

MIDI 鍵盤演奏における テンポと強弱に着目した練習支援法に関する研究

永尾謙伍^{†1} 臼杵潤^{†1}

近年、ピアノやキーボード楽器を趣味で演奏、練習する人が増えている。これに対し、MIDI 鍵盤情報や動画像を用いた演奏上達支援に関する研究などが行われている。このような中、現在の研究は演奏者の学習状態に見合った演奏内容の指摘を十分には行えていないと考える。そこで本研究ではテンポ、強弱、音程の3種類の要素のミスについて評価する仕組みとこれを用いた練習支援システムの提案を行う。はじめに、テンポと強弱に関してピアノ教室で行う練習方法の検討を行い、これらをコンピュータ上で再現する方法について考える。続いて、3つの要素それぞれのミスの検出とこれによる演奏評価法の検討を行う。さらにそれぞれの要素のミスに基づいて弾き直しの練習指示を行う方法を提案する。また、ミスの判定を行うための楽譜データの作成法についても提案を行う。最後に提案手法を構築し、実験によりその有効性を示す。

Support System for Piano Practice Based on Evaluation of Tempo and Key Strength Using MIDI Keyboard

KENGO NAGAO^{†1} JUN USUKI^{†1}

The number of piano player as hobby is increasing every year. In comparison with this, the some methods of supporting to practice the piano using a MIDI keyboard, video camera, or both have been proposed. However, the present studies are unlikely to give a sufficient support of piano player. Therefore, this paper proposes a support system for piano practice by using miss factors of tempo, key strength and tone. First, we consider a way to reproduce of practice methods of a piano class on computer. We consider the method to evaluate keyboard performance by detected 3 miss factors next. To execute these procedures, it is necessary to make a music score data file. On the basis of this evaluation, the position of the music score which should be repeated can be indicated to player. And the player practices repeatedly by this method. Finally, we proposed the support system for piano practice and evaluated it through some experiments.

1. はじめに

近年、ピアノやキーボード楽器を趣味で演奏、練習する人が増えている。Y社によると2014年現在国内の音楽教室において約4,000会場、約50万人の生徒が在籍している[1]。また、パソコンの普及や性能向上により個人がインターネットを利用できる環境が整ってきており、2006年3月から開講されている「オンライン音楽レッスン[1]」では、レッスン教室に通わずに手軽に練習することが可能になってきている。さらにPCウィンドウ内に鍵盤・楽譜・手の画像、音程や指番号(運指情報)を表示しゲーム感覚でピアノ練習できる「ピアノマスター[2]」がある。またスマートデバイスの普及により、PCと同じ様な性能でピアノの譜面台におけることから、スマートデバイスにMIDIケーブルを接続できる機材やアプリケーションの開発が進んでいる。これにより、少しずつではあるが自宅でも音楽教室に似た練習が可能となってきている。しかしながらピアノ演奏ができるようになるまでは多くの時間を必要とすることから、練習を継続することを断念したり、挫折してしまったりする人が後を絶たない。そこで演奏初期段階(ピアノ初心者が初見の楽曲に対して練習している段階)における練習の敷居

を下げるシステムとして、次に打鍵すべき鍵盤などの演奏支援情報を光で指示する光る鍵盤[3][4]が楽器メーカーからいくつか販売されている。これは楽譜が読めなくとも打鍵鍵盤を知ることができ、打鍵ミスをした場合は誤りを気付かせるために正しく打鍵するまで次の打鍵鍵盤を提示しないというものである。しかし、これらのソフトウェアでは演奏者自身の弾き方についての細かな指摘は行えていない。このような中、本研究では演奏時のテンポと音の強弱に着目し、MIDI鍵盤とPCを用いてピアノ教室で行う練習法とその練習方法を意識した練習支援システムについて検討を行う。

以下、本稿の2章では関連研究について述べる。3章ではテンポと強弱に着目したピアノ基礎練習について述べる。4章では演奏評価法について述べる。5章では演奏練習支援法について述べる。6章では楽譜データ作成法について述べる。7章では提案手法に基づく構築システムを用いた実験結果及び考察を述べる。8章では本研究のまとめを行う。

2. 関連研究

これまでピアノ演奏上達を支援する方法についてはいくつか検討されている。たとえば、MIDI情報と動画像処理を用いて、どの音がどの指で押されるか判断する研究[5]や、MIDI情報、動画像処理、視線センサーを用いてゲー

