

テクニカルノート

ピアノ教師向け悪癖発見支援システムの設計と実装 および評価

松井 遼太^{1,2,a)} 長谷川 麻美¹ 竹川 佳成^{1,b)} 平田 圭二^{1,c)} 柳沢 豊^{2,d)}

受付日 2019年7月8日, 採録日 2019年10月3日

概要: 本稿では, ピアノ演奏時の悪癖アノテーション機能を持つ, ピアノ教師向け悪癖発見支援システムの構築について述べる. ピアノ演奏者にとって正しい指使いを身につけることは, 高度な演奏技術を修得するうえで必須となる. 指使いは身体や運動に依存するため, 個人の体格や弾き方に影響されやすい. そのため, 演奏者が誤った指使いを身につけた場合, 指使いは悪癖として定着しやすく, 定着後に修正することが難しい. したがってピアノ教師は, 生徒の指使いに関する悪癖を発見し, 指導する. しかし, 生徒に悪癖があっても上手に演奏できている場合もあり, 教師が一聴だけでは悪癖の発見が難しい. 一方, 悪癖を視覚的に判断する手段も存在するが, 演奏時の手指の動きは素早いいため, 教師は実時間で単方向から見ただけでは生徒の悪癖を見逃してしまう. そこで, 提案システムは生徒の演奏を3視点から撮影した映像それぞれをコマ送り再生できる機能, 打鍵間隔や打鍵の強さを可視化する機能を持つ. これにより, 教師は単に映像を見るよりも効率良く生徒の悪癖を発見できる. また, 提案システムは深層学習を用いた悪癖アノテーション機能により, 演奏中に悪癖がある箇所を推定し, 教師の見逃しを防止できる. 一般的な動画再生機能を持つツールを使用した従来手法群と, 提案システムを使用した提案手法群を比較した評価実験の結果, 提案手法群が悪癖発見に役立つことが示唆された.

キーワード: ピアノ学習支援, 悪癖, 複数視点映像, 教師向け支援

Design, Implementation and Assessment of a Support System to Find Bad Fingering Habits for Piano Teachers

RYOTA MATSUI^{1,2,a)} ASAMI HASEGAWA¹ YOSHINARI TAKEGAWA^{1,b)}
KEIJI HIRATA^{1,c)} YUTAKA YANAGISAWA^{2,d)}

Received: July 8, 2019, Accepted: October 3, 2019

Abstract: In this paper, we describe the construction of a support system for piano teachers to find bad fingering habit. It is essential for piano learners to acquire the correct fingering in order to acquire the advanced performance techniques. Since fingering depends on the physical exercise, it is susceptible the physical constitution and playing style of the individual. Therefore, the teacher needs to find and rectify the bad habits related to the learner's fingering. Furthermore, even if learners have bad fingering habits, there are cases in which it sounds as though they are performing well, meaning that the presence or absence of bad fingering habits cannot be judged at one hearing. Therefore, the proposed system has a function that can play back each image captured from 3 viewpoints of the learner's performance frame by frame, and has a function to visualize the keying interval and the keying strength. In addition, the proposed system can prevent a teacher's miss by estimating the place where there is bad fingering habit during performance by the bad habit annotation function using deep learning. As a result of experiments using these functions, it was found that the function of the proposed system helps to detect bad fingering habits.

Keywords: piano learning support, bad habit, multiple view video, support for teachers

