

Title	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
Author(s)	横山, 裕基; 西本, 一志
Citation	情報処理学会研究報告: ヒューマンコンピュータインタラクション, 2010-HCI-137(9): 1-8
Issue Date	2010-03-12
Type	Journal Article
Text version	publisher
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/9501">http://hdl.handle.net/10119/9501</a>
Rights	<p>社団法人 情報処理学会, 横山裕基, 西本一志, 情報処理学会研究報告: ヒューマンコンピュータインタラクション, 2010-HCI-137(9), 2010, 1-8. ここに掲載した著作物の利用に関する注意: 本著作物の著作権は(社)情報処理学会に帰属します。本著作物は著作権者である情報処理学会の許可のもとに掲載するものです。ご利用に当たっては「著作権法」ならびに「情報処理学会倫理綱領」に従うことをお願いいたします。</p> <p>Notice for the use of this material: The copyright of this material is retained by the Information Processing Society of Japan (IPSJ). This material is published on this web site with the agreement of the author (s) and the IPSJ. Please be complied with Copyright Law of Japan and the Code of Ethics of the IPSJ if any users wish to reproduce, make derivative work, distribute or make available to the public any part or whole thereof. All Rights Reserved, Copyright (C) Information Processing Society of Japan.</p>
Description	

## 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

横山裕基<sup>†</sup> 西本一志<sup>†</sup>

ピアノを習っていると自身の演奏を披露する機会がある。ピアノ初～中級者は自身の演奏を披露する場面で、思いがけないミスにより演奏が中断することがある。これは、ピアノ演奏における非常事態と言える。そこで、我々は奏者の練習状況を基に音高を差し替えることで非常事態を作りだし、演奏ミス時の対処訓練を可能とするシステム「Apollon13」を提案する。本システムは、音高差し替えにより奏者が動揺する箇所を演奏評価アルゴリズムにより推定することで、効果的な訓練の実現を目指している。評価実験で差し替え練習の継続による練習効果を確認した結果、本システムを継続的に使用することで、被験者は音高差し替えに動揺しなくなる傾向がみられた。しかし、評価実験の段階では、アルゴリズム評価に基づく音高差し替え箇所の選択は実行していない。そこで、評価実験で得られたデータをもとに、評価アルゴリズムの妥当性の検討を行った。被験者へのアンケート調査から得られた主観評価データと、アルゴリズム評価データを比較した結果、主観評価データと動揺箇所に関連性がみられた。このことから、評価アルゴリズムの改良の方向性が示された。

### A training system not to drop a full piano performance by selective replacement of notes

Yuki Yokoyama<sup>†</sup> and Kazushi Nishimoto<sup>†</sup>

A person who takes piano lesson has opportunities to perform the piano in a concert. In a piano performance a person has possibility of cessation by their unexpected mistakes. Such a situation is emergency state of the piano performance at the concert. Hence, we propose a system named "Apollon13" that simulates emergency states by replacing notes to different ones like miss-touches referring to the player's degree of proficiency that is estimated by a performance estimation algorithm. From the results of user studies, we confirmed that Apollon13 is basically effective as the emergency training system. However, the estimation algorithm actually could not find out the note replacement points where the subjects surely get panic. Hence, we examined estimation algorithm by comparing with the player's subjective assessment using the data of the evaluation experiment. As a result, there is relativity in subjective assessment and obtained panic parts. This result suggested that the algorithm would become able to detect the panic parts by approximating to the subjective assessment.

## 1. はじめに

ピアノ奏者は自身の演奏を他者に披露する機会がある。自身の演奏を披露する演奏会・発表会等ではミスなく演奏することが理想的である。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[1][2]。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。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初～中級者にはある。これは、一種の非常事態である。従来のピアノ練習では、そもそもこのような事態に陥らないように、曲を習得した上で、通し練習を繰り返し、リハーサルを行うしかないとされている。

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。

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。

## 2. 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 Apollon13 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、発生しうる非常事態を考えたとき、著者らの経験上、打鍵ミス（演奏ミス）があげられる。そこで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“音高の差し替え”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。

<sup>†</sup> 北陸先端科学技術大学院大学  
Japan Advanced Institute of Science and Technology

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。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と考えられる。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[3]。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だ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に発生し得るものにするるとともに、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強く動揺を招く箇所に設定することで、実際的かつ効果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. 提案システム

本手法を実現するに当たり、Apollon13 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。提案システムは図 1 に示す MIDI 鍵盤, MIDI 音源, PC で構成される。動作モードとして、表 1 に示す練習監視モードとリハーサルモードを有する。



図 1 システム構成

表 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

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定する。

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。1 つ目のパターンは、隣の鍵の音への差し替えで、2 つ目は隣の鍵の音を付加するパターンである。これら 2 つ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、その他の箇所を推定する。これらのうち最も奏者の演奏に影響を与える (動揺する) 箇所で、音高差し替えを行う。

