

ピアノロール画像の比較による旋律類似性評価手法の検討 -若干の音高の違いを許容する旋律概形の比較評価-

柴崎正浩[†] 鈴木泰山[‡] 米村俊一[†]

事例に基づく演奏表情生成システムの Kagurame Phase-III はピアノロール画像の比較による音列の類似性を事例選択の指標としている。しかし、これまでのピアノロール画像の類似性評価手法では、音列全体の音高の違いは評価できるが、音符一つ一つの音高の違いは評価できていない。そのため、音列は類似していても、音符一つ一つの音高が若干異なるだけで類似度が下がってしまう問題がある。そこで本稿では、若干の音高の違いを許容するピアノロール画像とその類似性評価手法を提案し、効果の検証を行った。その結果、概ね提案手法の方が従来手法より類似した楽曲を探し出すことができるということが明らかとなった。

A Study of Phrase Similarity Evaluation by Comparing Piano-roll Images

-Comparison of Note Sequence tolerating Some Pitch Differences-

MASAHIRO SHIBASAKI[†] TAIZAN SUZUKI[‡] SHUNICHI YONEMURA[†]

Kagurame Phase-III is one of the Case-based expressive performances rendering system. This system chooses an example data by note sequence similarity using piano-roll image. However, conventional similarity evaluation of piano-roll image can evaluate a pitch difference of note sequence, but cannot evaluate a pitch difference of each note. Therefore, the evaluation has problem that a similarity rate goes down only by some pitch difference of each note even if note sequence is similar. In this paper, we report proposal and consideration of the evaluation tolerating some pitch difference of each note using piano-roll image. The result roughly shows that the proposal method finds out similarity score more than the conventional method.

1. はじめに

現在の音楽情報科学の主要なテーマのひとつに、コンピュータによる情緒や抑揚のある人間らしい表情の付いた演奏の自動生成がある[1][2]。コンピュータによって表情付けられた演奏をコンテスト形式で評価する試みである Rencon が 2002 年から定期的に開催されるようになり、今までに演奏表情生成システムが数多く発表されている [3][4]。

その中で我々は、事例に基づく推論手法を用いた演奏表情生成システム Kagurame Phase-III の構築を進めている [5]。事例に基づく演奏表情生成では人間の演奏を事例として、その演奏における演奏表情を表情付けの対象曲に転写することで生成する。本稿での演奏表情のパラメータは、局所テンポ、音の強弱、音の発音長、発音タイミングのずれの 4 種類としている。Kagurame Phase-III では「楽譜が似ていれば演奏表情も似ている」という仮定から、対象曲と楽譜が類似した楽曲の人間の演奏を事例として用いる [5][6][7]。楽曲の類似性評価は、楽譜情報から生成したピアノロール画像を比較することで行う。ピアノロール画像を用いることで、楽譜の特徴量を抽象化せずに比較でき、より多くの

特徴を反映した類似性評価が可能である。また、ピアノロール画像を比較する際は、画像を音高方向に上下動させ、最も音符の矩形が一致する場合で評価する。これは音高が異なっても音列の概形が類似していれば有効な事例であると考えられるためである [8]。

しかし、これまで用いていたピアノロール画像とその比較手法では音列の音高の違いは評価できるが、一つ一つの音符そのものの音高の違いは評価できない。そのため、音列は類似していても一つ一つの音符の音高が若干異なるだけ類似度が下がり、有効な事例を探し出せない問題が考えられる。そこで本稿では、若干の音符の音高の違いを許容するピアノロール画像とその比較手法の提案を行い、その効果の検証を報告する。

2. 事例に基づく演奏表情生成システム

本章では、我々が構築を進めている Kagurame Phase-III の概要と音列の類似性評価手法について述べる。

2.1 Kagurame Phase-III の概要

Kagurame Phase-III の構成を図 2.1 に示す。Kagurame Phase-III では演奏表情に関する知識として演奏事例 DB を用いる。DB の個々の演奏事例は演奏データと事例曲情報からなる。演奏データには人間による演奏を標準 MIDI 形式ファイル (SMF) で与える。事例曲情報は演奏データに対応する楽譜情報と、音楽的なまとまり (旋律断片) を示す境界情報からなる。楽譜情報は MusicXML で与え、境界