^{†1} 神奈川工科大学大学院
Department of Information and Computer Sciences, Kanagawa Institute of Technology

ム性を追究した演奏支援システムの研究[6], MIDI 情報を用いて練習のモチベーションを維持するためにミス許容して1曲を弾ききることに着目した研究[7]などがある. また近年, 保育士・幼稚園教諭育成校の講義内容にピアノ演奏上達支援システムを取り入れる検討も行われている[8]. しかし, 現在の研究は楽譜通りのタイミングで弾くこと, 音の間違いを指摘することに重視しており, 演奏者の学習状態に見合った指摘としては十分ではないと考える. そこで, 本研究ではリアルタイムにテンポを計測して演奏技術の上達を支援する方法[9]をもとに, テンポ, 強弱, 音程の評価に基づいた練習法の検討とこれを用いた練習支援システムの提案を行う.

3. テンポと強弱に着目したピアノ基礎練習

本研究では, 全訳ハノンピアノ教本[10]に記載されている「指を動きやすくする, 指をそれぞれ独立させる, 指の力をつける, つぶをそろえる」をもとに「正しく指をコントロールする」ことを上達目標とする. そこで, ピアノ教室でピアノを教わる際に考えられる基礎練習の方法について検討する.

3.1 テンポに関する練習

楽典[11]より, テンポとはその曲の拍子における速さを指す. また, 拍とは一定の音が何回かわかれて聞こえる場合, および, 聞こえてくる音が, 長短, 高低, 強弱, 音質の相異なる変化をともなっている場合や, 音の聞こえない時間が挿入された場合などに, 時間経過の“刻み(リズム)”として感じられるものである. 本研究では打鍵する音と音の刻みからリズムを抽出していく. そのため, この個々の音符の長さから算出するリズムを一拍の音符の長さ N で正規化することでテンポとして扱えるようになる. 例えば, MIDI 情報では, 楽譜のメトロノーム記号が $J=120$ であるとすると四分音符であるから $N=4$ となり, 楽譜の i 番目の音が鳴ってから次の音になるまでの時間を $\Delta T_{on}(i)$ [秒], 楽譜内の i 番目の n 分音符を $n(i)$ であるとすると, i 番目の音のテンポ $T(i)$ は式(1)で算出できる.

$$T(i) = \frac{60 \times g(N)}{\Delta T_{on}(i) \times f(n(i))} \quad (1)$$

g と f はそれぞれ音符に基づいた関数であり, 任意の音符 ($n(i)$ 分音符) の長さが一拍の長さ (N 分音符の長さ) の g/f 倍であることを示す. こうすることで, 打鍵1音毎に曲のテンポを算出できる.

ところで, 「正しく指をコントロールする」に着目するとテンポの練習法として次の2つの段階が考えられる.

- ①一定のテンポに固定して弾く練習
- ②テンポの変化に合わせて弾く練習

①は, まず指を動かすことを覚える練習である. 指の動きをそろえることを目的としている. ②は①の発展練習である. 演奏の途中でテンポが変わる練習をすることで, 速

い演奏, 遅い演奏に合わせて指を自由に動かせるようになることを目的としている.

①と②を練習することにより正しく指の動きをコントロールできるようになると考える. より実践的なレベルになると, 他の人の演奏に合わせて指を自由に動かせるようにも発展していくと考える.

3.2 強弱に関する練習

強弱とは鍵盤を押したときに鳴る音の大きさを指す. MIDI 情報ではベロシティとして扱う.

テンポと同様に強弱の練習として次の2つの段階が考えられる.

- ①一定の強さに固定して弾く練習
- ②強さの変化に合わせて弾く練習

①は, まず全ての指の力を均等に入れられるようにする練習である. ②は, 強さを表す記号 (p, f) が変化する場合や, 次第に変化させる記号がある場合に記号の変化に合わせて強い音や弱い音を自由に弾けるようにする練習である.

①と②を練習することにより正しく指の強さをコントロールできるようになると考える. より実践的なレベルになると, 他の人の演奏に合わせて指の強さを自由に変えられるようにも発展していくと考える.

