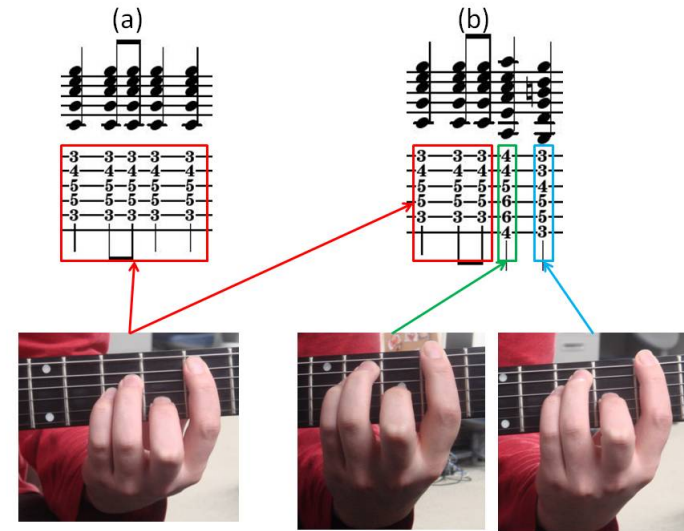


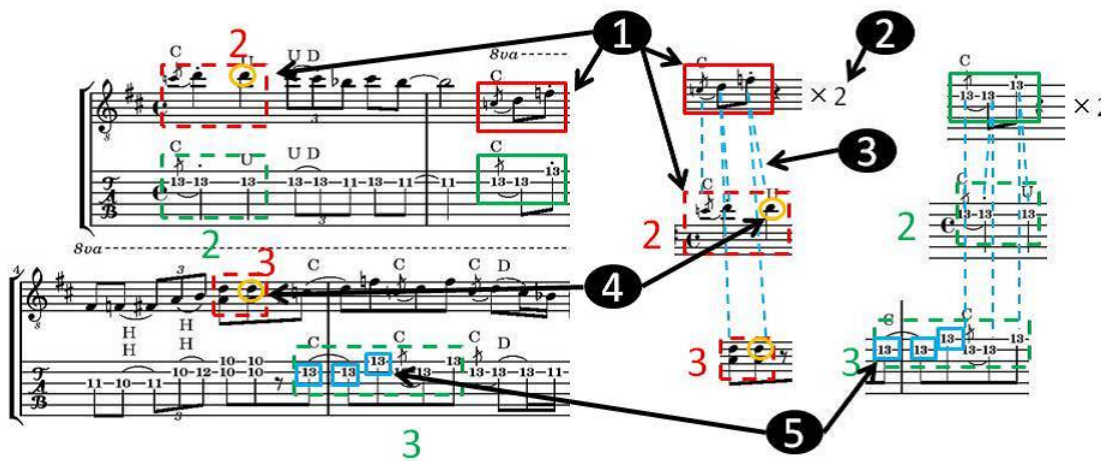
図7 各コードにおける指の配置

ある。以下、図8(b)の提示例について詳細に説明するが、簡条書きの番号は図8(b)中の黒丸の番号と対応している。

- (1) 実線の矩形で囲まれているフレーズは現在基準としているフレーズ(以下、基準フレーズ)を示し、類似フレーズは破線の矩形で囲まれている。また、矩形近隣の矩形と同色で表された数字は類似度の高さをランキングで表したものである。図8(b)右では基準フレーズを最上段に、以下類似度が高い順に類似フレーズを並べて表示する。これにより、学習者は容易に類似フレーズを理解できると同時に、該当フレーズの位置も把握できる。
- (2) 同一フレーズが複数ある場合、その個数を「 $\times 2$ 」のように表示することにより同一フレーズが何回繰り返されているかを確認できる。(1)および(2)により散在する類似フレーズが整理されるため、訓練中に同一フレーズに差し掛かった際に再度フレーズを覚えなおすことをしなくて済み記憶に要する情報量を削減できる。
- (3) 類似フレーズが存在する場合、音楽的類似度においてはリズムや発音タイミングが基準フレーズと一致している音符同士を、演奏的類似度においては指の配置が基準フ



