

平成 28 年度 卒業論文

ピアノ練習支援のための楽譜表示システムの
試作

指導教員 北原 鉄朗 准教授

日本大学文理学部情報科学科

松村 ひかる, 島田 彩女

2017 年 2 月 提出

概 要

ピアノ楽曲を演奏するためには，習得するための練習が必要である．特に，成人してからピアノをより上達させようとする人は，仕事などで練習時間がとりにくくなるため，効率よく練習をすることが必要になる．

既存研究では，上達のためにアドバイス文を呈示したり演奏情報を鍵盤上に投影するシステムなどが存在する．しかし我々は，システムによる情報提示は事実のみにし，その解釈や判断はユーザに委ねるべきだと考えている．理由としては，万が一不適切なアドバイスが出力されてしまい，ユーザがシステムのアドバイスに不信感を抱いたら，モチベーションが低下する危険性が有ることなどが挙げられる．

本研究では，上記の考えに基づき，演奏に対して楽譜どおり弾かなかった箇所とテンポの変動のみを表示するシステムの開発を行う．ユーザはこれらの情報から，練習すべき箇所などを自ら判断し，効率的な練習を模索することを期待する．

評価実験では，12人の被験者を2つのグループに分けて行った．システムで演奏結果のフィードバックを見て練習する条件1の被験者と，フィードバックを見ずに練習する条件2の被験者で，弾き間違えた音の数（Miss-note），余分に弾いた音の数（Extra-note），テンポの安定性の変動を比べ，システムの有意性を確かめた．実験の結果，弾き損ねた音の数は条件1，2ともに減少傾向が見られた．これは練習をくり返したためだと考えられる．余分に弾いた音の数は条件1では強いマイナスの相関が見られたが，条件2ではほぼ相関が見られなかった．テンポの変動については，有意な差は得られなかったが，双方概ね5回目は1回目比

てテンポの安定性は増していた。また、被験者たちの中には1回目から5回目まで両手で弾いた人・すべてを片手で弾いた人・途中から両手で弾いた人などがいたため、両手で弾いた人のみを比較した。その結果、条件1の弾き損ねた音符数のT検定のP値はわずかに0.05を切らなかったが、有意傾向が見られた。条件2の方は有意差はなかった。余分に弾いた音の数は条件1の方が相関係数の平均は少ない。テンポの安定性は5回目は1回目比べて有意にテンポのバラつきが小さくなっている。どの分析にせよ、両手のみだと人数が4:3になってしまうため、今後人数を増やして再検討する必要がある。

実験後には自身のピアノ歴やシステムについてのアンケートに答えてもらった。システムを使用した6人にシステムに関する設問に答えてもらったところ、アンケートは概ね好評だった。

目 次

目 次	iii
図目次	vii
表目次	ix
第1章 序 論	1
1.1 本研究の背景	1
1.2 本研究の目的	2
1.3 本論文の構成	2
第2章 関連研究・関連システム	3
2.1 保育者・教員養成過程のピアノ実技の授業研究 [1]	3
2.2 視手範囲が初見演奏の技術に与える影響 [2]	3
2.3 初見演奏のためのピアノ学習システムの開発 [3]	4
2.4 ピアノ演奏後の録音聴取による自己評価活動の影響 [4]	4
2.5 演奏特徴の強調およびアドバイス文呈示によるピアノ基礎演奏の独 習支援 [5]	5
2.6 システム補助からの離脱を考慮したピアノ演奏学習システムの設計 と実装 [6]	5
2.7 不得手要素を克服させるピアノ学習支援システムにむけて [7]	6
2.8 楽曲の技術的な敷居を低くする手法の開発 [8]	6

2.9	スコア色付けによるオーケストラスコアリーディング支援システム [9]	7
2.10	手の自然な動きを考慮した隠れ変数付き隠れマルコフモデルに基づくピアノ運指決定 [10]	7
2.11	関連研究・関連システムとの類似点・相違点	8
第3章	予備実験	9
3.1	実験手順	9
3.2	実験結果	13
3.2.1	弾き損ねた音符	13
3.2.2	余分に弾いた音符	14
3.2.3	練習について	15
3.3	考察	16
第4章	ピアノ練習支援システム	17
4.1	本研究におけるアプローチ	17
4.2	システムの概要	17
4.3	楽譜と演奏の差異およびテンポ変化の計算	18
4.4	分析結果の表示	18
第5章	評価実験	21
5.1	被験者	21
5.2	実験手続き	21
5.3	使用楽曲	22
5.4	実験結果・考察	28
5.4.1	引き損ねた音符数の変化	30
5.4.2	余分に弾いた音符数の変化	32
5.4.3	テンポの安定性の変化	33
5.4.4	両手で演奏した被験者のみの比較	34

5.4.5	練習の仕方の変化	34
5.4.6	アンケート結果	35
第6章	結 論	43
6.1	結論	43
6.2	今度の展望	44
	参考文献	45

目 次

3.1	16小節和音主体の楽譜 [13]	10
3.2	12小節分散和音主体の楽譜 [13]	11
4.1	システム表示画面	20
5.1	共通曲の楽譜 [13]	23
5.2	課題曲の楽譜 [13]	27
5.3	弾き損ねた音の数の変化：フィードバックあり	29
5.4	弾き損ねた音の数の変化：フィードバックなし	29
5.5	余分に弾いた音の数の変化：フィードバックあり	31
5.6	余分に弾いた音の数の変化：フィードバックなし	31

表 目 次

3.1	アンケート内容	12
3.2	弾き損ねた音符数	13
3.3	弾き損ねた音符数が多かった小節	13
3.4	余分に弾いた音符数	14
3.5	余分に弾いた音符数が多かった小節	14
3.6	練習の開始場所	15
5.1	被験者について：フィードバック表示システム有り	24
5.2	被験者について：フィードバック表示システム無し	25
5.3	アンケート内容	26
5.4	弾き損ねた音符数	28
5.5	余分に弾いた音符数	30
5.6	テンポの中央値と四分位範囲	36
5.7	練習の開始場所	37
5.8	アンケート結果：フィードバック表示システム有り 質問内容:表 5.3	38
5.9	アンケート結果：フィードバック表示システム無し 質問内容:表 5.3	39
5.10	アンケート 5. 実験についての感想・意見など	40
5.11	アンケート 9. フィードバック表示システムについての感想・意見など	41

第1章 序 論

本章では，研究の背景・目的を述べた後，本論文の構成を述べる．

1.1 本研究の背景

ピアノ曲を習得して演奏するためには，練習が必要である．ピアノは一番多く教えられている楽器と言われており，幼いころピアノを習っていた人は一定数いる．成人してから再び趣味にしたり，友人の結婚式で頼まれて弾くことになったり，幼いころピアノを習っていた人が成人してからピアノをより上達させようとするのは，特に効率の良い練習が必要である．これは，仕事などで練習時間がとりにくくなるためである．

ピアノ曲の習得を支援するシステムの研究がいくつか行われている．森田らは，演奏に対してアドバイス文を提示することでピアノ基礎演奏の独習を支援するシステムを制作した [5]．矢嶋らは，演奏している位置と視線位置の差に着目し，表示する音符の数を制限する初見演奏のトレーニングシステムを提案した [3]．このようなシステムを使うと練習時は上達するが，実際に演奏するときにはシステムを使えなかったり，システムにたより過ぎてしまったり，文章について考えてしまい練習が進まなくなったりするため，1人でピアノ曲を練習するのは難しいと言える．

1.2 本研究の目的

本研究では、ピアノを効率的に練習したい人が新しい曲を練習する場面を想定したものである。ピアノを効率的に練習するには、演奏の中で弾き間違えた部分やテンポのゆれを認識し、練習する事が必要である。従って、ピアノ楽曲を演奏すると、その演奏に対して楽譜どおり弾かなかった箇所とテンポの変動が楽譜に表示されるシステムの開発を目的とする。本システムを使用することにより、ユーザはこれらの情報から、練習すべき箇所などを自ら判断し、効率的な練習を模索することを期待する。

