

演奏者と楽曲に合わせて変形可能なソフトウェア鍵盤楽器による 演奏支援の検討

金杉季実果^{†1} 宮下芳明^{†1}

楽器演奏において、身体の大きさや形状、動かしやすさは演奏者ごとに差が大きい。そのため、演奏しやすい楽器の形状は演奏者によって異なる。加えて、楽曲内で使用される音やその順番、演奏時の手や腕の動きは楽曲ごとに差が大きい。そのため、演奏しやすい楽器の形状は、演奏者の身体だけでなく楽曲によっても異なる。そこで本研究では、ピアノ演奏を対象に、演奏者の身体および演奏する楽曲に合わせたカスタマイズが可能なソフトウェア鍵盤楽器による演奏支援を検討する。各鍵の大きさを変更できる鍵盤楽器を2種類作成し、変形の仕方や練習の様子を観察した。

1. はじめに

身体の大きさや形状は個人差が大きい。身長や体重が同じでも、腕や足の長さ、手指の大きさも同じとは限らず、それらの動かしやすさも異なる。そのため、多くの人に使いやすいように設計されている道具を使いにくいと感じる人もいる。近年はそうした個人差、あるいは異なるニーズに対し、パーソナルファブ리케이션が盛んに行われている。渡辺[1]は、好みの大きさのランドセルを作成できるプロジェクトを例に、「身体はひとつとして同じものはないので、従来のようにモノに人が合わせる時代から、これからは人の身体やニーズにモノのサイズを合わせる時代になる」と述べている。

スポーツ選手が使用する道具も、個人の好みでカスタマイズが可能となっている。YONEX 社では、基本の型を選択した後、重量、バランス、グリップ形状、グリップ部の長さをカスタマイズできるテニスラケット[a]を販売している。これにより、自分の身体に合ったテニスラケットを使用でき、自身の持つ最大のパフォーマンスを発揮できる。

一方で、演奏に用いられる楽器は、いまだ演奏者個人でカスタマイズできる範囲が限られている。例えば、日本で製造されるアコースティックピアノは、JIS 規格[b]によって鍵の大きさや全体の幅が厳格に定められている。北米では、鍵盤サイズを変えて演奏させた結果[2]をもとに作成された、2種類の細幅鍵盤[c]が存在する。しかし、事前調査[2]において、より細幅の白鍵での演奏を求めている演奏者もいたことから、全演奏者に適した大きさであるとは言えない。弦楽器においては、腕の短い子ども向けの分数楽器が存在する[d]。腕の長さに合う楽器を選択可能だが、特に分数ヴァイオリンは小さなサイズになるほど音量も小さくなると言われており、通常サイズ同様の演奏表現を行うのは難しい。また、分数楽器も既存の規格に対して演奏者が合わせる必要があるため、演奏者個人に合わせたカスタマ

イズが十分にできているとは言い難い。

加えて、演奏する楽曲内で使用される音やその順番、演奏時の手や腕の動きは楽曲によって大きく異なる。そのため、演奏者の身体に合わせるだけでなく、楽曲に合わせた楽器のカスタマイズも行われるべきである。

演奏行為は、楽譜および腕や手の動きの記憶の程度によって徐々に変化していく。加えて、音を追うだけの演奏から、次第に強弱やアーティキュレーションを意識した演奏になるなど、意識する点に応じて刻々と変化する。そのため、同じ楽曲でも、演奏を重ねるごとにカスタマイズ方法は変化する。オーダーメイドのアコースティック楽器のような物理的なカスタマイズでは、こうした細かな変化に合わせた再加工が困難であると考えられる。

本研究は、ピアノ演奏を対象として、演奏者の身体および演奏する楽曲から受ける制約を減らし、より演奏に注力させることを目的とする。そこで、それらに合わせたカスタマイズが可能な鍵盤楽器による演奏支援を検討する。特に、各鍵の大きさの変更によってカスタマイズ可能にしたソフトウェア鍵盤楽器による演奏支援に焦点を当てる。各鍵の大きさの変更によって、身体や楽曲から受ける制約を小さくでき、より演奏に注力できると考えられる。また、複数回の変形が容易なソフトウェアで実装することで、演奏を重ねながらの微調整が容易に行えると考えられる。

