

Title	奏者の練習状況に基づく選択的な音高差し替えを利用したピアノ通し演奏中断防止訓練システムの研究
Author(s)	横山, 裕基
Citation	
Issue Date	2010-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	http://hdl.handle.net/10119/8893
Rights	
Description	Supervisor:西本 一志, 知識科学研究科, 修士

修 士 論 文

奏者の練習状況に基づく選択的な音高差し替えを利用した
ピアノ通し演奏中断防止訓練システムの研究

指導教員 西本 一志 教授

北陸先端科学技術大学院大学
知識科学研究科知識科学専攻

0850040 横山 裕基

審査委員： 西本 一志 教授（主査）
 國藤 進 教授
 宮田 一乗 教授
 金井 秀明 准教授

2010年2月

目 次

1	はじめに	1
1. 1	研究の背景と目的	1
1. 2	論文の構成	2
2	ピアノ練習支援システム	3
2. 1	カワイ ピアノマスター	3
2. 2	The Piano Tutor	4
2. 3	MANON	4
2. 4	The Phantom of the Piano	5
3	提案手法とシステム	6
3. 1	提案手法	6
3. 2	提案システム概要	8
3. 3	想定するユーザ	9
4	システムの実装	10
4. 1	システム外観	10
4. 2	スコアトラッキング	11
4. 3	演奏評価	11
4. 3. 1	演奏評価に使う情報	12
4. 3. 2	テンポ揺れの導出	12
4. 3. 3	差し替え候補箇所の抽出	13
4. 4	音高差し替え	18
5	予備実験	19
5. 1	実験の目的	19
5. 2	被験者と課題曲	19

5. 2. 1	課題曲の特徴	20
5. 3	実験内容	21
5. 4	実験結果	22
5. 4. 1	演奏評価結果	22
5. 4. 2	差し替えの影響	22
5. 5	考察	24
6	評価実験	25
6. 1	実験の目的	25
6. 2	被験者	26
6. 3	課題曲	26
6. 4	実験内容	26
6. 5	実験結果	28
6. 5. 1	アンケートからみる差し替えの影響	28
6. 5. 2	演奏データからみる差し替えの影響	30
6. 5. 3	音高差し替えについてのアンケート調査結果	34
6. 6	考察	36
7	演奏評価アルゴリズムの妥当性に関する検討	38
7. 1	評価アルゴリズムに基づく音高差し替えの妥当性	39
7. 1. 1	演奏評価結果	39
7. 1. 2	音高差し替え回数	39
7. 1. 3	差し替え箇所の演奏評価の違いが演奏に及ぼす影響	40
7. 2	奏者の主観評価に基づく音高差し替えの妥当性	45
7. 2. 1	演奏評価結果	45
7. 2. 2	音高差し替え回数	46
7. 2. 3	差し替え箇所の演奏評価の違いが演奏に及ぼす影響	46
7. 3	アンケートから得られた動揺差し替え箇所と演奏評価の関係	51
7. 4	考察	52
8	おわりに	53
	謝辞	
	参考文献	

目 次

2-1. ピアノマスター	3
2-2. The Phantom of the Piano	5
3-1. 差し替え鍵候補	8
4-1. システム外観	10
4-2a 評価アルゴリズム 1	14
4-2b 評価アルゴリズム 2	15
4-2c 評価アルゴリズム 3	15
4-2d 評価アルゴリズム 4	16
4-2e 評価アルゴリズム 5	16
4-2f 評価アルゴリズム 6	17
4-2g 評価アルゴリズム 7	17
5-1. 被験者 A の課題曲の楽譜の一部	20
5-2. 被験者 B の課題曲の楽譜の一部	20
5-3. 差し替え箇所の違いによる演奏への影響	23
6-1. 課題曲の楽譜の一部	26
6-2. 被験者 A 動揺箇所割合の推移	29
6-3. 被験者 B 動揺箇所割合の推移	29
6-4. 被験者 C 動揺箇所割合の推移	30
6-5. 被験者 A 差し替えの影響 R1-3	31
6-6. 被験者 A 差し替えの影響 R3-5	31
6-7. 被験者 B 差し替えの影響 R1-3	32
6-8. 被験者 B 差し替えの影響 R1-3	32
6-9. 被験者 C 差し替えの影響 R1-3	33

6-10. 被験者 C 差し替えの影響 R1-3	33
6-11. 被験者 A アンケート結果	35
6-12. 被験者 B アンケート結果	35
6-13. 被験者 C アンケート結果	36
7-1. 被験者 A 得意箇所の差し替えの影響	41
7-2. 被験者 A 普通箇所の差し替えの影響	41
7-3. 被験者 B 得意箇所の差し替えの影響	41
7-4. 被験者 B 克服箇所の差し替えの影響	42
7-5. 被験者 C 得意箇所の差し替えの影響	42
7-6. 被験者 C 普通箇所の差し替えの影響	42
7-7. 被験者 A 普通箇所の差し替えの影響 R1-3	47
7-8. 被験者 A 普通箇所の差し替えの影響 R3-5	47
7-9. 被験者 B 苦手箇所の差し替えの影響 R1-3	47
7-10. 被験者 B 苦手箇所の差し替えの影響 R3-5	48
7-11. 被験者 C 克服箇所の差し替えの影響 R1-3	48
7-12. 被験者 C 克服箇所の差し替えの影響 R3-5	48

表 目 次

3-1. 動作モード	9
4-1. 音価記号	13
5-1. 被験者の音学歴	19
5-2. 使用機材	21
5-3. 演奏評価の結果	22
6-1. 被験者 3 名の音学歴	26
6-2. 差し替え演奏の適用パターン	27
6-3. 使用機材	28
6-4. 被験者 A F 検定結果	31
6-5. 被験者 B F 検定結果	32
6-6. 被験者 C F 検定結果	33
7-1. アルゴリズム評価結果	39
7-2. 音高差し替え回数 — アルゴリズム評価による分類	39
7-3. 被験者 A F 検定結果	43
7-4. 被験者 B F 検定結果	43
7-5. 被験者 C F 検定結果	44
7-6. 被験者の主観に基づく演奏評価結果	45
7-7. 音高差し替え回数 — 主観評価による分類	46
7-8. 被験者 A F 検定結果	49
7-9. 被験者 B F 検定結果	49
7-10. 被験者 C F 検定結果	50
7-11. 被験者 A 動揺箇所分類結果	51
7-12. 被験者 B 動揺箇所分類結果	51
7-13. 被験者 C 動揺箇所分類結果	51

第 1 章

はじめに

1.1 研究の背景と目的

ピアノを習っていると自身の演奏を他者に披露する機会がある。自分の演奏を披露する演奏会・発表会等では、ミスせずに弾くことが理想である。そのためには、日々の練習が重要となる。ピアノの練習にはハノン等による基礎練習と課題曲練習があり、課題曲練習では、読譜、部分練習、通し練習等の段階を踏む。

ピアノの演奏データを取得可能な MIDI 規格により、コンピュータによる演奏・練習支援が容易になった。現在までに、様々なピアノ練習支援システムが開発されてきた。その多くは独習者を対象とし、楽譜通りに曲を弾けるようになる段階までを扱っている。基礎練習の支援として、吉田らは練習者が弱点を克服するための適切なハノン風の課題フレーズを生成する研究を行っている[1]。曲の習得支援として、Dannenberg は、奏者の演奏を監視し、タイミングや音高の誤りを音声と楽譜への描画で指示する「The Piano Tutor」を構築している[2]。

しかしながら、練習を重ねて演奏できるようになったとしても、演奏会本番で思いがけないミスをしてしまい、動揺して演奏が淀んだり止まったりすることがある。これは一種の非常事態である。演奏会本番は、普段の練習とは違う環境であり、このような状況を切り抜けるには、従来のシステムを使って通常事態での練習を重ねるだけでは不十分である。

宇宙飛行士や航空機パイロットは、ロケットや航空機の操縦法のような「通常事態」の訓練もするが、それよりはるかに多くの時間と労力を「非常事態」への対処訓練にあてる。シミュレータによって再現された非常事態に対処する経験を積むことで、トラブルが発生しても最悪の事態を切り抜けられるようになると考えられている。

新山はピアノリサイタルにおける緊張の緩和策として、リハーサル・イメージトレーニングの効果を示している[3]. 通常の練習では、リサイタル本番の緊張感を作り出すことは困難だが、イメージトレーニングを積むことで緊張を克服することができる. 宇宙飛行士や航空機のパイロットが行うシミュレータによる非常事態訓練は、対処すべき事態が目の前に再現され、実際に身体を動かすので、イメージトレーニングよりも効果が期待できる.

本論文では、ピアノ練習にこの考え方を導入し、ピアノ演奏における非常事態訓練を実施可能とするシステム「Apollon13」を提案する. 通常のピアノ演奏練習では、非常事態をシミュレートすることができないため、非常事態訓練はそもそも行われてこなかった. また、従来のピアノ練習支援システムは、すべて通常事態の訓練を支援するものであった. 本提案システムは、トラブル（演奏ミス）が発生しても、最悪の事態（演奏の停止・淀み）を回避するための訓練を行える機会をユーザに提供する. 演奏会本番ではミスのない演奏が理想だが、人間にミスは付き物である. 本システムにより、演奏ミスにも動じない心が養えることを期待する.

1.2 論文の構成

本論文は8章で構成される. 第2章では既存のピアノ練習システムについて述べる. 第3章では提案手法について述べる. 第4章では提案システムについて述べる. 第5章では予備実験, 第6章では本システムの有効性を検証するための評価実験について述べる, 第7章では演奏評価アルゴリズムの妥当性について述べる. 8章ではまとめと今後の展望について述べる.

第 2 章

ピアノ練習支援システム

これまでに様々なピアノ練習を支援するシステムが開発されている。本章では4つのシステムについて紹介する。

2.1 カワイピアノマスター

ピアノマスターは音楽知識がない人でも、ピアノ演奏に取りかかれる練習支援システムである[4]。ピアノ演奏では弾くべき鍵盤を楽譜によりを指示するが、ピアノマスターは楽譜よりも直観的に弾くべき鍵盤を指示できるピアノロールにより、弾くべき鍵盤を指示する。画面に映しだされるピアノロールに従い鍵盤を押さえれば曲を演奏することができる。ピアノロールで表示するため、五線譜の楽譜の様な音楽表現記号は記されていない。ピアノに限らず練習には、モチベーション維持が重要である。ピアノマスターは、ピアノロール表示に合わせてタイミングよく鍵盤を押えることで、拍手、歓声などのエフェクトが入りモチベーション維持に貢献する。



図 2-1. ピアノマスター

2.2 The Piano Tutor

The Piano Tutor は Dannenberg らによって作られたピアノ独習システムである [2]. 本システムはスコアトラッキング技術によりユーザの演奏を監視している. システムには演奏する曲のスコアをあらかじめ登録しておく. システムはユーザの演奏誤りを発見すると, 画面に映し出されたスコア上に, その情報を表示し, ユーザに示す.

2.3 MANON

ピアノを習う人の多くは, 指の運動能力を高めるために HANON と呼ばれる練習曲を利用する. HANON は基礎練習に重点をおいた練習曲である. HANON には, 60 の練習曲がある. 曲によって, 必要とされる奏法や重視される指が決まっており, ピアノ教室で習う場合は, 先生が「何番を練習してきなさい」といった指示をする. この時, ピアノの先生は生徒の苦手とする奏法や指使いなどを把握し, それに見合った HANON の曲を選んでいる. しかし, 独りで練習をする場合, 練習者は, 自分の弱点を把握し, 適切な曲を選んで練習するのが困難である. MANON は独学で基礎練習に取り組む人のための練習支援システムである [1]. MANON は課題となるフレーズを奏者が演奏すると, 苦手な運指パターンを発音時刻間隔 (IOI : Inter Onset Interval) の分散から検出し, 練習用の HANON 風フレーズを生成する. 生成されるフレーズに苦手パターンと得意パターンを織り交ぜることで, 奏者のモチベーションを損なわないようにしている.

2.4 The Phantom of the Piano

ピアノの練習に限らず，練習支援システムが必要以上に介入すると，ユーザの自学・自習が妨げられ，効率的な練習が望めない．The Phantom of the Piano はピアノ学習者の自習を妨げずに，曲の習得を支援するシステムである[5]．ユーザに対して，常に次に弾くべき鍵の位置を示すのではなく，演奏が停止した時にだけ，その停止理由に基づいた手本映像を表示する．停止直前にミスがあった場合は，“戻り手本”と呼ばれる，そのフレーズの最初から停止した位置までの手本映像を表示し，ミスがなかった場合は，“先読み手本”とよばれる，停止位置からそのフレーズの最後までの手本映像を表示する．表示は図 2-2 に示す前面のディスプレイと鍵盤上への投射による方法を取っている．



図 2-2. The Phantom of the Piano

第 3 章

提案手法とシステム

3.1 提案手法

ピアノ演奏における非常事態訓練を可能とするシステムを設計するにあたり、システムの要となるのは、非常事態のシミュレートである。ピアノ演奏において発生する非常事態を考えたとき、著者の経験上、打鍵ミス（演奏ミス）があげられる。打鍵ミスをシステムが強制的に起こすことで非常事態をシミュレートする。つまり、システムは実際に弾かれた鍵とは異なる音を出力する“音高を差し替え”を行う。奏者は、誤った音出力されても演奏を継続する練習を重ねることで、演奏本番における、演奏の淀みや停止を回避する術を身につける機会が得られる。楽器の演奏には様々なフィードバックを利用する。その中でも聴覚フィードバックは重要な役割を果たす[6]。曲を覚える段階では、聴覚フィードバックの有無が演奏に与える影響は大きく、聴覚能力が低い奏者に聴覚フィードバックは欠かせない[7]。一方で、十分に練習を積み、演奏表現を身体で覚えた場合は、聴覚フィードバックは演奏の微調整に利用されることが示唆されている[8]。音高差し替えは聴覚フィードバックを破綻させるため、練習を十分に積んだ上で、音高差し替え練習を行うのが望ましい。

音高を差し替えることで、奏者の演奏が乱れることは、高橋らの研究によって確かめられている[9]。この研究では、鍵盤と出力音のマッピングを、演奏中に予告無く正常な状態から、各鍵に対して本来の音とは異なる別の音が割り当てられているシフト状態に変更し、ある一定時間シフト状態を維持する。実験の結果、シフト状態に変更した際、奏者の演奏の乱れが確認されたことから、音高の差し替えがピアノ演奏における非常事態を作り出すのに有効であることが示唆されている。しかし、高橋らの実験でのシフト状態は、実際のピアノ演奏では絶対に起こり得ない状態であるため、演奏時における非常事態のシミュレーションとしてはふさわしくない。そこで我々は、

音高の差し替えパターンを現実が発生し得るものにするとともに、奏者の練習過程における演奏データの分析結果に基づき音高の差し替えタイミングを決定することで、実際的な演奏誤り状態をシミュレートできる、ピアノ演奏における非常事態訓練機能を実現する。

3.2 提案システム概要

3.1 節に挙げた手法を実現するに当たり、提案システムで使用するピアノは、出力音の差し替えが可能な電子ピアノ (MIDI 鍵盤) である。提案システムは MIDI 鍵盤、MIDI 音源、PC で構成される。動作モードとして、表 3-1 に示す練習監視モードとリハーサルモードを有する。練習監視モードは、ユーザが譜読みと部分練習が完了しており、一通り演奏ができる状態にあることを想定している。ユーザは本モードにて、通し練習を繰り返す。その間、システムはユーザの演奏をスコアトラッキングにより監視する。練習監視モードからリハーサルモードに移行すると、システムは練習監視モードで得られた演奏データから、演奏評価により音高差し替えポイントを決める。リハーサルモードでは、ユーザは本番の演奏を意識して、何が起こっても演奏を中断しないように弾く。その間、システムはスコアトラッキングにより演奏を監視し、音高差し替えポイントに差し掛かると音高を差し替える。音高の差し替えは、実際の演奏ミスで起こりうるパターンを模倣する。パターンは以下の 2 つである。