1.3 本論文の構成

本論文は次の構成からなる。第2章では、本研究に関係する既存研究や既存システムについて述べる。第3章では、本研究の参考にするために行った事前実験について述べる。第4章では、本研究で考案したシステムについての構成などを述べ、フィードバックの方法を提示する。第5章では、実際にシステムを用いて練習・演奏をしてもらったグループと、システムを用いずに練習・演奏をしてもらったグループに分けて、被験者実験を行った結果を述べる。第6章では本研究の結論、また今後の課題について述べる。

第2章 関連研究・関連システム

ここでは関連する研究やシステムを紹介する．

2.1 保育者・教員養成過程のピアノ実技の授業研究 [1]

この研究は，保育士などを目指す人たちが，一般のピアノ学習と異なる効率性を求める養成授業のための新たな練習方法についてである．対象とする学生を初級者・中級者・上級者に分けた上で考察しており，「中級者は初級者や上級者に比べて，練習の量が少ないだけでなく，練習の質があまり高くなく，練習の達成感を感じる事が少ないのではないか」「中級の学生の中には，長く学習していた割には，拍やリズムをきちんと理解できていなかったり，指使いが守れなかったり，弾き方のくせが治らなかったり」と述べている．したがって，拍やリズムなど，自身の間違った部分をしっかり理解し，練習の質を高めることが必要であると考えられる．

2.2 視手範囲が初見演奏の技術に与える影響 [2]

この研究は，初見演奏時の EHS（視手範囲）が技術に与える影響についてを調査したものである．EHS とは，目で見ている所と実際に弾いている箇所とのずれの大きさのことである．初見演奏でのアマチュアとプロの EHS を比較すると，プロはアマチュアに比べて見えている範囲が大きく，異なるグループでも EHS の差はほぼ同じであることがわかった．また，テンポを上げた曲を演奏したときにはプ

口もアマチュアもある程度影響を受けたが、プロはアマチュアより影響が少なかった。つまり、プロはアマチュアに比べ適合能力が高いと言える。

2.3 初見演奏のためのピアノ学習システムの開発 [3]

この研究は、初見演奏をする人のために、EHSに着目したピアノ学習システムを開発するというものである。個人の演奏能力を調べるのには初見演奏が用いられる。初級者と上級者の演奏時の違いを調べる実験では、演奏にかかる時間が3倍以上・演奏速度が一定でない・演奏している音符と同じ音符を見ている・正解率が低い・途中で止まってしまうなどが挙げられている。支援システムは、3つの音符を表示しある程度の間隔を保ったまま左に動き、演奏すると音符が消えるというものである。練習の出来具合によって間隔が狭まっていく。演奏者に見える範囲を制限することでEHSを広くするという目的。結果として、システムで訓練してからの初見演奏だと、演奏時間が半分程度の短縮されていて、正解率も上がっていた。だが、初めの方はEHSが高かったが後半では速度を保ったまま先を見ることが難しくなったのかEHSが徐々に下がっていた。

2.4 ピアノ演奏後の録音聴取による自己評価活動の影響 [4]

この研究は、演奏後に自分の演奏の録音を聴き、演奏中の自身の認知との相違点に気付くことが演奏者にいかなる影響を与えるか、意識に注目して調査したものである。自分の演奏を聞くことにより、意識していない部分に気付けたものはあったが、体の認識が追い付いておらず改善できていない箇所も多くあった。また、この調査では全て自身の感覚なので、実際にどうだったのかなどはわからない。

2.5. 演奏特徴の強調およびアドバイス文呈示によるピアノ基礎演奏の独習支援 [5]5

2.5 演奏特徴の強調およびアドバイス文呈示によるピアノ基礎演奏の独習支援 [5]

この研究は、演奏情報に対して分析を行い、演奏に対してのアドバイスを呈示するシステムを考案するものである。演奏特徴のグラフやアドバイスの呈示によるフィードバックを返すことにより、演奏技術の向上を支援している。これより、実際に使用するユーザにわかりやすい表示のフィードバックを呈示し自らの弱点を理解することにより、演奏技術や練習効率が上がり、短時間でピアノ曲を習得できると考えられる。

2.6 システム補助からの離脱を考慮したピアノ演奏学習システムの設計と実装 [6]

この研究は、ピアノ演奏学習をシステム補助から離脱させることを考慮した学習システムの構築を目指すものである。ピアノの学習は、システムを使用することにより難度の高い曲を短期間に習得することができるようになった。だが、システムをいつでもどこでも使用することはできない。そのため、最終的にシステムからの離脱を目的とするアプローチの適用と検証を行っている。プロジェクトタを利用することにより、MIDI 情報を入力として、楽譜上に現在の位置・鍵盤を目視したかのボール表示、次に打鍵する鍵の表示などをする。これにより、楽譜を見て演奏することや、光る鍵盤を見ることに頼りすぎて打鍵のミスをするなどが減り、「楽譜を見る」モチベーションがあがった。また、弱点を理解して集中的に訓練することにより、ミスが減るといった結果が得られた。

2.7 不得手要素を克服させるピアノ学習支援システムにむけて [7]

この研究は、自身の不得手な要素を抽出する方法と練習課題の生成方法を議論するものである。ピアノのレッスンをしている場合、大抵の場合にはレッスンの時間よりも自宅での練習時間の方が長い。そのため、自分の不得手な要素を知り、練習方法を工夫することが重要となる。まず、初級者が演奏を困難とする箇所の特徴を抽出し、不得手な要素を抽出した。演奏を停止した箇所で一番多かった理由として「次または2,3音先の音が不明」という要素が65%を占め、「3音前までに音高のミスがあった」「ミスをしたかと思った」という要素が31%を占めていた。詳しく分析した結果、音高の誤り等を不得手な要素として定めているが、不得手な要素というよりも「たまたま」の誤りの部分が多かったと予想された。不得手な要素の抽出には、長期的な分析が必要と考えられる。また、練習するにあたって、練習曲に対する批判が挙げられている。中でも「飽きやすく、練習したからない」という問題点を解決するため、「弾きたい曲を練習しながら技術を身につける」というスタンスに則り、練習課題を作成する。A. コルトーが作成した練習課題を元に分析されていて、弾きたい曲を簡約した課題に音符を付け加えていく手法がとられている。

2.8 楽曲の技術的な敷居を低くする手法の開発 [8]

この研究は、自分の演奏技術よりもレベルの高い楽曲に挑戦することに対しての敷居を低くするため、練習を開始・継続しやすくなる楽譜コンテンツの開発を行うものである。楽譜を簡約することにより10段階の階層的な楽譜コンテンツを構築し、オリジナルの楽譜での練習・市販のアレンジされた楽譜での練習と比較した。オリジナルの楽譜による練習と比較して、焦りや絶望を感じるものがなく、

単調でなく飽きやすすくないことがわかり，練習時間も長くなった．

2.9 スコア色付けによるオーケストラスコアリーディング支援システム [9]

この研究は，オーケストラなどの大編成用の楽譜で，スコア色づけを行うことにより指揮者がスコアを読みやすくするためのものである．オーケストラなどの大編成用の楽曲では，スコア（全てのパートの楽譜を集めた楽譜）を読むことは作曲家・指揮者には必須のスキルである．だが，スコアは判読性に欠け，一見しただけでは必要な情報を読み取ることが難しい．この問題を解決するため，似た役割のフレーズをクラスタリング・着色する手法と，曲を再生しながら色づけ楽譜を見ることでパート間の関連性を把握しやすくするものを提案する論文である．スコアの色付け楽譜は，パート間の距離を k -means クラスタリングでクラスタリングし，共通する要素が多い物を同じクラスタとしてラベル付けして，得られたラベルを元に楽譜の色付けを行う．LilyPond を使用して，楽譜を色付けしている．実験では，被験者たちは音楽を聞くときに流れを意識しながら譜面を見ることができるようになっていた．

2.10 手の自然な動きを考慮した隠れ変数付き隠れマルコフモデルに基づくピアノ運指決定 [10]

この研究は，HMM を使用したピアノ運指決定の手法提案である．ピアノ演奏時の手指の形や動きを形式化する．楽譜から定めるのではなく，実際に実験を行ってその人の手の動き・形から定めるもので，初期に最低限の手の動きを入力し，演奏にしたがって Viterbi 検索により打鍵の移動（音楽の演奏）を行っていく．その