[†] 芝浦工業大学大学院
Graduate School of Shibaura Institute of Technology
[‡] 株式会社ピコラボ
Picolab Co., LTD

情報は独自フォーマットのXMLファイルで与える。システムに入力する対象曲情報は事例曲情報と同様の形式で与える。境界情報は個々の演奏事例と対象曲を旋律断片に分割する際に用いる。旋律断片への分割は対象曲や演奏事例を1/2, 1/4, 1/8...と様々な長さで分割し、分割した旋律断片ごとに演奏事例を検索する。

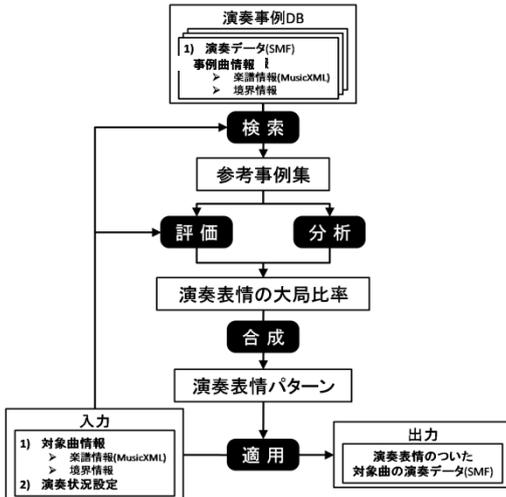


図 2.1 Kagurame Phase-III の構成

システムに対象曲が入力されると、まず、対象曲を構成する旋律断片（対象断片）ごとに演奏事例を構成する旋律断片（事例断片）との類似度を算出し、類似度が閾値以上となる事例断片を検索する。これにより、対象断片ごとに類似した事例断片の集合が得られる。この集合を参考事例集とする。次に、参考事例集に含まれる事例断片について重要度を評価する。重要度は対象曲の演奏表情を生成する際に各事例断片がどの程度参考になるかを表す。重要度は類似度と演奏状況の近さから算出する。ただし本稿では、演奏状況は未使用であるため重要度は類似度と同値となる。また、事例断片の重要度の評価と同時に、事例断片の演奏表情を分析する。演奏表情は各事例断片の演奏データから取り出すことができる。Kagurame Phase-III では、演奏表情をテンポや強弱などの絶対的な数値ではなく、それを変化量の比率に変換した相対的な数値で扱っている。この相対的な変化量を演奏表情の大局比率と呼ぶ。本稿での演奏表情のパラメータは、局所テンポ、音の強弱、音の発音長、発音タイミングのずれの4種類としている。それぞれの参考事例に対して、重要度の評価と演奏表情の分析を行うと、重要度でスコア付けされた演奏表情の大局比率の集合が得られる。この集合における個々の演奏表情の大局比率を重要度で加重平均して合成し、対象曲の演奏表情を生成する。最後に、生成した演奏表情を対象曲の楽譜情報に適用して、演奏表情の付いた対象曲の演奏データを作成する。

2.2 画像比較による音列の類似性評価

Kagurame Phase-III では音列の特徴量をより多く用いた類似性評価を実現するために、楽譜画像の比較による類似性評価を用いる。五線譜は演奏記号が多く煩雑であり、小

節ごとの幅や段の配置などが楽譜や楽曲によって大きく異なることからピアノロール画像を用いて比較する。図 2.2 にピアノロール画像と対応する五線譜を示す。ピアノロール画像の縦方向は音高、横方向は拍位置を表す。画像の高さは 88 ピクセル、幅は旋律断片の長さに応じた幅となる。音符を表す矩形の高さは 1 ピクセル、幅は 4 分音符を 32 ピクセルとしている。また、音符の拍位置に相当する画素を(R,G,B)=(255,255,255)、終端を(R,G,B)=(1,1,1)としたグラデーションをかけている。これは音符の拍位置の違いを評価するためである。音符が無い部分の画素は(R,G,B)=(0,0,0)としている。画像を比較評価する際、対象画像と幅が異なる事例画像は、対象画像と同じ幅に伸縮させてから評価する。また、音高が異なっても音列の概形が類似していれば有効な事例であると考え、画像を音高方向に上下動させ、最も音符の矩形が一致する場合で評価する[8]。