¹ 公立はこだて未来大学
Future University Hakodate, Hakodate, Hokkaido 041-8655,
Japan

² m plus plus 株式会社
m plus plus Co., Ltd., Shinagawa, Tokyo 142-0063, Japan

a) g3119005@fun.ac.jp

b) yoshi@fun.ac.jp

c) hirata@fun.ac.jp

d) kani@mplpl.com

1. はじめに

ピアノ演奏者は、繊細な打鍵による演奏表情付け、複数声部の処理、複雑な和音の連打など、高度な演奏技術を要求される。これら高度な演奏技術を実現するためには、正しい指使いを修得する必要がある。なお、本稿における指使いとは運指だけでなく、演奏時の手指のフォーム、手首の形を含む。正しい指使いを修得していない演奏者は、ショパンやリストなどの、オクターブの跳躍や両手の高速なユニゾン奏法が求められる難しい楽曲を楽譜どおりに演奏することすらままならない。手首に悪癖がある場合の例を図1に示す。指の付け根にある第三関節が未発達の場合、演奏者は手首の力で打鍵しようとし、図1に示すように手首が下がったまま演奏してしまう。しかし、手首が下がった状態では打鍵の際に指が十分に上がらないため、高速な打鍵に対応できない。このように、指使いは身体や運動など個人の体格や弾き方に依存し、演奏に大きく影響する。間違った指使いであっても、その場しのぎで個人が弾きやすい指使いを使用すると弾きやすさから、その指使いは演奏の随所に現れる。手首の構造や関節の強さによって定着しやすい悪癖があることは御木本 [1] によって報告されている。これらのことから、指使いに関する悪癖は定着しやすく、定着後に修正することは難しい。そのため、ピアノ教師は生徒個人に合わせて、指使いに関する悪癖を発見し、指導する必要がある。

悪癖の発見手法には、聴覚的アプローチと視覚的アプローチの2種類が考えられる。しかし、以下の理由からピアノ教師が生徒の悪癖を発見することは難しい。

- 聴覚的アプローチ

ピアノ教師が生徒の演奏を聴いて悪癖があるかどうかを判断する。しかし、基礎的な練習曲や簡単な曲の場合、生徒の演奏に悪癖があっても上手く弾けている場合もある。そのため、ピアノ教師が単に一聴しただけでは悪癖の発見が困難である。そのため、本研究では聴覚的な悪癖発見支援はスコープ外とする。

- 視覚的アプローチ

ピアノ教師が生徒の演奏している手指を目視で確認することで、悪癖を発見する。指使いに関する悪癖は演奏者の手指や手首に視覚的に現れる。しかし、演奏中の手指は動きが素早く、また中指や薬指は他の指の死角になることも多い。そのため、ピアノ教師が実時間で単方向から見ただけでは、悪癖の発見が難しい。

そこで本研究では、これらのうち視覚的アプローチに関する問題を解決し、効率的に悪癖を発見できるシステムの構築をめざす。提案システムは、生徒の演奏を可視化することで、教師の効率的かつ詳細な分析をめざす。また、深層学習を用いて生徒の演奏から悪癖が起りやすい箇所を予測する。この予測結果を教師に提示することで、分析に



手首が下がる悪癖

正しい手首のフォーム

図1 悪癖の例

Fig. 1 Example of bad habit wrist.

必要な時間を減らして、教師の負担解消をめざす。

なお、本研究の一部は国際会議にて発表済み [15] であり、本稿ではその内容に加え、ユーザスタディの結果と考察をふまえて実用性を向上させる改良や議論について報告する。

2. 関連研究

2.1 ピアノ学習支援システム

これまでにピアノ学習支援に関する研究は数多く行われてきた [2], [3], [4], [5], [6]。しかし、その多くは学習者に対する支援を対象としており、悪癖に関する学習支援は考慮されていない。ピアニストの弱点克服のための演習自動生成システム [7], [8] が存在する。これらのシステムは演奏者の MIDI データから、ピアニストの苦手箇所を推測する。本研究においては、MIDI データを可視化してピアノ教師に視覚的に提示することで、教師による生徒の悪癖箇所発見を支援する。

2.2 演奏の視覚化

演奏の分析のために、演奏情報（音量、テンポ、手指の動き）を可視化する研究がある。Hiraga [9] は、3D 空間上に演奏を立体的に表現するシステムを構築した。ピアノ教師にとっては楽譜の方が馴染みがあり、立体図形は学習コストが負担となる。そこで本研究では、ピアノ教師の学習コストを考慮し、グラフやヒートマップなどの簡単な提示手法にとどめる。

また、ピアノレッスンの場において生徒の演奏を MIDI データとして記録し、楽譜上に強弱やテンポ、アーティキュレーションなどを表示する研究がある [10]。このような手法は教師が生徒の演奏を客観的なデータとして定量的に確認できる。これらの手法は本研究においても要素技術として直接的に利用できる。

しかし、これらの研究では根本的に悪癖を発見することを考慮していない。悪癖発見の補助的ツールとして、演奏情報を可視化して提示することは効果的といえる。しかし、悪癖の判断自体はピアノ教師が実際の生徒の演奏を多角度から目で見えて判断する。そのため、悪癖箇所発見のための演奏情報の可視化と提示、教師が様々な角度から生徒