結果を、人が弾いたものと照らし合わせる。欠点として、マルコフ性に基づくため直前の音符での手指の状態とその音のみに依存することで、不安定かつ不自然な箇所がところどころでてきていた。また、物理的に打鍵が可能・不可能なポジションを定め、それ以外にいかないように変更したものも提案されている。前の物より全体的に精度は良いが、52%程度だった。また、その原因は人差し指・中指の指くぐりや、休符などを挟んでの運指であるとされている。

2.11 関連研究・関連システムとの類似点・相違点

これまでの研究は、大きく分けると3つに分かれる。演奏について分析するもの [1][2][4][10]、楽譜を作成して支援するもの [7][8]、システムを提案するもの [3][5][6][9] の3つである。システムを提案するものの中でも、初見演奏用のシステム [3]、アドバイス文を呈示するもの [5]、システムからの脱却を目指すもの [6]、大編成の楽譜に色分けをして見やすくするもの [9] がある。

我々はシステムによる情報提示は事実のみに限定し、その解釈や判断はユーザに委ねるべきで、安易なアドバイスをシステムがすべきではないと考えている。アドバイス文呈示のシステムではシステムで解析してアドバイス文を出力している。だが、適切なアドバイスをシステムが行うには高度な技術が必要であること、万が一不適切なアドバイスが出力されてしまったらユーザに悪影響をもたらす可能性があること、ユーザがシステムのアドバイスに不信感を一度抱いたら、練習のモチベーションが低下する危険性がある。

この考えに基づき、演奏に対して楽譜通り弾かなかった箇所とテンポの変動のみを表示する練習支援システムを提案する。ユーザは、これらの情報に基づき、重点的に練習すべき箇所などを自ら判断し、効率的な練習を模索すると期待する。

第3章 予備実験

初見演奏においてどのような箇所を間違えるのか実験を行った。初見演奏とは、初めて見た楽譜を演奏することであり、初見演奏で実験を行ったのは、被験者間での曲の認知度による難易度変化を統一させる事が目的である。この実験により、被験者が間違える箇所を分析し、支援する箇所を明確にできると考えられる。

3.1 実験手順

ピアノ経験があり、大学でピアノの授業を履修している6名の被験者にピアノ曲を練習・演奏してもらった。演奏曲として、ヤマハ音楽能力検定制度におけるピアノ演奏グレード7級の初見演奏問題[13]の楽譜から16小節の和音主体の曲(図3.1)・12小節の分散和音主体の曲(図3.2)を各1曲ずつ、計2曲を使用した。

実験は次の流れで行う。

1. 楽譜を見ながら課題曲を聴取
2. 音を鳴らさずに予見(1分間)
3. 課題曲を通し演奏
4. 課題曲を自由練習(2分間)
5. 課題曲を通し演奏
6. 課題曲を自由練習(2分間)

初見練習問題

The musical score is titled "初見練習問題" (First Sight Practice Problem). It is in 3/4 time, B-flat major, and Moderato tempo. The score is divided into four systems of piano accompaniment. The first system is labeled "Piano" and starts with a mezzo-piano (*mp*) dynamic. The second and fourth systems are labeled "Pno." and include mezzo-forte (*mf*) dynamics. The music features a melody in the right hand and a harmonic accompaniment in the left hand, primarily using chords and simple rhythmic patterns.

図 3.1: 16 小節和音主体の楽譜 [13]

7. 課題曲を通し演奏

上記を被験者につき各2曲行った。本番の通り演奏時には聞いてもらった課題曲のテンポと同程度のテンポで、できるだけ止まらずに弾いてもらうよう伝えた。また、実験風景を録画することにより、顔の向きを確認した。実験後には被験者のピアノ経験歴や練習スパンを確かめるため、アンケートをとった。表5.3はアンケートの内容である。

初見練習問題

Piano

Pno.

Pno.

図 3.2: 12小節分散和音主体の楽譜 [13]

アンケート項目	回答方式
曲の難易度はどうだったか	5段階からの選択
1週間のピアノ練習時間	自由記述
ピアノ演奏は得意か	5段階からの選択
ピアノの練習は好きか	5段階からの選択・理由記述
初見演奏は得意か	5段階からの選択・理由記述
ピアノの演奏歴	大学以前に何歳から何年間か記述
どんな曲を弾いたか	自由記述
発表会などで弾いたことがあるか	自由記述
ピアノ以外の楽器の経験	あるなしの選択
ピアノ以外の楽器の演奏歴	何歳から何年間か記述
実験についての感想・意見	自由記述

表 3.1: アンケート内容

3.2 実験結果

表 3.2 に弾き損ねた音符数，表 3.3 に全被験者あわせて弾き損ねた音符数が多かった小節，表 3.4 に余分に弾いた音符数，表 3.5 に全被験者あわせて余分に弾いた音符数が多かった小節，表 3.6 に被験者毎の練習の開始場所を示す．

被験者	1 曲目			2 曲目		
	1 回目	2 回目	3 回目	1 回目	2 回目	3 回目
1 人目	0	1	0	1	0	1
2 人目	23	1	3	40	5	2
3 人目	32	17	2	34	15	2
4 人目	3	0	1	8	2	0
5 人目	17	9	7	21	15	6
6 人目	2	0	1	3	0	0

表 3.2: 弾き損ねた音符数

1 曲目	15 小節目 (23 回)	2 小節目 (12 回)	7 小節目 (10 回)
2 曲目	11 小節目 (30 回)	7 小節目 (27 回)	6 小節目 (21 回)

表 3.3: 弾き損ねた音符数が多かった小節

3.2.1 弾き損ねた音符

表 3.2 より，全演奏を通して被験者 1, 4, 6 は弾き損ねた音符数が 0 になる事が 1 回以上あった．そのため，被験者 1, 4, 6 は被験者 2, 3, 5 よりも熟達していると考えられる．概ねどの被験者も練習を繰り返す事により，弾き損ねる回数は減少している．

被験者	1 曲目			2 曲目		
	1 回目	2 回目	3 回目	1 回目	2 回目	3 回目
1 人目	5	1	1	1	0	1
2 人目	24	15	11	2	22	11
3 人目	25	25	23	25	34	1
4 人目	2	1	3	9	7	0
5 人目	12	5	4	23	15	8
6 人目	2	0	1	4	0	0

表 3.4: 余分に弾いた音符数

1 曲目	2 小節目 (33 回)	6 小節目 (33 回)	12 小節目 (31 回)
2 曲目	6 小節目 (32 回)	7 小節目 (26 回)	2 小節目 (25 回)

表 3.5: 余分に弾いた音符数が多かった小節

弾き損ねた音符の箇所としては、表 3.3 より、左手に初出の和音がある小節（1 曲目の 15 小節目，1 曲目の 7 小節目，2 曲目の 7 小節目，2 曲目の 11 小節目），演奏前に手の準備が出来る 1 小節目の次の小節（1 曲目の 2 小節目），今までのフレーズと音の並びが逆になるフレーズ（2 曲目の 6 小節目）が特に多かった。

3.2.2 余分に弾いた音符

表 3.4 より，全演奏を通して被験者 1，4，6 は余分に弾いた音符数が 0 になる事が 1 回以上あった。被験者 2 の 2 曲目の 1 回目の演奏では，音を弾き損ねても止まらずに途中からは右手のみで弾いていたため，余分に弾いた音の数は極端に少なくなっている。

余分に弾いた音符の箇所としては，表 3.5 より，演奏前に手の準備が出来る 1 小

被験者	1 曲目		2 曲目	
	最初から	途中から	最初から	途中から
1 人目	5 回	7 回	3 回	9 回
2 人目	5 回	1 回	8 回	0 回
3 人目	2 回	2 回	3 回	4 回
4 人目	2 回	6 回	4 回	5 回
5 人目	6 回	1 回	4 回	2 回
6 人目	5 回	5 回	6 回	2 回

表 3.6: 練習の開始場所

節目の次の小節（1 曲目の 2 小節目，2 曲目の 2 小節目），次のフレーズの準備のために弾き直したと考えられる小節（1 曲目の 6 小節目），左手に初出の和音がある小節（2 曲目の 7 小節目），今までのフレーズと音の並びが逆になるフレーズ（2 曲目の 6 小節目）が特に多かった．また 1 曲目の 12 小節目は，間違っていないくても弾き直している被験者も見られた．