図 2.2 ピアノロール画像と対応する五線譜

ピアノロール画像の類似性評価は式(1)(2)を用いる。まず、画像相違度 D_{image} を式(1)より算出する。対象画像の各画素の明度を B_t 、事例画像の各画素の明度を B_e とし、 B_t と B_e の差分の絶対値を算出する。この値に音符の拍位置の類似性を重視するために B_t と B_e の高い方の値をとる $Max(B_t, B_e)$ により重み付けをする。これを全ての画素で行い加重平均をとる。式(2)の画像類似度 S_{image} は画像相違度 D_{image} を 0 から 1 に正規化した値である。 w は画像伸縮と上下動分の重みであり式(3)より算出する。 $Shorter$ は短い方の旋律断片の幅、 $Longer$ は長い方の旋律断片の幅を表し、 $Height$ は画像の高さ、 $Overlap$ は画像を上下動した際の対象画像と事例画像の重なっている部分の高さを表す。 $Overlap$ の最大値は $Height$ と等しい 88 ピクセルとなるが、画像の上下動は 1 オクターブ分までとしているため最小値は 76 ピクセルとなる。ピアノロール画像による音列の類似性評価のみで演奏を生成する場合は、画像類似度 S_{image} から事例断片を検索する。

$$\text{画像相違度} : D_{image} = \frac{\sum |B_t - B_e| \cdot \text{Max}(B_t, B_e)}{\sum \text{Max}(B_t, B_e)} \quad (1)$$

$$\text{画像類似度} : S_{image} = \left(1 - \frac{D_{image}}{255}\right)^w \quad (2)$$

$$\text{重み} : w = \frac{Longer}{Shorter} \cdot \frac{Height}{Overlap} \quad (3)$$

3. 若干の音高の違いを許容する類似性評価

本章では第 2 章で述べたピアノロール画像の問題点とその問題を解決するために提案した新しいピアノロール画像とその評価手法について述べる。

3.1 縦方向にグラデーションをかけたピアノロール画像

第2章で述べたように、本システムで用いているピアノロール画像では音符の高さを1ピクセルとして表現している。しかし、音列の概形は類似していても、一つ一つの音符が半音以上異なる（高さが1ピクセル以上異なる）音符同士を比較する場合には音符の矩形は一致しない。例えば、図3.1のような2つのピアノロール画像は拍位置ごとの音符の数や音価は同じであり、一つ一つの音符の音高が若干異なるのみで音高推移は類似していると言える。しかし、本システムで用いているピアノロール画像で比較した場合、ピアノロール画像をどのように上下動させても音符一つ分の矩形しか一致しない。これでは、音列の概形が類似している事例曲の類似度が高くない可能性があり、対象曲に不適切な事例の演奏表情を転写する考えられる。

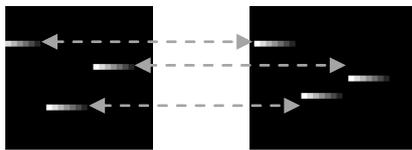


図 3.1 音符一つ分の矩形しか重ならない例

そこで、若干の音符の音高の違いを許容することで、対象曲に類似した音列の概形を含む事例曲を探し出すことができるピアノロール画像を提案する。図3.2に提案するピアノロール画像を示す。音符の矩形の縦方向（音高方向）にグラデーションをかけることで、一つ一つの音符の音高が異なっても音符の矩形が重なる可能性が高まり、音列の概形が類似した事例を探し出すことができると考えられる。グラデーションは4画素分かけており、グラデーションの終端の画素を(R,G,B)=(1,1,1)としている。