3.3 基礎練習のまとめ

3.1 節と 3.2 節をまとめると, 本研究では上達目標である「正しく指をコントロールする」を達成するため, 基礎練習として次の2段階を扱う.

①基礎練習(一定の練習)

- ・テンポ一定: 一定のテンポに固定して弾く練習
- ・強弱一定: 一定の強さに固定して弾く練習

この2つは, 指の動きをそろえて正しく弾く練習である.

②基礎練習(変化の練習)

- ・テンポ変化: テンポの変化に合わせて弾く練習
- ・強弱変化: 強さの変化に合わせて弾く練習

いずれも次第に変化させる場合も含む.

この2つは, テンポや強さの変化に指の動きを合わせながら正しく弾く練習である.

4. 演奏評価法の検討

3章のピアノ基礎練習をもとに, 演奏内容を評価する方法について検討する.

4.1 テンポ評価法の検討

4.1.1 従来のテンポ評価法の導入

テンポのリアルタイム評価法[9]では, 式(2)を用いて1音毎にテンポを算出し, 演奏中のテンポのバラツキから逸脱した音をテンポミスと判断している.

$$\begin{cases} \text{テンポが速い: } T(i) > \mu + \alpha \times \sigma \\ \text{テンポが遅い: } T(i) < \mu - \alpha \times \sigma \end{cases} \quad (2)$$

$T(i)$ は楽譜内の i 番目の音符のテンポを表し, μ はテンポの平均, σ はテンポの標準偏差, α は定数を表す.

式(2)では、基準のテンポを定めず演奏中のテンポの平均とバラツキを用いた評価を行うため、練習者は自由にテンポを決めて演奏を開始することで演奏の速さに合わせてテンポのふらつきを評価できる利点がある。

そこで、まず式(2)によりテンポを用いて指のコントロールを評価する方法の検討を行う。

4.1.2 指定テンポによる評価法

本研究では 3.1 節の①に従い、 $J=120$ のように指定したテンポ(指定テンポ)を用いて演奏中のテンポのふらつきの評価を行う。

ところで、式(2)は平均値に標準偏差の定数倍した値を加算している。しかし、演奏者が好きなテンポで演奏することを前提としたために平均値を用いており、指定テンポがある場合には式(2)の平均値 μ を指定テンポ T_{Fix} に変更する必要があると考える。そこで、演奏テンポが指定テンポに標準偏差の何倍かを加算した値から大きく離れた場合にテンポミスとして扱う式(3)を提案する。

$$\begin{cases} \text{テンポが速い: } T(i) > T_{Fix} + \alpha \times \sigma_T \\ \text{テンポが遅い: } T(i) < T_{Fix} - \alpha \times \sigma_T \end{cases} \quad (3)$$

式(3)の σ_T はテンポの標準偏差、 α は定数を表す。 α の値が大きいくほど評価は優しく(ミスが許容されやすく)なり、小さくすると評価が厳しく(ミスが許容されにくく)なる。したがって、演奏の初心者には α の値を大きく(e.g: $\alpha=3.0$)し、演奏が上達していくにつれて α の値を小さく(e.g: $\alpha=1.0$)していくと良い。

4.1.3 テンポの評価のための楽譜データ項目

2 章の関連研究として、お手本の演奏と実際の演奏を比較あるいは楽譜と実際の演奏を比較する研究がある[5][6][7][9]。しかし、お手本演奏のデータや楽譜データをどのように作っているのかの記述はない。そのため、楽譜データは研究者毎に作成ルールが異なり統一されていないように見受けられる。そこで本項では、楽譜の基本情報及びテンポ算出に必要な項目を調査し、楽譜データの記述項目について検討する。

本研究のテンポ算出に必要なデータ項目を以下に記す。

- (a1)拍子記号(4/4 拍子)
- (a2)メトロノーム記号($J=120$)
- (b1)音符情報 1(四分音符, 付点八分音符, 三連符, etc.)
- (b2)音符情報 2(音名情報[ド, レ, ミ, etc.])
- (b3)休符情報(四分休符, 付点八分休符, etc.)
- (b4)小節情報(第○小節, 第△番目の音符・休符)
- (b5)タイ情報