3.2.3 練習について

表 3.6 より，熟達度の高い被験者 1, 4, 6 は途中から練習している回数共に多かった．途中から練習する回数に関しては，自らが間違えたところや間違やすい箇所を理解していたことにより，間違いやすい箇所の練習を自ら行っていたためと考えられる．被験者 1, 4, 6 は全体の練習回数も多い．これは，途中から練習して間違いやすいところを弾けるようになったため，最初から通して練習したときに一旦停止せずに弾くことが出来，1 曲を通した時間が短く済んだためと考えられる．それ以外の被験者は，最初から弾き始めてつかえたところを数回練習，続きを弾いてつかえたところを練習，というように練習していたため，全体の練

習回数が少なくなっている。

3.3 考察

練習時間が2分間であることを伝えていても、すでに弾けている最初の箇所から練習してしまうことにより弾けていない箇所を十分に練習できないなど、被験者2, 3, 5は効率の悪い練習をしていた。被験者1, 4, 6の経験年数平均は約12年だが、被験者2, 3, 5の経験年数平均は約7年だった。ピアノ経験の長さにより間違えた箇所を自分で認識出来るようになったり、どこから練習すれば良いのかなどがわかるようになったりすると考察できる。

また、被験者6は何度やっても最後の3音を違うリズムで弾いてしまっていた。これは楽譜のリズムと違っていることに気づけておらず、間違ったリズムを正しいと思い込んでいるためである。また、被験者2, 3は毎回同じ調号を飛ばして弾いてしまっていた。これは練習では気をつけていても、実際に通して演奏をしているとどこを間違えていたか忘れてしまい、同じ箇所を間違ってしまうためである。この2つの問題については、間違いの場所を提示することにより、改善できると考えられる。

第4章 ピアノ練習支援システム

予備実験の結果を受けて，練習支援システムを考案した．

4.1 本研究におけるアプローチ

予備実験の結果を受けて，楽譜通りに弾けなかった箇所とテンポの安定性の変動を楽譜上に表示するシステムを開発する．予備実験にて，間違えたところから練習しない被験者の考えとして，演奏後にどこが間違えたかがわからなくなったためと考えられる．これは楽譜上に間違えた音符を表示することにより，解決できると考えられる．また，テンポが安定していない被験者も多く，リズムに引っ張られてテンポまで不安定になっているものと考えられる．これは，楽譜上にテンポの変動の安定性を表示することにより自身のテンポのゆれを認識し，集中的に練習することが出来，解決できると考えられる．

4.2 システムの概要

本システムは，ユーザの演奏を分析し，楽譜通りの演奏ではなかった箇所，およびテンポが大きく変動した箇所を表示するシステムである．MIDIで接続された電子ピアノを用いて楽曲を演奏すると，演奏情報がMIDI形式で記録される．その記録と，ユーザが用意したMusicXML形式の楽譜との演奏の差異およびテンポの変化を計算する．そしてその結果を楽譜上に表示する．本システムの実装にはProcessingを用い，MusicXMLデータの読み込み，MIDIデータの記録，楽譜と演

奏の差異およびテンポ変化の計算には CrestMuse Toolkit¹を用いた。楽譜の表示には Lilypond²を用いた。

4.3 楽譜と演奏の差異およびテンポ変化の計算

上述の通り CrestMuse Toolkit を用いて行う。CrestMuse Toolkit には楽譜データと演奏データを比較し、演奏データに含まれる楽譜データからの逸脱 (deviation) の情報を抽出する機能がある [11]。この機能を実行すると、楽譜データと演奏データに対して Dynamic Time Warping を適用し、両者の音符単位の対応付けを行う。そして、楽譜に存在するが演奏には存在しない音符には miss-note、演奏には存在するが楽譜には存在しない音符には extra-note というタグを付与してこれらを出力する。また、演奏データにおける 1 拍ごとの時間長を計算し、そこから 1 拍ごとのテンポを計算する。なお、この処理は楽譜の最初から最後までを通して演奏することを前提としている。もしも演奏が途中で一度止まってしまった場合にはその拍のテンポが 0 にきわめて近い値となり、弾き直しを行った場合には弾き直した音符は extra-note という扱いになる。

4.4 分析結果の表示

2.1 節の結果を楽譜に表示する。表示例を図 4.1 に示す。表示内容は次の通りである。

- 弾き損ねた音符 (miss-note) の色付け表示
 - 弾き損ねた音符は、青色で表示
- 余分に弾いた音符 (extra-note) の記号表示

¹<http://cmx.osdn.jp/>

²<http://lilypond.org/>

- 弾き直した箇所や余分な音符を弾いた箇所に のマークを表示
- テンポ変化の表示
 - 楽譜の下の縦棒は拍を表し，その拍のテンポが基準テンポよりも 40 速いときには赤色，40 遅いときには青色，どちらでもない場合は黒色で表示

これらの色付けはユニバーサルデザイン [12] を参考に，誰でも見やすいよう工夫した．

The screenshot shows a window titled "ScoreDisplay6" displaying a piano score for "練習曲 20番" (Exercise No. 20) in Moderato. The score is presented in three systems, each with a grand staff (treble and bass clefs) and a vertical bar line visualization below it. The first system is marked "Piano" and "mp". The second system is marked "Pno." and "mf". The third system is marked "Pno.". The score includes various annotations: blue notes indicate missed notes, stars indicate extra notes, red vertical lines indicate fast tempo, and blue vertical lines indicate slow tempo. A legend on the right explains these symbols.

【記号の説明】
青色の音符: 間違えた音
☆ : 余分に弾いた音がある
赤線 : テンポが速い
青線 : テンポが遅い

図 4.1: システム表示画面

第5章 評価実験

本システムの有効性を確認するため、本システム（フィードバックあり条件）と本システムから2.2節で述べた演奏結果の表示機能を削除したもの（フィードバックなし条件）を用いて課題曲を練習する実験を行った。

5.1 被験者

被験者は表5.1, 5.2に示す12名の大学生である。このうちA, C, E, H, J, Lをフィードバックあり条件, B, D, F, G, I, Kをフィードバックなし条件に割り当てた。

5.2 実験手続き

実験は次の流れで行う。

1. 共通曲を聴取後, 通し演奏
2. 課題曲を聴取後, 通し演奏
3. 課題曲を自由練習 (2分間)
4. 課題曲を通し演奏
5. 課題曲を自由練習 (2分間)

6. 課題曲を通し演奏
7. 課題曲を自由練習（2分間）
8. 課題曲を通し演奏
9. 課題曲を自由練習（2分間）
10. 課題曲を通し演奏

共通曲は、課題曲とは別に弾いてもらう曲で、演奏能力が被験者によって大きく異なることに鑑み、被験者の演奏能力の目安を得ることを意図したものである。フィードバックあり条件では(2), (4), (6), (8), (10)の後に2.2節で述べたように演奏結果が画面に表示される。フィードバックなし条件ではそうした表示は行われない。実験の最後に、本人の音楽経験、およびフィードバックあり条件ではフィードバックの分かりやすさなどについてアンケートを行った。

5.3 使用楽曲

共通曲と課題曲には、ヤマハ音楽能力検定制度におけるピアノ演奏グレード7級の初見演奏練習曲集 [13] に掲載されている3番（図5.1）と20番（図5.2）を使用した。

練習曲 3番

Allegretto

The musical score is written for piano and consists of three systems of music. The first system is marked *mf* and contains measures 1 through 4. The second system starts at measure 5 and includes a *f* dynamic marking. The third system starts at measure 9 and concludes the piece. The tempo is indicated as **Allegretto**.