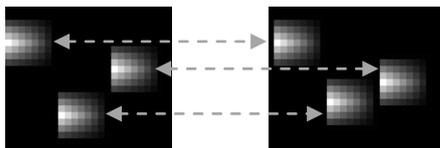


図 3.2 図 3.1 の例に縦方向のグラデーションをかけたピアノロール画像

グラデーションの範囲は、日野らの音高の違いを考慮した旋律概形の比較における音高方向のグラデーションを付加した画像の比較の実験結果[8]と大蔵氏が行った音楽要因に於ける鎮静感と活性感の実験結果[9]を参考に4画素分までとした。日野らはピアノロール画像の音符の矩形の縦方向に12画素分までグラデーションをかけると音列の概形を考慮しにくくなることを明らかにした。このことから縦方向のグラデーションは数画素程度までにする必要があると考えられる。また、大蔵氏は、ある音符の音を被験者に聴かせたあと、その音より高い音または低い音を聴かせ、どの程度活性的または鎮静的に感じたのかを-3~+3の7段階で評価する実験を行った。評価値は値が大きいほど活性的で小さいほど鎮静的である。その結果、二つ目の音を半音4つ分高くして聴かせた場合では、0に評価した被験者

が集中しており、半音5つ分高くして聴かせた場合では、+1に評価した被験者が集中した。一方で、二つ目の音を半音4つ分低くして聴かせた場合では、-1に評価した被験者が集中しており、半音5つ分低くして聴かせた場合では、-2に評価した被験者が集中した。このことから、人間は半音4つ分異なる音を聴いたときと5つ分異なる音を聴いたときでは、活性的または鎮静的に感じる度合いが異なると考えられる。以上から、本稿では4画素分までグラデーションをかけることとした。

3.2 従来のピアノロール画像と提案するピアノロール画像の比較実験

3.1節で述べた縦方向にグラデーションをかけたピアノロール画像（以下、提案するピアノロール画像）を用いた方が従来のピアノロール画像を用いるより類似した事例を探し出すことができるかを明らかにするための実験を行った。実験は後ほど示す楽曲の4分音符4つ分の長さの旋律断片を対象とし、事例曲を表3.1に示した19曲用意し、加えて筆者らが作成した対象に類似した事例を含ませる。次に、対象と全ての事例ごとに類似度を計算し類似度の高い事例順に順位付けを行う（今回は高速化のため対象の断片が2倍よりも長い又は1/2倍よりも短い事例断片は除いた）。そして、筆者らが作成した対象に類似した事例が従来のピアノロール画像と提案するピアノロール画像とで類似度の順位がどのように変化するのかを明らかにする。仮説は「提案するピアノロール画像を用いると作成した対象に類似した事例の類似度の順位が1位となる」である。

表 3.1 実験に用いた事例曲

| | |
|-------------------------|------------------------------|
| Burgmuller Ave Maria | Chopin Trauer marsch |
| Chopin Etude No.3 | Chopin Walz Op.64-2 |
| Chopin Etude No.4 | Chopin Walz Op.69-2 |
| Chopin Etude No.23 | Mozart Piano Sonata No.279-1 |
| Chopin Nocturne Op.32-1 | Mozart Piano Sonata No.310-3 |
| Chopin Nocturne Op.55-1 | Mozart Piano Sonata No.331-1 |
| Chopin Prelude Op.28-4 | Mozart Piano Sonata No.331-2 |
| Chopin Prelude Op.28-7 | Mozart Piano Sonata No.545-1 |
| Chopin Prelude Op.28-15 | Mozart Piano Sonata No.545-2 |
| Chopin Prelude Op.28-20 | |

対象は2種類用意し、ショパンのノクターン9番の1小節目（以下、ショパンの対象断片）とベートーベンのピアノソナタ8番2楽章の1~2小節目（以下、ベートーベンの対象断片）とした。対象の五線譜と従来のピアノロール画像および提案するピアノロール画像をそれぞれ図3.3と図3.4に示す。また、筆者らが作成した対象に類似した事例を図3.5と図3.6に示す。ショパンの対象断片と比べると拍位置ごとの音符の数や音価は同じであり、若干音高が異なるため音高推移は若干異なるが類似していると言えるだろう。また、ベートーベンの対象断片と比べると拍位置ご