(a)は楽譜を演奏するときの、演奏する速さの基準となる指標である。(b)は演奏するときの、音の長さ、高さ、あるいは休む長さ(鍵盤を弾かない長さ)の情報である。式(1)、～式(3)を用いる場合は、(a)と(b)の情報が必要である。この他、楽譜にはスラーやスタッカートなど様々な表記があり、これらは(b)に続く情報となる。

次に、和音などのように鍵盤を同時に押す場合を考える。本研究の式(1)のテンポ算出式は1音毎にテンポを算出するため、図 1②のように同時に押す2つの音の間を異常に速いテンポとして算出してしまふ。



図 1 テンポ同時打鍵時の算出問題

Figure 1 Problem of tempo calculation

この問題を解決するため楽譜には存在しないテンポ算出フラグ情報(c)を楽譜データに追加することで、同時に押す音符がある場合でもテンポ算出をできるようにする。

(c)テンポ算出フラグ情報

各音符にテンポ算出フラグを追加する(例: 図 2)。これにより、フラグが1の音符のみテンポ算出を行うことになる。

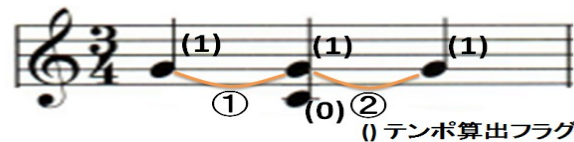


図 2 同時打鍵時のテンポ算出の様子

Figure 2 Tempo calculation while playing chord

4.2 強弱評価法の検討

本研究では、式(2)を応用して演奏中の打鍵の強さ(ベロシティ)のバラツキによる強弱評価法を提案する。なお、2章の関連研究として、強弱については演奏者の特徴として評価する必要がある[8]とされているが、楽譜の強さを表す記号に対する評価は行われていない。そこで、本研究は音の強弱について強さを表す記号([p]や[f]など)も考慮した評価法の検討を行う。

4.2.1 強弱評価法①

音の強い箇所と弱い箇所を判定するため、ベロシティ $V(i)$ に対し式(4)を用いる。

$$\begin{cases} \text{音が強い(打鍵が強い): } V(i) > \mu_V + \alpha \times \sigma_V \\ \text{音が弱い(打鍵が弱い): } V(i) < \mu_V - \alpha \times \sigma_V \end{cases} \quad (4)$$

$V(i)$ は楽譜 i 番目の音符のベロシティ、 μ_V はベロシティの平均、 σ_V はベロシティの標準偏差、 α は定数を表す。

式(4)は式(2)を応用したもので、演奏者が自由な強さで演奏を行ってもベロシティのふらつき評価を行える。音の強弱については楽譜上にテンポのような明確な基準の記載がなく、演奏者が楽譜全体の強弱変化見据えて感覚的に強さを考えることが多いため、式(4)は強弱評価に適していると言える。

ただし、楽譜の途中で強さを表す記号が変化する場合は、記号が変わる箇所から新たに標準偏差を算出し直して、式(4)の右辺を変化させる方法をとることになる。

4.2.2 強さを表す記号による強弱評価法②

強弱に関する楽譜の記載情報にはいくつかあり、代表的

な強さを表す記号としては[p]や[f]などがある。これらの記号は指示された場所から強さを変化させる記号である。これらは楽譜の強さを表す記号の前後から相対的に強さを变化させるもの[11]であるため、音の大きさを的確に表すものではない。

そこで、本研究では相対的な強さを評価できるようにするため、演奏中の強さを表す記号が同じ効果を得る楽譜上の区間 k 内について、すべての音符のベロシティの標準偏差 $\sigma_V(k)$ とその値の範囲 R_V を算出し、 $\sigma_V(k)/R_V$ が強弱閾値 Th_V より小さいかどうかを式(5)で評価することにする。

$$\sigma_V(k)/R_V \leq Th_V \quad (5)$$

ここに、式(5)は区間 k の演奏が終了した時点で算出する。

次に、強さの効果が異なる区間の演奏に入る場合は、異なる強さの効果を与える区間 k における i 番目の音符のベロシティ $V(i, k)$ と直前の区間 $k-1$ のベロシティの平均 $\mu_V(k-1)$ を用いて式(6)により強弱変化を評価する。

$$\begin{cases} V(i, k) \geq u_V(k-1) & , \text{if } (VM(k) \geq VM(k-1)) \\ V(i, k) \leq u_V(k-1) & , \text{if } (VM(k) \leq VM(k-1)) \end{cases} \quad (6)$$

