

感性情報を用いた演奏表情の生成と
その音楽表現学習への応用

2014年 3月

鈴木 未央

感性情報を用いた演奏表情の生成と
その音楽表現学習への応用

鈴木 未央

システム情報工学研究科
筑波大学

2014年 3月

目次

第 1 章 序論	1
1.1 研究の背景	1
1.2 研究の目的	2
1.3 関連研究	3
1.4 論文の構成	4
第 2 章 演奏表情の構成要素とパラメータ	5
2.1 演奏表情の要素	5
2.2 テンポ	6
2.3 音量	6
2.4 音の長さ	7
第 3 章 ユーザの印象を反映した演奏表情の生成	9
3.1 はじめに	9
3.2 生成手法の概要	9
3.3 感性空間の構築	10
3.3.1 空間構築のための被験者実験	11
3.3.2 感性空間を構成する因子	11
3.4 イメージ推定	14
3.5 ファジィ推論による演奏表情パラメータの決定	16
3.5.1 メンバーシップ関数の定義	16
3.5.2 ファジィルールの作成	17
3.5.3 感性空間における演奏表情パラメータ値の分布	21
3.6 被験者実験	27
3.6.1 生成手法の有効性の検証	27
3.6.2 感性空間とファジィルールの印象表現能力の検証	31
3.7 まとめ	34

第4章	対話による修正を取り入れた演奏表情の生成	36
4.1	はじめに	36
4.2	修正手法の概要	36
4.3	演奏表情の比較実験	36
4.3.1	比較実験の概要	37
4.3.2	比較実験の結果	38
4.4	演奏表情の修正	39
4.4.1	Interactive Particle Swarm Optimization	40
4.4.2	修正手法におけるパラメータ設定	40
4.4.3	演奏表情の修正手順	43
4.5	被験者実験	44
4.5.1	実験の概要	44
4.5.2	実験結果と考察	46
4.6	まとめ	51
第5章	演奏表情生成手法を応用した音楽表現学習支援	52
5.1	はじめに	52
5.2	音楽表現学習支援システムの概要	52
5.3	ユーザ演奏の評価とアドバイス生成	53
5.3.1	演奏表情パラメータの算出と比較	53
5.3.1.1	演奏表情パラメータ値の算出方法	53
5.3.1.2	演奏表情パラメータに関するアドバイスの生成	55
5.3.2	感性空間における学習者の演奏表情の範囲	56
5.3.2.1	演奏表情の範囲の推定方法	56
5.3.2.2	印象に関するアドバイスの生成	57
5.4	被験者実験	59
5.4.1	実験の概要	59
5.4.2	実験結果と考察	59
5.5	まとめ	63
第6章	結論	65
6.1	まとめ	65
6.2	今後の展望	66
	謝辞	67

著者文献	71
付録 A 第 3 章の実験結果の詳細	73
A.1 感性空間とファジィルールの印象表現能力を検証する実験の結果詳細	73
付録 B 第 4 章の実験結果の詳細	78
B.1 被験者実験の結果詳細	78
付録 C 第 5 章の実験結果の詳細	80
C.1 被験者の音楽経験	80
C.2 被験者実験の結果詳細	81
C.3 被験者ごとの演奏表情パラメータの詳細	82

目次

3.1	演奏表情生成手法の概要	10
3.2	演奏表情の要素と印象の関係	10
3.3	空間構築の実験で用いる評価尺度の例	11
3.4	活動性因子の軸	13
3.5	気品因子の軸	14
3.6	イメージ語と因子軸上の印象値の対応	15
3.7	前件部メンバーシップ関数	17
3.8	演奏表情パラメータに対応する後件部メンバーシップ関数	18
3.9	<i>LengthSign</i> の推論例	22
3.10	<i>TempoBase</i> の分布	23
3.11	<i>TempoVar = decrease</i> のときの <i>TempoRange</i> の分布	24
3.12	<i>TempoVar = increase</i> のときの <i>TempoRange</i> の分布	24
3.13	<i>VelocityBase</i> の分布	25
3.14	<i>VelocityVar = decrease</i> のときの <i>VelocityRange</i> の分布	25
3.15	<i>VelocityVar = increase</i> のときの <i>VelocityRange</i> の分布	26
3.16	<i>LengthSign = -1</i> のときの <i>LengthBase</i> の分布	26
3.17	被験者実験で用いる評価尺度	28
3.18	評価項目に対する被験者の評価の平均値と 95%信頼区間	29
3.19	評価項目に対する 4 ジャンルの評価結果	32
3.20	演歌の場合のみの評価結果	33
3.21	楽曲 E-1 を除いた場合の評価の平均値	34
3.22	楽曲 E-1 のメロディ部分	34
4.1	修正を含めた演奏表情生成の概要	37
4.2	比較実験の評価尺度	37
4.3	程度副詞ごとの演奏表情間の距離の割合	38
4.4	比較実験で提示した演奏表情の座標とその評価結果	39
4.5	感性空間の活動性因子の軸における探索範囲の変化	41

4.6	評価項目 Q1 から Q4 までの評価値の分布	46
4.7	完成した演奏表情の修正回数と評価項目 Q1 に対する評価	47
4.8	評価項目 Q1 で肯定評価を得た演奏表情の修正時に入力された副詞の頻度	48
4.9	評価項目 Q1 で否定評価を得た演奏表情の修正時に入力された副詞の頻度	48
4.10	「明るい」印象を反映した演奏表情の座標の遷移	49
4.11	評価項目 Q5 から Q8 までの評価値の分布	50
5.1	音楽表現学習支援の流れ	53
5.2	学習者の演奏表情がある範囲の絞り込みの例	57
5.3	推定された範囲内にある演奏表情の評価値の例	58
5.4	提示されるアドバイスに対する被験者の評価結果	60
5.5	音楽表現学習支援システムに対する被験者の評価結果	60

表 目 次

2.1 演奏表情のパラメータ	5
3.1 音楽心理学の研究における演奏表情と感情の関係	11
3.2 形容詞対一覧	12
3.3 因子を構成する形容詞対	13
3.4 気品因子の場合のヒット件数, 類似度, 座標値	15
3.5 <i>TempoRange</i> , <i>VelocityRange</i> のメンバーシップ関数のパラメータ値	17
3.6 <i>TempoVar</i> , <i>VelocityVar</i> のファジイルール	19
3.7 <i>LengthSign</i> のファジイルール	19
3.8 相関の有無	19
3.9 <i>TempoBase</i> のファジイルール	19
3.10 <i>VelocityBase</i> のファジイルール	20
3.11 <i>LengthBase</i> のファジイルール	20
3.12 <i>TempoVar = decrease</i> のときの <i>TempoRange</i>	21
3.13 <i>TempoVar = increase</i> のときの <i>TempoRange</i>	21
3.14 <i>VelocityRange = decrease</i> のときの <i>VelocityRange</i>	21
3.15 <i>VelocityRange = increase</i> のときの <i>VelocityRange</i>	21
3.16 実験で使用するイメージ語	27
3.17 実験でを使用した楽曲	27
3.18 演奏表情の評価項目	28
3.19 評価項目に対する全被験者の評価値	30
3.20 実験で使用する音楽ジャンルと楽曲	31
3.21 実験に用いた楽曲の休符の割合	35
4.1 実験でを使用したイメージ語	38
4.2 実験で使用する楽曲	45
4.3 評価項目と評価尺度	45
5.1 音楽表現学習支援システムの実験における評価項目	59

5.2	手本表情と一致していた演奏表情パラメータの数	62
5.3	被験者 F の 10 回の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: エコセーズ)	62
A.1	クラシックの楽曲の場合の演奏表情に対する評価	74
A.2	ジャズの楽曲の場合の演奏表情に対する評価	75
A.3	ポップスの楽曲の場合の演奏表情に対する評価	76
A.4	演歌の楽曲の場合の演奏表情に対する評価	77
B.1	各被験者が入力したイメージ語と完成した演奏表情への評価	79
C.1	被験者の音楽経験	80
C.2	音楽表現学習支援システムが提示するアドバイスに対する評価	81
C.3	被験者 A の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: グノシエンヌ第 1 番)	83
C.4	被験者 A の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: エコセーズ ト長調 WoO.23)	83
C.5	被験者 B の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: グノシエンヌ第 1 番)	84
C.6	被験者 B の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: エコセーズ ト長調 WoO.23)	84
C.7	被験者 C の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: グノシエンヌ第 1 番)	85
C.8	被験者 C の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: エコセーズ ト長調 WoO.23)	85
C.9	被験者 D の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: グノシエンヌ第 1 番)	86
C.10	被験者 D の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: エコセーズ ト長調 WoO.23)	86
C.11	被験者 E の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: グノシエンヌ第 1 番)	87
C.12	被験者 E の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: エコセーズ ト長調 WoO.23)	87
C.13	被験者 F の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: グノシエンヌ第 1 番)	88
C.14	被験者 F の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: エコセーズ ト長調 WoO.23)	88
C.15	被験者 G の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: グノシエンヌ第 1 番)	89
C.16	被験者 G の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: エコセーズ ト長調 WoO.23)	89

第1章 序論

1.1 研究の背景

私たちは生活の中で、テレビやラジオから流れてくる音楽や店内 BGM のように無意識のうちに音楽を聞いていることもある。CD やインターネットによる楽曲配信、コンサートなど、自らすすんで音楽を聞くこともある。総務省の平成 23 年社会生活基本調査 [1] によると、1 年間のうちに趣味や娯楽を行った 9677 万人のうち、8.6%(832 万人) が音楽会などによるクラシック音楽の鑑賞、12.4%(1200 万人) が音楽会などによるポピュラー音楽・歌謡曲の鑑賞、47.5%(4597 万人) が CD・テープ・レコードなどによる音楽鑑賞を行っており、音楽鑑賞を行っている人の割合に比べると少ない割合ではあるが、趣味や娯楽として楽器を演奏する人は 9.6%(929 万人) である。このように音楽は私たちにとって身近なものであり、人間の感情に関係することが知られている。音楽心理学の分野では、人が音楽を聞いたときに楽曲に対して「喜び」や「悲しみ」といった感情を感じることが示されている [2][3]。さらに、臨床心理学や医学の分野では、人は音楽を聞く前と後で情動に変化が現れる [4] ことや、楽曲が与える印象や、楽曲の編曲の仕方、演奏形態によって心拍数や皮膚温度、呼吸数といった生理的な変化に違いが現れることも示されている [5][2]。また、音楽の演奏に注目すると、楽譜通りの正確な演奏だけでは表情豊かな演奏にはならない [6] ことから、演奏者は楽譜に書かれた指示記号とは違う演奏や、楽譜で指示されていない演奏を行うことで、印象や感情を表現し、演奏を生き生きとしたものに仕上げている [7][8][9]。どのような演奏を行うと印象や感情を表現できるかについて、ベルリン・フィルハーモニー管弦楽団の首席フルート奏者であったハンス＝ペーター・シュミッツは、演奏のテンポとリズム、音の強弱、音の長短、音の高低、音色とその変化が表す印象について定性的にまとめている [10]。また、このように演奏者が演奏によって表現した印象や感情が聴衆に伝わっているのかという点について、音楽心理学の分野では、フルート、バイオリン、声、ティンパニといった様々な楽器を用いた演奏の聴取実験により、演奏者が表現した印象を聴取者に伝えることができていることがわかっている [11]。

心理学や医学においては古くから音楽が研究対象となってきたが、コンピュータの発展により 1960 年代後半からコンピュータで音楽を扱う機会が増え、工学の分野でも音楽を対象にした研究が増えてきている [12]。前述のように音楽は人間の感情に深く関係することから、工学分野での研究においても人間の感情や情動のような感性を考慮した研究が行われている。杉原ら [13] は人間

の音楽に対する感性の特性を明らかにするために、SD(Semantic Differential)法による音楽の聴取実験を行い、その結果から、楽曲を聞いて受ける印象の程度が男女で異なることや、評価に用いた形容詞対によって異なることを示している。平江ら [14] は、楽曲の聴取実験から楽曲と印象の関係を表す印象空間を構築し、さらにニューラルネットワークにより楽曲の物理量から印象を推定する手法を提案し、クラシック音楽に対する印象の自動推定システムの構築を試みている。他にも、人間の音楽に対する感性の特性を利用し、楽曲の印象空間やニューラルネットワークを用いた音楽検索システム [15][16][17] が研究されている。これらの研究では人間が音楽を聞いたときの感性に注目したものであったが、一方で、既存の演奏から「人間らしさ」を抽出する研究も行われており、二人の演奏家による演奏の物理量から演奏家ごとの表現の違いが分析されている [18]。

1.2 研究の目的

1.1 節で述べたように、音楽と人間の感性について、心理学、医学、工学など様々な分野で研究されている。これまで行われてきた研究の多くは、人間が音楽を聞いたときの感性に注目した研究である。一方で、音楽の演奏と人間の感性に関する研究では、演奏のテンポや音量といった演奏の特徴から、演奏によってどのような感情や印象が表現されるかについての定性的な分析 [10] や、演奏の物理量から人間らしい演奏の特徴抽出と分析 [18] が行われている。このような演奏と感性に関する研究は、音楽を聞いたときの感性に関する研究に比べて、多くは行われていない。演奏と人間の感性の関係を考えたとき、演奏の対象となる楽曲自体が、調性や拍子、音程、コード進行といった感情や印象を表す要素を持っていることに加え、演奏の際には演奏者が表現したい感情や印象といった感性も反映される。そのため、演奏と感性の関係は、楽曲や演奏者によって多様であると言え、定量的に扱うことは難しいと考えられる。このことから、本論文では、演奏と演奏によって表される印象の関係を定量化し、その関係を説明可能な形で表した感性モデルの構築を目指す。構築する感性モデルを、演奏表情と呼ばれる、ある印象を表すためにテンポや音量などを変化させた演奏の生成に用いることで、感性モデルの妥当性を検証する。さらに、本論文では感性モデルを用いて、音楽表現と呼ばれる、演奏による印象や感情の表現を学習するための支援システムを提案、実装し、被験者実験により、感性モデルの応用の可能性を検討する。

本論文ではまず、演奏表情と印象の関係を定量的に扱うために、演奏表情をパラメータで表現する。そして、演奏表情のパラメータ値をランダムに設定して生成した演奏表情をSD法で評価する被験者実験を行い、その結果を因子分析した結果から、演奏表情と印象の感性モデルである感性空間を構築する。さらに、感性空間上の座標値と演奏表情のパラメータ値をファジィルールで対応付けることで、演奏表情と印象の関係を説明可能な状態とする。

次に、構築した感性空間とファジィルールを用いて、「明るい」「元気な」といった形容詞・形容

動詞で表現される印象を反映する演奏表情の生成手法を提案し、被験者実験によって妥当性を検証する。提案する演奏表情生成手法では、演奏表情で表現したい印象が形容詞・形容動詞で入力されることから、形容詞・形容動詞が感性空間上のどこに位置するのかを推定し、推定された座標値からファジィ推論によって演奏表情のパラメータ値を決定し、印象を反映する演奏表情を生成する。感性空間とファジィルールの妥当性を検証する被験者実験では、提案する演奏表情生成手法を実装したシステムを用いて、実際に印象を反映した演奏表情を生成し、印象が反映されているかを被験者に評価してもらうことで、感性空間とファジィルールが演奏表情と印象の関係を適切に表した感性モデルであるかを検証する。

また、人間が楽曲を演奏することを考えたとき、同じ言葉で表される印象であっても、その印象を表現する演奏表情は演奏者によって異なる [18] ことから、演奏表情に個人の感性を反映させるための修正手法を考える。本論文では、構築した感性空間上で演奏表情に対する印象を説明可能にするために、感性空間やファジィルールの個人特化は行わず、感性空間上で演奏表情の座標値を変更することで、個人の感性を反映させた演奏表情に修正する。演奏表情の修正手法に関しても、生成手法と同様の被験者実験を行い、修正することで演奏表情に印象が反映されているかを被験者に評価してもらう。さらに、演奏表情の修正過程において座標値が感性空間上でどのように遷移したかを分析し、演奏表情が感性空間を用いて説明可能であるかを検証する。

最後に、構築した感性モデルによって表される演奏表情と印象の関係が説明可能であることの有用性を音楽表現の学習支援に応用することで示す。本論文では音楽表現学習支援システムを構築し、演奏表情生成手法によって生成された演奏表情を練習の手本として、手本に反映されている印象を表す形容詞・形容動詞とともに学習者へ提示する。学習者は手本を参考に演奏表情の練習を行い、システムは学習者が演奏した演奏表情をパラメータ化し、手本となる演奏表情との比較や、感性空間上における学習者の演奏表情があると思われる範囲を推定する。それらから学習者の演奏表情の良い点、改善のためのアドバイスを文章で提示することで、音楽表現の学習支援を行う。被験者実験として、音楽表現学習支援システムを用いた演奏表情の練習を行い、演奏表情の学習に効果があるかを検証する。

1.3 関連研究

上述した演奏表情について、これまで、人間らしい演奏を生成することを目的とした研究が行われている。鈴木ら [19] の事例ベース推論による生成では、事例として様々な長さの参考演奏を保持し、演奏表情を付与する楽曲と類似する事例について、重み付けと演奏表情の変化を分析し、複数の事例を合成することで演奏表情を生成している。Teramura ら [20] の手法では、ガウシアンプロセス回帰を用いて、演奏表情が付与された楽曲の特徴と、演奏表情の物理量を学習させることで演

演奏表情を生成しており、また、Flossmann ら [21] の確率ネットワークによる生成手法では、教師データとなる演奏表情と、演奏表情が付与された楽曲の特徴をそれぞれ抽出し、楽曲の特徴と演奏表情の特徴について確率ネットワークとガウス分布によりモデル化している。そして、演奏表情を付与したい楽曲の楽譜情報から初期値となるテンポと音量を設定し、対象楽曲から抽出された特徴から演奏表情の特徴を求め、テンポと音量の初期値と合成することで演奏表情を生成する。Tanji らの [22] の対話型進化計算と遺伝的プログラミングによる手法では、演奏表情をユーザに評価してもらい、その評価からガウシアンプロセス回帰により適合度予測モデルを構築し、遺伝的プログラミングによって適合度関数と予測モデルから、ユーザ評価が高くなるであろう演奏表情を生成する。Hashida ら [23] の手法では、演奏表情を付与したい楽曲のグループ構造、楽曲の中で目立って聞こえる部分、グループの中で最も重要となる1音がユーザにより与えられ、予め用意されている演奏ルールを適用することで、演奏表情の生成を行う。

1.4 論文の構成

本論文の構成は以下の通りである。まず、本論文で扱う演奏表情の要素とパラメータ表現について2章で述べる。次に、形容詞、形容動詞で表される印象と演奏表情の関係を表す感性空間とファジィルールの構築と、構築した感性空間、ファジィルールにより印象を反映する演奏表情を生成する手法について3章で述べる。言葉で表される印象から演奏表情パラメータを求めるために用いる感性空間とファジィルールは一般的な感性にもとづいたものであるため、演奏表情に反映される印象は一般的なものであり、個々人が思い描く印象を反映できない可能性がある。そのため、ユーザの評価を取り入れて対話を行うことで演奏表情を修正する手法について4章で述べる。そして、4章までで述べた手法を学習に応用することを考え、生成された演奏表情と、その生成の過程で用いられた情報を用いた音楽表現の学習支援システムについて5章で述べる。最後に6章で本論文をまとめ、今後の展望について述べる。

第2章 演奏表情の構成要素とパラメータ

2.1 演奏表情の要素

2章では、本論文で扱う演奏表情の定義について述べる。演奏表情とは、ある印象や感情を表すためにテンポや音量などを変化させた演奏のことを指す。本論文では、ピアノの演奏による演奏表情を扱う。

文献 [10] によると、音楽演奏の印象に影響する要素の中で、演奏者自身が演奏の際に変化させることができる要素はテンポ、音量、音の長さであると言われている。そのため、本論文では、テンポ、音量、音の長さの3つを演奏表情の要素と定義する。演奏表情の要素はそれぞれ表 2.1 に示すパラメータで表現する。

表 2.1: 演奏表情のパラメータ

要素	パラメータ	値	意味
テンポ	<i>TempoBase</i>	[40, 208]	演奏全体の基準となるテンポ
	<i>TempoRange</i>	[0.0, 0.6]	テンポの変化幅
	<i>TempoVar</i>	<i>constant, decrease, increase</i>	テンポの変化の仕方を示すフラグ
音量	<i>VelocityBase</i>	[16, 127]	演奏全体の基準となる音量
	<i>VelocityRange</i>	[0.0, 0.7]	音量の変化幅
	<i>VelocityVar</i>	<i>constant, decrease, increase</i>	音量の変化の仕方を示すフラグ
音の長さ	<i>LengthSign</i>	-1, 0, 1	音を長く演奏するか短く演奏するかを示す
	<i>LengthBase</i>	[1.5, 10.0]	楽譜からどれだけ短く・長くなるかを示す
	<i>LengthRange</i>	0	音の長さの変化幅
	<i>LengthVar</i>	<i>constant</i>	音の長さの変化の仕方を示すフラグ

演奏表情を付与する対象となる楽曲は、右手でメロディ、左手で伴奏を演奏する形式の楽曲に限定し、楽曲のフレーズと呼ばれる一部分に演奏表情が付与されるものとする。本論文で用いる演奏表情パラメータは楽曲のフレーズ全体に対するパラメータである。そのため、パラメータ *TempoVar*, *VelocityVar*, *LengthSign* は対象となる楽曲のフレーズ全体に反映され、フレーズの一部のみ音量をだんだん大きくする、というような部分的な変化は扱わない。また、音の長さの変化幅を表すパラメータ *LengthRange*, 音の長さの変化の仕方を表すパラメータ *LengthVar* は、実際の

演奏を考えたときに、1音ごとの音の長さを厳密に意識して演奏することは難しいと考えられる。このことから、本論文では、 $LengthRange$ と $LengthVar$ は表 2.1 に示すように定数として扱い、音の長さについては1音ごとの制御は行わないものとする。

楽曲のフレーズ中のメロディの音符数を n としたとき、テンポ、音量、音の長さはそれぞれベクトル $\vec{T} = (t_1, t_2, \dots, t_n)$, $\vec{V} = (v_1, v_2, \dots, v_n)$, $\vec{L} = (l_1, l_2, \dots, l_n)$ で表され、 t_i , v_i , l_i はそれぞれメロディの i 番目の音符のテンポ、音量、音の長さを示す。 i 番目の音符のテンポ、音量、音の長さの定義を以下で述べる。

2.2 テンポ

i 番目の音符のテンポ t_i は式 (2.1) で定義される。

$$t_i = TempoBase \times TempoRate_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.1)$$

$TempoBase$ は演奏の基準となるテンポを表し、機械式メトロノームに従い、値は [40, 208] の範囲とする。また、 $TempoRate_i$ は式 (2.2) で定義され、 i 番目の音符のテンポの変化率を示す。

$$TempoRate_i = (2 \times x_i(TempoVar) \times TempoRange) + (1 - TempoRange), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.2)$$

$TempoRange$ はテンポの変化する幅を示し、[0.0, 0.6] の値をとる。また、 $x_i(TempoVar)$ は $TempoVar$ の関数であり、 i 番目の音符のテンポの変化量を示す。テンポの変化量は [0, 1.0] の値をとる。 $TempoVar$ は以下に示すテンポの変化の仕方を示す。

- increase* テンポは単調増加で変化する
- decrease* テンポは単調減少で変化する
- constant* 一定のテンポを保つ

式 (2.1) と式 (2.2) は、 i 番目の音符のテンポの変化量 $x_i(TempoVar)$ が 0.5 以下の場合、 i 番目の音符のテンポ t_i は $TempoBase$ よりも小さい値となり、テンポの変化量が 0.5 以上の場合、 $TempoBase$ よりも大きい値となる。 $TempoBase$, $TempoRange$, $TempoVar$ は 3 章で述べるファジィ推論によって求められる。

2.3 音量

i 番目の音符の音量 v_i は式 (2.3) で定義される。

$$v_i = VelocityBase \times VelocityRate_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.3)$$

$VelocityBase$ は演奏の基準となる音量を表し、音楽電子事業協会 [24] の MIDI による音楽作成のガイドラインを参考に [16, 127] の値とする。 $VelocityRange_i$ は i 番目の音符の音量の変化率であり、式 (2.4) で定義される。

$$VelocityRate_i = (2 \times y_i(VelocityVar) \times VelocityRange) + (1 - VelocityRange), \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.4)$$

$VelocityRange$ は音量の変化幅であり、[0.0, 0.7] の値をとる。 $VelocityVar$ は $TempoVar$ と同様に音量の変化の仕方を示す。また、 $y_i(VelocityVar)$ は $VelocityVar$ の関数であり、 i 番目の音符の音量の変化量を示す。音量の変化量は [0.0, 1.0] の値をとる。式 (2.3) と式 (2.4) は、 i 番目の音符の音量の変化量 $y_i(VelocityVar)$ が 0.5 以下の場合、 i 番目の音符の音量 v_i は $VelocityBase$ よりも小さい値となり、音量の変化量が 0.5 以上の場合、 $VelocityBase$ よりも大きい値となる。 $VelocityBase$, $VelocityRange$, $VelocityVar$ は 3 章で述べるファジィ推論によって求められる。

2.4 音の長さ

楽譜上の i 番目の音符の音の長さを $actualDuration_i$ とするとき、 i 番目の音符の音の長さ l_i は式 (2.5) で定義される。

$$l_i = \begin{cases} actualDuration_i + \frac{actualDuration_i}{rate}, & LengthSign \neq 0, \\ actualDuration_i, & LengthSign = 0, \end{cases} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.5)$$

$$rate = LengthSign \times LengthBase \times LengthRate_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2.6)$$

$LengthSign$ は楽譜に記述されている音符よりも音を短く演奏するのか、長く演奏するのかを示すパラメータであり、式 (2.7) で定義される。

$$LengthSign = \begin{cases} -1 : \text{音を短く演奏するとき} \\ 0 : \text{楽譜通りの長さで演奏するとき} \\ +1 : \text{音を長く演奏するとき} \end{cases} \quad (2.7)$$

$LengthBase$ は演奏時に音の長さが楽譜に記述されている音符からどれだけ変化するかを示すパラメータであり、[1.5, 10.0] の値をとる。また、 $LengthRate_i$ は i 番目の音符の音の長さの変化率で

あり, 式 (2.8) で定義される.

$$\begin{aligned} LengthRate_i &= (2 \times z_i(LengthVar) \times LengthRange) \\ &+ (1 - LengthRange) \quad i = 1, 2, \dots, n \end{aligned} \quad (2.8)$$

$LengthRange$ は音の長さの変化幅で $[0.0, 0.8]$ の実数である. $LengthVar$ は $TempoVar$ や $VelocityVar$ と同様に, 音の長さの変化の仕方を示す. また, $z_i(LengthVar)$ は $LengthVar$ の関数であり, i 番目の音符の音の長さの変化量を示す. 音の長さの変化量は $[0.0, 1.0]$ の値をとる. 式 (2.5), 式 (2.7), 式 (2.8) は, i 番目の音符の音の長さの変化量 $z_i(LengthVar)$ が 0.5 以下の場合, i 番目の音符の音の長さ l_i は $LengthBase$ よりも小さい値となり, 音の長さの変化量が 0.5 以上の場合, $LengthBase$ よりも大きい値となる. $LengthSign$, $LengthBase$, $LengthRange$, $LengthVar$ は 3 章で述べるファジィ推論によって求められる.