図 5.1: 共通曲の楽譜 [13]

表 5.1: 被験者について：フィードバック表示システム有り

被験者	A	C	E	H	J	L
年齢	22 歳	21 歳	21 歳	22 歳	22 歳	22 歳
性別	男	女	女	女	女	男
週のピアノ 練習時間	0 時間	0 時間 (授業の 45分)	0分	0分	0分	0分
ピアノを習 っていた年 数の合計	4年	6年	6年半	2年半	3年	3年
上記の年齢	6-8 歳,13-15 歳	5-11 歳	6-12 歳	7-10 歳	6-9 歳	6-9 歳
ジャンルな ど	クラシッ ク, ジャ ズ, ポッ プス	クラシッ ク, 合唱 伴奏	クラシック	クラシック	クラシック	クラシック
ピアノ以外 の楽器経験	ある (ギ ター)	ない	ない	ない	ある (トラ ンペット)	ない
上記の年数	7年	-	-	-	10年	-

表 5.2: 被験者について：フィードバック表示システム無し

被験者	B	D	F	G	I	K
年齢	20 歳	22 歳	22 歳	22 歳	22 歳	22 歳
性別	女	女	女	女	女	女
週にピアノを何時間練習しているか	0 時間	0 時間	0 分	0 分	0 分	0 分
ピアノを習っていた年数の合計	5 年 (エレクトーン)	4 年	5 年	6 年	3 年	5 年
上記の年齢	4-9 歳	7-11 歳	4-9 歳	4-10 歳	10-13 歳	5-9 歳, 21-22 歳
ジャンルなど	クラシック, 椅子とりゲームの音楽 (右手メロディー)	クラシック	ポップス	練習曲 (バイエル)	クラシック	クラシック
ピアノ以外の楽器経験	ない	ない	ある (ドラム)	ある (ギター, ブルースハープ)	ある (トランペット)	ある (ベースギター)
上記の年数	-	-	3 年	3 年	10 年	1 年

表 5.3: アンケート内容

アンケート項目	回答方式
1. 曲の難易度はどうだったか (1.1 曲目 2.2 曲目)	5段階からの選択
2. ピアノ演奏は得意か	5段階からの選択
3. ピアノの練習は好きか	5段階からの選択
4. 初見演奏は得意か	5段階からの選択
5. 実験全体についての感想・意見など	自由記述
フィードバックシステムを使った被験者への質問	
6. フィードバック表示機能について (1. 間違っ た音 2. 余分な音 3. テンポグラフ)	4段階からの選択
7. フィードバック表示の分かりやすさ (1. 間違っ た音 2. 余分な音 3. テンポグラフ)	5段階からの選択
8. フィードバック表示システムを使うこと で練習効率が上がったと思うか	4段階からの選択
9. フィードバック表示システムについての 感想・意見など	自由記述

練習曲 20番

Moderato

mp

mf

mf

図 5.2: 課題曲の楽譜 [13]

5.4 実験結果・考察

各被験者の演奏に含まれる弾き損ねた音符 (miss-note) の個数の変化を表 5.4 , 図 5.3 , 図 5.4 , 余分に弾いた音符 (extra-note) の個数の変化を表 5.5 , 図 5.5 , 図 5.6 , テンポ変動の変化を表 5.6 , および練習の開始場所を表 5.7 に示す . それぞれについて以下で考察する .

表 5.4: 弾き損ねた音符数

被験者	共通曲	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
フィードバックシステム有り						
A	7	3	5	12	5	5
C	14	19	2	6	3	3
E	19	17	13	5	7	3
H	59	70	64	63	57	54
J	48	58	32	29	30	30
L	73	67	58	57	43	42
フィードバックシステム無し						
B	52	54	54	55	54	55
D	57	82	76	79	83	83
F	60	69	58	62	57	57
G	59	70	64	63	57	54
I	67	70	44	58	48	39
K	4	11	0	4	0	2

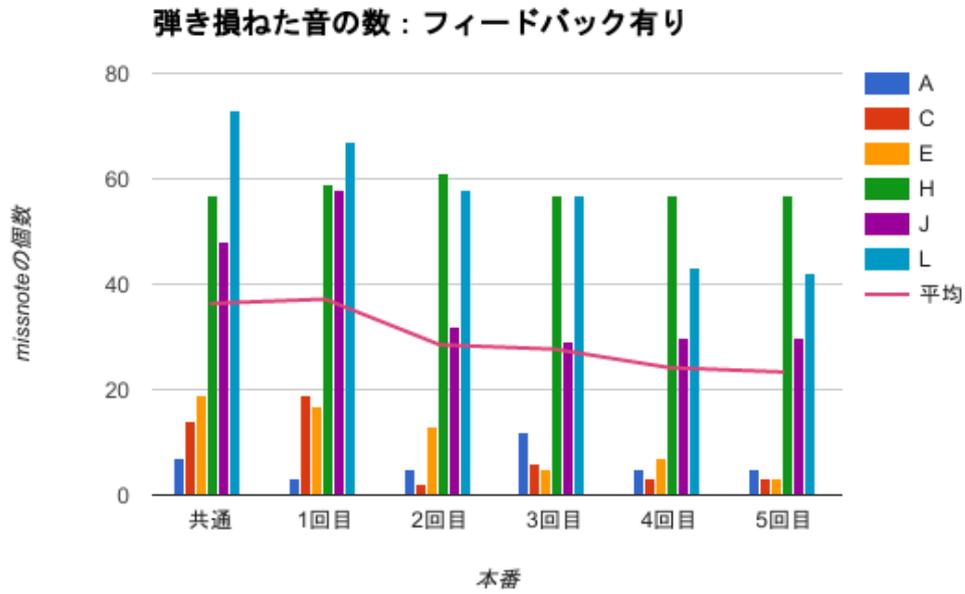


図 5.3: 弾き損ねた音の数の変化：フィードバックあり

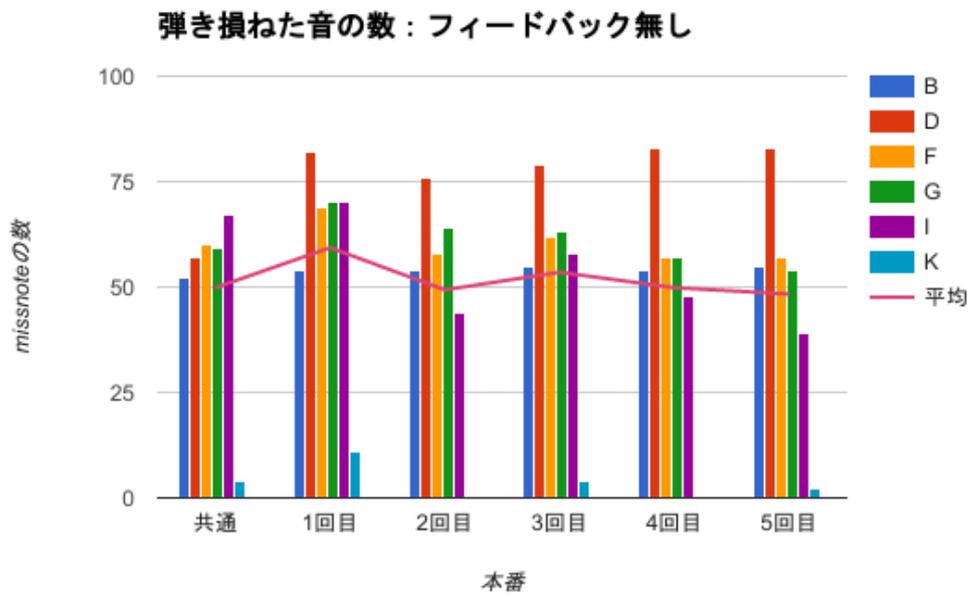


図 5.4: 弾き損ねた音の数の変化：フィードバックなし

表 5.5: 余分に弾いた音符数

被験者	共通曲	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目
フィードバックシステム有り						
A	3	40	59	31	16	22
C	10	9	2	3	3	3
E	17	13	12	6	7	3
H	7	18	13	6	8	13
J	42	35	61	65	62	62
L	107	18	5	0	6	3
フィードバックシステム無し						
B	10	12	32	40	56	58
D	4	6	1	1	6	6
F	18	19	9	6	2	1
G	7	18	13	6	8	13
I	1	50	43	31	46	25
K	11	10	0	10	0	0