本稿では、鍵の変形についての基本コンセプトと、2種類の変形方法による練習の様子を調査した結果を報告する。

2. 関連研究

2.1 変形やセンサによる鍵盤楽器の拡張

従来の鍵盤楽器を変形し、演奏表現を拡張した鍵盤楽器が存在する。また、演奏者の身体が変化したかのように見せ、演奏体験を拡張させた研究がある。ピアニストの菅野邦彦が制作したピアノ[e]は、白鍵と黒鍵が同じサイズである。それらを一直線に並べ、手を横にスライドさせるだけ

^{†1} 明治大学

a <http://www.yonex.co.jp/tennis/custom-fit/> (参照 2019-07-23)

b 日本工業規格 JIS S 8507, 2017.

c <http://www.steinbuhler.com/index.html> (参照 2019-07-23)

d <https://www.stradi-kanazawa.com/size/> (参照 2019-07-23)

e <https://youtu.be/MqGCX-mNOQ> (参照 2019-07-23)

で同じ運指のまま転調を可能にした。モバイルクラヴィエア II [3]は、Null 鍵と呼ばれる黒鍵を追加し、フットコントローラで音域変更を行う鍵盤楽器である。従来の電子鍵盤楽器の音域変更機能の問題点であった「打鍵した鍵と出力音の不一致」、「各鍵の出力音が視覚的に理解できないこと」、「操作性の悪さ」の解決を図った。Ogata ら[4]は、演奏者の指の動きに応じて鍵を歪ませて、音量、ピッチ、音色を制御できるソフトウェア鍵盤楽器を開発した。打鍵しようとしている位置や、ディスプレイと指の距離に合わせた鍵の変形アニメーションが行われる。えくす手[5]は、指の長さ、肌の色、両手の配置、指の本数を対象に変形したバーチャルハンドでピアノを演奏するシステムである。

鍵盤楽器にセンサを組み込み、伝統的な楽器の長所である演奏しやすさと、シンセサイザやデジタルエフェクトの長所である音の表現幅の広さを両立させた提案もされている。FabricKeyboard[6]は、鍵盤やその周囲が多層の布センサで作成されている。引き延ばす、ひねるなどの変形や、鍵盤の上で手を振るような非接触ジェスチャに対応している。Keys[7]や Seaboard[8]には手のジェスチャを認識するセンサが組み込まれている。手の高さや打鍵の強さで、音量やピッチを直感的に調整できる。McPherson ら[9]は、物理的な鍵盤楽器の表面に静電容量式マルチタッチセンサを取り付け、指の位置で音量、ピッチ、音色を制御可能にした。

2.2 鍵盤楽器の練習の支援

視覚的な情報を増やし、鍵盤楽器の練習を支援する研究がこれまでに多く行われてきた。Rogers ら[10]や竹川ら[11]はプロジェクションマッピングを用いて、楽譜上で指定された鍵を音価に合わせて光らせるシステムを作成した。山田ら[12]は Web カメラで撮影した MIDI キーボードをディスプレイ上に映し、横から移動するオブジェクトに合わせて打鍵することで演奏を支援するシステムを提案した。

2.3 楽曲に合わせた鍵の最配置

演奏する楽曲が指定されている場合、次に鳴らすべき音高が明らかである。それを踏まえて、市販の電子キーボードには、どの鍵を弾いても正しい音高が鳴る機能[f][g]が搭載されることがある。この機能は、初心者であっても音高ミスが発生しないため、モチベーションを保ちながら演奏表現やリズムの練習に注力できる利点がある。大島らは、強弱やテンポのゆらぎなどの演奏表現の伝達[13]、あるいは、レッスンを受けている子供と受けていない親の連弾[14]に、こうした機能が効果的であることを示した。

即興演奏では、音楽的に伴奏の和声に合っている音高を演奏者に提示する手法が検討されてきた。ism[15]では、旋律中の不自然な箇所をリアルタイムに補正する。また、不自然な箇所に対応する鍵を振動させることで、旋律の音楽的な妥当性を演奏者に学習させる鍵盤楽器[16]も開発され

た。西本ら[17]は、ジャズの即興演奏を対象に、コード進行に応じた音の役割に基づいて音高を再配置する鍵盤楽器を開発した。Thermoscore[18][19]は、演奏者に打鍵させたくない鍵を熱によって提示する鍵盤楽器である。即興演奏において楽曲の調性や作曲者の特徴を反映させる[18]ために使用できるだけでなく、楽譜の代わりとして正しい音高以外を加熱する[19]といった使用方法も可能である。