第3章 ユーザの印象を反映した演奏表情の生成

3.1 はじめに

印象と印象を表す演奏表情の関係をモデル化し、言葉で表される印象を反映する演奏表情を生成する手法に用いることで、モデルの妥当性を検証する。3章では、印象と演奏表情の関係を感性空間とファジイルールによって一般化し、それらを用いて、形容詞、形容動詞で表される印象が入力されると、その印象を反映した演奏表情を生成する手法を提案する。そして、被験者実験を行い、本論文で構築した感性空間とファジイルールによって、印象を反映する演奏表情が生成できるかを検証することで、印象と演奏表情の関係を表す感性空間とファジイルールの妥当性を述べる。

3.2 生成手法の概要

図 3.1 に本論文で述べる演奏表情生成手法の概要を示す。ユーザは演奏表情を付与したい楽曲フレーズと、演奏表情で表現したい印象を「激しい」「元気な」などの形容詞または形容動詞で入力する。楽曲フレーズは、楽譜表記フォーマットである MusicXML[25] 形式で入力される。入力された MusicXML に記述されている強弱記号や速度記号などの指示記号の情報は、本論文では考慮しない。また、印象を表現する形容詞、形容動詞を本論文ではイメージ語と呼ぶ。イメージ語は形容詞・形容動詞の形であれば、自由に入力できるものとする。イメージ語の感性空間(以後、単に感性空間と呼ぶ)上の座標値を後述するイメージ推定処理で求め、座標値から演奏表情パラメータをファジィ推論により決定する。求められた演奏表情パラメータと楽曲フレーズから演奏表情を MIDI 形式の音楽データとして作成し、ユーザに提示する。

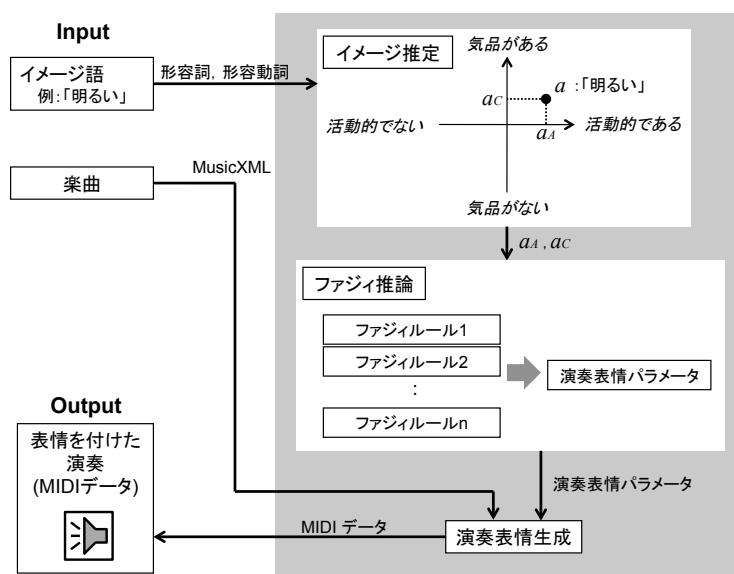


図 3.1: 演奏表情生成手法の概要

3.3 感性空間の構築

ユーザによって入力されるイメージ語と2章で述べた演奏表情パラメータの関係を表す感性空間について述べる。言葉で表される印象と演奏表情の要素であるテンポ、音量、音の長さの間には、演奏家の視点から図 3.2 に示す関係があることが知られている [10]。また、音楽心理学の研究では感情と演奏表情には表 3.1 に示す関係があると言われている [26]。本論文では、演奏表情が人に与える印象の因子構造を被験者実験により求め、上記のような関係を表す感性空間を構築する。

	沈静的なイメージ		活性的なイメージ
テンポ	遅い だんだん遅く	↔	速い だんだん速く
音の強弱	弱い だんだん弱く	↔	強い だんだん強く
音の長短	長い	↔	短い

図 3.2: 演奏表情の要素と印象の関係

表 3.1: 音楽心理学の研究における演奏表情と感情の関係

テンポ	速い	活動性, 興奮, 喜び, 楽しさ, 力, 驚き, 怒り, 恐怖
	遅い	平穏, 落ち着き, 威厳, 荘重さ, 悲しさ, やさしさ, 退屈, 嫌悪感
音の強弱	音が大きい	強さ, 緊張, 怒り, 喜び
	音が小さい	柔らかさ, やさしさ, 悲しさ, 荘厳, 恐れ
音の長短	スタッカート	陽気さ, 活動性, 恐れ, 怒り
	レガート	悲しみ, やさしさ, 荘厳, 柔らかさ

3.3.1 空間構築のための被験者実験

実験では、演奏表情パラメータをランダムに設定し、1000曲の演奏表情を自動生成する。そして、生成された1000曲の中から演奏表情をランダムに抽出し、被験者に提示する。被験者は提示された演奏表情を聞き、その演奏表情から受ける印象について、先行研究 [27] を参考に選出した表 3.2 に示す 43 個の形容詞対を用いて、5 段階 SD(Semantic Differential) 法 [28] で評価する。形容詞対の評価尺度の例を図 3.3 に示す。演奏表情を付与する楽曲はベートーヴェンのピアノソナタ第 14 番 Op.27 第 2 楽章で、楽曲の冒頭から 15 小節目までを対象とする。演奏は SMF(Standard MIDI File) 形式のデータで作成し、MIDI 音源の音色は Acoustic Grand Piano とする。被験者は 19 歳から 25 歳の男女 16 名である。

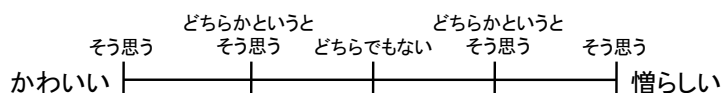


図 3.3: 空間構築の実験で用いる評価尺度の例

3.3.2 感性空間を構成する因子

被験者実験で得られた述べ 177 曲に対する評価結果について、形容詞対の尺度を変量として因子分析を行い、演奏表情の平均的な感性空間を構築する。因子の抽出には最尤法を用い、初期の固有値および回転後の固有値からスクリー基準によって、抽出する因子数を 2 と判断し、バリマックス回転を用いて各形容詞対の因子負荷量を求める。各形容詞対の中で共通性の値が 0.16 以下であった「色気のない - つやっぼい」「濃厚な - 淡白な」「大人っぽい - 子供らしい」「軽薄な - 重厚な」を分析から除外し、因子負荷量の絶対値が 0.7 以上の値を持つ形容詞対 13 個が、抽出された 2 因

表 3.2: 形容詞対一覧

かわいい	—	憎らしい	子供らしい	—	大人っぽい
ほがらかな	—	陰気な	気楽な	—	気がかりな
楽しい	—	苦しい	愉快的な	—	不愉快的な
はつらつとした	—	病弱な	華やかな	—	地味な
にぎやかな	—	寂しい	活動的な	—	内向的な
大胆な	—	臆病な	情熱的な	—	冷静な
激しい	—	穏やかな	ゴージャズな	—	簡素な
つやっぽい	—	色気のない	贅沢な	—	質素な
力強い	—	弱弱しい	ワイルドな	—	おとなしい
アンティークな	—	新しい	重厚な	—	軽薄な
神聖な	—	俗っぽい	精密な	—	アバウトな
都会的な	—	田舎的な	シックな	—	野暮な
素直な	—	意固地な	おおらかな	—	こせこせした
ナチュラルな	—	人工的な	女性的な	—	男性的な
優雅な	—	粗野な	上品な	—	下品な
洗練された	—	ださい	わかわかしい	—	年老いた
スピーディーな	—	ゆったりした	モダンな	—	クラシックな
すっきりした	—	憂鬱な	健康的な	—	病弱な
繊細な	—	凶太い	平和な	—	騒々しい
淡泊な	—	濃厚な	なごやかな	—	険しい
なじみやすい	—	なじみにくい	ロマンティックな	—	リアリスティックな
すがすがしい	—	うっとうしい			

子に含まれるとする。表 3.3 に因子分析で抽出された 2 因子の寄与率と因子に含まれる形容詞対を示す。第 1 因子は動きを連想させる形容詞対で構成されていることから「活動性因子」とし、第 2 因子は「粗野な - 優雅な」「下品な - 上品な」という品を感じさせる形容詞対で構成されていることから「気品因子」とする。

表 3.3: 因子を構成する形容詞対

因子名	形容詞対
活動性因子	病弱な - はつらつとした
寄与率 26.04%	寂しい - にぎやかな
	臆病な - 大胆な
	穏やかな - 激しい
	弱弱しい - 力強い
	ゆったりした - スピーディーな
	地味な - 華やかな
	内向的な - 活動的な
	おとなしい - ワイルドな
気品因子	粗野な - 優雅な
寄与率 21.28%	なじみにくい - なじみやすい
	うっとうしい - すがすがしい
	下品な - 上品な

本論文では、活動性因子と気品因子を $[-1.0, +1.0]$ の範囲で図 3.4, 図 3.5 のように改めて定義し、二つの因子を軸とした 2 次元空間を印象と演奏表情の関係を表す感性空間とする。活動性因子軸の値が -1.0 に近い場合には「病弱な」「寂しい」などのイメージを表し、 1.0 に近い場合には「はつらつとした」「にぎやかな」などのイメージを表す。また、 0.0 に近い場合にはイメージがイメージ語対のどちらでもないことを示す。気品因子軸についても同様である。

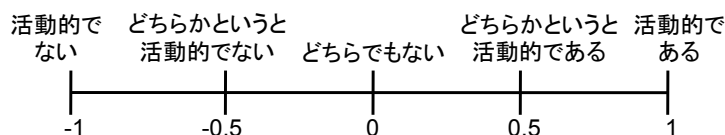


図 3.4: 活動性因子の軸

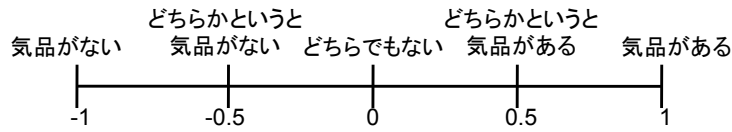


図 3.5: 気品因子の軸

3.4 イメージ推定

感性空間上でのイメージ語の座標値を求めるために、イメージ推定処理を行う。感性空間の各因子を構成する形容詞対に対して、入力されたイメージ語との共立共起表現の頻度から、イメージ語が形容詞対のどちらに印象が類似しているかを推定し、座標値を求める。本論文では、イメージ語の感性空間上での座標値を印象値と呼ぶ。推定には文献 [29] の共立共起表現を用いた形容詞の印象推定、文献 [30] の印象因子を用いた形容詞、形容動詞の印象推定の方法を用いる。

本論文では、感性空間の因子を構成する形容詞または形容動詞を W_1 , W_2 、イメージ語を W_T とし、 W_1 を「粗野な」、 W_2 を「優雅な」とした形容詞対に対して、イメージ語 W_T を「明るい」としたとき、「明るい」の印象値を推定する例を用いてイメージ推定処理の推定方法を述べる。

(1) 共立共起表現の作成

はじめに、 W_1 と W_T 、 W_2 と W_T の共立共起表現 F_1 , F_2 を作成する。例の場合、共立共起表現は

$$F_1 : \text{「粗野で明るい」 OR 「明るくて粗野な」}$$

$$F_2 : \text{「優雅で明るい」 OR 「明るくて優雅な」}$$

となる。

(2) 形容詞に対する印象値の算出

作成した共立共起表現 F_1 , F_2 をキーワードとして Web 検索を行い、共立共起表現の検索ヒット件数から形容詞対に対するイメージ語の印象値を算出する。まず、 F_1 の検索ヒット件数 H_1 、 F_2 の検索ヒット件数 H_2 を Web 検索 API を利用して取得する。次に、 W_1 と W_T の印象の類似度を S_1 、 W_2 と W_T の印象の類似度を S_2 として、文献 [29] によって定義されている式 (3.1) と式 (3.2) を用いて、類似度を算出する。

$$S_1 = 2.5^{\log_{10} H_1} \quad (3.1)$$

$$S_2 = 2.5^{\log_{10} H_2} \quad (3.2)$$

W_1 を -1.0 , W_2 を $+1.0$ としたとき, W_1 と W_2 を両極とする 1 次元空間上における W_T の座標値 a は文献 [30] を参考に式 (3.3) で定義し, 算出する. W_T の座標値 a は式 (3.3) で定義し, 算出する. a を W_T の印象値と呼ぶ. イメージ語と因子軸上の印象値 a の対応を図 3.6 に示す.

$$a = 2.0 \times \frac{S_1^{-1}}{S_1^{-1} + S_2^{-1}} - 1.0 \quad (3.3)$$

以上の手順で, 因子を構成する形容詞対全てに対してイメージ語の印象値を求める.

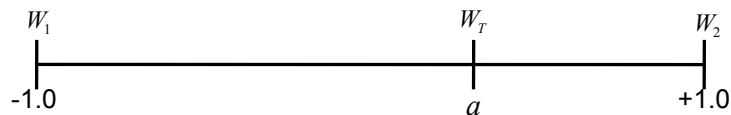


図 3.6: イメージ語と因子軸上の印象値の対応

(3) イメージ語の印象傾向を求める

(2) において求めた各形容詞対に対する印象値から, イメージ語の印象傾向を求める. 印象値が $[-1.0, 0.0]$ である形容詞対の数と, $[0.0, +1.0]$ である形容詞対の数を比較し, 数が多いほうの印象の傾向が強いと判断する. 例としてイメージ語を「明るい」としたときの気品因子における印象傾向を求める場合, 表 3.4 に示すように, 4 つの形容詞対に対する座標値が $[0.0, +1.0]$ の範囲にあることから, 「明るい」というイメージ語は「気品がある」傾向が強いと言える.

表 3.4: 気品因子の場合のヒット件数, 類似度, 座標値

形容詞	ヒット件数	類似度	座標値
粗野な	7	2.17	0.78
優雅な	1422	17.97	
なじみにくい	1	1	0.74
なじみやすい	117	6.65	
うつつしい	57	5	0.46
すがすがしい	714	13.66	
下品な	43	4.47	0.81
上品な	13610	44.16	

(4) 因子に対する印象値を求める

(3) で求めた印象傾向をもとにして因子に対するイメージ語の印象値を求める. (3) において, 各

形容詞対の中でイメージ語の印象傾向が強かった側の形容詞、形容動詞とイメージ語の共立共起表現の検索ヒット件数が最も多かったもの、2番目に多かったもののイメージ語の印象値を信頼できるものと考え、印象値の平均をとる。平均をとった値をイメージ語の因子に対する印象値とする。イメージ語を「明るい」とした場合、気品因子においては「気品がある」の傾向が強いことから、検索ヒット件数が最も多い「上品な」に対する印象値0.81と、2番目に多い「優雅な」に対する印象値0.78を平均し、気品因子に対する印象値は0.79となる。活動性因子に対する印象値も同様に求められる。

3.5 ファジィ推論による演奏表情パラメータの決定

本論文で示す演奏表情生成手法では、ファジィ推論によってイメージ語の印象値から演奏表情パラメータ値を求める。イメージ語と演奏表情パラメータとの間の定性的な関係をファジィルールにより定量化することで、ユーザが入力するイメージ語を反映する演奏表情パラメータを求めることができる。本論文では、イメージ推定処理で得られた印象値から Mamdani の方法 [31] によるファジィ推論を行い、演奏表情パラメータ値を求める。

3.5.1 メンバーシップ関数の定義

演奏表情パラメータ値の推論に用いるファジィルールは、前件部を活動性因子と気品因子に対するイメージ語の印象値、後件部を演奏表情パラメータ値とした、以下に示すような形とする。

if “活動性因子の印象値 a_A is LI” and “気品因子の印象値 a_C is VIE”
then “基準テンポ $TempoBase$ is Allegro”

ファジィルールの前件部となる感性空間の活動性因子と気品因子に対応するメンバーシップ関数を図 3.7 に示す。

演奏表情パラメータに対応する後件部メンバーシップ関数を図 3.8 に示す。 $TempoBase$ に対応するメンバーシップ関数は図 3.8(a) に示すように、台形型メンバーシップ関数とし、メンバーシップ関数の値は一般的な機械式メトロノームに表記されている BPM(Beats Per Minute)¹ と速度記号を参考に定義する。 $VelocityBase$ に対応するメンバーシップ関数は MIDI 形式による楽曲データ作成の際に目安とされているベロシティ値を参考に図 3.8(b) のように定義する。その他、 $LengthSign$, $LengthBase$, $TempoVar$, $TempoRange$, $VelocityVar$, $VelocityRange$ はそれぞれ図 3.8(c) から図 3.8(f) のように定義する。表 3.5 に $TempoRange$, $VelocityRange$ に対応するメンバーシップ関数の値を示す。

¹演奏のテンポを示す単位であり、1分間に刻まれる拍の数でテンポを表す。

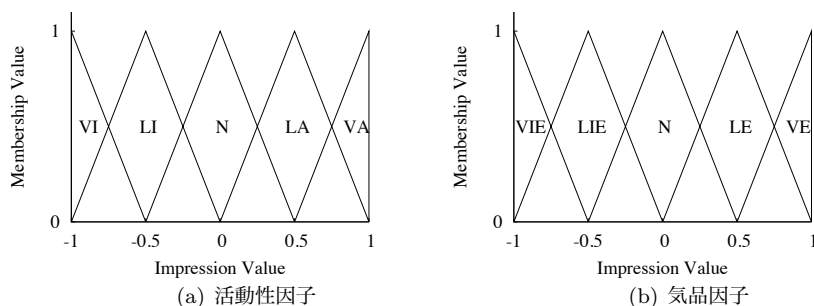


図 3.7: 前件部メンバーシップ関数

表 3.5: *TempoRange*, *VelocityRange* のメンバーシップ関数のパラメータ値

パラメータ	<i>TempoRange</i>	<i>VelocityRange</i>
<i>lw</i>	0	0
<i>sw</i>	0.15	0.175
<i>w</i>	0.3	0.35
<i>fw</i>	0.45	0.525
<i>vw</i>	0.6	0.7

3.5.2 ファジイルールの作成

本論文では、文献 [10] による演奏表情の要素と印象との定性的な関係と、3.3 節で述べた感性空間を構築するための実験で被験者に提示した演奏表情が持つ因子得点と演奏表情パラメータの重相関係数の二つを利用してファジイルールを作成する。

テンポ、音量の変化の仕方を示すパラメータ、演奏時に楽譜よりも音を長くするか短くするかを示すパラメータである *TempoVar*, *VelocityVar*, *LengthSign* を推論するファジイルールは、ルール前件部に対応する感性空間の活動性因子と気品因子について、図 3.2 に示す演奏表情とイメージの定性的な関係 [10] の活性的なイメージ、沈静的なイメージに因子の両軸を対応させて作成する。文献 [10] によると、図 3.2 の活性的なイメージには硬い、はやい、強いなどの印象が含まれ、沈静的なイメージは柔らかい、ゆっくり、弱いなどの印象が含まれると述べられていることから、本論文では、活動性因子と気品因子に含まれる形容詞の印象を考慮し、活動性因子の「活動的である」、気品因子の「気品がない」側を図 3.2 の活性的なイメージ、「活動的でない」「気品がある」側を沈静的なイメージに対応させ、ファジイルールを作成する。本論文で作成した *TempoVar*, *VelocityVar*, *LengthSign* のファジイルールを表 3.6, 表 3.7 に示す。

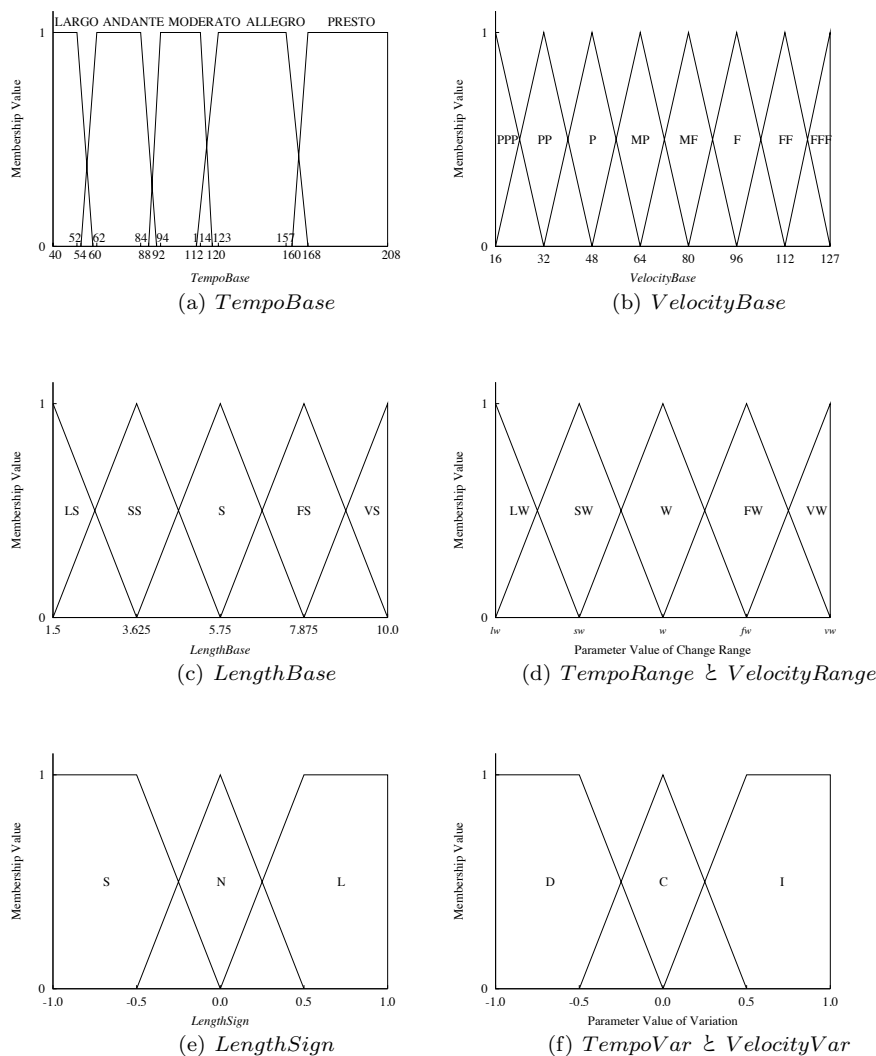


図 3.8: 演奏表情パラメータに対応する後件部メンバーシップ関数

TempoBase, *VelocityBase*, *LengthBase*, *TempoRange*, *VelocityRange* を推論するファジィルールは、感性空間を構築する実験で被験者に提示した演奏表情の因子得点と演奏表情パラメータの重相関係数を用いて作成する。重回帰分析の説明変数を $[-1.0, 1.0]$ で正規化した演奏表情の因子得点とし、目的変数を *TempoBase*, *VelocityBase*, *LengthBase*, *TempoRange*, *VelocityRange* として重相関係数を求める。ここで *LengthBase* は *LengthSign* の値ごとに、*TempoRange* と *VelocityRange* はそれぞれ *TempoVar* と *VelocityVar* の値ごとに重相関係数を求める。表 3.8 に演奏表情の因子得点と演奏表情パラメータの相関の有無を示す。

表 3.8 より、 $LengthSign = 1$ のときの *LengthBase* 以外のパラメータには相関が見られることか

表 3.6: *TempoVar*, *VelocityVar* のファジィルール

	VIE	LIE	N	LE	VE
VI	C	C	D	D	D
LI	C	C	D	D	D
N	I	I	C	D	D
LA	I	I	I	C	C
VA	I	I	I	C	C

表 3.7: *LengthSign* のファジィルール

	VIE	LIE	N	LE	VE
VI	N	N	L	L	L
LI	N	N	L	L	L
N	S	S	N	L	L
LA	S	S	S	N	N
VA	S	S	S	N	N

表 3.8: 相関の有無

	<i>TempoBase</i>	<i>VelocityBase</i>	<i>LengthBase</i>		<i>TempoVar</i>		<i>VelocityVar</i>	
			-1	1	increase	decrease	increase	decrease
相関の有無	あり	あり	あり	なし	あり	あり	あり	あり

ら、重回帰式の説明変数に活動性因子、気品因子の値 -1.0 , -0.5 , 0.0 , 0.5 , 1.0 をそれぞれ代入して求められる予測値の適合度が高いファジィ集合を後件部とすることで、ファジィルールを作成する。本論文で作成した *TempoBase*, *VelocityBase*, *LengthBase*, *TempoVar*, *VelocityVar* を推論するファジィルールを表 3.9 から表 3.15 に示す。因子得点との相関が見られなかった $LengthSign = 1$ のときの *LengthBase* の値は、パラメータが取りうる値の中央値である 5.75 とし、定数として扱う。

表 3.9: *TempoBase* のファジィルール

	VIE	LIE	N	LE	VE
VI	Largo	Andante	Andante	Andante	Andante
LI	Andante	Andante	Andante	Andante	Moderato
N	Moderato	Moderato	Moderato	Moderato	Allegro
LA	Allegro	Allegro	Allegro	Allegro	Allegro
VA	Allegro	Allegro	Allegro	Presto	Presto

表 3.10: *VelocityBase* のファジイルール

	VIE	LIE	N	LE	VE
VI	P	P	P	P	P
LI	MP	MP	P	P	P
N	MP	MP	MP	MP	MP
LA	MF	MF	MF	MP	MP
VA	MF	MF	MF	MF	MP

表 3.11: *LengthBase* のファジイルール

	VIE	LIE	N	LE	VE
VI	S	S	C	C	F
LI	S	S	C	C	F
N	S	S	C	F	F
LA	S	C	C	F	F
VA	S	C	C	F	F

任意のイメージ語の活動性因子の印象値が $a_A = -0.32$, 気品因子の印象値が $a_C = -0.94$ であった場合に以下に示す二つのルールから *LengthSign* の値を求める場合を例にして, 推論手順を説明する.