- ・ 隣り合う鍵の音高への差し替え
- ・ 隣り合う鍵の音高を付加

隣り合う鍵には、以下の図 3-1 に示すパターンがある。

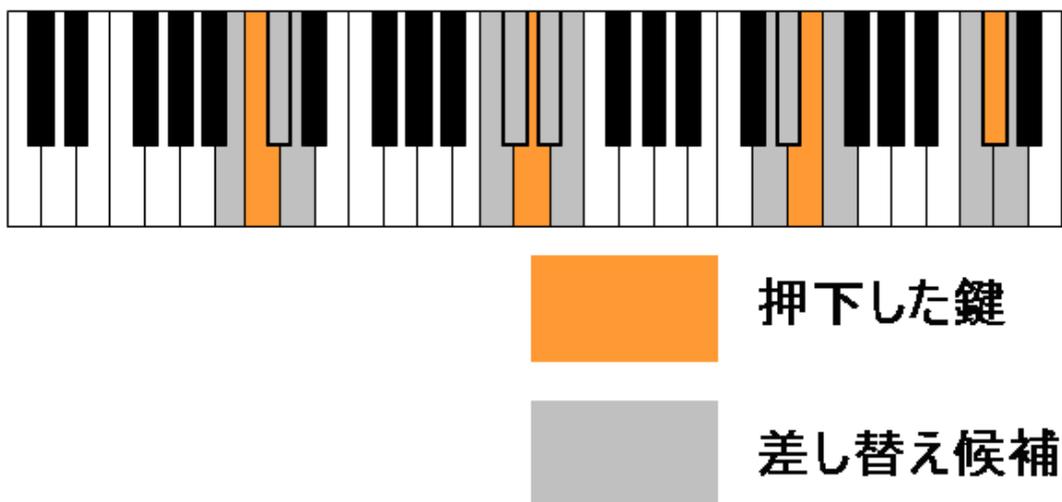


図 3-1. 差し替え鍵候補

この差し替えパターンをランダムに適用する。隣り合う鍵の音を対象とする理由は、実際の演奏ミスで起こり得る“ミスタッチ”がこのようなパターンになるためである。ミスタッチすることがありえないような離れた音に置き換えても、そのような事態は実際の演奏で起こり得ないので、これに対処する訓練にはあまり意味がないと考えられる。過剰な差し替えは演奏を壊し、ユーザのストレスとなるので、的確に動揺を誘う箇所のみで音高を差し替える必要がある。そこで、練習監視モードで取得したデータを分析し、ユーザの得意な箇所、苦手な箇所、苦手を克服した箇所を推定する。これらのうちいずれが最も効果的な音高差し替え箇所かを評価実験で明らかにし、該当箇所ですら散発的に音高を差し替える。

表 3-1. 動作モード

	練習監視モード	→	リハーサルモード
システム	・演奏の監視・記録	・差し替えタイミング決定（演奏評価）	・演奏の監視 ・音高の差し替え
ユーザ	・何度も通し練習を繰り返す		・ミスがあっても弾き続ける

3.3 想定するユーザ

本システムが想定するユーザはピアノの初～中級者である。ピアノ上級者になると、ミスに誤魔化す技術もあり、人前での演奏を何度も経験しているので、演奏ミス時の対処方を十分に心得ていると考えられる。本システムは、人前での演奏経験が少ないと考えられる初～中級者を対象にする。本システムは音高差し替えにより、奏者の聴覚フィードバックをかく乱することで非常事態を作り出す。そのため、聴覚フィードバックが特に重要とされる曲の練習段階での使用は、曲の習得に悪影響を及ぼすため望ましくない[7]。少なくとも曲を通して演奏できるレベルになってから練習監視モードを使用し、自身の演奏に自信がもてるようになってからリハーサルモードに切り替えることが望ましい。

第 4 章

システムの実装

4.1 システム外観

本システム Apollon13 は、連弾演奏支援システム FamilyEnsemble（以下、FE）を利用する[10]. よって、Apollon13 の動作時には FE も同時に起動させておく必要がある. 動作時のシステム構成を以下の図 4-1 に示す.

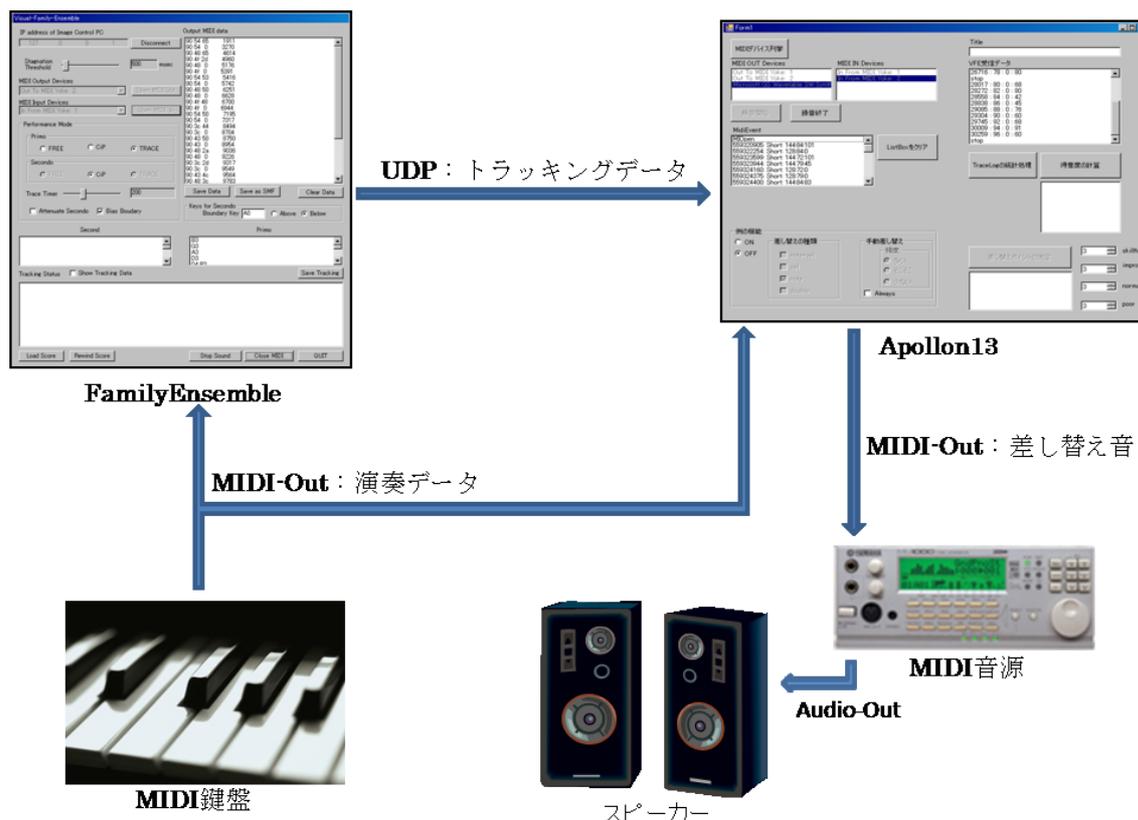


図 4-1. システム外観

4.2 スコアトラッキング

演奏評価用のデータを取得するために、スコアトラッキングの技術が必要である。本システムでは、FEのスコアトラッキング機能を利用する[5][10]。FEは、ピアノ演奏の初心者である子供と、ピアノ演奏経験がほとんど無い親とが容易にピアノ連弾演奏をできるように支援するシステムである。FEでは、子供によるきわめて誤りが多い演奏にも対応できるロバストなスコアトラッキングを実現しているため、今回想定している練習途上の誤りを含む演奏にも基本的に適用可能である。

FEのスコアトラッキングを本システムで利用するにあたり、2点変更を加えた。第1は、ポリフォニーへの対応である。FEでは、各時点における最高音のMIDIノート番号のみを追跡対象としていたため、複数の音が同時に演奏される場合、最高音さえ正しければ、その他の和音構成音に誤りがあっても、これを検出できない。そこで、複数音が同時に演奏される箇所については、そこで演奏されるすべての音のMIDIノート番号の総和を追跡対象とすることにより、簡易的にポリフォニーに対応させた。また、FEでは40ms以内に演奏された音を和音として認識するように設計されているが、この認識時間を40~400msまで変更可能とした。第2に、FEのスコアトラッキングは、現在の演奏位置とそこでの演奏の正誤情報（1：正しく演奏されている、0：誤り）をリアルタイムに出力するが、これに加え、後述する演奏評価のために、各演奏位置におけるVelocity値も出力するようにした。

4.3 演奏評価

MIDI鍵盤から送られてくる奏者の演奏データから、奏者がスコアのどの箇所を得意としているのか、どこを苦手としているのか等を判定する。演奏評価は、演奏が安定しているか、スコア通りに弾けるようになったか（スコア正解率の推移）という観点で行う。たとえスコアと異なる音を演奏していたとしても、毎回スコアとは異なる音を演奏していた場合は演奏が安定していると言える。よって、正解率そのものではなく、正解率の推移を利用し、正解率が上昇傾向にあった場合にプラスの評価を与える。評価結果は、得意、克服、普通、苦手の4段階評価となる。得意箇所とは、各回の演奏が安定している箇所である。克服箇所は、練習の初期では演奏が不安定だったが、練習の積み重ねにより安定した箇所である。苦手箇所は、演奏が不安定な箇所である。上記のいずれにも該当しない箇所が“普通”となる。

4.3.1 演奏評価に使う情報

ピアノ演奏を評価する上で、MIDI データから取得可能な主な 3 要素として発音時刻間隔 (Inter Onset Interval 以下, IOI), Duration, Velocity があげられる. 先行研究ではこれら 3 つの要素を利用することで演奏評価を行っている[11][12]. 本システムでは鍵盤から入力される MIDI データを直接利用せず, スコアトラッキングによって得られる正誤情報と, 現在位置情報の出力タイミングから求められる各音の IOI, および Velocity を元に, 演奏評価を行う. 吉田らは, 同一運指パターン毎に IOI の分散を求め, 分散値が大きい場合を“苦手”としている[1]. 一方, 我々はスコア同一箇所における IOI と Velocity の分散値を利用し, やはり分散値が大きい箇所を苦手箇所とする. しかし, IOI と Velocity の値から分散を求めた場合, 演奏毎にテンポ自体が変化すると IOI の分散が大きくなる. そこで, 各演奏 (通し演奏 1 回毎) 全体での基準テンポを求め, 基準テンポに対する各音の瞬時テンポの揺れを求めることで, 各回の演奏テンポの差違を吸収する.

4.3.2 テンポ揺れの導出

テンポを求めるには, 演奏された音の音価情報 (音符の長さ) が必要である. 音価情報は概ねスコアから取得出来るものだが, FE のスコア形式は音価情報を持たない. そこで, FE のスコア形式を拡張して音価情報を追加した. FE のスコア形式である pcp ファイルは, 1 行ずつ時系列順に Primo と Second が演奏すべき音が “:” で区切られて記されている. 各行の末尾に “:” を追加し, その後に音価記号を付加した. 各音価情報の記載方法を以下の表 4-1 に示す.

テンポ揺れを求める手順を説明する. まず, 1 回の通し演奏において, 演奏された各音符について瞬時テンポを求めてヒストグラムを作り, 最頻値を基準テンポとする. ヒストグラム作成にあたり, 経験的にウィンドウサイズを 10 とし, シフト幅 5 とした. ゆえに基準テンポの解像度は 5 となる. 次に各音符について瞬時テンポを基準テンポで除算して, 基準テンポからの揺れを求める.

表 4-1. 音価記号

全音符	1	16 分音符	16
2 分音符	2	32 分音符	32
4 分音符	4	付点, 複付点	. ..
8 分音符	8	3 連符	/3

4.3.3 評価の決定

まとまった時間の練習（30 分程度）を 1 セッションとして、練習セッションを重ねる。練習の進展につれ、テンポの揺れ、Velocity の分散、および正誤情報から得られるスコア正解率がどう変化するかで、最初から得意な箇所（得意箇所）、練習により克服した箇所（克服箇所）、最後まで苦手な箇所（不得意箇所）、いずれにもあてはまらない箇所（普通箇所）を抽出する。本システムによる演奏評価の基準は、演奏の安定度である。毎回、同じように演奏する箇所には高い評価が与えられ、毎回異なる演奏をする箇所については、低い評価が与えられる。演奏評価を行っている先行研究では、IOI, Duration, Velocity 等のデータの中でも特に IOI を重視している[1][13][14]。そこで、本システムでも IOI を重視した演奏評価方法をとる。

以下、演奏評価情報の抽出方法を説明する。まず、スコア上の同一イベント（FE のスコアには演奏すべき鍵の音名が時系列順に並んでおり、スコア上のイベントとは MIDI のノートオンイベントにあたる。）について、音高正解率の推移から最小二乗法により適合する直線の傾きを求め、その傾きについて、度数（スコアイベント数）が等しくなるように 3 つの階級に分類する。傾きが正寄り（正解率が上がっている）の階級に 2 点、0 前後の階級に 1 点、負寄りの階級に 0 点を与える（図 4-2a）。傾きに注目しているため、常に正解または不正解であっても得点には影響しない。また、テンポ揺れと Velocity 分散については、練習セッション全体での平均値を計算し、その平均値を中心に 3 つの階級に分ける。度数の比は、3 : 4 : 3 とする。その上で、音高正解率の場合と同様、各音が属する階級に応じて 0 点～2 点のスコアを与える。いずれも階級値が小さいもの（すなわち分散や揺れが小さいもの）ほど演奏が安定しているので、高いスコアを与える（図 4-2b）。

以上の結果、各音についてテンポ揺れ、Velocity 分散および音高正解率推移の 3 つにそれぞれ 0～2 点のスコアが付与される。これら 3 要素のスコアに対して 5 : 3 : 2 の割合で重みづけを行い、一次結合して合成スコアを求める（ゆえに満点は 20 点とな

る) (図 4-2c). この点数を 5 点刻みの 4 段階に分け, 一番点数の高いグループを得意箇所, 一番点数の低いグループを苦手箇所とする (図 4-2d).

中間の 2 グループについては, テンポ揺れの推移と Velocity の分散値の推移を用いてさらに以下の方法で格付けする. 音高正解率と同様にテンポ揺れの推移と Velocity の分散値の推移の傾きを求め, 3 つの階級に分類する. 傾きが負寄りの階級に 1 点, 正寄りの階級に -1 点, 中間の階級に 0 点を付与する (図 4-2e). 各音についてこの 2 つのスコアの合計点を求める (ゆえに合計点は -2 ~ +2 点となる). 合計点が正の場合は克服箇所, 負の場合は苦手箇所, 0 の場合は普通箇所とみなす (図 4-2f). また, 先に 20 点満点中 5 点未満で苦手箇所としたグループについても同様の処理を行い, 合計点が +2 点の箇所に限り, 克服箇所に変更する (図 4-2g).