Apollon13 の柱となる機能は、スコアトラッキングと演奏評価機能である。以下の節ではその 2 つの機能について述べる。

#### 3.1 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、Family Ensemble (FE) [4][5]のスコアトラッキング機能を利用する。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タなスコアトラッキングを実現しているので、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 ノートナンバー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 ノートナンバー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 UDP で出力するが、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。

### 3.2 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一定の音を演奏していた場合は安定しているので、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、最初から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、練習を重ねても演奏が不安定なままの箇所である。上記のいずれにも該当しない箇所が“普通”となる。

#### 3.2.1 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 が挙げられる。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[6][7]。一方、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を吸収する。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。音価情報はスコアから取得できるが、FE のスコア形式は音価情報を持たないため音価情報を追加し利用した。

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。次いで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。

#### 3.2.2 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、得意箇所、克服箇所、普通箇所、苦手箇所を抽出する。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][8][9]。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。

図 2 は演奏評価アルゴリズムの概要を示している。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。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。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)。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。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。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。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。

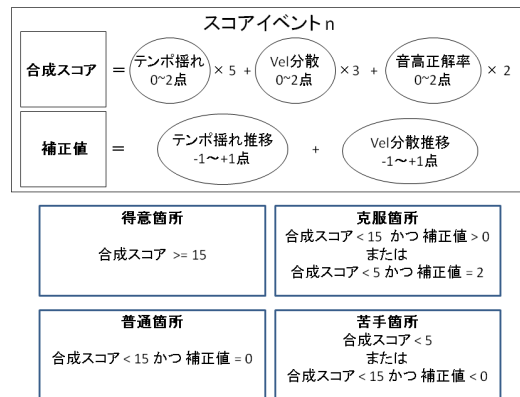


図2 演奏評価アルゴリズム

## 4. 実験

### 4.1 実験の目的

Apollon13 は演奏ミスに対処する訓練機会をユーザに提供するシステムである。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。本実験では、差し替え練習を継続した際の演奏への影響を、被験者の主観評価と演奏データから明らかにする。ただし、現段階で演奏評価アルゴリズムは動作するが、奏者を動揺させる差し替え箇所の推定は出来ていない。そこで、本実験では、差し替え箇所を、実質ランダム同様に選択し、演奏評価アルゴリズムの妥当性を検討するためのデータの取得も行う。

### 4.2 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。表 2 に 3 名の被験者の音楽歴を示す。

### 4.3 課題曲

課題曲には月刊ピアノ（ヤマハミュージックメディア）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。

### 4.4 実験内容

実験は当研究室の防音室で行い、表 3 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 時間の間隔をあけた。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、著者ら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。

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（得意、苦手、etc）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。全評価値群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。

表 2 被験者の音楽歴

	年齢	ピアノ歴	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



表 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 MIDISPORT2x2
PC	ノート型 CPU : Core2Duo T7250 2.00GHz メモリ : 1.0GB

#### 4.5 実験結果

##### 4.5.1 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。図3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。

##### 4.5.2 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を前から3回(R1-3)と後から3回(R3-5)に分けた。次いで、R1-3、R3-5それぞれの全差し替え箇所のデータを足し合わせ、R1-3、R3-5の差し替え箇所における平均演奏データを作成し、その演奏データの基準演奏からのずれを算出した。基準となる演奏は練習セッション4と5の平均である。図4に示すグラフにおいて、演奏が練習セッション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。演奏の乱れは、グラフに波として現れる。そこで差し替え前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。表4にR1-3、R3-5についてF検定を行った結果を示す。有意水準5%で有意差がある場合は、そのセルに“○”を、有意傾

向がある場合は“△”を記載してある。

表4のF検定の結果から、被験者全員に共通して音高差し替えの影響がVelocityには特に見られなかった。被験者AはR1-3ではIOIに有意差が見られ、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分かる。被験者Bについては、演奏が安定していたため、IOI・Velocityに有意差・有意傾向はみられなかったが、差し替え箇所前後での分散値を比較するとR1-3よりもR3-5の方が差し替えによる影響が小さかった。被験者Cは、差し替え箇所以外での、演奏の乱れが大きく、差し替えの影響を判断するのは困難だった。