ファジイルール

ルール 1 : if “活動性因子の印象値 a_A is LI”
 and “気品因子の印象値 a_C is VIE”
 then “音の長短 is N”

ルール 2 : if “活動性因子の印象値 a_A is N”
 and “気品因子の印象値 a_C is VIE”
 then “音の長短 is S”

この二つのルールから図 3.9 に示すように, 後件部のファジィ集合 N の適合度は 0.64, VIE の適合度は 0.36 となる. よって, *LengthSign* は適合度の高いファジィ集合 N から $LengthSign = 0.64$ と推論され, 音の長さは楽譜通りに演奏することになる.

表 3.12: $TempoVar = decrease$ のときの $TempoRange$

	VIE	LIE	N	LE	VE
VI	FW	FW	FW	FW	FW
LI	W	W	W	W	W
N	W	W	W	SW	SW
LA	SW	SW	SW	SW	SW
VA	LW	LW	LW	LW	LW

表 3.13: $TempoVar = increase$ のときの $TempoRange$

	VIE	LE	N	LE	VE
VI	W	SW	SW	LW	LW
LI	W	W	SW	SW	LW
N	W	W	W	SW	SW
LA	FW	W	W	W	SW
VA	FW	FW	W	W	W

表 3.14: $VelocityRange = decrease$ のときの $VelocityRange$

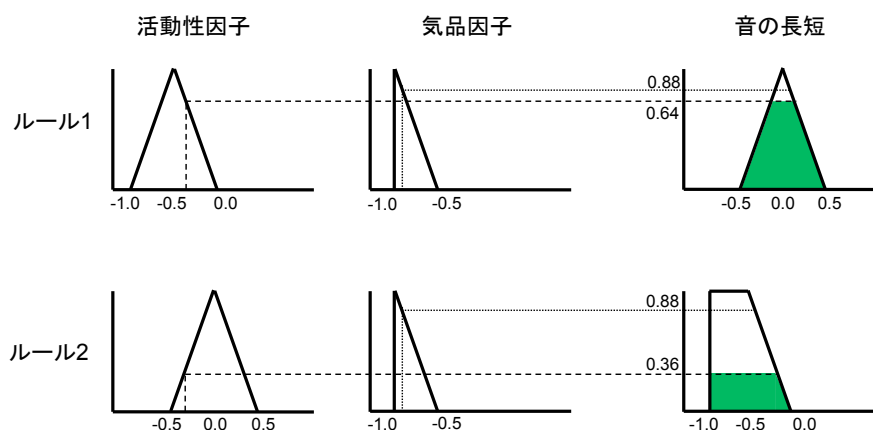
	VIE	LIE	N	LE	VE
VI	SW	W	W	W	FW
LI	SW	SW	W	W	W
N	SW	SW	SW	W	W
LA	SW	SW	SW	SW	W
VA	LW	SW	SW	SW	W

表 3.15: $VelocityRange = increase$ のときの $VelocityRange$

	VIE	LIE	N	LE	VE
VI	W	W	W	SW	SW
LI	W	W	W	SW	SW
N	W	W	W	W	SW
LA	FW	W	W	W	SW
VA	FW	W	W	W	SW

3.5.3 感性空間における演奏表情パラメータ値の分布

3.3 節において構築した感性空間上で、3.5 節で定義したファジィルールによって推論される演奏表情パラメータ $TempoBase$, $TempoRange$, $VelocityBase$, $VelocityRange$, $LengthBase$ が

図 3.9: *LengthSign* の推論例

どのように分布するかを図 3.10 から図 3.16 に示す。演奏表情パラメータ値の分布から、演奏表情の要素の変化によって印象にどのような影響を与えるのかを分析する。

図 3.10 に感性空間上での *TempoBase* の分布を示す。手前の軸が活動性因子、活動性因子の軸に垂直である軸が気品因子、縦軸が *TempoBase* の値を示す。図 3.10 から、演奏全体の基準となるテンポを表すパラメータ *TempoBase* は活動性因子の値が影響しやすいことがわかる。このことから、演奏表情全体の基準となるテンポの値は演奏表情の活動的な印象に影響すると考えられる。

次にテンポの変化を示すパラメータ *TempoVar* が *decrease* のときのテンポの変化幅 *TempoRange* の分布を図 3.11 に、*TempoVar* が *increase* のときのテンポの変化幅 *TempoRange* の分布を図 3.12 に示す。テンポがだんだん遅くなるときには、図 3.11 より、活動性因子の値が影響しやすい。また、テンポがだんだん速くなるときには、図 3.12 より、活動性因子、気品因子の両方の値が影響しやすいと言える。これらのことから、演奏表情のテンポがだんだん遅くなったとき、遅くなる程度が大きいほど活動的ではない印象、小さいほど活動的な印象を与え、テンポがだんだん速くなったときには、速くなる程度が大きいほど活動的かつ気品がない印象、小さいほど活動的でなく、かつ、気品がある印象となる。

図 3.13 に演奏全体の基準となる音量のパラメータを表す *VelocityBase* の分布を示す。図 3.13 より、活動性因子の値が基準となる音量 *VelocityBase* に影響しやすいと考えられる。従って、演奏全体の基準となる音量の大きさによって、演奏表情の活動的な印象に影響を与える。

音量の変化を示すパラメータ *VelocityVar* が *decrease* のときの音量の変化幅 *VelocityRange* の分布を図 3.14 に、*VelocityVar* が *increase* のときの音量の変化幅 *VelocityRange* の分布を図 3.15 に示す。音量がだんだん小さくなる場合、活動性因子、気品因子の両方の値が影響する。図 3.14 から、影響の度合いは活動性因子よりも気品因子のほうが影響しやすいと考えられる。また、

音量がだんだん大きくなる場合には、気品因子が影響する。このことから、演奏表情の音量がだんだん小さくなる時、度合いが小さいほど活動的であり、かつ、気品がない印象を与え、度合いが大きいほど活動的でなく、気品がある印象を与えると考えられる。また、音量がだんだん大きくなる時、度合いが小さいほど活動的でなく、かつ、気品がある印象を与え、度合いが大きいほど活動的であり、気品がない印象を与えると考えられる。

図 3.16 に音を長く演奏するか短く演奏するかを示すパラメータ *LengthSign* が -1 のときの、楽譜からどれだけ音を長く・短くするかを示すパラメータ *LengthBase* の分布を示す。図 3.16 より、楽譜よりも音を短く演奏するときには気品因子の値が影響しやすいと考えられる。これは、音の長さの度合いが大きいほど気品がない印象を与え、度合いが小さいほど気品がある印象を与えると言える。

以上の演奏表情パラメータの変化とそれによって与えられる印象については、文献 [10] で述べられている演奏と印象の関係と近いことから、3.3 節で構築された感性空間、3.5 節で定義したファジールールは、演奏表情と印象の一般的な関係を表していると言える。

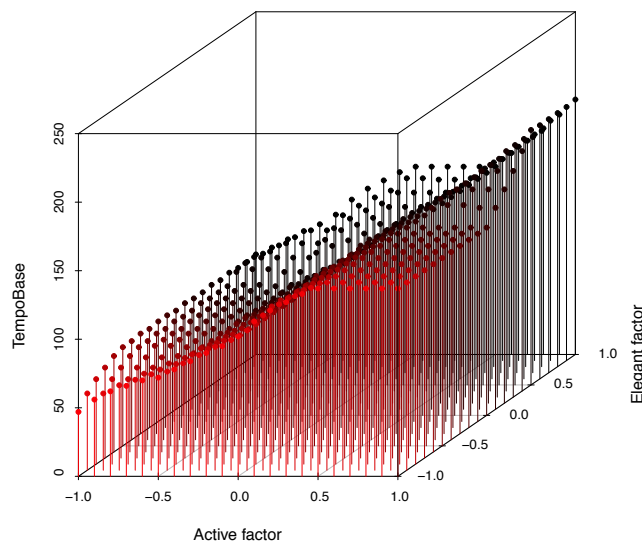


図 3.10: *TempoBase* の分布

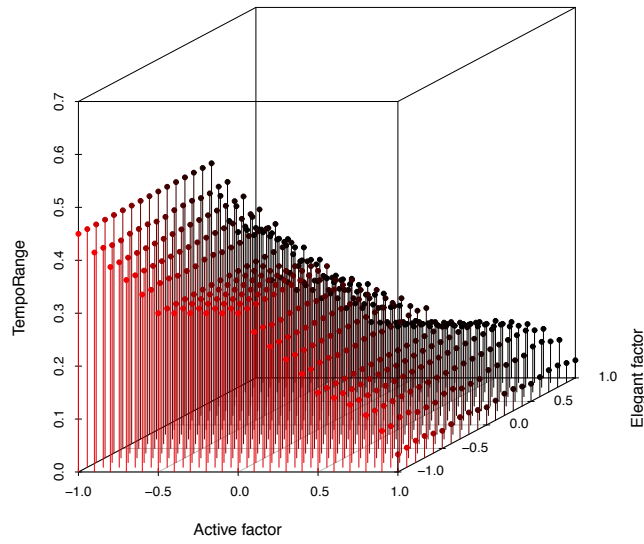


図 3.11: $TempoVar = decrease$ のときの $TempoRange$ の分布

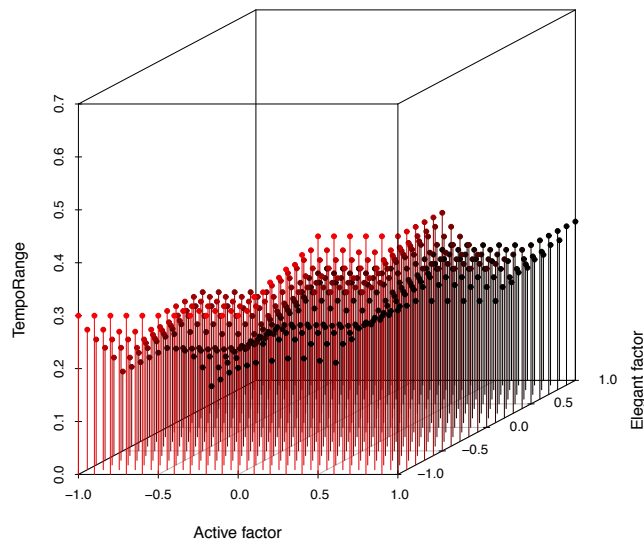


図 3.12: $TempoVar = increase$ のときの $TempoRange$ の分布

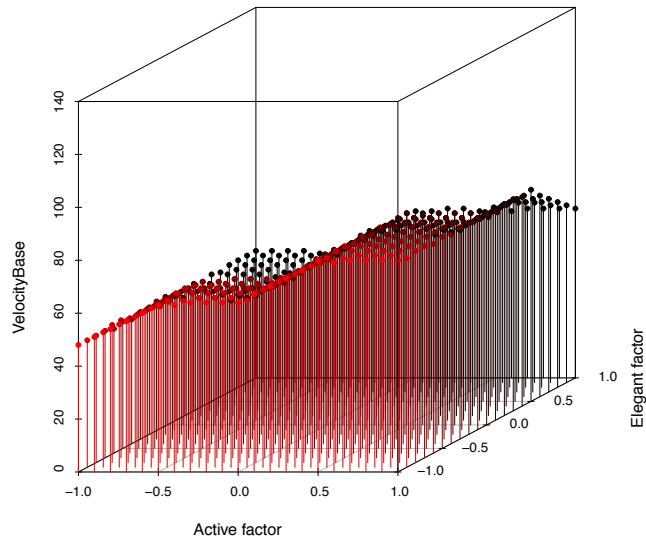


図 3.13: *VelocityBase* の分布

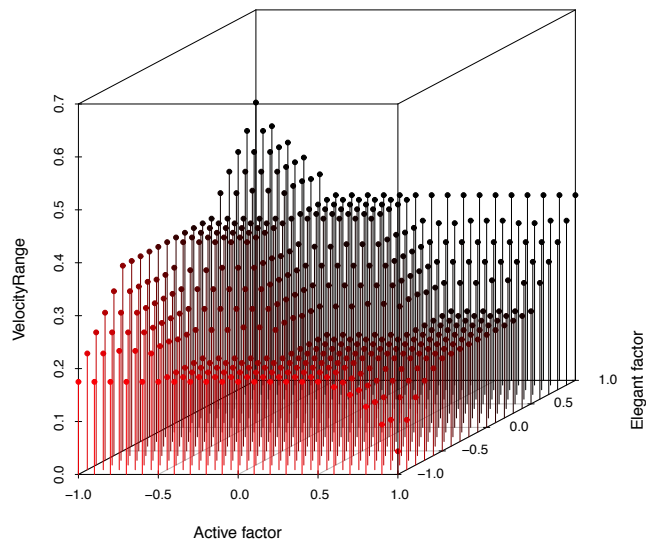


図 3.14: *VelocityVar = decrease* のときの *VelocityRange* の分布

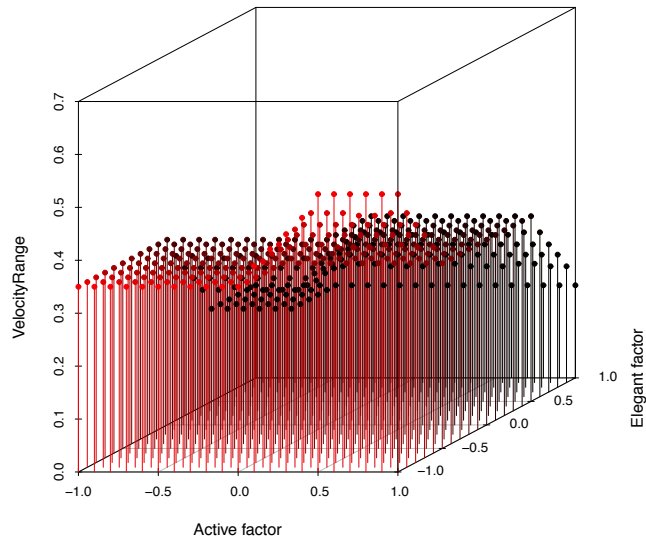


図 3.15: $VelocityVar = increase$ のときの $VelocityRange$ の分布

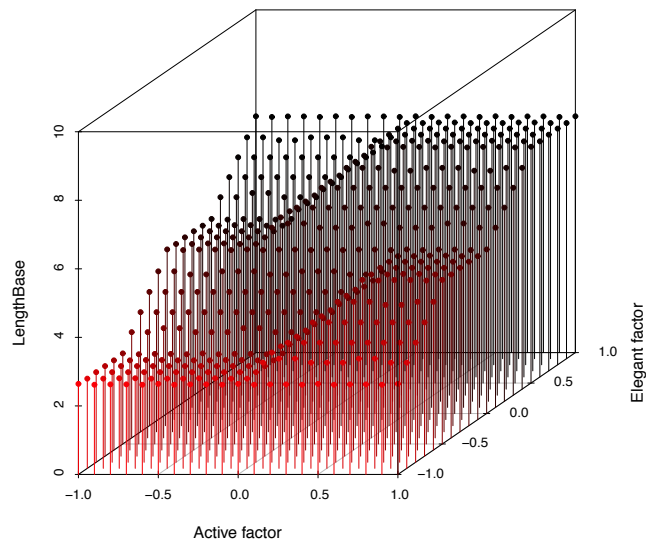


図 3.16: $LengthSign = -1$ のときの $LengthBase$ の分布

3.6 被験者実験

本論文で述べた演奏表情生成手法の有効性を検証するために、2つの被験者実験を行う。ひとつは、演奏表情生成手法を実装したシステムを用いて、被験者が実際に演奏表情を生成し、その演奏表情に印象が反映されているかを評価する実験である。もうひとつは、複数の音楽ジャンルの楽曲を対象にひとつの実験と同様の実験を行い、提案手法で用いている感性空間とファジイルールの印象表現能力を検証する実験である。

3.6.1 生成手法の有効性の検証

実験の概要

被験者は表 3.16 に示すイメージ語をひとつ選択し、演奏表情生成システムを用いて表 3.17 に示す4曲について、それぞれ演奏表情を生成する。そして、生成された演奏表情について、表 3.18 に示す評価項目を図 3.17 に示す7段階の尺度で評価する。なお、イメージ語の選択は、楽曲が持つ印象に影響を受けないようにするため、被験者は楽曲を聞かない状態で行う。実験の被験者は19歳から25歳の男女20名である。

表 3.16: 実験で使用するイメージ語

柔らかい	かたい	暖かい	冷たい
軽い	重い	輝かしい	かよわい
なめらかな	生気のない	健康的な	病的な
叙情的な	現実的な	幻想的な	悲観的な
楽観的な	大胆な	派手な	やぼったい
男性的な	女性的な	繊細な	

表 3.17: 実験で使った楽曲

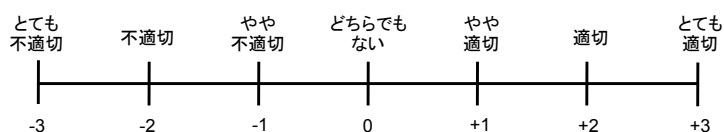
楽曲番号	楽曲名	作曲者名
1	グノシエンヌ 第1番	エリック・サティ
2	エコセーズ ト長調 WoO.23	L.v. ベートーヴェン
3	華麗なる大円舞曲 変ホ長調 Op.18	F.F. ショパン
4	ピアノソナタ第2番 変ロ短調 Op.35 第3楽章	F.F. ショパン

表 3.18: 演奏表情の評価項目

評価項目	
Q1	入力したイメージ語を反映した演奏表情を生成することができましたか？
Q2	演奏全体のテンポは適切でしたか？
Q3	テンポの変化の仕方は適切でしたか？
Q4	テンポの変化の程度は適切でしたか？
Q5	演奏全体の音量は適切でしたか？
Q6	音量の変化の仕方は適切でしたか？
Q7	音量の変化の程度は適切でしたか？
Q8	音の長さの変化（短い・長い）は適切でしたか？
Q9	音の長さ・長さは適切でしたか？



(a) Q1 の評価尺度



(b) Q2 から Q9 の評価尺度

図 3.17: 被験者実験で用いる評価尺度

実験結果と考察

図 3.18 に被験者の評価の平均値と母平均から推定した 95%信頼区間のグラフを示す。評価項目 Q1 を含めた全ての項目について、評価の平均値が全て 0.5 以上であり、肯定的な評価が得られている。したがって、本論文で述べた演奏表情生成手法により、演奏表情に被験者の印象をほぼ反映できていることがわかる。

表 3.19 に各楽曲に対する全ての被験者の評価結果と各評価項目の評価の平均値と 95%信頼区間を示す。なお、被験者 H, 被験者 I, 被験者 K の欄に書かれている“-”は、それぞれ、評価のし忘れ、生成システムの操作ミスにより演奏表情が生成できなかったことを示す。表 3.19 から、被験者 D, F, I, K は、本論文で述べる手法で生成された演奏表情に対して否定的な評価をしていることがわかる。本手法で用いている感性空間は多くの被験者のデータから構築されており、ファジィ

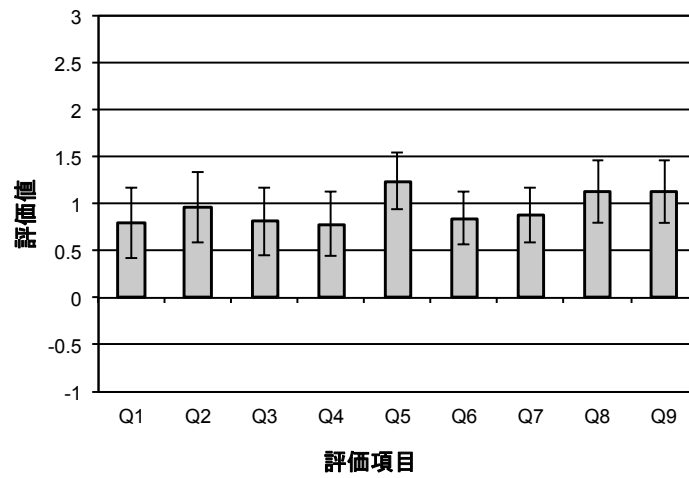


図 3.18: 評価項目に対する被験者の評価の平均値と 95%信頼区間

ルールは重回帰分析により求められた演奏表情の要素とイメージの関係に基いて求められている。そのため、感性空間とファジィルールは形容詞、形容動詞で表される印象に対するユーザ自身の主観を必ずしも反映できるとは限らないと言える。従って、生成された演奏表情について全ての被験者が肯定的な評価をするとは限らないと考えられる。

第3章 ユーザの印象を反映した演奏表情の生成

表 3.19: 評価項目に対する全被験者の評価値

被験者	楽曲番号	イメージ語	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
A	1	派手な	2	1	2	2	1	2	2	2	1
	2	大胆な	2	3	2	2	2	1	1	3	2
	3	幻想的な	1	-1	1	1	2	1	1	2	1
	4	暖かい	1	2	2	2	2	1	1	2	2
B	1	かよわい	2	2	2	2	3	3	3	2	2
	2	悲観的な	1	1	3	3	-1	0	0	0	0
	3	病的な	2	3	2	2	1	0	0	0	0
	4	大胆な	3	3	2	2	3	2	2	0	0
C	1	軽い	1	0	1	2	2	2	2	1	-1
	2	派手な	3	3	2	-1	2	2	1	3	3
	3	かたい	0	-1	0	0	2	2	2	2	3
	4	暖かい	1	2	1	2	3	3	2	1	2
D	1	派手な	-1	2	1	1	-1	-1	-1	1	1
	2	病的な	-1	2	2	1	0	-1	-1	-1	-1
	3	輝かしい	1	1	2	2	2	1	1	2	2
	4	楽観的な	1	-1	-2	-1	2	2	2	1	1
E	1	冷たい	3	3	2	1	3	2	2	2	3
	2	病的な	2	2	1	1	1	0	0	1	2
	3	幻想的な	-1	-2	1	0	1	0	-1	0	1
	4	輝かしい	1	1	-2	-2	2	0	0	0	1
F	1	悲観的な	-1	-1	1	-3	0	1	1	0	1
	2	輝かしい	-2	-2	-1	-1	2	-1	-2	2	2
	3	病的な	1	1	-2	-1	2	-1	0	2	2
	4	幻想的な	1	-1	-2	1	2	1	2	0	0
G	1	幻想的な	0	-1	1	2	2	3	2	0	2
	2	派手な	2	2	3	2	-1	1	2	1	1
	3	大胆な	2	3	2	-1	-1	2	2	3	3
	4	柔らかい	2	2	2	3	2	1	2	2	3
H	1	病的な	-	0	1	0	1	1	1	0	0
	2	男性的な	-	-1	1	1	2	2	2	2	2
	3	女性的な	-	3	2	3	2	3	2	2	2
	4	楽観的な	-	-2	-2	-2	-1	0	-1	-1	-1
I	1	派手な	-1	-2	0	0	-2	0	1	2	1
	2	健康的な	-	2	2	2	2	0	0	2	2
	3	大胆な	-2	0	-3	-3	-1	-3	-3	-2	-2
	4	病的な	2	2	2	2	2	0	0	3	2
J	1	幻想的な	3	2	3	1	2	2	2	3	2
	2	女性的な	2	3	-1	-1	3	3	3	2	3
	3	暖かい	-2	-2	-2	0	0	0	0	-1	-1
	4	生気のない	1	2	1	2	-1	0	1	2	2
K	1	女性的な	-1	-2	-2	-1	-1	-1	-2	-3	-3
	2	幻想的な	-3	-3	-3	-3	3	3	3	-3	-3
	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	大胆な	-3	-2	-2	-2	-3	-2	-2	-3	-3
L	1	暖かい	1	1	0	0	2	2	2	2	1
	2	なめらかな	1	0	-1	0	2	2	1	2	2
	3	かたい	2	2	2	2	1	2	1	2	2
	4	派手な	1	2	2	2	2	1	1	1	1
M	1	やぼったい	2	3	3	2	1	1	1	3	3
	2	男性的な	1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1
	3	暖かい	2	2	2	2	2	2	2	3	2
	4	かたい	2	3	2	2	1	1	1	3	2
N	1	派手な	-2	2	2	2	2	-1	2	2	1
	2	かたい	-2	-1	-1	2	-2	-1	-1	1	1
	3	重い	1	1	2	-1	1	2	2	1	1
	4	輝かしい	0	1	2	2	3	2	2	2	2
O	1	なめらかな	2	3	2	2	2	0	0	3	3
	2	大胆な	1	2	3	2	1	0	0	1	1
	3	幻想的な	0	-1	1	1	2	2	2	1	-1
	4	冷たい	3	3	1	1	3	3	3	2	2
P	1	派手な	2	1	0	0	2	1	1	0	1
	2	暖かい	2	1	1	1	1	1	1	2	1
	3	重い	2	2	1	1	1	0	0	2	2
	4	輝かしい	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
Q	1	楽観的な	-2	-1	-2	-1	1	-1	0	1	1
	2	楽観的な	1	2	1	1	1	1	1	0	0
	3	輝かしい	2	2	2	2	1	1	1	2	2
	4	輝かしい	1	2	1	1	1	1	1	2	2
R	1	輝かしい	-1	-2	0	0	2	1	1	-1	0
	2	重い	1	2	1	2	2	0	0	2	2
	3	健康的な	3	3	2	2	3	2	3	3	3
	4	病的な	3	3	3	3	1	2	2	3	3
S	1	かたい	0	1	0	2	2	1	2	1	3
	2	軽い	2	1	2	-1	1	-1	2	1	2
	3	派手な	2	2	2	3	2	1	2	1	-1
	4	重い	3	2	0	0	2	1	0	1	2
T	1	幻想的な	-2	-1	-1	-1	1	1	-1	-2	-3
	2	男性的な	-2	0	-1	0	1	1	0	0	0
	3	かたい	2	2	3	2	1	0	0	2	2
	4	生気のない	1	2	0	0	2	0	0	0	1