の演奏を視覚的に確認できるツールを組み合わせることが重要といえる。

2.3 複数映像提示手法

遠隔ピアノレッスン支援システムである Tel-Gerich [11] では遠隔環境にいる生徒の映像を複数視点から撮影し、ピアノ教師に提示している。Tel-Gerich では様々な演奏ミスを想定し、7台のカメラから撮影しているが、多数の視点を同時に視聴することによる混乱を防ぐため、システムが自動で選択した最適な視点を1つのみ表示している。本研究では、複数視点の中から教師自身が視聴する視点と視点数を自由に選べることにする。本システムは実時間のレッスンではなく、レッスン後に教師が使用することを想定している。そのため、時間をかけてじっくりと好きな視点を吟味し、自由に選択できることが重要といえる。

2.4 深層学習を用いた予測による業務効率化

近年、深層学習を用いた予測によって業務の効率化を図る研究が行われている。仲川ら [13] は病院内において患者の行動を予測することで、医療スタッフの業務効率化を実現させた。このような深層学習を用いた予測手法は、ピアノ指導の現場においても応用できると考えられる。提案システムでは撮影した生徒の演奏をもとに、悪癖出現箇所を予測して、楽譜上にアノテーションを行う。事前に悪癖の出現箇所を予測して楽譜上に表示することで、教師が分析の際に見るべき箇所が減り、生徒1人あたりに必要な分析の時間を短縮できる。教師の分析の負担が減ることで、教師はより多数の生徒を指導したり、生徒1人あたりに詳細な指導をすることができる。そのため、生徒の演奏の映像を入力とした悪癖箇所のアノテーションは、教師向け支援システムを設計するうえで重要であるといえる。

3. ピアノ学習者の指使い観察実験

3.1 実験の目的

ピアノ教師向け指使い悪癖発見支援システムに必要な機能を検討するために、ピアノ教師を対象とした観察実験を実施する。

3.2 データセットの構築

ピアノ教師が分析するためのデータセット構築のために、演奏協力者に課題曲を演奏してもらい、演奏データを取得する。

3.2.1 演奏データの収集

演奏協力者が課題曲を演奏している様子を3視点から撮影し、打鍵時間間隔と打鍵強度、演奏動画を取得した。それぞれの詳細は以下のとおりである。

- 打鍵時間間隔

演奏中に取得した MIDI データから抽出した、打鍵時

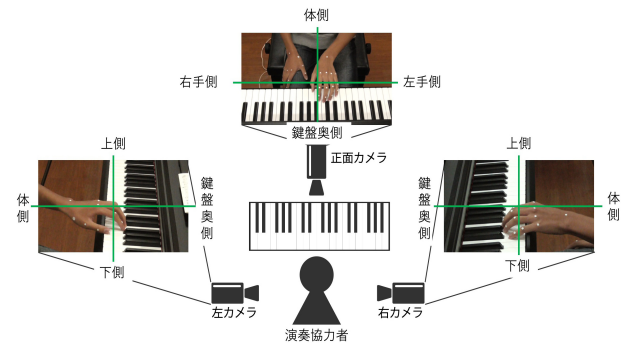


図 2 実験環境

Fig. 2 Experiment environment.

間隔 (IOI, inter-onset interval) である。

- 打鍵強度

演奏中に取得した MIDI データから抽出した、打鍵時の速度 (velocity) である。

- 演奏動画

図 2 に示すとおりビデオカメラ 3 台を演奏協力者の左側・右側・正面にそれぞれ設置して撮影した。

3.2.2 演奏協力者

演奏協力者は 7 歳から 13 歳の小中学生 6 名であった。いずれの演奏協力者も、ピアノコンクール入賞を実績に持つピアノ学習者である。この年頃のピアノ学習者は演奏技術が発展途上であり、かつ手指の筋肉や骨格が成長段階であるため、演奏時に悪癖が現れやすい。そのため、本実験の演奏協力者として妥当である。

3.2.3 課題曲

C. Czerny 作曲の 30 番練習曲第 1 番における、第 1 小節から第 8 小節の上声部旋律を課題曲とした。本課題曲は 5 指をほぼ均等に使用し、指の独立性を向上させる練習曲として広く使われている。また、体格や手の大きさが影響するような演奏技術が必要なく、演奏協力者の年齢差による演奏の差が出にくい。さらに、演奏協力者全員が過去に本課題曲の演奏経験があり、新たに練習をする必要がない。以上の理由から、本課題曲を選定した。