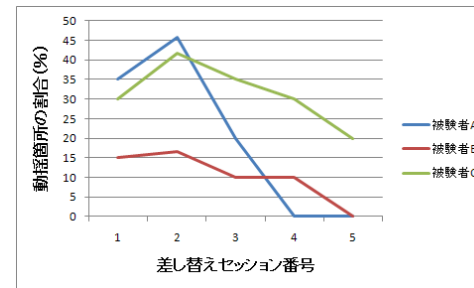


図3 動揺箇所割合の推移

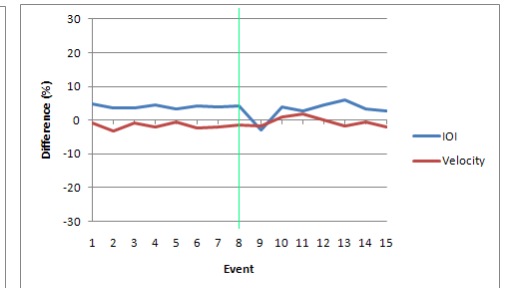


図4 被験者A 差し替え反応データ

表 4 F 検定結果

	被験者 A		被験者 B		被験者 C	
	IOI	Velocity	IOI	Velocity	IOI	Velocity
R1-3	○					
R3-5	△					

#### 4.6 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、3人の被験者に共通して、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すことにより、被験者が音高差し替えに慣れていったためと考えられる。被験者の主観的な評価からは、音高差し替え練習の繰り返しにより、音高差し替えに動揺しなくなるという結論が導ける。また、表4等の演奏データから差し替えの影響

を見た場合、被験者 C については、差し替えの影響は分からなかったものの、被験者 A と B については、差し替え練習セッションの進行に伴い、差し替えの影響が小さくなるのが分かった。奏者の主観評価と演奏データから、差し替え練習の効果がみられたことで、本システムによる非常事態訓練は成功したと言える。

## 5. 評価アルゴリズムの妥当性の検討

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、実際の差し替え箇所はランダム同様に選択した。しかし、本システムの狙いは、奏者が動揺する箇所で音高を差し替えることで、非常事態を作りだすことにある。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。そこで、今回の実験で得られたデータをもとに、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分析した。

### 5.1 評価アルゴリズムに基づく音高差し替えの妥当性

#### 5.1.1 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のデータから、評価アルゴリズムに基づき演奏評価を行った。図 5 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、4 段階の各評価値が、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、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。

#### 5.1.2 差し替え箇所の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。基本的には 4.5.2 と同様の方法で分析するが、差し替え箇所を評価値で分類した。図 6 は、被験者 C の克服箇所での音高を差し替えた際の IOI と Velocity の変化グラフである、また、差し替え前後で F 検定を行った結果を表 5 に示す。

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。“得意”・“普通”箇所の R1-3 では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。被験者 B は、“克服”と判定された箇所の差し替えで若干演奏に影響が見られた。被験者 C は、図 6 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、

差し替えの影響と見られるデータが得られたが、このようなパターンが少ないため、このデータが差し替えの影響を示しているか判断するのは難しい。

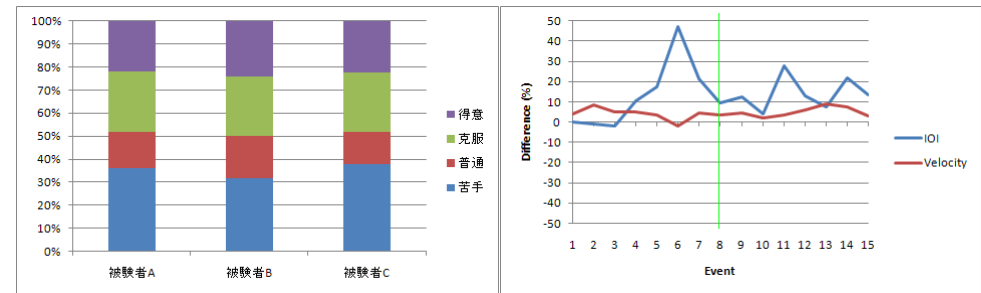


図 5 アルゴリズム評価結果

図 6 被験者 C 克服箇所での差し替え

表 5 アルゴリズム評価分類における F 検定結果

評価		被験者 A		被験者 B		被験者 C	
		IOI	Velocity	IOI	Velocity	IOI	Velocity
得意	R1-3	○					
	R3-5						○
克服	R1-3	△		△	○		
	R3-5			△	△		
普通	R1-3	○				○	
	R3-5					○	
苦手	R1-3			△			
	R3-5				△		

### 5.2 奏者の主観評価に基づく音高差し替えの妥当性

#### 5.2.1 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、4 段階の評価値である“得意”

を4, “克服”を3, “普通”を2, “苦手”を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の主観評価により評価値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図7に示す