3.6.2 感性空間とファジィルールの印象表現能力の検証

実験の概要

この実験では、表 3.20 に示す、クラシック、ジャズ、ポップス、演歌の 4 つの音楽ジャンルの楽曲に対して、3.6.1 節で述べた実験と同様に、被験者が演奏表情生成システムを用いて演奏表情を生成し、印象を反映しているかを評価する。実験で対象とする音楽ジャンルは、音楽ジャンルデータベースに関する文献 [32] を参考に選出する。また、各ジャンルの楽曲は、調性になるべく重複しないように選出する。被験者は 4 つの音楽ジャンルの楽曲それぞれについて、楽曲を聞いた後、表 3.16 に示すイメージ語から 1 語を選択して、演奏表情を生成する。そして、生成された演奏表情について、表 3.18 に示す評価項目を図 3.17 の尺度で評価する。被験者は 19 歳から 29 歳の男女 15 名で、1 つの音楽ジャンルにつき、12 名が実験を行う。

表 3.20: 実験で使用する音楽ジャンルと楽曲

No.	音楽ジャンル	Title	調	拍子
C-1	クラシック	エコセーズ ト長調 WoO.23	ト長調	四分の二拍子
C-2		グノシエンヌ 第 1 番	ヘ短調	無拍子
C-3		華麗なる大門舞曲 変ホ長調 Op.18	変ホ長調	四分の三拍子
C-4		ピアノソナタ第 2 番 変ロ短調 Op.35 第 3 楽章	変ロ短調	四分の四拍子
Ja-1	ジャズ	Autumn Leaves	ト短調	四分の四拍子
Ja-2		In a Sentimental Mood	ニ短調	四分の四拍子
Ja-3		It Don't Mean a Thing	ト短調	四分の四拍子
Ja-4		Take the 'A' Train	ハ長調	四分の四拍子
JPOP-1	ポップス	アジアの純真	ホ長調	四分の四拍子
JPOP-2		硝子の少年	ホ短調	四分の四拍子
JPOP-3		ロード	ト長調	四分の四拍子
JPOP-4		ロビンソン	イ長調	四分の四拍子
E-1	演歌	天城越え	ロ短調	四分の四拍子
E-2		人生いろいろ	ハ短調	四分の四拍子
E-3		川の流れるように	ニ長調	四分の四拍子
E-4		雪國	ロ短調	四分の四拍子

実験結果と考察

図 3.19 に、4 つの音楽ジャンルの楽曲を対象に生成した演奏表情に対する各評価項目の評価結果を示す。グラフ中のバーは全被験者の評価の平均値を示し、黒線で示した区間は被験者の評価の母平均から推定された 95%信頼区間を示す。また、本実験における被験者の評価の詳細を付録 A の表 A.1 から表 A.4 に示す。

評価結果のグラフから 95%信頼区間の幅がジャンルによって異なることがわかる。これは、3.6.1 節で述べた理由と同様に、感性空間は多くの被験者のデータを用いて構築されており、ファジィルールは重回帰分析により求められた演奏表情の要素とイメージの関係に基いて求められたものであるため、用いた感性空間とファジィルールは平均的なモデルであることによる。したがって、

生成された演奏表情に対する評価は被験者の主観に依存する。

3.6.1項の実験の被験者と本実験の被験者は、クラシックの楽曲の場合には10名、ジャズ、ポップス、演歌の楽曲の場合には11名が重複しているが、実験を実施した時期は1ヶ月以上の期間が空いていることから、演奏表情生成システムに対する慣れの影響は少ないと考えられる。

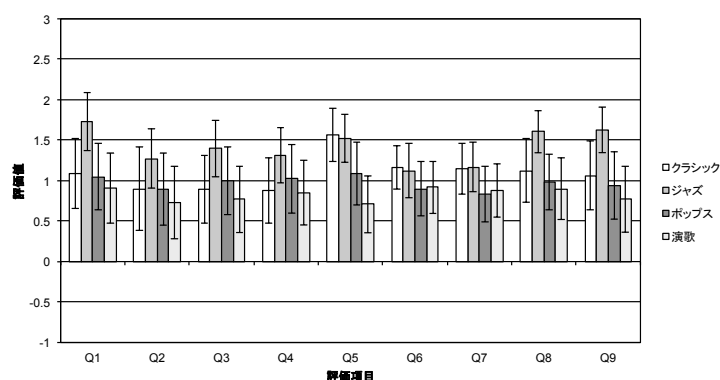


図 3.19: 評価項目に対する4ジャンルの評価結果

各音楽ジャンルごとに実験の結果を見ると、まず、クラシックの楽曲では、評価項目 Q1 に対する評価の平均値とその95%信頼区間から、イメージ語を反映した演奏表情が生成できたかどうかについて、肯定的な評価を得ていることがわかる。また、図 3.19 のグラフから、テンポ、音量、音の長さに対しても肯定的な評価が得られ、音量と音の長さについては95%信頼区間の下限値が0.5以上であり、イメージ語を反映できていると言える。

次に、ジャズの楽曲での結果を見ると、評価項目 Q1 に対する評価の平均値と95%信頼区間から、イメージ語を反映した演奏表情が生成できていたことがわかる。テンポ、音量、音の長さに関しても、生成された演奏表情に対して、高い評価が得られた。ジャズの楽曲はメロディとコード進行に従って即興で演奏するのが一般的であるため、どのような演奏をするかは演奏者に委ねられる音楽である。そのため、ジャズの楽曲を対象とした演奏表情には印象が反映されやすいと考えられる。ジャズの場合の評価結果は、他の音楽ジャンルよりも高い評価であった。

ポップスの楽曲の場合、評価項目 Q1 に対する評価の平均値と95%信頼区間から、生成された演奏表情に印象が反映されているという評価が肯定的であることがわかる。ポップスの場合の演奏表情はクラシックの場合の演奏表情と同様の評価結果であった。また、図 3.19 から、テンポ、音量、音の長さに対しても肯定的な評価を得ている。テンポと音の長さに対する評価はクラシックの場合と同程度であった。

演歌の楽曲の場合、評価項目 Q1 に対する評価の平均値と95%信頼区間から、演奏表情に印象が反映されているかどうかについて、肯定的な評価を得ていることがわかる。また、図 3.19 から、音量と音の長さについても肯定的な評価であることもわかる。しかし、演歌の楽曲では、95%信頼

区間の下限値は他のジャンルよりも下回っている。

図 3.20 に、演歌の場合の演奏表情に対する被験者の評価の平均値を示す。楽曲 E-1 に対する評価項目 Q3 の評価は 0 に近い値である。楽曲 E-1 の評価項目 Q2, Q3, Q4 に対する評価結果は、演歌のジャンルの他の楽曲よりも低い値となっている。図 3.21 に楽曲 E-1 を除いた 3 曲での被験者の評価の平均値を示す。図 3.20 と図 3.21 を比較すると、楽曲 E-1 の演奏表情に対する評価が、演歌の楽曲全ての場合の評価に影響していることがわかる。実験に用いた演歌の楽曲の音楽構造がこの結果に影響していると考えられるため、音楽構造について詳しく見ていく。表 3.21 に実験に用いた 4 つの音楽ジャンルの楽曲に含まれる休符の種類と楽譜上で現れる割合を示す。休符の割合は、実験に用いた楽曲のフレーズ中に含まれる全ての音符と休符の比率から求めたものである。表 3.21 から、演歌の楽曲 E-1 のみに 16 分休符が含まれていることがわかる。さらに、図 3.22 中の四角で囲まれた部分に示すように、楽曲 E-1 では、16 分休符が拍の頭にあることがわかる。文献 [6] によると、拍の頭にある短い休符は、その休符のあとにある音符の印象を強める効果があることから、楽曲 E-1 は演歌のジャンルの他の楽曲よりも強い印象を持っていると考えられる。そのため、楽曲 E-1 に対して生成された演奏表情は、イメージ語とは違う印象を被験者に与えていたと考えられる。

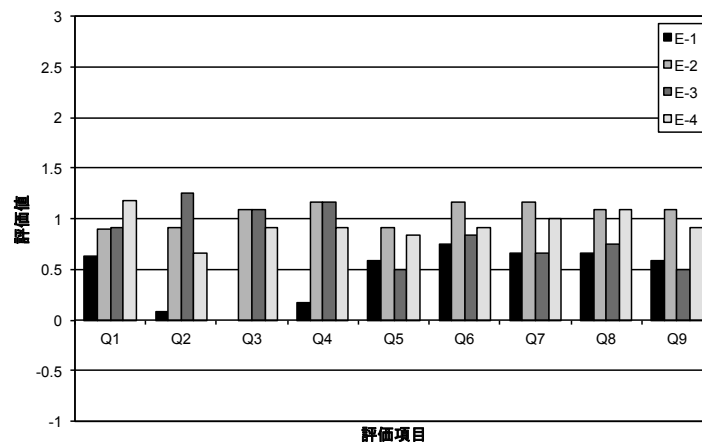


図 3.20: 演歌の場合のみの評価結果

本論文では、感性空間とファジィルールはクラシックの楽曲を対象にした演奏表情から構築されており、上記の実験の結果から、提案した演奏表情生成手法はクラシックの楽曲だけでなく、ジャズ、ポップス、演歌といったクラシック以外の音楽ジャンルの楽曲に対しても適用可能であることを示した。しかし、いくつかの演奏表情では、楽曲の音楽構造によっては必ずしもイメージ語を反映できるとは限らないこともわかった。

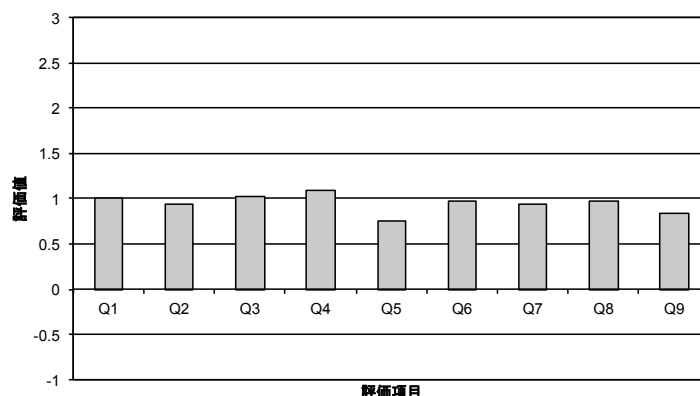


図 3.21: 楽曲 E-1 を除いた場合の評価の平均値



図 3.22: 楽曲 E-1 のメロディ部分

3.7 まとめ

3章では、印象と演奏表情の関係のモデル化として、感性空間の構築とファジィルールの作成を行い、それらを用いた演奏表情生成の手法を提案した。そして、被験者実験によって、感性空間とファジィルールによって印象を反映する演奏表情が生成できるかの検証を行った。感性空間の構築とファジィルールの作成のために、SD法による演奏表情の印象評価実験を行い、因子分析の結果から2次元の感性空間を構築した。そして、この実験と因子分析の結果を用いて、感性空間の座標値から演奏表情パラメータを推論するためのファジィルールを作成した。作成したファジィルールにより、感性空間上でパラメータがどのような分布となるかを調べたところ、文献[10]で述べられている演奏と印象の関係と同様の特徴が見られ、また、感性空間とファジィルールを用いた演奏表情生成手法についての被験者実験の結果から、形容詞、形容動詞で表される印象を演奏表情に反映できることもわかった。このことから、構築した感性空間とファジィルールは印象と演奏表情の関係を適切にあらわしていると言える。一方で、被験者実験の結果から、提案した演奏表情生成手法では個々人の感性を反映した演奏表情は生成できないこともわかった。これは、感性空間とファ

表 3.21: 実験に用いた楽曲の休符の割合

楽曲番号	全休符	2分休符	4分休符	8分休符	16分休符	3連 4分休符	3連 8分休符
C-1	0.0	0.0	1.7	1.7	0.0	0.0	0.0
C-2	0.0	0.0	8.1	0.0	0.0	0.0	0.0
C-3	0.0	0.0	3.1	0.0	0.0	0.0	0.0
C-4	0.0	0.0	1.9	0.0	0.0	0.0	0.0
Ja-1	0.0	4.3	10.9	10.9	0.0	0.0	0.0
Ja-2	0.0	1.3	7.9	2.6	0.0	0.0	0.0
Ja-3	17.1	12.2	4.9	2.4	0.0	2.4	7.3
Ja-4	10.3	0.0	0.0	0.0	0.0	5.1	0.0
JPOP-1	0.0	0.0	5.4	5.4	0.0	0.0	0.0
JPOP-2	0.0	1.9	0.0	13.0	0.0	0.0	0.0
JPOP-3	0.0	0.0	6.8	2.3	0.0	0.0	0.0
JPOP-4	0.0	3.2	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0
E-1	0.0	0.0	6.3	8.9	3.8	0.0	0.0
E-2	1.3	5.1	5.1	7.6	0.0	0.0	0.0
E-3	0.0	4.7	1.6	6.3	0.0	0.0	0.0
E-4	1.6	0.0	9.7	0.0	0.0	0.0	3.2

ジールールがあくまで一般的な関係を表しているためであり、全ての人が満足できる演奏表情と印象の関係を表せるとは限らないと言える。

第4章 対話による修正を取り入れた演奏表情の生成

4.1 はじめに

3章で述べた感性空間とファジィルールは印象と演奏表情の関係を適切に表したモデルであることが、感性空間上での演奏表情パラメータの分布と被験者実験の結果からわかったが、感性空間とファジィルールはあくまで一般的な関係を表したにすぎない。そのため、それらを用いて実装した演奏表情生成手法では、全ての人が満足する演奏表情を生成することはできないこともわかった。4章では、感性空間上で個々人による演奏表情とそれが表す印象を説明可能にすることを考慮した演奏表情生成の修正手法を提案する。そして、提案した修正手法が個々人の感性を反映した演奏表情を生成することができるか、感性空間上で個々人の感性の違いがどのように現れるかを被験者実験により確認する。

4.2 修正手法の概要

3章で述べた演奏表情生成手法によって生成、提示された演奏表情にユーザが満足できなかった場合、演奏表情の修正を行う。演奏表情の修正の流れを図4.1に示す。ユーザは提示された演奏表情に満足できない場合に、どのくらい演奏表情の印象を修正したいかを「少し元気な」「だいぶ激しくない」というように、程度を表す副詞と、はじめに入力したイメージ語の肯定形もしくは否定形を組み合わせ入力する。修正時に用いる副詞は、修正前の演奏表情から相対的に表現されることを考慮し、本論文では、比較する際に用いられる程度副詞[33]の中から「少し」「もっと」「だいぶ」を用いる。

4.3 演奏表情の比較実験

演奏表情の修正手法を検討するために、感性空間上で印象値が異なる2つの演奏表情の印象を相対的に評価する比較実験を行う。

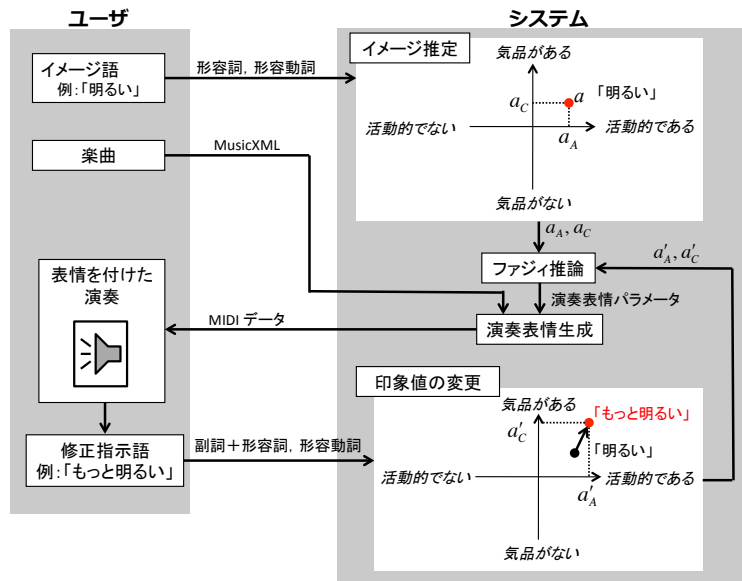


図 4.1: 修正を含めた演奏表情生成の概要

4.3.1 比較実験の概要

比較実験では、イメージ語を反映した演奏表情 A と、演奏表情 A とは異なる印象値から生成した演奏表情 B の 2 つの演奏表情を被験者に提示する。被験者は、演奏表情 A の印象に対して演奏表情 B の印象はどのくらい差があると感じるかを図 4.2 に示す尺度を用いて評価する。例えば、イメージ語「明るい」が反映されている演奏表情 A と、異なる印象値から生成された演奏表情 B を比較し、B が A より明るいと感じるか、明るくないと感じるかを評価する。演奏表情 A に反映させるイメージ語は表 4.1 に示す 23 語である。イメージ語 1 語につき、演奏表情 B を 40 曲用意する。演奏表情 B を生成するための印象値はランダムに決定される。比較実験の被験者は 20 代の大学生、大学院生 7 名である。



図 4.2: 比較実験の評価尺度

表 4.1: 実験で使ったイメージ語

柔らかい	かたい	暖かい	冷たい
軽い	重い	輝かしい	かよわい
なめらかな	生気のない	健康的な	病的な
叙情的な	現実的な	幻想的な	悲観的な
楽観的な	大胆な	派手な	やぼったい
男性的な	女性的な	繊細な	

4.3.2 比較実験の結果

本論文では、3章の図 3.7 に示したように感性空間の各因子に対応するファジィ集合が定義されている。演奏表情 A と演奏表情 B の印象値が、各因子のどのファジィ集合に属するかを求め、副詞ごとに二つの演奏表情の印象値が属するファジィ集合間の距離の割合を算出したものを図 4.3 に示す。グラフ中の数値 0 は演奏表情 A と演奏表情 B の印象値が同じ集合に属していることを示し、1 から 4 は演奏表情 A の印象値から見て、演奏表情 B の印象値がいくつ隣の集合に属しているかを示す。評価値の副詞の程度が大きくなるにつれて、演奏表情 B の印象値は、演奏表情 A の印象値が属する集合から離れた集合に属している割合が増え、演奏表情 A の集合に近い集合に属している割合が減少していることから、2つの演奏表情の印象値の距離が大きくなると、演奏表情が与える印象の程度の差も大きくなると考えられる。

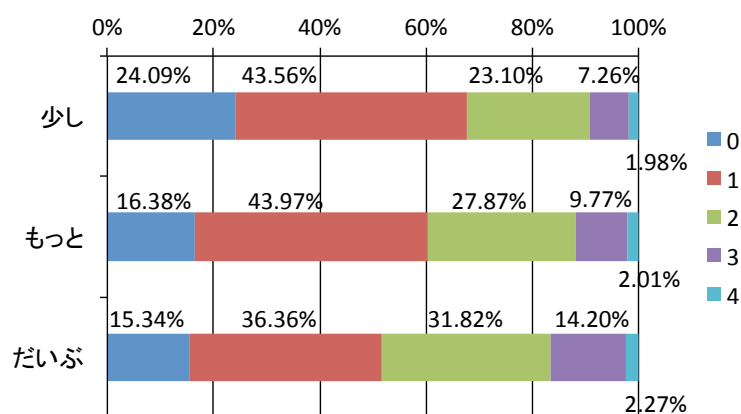


図 4.3: 程度副詞ごとの演奏表情間の距離の割合

図 4.4 にイメージ語「軽い」と「幻想的な」の場合の演奏表情 B の評価結果を感性空間上にプロットしたグラフを示す。グラフ中の●印は演奏表情 A の印象値であり、その他の記号は評価に

応じた演奏表情 B の印象値である。グラフの上を示した評価尺度は演奏表情 B に対する尺度であり、グラフ中の記号と対応する。また、×印は演奏表情 B がそのイメージ語に該当しないと評価されたことを示す。図 4.4(a) では第 1 象限、第 4 象限の印象値から生成された演奏表情 B が、演奏表情 A よりも「軽い」という印象を感じると評価されているが、図 4.4(b) では第 1 象限、第 4 象限の印象値から生成された演奏表情 B は、演奏表情 A よりも「幻想的な」とは反対の否定的な印象を感じると評価されていることがわかる。他のイメージ語についても「軽い」「幻想的な」と同様に、演奏表情 A の印象値から見た演奏表情 B の印象値の方向と印象の感じ方はイメージ語によって異なっており、共通性が見られないという結果が得られている。

比較実験の分析結果から、感性空間上での二つの演奏表情の印象値間の距離には程度副詞との関連が見られるが、二つの演奏表情の印象値間の方向性には印象の強弱との関連は見られないことがわかった。

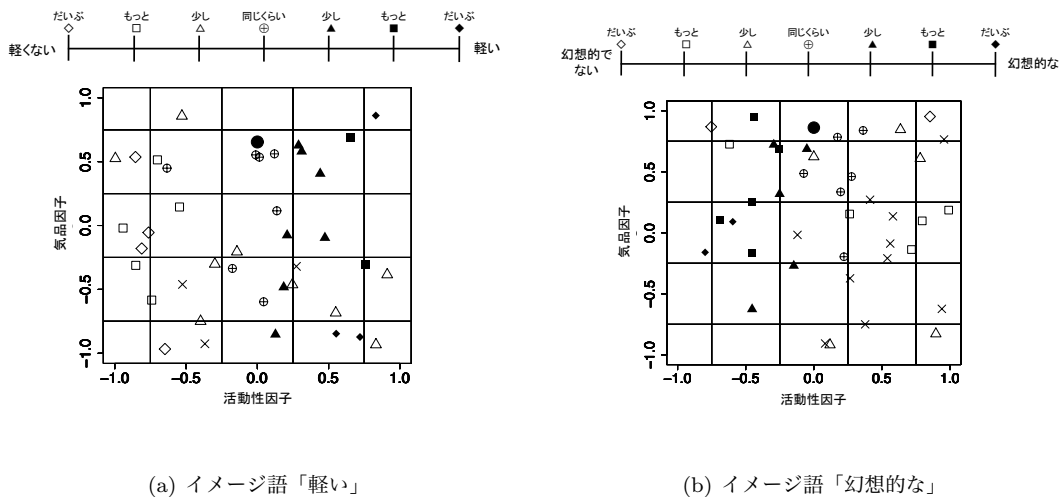


図 4.4: 比較実験で提示した演奏表情の座標とその評価結果

4.4 演奏表情の修正

修正指示語の程度副詞に応じて、感性空間上で印象がどの程度離れているかは修正前の演奏表情の印象値から求められるが、ユーザが望む演奏表情が感性空間上でどの方向にあるかを推測することは難しいことが比較実験の結果からわかった。そのため、ユーザが望む演奏表情に修正するためには、修正した演奏表情が満足できるものであるかどうかをユーザが評価する必要がある。本論文では、比較実験の結果より、演奏表情の印象値と程度副詞に関連が見られることから、ユーザから入力された修正指示語の程度副詞を演奏表情の修正に取り入れることを考える。また、ユーザが満

足する演奏表情の印象値が感性空間上のどの方向にあるかはイメージ語によることと、2章で述べた演奏表情生成手法ではイメージ語は形容詞または形容動詞であれば自由に入力できることから、演奏表情に対するユーザからの評価を取り入れることで、どのようなイメージ語が入力された場合にも対応できると考えられる。

4.4.1 Interactive Particle Swarm Optimization

本論文では演奏表情の修正に、群知能の一種である Particle Swarm Optimization [34](以下, PSO とする) の評価関数を人間の評価に置き換えた Interactive Particle Swarm Optimization [35](以下, IPSO とする) を用いる。

IPSO では、位置と速度を持つ個体群が解空間を移動し、最適な位置を探索する。各個体が持つ位置と速度は式 (4.1), 式 (4.2) で計算される。

$$\mathbf{x}_j(t+1) = \mathbf{x}_j(t) + \mathbf{v}_j(t) \quad (4.1)$$

$$\mathbf{v}_j(t+1) = w(t)\mathbf{v}_j(t) + c_1r_1(\mathbf{p}_j(t) - \mathbf{x}_j(t)) + c_2r_2(\mathbf{g}(t) - \mathbf{x}_j(t)) \quad (4.2)$$

\mathbf{x}_j は個体 j の位置, \mathbf{v}_j はその速度を表す。式 (4.2) の \mathbf{p}_j は個体 j が t 世代目までで最もよい評価を得た位置, \mathbf{g} は個体群の中で最もよい評価を得た位置である。 r_1 と r_2 はそれぞれ $[0.0, 1.0]$ の乱数, w は慣性係数である。 c_1, c_2 は学習係数であり, c_1 は各個体が最もよい評価を得た位置に近づく重み, c_2 は個体群の中で最もよい評価を得た位置に近づく重みを表す。 IPSO では一般的に係数 w, c_1, c_2 の値は任意に決定されるが, 本論文では, ユーザが入力する修正指示語や, ユーザによる演奏表情の評価を w, c_1, c_2 と対応付ける。

4.4.2 修正手法におけるパラメータ設定

本論文では, IPSO における個体が演奏表情に対応し, 個体の位置 \mathbf{x}_j が演奏表情 j の印象値を表す。任意に決められるパラメータ w, c_1, c_2 のうち, 慣性係数 w を以下のように演奏表情ごとに設定する。

$$w_j(t) = |(\mathbf{h}_j(t) - \mathbf{l}_j(t)) \times adv| \quad (4.3)$$

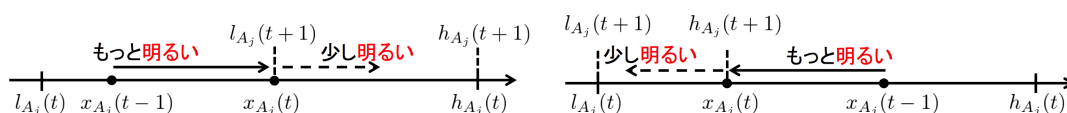
ここで, $\mathbf{h}_j, \mathbf{l}_j$ はそれぞれ, t 世代目の演奏表情 j の探索範囲の上限値と下限値であり, 以下の式で表される。

$$\mathbf{h}_j(t) = \begin{pmatrix} h_{A_j}(t) \\ h_{C_j}(t) \end{pmatrix} \quad (4.4)$$

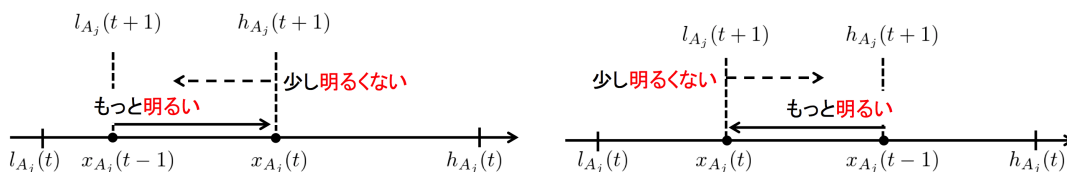
$$\mathbf{l}_j(t) = \begin{pmatrix} l_{A_j}(t) \\ l_{C_j}(t) \end{pmatrix} \quad (4.5)$$

$h_{A_j}(t)$, $l_{A_j}(t)$ は活動性因子における演奏表情 j の探索範囲の上限値と下限値を示し, $h_{C_j}(t)$, $l_{C_j}(t)$ は気品因子における演奏表情 j の探索範囲の上限値と下限値を示す. また, adv はユーザが入力する修正指示語の副詞に対応した値であり, 4.3 節の比較実験の結果より, 「少し」の場合は 0.25, 「もっと」の場合は 0.5, 「だいぶ」の場合は 0.75 とする.