2.4 ソフトウェアインタフェースの変形

物理的なインタフェースは、一度カスタマイズを行うと再加工が困難な場合がある。そのため、PC キーボードなどでは、再加工が容易なソフトウェアインタフェースによるカスタマイズの可能性が検討されてきた。ボロノイ図状のキー変形[20]や、指の位置およびその周辺へのキーの再配置[21]を行ったキーボードが存在する。

Findlater[22]らのキーボードは、機械学習を用いて配置の最適化を行う。変形に対する視覚的フィードバックの有無で比較したところ、フィードバックなしの方がタイピング速度は速かった。視覚的フィードバックに否定的であった人も、半数はキーボードの性能に好感を示した。

田坂ら[23]が提案した適応型キーボードは、一般的なタッチキーボードよりミスタイブ数は多いが、ミスタイブの分散は小さく、人によらず使いやすさが一定であった。

3. 鍵の変形によるカスタマイズ

本研究では、タッチデバイス上で動作するソフトウェア鍵盤楽器による演奏を対象とする。演奏者の手の形状および指の幅に合わせた鍵の変形を行い、身体から受ける制約を小さくする。加えて、演奏を繰り返す間に蓄積した、主観的な打鍵位置の感覚や、客観的な打鍵位置のデータに基づいた鍵の変形を行う。それによって、演奏する楽曲に合わせた鍵の大きさに近づいていくと考えられる。

なお、鍵の並び順の変更や、楽曲で使用しない音高の鍵の削除は行わない。ピアノ経験が長い演奏者であっても鍵の位置に対する空間的記憶は正確とは言えず、視覚および他の感覚情報がピアノ演奏に大きな役割を果たしている[24]ことが明らかとなっている。鍵の並び順の変更や削除を行うと、従来の鍵の並び順に慣れている演奏者は、視覚から鍵の位置を把握することが困難になる。ピアノ演奏においては、打鍵しないと聴覚情報は得られないので、打鍵前に視覚から音高を推測する必要がある。そのため、演奏者がカスタマイズ可能な部分を鍵の大きさのみに限定した。

4. 予備調査

鍵の大きさを変更することで、身体や楽曲から受ける制約を減らせるかを確認するために予備調査を実施した。参加者は著者 1 人 (4 歳から 11 年間のピアノ演奏経験あり) である。参加者の手の大きさは、従来のアコースティック

f https://casio.jp/emi/key_lighting/ (参照 2019-07-23)

g <http://cm.kawai.jp/products/pmdp/> (参照 2019-07-23)

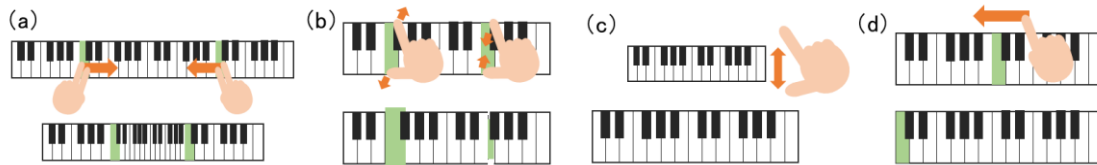


図 1 手動変形システムで可能な変形および対応するジェスチャ

ピアノで1オクターブ届く程度であった。調査にあたって、主観的な打鍵位置の感覚に基づいて変形を行う手動変形システム（調査1）、客観的な打鍵位置のデータに基づいて変形を行う自動変形システム（調査2）の2種類を作成した。各システムを使用して特定の楽曲の練習を行った際の、変形の仕方および練習の様子を観察した。

4.1 調査1：手動変形

4.1.1 手動変形システム

手動変形システムでは、画面中央に鍵盤、右上にモード選択ボタンが表示されている。音名Cの鍵の上には、音名Cとその高さを数字で表示している。モードは全3種類で、変形モードおよびフリーモードの選択時に鍵の変形が、演奏モードおよびフリーモードの選択時に演奏ができる。

変形にはマルチタッチジェスチャを用いる。鍵の部分的な拡大・縮小（図1(a)。以下、変形a）は、フォーカス+コンテキストを用いたインタフェース[25][26]の概念を鍵盤楽器に適用した。その他、ピンチ操作する位置に応じて、個々の鍵の拡大・縮小（図1(b)。以下、変形b）、鍵盤全体の拡大・縮小（図1(c)。以下、変形c）、スワイプ操作によってオクターブシフト（図1(d)。以下、変形d）が可能である。なお、変形a以外の変形では鍵の縦横比が変化しない。そのため、鍵の縦幅のみ広くしたい場合は、鍵の部分的な縮小（変形a）の後に該当する鍵の拡大（変形b）を行い、横幅を調整する必要がある。また、変形される鍵以外の大きさは変化せず、白鍵間に余白は生じない。そのため、白鍵1つを縮小した際は、他の鍵の大きさは変化せず、縮小した白鍵に伴って鍵盤全体が狭まる方向に移動する。