(a) 全フレーズ表示モードの提示例



(b) 類似フレーズ表示モードの提示例

図 8 提案システムの提示例

フレーズと一致している音符同士を点線で結ぶ．これによりリズムや発音タイミング、または指の配置について類似性を確認できる．

- (4) 類似フレーズ内で基準フレーズと異なった音高、リズム、指の配置をもつ部分が存在する場合、図 8(b) に示すようにその音符を丸で囲む．囲む色は特徴量ごとに色分けし、どの特徴量を表示させるかは学習者が選択できる．これにより各特徴量における相違点を確認できる．
- (5) 類似フレーズ内で基準フレーズの音符と対応づけがなされていない音符がある場合、図 8(b) に示すように、該当する音符を正方形で囲む．(4) と同様に特徴量ごとに色分けでき、学習者が表示する特徴量を選択できる．これにより各相違点を理解し、誤った状態で記憶してしまうことを防ぐ．

4. 実装と評価

3章で述べた暗譜支援システムのプロトタイプを実装した．プロトタイプシステムでは、楽譜の画像ファイルと XML 形式の音高、リズム、指の配置といった楽譜データをもとにフ

レーズ間の類似度を算出し、3章で述べた情報を提示する．また、フレーズ構造の決定には現在 GTTM の完全な実装が存在しないので、GTTM の理論をもとに手でフレーズ構造を決定した．なお、PC 上のソフトウェア開発は Windows 7 上で Microsoft Visual C# 2008 を使用した．

実装したプロトタイプシステムの有効性を検証するために、既存の楽譜を比較対象とした評価実験を行った．

実験方法

被験者には従来手法として既存の楽譜を用いた場合と提案手法としてプロトタイプシステムが生成した楽譜を用いた場合とで楽曲を暗譜できるまで練習してもらい、暗譜できるまでに要した時間を計測した．本実験では、課題曲を 4 曲用意しており、2 曲を提案手法で、残りの 2 曲を従来手法で暗譜してもらった．また、被験者にはエレキギターと楽曲の音源を渡し、これらは自由に使ってよいと指示した．さらに、提案手法で訓練する前に、課題曲とは別の試験曲を使ってプロトタイプシステムのしきい値の操作方法などの使用方法や学習方法を理解してもらった．提案手法および従来手法ともに、自由に訓練してもらってよいと指

表 1 暗譜時間

	曲 A	曲 B	曲 C	曲 D	能力値
被験者 1	11	21	19	16	1.00
被験者 2	16	20	20	25	1.03
被験者 3	25	19	26	22	1.61
被験者 4	25	35	27	40	2.91

示した。加えて、提案手法の曲と従来手法の曲をそれぞれ訓練する順番はランダムであり偏りが出ないようにした。暗譜ができたかどうかは被験者の自己申告で、実際に暗譜できているかどうか確認するために、楽譜を見ない状態で課題曲をギターで演奏したり歌ってもらったりした。また、本研究では演奏支援を目的にしているのではなく、暗譜支援を目的としているので、途中で間違えてもすぐに修正できたり、手が追いつかずに演奏できなかったりしても口ずさめるなら暗譜できていると判断する。

課題曲

使用した楽曲は 4 曲で、「Crazy Little Thing Called Love」(Freddie Mercury 作曲)、「Headlong」(Queen 作曲)、「Hammer to Fall」(Brian May 作曲)、「I Want It All」(Queen 作曲)である。4 曲ともロックの楽曲で、それぞれ類似したフレーズや、階層の数と同程度になるような箇所を 6 から 9 小節程度抜粋し課題曲とした。また、なお、これらの曲は、以降、それぞれ「曲 A」、「曲 B」、「曲 C」、「曲 D」と呼ぶ。

被験者

被験者は楽譜を読めて、エレキギターを演奏できる電気電子工学を専攻する大学院生および大学生の 4 名である。また、被験者はいずれの課題曲も特別に練習したり聞いた経験はない。

結果と考察

実験結果を表 1 に示す。表において灰色のセルは提案手法を用いた場合の暗譜するのに要した時間（以下、暗譜時間と呼ぶ）、白色のセルは従来手法を用いた場合の暗譜時間を分単位で示している。