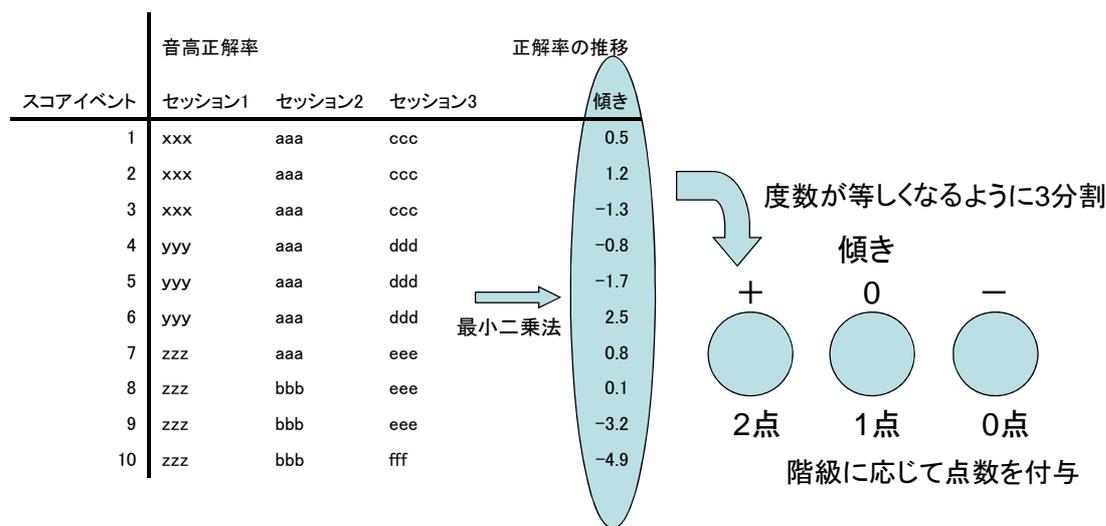


図 4-2a 評価アルゴリズム 1

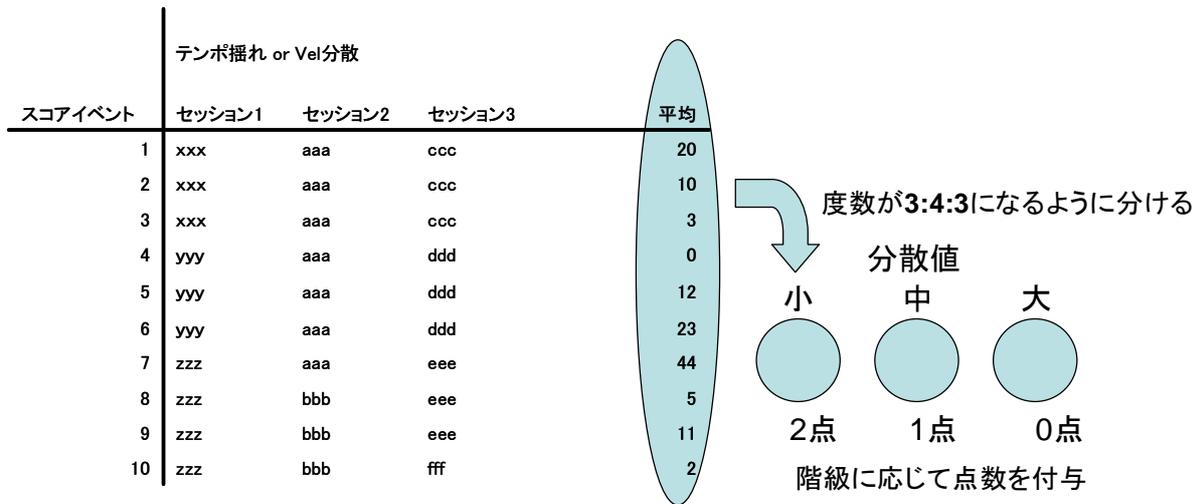


図 4-2b 評価アルゴリズム 2

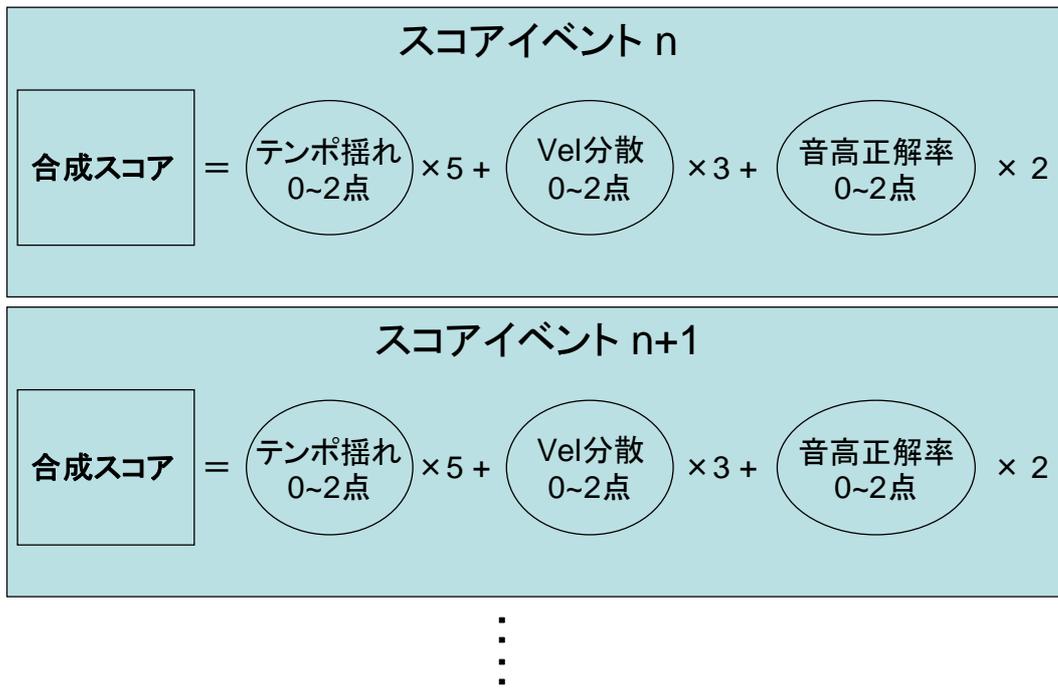


図 4-2c 評価アルゴリズム 3

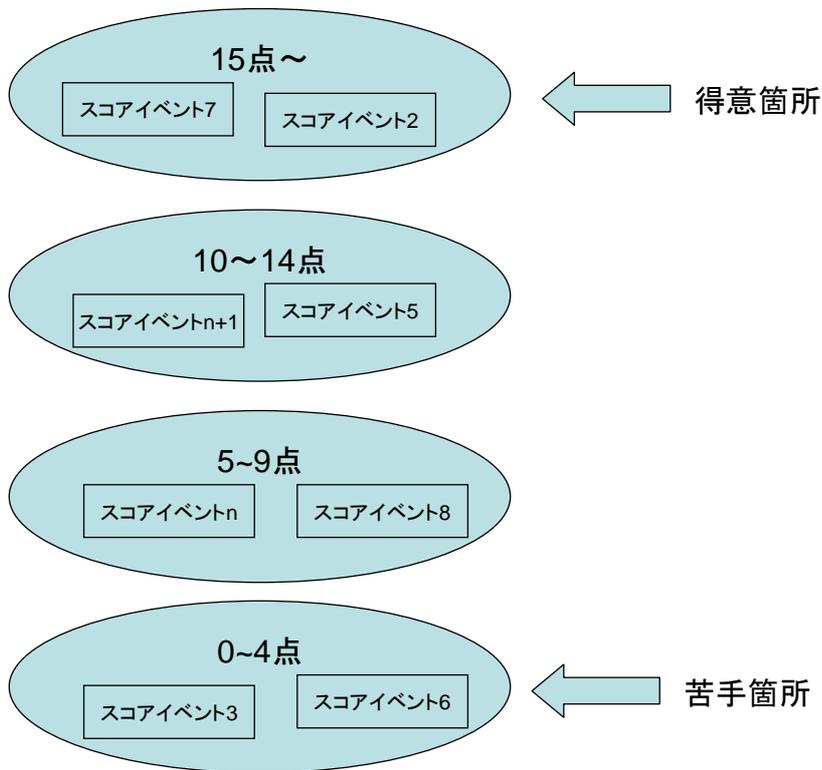


図 4-2d 評価アルゴリズム 4

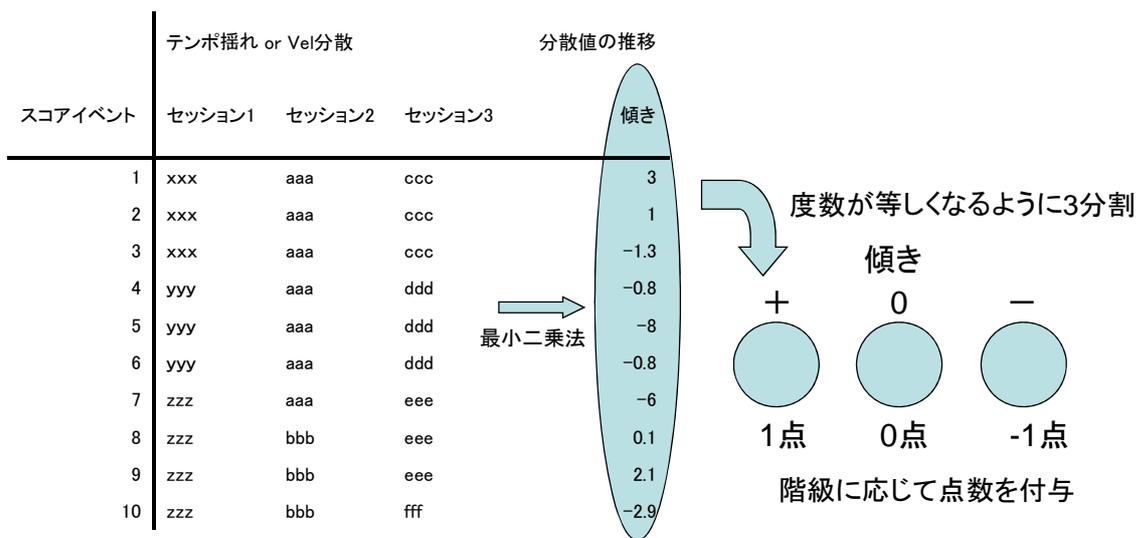


図 4-2e 評価アルゴリズム 5

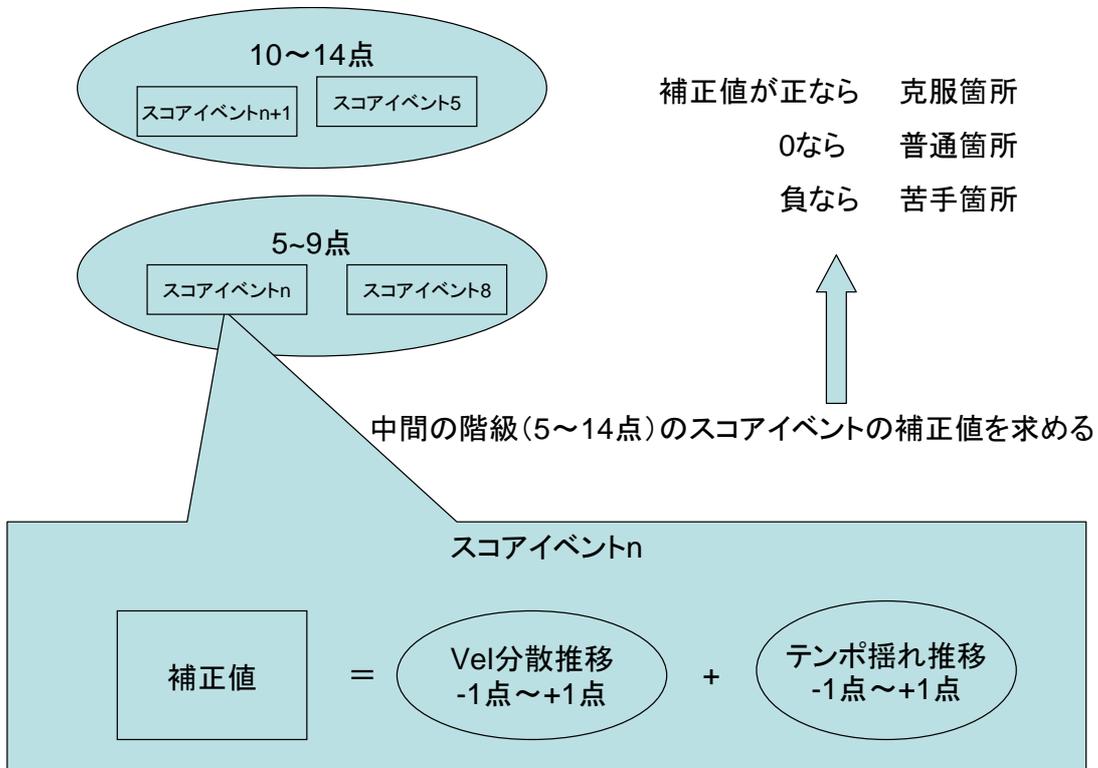


図 4-2f 評価アルゴリズム 6

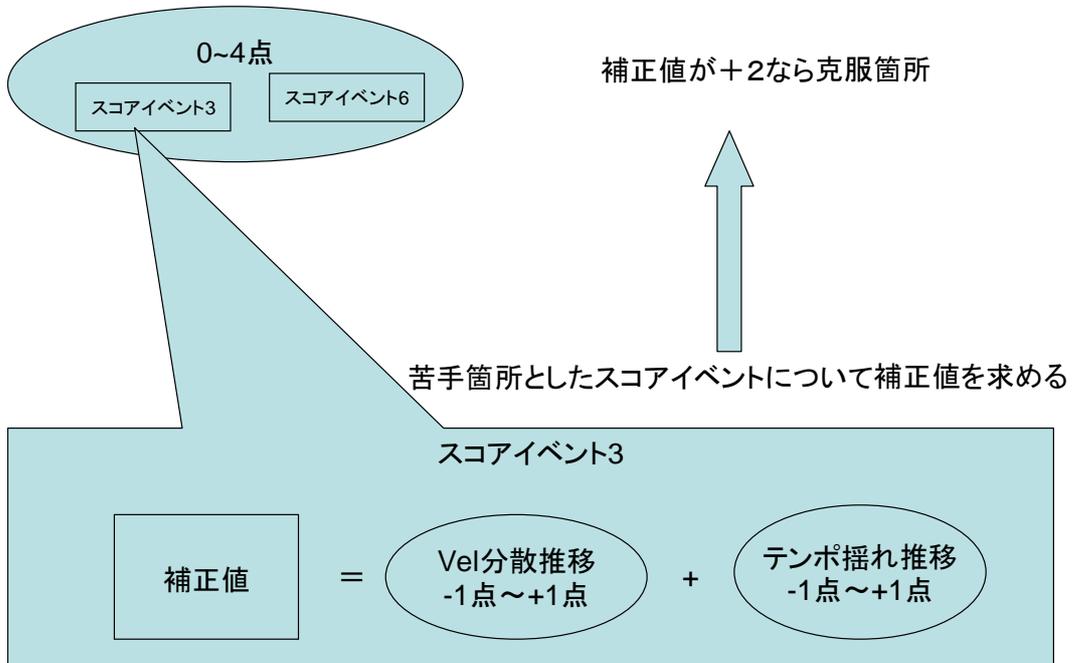


図 4-2g 評価アルゴリズム 7

4.4 音高差し替え

スコアの各イベントは得意箇所, 克服箇所, 普通箇所, 苦手箇所に分類されている. 現在の仕様では, 得意・克服・普通・苦手箇所について, 音高を差し替える回数は任意で変更可能にしてあり, 設定された回数に応じて, ランダムで差し替え箇所が決定される. システムをリハーサルモードで動かす際も **FE** が奏者の演奏をトラッキングしており, 差し替え箇所の一つ前の音符が演奏されると, システムは 3.2 節に示した 2 つの差し替えパターンから, 差し替えパターンをランダムで決定し, 次に演奏される音 (差し替え箇所) で音高を差し替える.