3.2.4 データ収集の流れ

演奏データ収集の一連の流れを以下に記述する。

(1) 演奏協力者に以下のことを教示した。

- 1 分間に 60 拍から 72 拍のテンポで弾くこと
- 打鍵強度は一定に保つこと
- 片手で演奏中は、もう一方の手を膝の上に置くこと
- 楽譜を見ながら演奏してもよいこと

(2) 演奏協力者に右手で課題曲を 3 回最初から最後まで繰り返し弾いてもらった。なお、打鍵ミスがあれば最初から弾き直してもらった。

(3) (2) と同様に演奏協力者に左手で弾いてもらった。

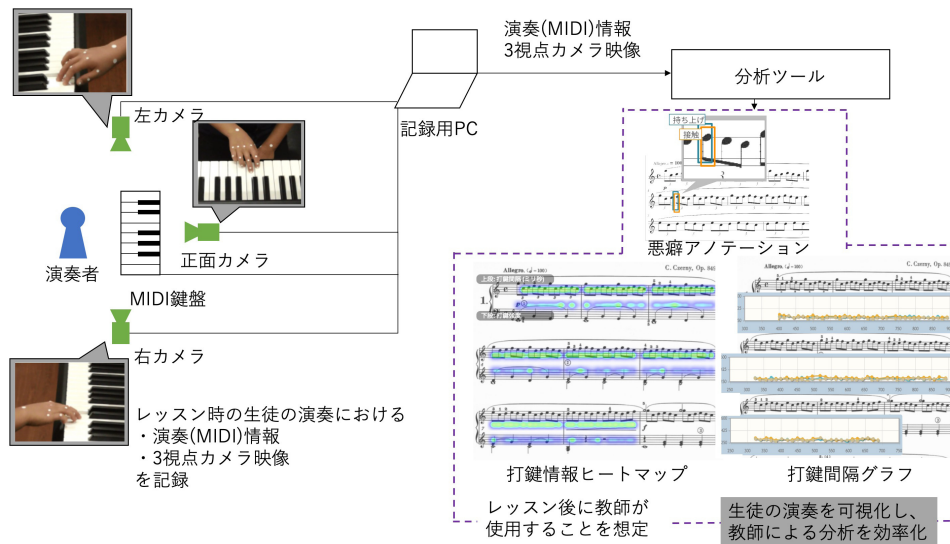


図 3 提案システムの概要

Fig. 3 Overview of the proposed system.

3.3 ピアノ教師による指使い分析

演奏協力者の演奏データを提案システムによる分析ツールで可視化した。提案システムの概要を図 3 に示す。提案システムは記録した生徒の演奏データを、後ほど教師が効率的に分析できるように可視化できる。可視化した結果をピアノ教師に見てもらい、指使いの悪癖を分析してもらった。

3.3.1 ピアノ教師が使用したツール

取得した演奏データを分析するために、以下の 2 つのツールを用いた。

- 演奏情報可視化ツール

図 3 の、打鍵情報ヒートマップと打鍵間隔グラフに示すように、打鍵強度や打鍵時間間隔をヒートマップ、またはグラフの表現形式で楽譜上に重畳してディスプレイに表示できる。ヒートマップの場合は、打鍵時間間隔と打鍵強度を同時に可視化できる。グラフの場合は、打鍵時間間隔と打鍵強度それぞれを別々のウィンドウで表示する。なお、両グラフとも複数の演奏を重ねて表示できる。

- 動画プレイヤー

撮影した演奏動画を視聴するための動画プレイヤーとして、動画編集ソフトウェア TMPGEnc Video Mastering Works 6 を用いた。本ソフトウェアは、通常再生のほか、再生中に動画の拡大・縮小ができる。なお、同時に視聴できる動画は 1 視点のみである。

3.3.2 被験者

400 人以上の指導経験を持つ、教育学部音楽教育専攻ピアノ科の教授 1 名を被験者とした。被験者には、演奏情報可視化ツールおよび動画プレイヤーを使用して各演奏協力者の悪癖を発見してほしいと指示した。また、分析にかかる時間は特に制限を設けず、満足するまで分析してもらった。被験者には課題曲の楽譜をプリントアウトした用紙を渡