被験者ごとに読譜力や技能など音楽的な能力が異なる。また、楽曲間でも難易度が異なるため、単純に実験で得られた暗譜時間では比較できない。そこで、従来手法で同一楽曲を訓練したときにかかった時間をもとに暗譜時間を補正する。具体的には、各被験者の能力を

$$a_n (n = 1, 2, 3, 4 \text{ 数字は被験者の ID 番号と対応})$$

とおき、従来手法を用いて暗譜した場合の暗譜時間を用いて a_n を決定する。例えば、被験

表 2 暗譜時間比

	曲 A	曲 B	曲 C	曲 D	平均	標準偏差	p 値
被験者 1	0.71 0.80	1.78 1.74			1.26	0.5	0.22
被験者 2		1.64 1.62	1.02 2.09		1.59	0.38	0.04
被験者 3			0.85 1.74	0.86 0.56	1.00	0.44	0.50
被験者 4	0.55 0.63			0.86 0.57	0.65	0.57	0.01
平均	0.67	1.69	1.43	0.71			
標準偏差	0.09	0.07	0.51	0.15			
p 値	0.004	0.0002	0.12	0.02			

者 1 が従来手法を用いて暗譜しているのは曲 C と曲 D であるため、従来手法を用いて曲 C あるいは曲 D を訓練した被験者 2、被験者 4 と演奏能力を比較でき以下ようになる。

$$a_1 = \frac{16}{25} a_2 = \frac{19}{27} a_4$$

これを全ての被験者について式を立て、さらに、 a_n が一意に定まらない場合は複数解の平均を a_n の能力値とし、最終的に得られた各被験者の能力値を表 1 の最右端に示す。

次に、提案手法を用いた場合を、もし提案手法を用いず暗譜したとしたときの暗譜時間（以下、本来の暗譜時間と呼ぶ）を算出し、その値と提案手法を用いた場合の暗譜時間との比（以下、暗譜時間比と呼ぶ）を求める。まず、本来の暗譜時間と、同じ曲を従来手法を用いた場合の暗譜時間の比が能力値の比になるとして、本来の暗譜時間を求める。例えば、課題曲 A について被験者 1 と被験者 2 で比べる場合、本来の暗譜時間 x は、

$$\frac{x}{16} = \frac{1.00}{1.03}$$

より $x = 15.6$ となり、被験者 1 は提案手法を利用することで、この本来の暗譜時間が 11 分に短縮されたと判断できるので暗譜時間比は、

$$\frac{11}{15.6} = 0.71$$

となり、約 30 % 時間が短縮されたとみなせる。同様に全ての被験者の組合せについて暗譜時間比を計算し、その結果を表 2 に示す。表 2 において各行は提案手法を用いて暗譜した被験者を表し、右 3 列に被験者ごとの短縮率の平均、標準偏差、統計的に有意性を示す t 検定を適用した結果の p 値を示す。また、各列は課題曲を表し、下 3 行に課題曲ごとの短縮率、標準偏差、p 値を示す。なお、t 検定を適用する場合、比較対象となる母集団は従来手法であり、暗譜時間比は従来手法が 1.00 の場合を基準としているため、対になるデータは

全て 1.00 として計算した。

表 2 より、曲ごとに見てみると、曲 A については短縮率が 33 % であり、p 値も 0.004 であるので有意性がある。さらに、この曲を提案手法を用いて暗譜した場合の短縮率はすべて上がっており、提案手法が有効に機能した曲といえる。これは、曲 A が音楽的類似度と演奏的類似度の両方において約半数のフレーズがある 1 つのフレーズの類似フレーズになっていたためと考えられる。曲 D についても時間は短縮され、かつ有意性もある。この楽曲も音楽的類似度と演奏的類似度の両方において類似フレーズを多くもつが、曲 A に比べてリズムが複雑なものが多く、その理解に時間がかかってしまったことが曲 A より短縮率が低くなった原因と考えられる。一方、曲 B および曲 C では短縮率が下がっており、曲 B については p 値も有意性が認められる値である。これらの曲には一部ではあるが複雑なリズムの箇所があり、その箇所の理解に時間を取られてしまい短縮率が下がってしまった。

被験者別で見ると、被験者 4 は提案手法を用いて暗譜した曲すべてにおいて短縮率が上がっており、p 値より有意性が認められる。実験中の観測から気づいたことであるが、被験者 4 は提案手法の類似フレーズ情報を活用して、練習する箇所をうまく選択しながら暗譜していた。逆に、被験者 2 の短縮率は 2 曲とも下がっており、p 値より有意性が認められることから、被験者 2 は提案手法を用いての暗譜がうまくできていなかったと考えられる。その理由としてはプロトタイプシステムの機能が多くて理解が難しく、暗譜するのに有益な情報を得られなかったためと考えられる。被験者 1 は曲 A では短縮率が上がっており、曲 B では短縮率が下がっているが、これは被験者 1 は先に述べた曲 A および曲 B の特性によりこのような結果になったと考えられる。被験者 3 は提案手法を用いて暗譜した課題曲両方において短縮率の上下に一貫性がみられないが、平均として短縮率は下がっている。これは、被験者 3 も被験者 2 と同様にプロトタイプシステムの機能を理解するのが困難で、暗譜するのに有益な情報を得られず、結果が悪くなったと考えられる。