第 5 章

予備実験

5.1 実験の目的

音高差し替えにより演奏が乱れることは高橋らの実験により明らかになっている [9]。しかし、その実験での音高差し替えは実際の演奏では起こり得ない差し替えパターンである。本システムは実際の演奏で起こり得るパターンの音高差し替えを行う。予備実験では、提案システムによる音高の差し替えで演奏が乱れるのか、また、提案した評価アルゴリズムによりの確に動揺を誘う箇所を検出できるのかを検証する。

5.2 被験者と課題曲

被験者 2 名により実験を行った。被験者の音楽歴を以下の表 5-1 に示す。課題曲には、被験者が既に一通り弾ける曲を選んだ。ただし両者とも前回の演奏から数年のブランクがある。譜面は譜めくりが無いよう 2 ページとし、演奏時間が 2 分程度になるようアレンジした。被験者 A,B の課題曲は以下である。

被験者 A : Summer (菊次郎の夏より)

被験者 B : 眠らない街トレノ (FF7 ピアノコレクションズより)

表 5-1. 被験者の音学歴

	年齢	ピアノ歴	ピアノ教育
被験者 A	23	19 年間	12 年間
被験者 B	22	19 年間	12 年間

5.2.1. 課題曲の特徴

Summer は、左手が 8 分音符のアルペジオ、右手で 16 分音符ベースのメロディーを弾く。指定テンポは 80 程度である。今回の実験では、演奏時間が 2 分程度になるようにアレンジしたため、前奏と主題が譜面の大部分を占めている。眠らない街トレノは、ラグタイム風の曲で、指定テンポ 100 程度、左手は 4 分音符で動き、1 拍目と 3 拍目でベースを弾く。右手は 8 分音符で動く。演奏時間を 2 分以内とするために繰り返しを省略した。2 曲とも曲中に曲調が大きく変化することはない。



図 5-1. 被験者 A の課題曲の楽譜の一部



図 5-2. 被験者 B の課題曲の楽譜の一部

5.3 実験方法

実験は当研究室にある防音室で行った。演奏中、被験者は独りで防音室にてピアノを演奏するため、外部からの干渉を受けない。実験に使った機材を以下の表 5-2 に示す。

以下に示す練習セッションを設けた。

1. 通常の通し練習
2. 音高差し替え状態での通し練習

通常の通し練習では、1 セッションあたり 10 回程度の通し練習をするよう被験者に指示し、システムを練習監視モードで動作させた。このセッションを被験者 A については 2 日間で 3 回、被験者 B については 3 日間で 4 回行った。予備実験の段階では、4.3.3 に示した差し替え候補箇所抽出アルゴリズムの実装を完了していなかったため、練習監視モードで取得された演奏データを用いて著者が手作業で分析してスコアの全イベントについて 4 段階の評価を抽出した。

音高差し替え状態での通し練習では、5 回通し練習するよう被験者に指示した。この時、システムを練習監視モードで動作させ、各音の正誤情報、IOI の分散、および Velocity の分散情報を取得する。被験者にはリハーサルモードが動作すると伝えたが、実際には被験者から見えないところで著者が手動操作で音高を差し替えた。音高差し替え箇所は、前述の手作業による分析結果に基づき著者が選んだ。差し替えの頻度は、1 回の通し演奏につき 3 回程度とした。1 回の通し演奏中に、4 段階の各評価箇所についておおむね 1 箇所ずつで差し替えを行うようにした。音高差し替えパターンは 3.2 で示した 2 種類のパターンがあるが、今回は、隣り合う鍵の音高への差し替えのみを使用した。

表 5-2. 使用機材

MIDI 鍵盤	ヤマハ・グランドピアノ C5L + サイレントアンサンブル プロフェッショナルモデル
MIDI 音源	YAMAHA Piano Control Unit PPC500RH
MIDI-IO	MOTU MIDI Express XT USB
PC	デスクトップ型 CPU : Pentium4 2.66GHz メモリ : 512MB

5.4 実験結果

5.4.1 演奏評価結果

提案アルゴリズムにより被験者の演奏データから演奏を評価した。以下の表 5-3 は 4 段階の評価値が全スコアイベントに占める割合を示している。演奏評価アルゴリズムは 4 段階の各評価が全てのスコアイベントについて付与され、各評価値の度数が概ね等しくなるように設計されている。今回の実験では両被験者に共通して、苦手箇所として検出される箇所が多く、克服箇所が一番少なかった。

表 5-3. 演奏評価の結果

	得意	克服	普通	苦手
被験者 A	23.3%	16.5%	27.5%	32.7%
被験者 B	27.2%	16.1%	19.9%	36.8%

5.4.2 差し替えの影響

まず、各差し替え箇所において、通常を通し練習の最終セッションにおける演奏データ (IOI と Velocity) の平均からのずれをパーセンテージで算出した。ついで、音高差し替えを行った箇所を、4 段階の評価に基づいて 4 つのグループに分け、グループ毎にずれ具合の平均値を求めた。以下の図 5-3 に各評価グループの演奏のずれのグラフを示す。横軸がスコアイベント軸、縦軸が練習時の演奏とのずれである。差し替え箇所は、8 番目のスコアイベントの箇所である。ずれが 0% の場合は、通常を通し練習の最終セッションにおける演奏と同じ演奏がなされたことを示し、0% からプラス方向離れるほど、IOI・Velocity の値が大きく、0% からマイナス方向へ離れるほど、IOI・Velocity の値が小さい演奏になっていることを示している。IOI・Velocity のずれが差し替え後に大きく変化すれば、差し替えによる影響と考えられる。

被験者 A

被験者 B

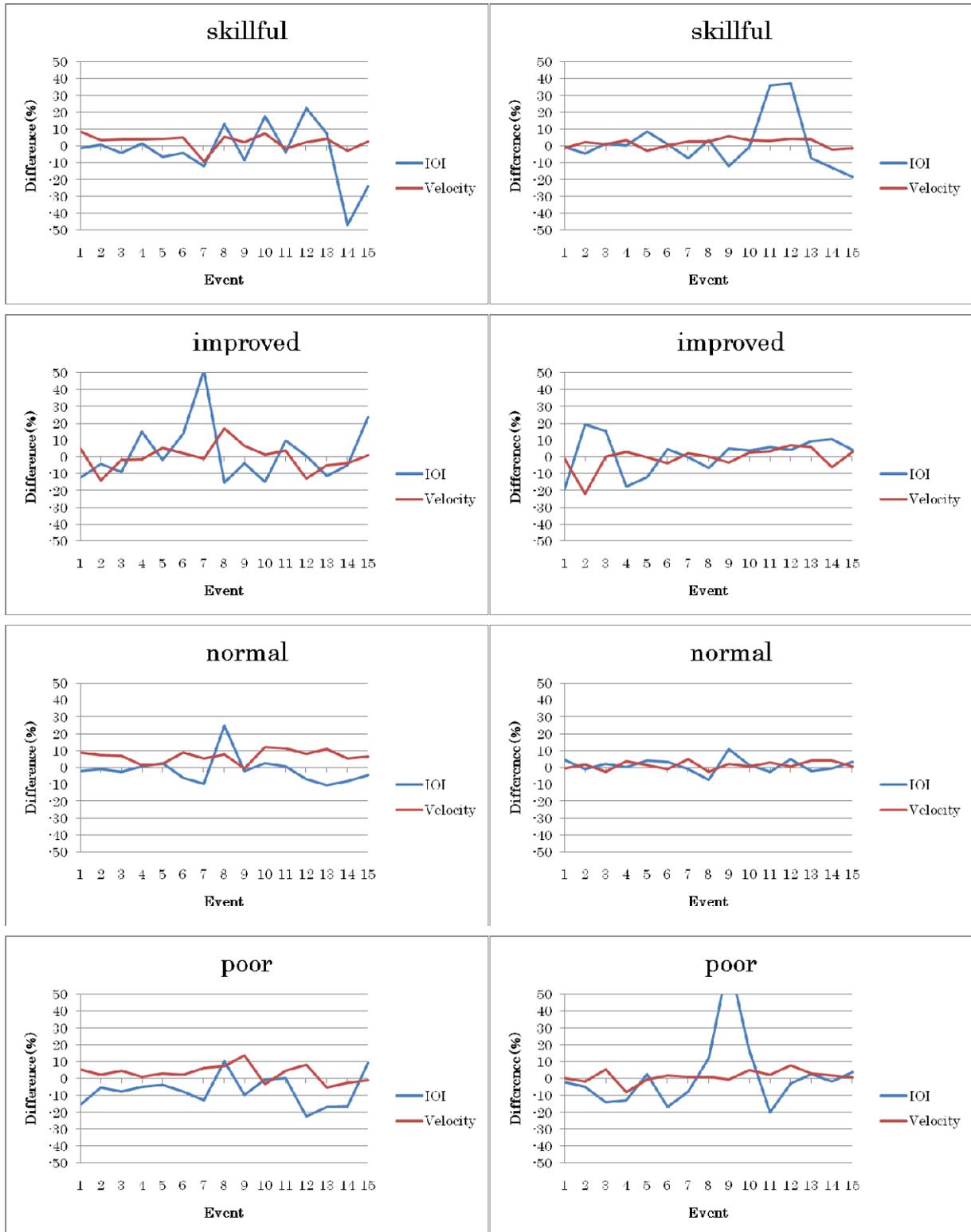


図 5-3. 差し替え箇所の違いによる演奏への影響

5.5 考察

被験者 B については、苦手箇所での音高差し替えにより、差し替え直後の IOI の乱れが顕著に見られたが、被験者 A については、同様の影響が見られなかった。ただし、いずれの被験者も、得意箇所での差し替え後、数イベント後に IOI の乱れが見られた。

予備実験の結果、隣の鍵盤への音高差し替えが奏者に動揺を与えることが分かった。さらに、演奏評価アルゴリズムによりスコアイベントを 4 段階の評価で分類し、各評価箇所について、音高を差し替えの影響が異なることを確認した。しかし、今回の予備実験では、実験時間が短く被験者がそれぞれ異なる課題曲を演奏していたため、提案した評価アルゴリズムが妥当か判断できない。今後は評価アルゴリズムと奏者の主観評価との差異、また、音高差し替え状態での練習を続けた場合の音高差し替えが演奏に与える影響を検証する必要がある。

第 6 章

評価実験

差し替え練習の継続による音高差し替えが演奏に与える影響

6.1 実験の目的

提案システムは演奏を披露する場面で演奏ミスなどの不測の事態が起こっても、演奏を止めずに続けるための練習機会を提供することを目指している。本システムによる音高差し替え練習を継続することで、音高差し替えが起こっても奏者が動揺しなくなれば、非常事態訓練として成功と言える。予備実験ではセッション数が少なく、差し替え練習の継続効果を確認することが出来なかった。そこで本実験では、予備実験よりもセッション数を増やし、差し替え練習を継続した際の演奏への影響を、アンケートによる被験者の主観評価と演奏データから明らかにする。

6.2 被験者

被験者 3 名により評価実験を行った。3 名の被験者は過去にピアノを習っていたことがあり、今でもピアノを演奏できる。被験者 A と B は予備実験にて本システムの動作を経験している。以下の表 6-1 に 3 名の被験者の音学歴を示す。

表 6-1. 被験者 3 名の音学歴

	年齢	ピアノ暦	ピアノ教育
被験者 A	23 歳	19 年	11 年間
被験者 B	23 歳	20 年	12 年間
被験者 C	24 歳	18 年	6 年間

6.3 課題曲

課題曲には月刊ピアノで難易度 2 (3 段階中) とされている「戦場のメリークリスマス」を選んだ。楽譜は譜めくりの必要がない 2 ページとし、演奏時間が 2 分程度になるように変更した。課題曲を決める際に、事前に被験者に楽譜を提示し、全員が弾ける難易度の楽譜であることを確認した。以下の図 6-1 に課題曲の楽譜の一部を示す。



図 6-1. 課題曲の楽譜の一部

6.4 実験内容

実験は予備実験と同様に当研究室の防音室で行った。表 6-2 に示す機材を利用した。評価実験は通し演奏を繰り返す“練習セッション”と、システムが音高を差し替える状態で通し演奏を繰り返す“差し替え練習セッション”で構成される。実験期間は 5 日間とし、1 日に 2 回のセッションを設けた。1 セッションは 30 分以内とし、被験者には最低 10 回の通し演奏を義務付けた。各セッション間は最低 5 時間の間隔をあげ

た．各被験者には実験開始 1 週間前に課題曲の楽譜を渡し，通し演奏ができる状態まで練習してもらった．実験前の練習に関して，著者から練習方法や演奏に関する指示はしていない．計 5 日間の実験で 10 回のセッションが設けられ，最初の 5 回を“練習セッション”，残りの 5 回を“差し替え練習セッション”とした．練習セッションではシステムは練習監視モードで動作する．5 回の練習セッション終了後にシステムは蓄積された演奏データを基に演奏評価を行う．続く 5 回の差し替え練習セッションでは，システムはリハーサルモードで動作する．各セッションで 10 回の通し演奏を義務づけているが，1 セッション中の 10 回の演奏のうち，システムが音高を差し替えるのは，概ね 5 回の演奏についてである．表 6-2 に差し替え演奏の適用パターンを示す．

表 6-2. 差し替え演奏の適用パターン

	Session1	Session2	Session3	Session4	Session5
1st	○	○	×	×	○
2nd	×	○	×	×	○
3rd	○	×	×	○	○
4th	×	×	○	×	×
5th	○	○	○	○	×
6th	×	○	○	○	×
7th	○	×	×	×	×
8th	×	×	×	○	×
9th	○	○	○	○	○
10th	×	○	○	×	○

○：差し替えあり ×：差し替えなし

実験中，被験者が演奏回数を頭の中でカウントするのは困難なので，画面に演奏回数カウント用のボタンを配置した．差し替え演奏の適用の有無は，カウント用のボタンを押すことで変更される．この時，差し替え箇所も決定される．差し替え箇所は，各評価につき 1 箇所ずつとし，その 1 箇所はランダムで決定される．演奏のトラッキングが正常に行われた場合，1 回の演奏中に 4 回の音高差し替えが実行される．予備実験と同様に，全評価値について差し替えが行われるため，実質，差し替え箇所は演奏評価なしのランダムで決定されるのと同じである．

被験者の主観による得意・苦手箇所等の演奏評価を得るため，1 回の練習セッション

ン終了毎に，楽譜に得意・苦手箇所をマークしてもらった．また，1回の差し替え練習セッション終了毎に，練習で音高を差し替えた箇所に印をつけた楽譜を被験者に提示し，差し替えにより動揺した箇所をマークしてもらった．全実験セッション終了後にシステムによる音高差し替えについてのアンケート調査を行った．

表 6-3. 使用機材

MIDI 鍵盤	ヤマハ・グランドピアノ C5L + サイレントアンサンブル プロフェッショナルモデル
MIDI 音源	YAMAHA MU128
MIDI-IO	midiman MIDISPORT2×2
PC	ノート型 CPU : Core2Duo T7250 2.00GHz メモリ : 1.0GB

6.5 実験結果

6.5.1 アンケートからみる差し替えの影響

差し替え練習セッション終了時にとったアンケートの結果から，音高差し替えで動揺した箇所の数を集計した．音高差し替え箇所は1回のセッションにつき20箇所程度である．以下の図 6-2~6-4 は，差し替え練習セッション 1~5（以降，R1~R5 と表記）を横軸にとり，縦軸に全差し替え箇所に対する動揺箇所のパーセンテージをとったグラフである．全被験者について，差し替えセッションが進むにつれ，差し替えによる動揺の減少が見られる．