なお、 $VM(k)$ は区間 k における強さを表す記号([p]や[f]など)を意味する。例えば、区間 k が[f]、区間 $k-1$ が[p]の場合は強弱の関係は $VM(k) \geq VM(k-1)$ となるため区間 k は区間 $k-1$ に比べ相対的にベロシティが大きくなっている必要がある。そこで、区間 k の音のベロシティ $V(i, k)$ が $\mu_V(k-1)$ 以下の場合は「強さを表す記号による強弱ミス」と、同様に $VM(k) \leq VM(k-1)$ の場合は $V(i, k)$ が $\mu_V(k-1)$ 以上の場合に「強さを表す記号による強弱ミス」と評価する。

式(6)は区間 $k-1$ の演奏が終わってから区間 k の演奏中に算出する。ただし、直前の区間のデータが必要になるため楽譜の先頭区間では式(6)は適用しない。

4.2.3 強さを表す記号の強弱評価のための楽譜データ項目

楽譜の強さに関する基本情報については強弱評価に必要な以下の項目を楽譜データとして追加する。

(d)強さを表す記号情報([ppp],[pp],[p],[mp],[mf],[f],[ff],[fff])

なお、楽譜に強さを表す記号が存在しない場合には、絶対的な音の強さは決められるものではないため、楽譜データには“記号がない旨”を記述する。

5. 演奏練習支援法の検討

本章では、4章で提案した評価法をもとに、演奏ミスした場合の弾き直し指示と演奏内容の上達度の提示について検討し、最後にこれらを用いた演奏練習支援法を提案する。

5.1 1つのミスによる弾き直し

5.1.1 音ミス

音とはド・レ・ミなどの音名のことであり、ここではMIDI情報のノートナンバーを用いる。また、演奏の弾き間違いなど、楽譜に対して正しい音を弾かなかった場合を音ミスと呼ぶことにする。

5.1.2 音ミスによる弾き直し指示

本研究では、「演奏中に音ミスをしたときは、演奏を止め音ミスした箇所から弾き直す」こととする。図3に音ミス検知と弾き直しの様子を示す。



図3 音ミス判定と弾き直し指示

Figure 3 Tone mistake and instruction

図3の演奏1では、3音目が「ソ」ではなく「ミ」と演奏してしまい、これを音ミスと検知したため、指示に従って3音目の「ソ」から弾き直している様子を示している。

5.1.3 音ミスした音に対するテンポと強弱の算出

音ミスを検知した場合は、弾き直した音を用いてテンポ算出を継続する(ミスしたときの音情報は用いない)。これによりテンポ算出では式(1)を用いるため、音ミスした i 番目の音符 $T(i)$ のみ算出しないことになる。またベロシティ評価においては、音ミス検知した音は用いず、弾き直しを行った音のベロシティによって式(4)~式(6)の算出を行う。

5.2 複数のミスによる弾き直し

ある区間における演奏のテンポや強弱のバラツキやミスの回数の多さによって、指定された場所に戻って弾き直しを行う。これらを5.2.1項と5.2.2項に分けて記す。

5.2.1 強弱のバラツキによる弾き直し指示

強さを表す記号の有効区間において式(5)の $\sigma_V(k)/R_V$ が強弱閾値 Th_V より大きい場合は、区間 k のベロシティの変動が激しいことになる。したがって、 $\sigma_V(k)/R_V$ が強弱閾値 Th_V より大きい場合は、区間 k のベロシティを安定させるため、演奏者は区間 k の強さを表す記号の開始位置から弾き直しを行うものとする。

5.2.2 ミス回数による弾き直し指示

ピアノ教室では演奏ミスが多くなると現在弾いている小節から数小節戻り弾き直すことがある。本研究ではこの考え方に基づいてミス回数の上限を設定することによる演奏者への弾き直し指示について検討する。

(1)ミス回数上限による弾き直し指示

本研究では楽譜上にある[A]や[B]などのリハーサルナンバーを用いて、リハーサルナンバー区間内のテンポと強弱のそれぞれのミスが一定数を超えた場合に、演奏者に現在のリハーサルナンバー区間の最初から弾き直し指示を行う(式(7))。

$$\begin{cases} Miss_t > Th_t \\ Miss_{vs} > Th_{vs} \\ Miss_{vm} > Th_{vm} \\ Miss_{pi} > Th_{pi} \end{cases} \quad (7)$$

式(7)の $Miss$ はミスの回数、 Th はミス回数の上限閾値を表し、それぞれ添字の t は式(3)の指定テンポの評価、 vs は

式(4)の強弱の評価, vm は式(6)の強さを表す記号の評価,
 pi は音ミスを表す.