5.4.1 引き損ねた音符数の変化

1回目の演奏と5回目の演奏の引き損ねた音符数を比較すると、フィードバックあり条件では、被験者Aに関しては5回目の方が多かったものの、被験者C、E、H、Jに関しては大幅に減少した。被験者Aは、3回目の演奏で12個と突出して多かった。これは、「たまたま」この箇所を間違えてしまったのではないかと考えられる。被験者Cは、3回目の演奏で2回目の演奏よりも増加したものの、2~5回目

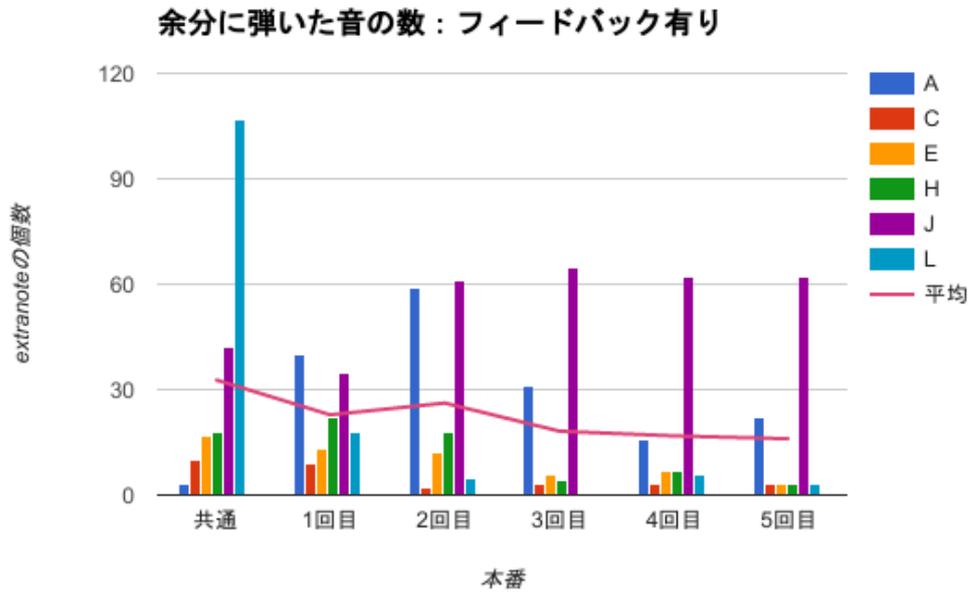


図 5.5: 余分に弾いた音の数の変化：フィードバックあり

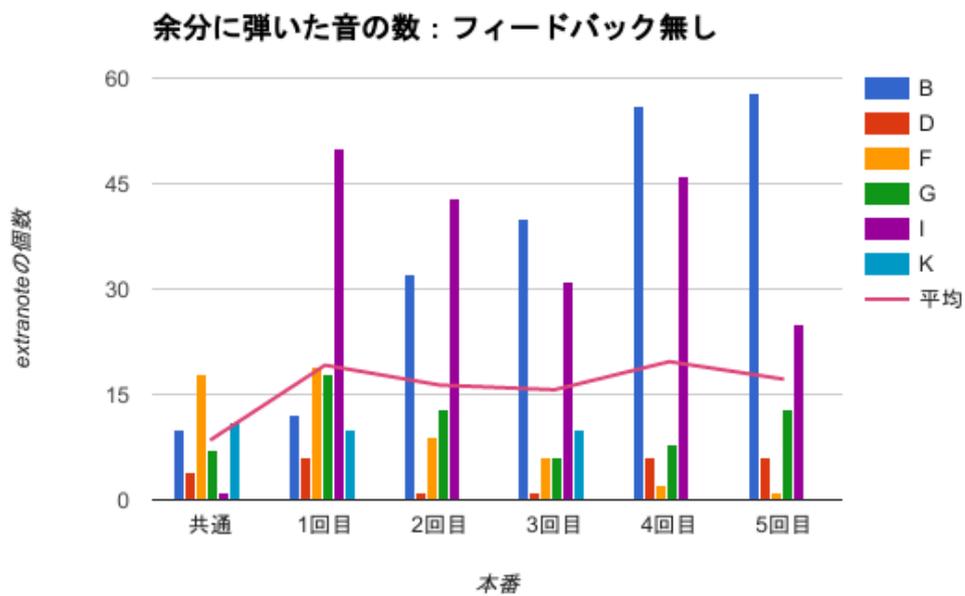


図 5.6: 余分に弾いた音の数の変化：フィードバックなし

のいずれの演奏も1回目の演奏よりは、弾き損ねた音符数は少なかった。相関係数を求めると、フィードバックあり条件の方はAを除いてマイナスの相関が見られる。平均も-0.92と強い相関がある事が分かる。

一方、フィードバックなし条件では、被験者B, Dの1回目の演奏と5回目の演奏で弾き損ねた音符数にほとんど違いは見られなかった。被験者F, G, Iに関しては減少傾向が見られるが、いずれも3回目の演奏で増加している。これは、2回目の演奏時に弾けるようになったところを忘れてしまい、また3回目間違えてしまっていると考えられる。Kは元々熟達度が高く、自らの練習のみでミスをなくすことが出来ている。フィードバックなし条件の相関係数を求めると、B, Dを除いてマイナスの相関が見られるが、平均は-0.75とフィードバックあり条件よりも弱くなっている。

従って、1回目と5回目の演奏を比較すると、双方共に5回目の方が弾き損ねた音符数は有意に少ないという結果が出ているため、少なくなったことがフィードバックの効果なのか、ただ練習したからなのかは分からない。しかし、フィードバックなし条件よりあり条件の方が強いマイナスの相関があると言える。

5.4.2 余分に弾いた音符数の変化

1回目と5回目の演奏を対象に、余分に弾いた音符数を比較する。フィードバックあり条件では、被験者A, C, E, Hは、1回目に比べて5回目に余分に弾いた音符数は大きく減少した。ただし、被験者Aは2回目の演奏では59個と、1回目よりも大幅に増加する結果となった。また、被験者Jは2回目に大幅に増加してからは減少が見られなかった。これは、1回目は右手だけで演奏したが、2回目からは両手で弾いたことにより、難易度が大幅に上がったためと考えられる。相関係数を求めると、J以外はマイナスの相関が見られ、平均も-0.83と強い相関関係が見られる。

一方、フィードバックなし条件では、被験者 B は 1 回目が 12 個なのに対し、5 回目が 58 個と増加した。この被験者は演奏を重ねるごとに余分に弾いた音符数が単調に増加している。被験者 D は、もともと余分に弾いた音符数は少なく（1 回目で 6 個）、2 回目・3 回目では 1 個まで減少したものの、5 回目は 6 個に戻る結果となった。被験者 F, G, I は余分に弾いた音符数が単調に減少しているが、これは右手のみで演奏していたため、難易度が低く、弾き直しの回数が少なかったためと考えられる。相関係数を求めると、相関が強くなった人と弱くなった人がおり、平均すると -0.06 とほぼ相関はない。

フィードバックあり条件の被験者 H と、フィードバックなし条件の被験者 D, F, G は、弾き損ねた音符数が他の被験者よりも多いが、余分に弾いた音符数は少ない。これは、演奏に自信がなく、最初から右手しか弾けなかったからである。

5.4.3 テンポの安定性の変化

フィードバックあり条件の被験者は全員、テンポの四分位範囲が 1 回目に比べて 5 回目の方が減っている。それに対し、フィードバックあり条件の被験者 B, D は増えている。それ以外のフィードバックなし条件の被験者は減少している。減少した原因として、被験者 F, G は右手のみで演奏したためにテンポを安定させやすかったためであり、被験者 I は元々のテンポの四分位範囲が 163.8 と非常に大きかったためであると考えられる。被験者 L のみ増えているが、これは最初は右手のみで弾いていたためテンポが安定していたが、途中から両手で弾くようになり、弾けている箇所と弾けていない箇所ではテンポが安定しなくなったためと考えられる。

このことから、本システムによるテンポ変動の表示が、一定のテンポで弾くように気をつける一助になった可能性があるといえる。

5.4.4 両手で演奏した被験者のみの比較

被験者の中では1回目から5回目を通して両手で弾いた人・途中から両手で弾いた人・すべて片手で弾いた人がいたため、両手で演奏した被験者のみで比較を行った。両手で演奏した被験者は、フィードバックあり条件が被験者A, C, E, J, フィードバックなし条件が被験者B, I, Kである。