との音符の数や音価，音高推移はほぼ同じであるため，こちらも類似していると言えるだろう。

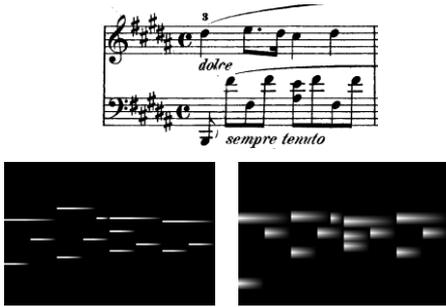


図 3.3 ショパンノクターン 9 番 1 小節目

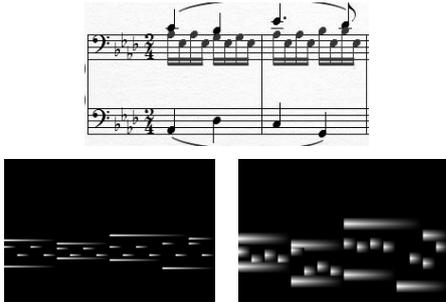


図 3.4 ベートーベンピアノソナタ 8 番 2 楽章 1~2 小節目

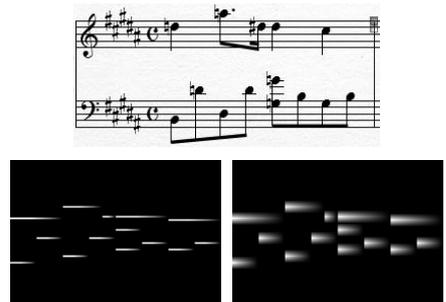


図 3.5 作成したショパンの対象断片に類似した事例

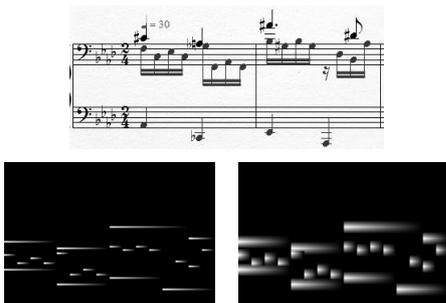


図 3.6 作成したベートーベンの対象断片に類似した事例
 次に実験結果について述べる。まず，従来のピアノロール画像を用いた場合のショパンの対象断片を対象とした実験結果を述べる。全部で事例は 1615 個であり，そのうち作成した対象に類似した事例の類似度の順位は 193 位であった。また，類似度第 1 位から第 3 位までに選ばれた事例を図 3.7 から図 3.9 に示す。第 1 位と第 2 位の事例は拍位置ごとの和音の数や音価はほぼ同じであるが，第 1 位の事例は音高推移や主旋律の音価などに違いがみられ，作成した対象に類似した事例よりも類似しているとは言い難い。第 3 位の事例は拍位置ごとの音符の数や音価，音高推移にお

いて対象より大きく異なっており，こちらも作成した対象に類似した事例よりも類似しているとは言い難い。

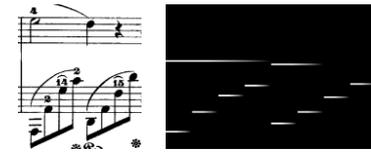


図 3.7 ショパンの対象断片における従来のピアノロール画像での類似度 1 位の事例



図 3.8 ショパンの対象断片における従来のピアノロール画像での類似度 2 位の事例



図 3.9 ショパンの対象断片における従来のピアノロール画像での類似度 3 位の事例

次に，ベートーベンを対象断片を対象とした実験結果を述べる。全部で事例は 1631 個であり，そのうち作成した対象に類似した事例の類似度の順位は 167 位であった。また，類似度第 1 位から第 3 位までに選ばれた事例を図 3.10 から図 3.12 に示す。いずれも拍位置ごとの音符の数や音価，音高推移において対象より大きく異なっており，作成した対象に類似した事例よりも類似しているとは言い難い。