式(7)のそれぞれのミス回数が上限閾値を越えた場合, 演奏者は直前のリハーサルナンバーまで戻り, 弾き直す.

なお, 5.2.1 項のミスの弾き直し指示と, 本項の式(7)によるミスの弾き直し指示は, それぞれ独立して行う.

(2)リハーサルナンバー設置のための楽譜データ項目

演奏をミスした場合にリハーサルナンバーまで戻れるように, 弾き直しに関する次の項目(e)を楽譜データに追加する.

(e)リハーサルナンバー情報

ところで, リハーサルナンバーは合奏曲や合唱曲の楽譜に多く用いられているが, ピアノ独奏曲の楽譜には用いられていないことが多い. したがって, リハーサルナンバーがない楽譜については, 楽譜データの作成者が演奏の区切りを見つけてリハーサルナンバーをつける必要がある.

5.3 基礎練習に関する達成度の検討

ピアノ演奏の初心者にとってピアノ練習を続けるためにモチベーションを高めることが重要とされている[7]. そこで, 本研究ではピアノ練習のモチベーションを維持し続けるために, 演奏者に演奏の達成度を提示する.

演奏の達成度は, 式(7)で扱ったミス回数を用いて, 楽譜データの音符数で除算することで式(8)により算出する.

$$Ra_{ty} = \frac{sum_{ty} - Miss_{ty}}{sum_{ty}} \times 100 \quad (8)$$

ただし, $Miss_{ty} > sum_{ty}$ のとき $Ra_{ty} = 0$

式(8)の Ra は演奏の達成度[%], $Miss$ はミスの回数, sum は楽譜データの音符数を表し, それぞれ添字の ty には式(7)の t, vs, vm, pi を代入する. これにより 4 種類の達成度を算出できる. これらの達成度を演奏後に画面で確認できるようにすることで, 練習に対するモチベーションの維持につながる.

5.4 演奏支援法の提案

本節では, MIDI 鍵盤と PC を用いた楽曲の演奏練習支援法として次の(1)~(4)の繰り返すことを提案する. (1)演奏者が MIDI 鍵盤で楽曲演奏を始めると, PC 上では音ミス検知とテンポ・強弱評価を逐次行う. (2)演奏者が演奏をミスすると, PC はリアルタイムに警告音を発しミス内容を画面提示し, (3)ミスが多い場合には演奏者に任意の場所からの弾き直しを指示する. (4)演奏を終えると上達度を数値化し画面表示する.

なお, 演奏者はこの支援法を用いることで, テンポや強弱のばらつきの発生や減少を警告音により直感的に, ミスの内容や上達度を画面から視覚的に把握できるようになるため, 練習に対する動機づけにもなる.

6. 楽譜データ作成法

4 章の楽譜データ項目をもとに, 楽譜データを作成する.

そこで, 説明のために 4 章の楽譜データに関する全ての項目を記載した楽譜例を図 4 に示す.



図 4 楽譜例

Figure 4 Music score sample

次に図 4 の楽譜例を楽譜データに変換した結果を図 5 に示す.

-2	3	4	4	108															
2	1	1	4	0	0	0	0	0	0	68	1	0							
2	1	1	2	1	0	0	0	0	0	68	2	0							
1	1	2	4	0	0	0	0	0	0	68	1	0							
1	1	3	4	0	0	0	0	0	0	68	1	0							
-3			6																
2	2	1	2	0	0	0	0	0	0	68	1	0							
2	2	1	4	2	0	0	0	0	0	64	2	0							
1	1	2	4	0	0	0	0	0	0	68	0	1							
-4			A																
1	3	1	8	0	3	4	0	68	1	0									
1	3	2	8	0	3	4	0	68	1	0									
1	3	3	8	0	3	4	0	68	1	0									
1	3	4	4	0	0	0	0	68	1	0									
1	3	5	4	0	0	0	0	68	1	0									
1	4	1	2	0	0	0	0	68	0	1									
0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0									