弾き損ねた音符数において、フィードバックあり条件の被験者のT検定のP値はわずかに0.05を切らなかったが、概ね有意傾向があると言える。フィードバックなしのT検定のP値は0.15のため、有意差はない。余分に弾いた音符数に関しては双方有意差はないが、相関係数の平均はフィードバックあり条件の方が小さくなっている。また、テンポの安定性に関して、フィードバックあり条件の人のテンポ変動の四分位範囲はわずかに0.05を切らなかったが、概ね有意傾向があると言える。フィードバックなし条件の人のテンポ変動の四分位範囲は有意差はない。

両手のみ弾いた被験者は計7人しかおらず、人数比も4:3になってしまうため、今後人数を増やして再検討する必要がある。

5.4.5 練習の仕方の変化

表5.7は、最初から順に練習した回数と、間違いやすい部分を重点的に、途中から練習した回数を表した表である。フィードバックあり条件の被験者はフィードバックなし条件の被験者と比べて、1回目の練習から途中の間違いやすい部分を重点的に練習していることが分かる。これは、楽譜に自身の間違いなどの部分が表示された事により、1回目の練習から自分の間違えた場所に気がつくことができたからだと考えられる。被験者Lについては、フィードバックシステムを使ったが、途中から練習することが無かった。これは、譜面から音名を読み取ることに集中していて実際に弾く時間が短かった、後半部分は本番を重ねるごとに上達してい

た，基本的に右手のみで弾いていたが最初の4小節辺りを両手で弾く練習をしていた，等の理由が挙げられる．

多くのフィードバックあり条件の被験者は，早くから自身の間違えた箇所につき，重点的に練習できたことで，本番でのミスをより減らすことができたと考えられる．

5.4.6 アンケート結果

アンケート結果を表5.8，5.9，5.10，5.11に示す．

システムに関するアンケート項目である6-9の結果を見ると，システムの機能や分かりやすさについて，概ね“良い”または“まあ良い”という回答が得られた．さらに，分析結果表示によって練習効率が上がったと思うかについても被験者Lを除き“そう思う”または“少しそう思う”という回答が得られた．被験者Lは表5.7にもあった通り，途中からの練習をしておらず，フィードバックシステムを使っていなかったと考えられる．しかし被験者Lも，システムについての感想を述べる項目9のアンケートで，間違い表示については効果があったと思うという主旨の記述をしており，フィードバック表示システムについて概ね好評であったことが分かる．

表 5.6: テンポの中央値と四分位範囲

フィードバックシステム有り						
A	中央値	45.5	52.0	61.5	61.0	67.0
	四分位範囲	34.8	33.0	32.3	20.5	14.3
C	中央値	106.0	111.0	114.0	111.0	109.5
	四分位範囲	7.0	12.0	8.3	8.0	6.0
E	中央値	114.0	112.0	112.0	124.0	127.0
	四分位範囲	20.3	10.3	9.3	9.3	8.3
H	中央値	55.0	97.0	106.5	106.0	105.0
	四分位範囲	36.8	6.0	10.3	7.0	8.0
J	中央値	76.0	68.0	66.0	85.5	85.5
	四分位範囲	69.0	50.8	55.8	26.3	28.5
L	中央値	28.0	58.0	58.5	71.0	85.5
	四分位範囲	5.3	48.0	39.3	51.3	98
フィードバックシステム無し						
B	中央値	98.0	115.5	114.5	105.0	112.0
	四分位範囲	37.3	40.3	29.5	72.0	91.3
D	中央値	135.0	70.0	87.0	81.0	96.0
	四分位範囲	103.0	24.0	24.5	314.0	292.0
F	中央値	103.0	115.0	118.0	120.0	119.0
	四分位範囲	70.8	35.5	15.0	4.0	5.3
G	中央値	55.0	97.0	106.5	106.0	105.0
	四分位範囲	36.8	6.0	10.3	7.0	8.0
I	中央値	225.0	112.0	107.5	102.0	108.0
	四分位範囲	163.8	86.0	118.0	613.0	98.5
K	中央値	57.0	68.0	69.0	75.5	78.0
	四分位範囲	51.0	8.0	10.3	7.0	9.0

表 5.7: 練習の開始場所

フィードバックシステムあり								
被験者	1回目		2回目		3回目		4回目	
	最初	途中	最初	途中	最初	途中	最初	途中
A	2回	8回	2回	7回	1回	9回	0回	20回
C	0回	9回	3回	10回	1回	13回	4回	3回
E	3回	4回	1回	10回	1回	17回	1回	7回
H	3回	3回	2回	3回	2回	7回	2回	3回
J	3回	0回	3回	4回	1回	4回	1回	4回
L	2回	0回	2回	0回	4回	0回	6回	0回
フィードバックシステムなし								
被験者	1回目		2回目		3回目		4回目	
	最初	途中	最初	途中	最初	途中	最初	途中
B	4回	6回	1回	16回	0回	14回	1回	11回
D	1回	1回	3回	2回	2回	3回	3回	4回
F	2回	2回	2回	11回	1回	11回	1回	12回
G	2回	3回	3回	3回	2回	4回	1回	2回
I	3回	4回	2回	5回	4回	0回	3回	5回
K	3回	0回	1回	2回	1回	3回	3回	5回

表 5.8: アンケート結果：フィードバック表示システム有り 質問内容:表 5.3

	被験者 A	被験者 C	被験者 E	被験者 H	被験者 J	被験者 L
1-1	b. 少し難しかった	c. ちょうどいい	c. ちょうどいい	a. 難しかった	a. 難しかった	a. 難しかった
1-2	b. 少し難しかった	c. ちょうどいい	c. ちょうどいい	a. 難しかった	a. 難しかった	a. 難しかった
2	c. 少し不得意	c. 少し不得意	c. 少し不得意	d. 不得意	d. 不得意	d. 不得意
3	b. 少し好き	a. 好き	b. 少し好き	c. 普通	e. 嫌い	c. 普通
4	e. 不得意	e. 不得意	d. 少し不得意	e. 不得意	e. 不得意	e. 不得意
6-1	a. 良い	a. 良い	b. まあ良い	a. 良い	a. 良い	a. 良い
6-2	a. 良い	a. 良い	c. 少し悪い	a. 良い	b. まあ良い	c. 少し悪い
6-3	c. 普通	a. 良い	b. まあ良い	a. 良い	b. まあ良い	b. まあ良い
7-1	a. 良い	a. 良い	b. まあ良い	a. 良い	a. 良い	a. 良い
7-2	a. 良い	b. まあ良い	b. まあ良い	a. 良い	b. まあ良い	d. 少し悪い
7-3	d. 少し悪い	b. まあ良い	b. まあ良い	b. まあ良い	b. まあ良い	d. 少し悪い
8	a. そう思う	a. そう思う	d. 少しそう思う	d. 少しそう思う	d. 少しそう思う	c. あまりそうは思わない

表 5.9: アンケート結果：フィードバック表示システム無し 質問内容:表 5.3

	被験者 B	被験者 D	被験者 F	被験者 G	被験者 I	被験者 K
1-1	b. 少し難しかった	a. 難しかった	a. 難しかった	a. 難しかった	a. 難しかった	d. 少し簡単だった
1-2	b. 少し難しかった	b. 少し難しかった	b. 少し難しかった	a. 難しかった	a. 難しかった	c. ちょうどいい
2	b. 少し得意	c. 少し不得意	d. 不得意	d. 不得意	d. 不得意	c. 少し不得意
3	b. 少し好き	c. 普通	a. 好き	c. 普通	d. 少し嫌い	a. 好き
4	d. 少し不得意	e. 不得意	e. 不得意	d. 少し不得意	e. 不得意	e. 不得意