4.1.2 練習内容と環境

手動変形システムを用いて、フランツ・リスト作曲「ラ・カンパネラ」（図2）より4～12小節（以下、楽曲1）の練習を行った。参加者はこれまでに、楽曲1を聴いたことはあるが練習経験はなかった。演奏時には、DELL Alienware 17 R4で手動変形システムを起動し、マルチタッチ対応ディスプレイであるWacom Cintiq 27QHD touch（27インチ、596.7×335.6mm、1920×1080pixels）に接続した。

変形前の鍵の大きさは、アップライトピアノの鍵の大きさである白鍵23.0×150.0mm（63.0×408.0pixels）、黒鍵11.0×95.0mm（30.0×245.0pixels）に設定した。また、A0～B3の鍵が画面に映るように鍵盤の初期位置を設定した。

4.1.3 変形の様子

練習前に、楽曲1で使用されることのない音域（A0～F3、



図2 「ラ・カンパネラ」の楽譜（[27]より1～13小節を抜粋）。4小節目後半～12小節前半を楽曲1として使用した。

F6～C#7、F7～C8）を縮小（変形a）し、最も使用頻度の高いD#6、D#7を拡大（変形b）した。このとき、黒鍵のみを拡大すると隣り合う黒鍵との境界が分からなくなることから、D6～E6、D7～E7を拡大（変形a）した後に4つの白鍵を縮小（変形b）、2つの黒鍵を拡大（変形b）した。

その後、楽譜上の使用頻度を確認しながら変形bを行い、打鍵ミスが起りやすい箇所の微調整を行いながら練習した。最終的に、画面内に全鍵が収まるように、また演奏可能な鍵の大きさとなるように全体を縮小（変形c）した。

右手パートは練習初期に暗譜していたため、練習しながら大きな変形を加えることはなかったが、左手パートは暗譜ができていなかったため打鍵ミスが減らず、何度も変形bを行いながら調整した。最終変形後の鍵盤を図3に示す。

4.1.4 変形後の鍵盤楽器での演奏の様子

従来の変形しない鍵盤楽器では、跳躍の多さから打鍵ミスが頻発し、楽曲1の演奏は不可能であった。一方で、手動変形システムで変形を行った鍵盤楽器では、最終日には四分音符=144程度のテンポで通し演奏が可能になった。変形後の練習でも打鍵ミスは発生したが、跳躍の幅が小さくなるよう変形を行ったことで従来の鍵盤楽器より演奏しやすいつ感じ、練習によってミスを減らすことができた。

11小節4拍目の左手パートの和音に対して、従来のアップライトピアノでは小指、中指、親指を用いていたが、手

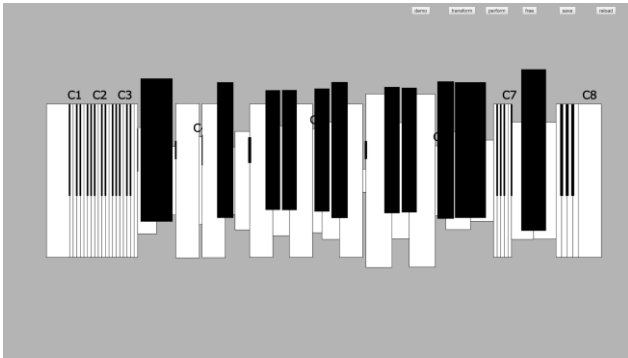


図 3 楽曲 1 を演奏できるように手動変形された鍵盤

自動変形システムでは中指，人差し指，親指を用いていた。D#4～C#5 の間を使用しない鍵を縮小することで鍵の距離が近くなり，力を入りにくい小指を使用しないような運指となった。こうした運指の変化は他の音にも発生しており，より安定して打鍵できる運指へと変化していた。それに伴い，より安定した演奏が可能になった。