し、演奏協力者ごとに悪癖を自由に記述してもらった。実験終了後、被験者に各分析ツールの使用方法や分析方法、動画の注目箇所についてヒアリングした。

3.4 結果

被験者による演奏協力者 6 名両手分の分析後に、被験者から演奏協力者それぞれについて発見した悪癖に関して回答を得た。ヒアリングの自由回答では被験者から、「演奏協力者 1 名両手分の分析には約 3 時間ほど所要し、分析にはまとまった時間と集中力が必要」という回答を得た。長時間におよぶ実験であったが、被験者は最終的に 11 種類の悪癖を発見できた [12]。

また、分析方法に関するヒアリングでは、以下の手順で分析していたとの回答が得られた。

- (1) 演奏情報可視化ツールのグラフから打鍵時間間隔および打鍵強度が一定でない箇所に着目する。
- (2) グラフで着目した箇所に対し正面カメラで撮影した動画を閲覧しながら目視で確認する。
- (3) 左カメラおよび右カメラの映像も閲覧し、何度も同じ演奏箇所を再生し、目視で確認する。
- (4) 悪癖を発見した場合、同様のフレーズや類似の指使いを持つ他の箇所において、悪癖がないか (1)~(3) の手順で確認する。

3.5 考察

被験者は、「打鍵位置が前後に移動して不安定」のように、手が鍵盤の奥側・演奏者の体側の 2 方向、および上下 2 方向へ動く弾き方に注目していた。また、指どうしの接触や指の左右の移動についても注目していた。被験者は、図 2 のように複数の視点から撮影した演奏を閲覧して確認していた。特に親指や小指は他の指に隠れることが多々あ

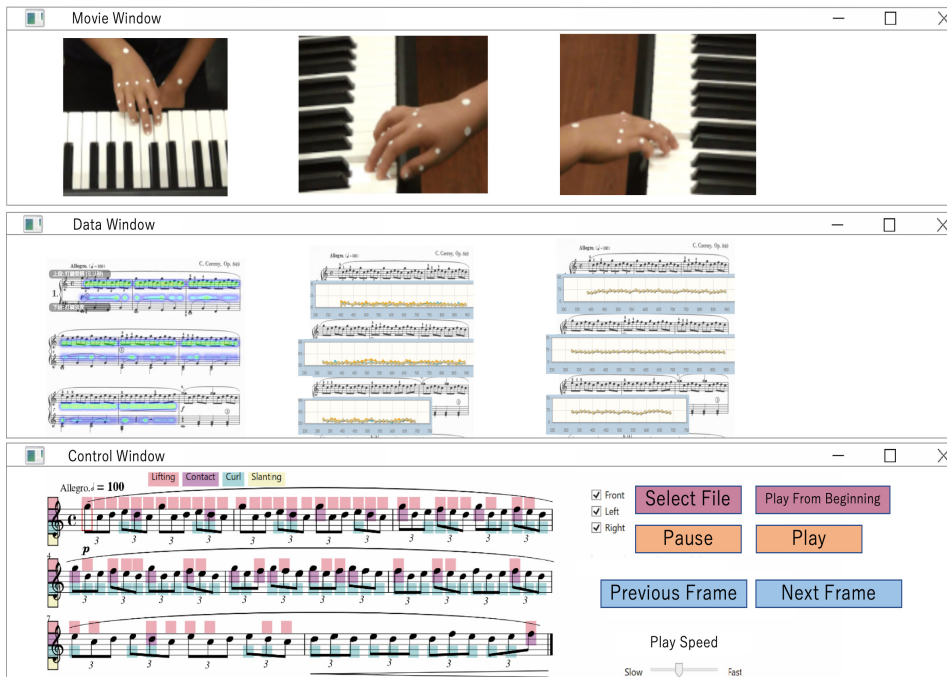


図 4 提案システムのスクリーンショット
Fig. 4 Screen snapshot of the proposed system.

り、正面から撮影した映像だけでは判断しにくいいため、左側および右側から撮影した映像で確認していた。このことから、3 視点の映像を提供したことや、3 視点のカメラアングルは妥当であったといえる。また、被験者からその他のアングルから撮影した映像を見たいという要望はなかった。しかし、分析ツールの使用方法に関するヒアリングにおいて、「3つの視点を同時に閲覧することはできず、その都度、映像を切り替えないといけないため、この点において煩雑さと不便さを感じる」と回答していた。