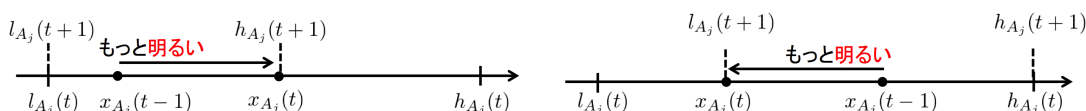
修正指示語「もっと明るい」から生成された t 世代目の演奏表情があるとき, $(t+1)$ 世代目の演奏表情の印象値を求めるための, 探索範囲の上限 $h_j(t+1)$ と下限 $l_j(t+1)$ を決定する手順を以下に示す. また, 図 4.5 に活動性因子の軸を例として, 以下の手順を施した場合の感性空間の探索範囲の推移を示す. 図 4.5 の l_{A_j} , h_{A_j} は活動性因子軸についての探索範囲の下限値と上限値を表し, x_{A_j} は活動性因子軸についての印象値を表す. なお, 探索範囲の上限 $h_j(t+1)$ と下限 $l_j(t+1)$ は感性空間の気品因子の軸についても同様の手順で決定される.



(a) 評価が肯定的で, 前世代と形容詞が同じ, かつ, 印象値が大きい場合
(b) 評価が肯定的で, 前世代と形容詞が同じ, かつ, 印象値が小さい場合



(c) 評価が肯定的で, 前世代と形容詞が異なり, 印象値が大きい場合
(d) 評価が肯定的で, 前世代と形容詞が異なり, 印象値が小さい場合



(e) 評価が否定的で, 前世代より印象値が大きい場合
(f) 評価が否定的で, 前世代より印象値が小さい場合

図 4.5: 感性空間の活動性因子の軸における探索範囲の変化

- t 世代目の j 番目の演奏表情に対するユーザの評価が肯定的だった場合
 - t 世代目の修正指示語の形容詞が $(t-1)$ 世代目と同じ: 「少し・もっと・だいふ」 + 「明るい」
 - t 世代目の演奏表情の印象値が, $(t-1)$ 世代目の演奏表情の印象値より大きい (図 4.5(a))
 - $l_j(t+1) = x_j(t)$
 - $h_j(t+1) = h_j(t)$
 - t 世代目の演奏表情の印象値が, $(t-1)$ 世代目の演奏表情の印象値より小さい (図 4.5(b))
 - $l_j(t+1) = l_j(t)$
 - $h_j(t+1) = x_j(t)$
 - t 世代目の修正指示語の形容詞が $(t-1)$ 世代目と異なる: 「少し・もっと・だいふ」 + 「明るくない」
 - t 世代目の演奏表情の印象値が, $(t-1)$ 世代目の演奏表情の印象値より大きい (図 4.5(c))
 - $l_j(t+1) = x_j(t-1)$
 - $h_j(t+1) = x_j(t)$
 - t 世代目の演奏表情の印象値が, $(t-1)$ 世代目の演奏表情の印象値より小さい (図 4.5(d))
 - $l_j(t+1) = x_j(t)$
 - $h_j(t+1) = x_j(t-1)$
- t 世代目の j 番目の演奏表情に対するユーザの評価が否定的だった場合
 - t 世代目の演奏表情の印象値が, $(t-1)$ 世代目の演奏表情の印象値より大きい (図 4.5(e))
 - $l_j(t+1) = l_j(t)$
 - $h_j(t+1) = x_j(t)$
 - t 世代目の演奏表情の印象値が, $(t-1)$ 世代目の演奏表情の印象値より小さい (図 4.5(f))
 - $l_j(t+1) = x_j(t)$
 - $h_j(t+1) = h_j(t)$

肯定的な評価を得た t 世代目の演奏表情に対する修正指示語の形容詞が $(t-1)$ 世代目の形容詞と同じであった場合, $(t-1)$ 世代目の印象値から t 世代目の印象値への方向と同じ向きに $(t+1)$ 世代目の印象値があると, 図 4.5(a), 図 4.5(b) に示される探索範囲が求められる. また, t 世代

目の演奏表情に対する修正指示語の形容詞が $(t-1)$ 世代目とは異なった場合、 $(t-1)$ 世代目の印象値から t 世代目の印象値への方向とは逆の向きに $(t+1)$ 世代目の印象値があるとし、図 4.5(c)、図 4.5(d) に示される探索範囲が求められる。 t 世代目の演奏表情が否定的な評価を得た場合、修正指示語の形容詞によらず、 $(t-1)$ 世代目の印象値から t 世代目の印象値への方向と同じ向きには $(t+1)$ 世代目の印象値はないとし、図 4.5(e)、図 4.5(f) に示される探索範囲となる。

式 (4.2) の学習係数 c_1 、 c_2 は以下のように設定する。

$$c_2 = \frac{1}{1 + e^{-(EvalP(t)-5)}} \quad (4.6)$$

$$c_1 = 1.0 - c_2 \quad (4.7)$$

c_1 と c_2 の値は 1.0 前後が適切であることが経験則から言われていることから、式 (4.6)、式 (4.7) から求められた c_1 、 c_2 を $[0.5, 1.5]$ の範囲に変換する。式 (4.6) の変数 $EvalP(t)$ は、 t 世代目において、ユーザから肯定的な評価を得た演奏表情の数を表す。 $EvalP(t)$ の値が 5 以上の場合には、式 (4.6) から c_2 は 1.0 に、 c_1 は 0.0 に近づき、式 (4.2) から $(t+1)$ 世代目の個体は t 世代目で演奏表情全体で最も良い評価を得た演奏表情の位置 g へ移動しやすくなり、探索範囲が狭まる。一方、 $EvalP(t)$ が 5 以下の場合には、式 (4.6) から c_2 は 0.0 に、 c_1 は 1.0 に近づき、式 (4.2) から $(t+1)$ 世代目の個体は、これまでに各演奏表情が最も良い評価を得た位置 p_j へ移動しやすくなり、ユーザの印象を反映すると思われる演奏表情をさらに探索する。一方、肯定的な評価を得た演奏表情が少ない場合には、感性空間において、提示した t 世代目の演奏表情がある範囲ではユーザの印象を反映していないと考え、各演奏表情が最も良い評価を得た位置の周辺に演奏表情の座標を移動させることで、ユーザの印象を反映すると思われる演奏表情をさらに探索する。 $EvalP(t)$ が 5 以下の場合には、式 (4.2) の 2 項目の係数が大きくなることから、 $(t+1)$ 世代目の個体は、これまでに各演奏表情が最も良い評価を得た位置 p_j へ移動しやすくなる。

4.4.3 演奏表情の修正手順

ユーザは生成した演奏表情に満足できない場合、程度副詞「少し」「もっと」「だいぶ」と肯定形もしくは否定形のイメージ語を組み合わせた修正指示語を入力する。本論文で述べる修正手法では、演奏表情の 1 回目の修正と 2 回目以降の修正で手順が異なる。

(1) 1 回目の修正

比較実験の結果から、程度副詞が大きくなると修正前の演奏表情の印象値から遠い領域に修正後の演奏表情の印象値があると考えられるため、入力された修正指示語の副詞が「少し」の場合には修正前の演奏表情の印象値の隣の領域、「もっと」の場合には 2 つ隣の領域、「だいぶ」の場合には 3 つ隣の領域が修正後の演奏表情の印象値がある領域であると仮定する。そして、修正指示語の副詞

に対応する各領域内でランダムに印象値を決定する。これを修正した演奏表情の印象値とし、位置 x とする。また、演奏表情の速度 v は 0.0 とする。求められた印象値から演奏表情が生成され、修正した演奏表情としてユーザへ提示される。1 回目の修正でユーザに提示される演奏表情の数は、修正前の演奏表情の印象値と修正指示語の程度副詞に依存し、3 曲から 16 曲の演奏表情がユーザへ提示されることとなる。提示される演奏表情の数が 10 に満たなかった場合には、ランダムな印象値を持つ演奏表情を生成し、ユーザに提示される演奏表情の数が 10 を満たすようにする。演奏表情の数が 10 を超えていた場合には、生成された全ての演奏表情がユーザに提示される。修正された演奏表情に対して、ユーザは印象を反映しているかどうかを以下の尺度で評価する。提案手法で用いる IPSO は、 t 世代目で良い評価を得た個体の方向に向かって ($t+1$) 世代目の個体が移動するアルゴリズムである。そのため、本論文では以下に示すように、演奏表情 j が印象を反映している場合の評価を 2 段階、印象を反映していない場合の評価を 1 段階と設定する。

- 1: 反映していない
- 0: どちらでもない
- +1: やや反映している
- +2: 反映している

そして、修正した演奏表情の中で最も印象を反映しているものをベスト演奏表情として選択する。修正された演奏表情について満足できない場合には、再び修正指示語を入力する。

(2) 2 回目以降の修正

2 回目以降の修正からはユーザに提示される演奏表情の数を 10 とする。1 回目の修正において、10 以上の演奏表情が生成されていた場合には、ユーザの評価が高い 10 曲を以降の修正で引き継ぐ。前世代の演奏表情に対するユーザの評価と、入力された修正指示語から、式 (4.1) から式 (4.7) を用いて演奏表情の位置 x_j と速度 v_j を更新し、演奏表情を修正する。

以上の手順をユーザが満足できる演奏表情が生成されるまで繰り返す。

4.5 被験者実験

提案した修正手法を含めた演奏表情生成手法の有効性を検証するために、修正手法を含めて実装した演奏表情生成システムを用いた被験者実験を行う。

4.5.1 実験の概要

被験者実験では、実装した演奏表情生成システムを用いて、被験者が実際に演奏表情を生成し、評価する。被験者は表 4.2 に示す 4 曲について、演奏表情に反映させたいイメージ語を自由に入力

する。そして、満足する演奏表情が生成されるまで、演奏表情の修正を繰り返す。ただし、修正の上限回数は10回とし、10回目の修正によって演奏表情が生成された時点で実験終了とする。完成した演奏表情に対する評価項目を表4.3に示す。評価項目のうち、Q5からQ8では評価の理由についても自由記述で回答してもらおう。実験には20代の大学生、大学院生12名が被験者として参加する。

表 4.2: 実験で使用する楽曲

No.	楽曲名	作曲者名
1	グノシエンヌ 第1番	エリック・サティ
2	エコセーズ ト長調 WoO.23	L.v. ベートーヴェン
3	華麗なる大円舞曲 変ホ長調 Op.18	F.F. ショパン
4	ピアノソナタ第2番 変ロ短調 Op.35-3	F.F. ショパン

表 4.3: 評価項目と評価尺度

No.	評価項目と評価尺度	
Q1	入力したイメージ語を反映した演奏表情を生成することができましたか？	
	(1) とても不満足	(5) やや満足
	(2) 不満足	(4) どちらでもない (6) 満足
	(3) やや不満足	(7) とても満足
Q2	演奏表情のテンポは、イメージ語に対して適切でしたか？	
Q3	演奏演奏の音量は、イメージ語に対して適切でしたか？	
Q4	演奏演奏の音の長さは、イメージ語に対して適切でしたか？	
	(1) とても不適切	(5) やや適切
	(2) 不適切	(4) どちらでもない (6) 適切
	(3) やや不適切	(7) とても適切
Q5	演奏表情が、入力したイメージ語に近づいていくように感じましたか？	
Q6	テンポが、入力したイメージ語に近づいていくように感じましたか？	
Q7	音量が、入力したイメージ語に近づいていくように感じましたか？	
Q8	音の長さが、入力したイメージ語に近づいていくように感じましたか？	
	(1) まったく感じなかった	(5) やや感じた
	(2) 感じなかった	(4) どちらでもない (6) 感じた
	(3) あまり感じなかった	(7) とても感じた

4.5.2 実験結果と考察

実験の結果、48曲の演奏表情が生成され、そのうち45曲が修正を経て生成された演奏表情であった。図4.6に修正を経て完成した演奏表情についての評価項目Q1からQ4に対する評価値の分布を示す。グラフの縦軸の番号は表4.3の評価項目の番号に対応しており、グラフ中の値は表4.3の評価値に対応している。完成した演奏表情に入力したイメージ語が反映されていたかどうかの評価の割合は、評価項目Q1からQ4のいずれの評価項目においても、5以上の評価値が80%以上である。修正を経て生成された45曲のうち39曲が印象を反映していたことから、本論文で提案する演奏表情生成手法により、演奏表情とその要素であるテンポ、音量、音の長さには各被験者が入力した印象が十分に反映されていることがわかる。

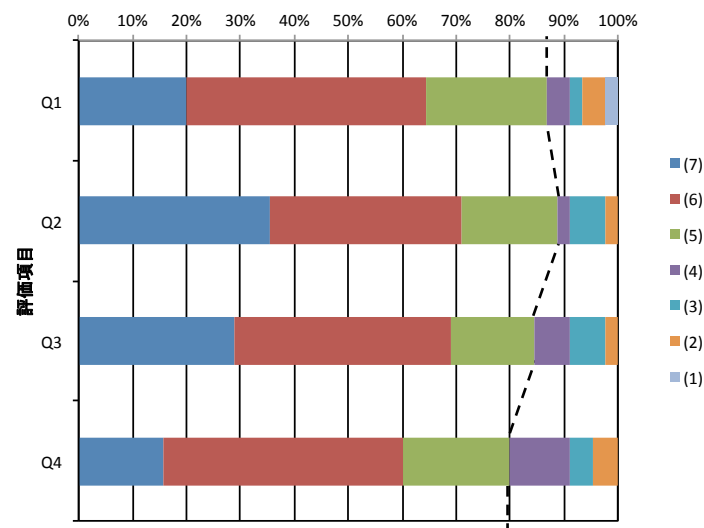


図 4.6: 評価項目 Q1 から Q4 までの評価値の分布

図 4.7 は、完成した演奏表情が満足だったかどうかを評価する評価項目 Q1 の結果と、完成した演奏表情が何度の修正を経て生成されたものであるかを示すグラフである。修正を経て完成した45曲の演奏表情のうち、40曲は1回から5回の修正によって生成されていることがわかる。実験では演奏表情の修正の上限回数を10回に制限したが、完成した演奏表情の修正回数から、5回までの修正で被験者の印象を十分に反映できていると言える。演奏表情の修正回数については、ユーザの評価をもとに、評価を予測する仕組みを取り入れる、また、構築した感性空間を分析し、空間の特徴を考慮することで、より少ない修正の回数で演奏表情を収束させることや、提示する演奏表情の数を減らし、ユーザの負担を軽減できると考えられる。

肯定評価であった演奏表情について、完成するまでに入力された修正指示語の副詞の頻度を図 4.8 に示す。肯定評価であった演奏表情 39 曲はそれぞれ、1回から7回、9回の修正が施されてい

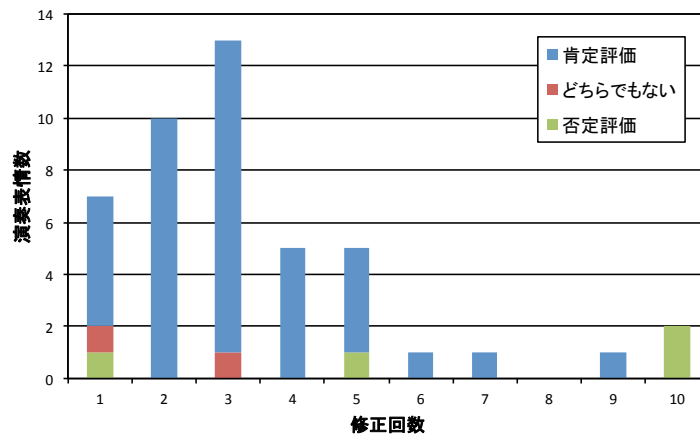


図 4.7: 完成した演奏表情の修正回数と評価項目 Q1 に対する評価

る。修正回数が6回より多い演奏表情はそれぞれ1曲ずつであるため、5回までの修正で入力された副詞の頻度に注目する。5回までの修正で入力された副詞の頻度を見ると、「少し」は修正回数が多くなるにつれて入力される頻度が少なくなる傾向にあり、「だいぶ」は多くなる傾向にあることがわかる。「もっと」については、ほぼ横ばいであると言える。このことから、修正回数が1回から2回であった演奏表情は、最初に生成された演奏表情が印象をほぼ反映しており、修正の程度は小さかったと考えられる。また、修正回数が3回から5回であった演奏表情は、最初に生成された演奏表情からの修正の程度が大きかったと考えられる。次に、否定評価であった演奏表情が完成するまでに入力された修正指示語の副詞の頻度を図 4.9 に示す。否定評価であった演奏表情4曲はそれぞれ、1回、5回、10回の修正が施されている。そのうち、1回、5回の修正による演奏表情は、どちらも程度副詞「だいぶ」のみが修正時に入力されている。10回の修正による演奏表情は2曲あり、1曲は1回、5回と同様に「だいぶ」のみが修正時に入力されており、もう1曲は「もっと」が10回の修正のうち7回、「だいぶ」が3回入力されていた。このことから、否定評価だった演奏表情4曲は、被験者が思い描いていた印象からかけ離れており、修正指示語、修正時の評価をうまく取り入れることができなかったと考えられる。

肯定評価だった演奏表情のうちの2曲について、図 4.10 に感性空間上での演奏表情の座標の遷移を示す。グラフ中の◆は、最初に生成された演奏表情の座標を示し、値は修正して提示された各演奏表情に対する被験者の評価を示す。図 4.10(a) に示す被験者 A が生成した演奏表情の座標の遷移を見ると、1回目の修正では活動性因子が0以上の演奏表情に対して肯定的な評価がされており、2回目の修正では、1回目の修正でよい評価が得られた演奏表情の方角に演奏表情が移動している。その後、3回目の修正では、2回目の修正で最もよい評価が得られた演奏表情（図中で Best と記載されている演奏表情）の方向に演奏表情が移動していることがわかる。また、図 4.10(b) に

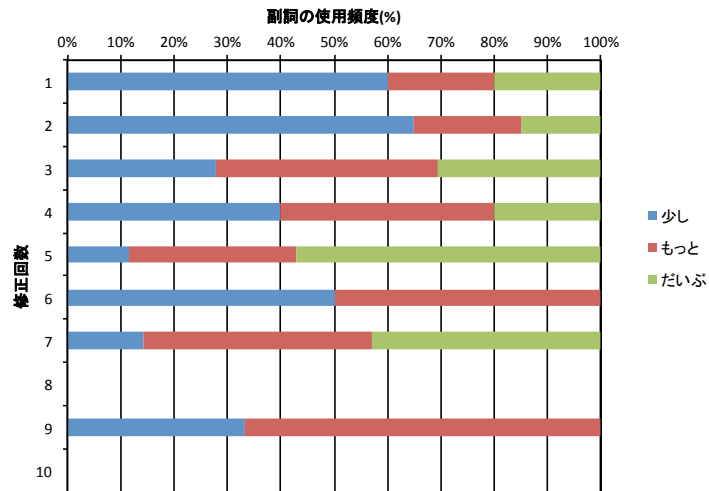


図 4.8: 評価項目 Q1 で肯定評価を得た演奏表情の修正時に入力された副詞の頻度

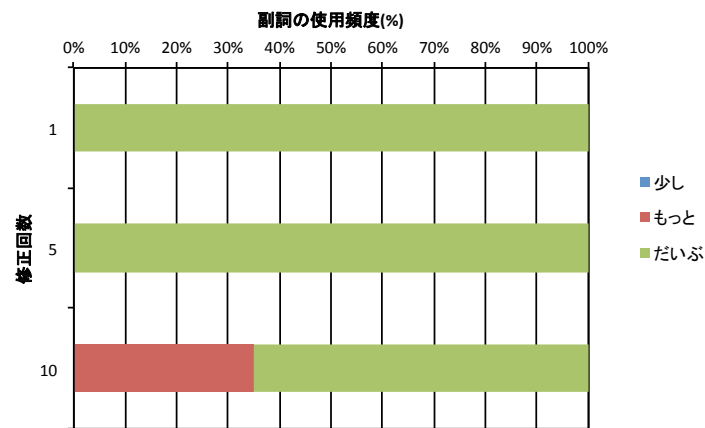
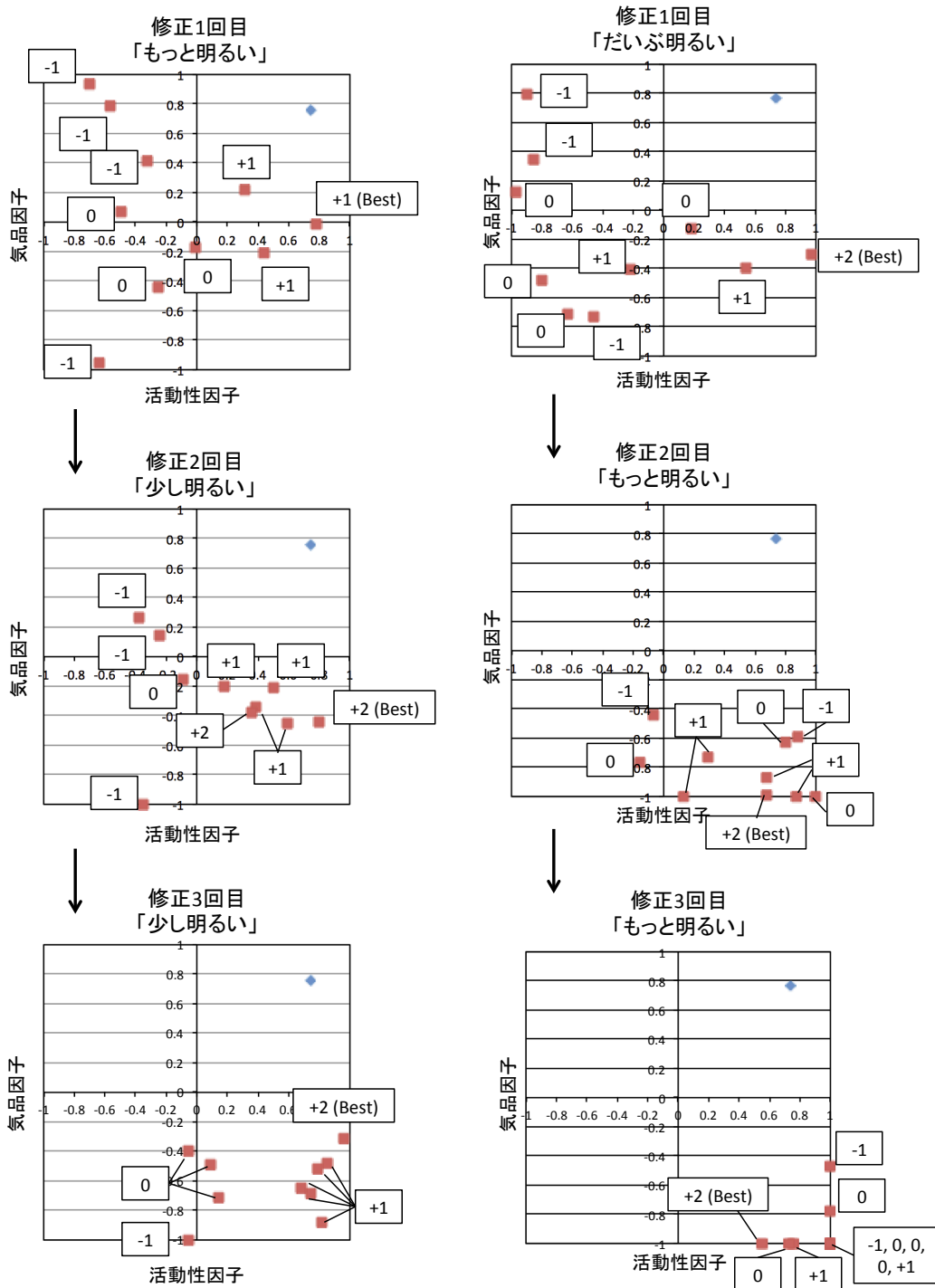


図 4.9: 評価項目 Q1 で否定評価を得た演奏表情の修正時に入力された副詞の頻度

示す被験者 B が生成した演奏表情の座標の遷移でも、被験者 A の場合と同様に、2 回目の修正では演奏表情が、1 回目の修正でよい評価を得られた演奏表情の座標の周辺に移動しており、3 回目の修正においても、2 回目の修正で最もよい評価が得られた演奏表情の周辺に座標が集まっていることがわかる。このことから、本論文で提案した修正手法によって、ユーザが入力した印象を反映する演奏表情に収束していると言える。

また、被験者 A と被験者 B の演奏表情の座標の遷移を比較すると、被験者 A、被験者 B はどちらも同じイメージ語を演奏表情に反映させており、イメージ推定処理で求められた「明るい」の印象値は第 1 象限であったが、どちらも「明るい」印象を反映した演奏表情の座標は第 4 象限の範囲



(a) 被験者 A が生成した演奏表情の座標の遷移

(b) 被験者 B が生成した演奏表情の座標の遷移

図 4.10: 「明るい」印象を反映した演奏表情の座標の遷移

にあることが修正過程の評価からわかる。だが、被験者 A が感じる「明るい」を反映した演奏表情は活動性因子の値が 1.0 に近いのに対し、被験者 B の場合は気品因子の値が 1.0 に近いほど評価がよく、一方で活動性因子の値が 1.0 に近い演奏表情への評価は悪いことから、同じイメージ語を反映させた演奏表情でも被験者によって印象値が異なることがわかる。

次に、生成システムを用いて演奏表情を修正することで、演奏表情が入力したイメージ語に近づいたと感じたかどうかについての評価項目 Q5 から Q8 に対する評価値の分布を図 4.11 に示す。グラフの縦軸の番号は表 4.3 の評価項目の番号に対応しており、グラフ中の値は表 4.3 の評価値に対応している。評価項目 Q5 から Q8 に対する評価結果から、修正を経て完成した演奏表情のうち、60%から 80%が肯定的な評価を得ていることがわかる。このことから、提案手法により演奏表情を生成する過程で、演奏表情が入力したイメージ語に近づいていくことを被験者が知覚できていると言える。