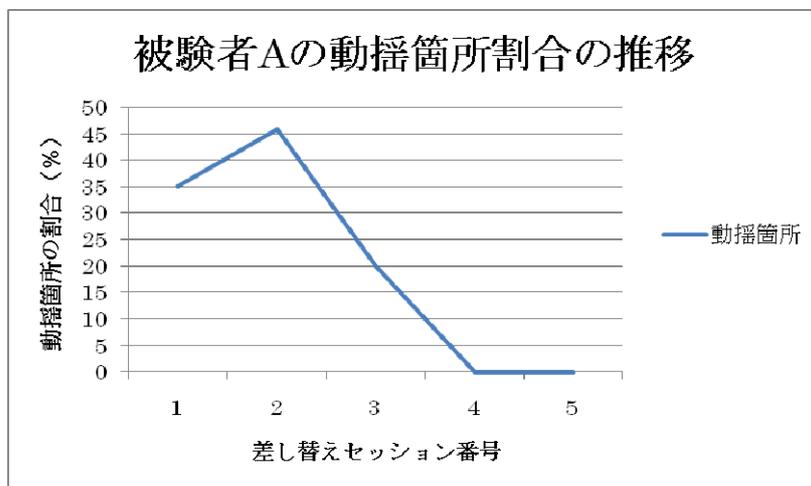


図 6-2. 被験者 A 動揺箇所割合の推移

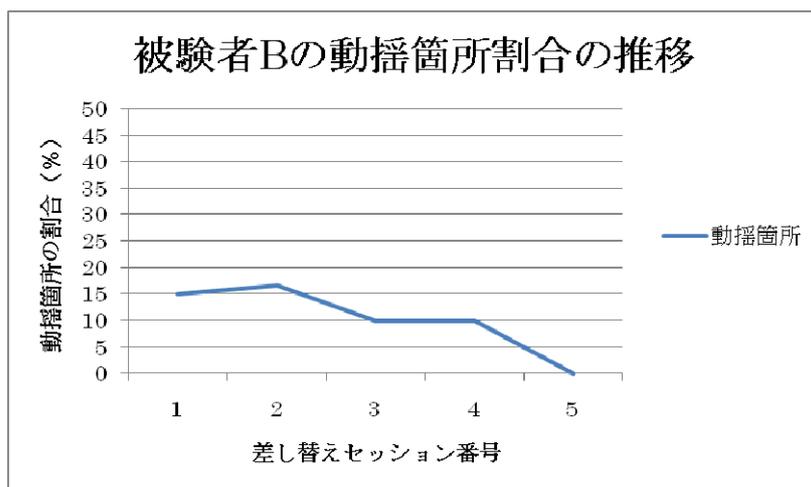


図 6-3. 被験者 B 動揺箇所割合の推移

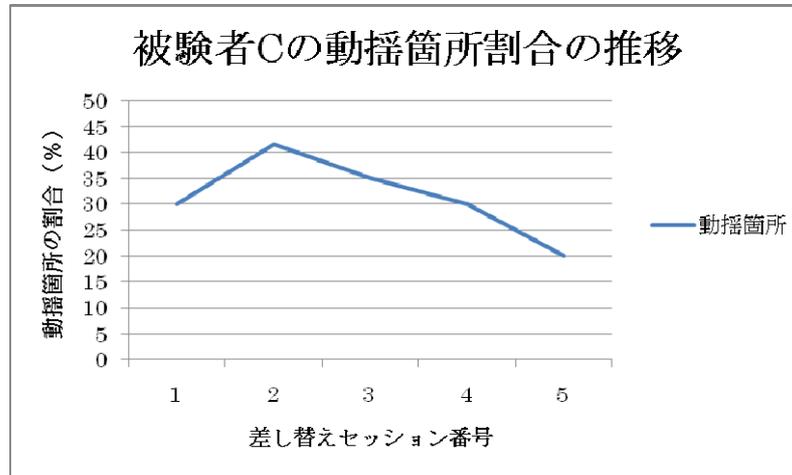


図 6-4. 被験者 C 動揺箇所割合の推移

6.5.2 演奏データからみる差し替えの影響

差し替えによる演奏への影響を IOI と Velocity から見る. 差し替えそのものの影響をみるため, 差し替え箇所の評価値は考慮しない. 差し替えセッションは 5 回あるが, セッションの進行に伴う変化を観察しやすくするため, 差し替えセッションの前から 3 回 (R1-3) と後から 3 回 (R3-5) に分けた. 次いで, R1-3, R3-5 の全差し替え箇所のデータを足し合わせ, R1-3, R3-5 における平均演奏データを作成した. 以下の図 6-5~6-10 は, R1-3 と R3-5 での高差し替え箇所付近における演奏のずれを示している. 基準となる演奏は練習セッション 4 と 5 の平均である. 練習セッション 4 と 5 の平均的な演奏に近ければ, グラフは 0% 付近を推移する. 横軸の 8 番目のイベントで音高が差し替えられており, 8 番目以降で演奏に乱れがあれば, 差し替えが影響したと考えられる. さらに, 差し替え前 7 イベントと差し替え後の 7 イベント (差し替え箇所を含む) で演奏の乱れ (分散) に有意な差があるかを F 検定で調べた. 差し替え直前 7 イベントと, 差し替え後 7 イベントの分散を比較する際, “差し替え前の分散 < 差し替え後の分散” となる場合に, 差し替えによる影響があったと考えられる. よって, “差し替え前の分散 > 差し替え後の分散” となる箇所では検定は行わない. 以下の表 6-4~6-6 に R1-3, R3-5 について F 検定により求めた P 値を示す. F 検定の結果, 有意水準 5% で有意差がある場合は, そのセルを肌色に, 有意傾向がある場合はセルを緑色に着色してある.

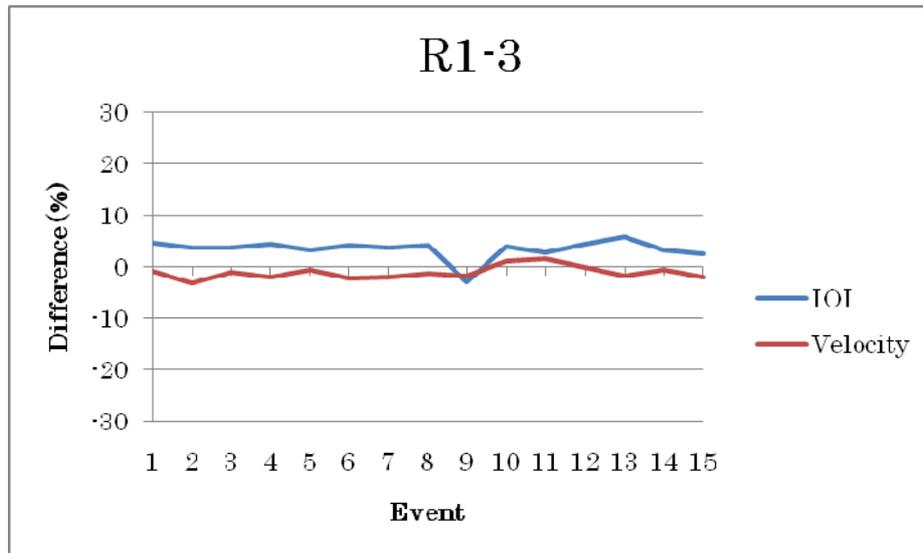


図 6-5. 被験者 A 差し替えの影響 R1-3

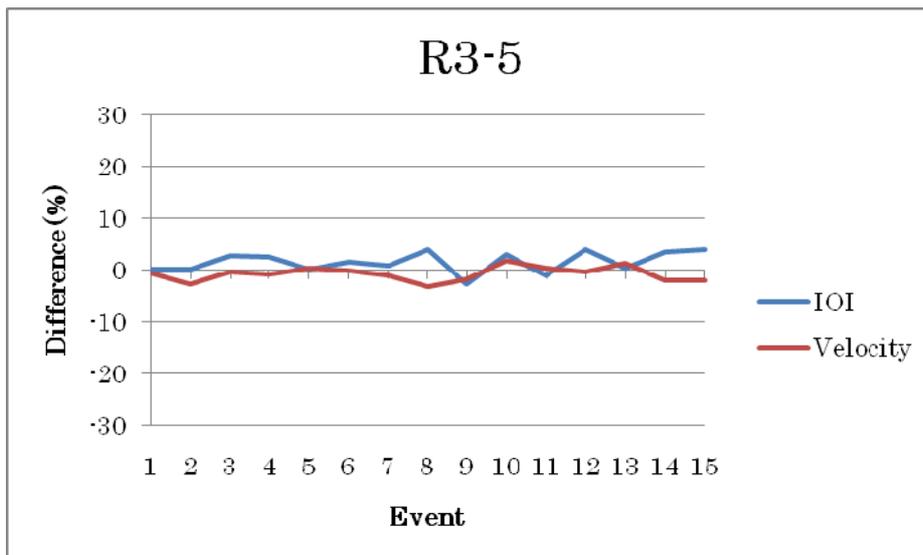


図 6-6. 被験者 A 差し替えの影響 R3-5

表 6-4. 被験者 A F 検定結果

	IOI			Velocity		
	P 値	標準偏差 差し替え前	標準偏差 差し替え後	P 値	標準偏差 差し替え前	標準偏差 差し替え後
R1-3	0.00093	0.547732	2.808973	0.420883	0.963816	1.361874
R3-5	0.064173	1.171364	2.67793	0.156923	0.984931	1.830613

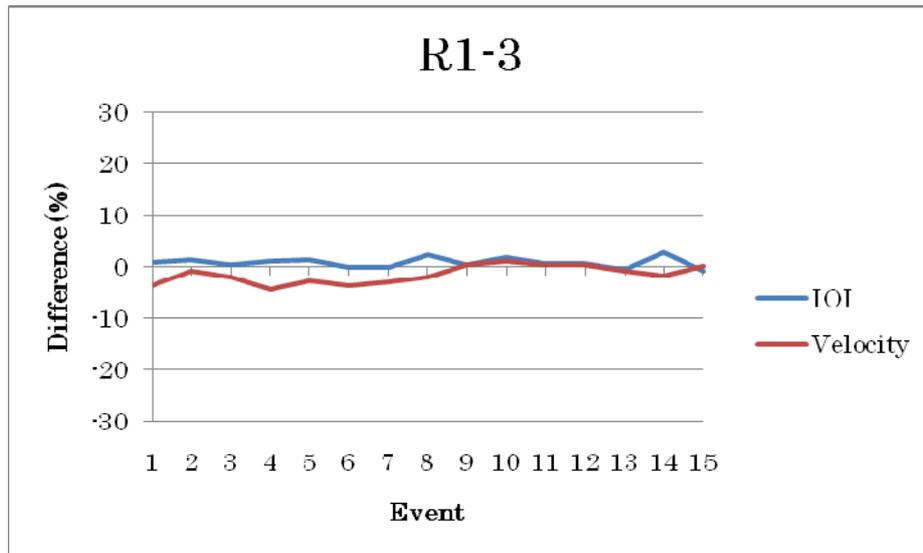


図 6-7. 被験者 B 差し替えの影響 R1-3

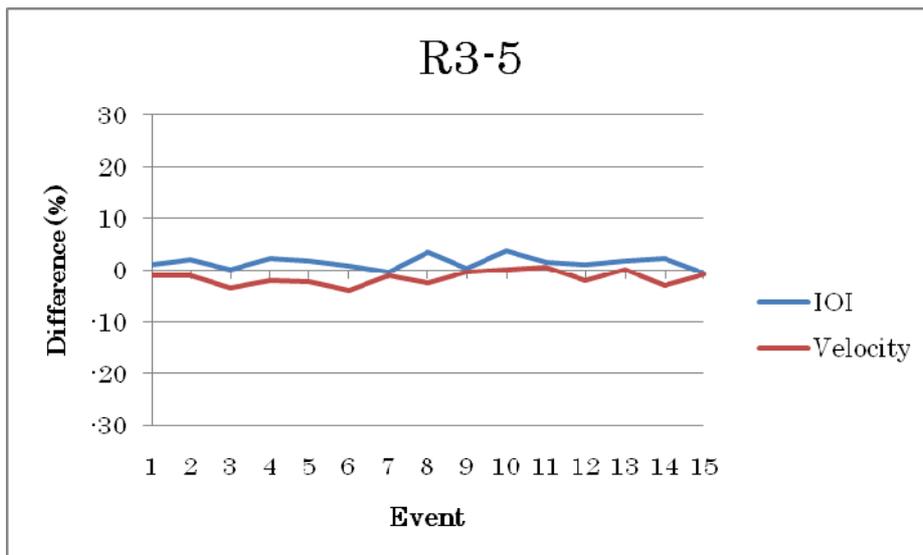


図 6-8. 被験者 B 差し替えの影響 R1-3

表 6-5. 被験者 B F 検定結果

	IOI			Velocity		
	P 値	標準偏差 差し替え前	標準偏差 差し替え後	P 値	標準偏差 差し替え前	標準偏差 差し替え後
R1-3	0.20795	0.664751	1.150049		1.174603	1.139343
R3-5	0.576202	0.968397	1.229749	0.674332	1.189161	1.422648

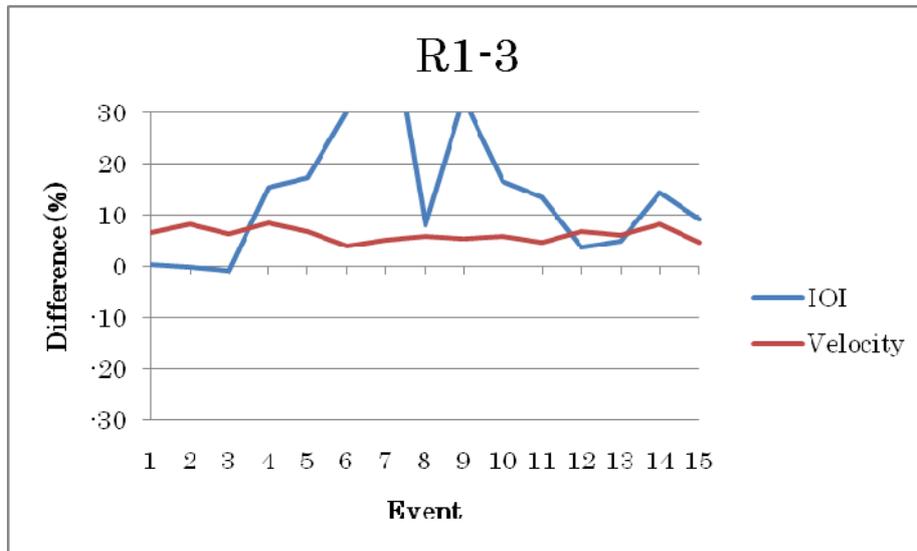


図 6-9. 被験者 C 差し替えの影響 R1-3

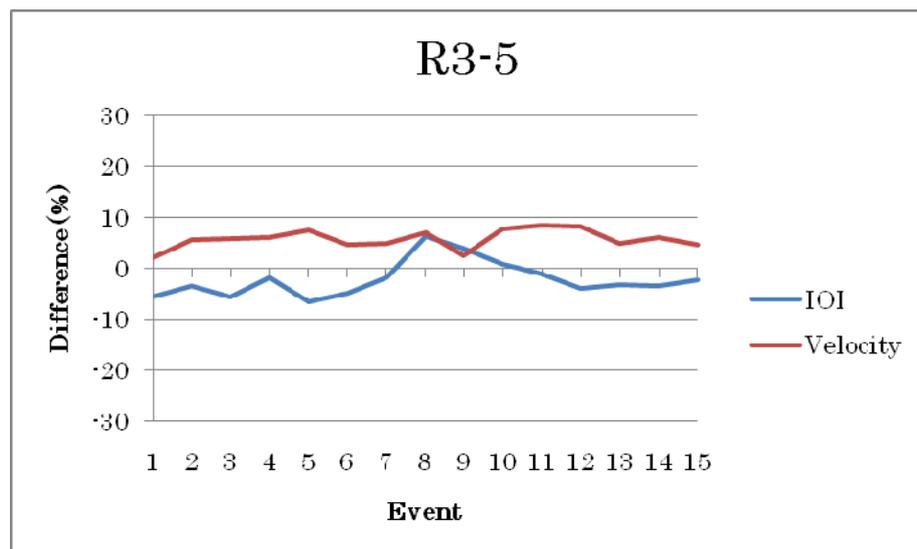


図 6-10. 被験者 C 差し替えの影響 R1-3

表 6-6. 被験者 C F 検定結果

	IOI			Velocity		
	P 値	標準偏差 差し替え前	標準偏差 差し替え後	P 値	標準偏差 差し替え前	標準偏差 差し替え後
R1-3		20.30111	9.885323		1.540407	1.093328
R3-5	0.110436	1.961686	3.967632	0.633788	1.72279	2.111368

被験者 A は図 6-5, 図 6-6 から, 差し替え直後のイベントで IOI が短くなる傾向が見られる. F 検定の結果から R1-3 では有意差が見られ, R3-5 では IOI に有意傾向が見られた. 被験者 A は差し替え練習セッションを積むことで, 差し替えの影響を受けにくくなったことが窺える. 被験者 B は図 6-7, 図 6-8 から, 音高を差し替えたイベントの IOI が若干長くなる傾向が見られた. R1-3, R3-5 いずれについても, IOI の標準偏差は増加しているが, F 検定の結果からは R1-3, R3-5 において IOI, Velocity とともに差し替えによる有意な変化は確認できなかった. 被験者 C は図 6-9 から, R1-3 では音高が差し替えられる前から IOI の乱れが見られる. 図 6-10 に示す R3-5 では, 音高差し替え箇所付近で, IOI が長くなる傾向が見られたが, F 検定の結果, IOI, Velocity とともに差は確認できなかった.