4.2 調査 2：自動変形

4.2.1 自動変形システム

自動変形システムでは，画面中央に鍵盤，左上に次に打鍵すべき鍵の情報，右上に変形を行うためのボタンが表示されている。手動変形システムと同様に，音名 C の鍵の上には，音名 C とその高さを数字で表示している。

変形は，演奏する楽曲のデータ，および演奏を繰り返す間に蓄積した打鍵位置のデータに基づいて行われる。本調査における変形アルゴリズムは以下の通りである。

- ① 打鍵すべき鍵と実際に打鍵された座標を記録する。
- ② 変形用ボタンがタッチされた時点までのデータから，各鍵の打鍵位置の平均座標と標準偏差を計算する。なお，本調査では x 軸上の位置と横幅のみ変形を行ったため，x 座標の平均値と標準偏差のみ計算している。
- ③ 左端 (A0) から順番に，各鍵の新たな左端の x 座標と横幅を計算する。
 - (ア) 黒鍵は，x 座標が記録されていない場合は，左端の x 座標と横幅を計算前と同じとする。記録されている場合は，x 座標の平均値から標準偏差の 3 倍ずつ左右に広げた幅を横幅とする。また，x 座標の平均値から標準偏差の 3 倍だけ左に移動した位置を左端の x 座標とする。
 - (イ) 白鍵の左端の x 座標は，左隣の白鍵の右端と同じ座標とする。
 - (ウ) x 座標が記録されていない白鍵は，右隣の白鍵も x 座標が記録されていない場合は，計算前と同じ横幅とする。記録されている場合は，右隣の白鍵の x 座標の平均値から標準偏差の 3 倍だけ左に移動した位置を右端とし，左端の x 座標との差を横幅とする。
 - (エ) x 座標が記録されている白鍵は，右隣の白鍵の x

座標が記録されていない場合は，記録された x 座標の平均値から標準偏差の 3 倍だけ右に移動した位置を右端とし，左端の x 座標との差を横幅とする。記録されている場合は，両方の鍵の x 座標の平均値の差を標準偏差の値の比率で分配し，左端の x 座標との差を横幅とする。

- ④ 計算結果に基づいて，各鍵の位置と幅を更新する。

4.2.2 練習内容と環境

自動変形システムを用いて，ブルクミュラー作曲「25 の練習曲」より「すなおな心」[28]の冒頭 8 小節の右手パート（以下，楽曲 2）の練習を行った。参加者は楽曲 2 を聴いたことがあり暗譜しているが，練習経験はなかった。演奏時には，タッチパネル搭載の HP Spectre x360 Convertible 13-ac0xx (13.3 インチワイド，294.0×166.0 mm，1920×1080 pixels) のディスプレイ側を机上に置き，キーボード側に楽譜 (図 4) を立てかけた。スマートフォンアプリケーションのメトロノームは自由に使用可能とした (図 5)。

変形前の鍵の大きさは，アップライトピアノの鍵の大きさである白鍵 23.0 × 150.0 mm (123.0 × 803.0 pixels)，黒鍵 11.0 × 95.0 mm (59.0 × 508.0 pixels) に設定した。また，楽曲 2 で使用される鍵 (G4～C6) がすべて 1 画面内に収まるように鍵盤の初期位置を設定した。

変形は，楽曲 2 の通し演奏を 20 回行ったタイミングで行った。変形のタイミングで，画面のキャプチャを撮影し，20 回の通し演奏の打鍵位置のデータと変形後の鍵の座標を CSV 形式で保存した。5 回の変形，合計 100 回の通し演奏を行い，打鍵位置のデータを収集した。

4.2.3 練習の様子

変形前および 5 回の変形後の鍵盤を図 6 に示す。

変形前および変形後の全ての鍵盤において，最初に鍵盤全体を眺め，メトロノームを使用せずに 3～5 回演奏することで，各鍵の位置を確認していた。

変形前の鍵盤による練習では，四分音符=80 のテンポでメトロノームを使用し始めた。テンポを四分音符=116 に設定した練習で，D5 を小指で打鍵する際に 2 回，G4 を親指で打鍵する際に 1 回の演奏ミスがあった。ミスの修正を行い，最終的に四分音符=126 までテンポを上げた。

1 回目の変形後の練習は，メトロノーム使用時は常に四分音符=126 のテンポであった。しかし，7～9 回目の通し演奏でミスを繰り返したため，10～12 回目はメトロノームを使用しなかった。変形前と同様に，D5 を小指で打鍵する際にミスが 5 回あった。また，F5 を薬指で打鍵する際に 5 回，親指で打鍵する際に 4 回のミスが発生した。