以上より、長期的な実験や直観的なインターフェースの提案、機能の絞り込みを行う必要があると考えられる。

5. おわりに

本研究ではフレーズ間類似度に基づく楽曲構造提示機能をもつ暗譜支援システムの設計と実装を行った。提案システムは楽曲の構造や、類似したフレーズおよびその相違点を提示することで学習者が直観的に暗譜学習を進められるように支援している。提案システムの有用性を評価するために、既存の楽譜を比較対象とした評価実験を行い、被験者の音楽的能

力、楽曲の特性、被験者と提案手法との相性に依存するものの、提案手法をうまく活用できれば暗譜時間を短縮できる結果が得られた。

今後の課題としては、これまでに述べた以外に、さまざまなレベルの被験者を対象とした評価実験を行い、被験者の音楽的能力による提案手法の効果を検証する。さらに、長期記憶との結びつきを確認するために日もしくは週単位などの長期的な評価実験を行う予定である。加えてギター以外の楽器へ応用する際の演奏的類似度の特徴量の検討やその際の提示方法の検討などを行う予定である。

謝 辞

本研究の一部は、科学技術振興機構戦略的創造研究推進事業(さきがけ)、文部科学省科学研究費補助金基盤研究(A)(20240009) および文部科学省科学研究費補助金若手(B)(21700198)によるものである。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) E. Pampalk, S. Dixon, and G. Widmer: Exploring Music Collections by Browsing Different Views, *Computer Music Journal*, Vol.28, No.2, pp.49-62 (2004).
- 2) M. Torrens, P. Hertzog, and J. Lluís Arcos: Visualizing and Exploring Personal Music Libraries, *Proc. of the 5th International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR2004)*, pp.421-424 (2004).
- 3) P. Lamere, and D. Eck: Using 3D Visualization to Explore and Discover Music, *Proc. of the 8th International Conference on Music Information Retrieval (ISMIR2007)*, pp.167-170 (2004).
- 4) 後藤真孝: SmartMusic: サビ出し機能付き音楽視聴機, *情報処理学会論文誌*, Vol.44, No.11, pp.2737-2747 (2003).
- 5) 北原鉄朗, 後藤真孝, 奥乃 博, 片寄晴弘: 楽器音認識技術を用いた音楽の可視化, *エンタテインメントコンピューティング 2007*, pp.145-148 (2007).
- 6) 松原正樹, 岡本紘幸, 佐野智久, 鈴木宏哉, 延澤志保, 斎藤博昭: ScoreIlluminator: スコア色付けによるオーケストラスコアリーディング支援システム, *情報処理学会論文誌*, Vol.50, No.12, pp.2937-2948 (2009).
- 7) 遠山紀子, 松原正樹, 斎藤博昭: リズム特性を用いたコンデンススコア自動生成手法の提案, *情報処理学会音楽情報科学研究会研究報告 2007-MUS-69-10*, Vol.2007, No.15, pp.41-44 (2007).
- 8) 菅家陽子: 効果的暗譜学習法を探る試み, *財団法人ヤマハ音楽振興会ヤマハ音楽研究所研究報告*, No.0306 (2003).
- 9) R. Snyder: *Music and Memory*, The MIT Press (2001). (須藤真明, 杵鞭広美訳)

音楽と記憶-認知心理学と情報理論からのアプローチ, 音楽之友社 (2003) .

- 10) F. Lerdahl, and R. Jackendoff: *A Generative Theory of Tonal Music*, The MIT Press, Cambridge (1983).
- 11) 浜中雅俊, 平田圭二, 東条 敏: 音楽理論 GTTM に基づくグルーピング構造獲得システム, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.1, pp.284-299 (2008).
- 12) 迫江博昭, 千葉成美: 動的計画法を利用した音声の時間正規化に基づく連続音声認識, 日本音響学会誌, Vol.27, No.9, pp.483-490 (1971).