3 人の被験者に共通して, 差し替えの影響が IOI には見られるが, Velocity にはさほどみられなかった. 被験者 A は, 差し替え練習を積むことで, 差し替えによる演奏の乱れが軽減された. 被験者 B は, 基本的に演奏が安定しており差し替えによる影響がほとんど見られなかった. 被験者 C は, 差し替え箇所より前で演奏が乱れることがあったため, 差し替えの影響を判断することが出来なかった.

6.5.3 音高差し替えについてのアンケート調査結果

全セッション終了後に, 本システムによる音高差し替えについてのアンケート調査を行った. 質問内容は以下の 3 点で, 差し替え練習序盤と終盤についてそれぞれ 5 段階評価で回答してもらった.

1. 音高差し替えに動揺した
2. 音高差し替えに警戒した
3. 自分のミスと差し替えの区別ができた

結果を以下の図 6-11~6-13 に示す.

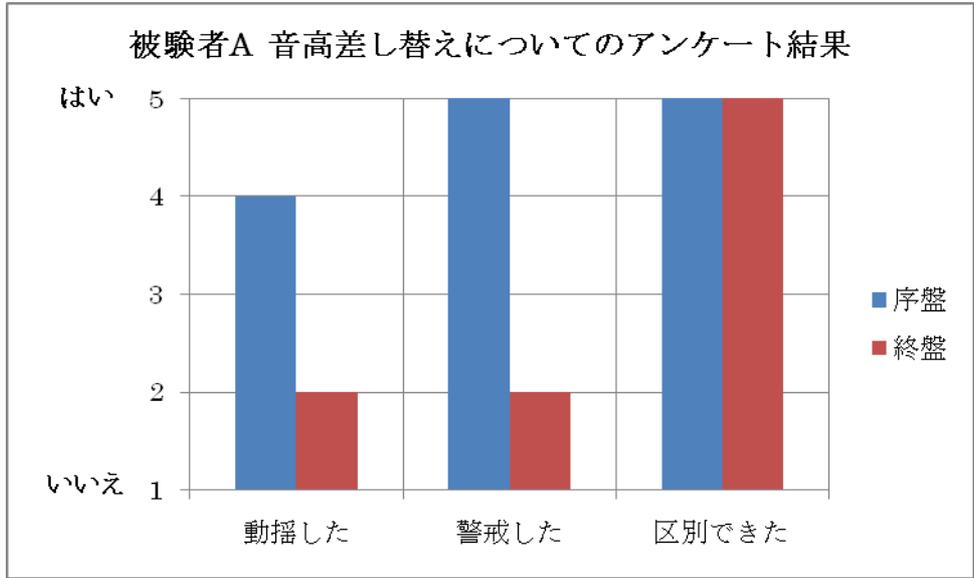


図 6-11. 被験者 A アンケート結果

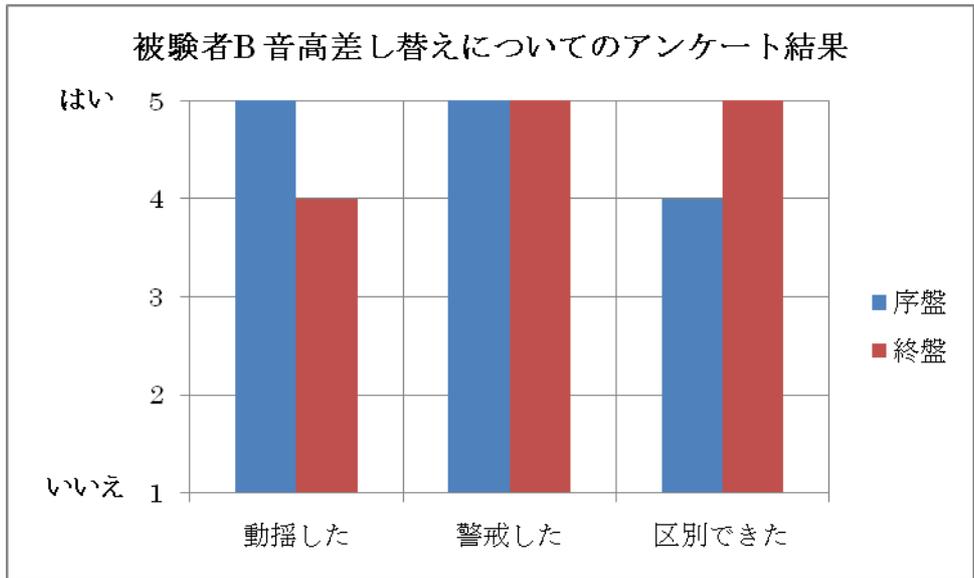


図 6-12. 被験者 B アンケート結果

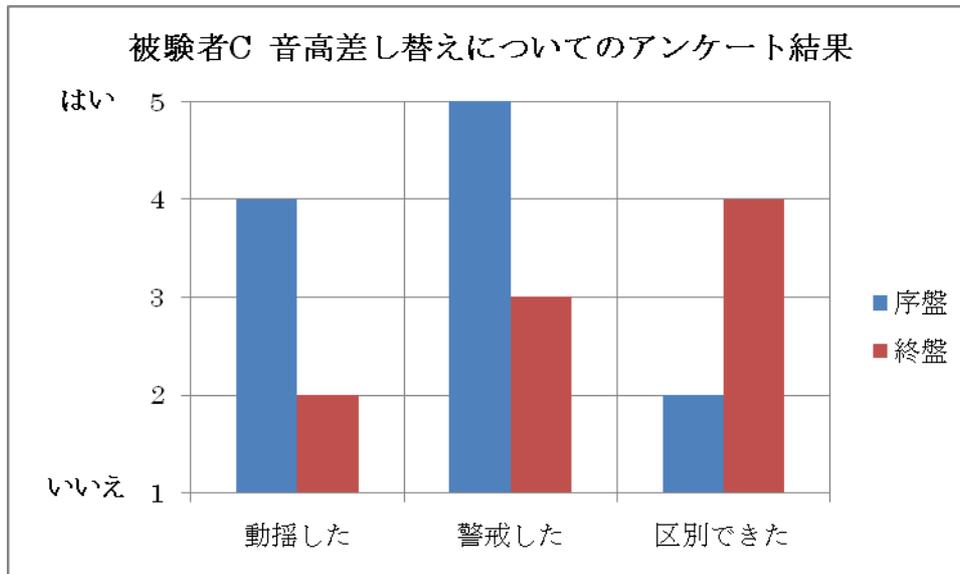


図 6-13. 被験者 C アンケート結果

アンケートから、3人の被験者に共通して、差し替え練習を積むことで、差し替えに動揺しにくくなるという回答が得られた。また、被験者 A と C からは、差し替えへの警戒も薄れていくという回答が得られた。自らの演奏ミスと音高差し替えの区別ができるかという問いに対して、被験者 A と B は区別できると回答している。一方で、被験者 C は序盤では区別ができなかったが、練習終盤では区別できたと回答している。

6.6 考察

差し替え練習セッション終了毎に、被験者に差し替え箇所を記載した楽譜を提示し、動揺箇所をマークしてもらい得られたデータから、差し替え練習を繰り返すことで、動揺箇所が減っていくことが確認できた。これは、差し替え練習の繰り返しにより、被験者が音高差し替えに慣れていったからと考えられる。また、実験終了後の差し替えについてのアンケートでも、差し替え練習を繰り返すことで、差し替えに動揺しなくなる傾向が窺える。自分のミスとシステムによる音高差し替えの区別が出来たかという問いに対して、被験者 A と B は、区別できると回答したが、被験者 C は、練習序盤では、区別できなかったと回答した。しかし、練習終盤には、被験者 C も区別が出来ると回答した。これは、本実験にて被験者 C がシステムによる音高差し替えを初

めて経験したためと考えられる。被験者 A と B は予備実験で音高差し替えを既に経験しているため、自身のミスとシステムによる音高差し替えを終始意識していたと考えられる。被験者の主観的な評価からは、音高差し替えの繰り返しにより、音高差し替えに動揺しなくなるという結論が導ける。音高を差し替えた際の演奏データから差し替えの影響を見ると、被験者 A には差し替え練習の繰り返しにより演奏が乱れにくくなる傾向がみられた。

アンケート調査から、3人の被験者に音高差し替え練習の積み重ねによる練習効果が確認でき、被験者 A については、演奏データからも練習効果が確認できた。本システムによる音高差し替え練習により、被験者が音高差し替えに動揺しなくなったことから、本システムによる非常事態訓練が成功したと言える。

一方で、今回の実験で明らかになった問題点もある。実験データの分析において、被験者 C は音高差し替えていない箇所でも演奏の乱れが大きく、演奏データから差し替えの影響を判断することが出来なかった。通し演奏の度に異なった演奏表現をとった場合、本システムの演奏評価基準では対応できない。差し替えの影響を見るためには、本人の演奏ミスとシステムによる音高差し替え時の演奏を比較する等、新たな方法を考える必要がある。また、システムによる音高差し替えに慣れた被験者は、システムによる音高差し替えと自分のミスを区別できているため、奏者が鍵盤を見ていない時に音高を差し替える等して、非常事態訓練としての質を向上させる必要がある。

第 7 章

演奏評価アルゴリズムの妥当性に関する 検討

評価実験の結果，差し替え練習を繰り返すうちに，差し替えによる動揺が減っていく傾向がみられた．今回の実験では，差し替え箇所を決定するにあたり，提案アルゴリズムによる演奏評価を行ったものの，4段階の評価箇所群から各評価につき1つずつ差し替え箇所を決定したため，実際には，差し替え箇所はランダムで決定した場合と相違はない．しかし，本システムの狙いは，“普段ミスをしないうところでのミス”等の，奏者が著しく動揺する箇所で音高を差し替えることで，非常事態を作り出すことである．音高差し替えは，演奏を壊す行為であり，奏者に動揺を与えられない箇所での差し替えが過剰になると奏者のモチベーションを下げることにもなるので，より少ない箇所に留めるのが望ましい．

予備実験では，演奏評価に基づき，差し替え箇所を変えることで，評価の違いが演奏に与える影響を確認できたものの，被験者間で異なる課題曲，実験時間の長さ，音高差し替え自体に対する慣れ等の要因により，評価アルゴリズムの妥当性を検証できなかった．音高差し替え練習の継続による演奏へ影響をみた評価実験では，予備実験よりも多くのデータが得られた．そこで，評価実験のデータをもとに，評価アルゴリズムの検証と，差し替え箇所の違いによる演奏への影響を詳細に分析した．

7.1 評価アルゴリズムに基づく音高差し替えの妥当性

7.1.1 演奏評価結果

スコアトラッキングにより得られた 5 回の練習セッションデータから、評価アルゴリズムに基づき演奏評価を行った。表 7-1 に各評価値の付与された割合を示す。演奏評価アルゴリズムは、得意・克服・普通・苦手 の各評価値が、スコアの全イベントに対して、概ね等しく付与されるように設計されている。評価の結果、予備実験と同様に、被験者全員に共通して苦手箇所として評価される箇所が一番多かった。

表 7-1. アルゴリズム評価結果

	得意	克服	普通	苦手	計
被験者 A	21.77%	26.20%	15.87%	36.16%	100%
被験者 B	23.99%	25.83%	18.45%	31.73%	100%
被験者 C	22.51%	25.46%	14.02%	38.01%	100%

7.1.2 音高差し替え回数

評価アルゴリズムによって各評価が与えられたスコアイベントの中から、1 回の通し演奏中、各評価につき 1 か所ずつ、計 4 か所で差し替えが行われた。よって、演奏のトラッキングが正常だった場合、今回の実験で一人あたり概ね 100 回、音高が差し替えられている。以下の表 7-2 は各被験者の音高差し替え回数を示している。

表 7-2. 音高差し替え回数 - アルゴリズム評価による分類

	得意	克服	普通	苦手	計
被験者 A	25	26	27	24	102
被験者 B	26	26	26	25	103
被験者 C	28	36	25	31	120

被験者 A と B については、100 回程度の音高差し替えが確認できた。しかし、被験者 C については、楽譜通りに演奏できていなかったためか、トラッキングに失敗することがあり、音高差し替えが過剰であった。

7.1.3 差し替え箇所演奏評価の違いが演奏に及ぼす影響

IOI と Velocity に着目して音高差し替えの影響を見る。以下の図 7-1~7-6 は、予備実験と同様の方法により、差し替え箇所付近での IOI と Velocity の基準演奏からのずれを示したグラフである。基準演奏は練習セッション 4 と 5 の平均である。グラフでは横軸の 8 番目のイベントが音高を差し替えた箇所にあたる。この箇所より後ろで、演奏に乱れがあれば、音高差し替えが演奏に影響したことがわかる。表 7.3~7.5 は差し替えの直前 7 イベントと、差し替え後の 7 イベント（差し替え箇所を含む）で、演奏の乱れ（分散）に差があるか F 検定により求めた結果である。差し替え前後で分散を計算し、分散値が“差し替え前<差し替え後”となる箇所についてのみ P 値を求めた。F 検定の結果、有意水準 5% で有意差がある場合は、そのセルを肌色に、有意傾向がある場合はセルを緑色に着色してある。有意差または有意傾向が見られる場合、差し替えによる影響があるという解釈になる。