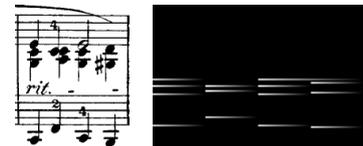


図 3.10 ベートーベンを対象断片における従来のピアノロール画像での類似度 1 位の事例



図 3.11 ベートーベンを対象断片における従来のピアノロール画像での類似度 2 位の事例



図 3.12 ベートーベンを対象断片における従来のピアノロール画像での類似度 3 位の事例

以上より，従来のピアノロール画像を用いた場合では類似した事例を探し出すことができないと考えられる。

次に提案するピアノロール画像を用いた場合の実験結果を述べる。初めに、ショパンの対象断片を対象とした実験結果を述べる。作成した対象に類似した事例の類似度の順位は14位となり、順位は高くなった。また、類似度第1位から第3位までに選ばれた事例を図3.13から図3.15に示す。第1位の事例は拍位置ごとの和音の数や音価、音高推移はほぼ同じである。しかし第2位の事例は伴奏が無く、第3位の事例は主旋律の音価が大きく異なり伴奏部分は同じ和音を繰り返す構成になっており、作成した対象に類似した事例よりも類似しているとは言い難い。



図 3.13 ショパンの対象断片における提案するピアノロール画像での類似度1位の事例



図 3.14 ショパンの対象断片における提案するピアノロール画像での類似度2位の事例

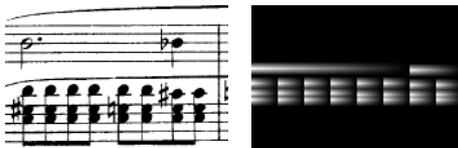


図 3.15 ショパンの対象断片における提案するピアノロール画像での類似度3位の事例

次に、ベートーベンの対象断片を対象とした実験結果を述べる。作成した対象に類似した事例の類似度の順位は34位となり、順位は高くなった。また、類似度第1位から第3位までに選ばれた事例を図3.16から図3.18に示す。第2位の事例は拍位置ごとの音符の数や音価、音高推移はほぼ同じであるが、第1位と第3位の事例は拍位置ごとの音符の数や音価、音高推移において大きく異なっており、作成した対象に類似した事例よりも類似しているとは言い難い。

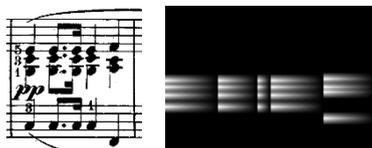


図 3.16 ベートーベンの対象断片における提案するピアノロール画像での類似度1位の事例



図 3.17 ベートーベンの対象断片における提案するピアノロール画像での類似度2位の事例

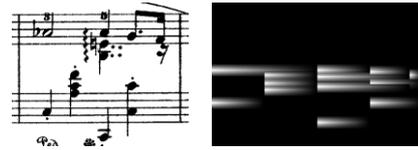


図 3.18 ベートーベンの対象断片における提案するピアノロール画像での類似度3位の事例

以上より、提案するピアノロール画像を用いたとしても類似した事例を探し出すことができないと考えられる。

3.3 類似度を下げる重みを付加した旋律類似性評価式

3.2節で述べた実験の結果から、従来のピアノロール画像を用いた場合より提案するピアノロール画像を用いた場合の方が作成した対象に類似した事例の順位は高くなった。しかし、第1位とはならず、代わりに上位に選ばれた事例は類似しているとは言い難いものであった。

この理由の一つとして、縦方向と横方向ともにグラデーションをかけているため、音符がある画素（明度が1以上の画素）と音符がない画素（明度が0の画素）との比較では、類似度が下がりにくくなっているためと考えられる。音符の矩形の右端、上端、下端は明度が0に近い画素であるため、音符のない画素と比較した場合、明度の差分が小さくなり類似度が高くなってしまふ。このため図3.14に示した伴奏に音符がない事例や、図3.15や図3.16に示した和音の音符の数が多い事例が上位に選ばれたと考えられる。