図 5 楽譜データ例

Figure 5 Music score data file

図 5 の 1 列目は拍子情報(-2), 強さを表す記号情報(-3), リハーサルナンバー情報(-4), 音休符情報(0,1,2,...)を判定する列である. 「拍子情報」は 2 列目が○分の△拍子の△, 3 列目が○, 4 列目が指定テンポ=108 の J, 5 列目が 108 を表す. 「強さを表す記号情報」は 2 列目が強さを表す記号(「なし, ppp, pp, p, mp, mf, f, fff」→「0~8」)を表す. 「リハーサルナンバー情報」は 2 列目がリハーサルナンバーを表す. 「音休符情報」は 1 列目が 0 ならば休符, 1 以上のときは音符を表し, この数字が同時に鳴らす音の数を表す. また, 2 列目は楽譜の小節番号, 3 列目は小節区間内の音の順番, 4 列目は音休符の長さ, 5 列目は付点情報(「なし, 付点, 複付点」→「0~2」), 6 列目は連符情報(○連符の○), 7 列目は連符の元になる音符の長さ(○連符○拍分の長さが△分音符 1 拍分であるときの△), 8 列目は連符の元の付点情報(付点△分音符ならば 1), 9 列目はノート番号, 10 列目はテンポ算出フラグ情報, 11 列目はタイを表す. 2 列目~11 列目については, 同時に鳴らす音が複数の場合はその数だけ繰り返し記述することになる.

7. 演奏練習支援の実験

本研究の提案手法を実装した練習支援システムを用いて, 実験により提案手法の有効性を示す.

7.1 実験方法と準備

本研究では「小さな世界」[11]を使用楽曲とし, 右手のみの演奏とする. 実験は 6 日間に渡って行い, 1 日毎に楽曲を 10 回演奏練習するが, 練習時間が 30 分を超える場合は 30 分目に弾いている曲が弾き終わった時点で練習を終える. 被験者は, ピアノ演奏の未経験者 4 名とし, これを

A グループ(提案手法を用いる)と, B グループ(提案手法を用いない)に 2 人ずつ割り振る. A グループにはテンポ, ベロシティ, 強さの記号によるミスに応じて, 警告ブザーが鳴り, 強弱による弾き直しとミス回数による弾き直し指示を行い, 1 日の最後に達成度を提示する. ただし, 両グループとも 1 音毎に事後評価を行えるようにするため, 音ミスによる弾き直し指示は行わないとする. なお, 各評価で用いる定数や閾値を表 1 に記す.

表 1 各評価式の設定値

Table 1 Configuration parameters

演奏テンポ	α	Th_V	$Th_{(全て)}$
J=192	3.0	0.3	10

7.2 実験結果

7.2.1 テンポの実験結果

1 曲の演奏において, 式(3)にて 1 音毎に算出される標準偏差のとりうる値の範囲 $R\sigma_V$ について演奏回数毎の変化の様子を図 6 に記す. 図 6 はグループ A, B の代表者 1 名ずつの結果である.

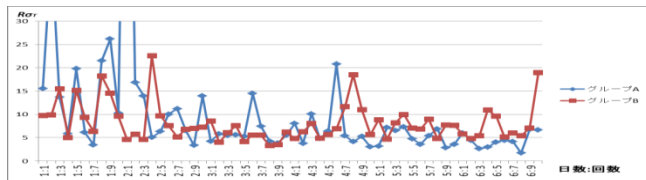


図 6 テンポの標準偏差の範囲の推移

Figure 6 Fluctuation range of standard deviation of tempo

図 6 の縦軸は $R\sigma_T$ の値, 横軸は演奏日数と回数を表す. グループ A(青: 提案手法)は, B(赤)に比べて練習を重ねる毎に $R\sigma_T$ の値が下降する傾向があり, 変動が少なくなっている. また, B は練習を重ねると $R\sigma_T$ の値がやや安定していく様子もあるが 4 日目や 6 日目にも初期と同様な変動があらわれているため安定していない. この結果より, 提案手法を用いると苦手箇所を意識して演奏を行うため, 早く安定したテンポで演奏を行えるようになってきていると考えられる.