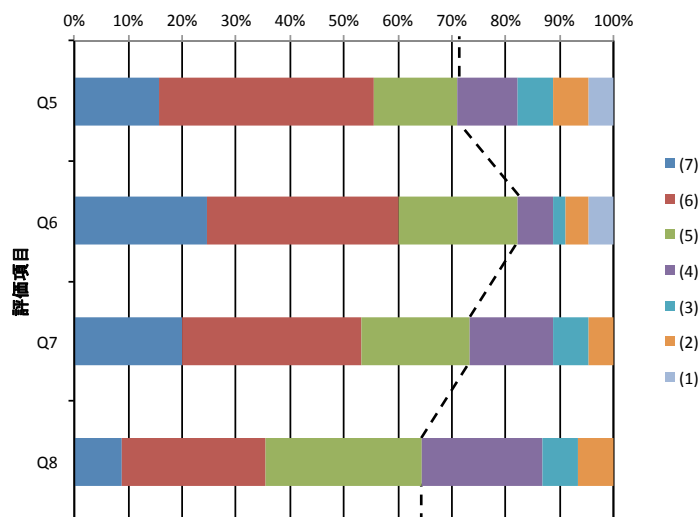


図 4.11: 評価項目 Q5 から Q8 までの評価値の分布

4.6 まとめ

本論文では、個々人による演奏表情とそれが表す印象を説明可能にすることを考慮し、感性空間上で演奏表情の印象値を変えることで演奏表情を修正する手法を提案した。提案手法では、「もっと明るい」「少し元気でない」といった、程度を表す副詞と形容詞・形容動詞を用いて、対話型の最適化手法である Interactive Particle Swarm Optimization に基づいたアプローチにより、ユーザの評価を取り入れながら対話的に演奏表情を修正する。修正手法を実装したシステムを用いた被験者実験の結果から、被験者がシステムと対話して感性空間上で演奏表情を修正していくことで、被験者それぞれが思い描く演奏表情を生成できることがわかった。さらに、演奏表情の修正の過程で、被験者自身が修正によって演奏表情に印象が反映されていくことを知覚していることもわかった。このことから、感性空間やファジィルールを個人に特化させずとも、個々人の感性を演奏表情に十分に反映できると言える。また、各被験者の演奏表情生成の過程を分析したところ、感性空間上で演奏表情の印象値が収束すること、同じ印象を反映させた演奏表情を生成した場合に、被験者によって満足する演奏表情の印象値は異なっていたことがわかった。

第5章 演奏表情生成手法を応用した音楽表現 学習支援

5.1 はじめに

3章で述べた印象と演奏表情の関係を表す感性空間とファジィルール, 4章で述べた感性空間上での演奏表情の修正手法で得られた知見を音楽表現の学習に応用することを考える。音楽表現とは, 演奏のテンポや音量などの変化によってある印象を表現することを指す。5章では, ピアノ演奏における音楽表現学習支援システムを構築し, すでに定義されている感性空間の活動性因子, 気品因子や演奏表情パラメータのファジィ集合, 演奏表情パラメータを推論するファジィルール, 言葉で表された印象を反映する演奏表情生成の過程で得られる感性空間上での演奏表情の印象値の遷移と人間からの評価を用いて, 音楽表現の学習支援が可能であるかを考える。

5.2 音楽表現学習支援システムの概要

本論文で述べる音楽表現学習支援システムの対象となる学習者は, ピアノ演奏の初学者を想定している。学習支援の流れを図5.1に示す。支援システムは, 演奏表情生成手法によって生成された演奏表情をイメージ語とともに学習者へ提示する。ここで提示される演奏表情を本論文では手本表情と呼ぶ。学習者は提示された手本表情を聞き, 練習を行って, 演奏を記録する。学習者の演奏は電子ピアノによってMIDI形式で記録される。支援システムは記録された学習者の演奏から, 演奏表情パラメータを求める。そして, 学習者の演奏表情パラメータと手本表情の演奏表情パラメータの比較と, 感性空間上において学習者の演奏表情があると思われる範囲の推定を行い, 学習者の演奏のよかった点, 改善のためのアドバイスを文章で提示する。学習者は提示された手本表情とよかった点, アドバイスにもとづいて演奏表情の練習を続ける。

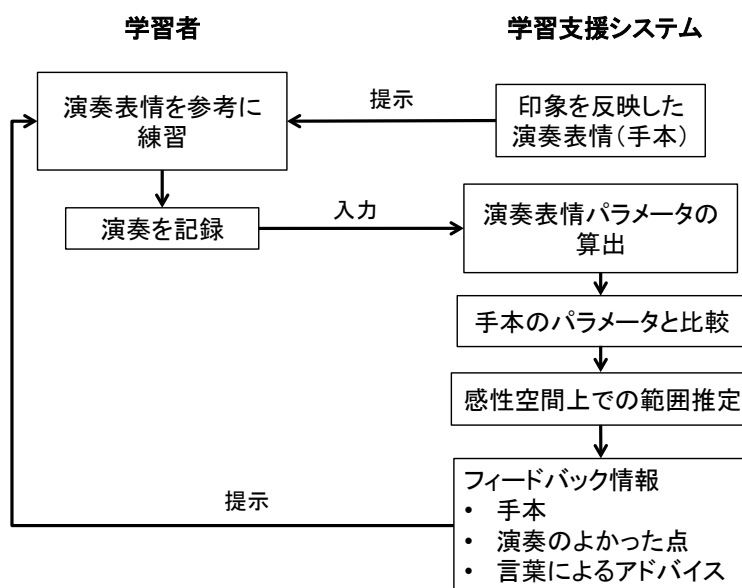


図 5.1: 音楽表現学習支援の流れ

5.3 ユーザ演奏の評価とアドバイス生成

5.3.1 演奏表情パラメータの算出と比較

提案する音楽表現学習支援システムは学習者の演奏から演奏表情パラメータを算出し、手本表情の演奏表情パラメータと比較することで学習者の演奏が手本に近いかどうかを判断する。算出する演奏表情パラメータは2章で述べたパラメータのうち、テンポに関するパラメータである *TempoBase*, *TempoVar*, *TempoRange*, 音量に関するパラメータである *VelocityBase*, *VelocityVar*, *VelocityRange*, 音の長さに関するパラメータである *LengthSign*, *LengthBase* の8つとする。算出された演奏表情パラメータ値が手本表情のパラメータ値と同じファジィ集合に属していた場合、手本表情に一致していると判断する。パラメータ値の比較後、学習者の演奏表情のよかった点と演奏表情の要素についての改善点をテキストで提示する。

5.3.1.1 演奏表情パラメータ値の算出方法

学習者の演奏表情のパラメータ値は以下の方法で求められる。

TempoBase

MIDI形式のデータは、MIDIファイルが生成される際にテンポ情報が定まっていなければならないことから、学習者の演奏が記録される際に手本表情の *TempoBase* の値を用いている。そのため、

演奏全体の基準となるテンポのパラメータである $TempoBase_{user}$ は、手本表情の $TempoBase$ の値をそのまま用いる。

TempoVar

学習者の演奏表情には、各音符ごとのテンポ情報が含まれていないため、テンポの変化の仕方を示すフラグパラメータの $TempoVar_{user}$ は、手本表情の発音タイミングと、学習者の演奏表情の発音タイミングの差を1音ごとに算出し、発音タイミングの差とメロディの音符番号との相関から決定される。発音タイミングの差と音符番号の相関係数が0.6以上で正の相関が見られる場合には、テンポがだんだん速くなっているとし、 $TempoVar_{user} = increase$ となる。また、相関係数が-0.6以下で負の相関が見られる場合には、テンポがだんだん遅くなっているとし、 $TempoVar_{user} = decrease$ となる。

TempoRange

テンポの変化幅を示すパラメータである $TempoRange_{user}$ は、 $TempoVar_{user}$ と同様に手本表情の演奏表情パラメータ値を用いて算出する。手本表情の演奏の長さ $CumuloTick_{ex}$ と $TempoRange_{ex}$ 、学習者の演奏表情の演奏の長さ $CumuloTick_{user}$ から、式(5.1)で求められる。本来であれば、2章で示したテンポの定義式(2.2)から求めることができるが、 $TempoBase$ の値は学習者の演奏表情では手本表情の値を代用しているため、式(2.2)を用いずに算出する。

$$TempoRange_{user} = \frac{CumuloTick_{user} \times TempoRange_{ex}}{CumuloTick_{ex}} \quad (5.1)$$

VelocityBase

演奏全体の基準となる音量のパラメータ $VelocityBase_{user}$ は、学習者の演奏表情の最初に演奏した音符の音量をパラメータ値とする。これは、2章で述べた音量の式(2.3)において、 $VelocityBase$ は最初の音符の音量と定義しているためである。

VelocityVar

音量の変化の仕方を示すフラグパラメータの $VelocityVar_{user}$ は、学習者の演奏表情の1音ごとの音量とメロディの音符番号との相関から決定される。学習者の演奏の音量と音符番号の相関係数が0.6以上で正の相関が見られる場合には、音量がだんだん大きくなっているとし、 $VelocityVar_{user} = increase$ となる。また、相関係数が-0.6以下で負の相関が見られる場合には、音量がだんだん小さくなっているとし、 $VelocityVar_{user} = decrease$ となる。

VelocityRange

音量の変化幅を表すパラメータ $VelocityRange_{user}$ は、学習者の演奏表情で最後に演奏された音符の音量と $VelocityBase_{user}$ から求められる。これは、2章で述べた音量の定義式 (2.3) より、 $VelocityBase$ と $VelocityRange$ の最大値をかけた値が、演奏表情の最後の音符の音量となるためである。

LengthSign

音を長く演奏するか短く演奏するかを示すパラメータである $LengthSign$ は、1音ごとの楽譜上での長さの平均値、学習者の演奏表情の1音ごとの長さの平均値を求め、学習者の演奏表情の音の長さの平均値が楽譜上の音の長さの平均値よりも長い場合には $LengthSign_{user} = 1$ 、短い場合には $LengthSign_{user} = -1$ となる。

LengthBase

音の長さを楽譜に書かれている長さよりもどれだけ短く、または、長くするかを示すパラメータ $LengthBase$ は、学習者の演奏表情の音の長さを式 (5.2) で1音ごとに求め、その平均値を学習者の演奏表情の $LengthBase_{user}$ とする。式 (5.2) の $actualDuration_i$ は i 番目の音符の楽譜上での音の長さを示し、 $Tick_{user,i}$ は学習者の演奏表情の i 番目の音符が実際に演奏された長さを示す。

$$LengthBase_{user,i} = \frac{1}{LengthSign} \times \frac{actualDuration_i}{Tick_{user,i} - actualDuration_i}, i = 1, 2, \dots, n \quad (5.2)$$

5.3.1.2 演奏表情パラメータに関するアドバイスの生成

算出された演奏表情パラメータが属するファジィ集合が手本表情と一致していた場合、学習者の演奏表情パラメータが適切であることと、現在の演奏表情パラメータの状態のテキストを生成する。例えば、学習者の演奏表情パラメータ $VelocityBase$ の値が 64 で、属するファジィ集合のラベルが mp で手本表情と一致していた場合、以下のようなテキストが生成される。ボールド体で書かれている部分が演奏表情パラメータによってテキストの内容が変わる部分である。

音量 は適切です。現在の 音量 は **64(mp)** です。

全ての演奏表情パラメータが属するファジィ集合が手本表情と一致していた場合、学習者の演奏表情にイメージ語が反映されていることを示す、以下のようなテキストが生成される。

明るい 印象を反映できています。

生成されたテキストは、学習者に対して、演奏表情のよかった点として提示される。

一方で、学習者の演奏表情パラメータのファジィラベルが手本表情と一致していなかった場合、現在の演奏表情パラメータの状態と、どのように演奏すると手本表情に近づけられるかというアドバイスのテキストを生成する。例えば、学習者の演奏表情パラメータ $VelocityBase_{user}$ の値が52で属するファジィ集合のラベルが p であり、手本表情のパラメータ値が64、ファジィ集合のラベルが mp だった場合、以下のようなテキストが生成される。

現在の音量は **52(p)** です。音量は今より大きくしましょう。

生成されたテキストは、学習者に対して具体的なアドバイスとして提示される。

5.3.2 感性空間における学習者の演奏表情の範囲

学習者の演奏表情から算出した演奏表情パラメータ値から、感性空間において学習者の演奏があると思われる範囲を推定する。そして、3章、4章で述べた手法で生成した手本表情の感性空間上での座標と、手本表情が完成するまでに生成された演奏表情の評価と遷移の情報を用いて、学習者の演奏表情に印象がどのくらい反映されていたか、5.3.1.2項で述べたアドバイスの通りに演奏することで印象がどのくらい変化するかをテキストで提示する。

5.3.2.1 演奏表情の範囲の推定方法

感性空間上において学習者の演奏表情があると思われる範囲は、学習者の演奏表情パラメータ値と、演奏表情生成の際に用いられるファジィルールから推定する。まず、学習者の演奏表情パラメータ値が属するファジィ集合と、手本表情のパラメータ値が属するファジィ集合が一致しない場合、一致していなかった学習者の演奏表情パラメータ値それぞれについて、パラメータ値のファジィラベルが後件部であるファジィルールから、前件部の感性空間の活動性因子と気品因子の範囲を求める。例えば、学習者の演奏表情パラメータ値の中で $VelocityBase$ が手本表情と一致していなかった場合、3章で述べた $VelocityBase$ を推論するファジィルール (表 3.10) と、図 3.7 より、活動性因子の範囲 $ActiveRange$ は $-1.0 \leq ActiveRange \leq -0.25$ 、気品因子の範囲 $ElegantRange$ は $-1.0 \leq ElegantRange \leq 1.0$ となる。

次に、一致していなかったパラメータ値ごとに求められた感性空間上の範囲を重ねあわせ、学習者の演奏表情があると思われる範囲の絞り込みを行う。例えば、学習者の演奏表情パラメータ値で、基準となる音量 $VelocityBase$ と音を長く演奏するか短く演奏するかを示す $LengthSign$ が手本表情と一致しておらず、図 5.2 に示す範囲が推定されていた場合、2つのパラメータ値から推定

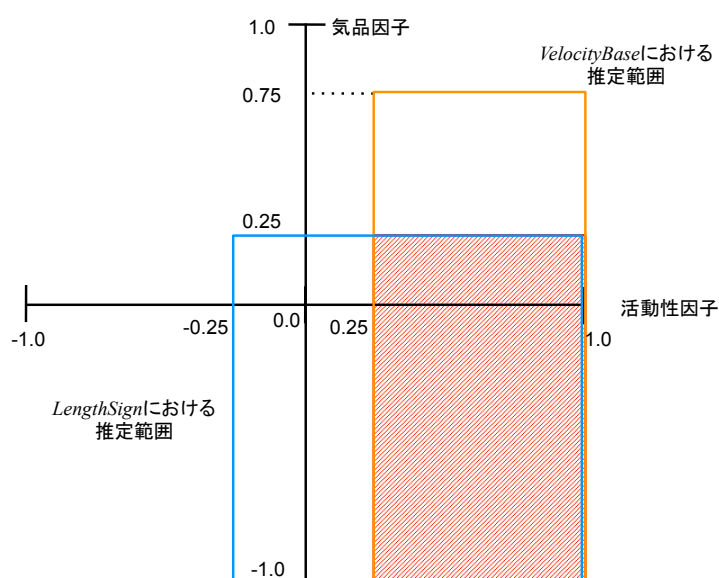


図 5.2: 学習者の演奏表情がある範囲の絞り込みの例

された範囲の重複部分である図 5.2 の斜線で示されている範囲が学習者の演奏表情があると思われる範囲となる。

5.3.2.2 印象に関するアドバイスの生成

推定された感性空間上の範囲において、手本表情が完成するまでに生成された演奏表情の印象値が含まれているかを求める。印象値が含まれている場合、該当する演奏表情に与えられた評価値、評価値ごとの演奏表情の数、入力された修正指示語を用いて、学習者の演奏表情の印象について、2 種類のテキストを生成する。

評価値ごとの演奏表情の数で最も多かった値から、学習者の演奏表情に印象が反映できているかどうかを判定する。図 5.3 の赤枠で示す範囲内に演奏表情があった場合、評価値 +1 の数が最も多いことから、学習者の演奏表情は印象が「やや反映されている」となり、学習者の演奏表情に印象が反映されているかどうかのテキストが以下のように生成される。推定された範囲内に演奏表情の座標値が含まれない場合には、学習者の演奏表情に印象が反映されているかどうかのテキストは生成されない。

明るい印象を やや反映できています。

推定された学習者の演奏表情があると思われる範囲の中央値と手本表情の座標値から、音楽表現

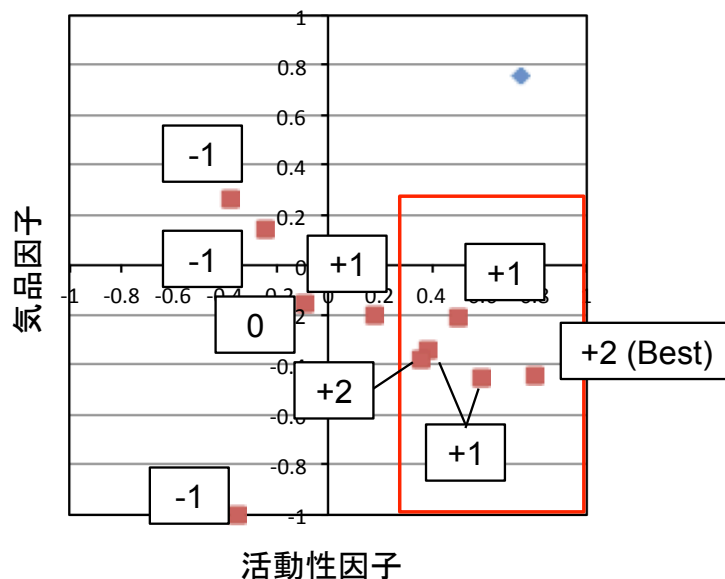


図 5.3: 推定された範囲内にある演奏表情の評価値の例

学習支援システムが提示する演奏表情パラメータについてのアドバイスに従うとどのくらい印象を反映できるようになるかを以下のようなテキストとして生成する。

上記のように演奏すると今よりも もっと 明るい 印象になります。

生成されるテキスト内の程度副詞は、推定された範囲の中央値と手本表情との距離 $dist$ を求め、距離に応じて決定される。範囲の中央値と手本表情との距離が $0 \leq dist \leq 0.25$ の場合には「少し」、 $0.25 < dist \leq 0.5$ の場合には「もっと」、 $0.5 < dist \leq 0.75$ の場合には「だいぶ」が適用される。そして、テキスト中のイメージ語は、手本表情が生成される過程で入力された修正指示語のイメージ語の肯定形の数、否定形の数に応じて決定される。例えば、手本表情が3回の修正で生成され、修正指示語として「もっと明るい」「少し明るい」「少し明るくない」が入力されたとする。この場合、イメージ語の肯定形「明るい」が2回、イメージ語の否定形「明るくない」が1回入力されていることから、生成されるテキストのイメージ語は「明るい」が適用される。推定された範囲内に演奏表情がない場合、また、肯定形のイメージ語の数、否定形のイメージ語の数が等しかった場合には手本表情に反映されているイメージ語をそのまま用い、以下のテキストが生成される。

上記のように演奏すると 明るい 印象になります。

生成された2種類のテキストは、抽象的なアドバイスとして学習者へ提示される。

5.4 被験者実験

演奏表情生成手法を応用した音楽表現学習支援システムの有効性について、被験者実験により検証する。

5.4.1 実験の概要

本実験の被験者は大学生、大学院生の男女7名であり、いずれの被験者も過去にピアノを演奏していた経験がある。実験では、実験者が演奏表情生成システムを用いて生成した演奏表情2曲を手本表情とし、被験者は電子ピアノと支援システムを用いて、音楽表現の練習を行う。音楽表現の練習は、支援システムから手本の演奏表情に反映されたイメージ語が被験者の演奏にも反映されると判断されるか、もしくは、支援システムによる評価が10回行われるまで続ける。表5.1にこの実験の評価項目を示す。項目のQ1からQ4は1曲の練習が終わるごとに、Q5とQ6は実験全てが終了した後に、それぞれ7段階の尺度で回答する。手本として用いる楽曲は、エリック・サティ作曲のグノシエンヌ第1番、L.v. ベートーヴェン作曲のエコセーズ ト長調 WoO.23の2曲であり、それぞれ楽曲中の1フレーズから2フレーズを練習の対象とする。グノシエンヌには「かたい」、エコセーズには「軽やかな」印象を反映させる。

表 5.1: 音楽表現学習支援システムの実験における評価項目

評価項目	
Q1	アドバイスは練習の役に立ちましたか？
Q2	アドバイスの内容は適切だと感じましたか？
Q3	アドバイスはわかりやすかったですか？
Q4	アドバイスをもらって練習することで、手本に近い演奏ができるようになったと感じましたか？
Q5	このシステムを使うことで、音楽表現を学べそうだと感じましたか？
Q6	このシステムを使って、音楽表現の練習をしたいと感じましたか？

5.4.2 実験結果と考察

音楽表現学習支援システムが提示するアドバイスについての評価結果を図5.4に示す。評価値5以上が肯定評価、評価値3以下が否定評価を示す。いずれの被験者も学習支援システムから被験者の演奏表情に印象が反映されているという判定はされなかったものの、各項目で得られた肯定評価の割合が、アドバイスが練習の役に立っていたかという項目については85.71%、アドバイスの内容が適切であったかという項目については92.86%、アドバイスをもらって練習することで手本表情に近い演奏ができるようになったと感じたかについては91.67%であることから、被験者が音楽

表現学習支援システムを用いた音楽表現の練習において、アドバイスが有用であったと感じていたことがわかる。一方で、システムが提示するアドバイスのわかりやすさについては、肯定評価が50%、否定評価が35.71%となった。アドバイスの内容は適切であるという評価を得ていることから、支援システムが生成するアドバイスは、内容は適切であったが、文章としてわかりにくいものがあったと考えられる。

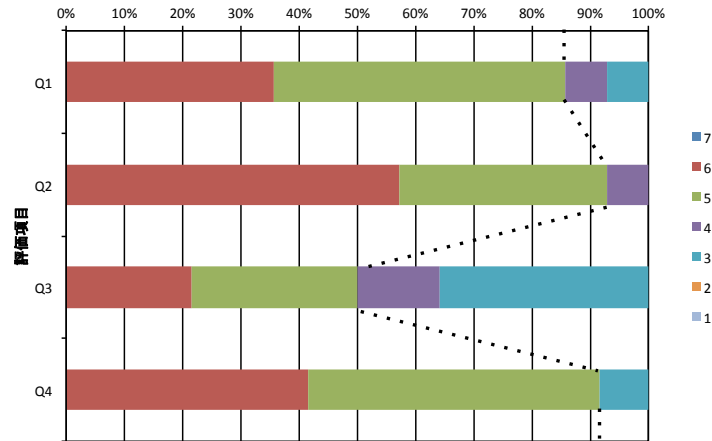


図 5.4: 提示されるアドバイスに対する被験者の評価結果

次に、図 5.5 に音楽表現学習支援システムについての評価結果を示す。図 5.4 と同様に評価値 5 以上が肯定評価、評価値 3 以下が否定評価を表す。学習支援システムを使うことで音楽表現を学べそうだと感じたかについては肯定評価が 71.43%、学習支援システムを使って音楽表現の練習をしたいと感じたかについては肯定評価が 85.71%であり、被験者は、学習支援システムが音楽表現を学ぶのに有用であると感じていたことがわかる。

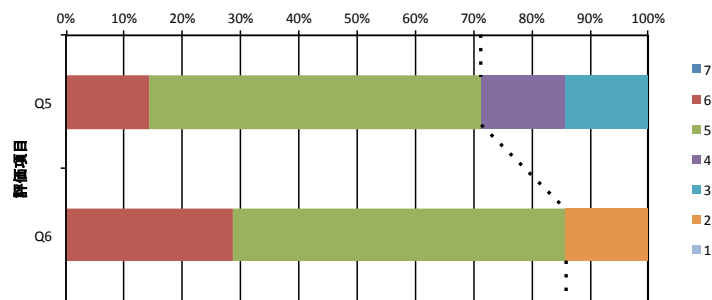


図 5.5: 音楽表現学習支援システムに対する被験者の評価結果

被験者はシステムが提示するアドバイスについて、「自分では気付かなかった音量やテンポの変化を指摘してもらえた」「自身の演奏のよいところと、具体的なアドバイスがあることで、できな

いところをひとつひとつ直せた」「アドバイスの内容が細かく、ストイックに練習に取り組めた」「イメージ語を表す演奏表情が想像できなかったのでアドバイスがあつてよかった」というコメントをしており、また、学習支援システムについて「一人で練習するときに、自分の演奏を客観的に言葉で示してくれるのでありがたい」「テンポ、音量、その変化や音の長さといった基礎的なことをしっかりと練習できてよいと思う」「少しずつ上手くなっている様子が自分で客観的に分かったので楽しかった」とコメントしていることから、音楽表現学習支援システムが学習者の演奏を客観的に評価することで学習者自身が気付かなかった点を指摘できる、また、演奏表情で表現したい印象を文章によるアドバイスで提示することで学習者が印象と演奏表情の対応付けができる、一人で演奏の練習する際に特に有用であると考えられる。一方で、アドバイスのわかりやすさについては肯定評価の割合が他の項目に比べて低く、被験者のコメントでは「提示されたアドバイスは理解できるが、アドバイスから自分の演奏をどのくらい直せばよいのかの加減がつかめなかった」「提示されたアドバイスが楽曲のフレーズ中のどこに対するアドバイスなのかがわからない」といったものがあつた。前者のコメントについては、アドバイスの内容を反映させようとして大袈裟に演奏してしまう、変化をつけた演奏をしたつもりでもシステムから前回と同じアドバイスが提示される、といった様子が録音された演奏からも確認された。そのため、ユーザに提示するアドバイスのわかりやすさを改善することで、さらに適切な学習支援を行うことができると考えられる。