そこで、音符がある画素とない画素とを比較した際に類似度を下げるような重みを付加する評価式を提案する。式(4)(5)は提案する重みである。 $\min(B_t, B_s)$ は差分をとった低い方の明度の値をとり $\max(B_t, B_s)$ は高い方の明度の値をとる。式(4)(5)は $\min(B_t, B_s)$ が小さいほど類似度が下がるようになるが、 $\min(B_t, B_s)=1$ 、 $\max(B_t, B_s)=2$ の場合のような、差分が小さく対象と事例ともに音符がある画素同士を比較する際は類似度を下げないような式とした。これにより、音符がある画素とない画素とを比較した際、連続性を保ちつつ、類似度を下げることができる。最終的に算出された w_{norm} は S_{image} に掛け合わせる。

$$w_{sum} = \sum \frac{256}{\frac{\min(B_t, B_s) \cdot 255}{\max(B_t, B_s)} + 1} \quad (4)$$

$$w_{norm} = 1 - \frac{w_{sum}}{255} \quad (5)$$

しかし、音符の拍位置と音価が同じであるが音高が若干異なる場合の比較では、縦方向に音符の矩形が重ならない部分が出てしまい、その部分も重みの適用範囲となり類似度が下がってしまう。そこで、重みの付加範囲を音符の矩形が重ならない音価部分のみとする。これにより、拍位置や音価が同じであり音高が若干異なる場合の比較の類似度を下げずに、音符がある画素とない画素の類似度を下げることができると考えられる。

3.4 重みを付加した旋律類似性評価式を用いた比較実験

類似度を下げる重みを付加した旋律類似性評価式を用いることによって、作成した対象と類似した事例が類似度第1位となるかを明らかにするために再度実験を行った。実験の概要は3.2節で述べた内容と同じである。

まず、ショパンの対象断片を対象とした実験結果を述べる。作成した対象に類似した事例の類似度の順位は第1位となった。また、類似度第2位と第3位までに選ばれた事例を図3.19と図3.20に示す。第2位と第3位の事例も拍位置ごとの音符の数や音価、音高推移はほぼ同じであり、特に伴奏の音高推移は対象と類似していると言えるだろう。

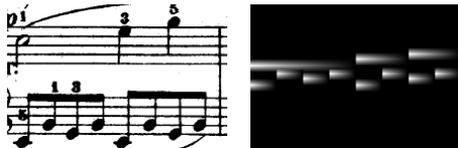


図 3.19 ショパンの対象断片における提案する評価式を用いた類似度2位の事例

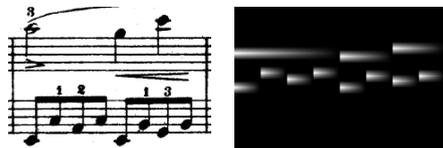


図 3.20 ショパンの対象断片における提案する評価式を用いた類似度3位の事例

次に、ベートーベンの対象断片を対象とした実験結果を述べる。作成した対象に類似した事例の類似度の順位は347位となった。また、類似度第1位から第3位までに選ばれた事例を図3.21から図3.23に示す。第1位から第3位の事例の全てにおいて、拍位置ごとの音符の数や音価、音高推移において大きく異なっており作成した対象に類似した事例よりも類似しているとは言い難い。