2 回目の変形後の練習では，15 回の通し演奏で四分音符=138 までテンポを上げた。その後，指が遅れることがあり，最終的に四分音符=132 のテンポで演奏した。1 回目の変形後より減ったが，D5 を小指で打鍵する際にミスが 2 回あった。その他，A5 と E5 を中指で打鍵する際に各 2 回，



図 4 楽曲 2 の楽譜 ([28]より該当箇所を抜粋して作成)



図 5 調査 2 の練習環境

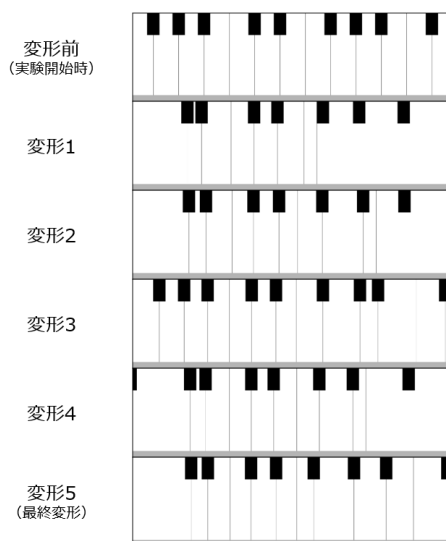


図 6 変形前および 5 回の変形後の鍵盤。y 軸上の位置および縦幅は変更していないため、鍵盤の下半分のみ示す。

F5 と C5 を薬指で打鍵する際に各 1 回のミスがあった。

3 回目の変形後の練習では、四分音符=126 でメトロノームを使用し始めた。後半で加速し、16 回目の通し演奏の際に四分音符=138 のテンポに設定してからはテンポを変更することなく演奏し続けた。D5 のミスはなくなったが、A5 を中指で打鍵する際にミスが 9 回発生した。

4 回目の変形後は、四分音符=138 のテンポでメトロノームを使用し始めたが、最終的に四分音符=126 まで遅くした。メトロノームを使用する前の通し演奏では、タップ位置によってどの音が鳴るかを検証するように演奏していた。全 11 回のミスのうち 6 回は、D5 を小指で打鍵する際に発生した。3 回目の変形後と同様のミスはなかった。

4.2.4 変形後の鍵盤楽器での演奏の様子

自動変形システムで変形された鍵盤は、白鍵の境界が消

える、使用する鍵の幅が極端に狭くなるなど、意図しない変形が多く発生した。これは、一部の鍵で横幅の計算が適切に行われなかったことが原因として考えられる。本調査で用いたシステムは白鍵の境界に合わせて黒鍵も移動する設計であったため、白鍵の境界が認識できない際には、黒鍵の位置を参考にしながら打鍵していた。

最終変形後の鍵盤は、中音域の鍵が狭まり、低音域および高音域の幅が広がった。中音域は使用頻度が高く、手の大きさに合わせて狭まったと考えられる。また、高音域は使用頻度が低く、打鍵位置のばらつきに対応できるよう広がったと考えられる。同じ運指で演奏する 1, 2 小節目の鍵の幅が異なることにやや演奏しにくさを感じるが、全体を通して演奏しやすい配置となった。しかし、変形前の鍵盤より演奏しやすさが大きく向上することはなかった。

4.3 観察のまとめ

手動変形システムを使用した演奏では、楽曲 1 で使用される音域や頻度に基づいて事前に変形を行った後に、練習を行いながら微調整を行う様子が観察された。また、暗譜できた箇所は大きな変形を行わなかったが、できていない箇所は演奏とともに何度も変形した。変形終了後の鍵盤では、力を入れやすい運指に変更する様子が見受けられた。

自動変形システムを使用した演奏では、各鍵の位置を確認するような演奏を行った後、テンポを意識した通し練習を行う様子が見受けられた。変形後は鍵の境界が消えることもあり、演奏ミスが増加する傾向にあった。一方で、変形後も少しずつテンポを上げ、最終的に楽曲 2 で指定されていたテンポで演奏できるようになった。

いずれの変形方法においても、ミスなく演奏するためには複数回の変形が必要であった。これは、変形後の楽器に合わせるために演奏者の動きが変化した、あるいは、楽器側の変形が不十分であった可能性が考えられる。変形後の演奏者の動きの予測も加味できれば、より早い段階で変形を完了できると推測される。