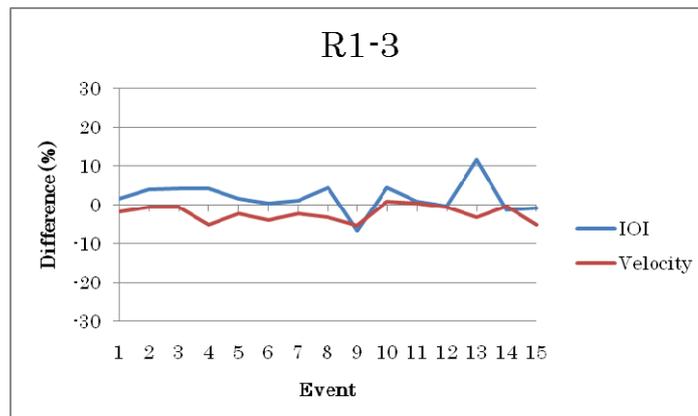


図 7-1. 被験者 A 得意箇所の差し替えの影響

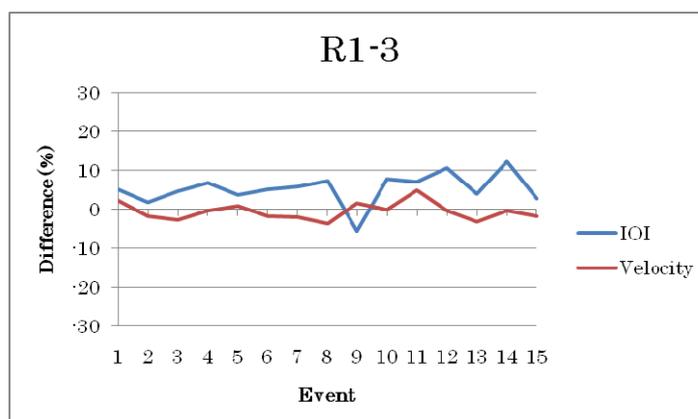


図 7-2. 被験者 A 普通箇所の差し替えの影響

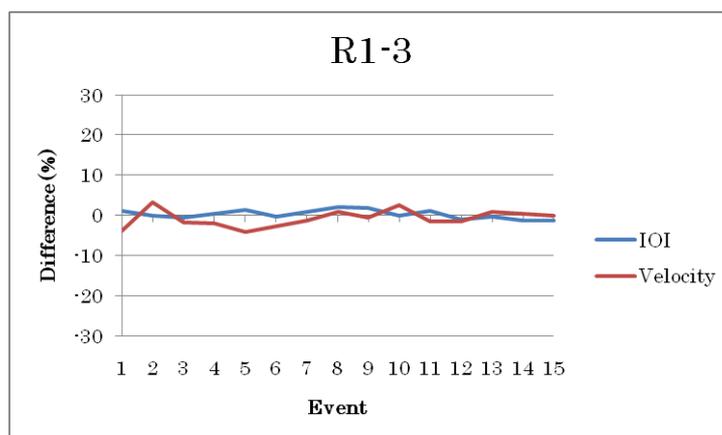


図 7-3. 被験者 B 得意箇所の差し替えの影響

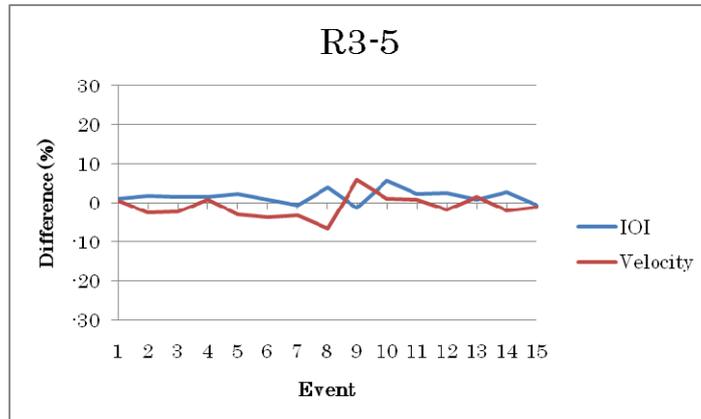


図 7-4. 被験者 B 克服箇所での差し替えの影響

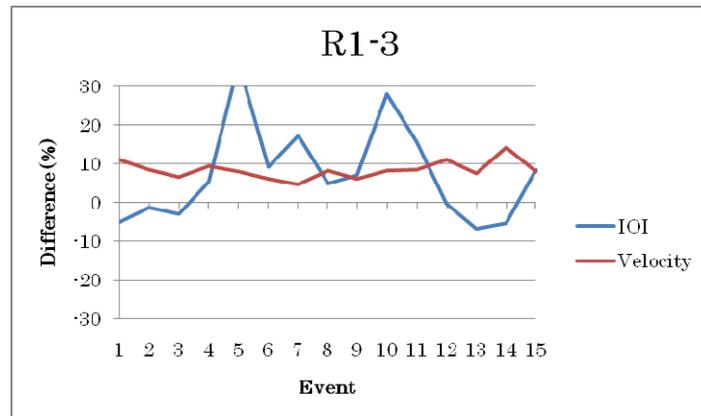


図 7-5. 被験者 C 得意箇所での差し替えの影響

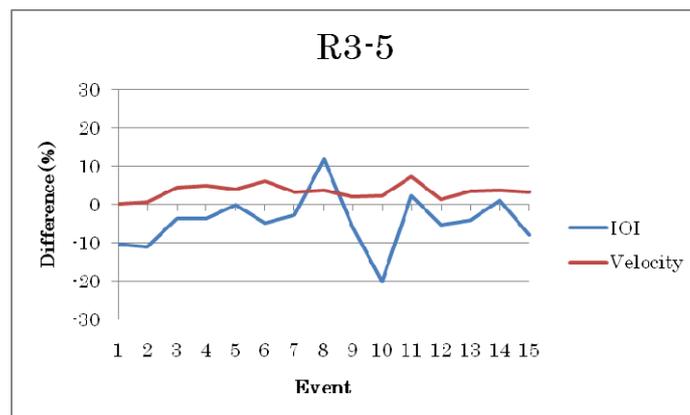


図 7-6. 被験者 C 普通箇所での差し替えの影響

表 7-3. 被験者 A F 検定結果

評価		IOI			Velocity		
		P 値	標準偏差 差し替え 前	標準偏差 差し替え 後	P 値	標準偏差 差し替え 前	標準偏差 差し替え 後
得意	R1-3	0.008178	1.655155	5.721357	0.425028	1.656856	2.333819
	R3-5	0.262597	2.535024	4.118862	0.449476	2.248393	3.110252
	R1-5	0.175979	2.053008	3.707786	0.735394	1.805217	2.084923
克服	R1-3	0.068797	1.503734	3.38576		3.071369	1.139442
	R3-5		3.863591	2.897935		2.704219	2.124012
	R1-5	0.757021	2.543336	2.901761		2.27625	1.392733
普通	R1-3	0.007254	1.653558	5.846035	0.238311	1.74279	2.90777
	R3-5	0.857132	3.917568	4.229631	0.349585	1.687344	2.524983
	R1-5	0.089873	2.155275	4.571303	0.470383	1.336946	1.821894
苦手	R1-3	0.900893	2.652833	2.797241	0.394721	1.193369	1.720716
	R3-5		3.76488	2.293573	0.135344	1.519384	2.92803
	R1-5		2.943845	2.389216	0.300914	1.162094	1.817102

表 7-4. 被験者 B F 検定結果

評価		IOI			Velocity		
		P 値	標準偏差 差し替え 前	標準偏差 差し替え 後	P 値	標準偏差 差し替え 前	標準偏差 差し替え 後
得意	R1-3	0.232637	0.778256	1.306944		2.479693	1.449063
	R3-5	0.265991	0.793308	1.284374		2.011936	1.313675
	R1-5	0.520872	0.626155	0.824206		1.786107	1.221005
克服	R1-3	0.097818	1.223632	2.545515	0.005589	1.188073	4.409362
	R3-5	0.050597	0.899475	2.164439	0.087118	1.801931	3.84896
	R1-5	0.063545	1.013731	2.322527	0.01571	1.09071	3.32751
普通	R1-3	0.144621	1.307934	2.480276		2.191479	1.822616
	R3-5	0.702342	1.441736	1.696919		2.487469	2.258656
	R1-5	0.309603	0.850744	1.319403		2.273326	1.705701
苦手	R1-3	0.065101	1.202205	2.739833	0.704444	3.186178	3.745578
	R3-5	0.224039	1.622666	2.752567	0.051077	1.198795	2.878901
	R1-5	0.153228	1.164087	2.176383	0.673961	1.938486	2.319603

表 7-5. 被験者 C F 検定結果

評価		IOI			Velocity		
		P 値	標準偏差 差し替え 前	標準偏差 差し替え 後	P 値	標準偏差 差し替え 前	標準偏差 差し替え 後
得意	R1-3		14.46061	12.30169	0.664002	2.223149	2.675883
	R3-5	0.754141	3.080266	3.520054	0.019305	1.93724	5.676191
	R1-5		10.13428	8.770833	0.253649	2.080307	3.412472
克服	R1-3		17.48161	8.438042		3.03081	2.468129
	R3-5	0.015845	3.353372	10.21324		3.790798	2.319286
	R1-5		12.62926	6.365835		2.222685	1.533046
普通	R1-3	1.26E-05	2.322281	24.90835	0.623648	1.936563	2.387976
	R3-5	0.044385	3.957456	9.790568		2.170912	1.901527
	R1-5	7E-05	2.078577	16.67429	0.898507	1.7397	1.836757
苦手	R1-3		59.80547	22.03428		2.325345	2.23162
	R3-5	0.126942	5.189437	10.15585	0.80133	3.283193	3.654615
	R1-5		40.57735	15.14044		2.446545	2.44583

被験者 A は評価アルゴリズムにより“得意”・“普通”と判定された箇所の差し替えで影響が見られた。図 7-1～7-2 から差し替え直後のイベントにて IOI が短くなったことが分かる。F 検定の結果，“得意”と判定された箇所の R1-3 で差し替えによる影響が IOI にみられるが，R3-5 では影響が見られなくなった。“普通”と判定された箇所についても同様であった。被験者 B は，“克服”と判定された箇所の差し替えで演奏に影響が見られた。図 7-3 に示す得意箇所での差し替えでは，ほとんど影響が見られないのに対して，図 7-4 に示す克服箇所では，IOI，Velocity とともに乱れた。F 検定の結果からも同様の結果が得られた。被験者 C は，図 7-5 に示されるような音高差し替え前に演奏が乱れる場合が多く見られた。“普通”と判定された箇所については，図 7-6 に示されるような，差し替えの影響と見られるデータが得られ，F 検定の結果からも影響ありと解釈できるが，このようなパターンが少ないため，差し替えの影響と判断するのは難しい。

7.2 奏者の主観評価に基づく音高差し替えの妥当性

7.2.1 演奏評価結果

練習セッション終了毎に被験者に回答してもらったアンケートにより奏者による演奏の主観評価が得られている。アンケートでは楽譜に各セッション終了時点で、どこが得意か、どこが苦手かを記載してもらっている。アルゴリズム評価との比較のために、アンケートによる主観評価の結果を以下の操作によりアルゴリズム評価と同様の4段階の評価に変換した。以下、説明の都合上、アルゴリズム評価の評価値を 得意=4 克服=3 普通=2 苦手=1 と表記する。

練習セッション5の主観評価をベースにして評価値を割り当てる。“得意”と回答している箇所を評価値4，“苦手”と回答している箇所を評価値1，特に記載がない箇所を評価値2とする。評価値3は，アルゴリズム評価では，練習により演奏が安定してきた箇所に付与されている。アンケートによる主観評価から評価値3を付与するにあたり，練習過程での主観評価の変化を利用する。対象となるのは練習セッション5の主観評価から評価値4もしくは2が割り当てられた箇所である。この箇所について練習セッション序盤のアンケートで“苦手”と回答していれば，練習を積んだことで上達したと判断できる。上達傾向の判定は以下の手順で行う。各練習セッション終了後のアンケートにおいて“得意”とした箇所ならば +1 ，“苦手”とした箇所ならば-1 を与え，練習セッション1~5 を横軸にとり，最小二乗法で直線の傾きを求める。その直線の傾きが+の場合を上達傾向有りとする。上達傾向有りと判断された箇所には評価値3が付与される。以上の操作により導出した主観評価の結果を以下の表7-6に示す。

主観評価では，被験者によって各評価値の割合に大きな差が生じた。主観評価とアルゴリズム評価が一致した箇所の割合は被験者Aが23.24%，被験者Bが24.35%，被験者Cが24.72%と，3人とも25%程度であった。

表 7-6. 被験者の主観に基づく演奏評価結果

	得意	克服	普通	苦手
被験者 A	46.49%	43.91%	3.32%	6.28%
被験者 B	12.55%	22.51%	40.95%	23.99%
被験者 C	57.56%	25.10%	13.28%	4.06%

7.2.2 音高差し替え回数

本実験での音高差し替え箇所を前述の主観評価で分類した。差し替え箇所はアルゴリズム評価に基づき決定したため、主観評価による分類では、差し替え箇所のサンプル数に偏りが生じる。差し替え箇所を主観評価で分類した際の、サンプル数を以下の表 7-7 に示す。

表 7-7. 音高差し替え回数 - 主観評価による分類

	得意	克服	普通	苦手	計
被験者 A	38	51	8	5	102
被験者 B	12	24	33	34	103
被験者 C	77	29	13	1	120

主観評価では、各評価値の度数が被験者によって異なるため、アルゴリズム評価に基づき決定した差し替え箇所を主観評価で分類すると偏りが生じた。

7.2.3 差し替え箇所の演奏評価の違いが演奏に及ぼす影響

主観評価で分類した差し替え箇所の演奏の様子をアルゴリズム評価による分類と同様の方法で分析した。以下の図 7-7~7-12 に、IOI と Velocity 変化のグラフを、表 7-8~7-10 に差し替え前後で F 検定を行った結果を示す。