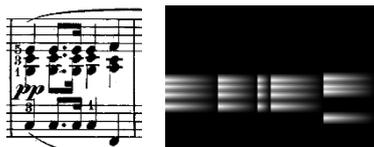


図 3.21 ベートーベンの対象断片における提案する評価式を用いた類似度1位の事例

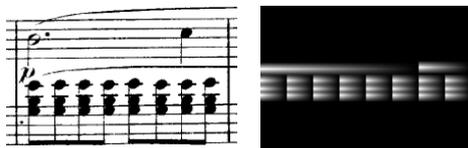


図 3.22 ベートーベンの対象断片における提案する評価式を用いた類似度2位の事例

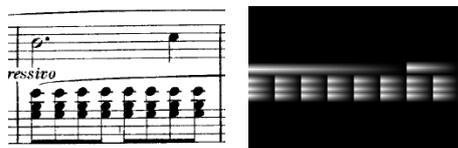


図 3.23 ベートーベンの対象断片における提案する評価式を用いた類似度3位の事例

以上より、提案するピアノロール画像と類似度を下げる重みを付加した旋律類似性評価式を用いたとしても、必ずしも類似した事例を探し出すことができないことが明らかとなった。この理由の一つとして、一つの音符の矩形に複数の音符の矩形が重なった場合の対処がされていないためと考えられる。例えば、一つの音符の矩形に拍位置も音価も同じ音符が二つ重なった場合や一つの音価の長い音符の矩形に、複数の音価の短い音符が重なった場合は類似度を下げる重みを付加した旋律類似性評価式を適用する範囲がなくなってしまうためと考えられる。

4. おわりに

本稿では、Kagurame Phase-IIIにおける若干の音高の違いを許容するために、縦方向にグラデーションをかけたピアノロール画像とその比較評価式の提案を行い、従来のピアノロール画像を用いて類似性評価を行うよりも提案したピアノロール画像とその評価式を用いて類似性評価を行った方が類似した事例を探し出すことができるのかを検証した。

その結果、本稿で提案したピアノロール画像とその評価式を用いた類似性評価の方が類似した事例を探し出すことができることが明らかとなったが、一つの音符の矩形に複数の音符の矩形が重なった場合の対処がされていないため、音符が密集した場合は対応できないことが明らかとなった。

今後は、複数の音符が重なった場合の対処方法を考案する。また、提案した評価方法によって、より人間らしい演奏の生成が可能となったかを受験実験により明らかにする。

参考文献

- 1) 平賀瑠美: 音楽の表情付け, bit 別冊, コンピュータと音楽の世界, pp.270-282, (1998)
- 2) Widmer, G: Inductive learning of general and robust local expression principles, Proceedings of the 2001 International Computer Music Conference, International Computer Music Association, pp.322-329, (2001)
- 3) 寺村佳子, 前田新一: 統計的学習によるテンポの変動を考慮したピアノ演奏模写, 情報処理学会報告, Vol.2010-MUS-84, No.12, pp.1-6, 2010
- 4) 橋田光代, 北原哲朗, 鈴木健嗣, 片寄晴弘, 平田圭二: 演奏表情付けコンテスト SMC-Rencon 開催報告, 情報処理学会研究報告, Vol.2011-MUS-92, No.4, pp.1-6, (2011)
- 5) 日野達也, 鈴木泰山, 野池賢二, 徳永幸生, 杉山精: 聴感による旋律の演奏表情の類似性評価-ピアノロール画像を用いた旋律類似性評価結果との比較, 情報処理学会研究報告, 2011-MUS-89, (2011)
- 6) 鈴木泰山, 金子雄介, 徳永幸生: 事例に基づく演奏表情生成アルゴリズムの分析, 情報処理学会研究報告, 2005-MUS-59, Vol.2005, No.14, pp.49-54, (2005)
- 7) 金子雄介, 鈴木泰山, 徳永幸生: 事例に基づく演奏表情生成システムにおける演奏類似性と試聴評価, 情報処理学会研究報告, 2005-MUS-59, Vol.2005, No.14, pp.43-48, (2005)
- 8) 日野達也, 鈴木泰山, 野池賢二, 徳永幸生, 杉山精: ピアノロール画像の比較による旋律類似性評価手法の検討-音高の違いを考慮した旋律概形の比較-, 情報処理学会研究報告, Vol.2010-MUS-86, No.17, pp.1-6, (2010)
- 9) 大蔵康義著: 人は音・音楽をどのように聴いているのか-統計による実証と楽曲リスト-, 国書刊行会出版, (2010)