7.2.2 ベロシティの実験結果

1 曲の演奏において, 式(4)にて 1 音毎に算出される標準偏差のとりうる値の範囲 $R\sigma_V$ について演奏回数毎の変化の様子を図 7 に記す.

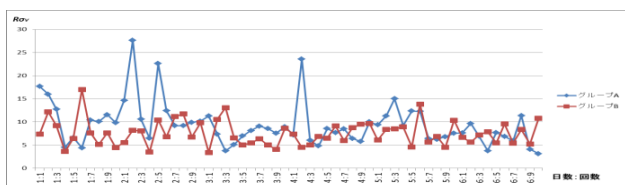


図 7 ベロシティの標準偏差の範囲の推移

Figure 7 Fluctuation range of standard deviation of key strength

図 7 の縦軸は $R\sigma_V$ の値, 横軸は演奏日数と回数を表す. グループ A(青: 提案手法)は, B(赤)と比べて練習を重ねる毎に $R\sigma_V$ の値がやや減少する傾向があり, 変動が少なくなっ

ている. また, B は練習を重ねても $R\sigma_V$ の変動の仕方があまり変わらず値が安定していない. この結果より, 提案手法を用いるとテンポほど明確な違いではないものの, 早く安定した強さで演奏を行えるようになってきていると考えられる.

8. まとめ

本研究ではピアノなどの鍵盤楽器を弾く練習を支援することを考え, MIDI 鍵盤を用いた練習支援法についての検討とその提案を行った. まず, テンポと強弱について基礎練習を行うために, それぞれのミス評価を行う方法の検討を行った. これに基づいて, 音ミスや弾き直し指示により警告音を用いて演奏練習を支援する方法と, 練習のモチベーション維持のためのミス回数合計値を用いた達成度の算出について提案し, システムの構築を行った. これについて実験を行ったところ, 被験者からはテンポ及び強弱ともに正しく指をコントロールすることができるようになったと思われる上達傾向を得ることができた. また, 実験中, 被験者から練習が終わる毎に「今回は低かった」, 「前回より上がった」という声が聞こえていたことから, 達成度の提示が練習のモチベーション維持に効果的に働いたものと考えられる. 以上の結果から, 練習支援法として本研究の有効性を示すことができたと考える.

参考文献

- 1) ヤマハ音楽振興会
<http://www.yamaha-mf.or.jp>
- 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) CASIO: 光るナビゲーションキーボード
http://casio.jp/emi/products/key_lighting/
- 4) ヤマハ株式会社: 光る鍵盤 EZ-J210
http://jp.yamaha.com/products/musical-instruments/keyboards/digitalkeyboards/psr_series/ez-j210/
- 5) 山川晃, 白杵潤: 画像処理を用いた MIDI 鍵盤演奏の指使い認識法に関する研究, 情報処理学会研究報告 (音楽情報科学研究会), vol.2012-MUS-97, No.15 (2012)
- 6) 竹川佳成, 椿本弥生, 田柳恵美子, 平田圭二: 鍵盤上への演奏補助情報投影機能をもつピアノ学習支援システムにおける熟達化プロセスの調査, 情報処理学会報告, (音楽情報科学研究会), vol.2013-MUS-97, No.7 (2013)
- 7) 福家悠人, 竹川佳成, 柳英克: モチベーションの維持を考慮したピアノ学習支援システムの構築, 情報処理学会報告, (音楽情報科学研究会), vol.2013-MUS-98, No.6 (2013)
- 8) 田中功一, 鈴木泰山, 辻靖彦: ピアノの上達を目指す学習者と指導者の演奏 MIDI データの傾向についてーピアノ指導者の視点からー, 情報処理学会研究報告 (音楽情報科学研究会), vol.2014-MUS-102, No.10 (2014)
- 9) 阿部貴之, 山川晃, 白杵潤: MIDI 鍵盤演奏におけるテンポのリアルタイム評価法に関する研究, 情報処理学会研究報告 (音楽情報科学研究会), vol.2012-MUS-98, No.16 (2012)
- 10) 全訳ハノンピアノ教本: 全音楽譜出版社
- 11) 楽典 理論と実習: 音楽之友社
- 12) ピアノソロ ディズニー ベストヒット 10 初級編: ヤマハミュージックメディア