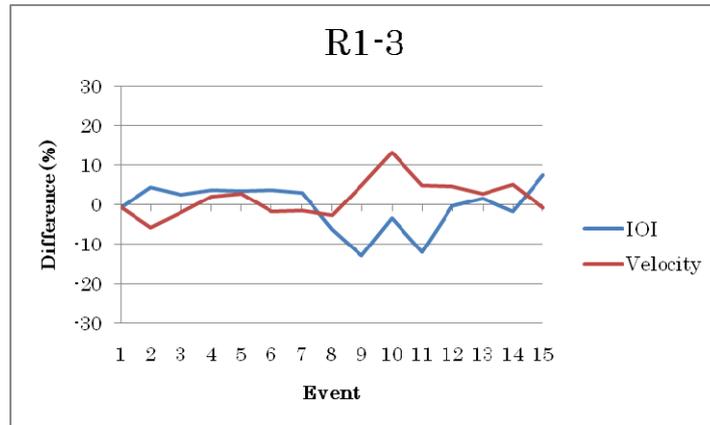


図 7-7. 被験者 A 普通箇所の差し替えの影響 R1-3

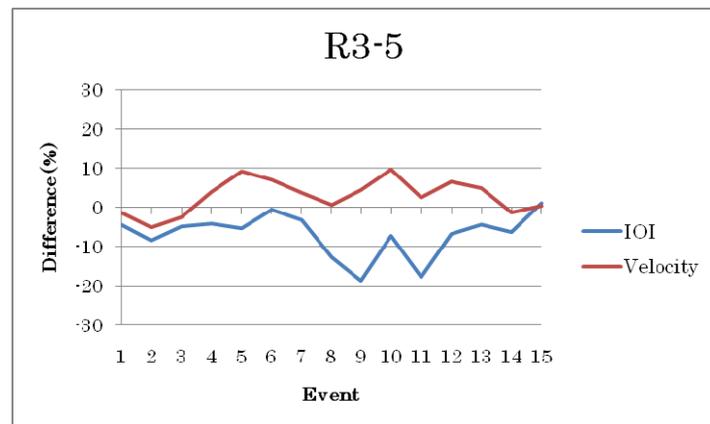


図 7-8. 被験者 A 普通箇所の差し替えの影響 R3-5

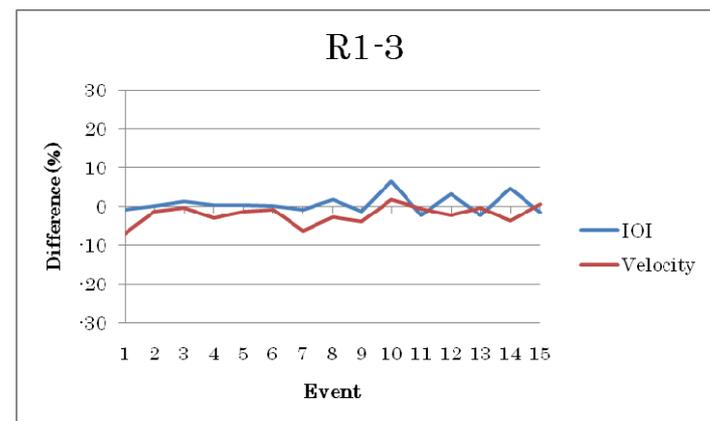


図 7-9. 被験者 B 苦手箇所の差し替えの影響 R1-3

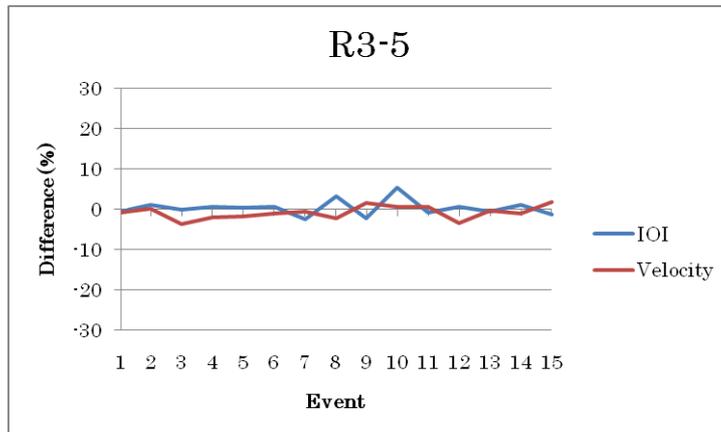


図 7-10. 被験者 B 苦手箇所への差し替えの影響 R3-5

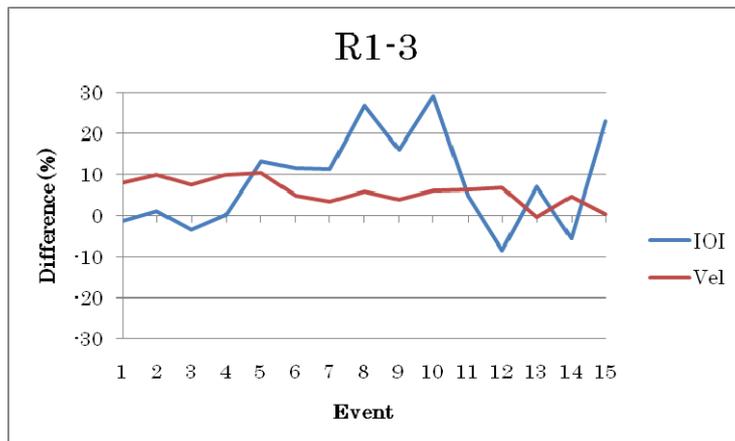


図 7-11. 被験者 C 克服箇所への差し替えの影響 R1-3

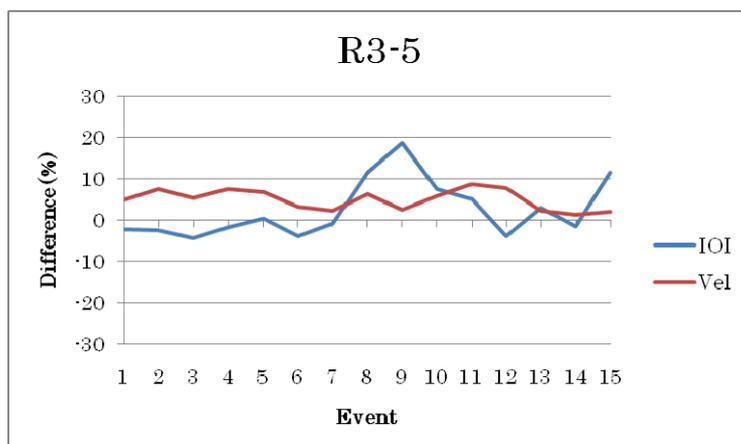


図 7-12. 被験者 C 克服箇所への差し替えの影響 R3-5

表 7-8. 被験者 A F 検定結果

評価		IOI			Velocity		
		P 値	標準偏差 差し替え 前	標準偏差 差し替え 後	P 値	標準偏差 差し替え 前	標準偏差 差し替え 後
得意	R1-3	0.324401	2.507479	3.836317		2.214886	1.544213
	R3-5	0.849978	2.790466	3.02448	0.167156	0.920565	1.684252
	R1-5	0.209037	1.880519	3.248937	0.214368	0.829486	1.423628
克服	R1-3	0.109153	1.299808	2.636139	0.014543	0.636113	1.969957
	R3-5	0.27155	1.475603	2.375307	0.045332	1.079049	2.657681
	R1-5	0.299331	1.324371	2.073979	0.122214	0.808122	1.595887
普通	R1-3	0.010975	1.724	5.635986	0.26247	2.869729	4.663308
	R3-5	0.04474	2.361996	5.833682		5.24739	3.639437
	R1-5	0.032169	1.866966	4.937497		4.197889	3.131281
苦手	R1-3	0.408847	3.003689	4.283482		4.950583	3.221548
	R3-5	0.887008	4.368794	4.641185		7.689723	5.987531
	R1-5	0.164174	2.00446	3.68389		4.864835	3.03471

表 7-9. 被験者 B F 検定結果

評価		IOI			Velocity		
		P 値	標準偏差 差し替え 前	標準偏差 差し替え 後	P 値	標準偏差 差し替え 前	標準偏差 差し替え 後
得意	R1-3	0.749747	2.264418	2.594132		3.681263	3.381123
	R3-5		1.579605	1.470632		2.132796	2.024516
	R1-5	0.783864	1.486187	1.670395		2.898757	1.852523
克服	R1-3		1.954371	1.164488		2.36233	1.911028
	R3-5		1.319225	0.919588	0.01334	0.561141	1.76703
	R1-5		1.449186	0.619162	0.30273	1.129074	1.762423
普通	R1-3	0.329588	0.787884	1.199819	0.115045	1.455435	2.915596
	R3-5	0.929271	1.511097	1.569272	0.613184	2.881303	3.575696
	R1-5	0.327929	0.799539	1.219378	0.199467	1.481463	2.590987
苦手	R1-3	0.001271	0.732702	3.555555		2.711869	2.023472
	R3-5	0.0867	1.203944	2.57445	0.359198	1.216841	1.806102
	R1-5	0.017172	0.836522	2.508064		1.334103	1.288365

表 7-10. 被験者 C F 検定結果

評価		IOI			Velocity		
		P 値	標準偏差 差し替え 前	標準偏差 差し替え 後	P 値	標準偏差 差し替え 前	標準偏差 差し替え 後
得意	R1-3		28.39326	12.54148	0.726085	1.759882	2.043354
	R3-5	0.386179	2.901668	4.212448	0.281611	1.634617	2.604577
	R1-5		20.29612	8.923244	0.754251	1.547606	1.768458
克服	R1-3	0.097324	7.100716	14.78877		2.714292	2.443113
	R3-5	0.001429	1.634425	7.767337	0.385816	2.030231	2.948213
	R1-5	0.205559	5.163535	8.960215		1.872503	1.855604
普通	R1-3	0.00346	5.850666	23.71411	0.097581	2.823214	5.876394
	R3-5		3.928279	3.299089		5.33663	3.776593
	R1-5	0.02069	3.688014	10.65911		3.350811	3.099113
苦手	R1-3		50.32745	11.24305		15.97874	5.353358
	R3-5		N/A	N/A		N/A	N/A
	R1-5		50.32745	11.24305		15.97874	5.353358

被験者 A は主観評価から“普通”と判定された箇所の差し替えで影響が見られた。図 7-7 は差し替え練習前半、図 7-8 は差し替え練習後半の IOI と Velocity の変化を示しており、差し替え練習を積み重ねても、差し替えの影響が変わらないことが分かる。F 検定の結果からも IOI について同様のことが言える。被験者 B は、“苦手”と判定された箇所の差し替えで影響が見られた。図 7-9、図 7-10 から、差し替えの影響が IOI に見られ、R1-3 よりも R3-5 のほうが影響は少ないことが分かる。F 検定の結果からも同様のことが言える。被験者 C は“克服”と判定された箇所の差し替えで影響が見られた。図 7-11、図 7-12 から、差し替え後に IOI が乱れることが分かる。F 検定の結果からも同様のことが言える。しかし、アルゴリズム評価の時と同様に、差し替え前に演奏が乱れることが多いため、差し替えの影響と判断するのが難しい。

7.3 アンケートから得られた動揺差し替え箇所と演奏評価の関係

差し替え練習セッション後のアンケートで被験者が“動揺した”と答えた音高差し替え箇所を評価値で分類した結果が以下の表 7-11～7-13 である。

表 7-11. 被験者 A 動揺箇所の分類結果

	得意	克服	普通	苦手
アルゴリズム評価	47.6%	4.76%	28.6%	19.0%
主観評価	0.0%	76.2%	14.3%	9.5%

表 7-12. 被験者 B 動揺箇所の分類結果

	得意	克服	普通	苦手
アルゴリズム評価	10%	30%	30%	30%
主観評価	0%	10%	30%	60%

表 7-13. 被験者 C 動揺箇所の分類結果

	得意	克服	普通	苦手
アルゴリズム評価	29.0%	25.8%	16.1%	29.0%
主観評価	58.0%	22.6%	19.4%	0.0%

被験者 A はアンケートで“動揺した”と答えた差し替え箇所の 48%が、アルゴリズム評価では“得意”と判定された箇所であった。一方、主観評価では、“克服箇所”と判定された箇所が動揺差し替え箇所の 76%を占めていた。被験者 B については、アルゴリズム評価では目立った箇所は無く、主観評価で“苦手”と判定された箇所が動揺差し替え箇所の 60%であった。被験者 C は、アルゴリズム評価では目立った箇所は無く、主観評価で“得意”と判定された箇所が動揺差し替え箇所の 58%を占めていた。以上の結果から、主観評価と動揺をもたらす差し替え箇所には関連性がみられるが、その傾向には個人差があった。一方、アルゴリズム評価と動揺箇所には目立った関連性がみられなかった。現在の評価アルゴリズムでは動揺差し替え箇所を抽出するは困難である。

7.4 考察

予備実験と同様に評価アルゴリズムの結果に基づき差し替え箇所を選択することで、演奏に与える影響が異なることが確認できた。アルゴリズム評価の結果、被験者 A は“得意”，“普通”と判定された箇所の差し替えで演奏が乱れ、被験者 B は“克服”と判定された箇所の差し替えで演奏が若干乱れることが分かった。一方、差し替え箇所を主観評価で分類し、差し替えの影響を見ると、被験者 A は“普通”と判定された箇所、被験者 B は“苦手”と判定された箇所での差し替えで演奏が乱れることが分かった。また、被験者が“動揺した”と回答した差し替え箇所を主観評価で分類した結果、被験者 B については動揺箇所の 60% が主観評価で“苦手”と判定された箇所だった。以上のことから、主観評価のほうがアルゴリズム評価よりも動揺を引き起こす差し替え箇所を的確に発見できると考えられる。

しかし、分析に使用したデータは評価アルゴリズムに基づき差し替え箇所を決定しているため、評価アルゴリズムによる分類では差し替え箇所数は均一だが、主観評価による分類では差し替え箇所数が均一ではない。また、アルゴリズム評価では、全スコアイベントに対して各評価値が均等に付与されるが、主観評価では、各評価値の比率は被験者によって異なる。より正確な分析のためには、これらの要素を出来るだけ排除する必要がある。

今回の分析により、主観評価に基づいて音高差し替え箇所を選択することで、より的確に演奏をかく乱できることが示唆された。演奏評価アルゴリズムを主観評価に近づけることで、より効果的な非常事態訓練が可能になると考えられる。今後は、差し替え時の反応をリアルタイムで分析し、最適な差し替え箇所を適宜選択する機能や演奏データだけではなく、楽曲の構造なども考慮した演奏評価アルゴリズムを実現し、質の高い訓練システムを目指したい。

第 8 章

おわりに

本論文では、演奏会などで思いがけない演奏ミスによる演奏の中断を防止するための訓練システム Apollon13 を提案した。本システムのデザインコンセプトは、非常事態のシミュレーションである。ピアノ演奏における非常事態は、演奏ミスであると考え、実際の演奏で起こりうる演奏ミスの再現を目指した。その方法として、システムによる音高差し替えを採用した。音高を差し替えるタイミングについては、ランダムではなく、奏者の普段の練習から“思いがけない場所”を検出することで、より少ない箇所での的確に奏者を動揺させることを目指している。

本システムは 2 つのモードを備えている。練習監視モードでは、奏者の演奏をトラックし蓄積する。リハーサルモードでは蓄積した演奏データを基に演奏評価を行い、奏者が動揺しそうな箇所を推定し、その箇所で音高差し替えを行う。スコアトラックには FE を利用し、実装した演奏評価アルゴリズムは、演奏の安定性を評価基準にしている。

予備実験では、評価アルゴリズムによりスコアイベントを 4 段階の評価で分類し、各評価箇所に対して音高差し替えを行った。結果、評価によって演奏への影響が異なることを確認した。評価実験では、被験者 3 名による同一課題曲での継続的な差し替え練習の影響を見た。その結果、差し替え練習を重ねることで、音高差し替えによる動揺が軽減されたと言える。本システムによる訓練は、演奏ミスの再現としての音高差し替えに対処することである。音高差し替えによる動揺が無くなったことをもって、演奏ミスに対処する非常事態訓練が成功したものとする。本システムでの訓練により、実際の演奏会で演奏ミスを犯しても演奏の中断を防止できることを期待する。

今回の予備実験・評価実験は短期的な実験だったため、今後は長期的な実験により本システムの利用効果を検証したい。また、的確な動揺箇所を見つけるために、スコ

アトラッキングの精度向上や演奏評価アルゴリズムの改良に努めたい。さらに，生体情報を利用した音高差し替えタイミングの制御を実現する等して，効果的な非常事態訓練を可能とするシステムを目指したい。

謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導下さった西本一志教授に心より感謝いたします。充実した研究環境を用意して頂き、研究テーマの決定から研究の進め方、システムの実装、データの分析に至るまでたくさんのご指導・助言を頂き、多大な時間と労力を割いて頂きました。重ねて感謝いたします。伊藤直樹氏、千葉慶人氏、小林智也氏には、研究の相談やシステムの実装など大変お世話になりました。心より感謝いたします。ピアノを弾き続けるという過酷な実験に、快く協力してくれた金屋陽介氏、森郁彌氏、楊旭氏に心より感謝いたします。また、苦楽を共にした西本研究室のメンバーに心より感謝いたします。大変有意義な2年間を送ることができました。最後に、私を支えてくれた両親に深く感謝いたします。

参 考 文 献

- [1] 吉田勝彦, 向井將博, 江村伯夫, 三浦雅展, 柳田益造 : ピアノ独習者にとって適切なハノン風課題曲の生成, 音楽音響研究会資料 Vol.27, No.6 pp.51-56 (2008)
- [2] Dannenberg, R., Sanchez, M., Joseph, A., Capell, P., Joseph, R., and Saul, R. : A computer-based multimedia tutor for beginning piano students. *Interface Journal of New Music Research* 19, 2.3, pp.155-173 (1993)
- [3] 新山 眞弓:自律訓練法の有効性と効果に関する研究 : 自己のリサイタルを対象として, *Journal of practical education 実技教育研究* 18 pp.49-56, (2004-01)
- [4] 河合楽器製作所 : ピアノマスター,
<http://www.kawai.co.jp/cmusic/products/pm/index.htm>
- [5] 樋川直人, 大島千佳, 西本一志, 苗村昌秀 : The PHANTOM of the PIANO : 自学自習を妨げないピアノ学習支援システムの提案, *インタラクション 2006 論文集*, pp.69-70 (2006)
- [6] 雁部一浩 : ピアノの知識と演奏—音楽的な表現のために, *ムジカノーヴァ叢書* (1999)
- [7] Zebulon Highben, Caroline Palmer : Effects of Auditory and Motor Mental Practice in Memorized Piano Performance, *Bulletin of the Council for Research in Music Education*, 159, 58-65 (2004)
- [8] 高橋範行, 津崎実 : ピアノ演奏における聴覚フィードバックの利用, *情報処理学会研究報告 音楽情報科学* 111号 (MUS-57) pp.167-172 (2004)
- [9] 高橋 直樹, 豊村 暁, 大森 隆司, 小山 幸子 : キーボード演奏における聴覚フィードバック攪乱の効果 : 吃音モデル系としての可能性の検討, *電子情報通信学会技術研究報告* 106 卷 501 号 pp.87-92 (2007)

- [10] 大島千佳, 西本一志, 鈴木雅実 : 家庭における子どもの練習意欲を高めるピアノ連弾支援システムの提案, 情報処理学会論文誌, Vol.46, No.1, pp.157-171 (2005).
- [11] Seiko Akinaga, Masanobu Miura, Norio Emura, Masuzo Yanagida : Toward realizing automatic evaluation of playing scales on the piano , Proc. of ICMPC9, pp.1843-1847, Bologna, Aug. 22-26, 2006.
- [12] E. Stamatatos : A computational model for discriminating music performers, Proceedings of the MOSART Workshop on Current Research Directions in Computer Music, pp. 65-69 (2001)
- [13] 木村真規子, 江村伯夫, 三浦雅展, 柳田益造 : ピアノ演奏の基礎技術を向上させるための独習システム, 日本音響学会 音楽音響研究会 MA2004-30 (2004)
- [14] 島津 祥平, 森田 慎也, 三浦 雅展 : ピアノの単旋律演奏音を対象とした熟達度推定システムの開発, 日本音響学会音楽音響研究会資料 MA2009-11, (2009)

発表論文

査読付国内発表

[1] 横山 裕基, 西本 一志: ピアノ通し演奏における演奏ミスによる中断を防ぐための練習支援システム, インタラクション 2010, 学術総合センター, 2010

査読なし国内発表

[2] 横山 裕基, 西本 一志: 選択的音高差し替えによるピアノ通し演奏の中断防止訓練システム, 第 137 回 HCI 研究会, 東洋大学, 2010