5. 考察

手動で鍵の大きさを変更することで、従来の鍵盤楽器では演奏できなかった楽曲が演奏できるようになった。手動変形では演奏者の意図を直接反映させることができたために演奏しやすさも向上したと考えられる。

一方で、自動で鍵の変形を行った場合は、想定と異なる変形が起こることが多く、従来の鍵盤楽器よりも演奏しやすさが大きく向上することはなかった。手動変形では使用頻度や打鍵ミスに基づいて鍵を拡大することがあったが、自動変形システムのアルゴリズムでこれらは考慮されていなかった。そのため、演奏者の意図を反映できるようなアルゴリズムを再検討する必要がある。意図しない変形が減少することで、自動変形システムの変形後に見られた、各鍵の位置を確認する時間の短縮にもつながると考えられる。

6. まとめと展望

本研究では、ピアノ演奏を対象に、演奏者の身体および演奏する楽曲に合わせて鍵の大きさを変更可能なソフトウェア鍵盤楽器による演奏支援の可能性を示した。手動で変形を行うシステムと自動で変形を行うシステムを作成し、変形の傾向やタイミング、練習の様子を観察した。いずれの変形方法においても、複数回の変形を行う必要はあるが、最終的に指定楽曲を通して演奏できるようになった。

鍵の変形タイミングについて、さらに調査を行う予定である。1回の演奏ごとに変形を行うと、普段は発生しないミスによって意図しない変形が起こり、混乱を生む可能性がある。反対に、数十回、数百回と演奏を重ねた後の変形では、演奏者は以前の配置に慣れているため、新たな鍵の配置に戸惑い、演奏しにくくなる可能性がある。今後、変形タイミングを数種類定めて実験し、最適なタイミングを検討する。

また、自動変形において、「黒鍵の下部を演奏するつもりで白鍵を演奏してしまう」といった状況も起こりうる。そのため、y軸上の位置および縦幅の計算方法を確立する必要がある。また、x軸上の位置および横幅についても、演奏ミスを考慮するなど、より最適な計算方法を検討する。

さらに、練習効率や演奏しやすさについて、従来の鍵盤楽器との比較を行う。現時点では、練習効率を測る指標として演奏ミス数の比較、演奏しやすさを測る指標としてリッカート尺度による主観評価の比較を検討している。

参考文献

- 1) 渡辺ゆうか. FabLabがものづくりをイノベーションする. 季刊政策・経営研究 2013, Vol.3, pp.47-63, 2013.
- 2) Rhonda B Boyle, Robin G Boyle. Hand Size and the Piano Keyboard. Literature Review and a Survey of the Technical and Musical Benefits for Pianists using Reduced-Size Keyboards in North America. In Proc. of the 9th Australasian Piano Pedagogy Conference, pp.1-36, 2009.
- 3) 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦, 西尾章治郎. 追加黒鍵をもつ小型鍵盤楽器モバイルクラヴィーアIIの設計と実装. 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.5, pp.1234-1245, 2003.
- 4) Masa Ogata, Masataka Goto. Keyboard Interface with Shape-Distortion Expression for Interactive Performance. In Proc. of ICMC '17, Vol.2017, pp.378-383, 2017.
- 5) 小川奈美, 鳴海拓志, 伴祐樹, 櫻井翔, 谷川智洋, 廣瀬通孝. えくす手: バーチャルな拡張身体を用いたピアノとのインタラクション. 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.23, No.3, pp.91-101, 2018.
- 6) Irmandy Wicaksono, Joseph A. Paradiso. FabricKeyboard: Multimodal Textile Sensate Media as an Expressive and Deformable Musical Interface. In Proc. of NIME '17, pp.348-353, 2017.
- 7) "Keys: Modular LED Music Keyboard with Gestures". <https://www.indiegogo.com/projects/keys-modular-led-music-keyboard-with-gestures#/updates/all> (参照 2019-07-23)
- 8) Roland Lamb, Andrew N. Robertson. Seaboard: a new piano keyboard-related interface combining discrete and continuous control. In Proc. of NIME '11, pp.503-506, 2011.