表 5.10: アンケート 5. 実験についての感想・意見など

フィードバックシステムを使った被験者	
被験者 A	一回一回練習を重ねる度に、確実に上達している実感が持てた。ピアノの練習をするにあたってサポートしてくれるモノ・人が有るとモチベーションが上がる！
被験者 C	面白いシステムなので将来使ってみたいです！！
被験者 E	初見演奏をほぼしたことがなかったので、緊張しました
被験者 H	特にありません。
被験者 J	特に疲労感なく終われました。また、間違えたところが分かりやすく良かったです。
被験者 L	自分の力量不足かもしれませんが、もう少し時間があつた方がシステムも見れたかなと思います
フィードバックシステムを使っていない被験者	
被験者 B	説明を丁寧にしていただいたので、やりやすかったです。ピアノの初見演奏は難しいなと感じました。
被験者 D	一度聞いただけで弾くというのはしたことがなかったので難しく感じた。経験が昔の事だったので、楽譜を読むことを思い出すだけで必死だった。
被験者 F	数年間弾いてなかったのが難しかったけど、楽しかったです 録音されていると思うときんちょうしました
被験者 G	あまり協力できた感じがせず申し訳ない。
被験者 I	普段から楽譜を目にする機会は多いが、トランペットとピアノでこんなにも難易度が変わると思っていなかったのが、本日の実験で自分が予想以上に弾けていなくてびっくりしました...。へ音記号が全然読めないのと右手を弾くことに集中して左手が全く出来なくなる事が特に衝撃でした。
被験者 K	特にありません

表 5.11: アンケート 9. フィードバック表示システムについての感想・意見など

被験者 A	前の演奏でできなかったところを集中的に練習しようと思えた。システムがないと、どこが苦手か漠然としていたと思う。テンポのグラフはどう見たら良いかよく分からなかった。
被験者 C	テンポのグラフが細かかったかなと…でも見えました。早くひけるようになったと思います。一度、まちがって余分に弾いたようでしたが（がたくさんあって）、自覚がなかったので気になりました。自分のをきいてみたかったです。
被験者 E	ピアノを弾く時に、間違いが集中している箇所・練習が必要な場所が一目で分かるので、良いシステムだと思いました。
被験者 H	次に演奏する時に間違いが分かるのでよいと思う。
被験者 J	初見が苦手なので、間違いところを色付きで教えてくれるのはとても良いと思いました。
被験者 L	間違い表示のおかげで、何度も正解を聞かなくて済むというのはあったと思います

第6章 結 論

この章では，この研究のまとめと今後の展望について述べる．

6.1 結論

ピアノ楽曲を演奏するためには，習得するための練習が必要である．特に，成人してからピアノを演奏し，より上達させようとする人は，仕事などで練習時間がとりにくくなるため，効率よく練習をすることが必要になる．既存の研究では，楽譜を生成することにより練習を容易にして飽きないようにしたり，アドバイスを呈示したりするなどの支援方法の研究や支援システムの開発が行われてきた．

本研究では，電子ピアノによる演奏を分析し，楽譜と比較して「弾き損ねた箇所」への色付け，「余分に弾いた箇所」に記号表示，「テンポの安定性の変動」を表す線を表示するシステムを作成した．我々はシステムによる情報表示は事実のみに限定し，解釈や判断はユーザに委ねるべきだと考えている．本システムは，表示によりユーザが間違えた箇所を自覚しやすくなり，効率的にピアノ練習ができるようになることを意図したものである．

本システムを使用することにより練習の効率があがるのかを確かめるため，本システムを実際に使用して評価実験を行った．これは，被験者をフィードバックありの条件1のグループとフィードバックなしの条件2のグループに分けて行った．実験の結果，弾き損ねた音の数は条件1，2ともに減少傾向が見られた．これは練習をくり返したためだと考えられる．余分に弾いた音の数は条件1では強いマイナスの相関が見られたが，条件2ではほぼ相関が見られなかった．テンポの変動

については、有意な差は得られなかったが、双方概ね5回目は1回目に比べてテンポの安定性は増していた。

また、被験者たちの中には1回目から5回目まで両手で弾いた人・すべてを片手で弾いた人・途中から両手で弾いた人などがいたため、両手で弾いた人のみを比較した。その結果、条件1の弾き損ねた音符数のT検定のP値はわずかに0.05を切らなかったが、概ね有意傾向が見られた。条件2の方は有意差はなかった。余分に弾いた音の数は条件1の方が相関係数の平均は少ない。テンポの安定性は5回目は1回目に比べて有意にテンポのバラつきが小さくなっている。どの分析にせよ、両手のみだと人数が4:3になってしまうため、今後人数を増やして再検討する必要がある。

6.2 今度の展望

現状では被験者数が少なく、また被験者によって元々の演奏能力の違いが大きいため、統計的な有意差を見出すには至っていない。今後は、被験者を増やしてさらに統計的な分析と再検討を行いたい。また、被験者からは「自分の演奏を聴いてみたかった」という意見が得られたため、聴覚フィードバックと組み合わせた活用方法についても検討していきたい。

参考文献

- [1] 岩口摂子：“保育者・教員養成課程のピアノ実技の授業研究.”，相愛大学研究論集= The Annual research report of Soai University 32, pp.11-23, 2016.
- [2] Furneaux, S., and M. F. Land.：“The effects of skill on the eye-hand span during musical sight-reading.” Proceedings of the Royal Society of London B, Biological Sciences 266.1436, pp.2435-2440, 1999.
- [3] 矢嶋真淑, 吉村奈津江, 神原裕行, 小池康晴：“初見演奏のためのピアノ学習システムの開発”，電子情報通信学会技術研究報告, NC, ニューロコンピューティング 114 巻, 515 号, pp.357-360, 2015.
- [4] 森尻有貴：“ピアノ演奏学習者における自己評価活動の影響: 演奏後の録音聴取によるフィードバックを通して.”, 2010.
- [5] 森田慎也, 江村伯夫, 三浦雅展, 秋永晴, 柳田益造：“演奏特徴の強調およびアドバイス文呈示によるピアノ基礎演奏の独習支援”，日本音響学会平成 20 年度秋季研究発表会, pp.933-934, 2008.
- [6] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦：“システム補助からの離脱を考慮したピアノ演奏学習システムの設計と実装” コンピュータ ソフトウェア 30.4, pp.4.51-4.60, 2013.

- [7] 大島千佳, 井ノ上直己: “不得手要素を克服させるピアノ学習支援システムにむけて.” 情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS) 2007.81 (2007-MUS-071), pp.185-190, 2007.
- [8] 大島千佳, 伊藤直樹, 西本一志, 苗村昌秀: “楽曲の技術的な敷居を低くする手法の開発に向けて.” 情報処理学会研究報告エンタテインメントコンピューティング (EC) 2006.24 (2006-EC-003) (2006): 57-64.
- [9] 松原正樹, 岡本 紘幸, 佐野智久, 鈴木宏哉, 延澤志保, 斎藤博昭: “ScoreIlluminator: スコア色付けによるオーケストラスコアリーディング支援システム”, 情報処理学会論文誌 50 巻, 12 号, pp.2937-2948, 2009.
- [10] 米林裕一郎, 亀岡弘和, 嵯峨山茂樹: “手の自然な動きを考慮した隠れ変数付き隠れマルコフモデルに基づくピアノ運指決定.” 情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS) 2007.81 (2007-MUS-071), pp.179-184, 2007.
- [11] 橋田 光代, 松井 淑恵, 北原 鉄朗, 片寄 晴弘: “ピアノ名演奏の演奏表現情報と音楽構造情報を対象とした音楽演奏表情データベース”, 情報処理学会論文誌, Vol. 30, No. 3, pp.1090-1099, 2009.
- [12] 渡辺昌洋 (著), 齋藤晴美 (著), 林阿希子 (著), 浅野洋子 (著), NTT サービスエボリューション研究所 (編著): “ウェブユニバーサルデザイン”, 篠原弘道監修, 近代科学社, 172pp., 2014.
- [13] ヤマハ音楽振興会: “ピアノ演奏グレード 7 級 初見練習問題 A コース”, ヤマハミュージックメディア, 32pp., 2003.

謝 辞

本論文の作成にあたり，指導教員の北原鉄朗先生から重ね重ねご指導を賜りました．ここに感謝の意を表します．また，たくさんの助言をいただき，実験や論文作成に協力してくださった森尻有貴先生，実験にご協力いただいた方々，北原研究室の先輩，同期，後輩の皆様にもあわせて感謝致します．