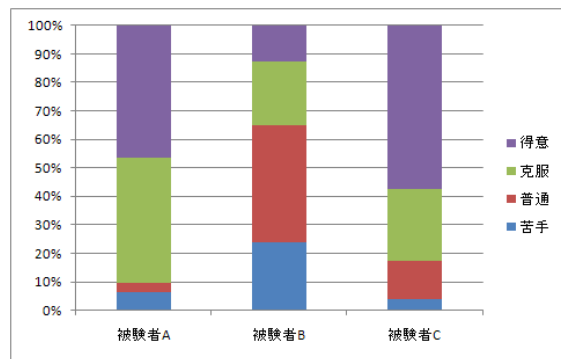


図7 被験者の主観に基づく演奏評価結果

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。

### 5.2.2 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。表6に差し替え前後でF検定を行った結果を示す。

被験者Aは主観評価で“普通”と判定された箇所の差し替えでIOIに影響が見られた。また, “克服”と判定された箇所ではVelocityにのみ影響がみられた。これらの箇

所では, 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。被験者Bは, “苦手”と判定された箇所の差し替えで影響がIOIに見られ, 練習セッションを重ねることで差し替えの影響が小さくなった。被験者Cは“克服”・“普通”と判定された箇所の差し替えでIOIに影響が見られた。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, 差し替えの影響を判断するのが難しい。

表6 主観評価分類におけるF検定結果

評価		被験者A		被験者B		被験者C	
		IOI	Velocity	IOI	Velocity	IOI	Velocity
得意	R1-3						
	R3-5						
克服	R1-3		○			△	
	R3-5		○		○	○	
普通	R1-3	○				○	
	R3-5	○					△
苦手	R1-3			○			
	R3-5			△			

### 5.3 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図8である。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推定するのは困難である。

### 5.4 考察

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。演奏の乱れはVelocityよりもIOIに見られる傾向が



あった。IOIに着目して、アルゴリズム評価で差し替え箇所を分類した結果を見ると、被験者Aは、得意箇所、苦手箇所の2か所で音高差し替えが演奏に影響し、被験者Bは克服箇所が若干影響がみられた。一方、IOIに着目して主観評価で差し替え箇所を分類した結果を見ると、被験者Aは普通箇所、被験者Bは苦手箇所でのみ影響がみられた。アルゴリズム評価では、影響箇所が複数箇所に見られたり、影響が小さかったりしたが、主観評価では、影響箇所が1か所に絞られ、差し替えの影響も顕著に見られた。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とアルゴリズム評価でそれぞれ分類した結果、3名の被験者に共通して、アルゴリズム評価よりも主観評価の方が動揺箇所と演奏評価に関連性がみられた。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、奏者を動揺させる音高差し替え箇所を的確に推定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。

今回の分析で、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、よりの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。

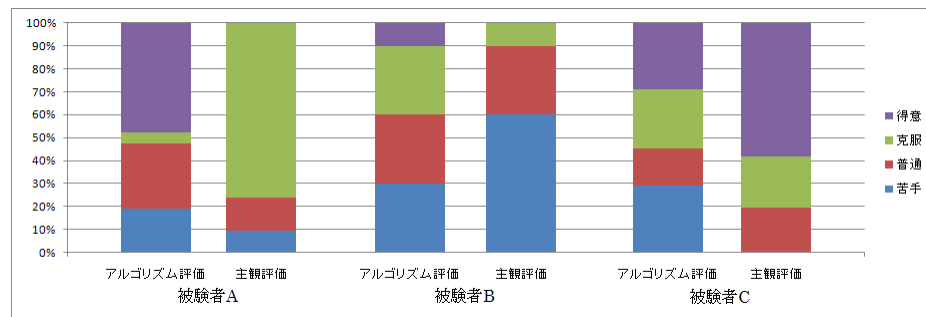


図8 動揺差し替え箇所の評価値割合

## 6. おわりに

本稿では、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 Apollon13 を提案した。Apollon13は演奏評価アルゴリズムにより、奏者の演奏を4段階で評価し、奏者が動揺する箇所での音高差し替えを目指している。現段階では差し替え箇所の選択はランダムと同様である。実験により、本システムの継続使用による練習効果とアルゴリズムの検証を行った。結果、被験者はシステムによる差し替え練習を継続することで、差し替えによる動揺が減ることが確認された。実験データをもとに評価アルゴリズムを検証した結果、アルゴリズム評価により、奏者を動揺させる箇所を推定するのは困難だったが、奏者による主観評価に近づけることで、動揺箇所を推定できることが示唆された。今後は、演奏データと主観評価の関係を調査し、演奏評価アルゴリズムの改良に努めたい。

## 参考文献

- 1) 吉田勝彦, 向井将博, 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) 河合楽器製作所: ピアノマスター, <http://www.kawai.co.jp/cmusic/products/pm/index.htm>
- 3) 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 巻 501号 pp.87-92 (2007).
- 4) 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).
- 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, インタラクシオン 2006 論文集, pp.69-70 (2006)
- 6) 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)
- 7) 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)
- 8) 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)
- 9) 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)