被験者は最初から最後まで何度も繰り返し映像を見るのではなく、悪癖と判定した類似箇所を中心に探索的に悪癖を発見していた。これに関して理由を尋ねたところ「演奏者によっては全ての音符に同一の悪癖が観測され、個別に悪癖を観測することは煩雑であった」と回答していた。また、悪癖の判定において、ときには動画を見ながら1つ前の打鍵を何度も見返していた。これらをシークバーを使って操作していたが、「シークバーによる動画の再生箇所の操作は難しく、特定の演奏箇所を指定することは難しかった」と被験者は回答していた。さらに、分析方法に関するヒアリングにおいて「打鍵を確認するために再生速度を遅くしたり、悪癖を確認した箇所は早送り飛ばした」という回答や、「スローモーション映像を見ながら詳細に分析したい」という被験者の回答があり、打鍵の直前から離鍵するまでにかけて、多様な再生速度調整が求められる。

加えて、被験者は打鍵時間間隔や打鍵強度のグラフも演奏箇所を特定するために使用しており、悪癖発見において有効な情報といえる。

4. 設計

3章で説明した指使い観察実験をもとに、以下の機能を提案する。

4.1 提案システムの基本機能

4.1.1 複数視点同期再生機能

提案システムのスクリーンショットを図4に示す。提案システムは演奏者の左右正面、計3視点から撮影した演奏動画を同期、再生できる。また、本機能はモードレスウインドウに対応しており、複数の演奏動画を同時に見比べることもできる。

4.1.2 音符単位再生機能

楽譜上のある単一の音符の打鍵の瞬間を再生できる。ここでは打鍵の瞬間とは、当該音符の接鍵（打鍵する鍵盤への接近動作）から離鍵（鍵盤から指を離す動作）のことを指す。

4.1.3 演奏データ可視化機能

演奏時の打鍵時間間隔と打鍵強度を可視化し、折れ線グラフ、およびヒートマップとして表示できる。グラフとヒートマップは、3章の指使い観察実験の際に使用した演奏情報可視化ツールと同じものである。

4.1.4 再生速度調整機能

演奏動画の再生速度を調整できる。

4.1.5 コマ送り再生機能

演奏動画を1コマずつ再生できる。また、コマ送りコマ戻しの両方に対応している。再生方向にかかわらず、1/60秒ごとのコマ送りとなる。

表 1 各悪癖のデータ内の出現回数

Table 1 Number of occurrences of each bad habit.

悪癖名称	訓練データ	テストデータ
接触	711 回	297 回
巻き込み	420 回	165 回
傾斜打鍵	684 回	288 回
持ち上げ	954 回	477 回

表 2 使用可能な機能

Table 2 Available functions.

機能名	提案手法群	比較手法群
複数視点同期再生機能	○	-
音符単位再生機能	○	-
再生速度調整機能	○	○
コマ送り機能	○	○
演奏データ可視化機能	○	-
悪癖アノテーション機能	○	-

コントローラウィンドウ

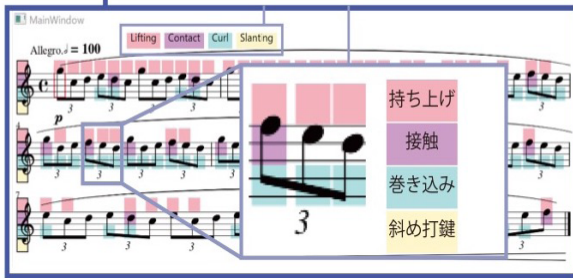


図 5 悪癖アノテーション機能

Fig. 5 Bad habit annotation function.

4.2 悪癖箇所の推測

演奏中の楽曲には類似した箇所が多く、同様の悪癖が複数箇所に発生することがある。しかし、同様の悪癖が複数箇所にある場合、教師がすべての悪癖を見つけることは時間がかかる。3.5 節で述べたように出現頻度が高い悪癖の確認に対して、教師は煩雑さを感じていた。このため、提案システムでは悪癖のある箇所を自動で予測し、譜面上の該当箇所にアノテーションを付与する機能を提供することで、教師による悪癖発見を補助する。