被験者の演奏表情のパラメータ値が属するファジィ集合と、手本表情のパラメータ値が属するファジィ集合が一致していた数を表5.2に示す。表中の赤字で書かれた値は、音楽表現の練習の過程でファジィ集合が一致していた演奏表情パラメータの数が最も多かつたことを示す。表5.2より、2回目以降の練習において被験者の演奏表情パラメータのファジィ集合が手本表情と一致していた数が、最初の練習における被験者の演奏表情パラメータとの一致数よりも下回ることにはなかつた。最初の練習における演奏表情パラメータが属するファジィ集合の一致数と、練習の過程で最も多くファジィ集合が一致した数に有意差が見られるかについて、ウィルコクソンの符号付き順位和検定を行ったところ、有意水準5%で有意差が見られ、被験者は音楽表現学習支援システムを用いて音楽表現の練習をすることで、手本表情に近い演奏ができるようになったことがわかる。

次に、練習において被験者が支援システムから提示されたアドバイスに従った演奏ができていたかについて、練習過程における被験者の演奏表情パラメータの変化から、検証する。表5.3に、被験者Fが楽曲エコセーズを練習した際の演奏表情パラメータの変化を示す。表中の番号は練習回数を示し、練習回数の列に書かれた○印は被験者の演奏表情パラメータ値が属するファジィ集合と、手本表情のファジィ集合が一致していたことを表す。また、「反映」と書かれた列は、被験者の演奏表情パラメータ値が属するファジィ集合が提示されたアドバイス通りに変化していたかどうかを示し、○印はアドバイス通りに変化していた、×印はアドバイス通りに変化していなかつたことを表す。アドバイスの反映については、演奏表情パラメータ値が属するファジィ集合が一致したかどうか

表 5.2: 手本表情と一致していた演奏表情パラメータの数

被験者	楽曲	練習回数												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A	グノシエンヌ	2	2	2	2	2	3	2	2	4	-	-	-	-
	エコセーズ	5	6	3	5	4	6	4	6	4	4	5	4	6
B	グノシエンヌ	2	3	3	2	2	3	4	4	3	3	-	-	-
	エコセーズ	3	4	4	4	5	4	5	3	3	6	-	-	-
C	グノシエンヌ	4	2	3	4	3	4	4	4	4	3	-	-	-
	エコセーズ	4	5	4	4	3	4	5	3	5	4	-	-	-
D	グノシエンヌ	4	2	3	3	3	3	2	3	4	4	-	-	-
	エコセーズ	3	5	4	4	5	4	4	4	5	4	-	-	-
E	グノシエンヌ	2	3	4	5	3	3	3	3	5	3	-	-	-
	エコセーズ	4	3	6	4	4	4	6	4	4	6	4	-	-
F	グノシエンヌ	3	2	2	2	3	3	3	4	4	4	-	-	-
	エコセーズ	2	2	3	3	3	3	3	3	3	5	-	-	-
G	グノシエンヌ	3	3	1	3	2	4	3	3	2	5	-	-	-
	エコセーズ	4	3	3	6	3	5	5	4	5	3	-	-	-

表 5.3: 被験者 F の 10 回の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: エコセーズ)

パラメータ	練習回数																		
	1	反映	2	反映	3	反映	4	反映	5	反映	6	反映	7	反映	8	反映	9	反映	10
<i>TempoBase</i>	○		○		○		○		○		○		○		○		○		○
<i>TempoVar</i>		○		○		○		○		○		○		○		○		○	
<i>TempoRange</i>					○		○		○		○		○		○		○		○
<i>VelocityBase</i>		○		×		○		○		×		×		×		×		○	
<i>VelocityVar</i>		×		×		×		×		×		×		×		×		×	
<i>VelocityRange</i>																			
<i>LengthSign</i>		○		○		×		×		×		×		×		×		○	
<i>LengthBase</i>		○		○															

かは見えていない。

表 5.3 より, パラメータ *TempoVar* についてアドバイスが提示され, 2 回目, 3 回目の練習においてアドバイスを反映した演奏になっていたことがわかる. さらに, *TempoVar* は 3 回目の練習において手本表情とファジィ集合が一致していた. また, *VelocityBase* や *LengthSign* のように, 手本表情とファジィ集合が一致するまでにアドバイスがなかなか反映できなかった場合もあった. 一方で, *LengthBase* のようにアドバイスを反映した演奏はできたが, 手本表情とファジィ集合が一致しない場合や, *VelocityVar* のように, 練習を重ねてもアドバイスを反映できなかった場合もあった. 他の被験者の演奏表情パラメータについても同様の結果が見られた. このことから, 被験者は支援システムから提示されたアドバイスに従った演奏ができており, アドバイスをすぐに反映できない場合にも何度も練習を繰り返すことでアドバイスに従った演奏ができるようになったことがわかった. さらに, 練習を繰り返すことで被験者の演奏表情パラメータが属するファジィ集合が

手本表情と一致するようになることもわかった。しかし、演奏表情におけるテンポ、音量、音の長さの変化の程度を表すパラメータである *TempoRange*, *VelocityRange*, *LengthBase* に関するアドバイスは反映されにくいこともわかった。これは、被験者によるアンケートの結果より、アドバイスのわかりにくさが適切な変化の程度が伝わりにくかったことが要因として考えられる。

以上より、構築した音楽表現学習支援システムは音楽表現の学習に効果があり、学習者自身もその効果を体感している。被験者のコメントから、特に一人での練習の際に、自身では気付かない演奏の改善点を指摘できる、また、改善点が言葉で表現されることにより、印象を反映するにはどのように演奏したらよいかを学ぶことができると考えられる。一方で、表 5.2 に示すように、演奏表情パラメータが手本と一致していた数が、練習回数によって上下している被験者と練習を重ねるごとに上昇する被験者とにわかれており、これは、アドバイスのわかりにくさから被験者が適切な音楽表現にするために試行錯誤しながらの練習になってしまったと考えられる。本論文で構築した音楽表現学習支援システムでは、学習者の演奏表情と手本表情の比較に注目しており、学習者の演奏表情同士の比較を行っていないことから、学習者の演奏表情が前回と比較してどのくらい改善されたか、どのくらい演奏を直すことで手本に近づけることができるかを示すことで、より効果的な学習支援につながると考えられる。

5.5 まとめ

5章では、3章で述べた印象と演奏表情の関係を表す感性空間とファジィルール、4章で述べた感性空間上での演奏表情の修正手法で得られた知見を音楽表現の学習に応用することを考え、ピアノ演奏における音楽表現学習支援システムを構築して、音楽表現の学習支援が可能であるかを被験者実験により検証した。学習支援システムでは、学習者の演奏から演奏表情パラメータを算出し、算出したパラメータ値が定義されたファジィ集合のうちのどれに属するかを求め、手本となる演奏表情のパラメータと比較を行うことで、学習者の演奏のよかった点と演奏についてのアドバイスのテキストを生成し、提示する。また、学習者の演奏表情のパラメータ値とファジィルールから、感性空間において学習者の演奏表情があると思われる範囲を推定し、推定された範囲内に存在する、手本表情が完成するまでに生成された演奏表情の評価値から、学習者の演奏表情が印象を反映できているのか、演奏についてのアドバイスに従うことでどのくらい印象を反映できるようになるかのテキストも生成し、提示する。実装した音楽表現学習支援システムを用いた被験者実験の結果より、学習支援システムによって音楽表現の学習に効果が見られること、また、被験者もその効果を体感していることがわかった。実装した学習支援システムは学習者自身が気づきにくい点を言葉で指摘できること、印象を反映するためにどのような演奏をしたらよいのかが文章化されていることから、一人で演奏の練習をする際に特に有用であると考えられる。一方で、学習支援システムが提

示するアドバイステキストがわかりにくいと評価されることもあった。これは、学習支援システムが手本表情と学習者の演奏表情の比較から評価を行っており、学習者の演奏表情が前回に比べてどのくらい良くなったか、悪くなったかには注目していないことから、被験者が適切な演奏をつかめなかったことが原因として考えられる。そのため、より効果的な学習支援を行うためには、学習者の演奏表情同士の比較も必要であると考えられる。

第6章 結論

6.1 まとめ

演奏と人間の感性の関係は、演奏の対象となる楽曲が調性や拍子、音程、コード進行といった感情や印象を表す要素を持っていることに加え、演奏の際には演奏者が表現したい感情や印象といった感性も反映されることから、楽曲や演奏者によって多様である。そのため、演奏と人間の感性を定量的に扱うことは難しいと考えられる。そこで、本論文では音楽の演奏と演奏によって表される印象に注目し、印象とそれを表現する演奏表情の関係を定量的、かつ、説明可能であるモデルの構築を目的として、印象と演奏表情の関係を表す感性モデルの構築と妥当性の検証を被験者実験により行った。

まず、3章では、演奏表情が表す印象と演奏表情パラメータの関係を表す感性空間とファジィルールを構築し、感性空間とファジィルールが印象と演奏表情の関係を表すことができているかを形容詞・形容動詞で表される印象を反映する演奏表情の生成手法を提案、実装し、被験者実験を行うことで検証した。被験者実験の結果から、提案した手法によって演奏表情に印象を反映することができたことで、用いている感性空間とファジィルールが演奏表情と印象の関係を表せていることがわかった。また、クラシック、ジャズ、ポップス、演歌の4つの音楽ジャンルの楽曲を演奏表情を付与する対象とした被験者実験を行い、提案手法により各音楽ジャンルの楽曲について印象を反映した演奏表情を生成できるかの検証を行ったところ、クラシック曲を用いて構築した感性空間とファジィルールが、音楽ジャンルに関係なく印象を反映できることがわかった。

3章で構築した感性空間とファジィルールは印象と演奏表情の一般的な関係を表すものであり、全ての人が満足する演奏表情を生成することはできない。4章では、感性空間上で個々人による演奏表情とそれが表す印象を説明可能にすることを考慮し、個々人の印象を反映し、満足できる演奏表情を生成するための演奏表情の修正手法を提案した。ある印象を表す演奏表情が人によって違うことを説明可能にするために本論文では感性空間、ファジィルールを個人に特化させず、感性空間上で演奏表情の印象値を変えることで演奏表情を修正する。演奏表情の比較実験より、感性空間上では演奏表情間の距離と、演奏表情が表す印象の程度の差に関連があることがわかったが、ある印象を表現する演奏表情が存在する領域は人によって異なることがわかった。そこで、ユーザの評価を取り入れ、対話的に演奏表情を修正する手法を提案した。被験者実験の結果より、感性空間や

ファジィルールを個人に特化することなく個々人の感性を演奏表情に反映できること、感性空間上で被験者が入力した印象を反映する演奏表情に収束することがわかった。また、同じ印象を反映させた演奏表情でも、被験者によって満足する演奏表情の印象値は異なることもわかった。

そして、5章では、構築した感性モデルによって表される印象と演奏表情の関係を言葉で説明できることの有用性を示すために、3章と4章で述べた演奏表情生成手法によって生成された演奏表情や、演奏表情生成の過程で得られた情報を学習支援に応用し、実装した音楽表現学習支援システムを用いた被験者実験を行った。実験として、過去にピアノ演奏の経験がある被験者に音楽表現学習支援システムを用いて、音楽表現の練習を行ってもらったところ、目標とする印象を反映する演奏表情に自分の演奏を近づけることができたという評価を得た。また、被験者の演奏の演奏表情パラメータが練習を重ねることでアドバイス通りに変化していること、手本表情に近づいていることも確認できた。被験者実験の結果から、印象と演奏表情の関係が言葉で説明されることにより、学習者が印象と演奏の対応付けを理解、学習できることがわかった。このことから、本論文で構築した感性空間とファジィルール、それらを用いた演奏表情生成における知見が音楽表現の学習への応用に期待できると言える。

以上より、本論文の目的である演奏表情と印象の関係を表す感性モデルとして、感性空間とファジィルールで一般的なモデルを構築することができた。さらに、本論文で構築した感性空間とファジィルールは、演奏表情を付与する対象となる楽曲の音楽ジャンルに影響されにくいモデルであることが被験者実験の結果から示すことができた。また、感性空間上でユーザの評価を取り入れながら演奏表情を修正する手法を通して、演奏表情に対する印象を感性空間を用いることで説明することができることもわかった。そして、演奏表情と印象の関係を言葉で表せることが、音楽に対する感性の学習支援へ応用できることを示した。

6.2 今後の展望

今後の課題として、以下の2点が考えられる。本論文で演奏表情と印象の関係を表すモデルとして感性空間とファジィルールの構築を行ったが、同様の構築方法が音楽以外の対象にも用いることが可能であるかの検討が課題のひとつである。人間の感性に影響を与える、または、感情や印象を表す要因や特徴の関係を定量的に、かつ、説明が可能なモデルを構築することで、感性を取り入れた生成システムや推薦システムに適用できるとかんがえられる。もう一つは、感性モデルとその知見を学習や教育へどのように応用することでより効果を発揮できるかの検討があげられる。本論文では、構築した音楽表現学習支援システムについて被験者から良い評価を得た反面、提示されるアドバイスがもっとわかりやすくなるとよい、システムの評価が厳しいように感じるという意見もあった。よって、より効果的に知見を活かす方法を検討する必要があると考えられる。

謝辞

博士前期課程からの長い期間にわたり、研究を進めるにあたって暖かく、時には厳しく指導していただきました筑波大学システム情報系 鬼沢武久教授に心から感謝の意をささげます。本論文を作成するにあたり、筑波大学 システム情報系 白川友紀教授、同 丸山勉教授、同 掛谷英紀准教授、鈴木健嗣准教授にはお忙しいなか論文の審査をしていただき、貴重なご意見やご指摘をいただきました。ここに感謝の意をささげます。筑波大学 鬼沢研究室の皆様、卒業生の皆様には本当にお世話になりました。ゼミや被験者実験へのご協力をいただいたことをここに感謝致します。林篤司さん、Benhidour Hafida さん、大曾根圭輔さん、高嶋航大さん、石塚賢吉さん、Maria Alejandra Quiros Ramirez さんには、研究を進める上での貴重なご意見やご指摘をいただいたばかりでなく、博士後期課程の学生、卒業生として助言をいただき、研究活動の励みとなりました。研究室の同期であるコンウェイイさん、小林健太さん、清水秀晃さん、早勢亮太さん、張トウさん、樋口雄大さんには研究において貴重なご意見をいただき、日々の研究室生活では楽しい時間を過ごすことができました。皆様に感謝致します。また、釧路工業高等専門学校吹奏楽部の部員と OB・OG の皆様、富山大学吹奏楽団の OB・OG の皆様、高専カンファレンスで出会った皆様、粒谷区ウインドオーケストラ「フェリスタス」で出会った皆様、株式会社リバネスの社員・インターン生の皆様のおかげで、非常に有意義な学生生活を送ることができました。ここに感謝申し上げます。最後に、これまで暖かく見守り、励まし、支えてくださった家族と親戚に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 総務省. 平成 23 年社会生活基本調査. <http://www.stat.go.jp/data/shakai/2011/>.
- [2] 大串健吾. 音楽と感情. バイオメカニズム学会誌, Vol. 30, No. 1, pp. 3-7, 2006.
- [3] 浅野雅子, 古根川円, 中島祥好. 音楽心理学の動向について-音楽知覚、音楽と感情、音楽療法を中心に. 芸術工学研究, Vol. 12, pp. 83-95, 2010.
- [4] 高橋幸子, 山本賢司, 松浦信典, 伊賀富栄, 志水哲雄, 白倉克之. 音楽聴取が情動に与える変化について: 音楽聴取前後の poms スコアの変化を中心として. 心身医学, Vol. 39, No. 2, pp. 167-175, 1999.
- [5] 松井琴世, 河合淳子, 澤村貫太, 小原依子, 松本和雄. 音楽刺激による生体反応に関する生理・心理学的研究. 臨床教育心理学研究, Vol. 29, No. 1, pp. 43-57, 2003.
- [6] 保科洋. 生きた音楽表現へのアプローチ - エネルギー思考に基づく演奏解釈法. 音楽之友社, 1998.
- [7] 波多野誼余夫. 音楽と認知. 東京大学出版会, 1987.
- [8] 齋藤秀雄. 齋藤秀雄講義録. 白水社, 1999.
- [9] 谷口高士. 音は心の中で音楽になる - 音楽心理学への招待. 北大路書房, 2001.
- [10] Hans-Peter Schmitz. 演奏の原理. シンフォニア, 1977.
- [11] Gene Ann Behrens and Samuel B. Green. The ability to identify emotional content of solo improvisations performed vocally and on three different instruments. *Psychology of Music*, Vol. 21, No. 1, pp. 20-33, 1993.
- [12] 柳田益造. 知的・感性情報処理の対象としての音楽. 日本音響学会誌, Vol. 59, No. 3, pp. 159-164, 2003.
- [13] 杉原太郎, 森本一成, 黒川隆夫. Sd 法を通してみた音楽に対する感性の基本特性. 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理, Vol. 101, No. 227, pp. 57-63, 2001.

- [14] 平江遼, 西隆司. 感性に基づくクラシック音楽の分類. 日本音響学会誌, Vol. 64, No. 10, pp. 607–615, 2008.
- [15] 池添剛, 梶川嘉延, 野村康雄. 音楽感性空間を用いた感性語による音楽データベース検索システム. 情報処理学会論文誌, Vol. 42, No. 12, pp. 3201–3212, 2001.
- [16] 岩本昌子, 田辺祥, 横山節雄, 砂岡憲史, 宮寺庸造. 感性語空間の自動精錬機能をもつ音楽検索システムの実装. 電子情報通信学会技術研究報告. ET, 教育工学, Vol. 102, No. 139, pp. 61–66, 2002.
- [17] 杉原太郎, 森本一成, 黒川隆夫. ユーザの心理的距離を考慮した音楽感性検索システムの開発. 電子情報通信学会技術研究報告. HIP, ヒューマン情報処理, Vol. 103, No. 521, pp. 45–50, 2003.
- [18] 井口征士. 音楽演奏における人間らしさの抽出と表情付け. 日本ファジィ学会誌, Vol. 12, No. 4, pp. 19–28, 2000.
- [19] 鈴木泰山, 徳永健伸, 田中穂積. 事例に基づく演奏表情の生成. 情報処理学会論文誌, Vol. 41, No. 4, pp. 1134–1145, 2000.
- [20] Keiko Teramura and Hideharu Okuma and Yuusaku Taniguchi and Shimpei Makimoto and Shin-ichi Maeda. Gaussian Process Regression for Rendering Music Performance. In *Proc. International Conference of Music Perception and Cognition*, pp. 167 – 172, 2008.
- [21] Sebastian Flossmann, Maarten Grachten, and Gerhard Widmer. Expressive performance rendering with probabilistic models. In Alexis Kirke and Edurardo R. Miranda, editors, *Guide to Computing for Expressive Music Performance*, pp. 75–98. Springer Verlag, New York, 2012.
- [22] Makoto Tanji and Hitoshi Iba. ConBreO: A Music Performance Rendering System using Hybrid Approach of IEC and Automated Evolution. In *The Genetic and Evolutionary Computation Conference (GECCO 2010)*, 2010.
- [23] Mitsuyo Hashida, Noriko Nagata, and Haruhiro Katayose. Pop-E : A performance rendering system for the ensemble music that considered group expression. In *Proc. International Conference of Music Perception and Cognition*, pp. 526–534, 2006.
- [24] AMEI 社団法人 音楽電子事業協会. <http://www.amei.or.jp/>.
- [25] MusicXML for Exchanging Digital Sheet Music. <http://www.musicxml.com/>.

-
- [26] Patrik N. Juslin and John A. Sloboda, editors. *music and emotion : theory and research*. Oxford University Press, 2001.
- [27] 山脇一宏, 椎塚久雄. コレスポンデンス分析による音楽の特徴認識. 日本感性工学会 第 20 回 あいまいと感性研究部会, pp. 94–97, 2008.
- [28] Charles Egerton Osgood, George J. Suci, and Percy H. Tannenbaum. *The measurement of meaning*. University of Illinois Press, 1957.
- [29] 清水浩平, 萩原将文. 形容詞共起を用いた単語の印象推定法. 電子情報通信学会論文誌 D, Vol. 89, No. 11, pp. 2483–2490, 2006.
- [30] 盛多亮, 鬼沢武久. 形容詞・形容動詞の印象を用いたフレーズアニメーションの生成. 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol. 22, No. 1, pp. 121–134, 2010.
- [31] 本多中二, 大里有生. ファジィ工学入門. 海文堂, 1989.
- [32] 後藤真考, 橋口博樹, 西村拓一, 岡隆一. RWC 研究用音楽データベース: 音楽ジャンルデータベースと楽器音データベース. 情報処理学会研究報告 SIG-MUS-45, 第 2002 巻, pp. 19–26, 2002.
- [33] 田和真紀子. 程度副詞の評価性をめぐって. 宇都宮大学教育学部紀要. 第 1 部, Vol. 61, pp. 25–36, 2011.
- [34] R. C. Eberhart and J. Kennedy. A new optimizer using particle swarm theory. In *Proc. of the 6th International Symposium on Micromachine and Human Science*, pp. 39–43, 1995.
- [35] J. Madar, J. Abonyi and F. Szeifert. Interactive Particle Swarm Optimization. pp. 314–319, 2005.

著者文献

学術雑誌に発表した論文

1. Mio Suzuki and Takehisa Onisawa: “Musical Expression Generation Reflecting User’s Impression by Kansei Space and Fuzzy Rules ”, Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics, Vol. 16, No. 2, pp. 227–238, 2012.

国際会議で発表した論文（査読付き）

1. Mio Suzuki and Takehisa Onisawa: “Interactive Generation of Musical Expression Reflecting User’s Impression”, Proc. of 1st International Symposium on Affective Engineering 2013, pp. 231–236, 2013.
2. Mio Suzuki and Takehisa Onisawa: “Musical Expression Generation in Several Music Genres by Fuzzy Rules”, Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 319–326, 2011.
3. Mio Suzuki and Takehisa Onisawa: “Musical Expression Generation Reflecting Player’s Image by Soft-Computing Method”, Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, pp. 3754–3761, 2010.

その他の公表論文

1. 鈴木未央, 鬼沢武久: “ユーザとの対話によるイメージを反映した演奏表情生成”, 日本感性工学会第 36 回あいまいと感性研究部会ワークショップ講演論文集, 2012.
2. 鈴木未央, 鬼沢武久: “ユーザとの対話による修正を考えた演奏表情生成”, 第 28 回ファジィシステムシンポジウム講演論文集, pp. 1032–1037, 2012.
3. 鈴木未央, 鬼沢武久: “演奏者のイメージに基づく演奏表情生成における音楽ジャンルの影響の考察”, 第 12 回日本感性工学会大会予稿集, 3G1-4, 2010.

4. 鈴木未央, 鬼沢武久: “イメージを反映する演奏表情の構成因子抽出”, 第 19 回インテリジェント・システム・シンポジウム講演論文集, pp. 183-186, 2009.
5. 鈴木未央, 鬼沢武久: “演奏表情付けのためのグループ内の重心推定”, 第 32 回ファジィワークショップ講演論文集, pp. 89-92, 2008.