- 9) Andrew McPherson. TouchKeys: Capacitive Multi-Touch Sensing on a Physical Keyboard. In Proc. of NIME '12, 4 pages, 2012.
- 10) Katja Rogers, Amrei Röhlig, Matthias Weing, Jan Gugenheimer, Bastian Könings, Melina Klepsch, Florian Schaub, Enrico Rukzio, Tina Seufert, Michael Weber. P.I.A.N.O.: Faster Piano Learning with Interactive Projection. In Proc. of ITS '14, pp.149-158, 2014.
- 11) 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦. リズム学習を考慮したピアノ演奏学習支援システムの構築. 情報処理学会インタラクション2012 論文集, pp.73-80, 2012.
- 12) 山田和毅, 山本邦雄, 乃万司. 音階と鍵盤の視覚的対応付けによるピアノ学習支援システム. エンタテインメントコンピューティングシンポジウム2015 論文集, pp.378-385, 2015.
- 13) 大島千佳, 宮川洋平, 西本一志. Coloring-in Piano: 表情付けに専念できるピアノの提案. 情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS), Vol.2001, No.103 (2001-MUS-042), pp.69-74, 2001.
- 14) 大島千佳, 西本一志. Family Ensemble: 初心者の親と子どものための合奏システム. 情報処理学会インタラクション2004 論文集, Vol.2004, No.5, pp.105-112, 2004.
- 15) 石田克久, 北原鉄朗, 武田正之. ism: 即興演奏支援のためのリアルタイム旋律補正システム. 情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS), Vol.2003-MUS-52, No.2, pp.9-14, 2003.
- 16) 北原鉄朗, 石田克久, 武田正之. 振動機能付鍵盤楽器「ぶるぶるくん」を用いた即興演奏支援システム. 情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS), Vol.2005, No.45 (2005-MUS-60), pp.25-30, 2005.
- 17) 西本一志, 渡邊洋, 馬田一郎, 間瀬健二, 中津良平. 創造的音楽表現を可能とする音楽演奏支援手法の検討—音機能固定マッピング楽器の提案. 情報処理学会論文誌, Vol.39, No.5, pp.1556-1567, 1998.
- 18) 宮下芳明, 西本一志. 温度で制約を緩やかに提示するシステム Thermoscore を用いた即興演奏支援. 情報処理学会研究報告ヒューマンインタフェース (HI), Vol.110, No.90 (2004-HI-110), pp.13-18, 2004.
- 19) Homei Miyashita, Kazushi Nishimoto. Thermoscore: A New-type Musical Score with Temperature Sensation. In Proc. of NIME '04, pp.104-107, 2004.
- 20) Kentaro Go, Yuki Endo. CATKey: Customizable and Adaptable Touchscreen Keyboard with Bubble Cursor-Like Visual Feedback. In Proc. of INTERACT '07, pp.493-496, 2007.
- 21) 久野祐輝, 志築文太郎, 田中二郎. キーを指の設置位置とその周囲に配置するソフトウェアキーボード. 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.4, pp.1353-1364, 2014.
- 22) Leah Findlater, Jacob O. Wobbrock. Personalized Input: Improving Ten-Finger Touchscreen Typing through Automatic Adaptation. In Proc. of CHI '12, pp.815-824, 2012.
- 23) 田坂友杉, 秋岡明香. タブレット上でブラインドタッチを可能にするフレキシブルキーボードの提案. 日本ソフトウェア科学会第34回大会講演論文集, pp.575-580, 2017.
- 24) Chie Ohsawa, Satoshi Obata, Takeshi Hirano, Minoru Tsuzaki, Taro Ito, Tadahiko Saito, Hiroshi Kinoshita. Memory of the piano key positions in pianists. International Symposium on Performance Science, pp.67-72, 2013.
- 25) 大脇正憲, 藤田和之, 高嶋和毅, 築谷喬之, 伊藤雄一, 北村喜文, 岸野文郎. 携みのメタファを用いたビューポート制御インタフェース. インタラクション2011 論文集, pp.115-122, 2011.
- 26) 渡邊ふみ子, 藤代一成, 平賀瑠美. BRASS—スコアリーディングのための支援インタフェース—. 情報処理学会研究報告音楽情報科学 (MUS), Vol.2002, No.63 (2002-MUS-046), pp.49-54, 2002.
- 27) "Grandes études de Paganini, S.141 (Liszt, Franz)". http://conquest.imslp.info/files/imglnks/usimg/0/03/IMSLP00597-Liszt_-_6_Paganini_Etudes.pdf (参照 2019-07-26)
- 28) 北村智恵 校訂・解説. 全音ピアノライブラリー ブルクミュラー: 25の練習曲. 全音楽譜出版社, p.12, 1955.