4.2.1 悪癖推測モデル

複数の悪癖が同時に出現することも考えられるため、VGGNet [14] を用いたマルチラベル認識手法を用いた。対象とした悪癖は、悪癖の中でも頻出していた、接触、巻き込み、傾斜打鍵、持ち上げの 4 クラスとした。入力には縦横サイズ 128 pixel の画像と画像内に出現する悪癖のラベルである。入力画像として、3 章で述べたデータセット構築の演奏動画から、打鍵した瞬間のフレームを PNG 形式に出力した画像を生成した。また、出力は 4 クラスにそれぞれ所属する確率である。畳み込み層を 5 層、バッチ正規化層を 6 層、最大値プーリング層を 3 層、全結合層を 2 層にスケールダウンした VGGNet を、4 クラスに所属する計 1,362 枚の画像で訓練し、621 枚を用いてテストした。所属クラスの内訳は表 1 に表す。テストデータによる正答率は 80.44% であった。

4.2.2 悪癖アノテーション機能

提案システムのアプリケーションで表示された譜面上の音符ごとに、図 5 に示すように推測された悪癖の種類のアノテーションを付与する。表示した楽譜の音符ごとに、悪癖の有無とその種類を表示できる。

5. ユーザスタディ

提案システムが、従来の動画再生ツールと比較して悪癖発見に有効であるかを評価するため、提案システムのユーザスタディを実施した。

5.1 被験者

比較手法および提案手法ごとにそれぞれ 2 名ずつ合計 4 名の被験者に参加してもらった。また、一度実験に参加した被験者は他の比較対象の実験には参加せず、実験はすべて異なる被験者により実施された。被験者は、ピアノレッスンを個別に受講するなど専門的な教育をうけた 20 代の大学生計 4 名である。

5.2 使用可能な機能

表 2 に示すように、各群ごとに使用できる機能を制限している。

- 提案手法群

4 章で述べた提案システムの全機能を自由に使用できる。

- 比較手法群

提案システムの機能のうち、再生速度調整機能とコマ送り再生機能のみ使用できる。その他の提案システムの機能は使用できない。

5.3 課題曲

3 章と同様の課題曲を利用した。被験者に悪癖を確認してもらった映像は 3 章の実験で記録した演奏協力者 1 名の演奏を利用した。

5.4 ユーザスタディの流れ

実験者は提案手法群、比較手法群それぞれで使用できる機能の使い方を被験者に説明し、被験者が各種機能の使い方を理解したことを実験者は確認した。課題曲の楽譜が掲載された悪癖記述用紙を用意し、被験者に発見した悪癖の種類および悪癖に該当する指を記述してもらった。なお、悪癖は図 6 に示す 4 種類であり、4 種類の悪癖がどのようなものであるか動画を見せながら説明した。いずれの被験者もピアノ経験者であるため、4 種類が悪癖であることは容



図 6 動画内に出現する 4 種類の悪癖

Fig. 6 4 types of bad habits that appear in videos.

表 3 被験者の予測結果と正解データの分割表

Table 3 Prediction result and correct data table.

被験者の 予測結果	正解データ		
		正	負
	正	TP (True Positive)	FP (False Positive)
負	FN (False Negative)	TN (True Negative)	

易に理解できた。制限時間は楽曲の長さとお癖の種類を考慮して最長 1 時間とし、お癖をすべて発見したと自己申告があった場合はその時点でユーザスタディを終了する旨を説明した。

5.5 結果

正解データは、3 章に記述した観察実験においてピアノ教師がお癖と判断したデータを利用した。被験者のお癖記述用紙の結果と正解データを照らし合わせて、正解率・再現率・適合率・F 値を算出した。これら評価指標値の算出方法は以下のとおりである。

- (1) 各被験者が予測した楽譜内のお癖箇所と種類をペアとしてカウントする。
- (2) (1) でカウントした結果と正解データを比較する。
- (3) 表 3 のように被験者の予測結果と正解データからスレットスコアを算出する。
- (4) 算出したスレットスコアから、正解率・再現率・適合率・F 値を求める。それぞれの項目は以下の式で算出した。

$$\text{正解率 (accuracy)} = \frac{TP + TN}{TP + FP + TN + FN}$$

$$\text{再現率 (recall)} = \frac{TP}{TP + FN}$$

$$\text{適合率 (precision)} = \frac{TP}{TP + FP}$$

表 4 群ごとの各評価指標の平均値

Table 4 Average value of each evaluation index for each group.