付録 A 第3章の実験結果の詳細

A.1 感性空間とファジィルールの印象表現能力を検証する実験の結果詳細

3.6.2項で述べた被験者実験における被験者ごとの評価結果を音楽ジャンル別に表 A.1 から表 A.4 に示す。表中の被験者番号は、3.6 節の表 3.19 に示す被験者番号と共通している。また、実験で用いたイメージ語、楽曲番号、評価項目はそれぞれ、表 3.16、表 3.17、表 3.18 に対応している。表中の“-”は評価時にミスがあり、評価が得られなかったことを示す。

表 A.1: クラシックの楽曲の場合の演奏表情に対する評価

被験者	楽曲 No.	イメージ語	評価項目								
			Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
A	C-1	柔らかい	2	1	2	2	3	2	2	3	3
	C-2	生気のない	3	3	2	2	3	2	3	2	2
	C-3	輝かしい	1	1	2	1	3	2	2	2	2
	C-4	病的な	3	3	3	3	1	2	2	3	3
B	C-1	生気のない	-1	-2	-2	-2	0	0	0	0	0
	C-2	繊細な	2	2	2	2	3	3	3	2	2
	C-3	幻想的な	2	3	2	2	3	2	2	2	2
	C-4	悲観的な	3	3	3	3	2	2	2	2	2
D	C-1	重い	-1	-2	-2	-1	2	2	2	1	1
	C-2	健康的な	2	2	2	1	1	1	1	2	2
	C-3	悲観的な	1	2	2	1	1	2	1	2	1
	C-4	柔らかい	-1	-2	-1	-1	1	2	1	0	1
E	C-1	健康的な	1	1	2	2	2	0	0	0	-1
	C-2	悲観的な	1	-1	2	-1	2	2	2	0	1
	C-3	暖かい	2	-1	1	0	2	1	1	0	0
	C-4	男性的な	-2	-2	-1	0	2	2	2	-2	-3
F	C-1	軽い	-1	2	-1	1	-1	2	-1	-2	-2
	C-2	重い	0	-2	-1	0	3	0	2	1	2
	C-3	楽観的な	-2	-3	1	1	2	2	2	1	-1
	C-4	冷たい	1	2	0	-1	2	1	1	-1	-1
G	C-1	輝かしい	3	3	0	1	2	1	2	3	2
	C-2	悲観的な	3	2	3	3	1	2	2	3	2
	C-3	繊細な	2	3	1	2	3	1	0	0	2
	C-4	生気のない	2	1	2	0	2	0	1	2	3
M	C-1	柔らかい	1	2	2	1	2	2	2	1	2
	C-2	女性的な	1	0	-1	0	2	1	1	1	1
	C-3	輝かしい	1	2	2	1	-1	0	-1	2	2
	C-4	健康的な	0	1	1	2	2	0	1	2	1
N	C-1	派手な	1	3	2	2	2	0	0	0	-1
	C-2	女性的な	1	2	1	2	2	0	0	-1	-1
	C-3	病的な	-2	-1	-1	-1	2	0	0	-2	-2
	C-4	輝かしい	2	1	-1	-1	2	0	0	0	1
O	C-1	輝かしい	3	3	3	3	1	0	1	2	2
	C-2	生気のない	2	1	1	1	3	3	3	2	2
	C-3	暖かい	1	1	1	1	1	0	0	1	1
	C-4	派手な	2	2	1	1	-1	0	0	2	2
P	C-1	繊細な	-	2	2	2	1	1	2	2	1
	C-2	重い	-	2	2	2	-1	1	1	2	2
	C-3	暖かい	-	1	1	1	1	0	1	2	2
	C-4	楽観的な	-	-2	-2	-2	-1	0	0	-1	-2
U	C-1	楽観的な	0	-1	0	0	1	1	0	1	1
	C-2	病的な	2	2	2	2	1	1	0	2	2
	C-3	軽い	-1	-1	-1	-1	1	1	1	0	0
	C-4	重い	2	3	2	2	2	2	2	2	2
V	C-1	重い	1	-1	1	-2	2	1	-1	2	2
	C-2	かよわい	2	2	1	2	2	2	3	2	2
	C-3	軽い	1	-1	-1	1	2	2	2	2	2
	C-4	なめらかな	2	1	1	2	2	2	2	2	2

表 A.2: ジャズの楽曲の場合の演奏表情に対する評価

被験者	楽曲 No.	イメージ語	評価項目								
			Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
A	Ja-1	柔らかい	2	2	2	2	3	2	2	2	1
	Ja-2	繊細な	3	2	2	2	3	3	3	2	3
	Ja-3	病的な	3	2	2	2	3	2	2	2	3
	Ja-4	暖かい	3	3	3	3	2	3	3	2	3
B	Ja-1	女性的な	3	2	3	3	2	2	2	2	2
	Ja-2	重い	3	3	1	1	3	3	2	2	2
	Ja-3	幻想的な	2	2	2	2	1	1	1	2	2
	Ja-4	男性的な	3	2	2	2	3	3	3	3	3
E	Ja-1	柔らかい	-	1	1	1	2	1	0	1	1
	Ja-2	なめらかな	-	1	1	1	1	1	0	0	0
	Ja-3	現実的な	-	-2	-1	0	1	0	0	1	0
	Ja-4	軽い	-	0	-1	0	2	1	1	1	1
G	Ja-1	叙情的な	1	0	2	0	2	-1	-1	2	2
	Ja-2	軽い	3	2	3	3	2	1	2	3	3
	Ja-3	派手な	1	-1	1	-2	1	0	-1	2	3
	Ja-4	楽観的な	1	0	1	2	2	1	2	1	2
L	Ja-1	派手な	2	2	2	2	2	1	1	2	2
	Ja-2	軽い	0	1	0	0	2	2	2	1	1
	Ja-3	柔らかい	1	-1	0	0	2	2	1	0	0
	Ja-4	悲観的な	1	1	1	-1	2	1	1	1	1
M	Ja-1	軽い	-1	-1	-1	0	1	1	1	0	-1
	Ja-2	大胆な	2	2	2	1	-1	0	0	1	1
	Ja-3	叙情的な	2	1	1	1	2	1	1	1	1
	Ja-4	やぼったい	3	2	2	2	2	2	2	2	2
N	Ja-1	幻想的な	2	1	2	2	2	2	2	2	1
	Ja-2	なめらかな	2	1	2	2	2	0	2	2	2
	Ja-3	男性的な	3	3	3	3	1	-1	2	3	3
	Ja-4	健康的な	2	2	2	2	1	-2	1	3	3
O	Ja-1	病的な	3	2	2	2	1	1	1	2	2
	Ja-2	派手な	-1	1	1	1	-1	-1	-1	1	1
	Ja-3	生気のない	2	1	2	2	2	1	1	2	2
	Ja-4	柔らかい	2	1	0	0	2	2	1	2	2
P	Ja-1	生気のない	1	1	1	1	1	0	0	1	1
	Ja-2	柔らかい	2	2	1	1	1	1	1	2	2
	Ja-3	軽い	-1	-1	-1	-1	0	1	1	1	1
	Ja-4	大胆な	1	2	1	1	-1	0	0	1	1
Q	Ja-1	軽い	-1	-1	-1	1	2	2	1	0	0
	Ja-2	派手な	1	1	2	2	1	0	0	0	1
	Ja-3	冷たい	1	1	2	2	1	1	1	0	1
	Ja-4	かよわい	3	2	2	-1	2	2	1	1	1
R	Ja-1	重い	2	2	1	2	-1	-1	-1	3	3
	Ja-2	派手な	2	3	3	2	1	1	1	3	2
	Ja-3	幻想的な	1	-1	-1	1	2	2	3	1	1
	Ja-4	派手な	2	2	3	2	2	2	1	3	2
V	Ja-1	健康的な	2	3	2	2	2	2	2	2	2
	Ja-2	かよわい	3	2	2	2	1	2	2	2	2
	Ja-3	叙情的な	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Ja-4	生気のない	2	3	3	3	2	2	2	2	2

表 A.3: ポップスの楽曲の場合の演奏表情に対する評価

被験者	楽曲 No.	イメージ語	評価項目								
			Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
A	JPOP-1	輝かしい	2	2	2	2	3	1	1	2	2
	JPOP-2	派手な	2	2	0	0	2	1	1	2	3
	JPOP-3	冷たい	3	2	2	1	3	2	2	2	3
	JPOP-4	生氣のない	3	3	2	2	3	2	1	1	1
B	JPOP-1	派手な	2	2	2	2	1	2	2	3	2
	JPOP-2	叙情的な	1	1	0	1	0	0	0	-1	-1
	JPOP-3	悲観的な	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	JPOP-4	繊細な	2	3	3	3	2	3	3	2	2
E	JPOP-1	楽観的な	-	2	1	-1	1	1	0	1	1
	JPOP-2	冷たい	-	2	3	2	2	2	2	1	2
	JPOP-3	男性的な	-	-2	0	0	-2	-1	-2	0	0
	JPOP-4	幻想的な	-	-1	1	1	2	1	-1	0	-1
G	JPOP-1	健康的な	2	-1	0	0	2	2	2	0	2
	JPOP-2	繊細な	2	2	3	3	2	1	1	0	1
	JPOP-3	悲観的な	-	1	2	3	3	1	1	3	2
	JPOP-4	暖かい	-1	-2	-2	-1	2	1	1	-1	-2
L	JPOP-1	生氣のない	2	2	2	2	2	1	1	2	2
	JPOP-2	女性的な	1	2	2	1	2	1	0	1	1
	JPOP-3	軽い	1	1	1	1	2	1	2	0	0
	JPOP-4	派手な	2	2	2	2	1	1	1	2	2
M	JPOP-1	病的な	1	2	1	1	0	0	1	0	1
	JPOP-2	かたい	1	1	1	1	1	1	1	1	2
	JPOP-3	幻想的な	0	-1	0	0	1	0	0	0	1
	JPOP-4	暖かい	-1	-1	0	0	1	1	1	-1	-1
N	JPOP-1	健康的な	1	1	2	3	1	-1	1	1	1
	JPOP-2	繊細な	1	1	2	2	2	2	2	1	1
	JPOP-3	柔らかい	1	0	2	-1	-2	-2	-1	1	1
	JPOP-4	かたい	-2	-1	1	-1	0	1	2	-1	-2
O	JPOP-1	楽観的な	-1	-2	-2	-1	0	0	0	-1	-1
	JPOP-2	繊細な	1	1	1	2	2	2	1	1	1
	JPOP-3	男性的な	-2	-2	-2	-2	0	0	0	-1	-2
	JPOP-4	暖かい	1	-1	-1	0	1	2	2	1	1
P	JPOP-1	健康的な	1	1	1	1	0	0	0	1	1
	JPOP-2	幻想的な	1	1	0	0	-1	1	0	1	1
	JPOP-3	重い	1	1	1	1	-1	0	0	1	1
	JPOP-4	繊細な	1	1	1	1	1	0	0	1	1
Q	JPOP-1	幻想的な	1	1	0	0	1	0	0	1	1
	JPOP-2	楽観的な	-2	-1	-2	-2	-1	-1	-1	0	-2
	JPOP-3	病的な	0	1	0	0	0	0	0	0	0
	JPOP-4	健康的な	2	2	1	1	1	0	0	0	0
R	JPOP-1	輝かしい	2	2	2	3	-1	-1	-1	3	3
	JPOP-2	悲観的な	3	3	3	3	2	3	3	3	3
	JPOP-3	病的な	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	JPOP-4	男性的な	1	3	3	3	-1	0	-1	2	2
V	JPOP-1	病的な	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	JPOP-2	暖かい	-1	-1	-1	1	2	2	2	2	-1
	JPOP-3	軽い	1	-1	-1	-1	1	1	1	1	1
	JPOP-4	柔らかい	2	2	2	3	2	2	2	2	2

表 A.4: 演歌の楽曲の場合の演奏表情に対する評価

被験者	楽曲 No.	イメージ語	評価項目								
			Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9
A	E-1	重い	0	-1	0	0	-1	0	0	1	2
	E-2	男性的な	1	2	1	2	-1	1	1	2	2
	E-3	かよわい	2	3	2	2	2	2	2	1	2
	E-4	大胆な	1	1	2	1	-1	1	1	2	2
B	E-1	重い	-1	-1	-2	0	-2	-1	0	-2	-2
	E-2	大胆な	-2	-2	-2	-2	1	1	0	0	0
	E-3	輝かしい	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	E-4	幻想的な	1	1	-1	-1	1	-2	-2	2	2
E	E-1	大胆な	-	-2	-1	-1	0	-1	-1	-1	-2
	E-2	生気のない	-	2	1	0	2	1	1	2	2
	E-3	輝かしい	-	-2	-2	-1	1	0	0	0	1
	E-4	女性的な	-	-2	1	1	-1	2	2	0	0
G	E-1	やぼったい	2	-1	2	1	0	3	3	2	3
	E-2	病的な	1	2	2	2	1	2	0	-2	-3
	E-3	輝かしい	-	2	2	2	1	0	0	2	2
	E-4	幻想的な	3	1	2	3	2	2	3	2	1
L	E-1	楽観的な	-1	-1	-1	-1	1	0	0	1	1
	E-2	大胆な	2	2	2	2	2	1	1	1	1
	E-3	かたい	2	2	2	2	1	1	1	3	3
	E-4	暖かい	1	1	1	1	2	1	1	0	0
M	E-1	悲観的な	3	2	1	1	2	1	1	2	1
	E-2	重い	2	2	1	1	1	1	1	1	1
	E-3	なめらかな	3	2	2	2	1	1	1	1	1
	E-4	楽観的な	0	-1	0	0	1	0	0	-1	-1
N	E-1	叙情的な	1	2	2	2	1	2	2	2	2
	E-2	女性的な	2	1	2	2	0	2	2	1	1
	E-3	輝かしい	-1	1	2	2	-1	2	2	1	1
	E-4	病的な	1	1	2	2	2	2	2	1	1
O	E-1	大胆な	-1	-1	-2	-2	1	1	1	-1	-1
	E-2	女性的な	2	1	2	2	1	1	1	2	2
	E-3	幻想的な	-1	-2	-1	-2	1	1	2	2	1
	E-4	現実的な	0	1	1	1	1	1	2	0	0
P	E-1	男性的な	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	-1
	E-2	悲観的な	2	2	1	2	1	1	1	1	1
	E-3	暖かい	-1	-1	-1	0	0	0	0	-1	-1
	E-4	派手な	1	1	1	0	-1	0	0	1	1
Q	E-1	柔らかい	1	1	-1	0	2	1	-1	0	0
	E-2	大胆な	0	2	2	2	-2	-1	-1	0	0
	E-3	男性的な	1	2	1	1	-1	0	0	0	0
	E-4	かたい	2	0	-1	-1	1	1	0	2	2
R	E-1	かたい	2	2	1	1	2	1	1	3	3
	E-2	楽観的な	-2	-1	-1	-1	-2	-2	-1	-1	-2
	E-3	女性的な	3	3	3	3	2	3	2	3	2
	E-4	大胆な	2	3	2	3	1	1	1	3	2
V	E-1	重い	2	2	2	2	1	2	2	1	1
	E-2	大胆な	2	2	2	2	2	2	2	2	1
	E-3	軽い	-1	-1	1	1	2	2	2	-1	-1
	E-4	派手な	1	1	1	1	2	2	2	1	1

付録B 第4章の実験結果の詳細

B.1 被験者実験の結果詳細

4.5項で述べた被験者実験の評価結果の詳細を表B.1に示す。表中の楽曲番号と評価項目は、表4.2と表4.3に対応している。4.5項の実験では、イメージ語は被験者が自由に入力したものである。修正回数が0となっている演奏表情は、演奏表情生成システムにイメージ語を入力し、最初に生成された演奏表情である。

表 B.1: 各被験者が入力したイメージ語と完成した演奏表情への評価

被験者	No.	イメージ語	修正回数	評価項目							
				Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8
A	1	豪快な	3	5	5	7	6	6	5	7	6
	2	楽しげな	3	6	7	6	5	6	7	6	5
	3	熱い	2	7	7	7	7	7	7	7	7
	4	理不尽な	1	7	7	7	6	7	7	7	6
B	1	重い	4	6	6	4	6	6	6	4	5
	2	かよわい	2	7	6	7	7	6	5	7	6
	3	なめらかな	2	6	6	6	7	6	6	5	7
	4	悲観的な	2	7	7	7	7	7	7	7	5
C	1	明るい	5	2	3	5	4	2	5	6	2
	2	寂しい	3	6	6	7	6	6	4	4	3
	3	眠い	7	6	5	5	6	1	2	4	2
	4	機械的な	3	6	7	7	5	6	6	5	4
D	1	楽しい	1	3	7	6	5	3	7	6	5
	2	柔らかい	2	7	6	6	5	6	7	6	4
	3	物悲しい	3	6	4	5	7	4	6	3	4
	4	激しい	3	5	7	7	5	4	5	7	4
E	1	生氣のない	2	7	7	6	6	6	6	5	5
	2	かたい	6	5	5	6	4	5	5	6	4
	3	軽い	3	6	6	5	6	5	6	4	5
	4	優しい	0	7	6	7	7	4	4	4	4
F	1	悲観的な	1	6	6	6	6	6	6	6	6
	2	軽い	3	5	6	4	5	6	4	4	5
	3	楽観的な	4	5	6	6	4	4	6	6	4
	4	病的な	0	7	6	6	6	4	4	4	4
G	1	軽やかな	3	4	5	6	3	2	2	6	4
	2	弱い	1	7	7	7	7	7	7	7	7
	3	激しい	10	2	2	2	2	2	1	2	3
	4	おとなしい	2	7	7	6	6	7	7	6	6
H	1	派手な	2	6	7	6	6	6	6	6	6
	2	明るい	3	6	6	6	6	6	6	6	5
	3	男性的な	5	6	5	7	6	4	3	7	6
	4	軽い	9	6	6	6	6	5	4	6	6
I	1	軽い	5	5	5	6	6	5	5	6	6
	2	大胆な	2	6	6	5	6	5	6	5	6
	3	病的な	1	7	7	7	7	7	7	7	7
	4	女性的な	3	6	6	6	5	5	6	5	6
J	1	緩やかな	1	6	7	7	6	7	7	4	5
	2	優しい	1	6	7	7	6	6	6	6	4
	3	元気な	0	7	7	7	7	4	4	4	4
	4	豪快な	10	1	3	4	3	1	1	2	4
K	1	軽快な	4	6	7	5	6	6	7	4	5
	2	不思議な	4	5	5	3	4	5	5	5	2
	3	かっこいい	2	6	7	6	5	6	6	6	5
	4	可愛い	5	5	6	3	4	6	6	3	4
M	1	明るい	3	6	5	6	5	4	5	5	5
	2	楽観的な	5	5	6	6	6	3	6	5	6
	3	重い	4	5	6	3	6	6	5	3	5
	4	女性的な	3	4	3	5	2	3	5	5	3

付録C 第5章の実験結果の詳細

付録Cでは、5.4項で述べた、演奏表情生成手法を応用した音楽表現学習支援システムの有効性を検証する被験者実験に参加した被験者の音楽経験と、被験者ごとの評価結果、被験者が演奏した演奏表情パラメータの詳細を示す。

C.1 被験者の音楽経験

表 C.1 に被験者実験に参加した被験者の音楽経験を示す。

表 C.1: 被験者の音楽経験

被験者	音楽経験
A	ピアノ (小学1年生～小学4年生)
	フルート (現在まで5年間)
B	ピアノ (過去に3～4年間)
	フルート (現在まで7年間)
C	ピアノ (小学1年生～高校2年生)
	クラリネット (現在まで15年間)
D	ピアノ (過去に2年間)
	エレキベース (過去に半年間)
	チューバ (現在まで11年間)
E	ピアノ (過去に6年間)
	合唱 (過去に2年間)
F	バンド (過去に5年間)
	ピアノ (過去に4年間)
G	ピアノ (過去に15年間)
	チェロ (現在まで6年間)

C.2 被験者実験の結果詳細

表 C.2 に被験者実験における被験者ごとの評価結果を示す。評価項目は表 5.1 に対応しており、Q1 から Q4 は音楽表現学習支援システムが生成、提示したアドバイスについての項目であり、Q5 と Q6 は音楽表現学習支援システムについての項目である。表中の“-” は評価時にミスがあり、評価が得られなかったことを示す。

表 C.2: 音楽表現学習支援システムが提示するアドバイスに対する評価

被験者	楽曲	目標イメージ	評価項目					
			Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
A	グノシエンヌ第1番	かたい	6	5	4	5		
	エコセーズト長調 WoO.23	軽やかな	7	6	6	6	6	5
B	グノシエンヌ第1番	かたい	5	4	3	6		
	エコセーズト長調 WoO.23	軽やかな	4	5	5	6	4	5
C	グノシエンヌ第1番	かたい	3	5	3	5		
	エコセーズト長調 WoO.23	軽やかな	5	5	3	5	5	2
D	グノシエンヌ第1番	かたい	5	5	5	5		
	エコセーズト長調 WoO.23	軽やかな	6	6	3	6	5	6
E	グノシエンヌ第1番	かたい	6	6	5	-		
	エコセーズト長調 WoO.23	軽やかな	6	6	6	-	5	5
F	グノシエンヌ第1番	かたい	5	6	5	5		
	エコセーズト長調 WoO.23	軽やかな	5	6	6	5	5	6
G	グノシエンヌ第1番	かたい	5	6	4	3		
	エコセーズト長調 WoO.23	軽やかな	5	6	3	6	3	5

C.3 被験者ごとの演奏表情パラメータの詳細

表 C.3 から表 C.16 に、被験者実験において、被験者の演奏表情パラメータがアドバイス通りの変化となっていたか、属するファジィ集合が手本表情と一致していたかを示す。表中の番号は練習回数を示し、練習回数の列に書かれた○印は被験者の演奏表情パラメータ値が属するファジィ集合と、手本表情のファジィ集合が一致していたことを示す。「反映」と書かれた列は、被験者の演奏表情パラメータ値が属するファジィ集合が、提示されたアドバイス通りに変化していたかどうかを示し、○印はアドバイス通りに変化していた、×印はアドバイス通りに変化していなかったことを表す。アドバイスの反映については、演奏表情パラメータ値が属するファジィ集合が一致したかどうかは考慮しない。また、この実験では練習の上限回数を 10 回と設定したが、被験者 A と被験者 E は音楽表現学習支援システムで提示している練習回数を見落としたため、それぞれ、設定した上限回数に満たない回数、また、上限回数以上の練習回数となった。

表 C.3: 被験者 A の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: グノシエンヌ第1番)

パラメータ	練習回数									
	1 反映	2 反映	3 反映	4 反映	5 反映	6 反映	7 反映	8 反映	9 反映	10 反映
<i>TempoBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-
<i>TempoVar</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-
<i>TempoRange</i>	○	○	×	×	×	×	×	×	×	-
<i>VelocityBase</i>	○	○	×	×	○	○	×	×	○	-
<i>VelocityVar</i>	×	×	×	×	○	○	×	×	○	-
<i>VelocityRange</i>	○	○	×	×	×	○	×	×	○	-
<i>LengthSign</i>	○	○	×	×	×	×	×	×	×	-
<i>LengthBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	-

表 C.4: 被験者 A の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: エコセーズ ト長調 WoO.23)

パラメータ	練習回数												
	1 反映	2 反映	3 反映	4 反映	5 反映	6 反映	7 反映	8 反映	9 反映	10 反映	11 反映	12 反映	13 反映
<i>TempoBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoVar</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoRange</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityBase</i>	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityVar</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○
<i>VelocityRange</i>	○	×	×	×	×	○	○	×	×	×	×	×	×
<i>LengthSign</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>LengthBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表 C.5: 被験者 B の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: グノシエンヌ第1番)

パラメータ	練習回数									
	1 反映	2 反映	3 反映	4 反映	5 反映	6 反映	7 反映	8 反映	9 反映	10 反映
<i>TempoBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoVar</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoRange</i>	○	○	×	○	×	×	×	×	×	×
<i>VelocityBase</i>	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×
<i>VelocityVar</i>	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×
<i>VelocityRange</i>	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×
<i>LengthSign</i>	×	×	×	×	×	○	×	×	×	×
<i>LengthBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表 C.6: 被験者 B の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: エコセーズト長調 WoO.23)

パラメータ	練習回数									
	1 反映	2 反映	3 反映	4 反映	5 反映	6 反映	7 反映	8 反映	9 反映	10 反映
<i>TempoBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoVar</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoRange</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityBase</i>	○	○	○	○	○	○	×	×	×	×
<i>VelocityVar</i>	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<i>VelocityRange</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>LengthSign</i>	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<i>LengthBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表 C.7: 被験者 C の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: グノシエンヌ第1番)

パラメータ	練習回数									
	1 反映	2 反映	3 反映	4 反映	5 反映	6 反映	7 反映	8 反映	9 反映	10 反映
<i>TempoBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoVar</i>	○	×	×	○	×	○	×	○	×	○
<i>TempoRange</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityVar</i>	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○
<i>VelocityRange</i>	○	○	○	○	○	○	×	○	○	○
<i>LengthSign</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>LengthBase</i>	×	○	○	○	○	×	○	○	○	○

表 C.8: 被験者 C の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: エコセーズ ト長調 WoO.23)

パラメータ	練習回数									
	1 反映	2 反映	3 反映	4 反映	5 反映	6 反映	7 反映	8 反映	9 反映	10 反映
<i>TempoBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoVar</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoRange</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityBase</i>	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○
<i>VelocityVar</i>	×	×	×	○	○	×	×	×	×	○
<i>VelocityRange</i>	○	○	○	○	○	×	○	○	○	○
<i>LengthSign</i>	○	○	×	×	×	○	○	○	○	○
<i>LengthBase</i>	×	○	○	○	×	○	○	○	○	○

表 C.9: 被験者 D の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: グノシエンヌ第1番)

パラメータ	練習回数									
	1 反映	2 反映	3 反映	4 反映	5 反映	6 反映	7 反映	8 反映	9 反映	10 反映
<i>TempoBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoVar</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoRange</i>		×	×	×	×	×	×	×	×	×
<i>VelocityBase</i>	○	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<i>VelocityVar</i>		○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityRange</i>		×	×	×	×	×	×	×	×	×
<i>LengthSign</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>LengthBase</i>		○								

表 C.10: 被験者 D の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: エコセーズト長調 WoO.23)

パラメータ	練習回数									
	1 反映	2 反映	3 反映	4 反映	5 反映	6 反映	7 反映	8 反映	9 反映	10 反映
<i>TempoBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoVar</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoRange</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityBase</i>		○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityVar</i>		○	○	×	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityRange</i>		×	×	×	○	×	×	○	○	○
<i>LengthSign</i>	×	×	×	×	×	×	×	×	○	○
<i>LengthBase</i>										○

表 C.11: 被験者 E の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: グノシエヌ第 1 番)

パラメータ	練習回数									
	1 反映	2 反映	3 反映	4 反映	5 反映	6 反映	7 反映	8 反映	9 反映	10 反映
<i>TempoBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoVar</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoRange</i>	○	○	○	○	×	○	○	○	○	×
<i>VelocityBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityVar</i>	○	×	○	○	○	×	○	○	○	○
<i>VelocityRange</i>	○	○	○	○	×	○	○	○	○	○
<i>LengthSign</i>	○	○	○	○	○	×	×	○	○	○
<i>LengthBase</i>	○	○	×	○	○	○	○	○	○	○

表 C.12: 被験者 E の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: エコセーズト長調 WoO.23)

パラメータ	練習回数										
	1 反映	2 反映	3 反映	4 反映	5 反映	6 反映	7 反映	8 反映	9 反映	10 反映	11 反映
<i>TempoBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoVar</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoRange</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityVar</i>	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityRange</i>	○	○	○	○	○	×	○	○	○	×	○
<i>LengthSign</i>	×	○	○	×	×	○	○	○	○	○	○
<i>LengthBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	×	○

表 C.13: 被験者 F の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: グノシエヌ第 1 番)

パラメータ	練習回数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>TempoBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoVar</i>	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoRange</i>			○	○	×	○	○	○	×	○
<i>VelocityBase</i>	×	○	○	×	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityVar</i>	×	×	×	×	×	○	○	○	○	○
<i>VelocityRange</i>	○	○	×	×	×	○	○	○	○	○
<i>LengthSign</i>	○	○	×	×	×	×	×	×	×	×
<i>LengthBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表 C.14: 被験者 F の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: エコセーズト長調 WoO.23)

パラメータ	練習回数									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>TempoBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoVar</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoRange</i>			○	○	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityBase</i>	○	×	×	○	○	×	×	×	×	○
<i>VelocityVar</i>	×	×	×	×	×	×	×	×	×	×
<i>VelocityRange</i>	○	○	×	×	×	×	×	×	×	○
<i>LengthSign</i>	○	○	×	×	×	×	×	×	×	○
<i>LengthBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表 C.15: 被験者 G の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: グノシエンス第 1 番)

パラメータ	練習回数									
	1 反映	2 反映	3 反映	4 反映	5 反映	6 反映	7 反映	8 反映	9 反映	10 反映
<i>TempoBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoVar</i>	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoRange</i>						×	×	×	×	×
<i>VelocityBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityVar</i>	×	×	×	×	×	○	×	×	○	○
<i>VelocityRange</i>	○	○	○	○	○	○	○	×	×	○
<i>LengthSign</i>	○	○	○	○	×	×	×	×	×	×
<i>LengthBase</i>	×	○	○	○	○	○	○	○	○	○

表 C.16: 被験者 G の練習における演奏表情パラメータの変化 (楽曲: エコセーズト長調 WoO.23)

パラメータ	練習回数									
	1 反映	2 反映	3 反映	4 反映	5 反映	6 反映	7 反映	8 反映	9 反映	10 反映
<i>TempoBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoVar</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>TempoRange</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>VelocityVar</i>	×	×	×	×	×	○	×	×	○	×
<i>VelocityRange</i>	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
<i>LengthSign</i>	×	×	×	○	×	○	○	○	○	○
<i>LengthBase</i>	○	○	○	○	○	○	○	×	○	○