	提案手法群	比較手法群
正解率	0.64	0.30
再現率	0.64	0.30
適合率	0.71	0.70
F 値	0.67	0.42

$$F \text{ 値} = \frac{2 * \text{precision} * \text{recall}}{\text{precision} + \text{recall}}$$

表 4 に各評価指標の平均値を示す。

5.6 考察

提案手法群では、正解率と再現率の平均値が比較手法群の 2 倍以上の数値となった。このことから、提案システムの機能がお癖発見に有効であると推察できる。両群の操作ログを分析したところ、比較手法群ではほぼすべてのログが事細かに再生と停止を繰り返しているものだった。一方で、提案手法群では音符単位再生機能とコマ送り再生機能の使用がログ全体の 7 割近くを占めていた。また、ユーザスタディ後に実施したヒアリングでは、提案手法群の両者とも「お癖アノテーション機能の結果をもとに、お癖箇所の目安を立てていた」と回答した。以上のことから、ユーザはお癖アノテーション機能によりお癖出現箇所を推測してから、音符単位再生機能やコマ送り再生機能を使用して動画を閲覧してお癖を発見していた。音符単位再生機能やコマ送り再生機能はお癖発見には有効であるが、動画すべてを閲覧するには時間がかかる。しかし、お癖アノテーション機能を使用することで、あらかじめお癖出現箇所の目安を立てられるため、お癖発見にかかる時間を短縮できる。そのため、これら両機能を組み合わせて使用することにより、従来手法よりも効率的にお癖を発見できたと推察できる。

6. おわりに

本稿では、ピアノ教師向けお癖発見支援システムの構築と評価について記述した。複数の演奏協力者の演奏をもとに、現役ピアノ教師の分析とその手法を観察した。観察結果をもとに提案システムの機能を設計した。提案システムは、複数視点同期再生機能や音符単位再生機能、演奏データ可視化機能など、視覚的アプローチによりピアノ教師のお癖発見を補助する。さらに、お癖の種類と出現箇所を自動で楽譜上にアノテーションする機能を持つ。実際に提案システムを用いてお癖を発見するユーザスタディの結果、提案システムを使用した提案手法群においてお癖発見の効率化が示唆された。

今後は、同一の課題曲において被験者の人数を増やすと同時に各機能ごとにお癖発見への影響を評価する必要がある。

る。また、ユーザスタディでは4種類の悪癖を発見してもらったタスクを実施したが、その他の悪癖を発見するタスクを実施する必要がある。各機能の悪癖発見への影響を調査し、よりシステムの機能を悪癖発見に有効となるよう改善する必要がある。

謝辞 研究を通じて議論、および悪癖の分析・分類についてご協力いただきました兼重直文教授（三重大学）に感謝いたします。

参考文献

- [1] 御木本澄子：正しいピアノ奏法，音楽之友社（2004）。
- [2] Rogers, K. et al.: P.I.A.N.O.: Faster Piano Learning with Interactive Projection, *Proc. 9th ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces*, pp.149–158 (2014).
- [3] Raymaekers, L., Vermeulen, J., Luyten, K. and Coninx, K.: Game of Tones: Learning to Play Songs on a Piano Using Projected Instructions and Games, *Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp.411–414 (2014).
- [4] Takegawa, Y., Terada, T. and Tsukamoto, M.: A Piano Learning Support System Considering Rhythm, *Proc. International Computer Music Conference*, pp.326–332 (2012).
- [5] Takegawa, Y., Tsukamoto, M. and Terada, T.: Design and Implementation of a Piano Practice Support System using a Real-Time Fingering Recognition Technique, *Proc. International Computer Music Conference*, pp.1–8 (2011).
- [6] Dannenberg, R.B., Sanchez, M., Joseph, A., Capell, P., Joseph, R. and Saul, R.: A Computer-based Multi-media Tutor for Beginning Piano Students, *Journal of Interface*, Vol.19, No.2-3, pp.155–173 (Jan. 1990).
- [7] Mukai, M., Emura, N., Miura, M. and Yanagida, M.: Generation of Suitable Phrases for Basic Training to Overcome Weak Points in Playing the Piano, *Proc. International Congress on Acoustics*, MUS-07-018 (2008).
- [8] Kitamura, T. and Miura, M.: Constructing a Support System for Self-learning Playing the Piano at the Beginning Stage, *Proc. International Conference on Music Perception and Cognition*, pp.258–262 (2006).
- [9] Hiraga, R., Mizaki, R. and Fujishiro, I.: Performance Visualization: A New Challenge to Music Through Visualization, *Proc. ACM International Conference on Multimedia*, pp.239–242 (2002).
- [10] Smoliar, S.W., Waterworth, J.A. and Kellock, P.R.: pianoFORTE: A System for Piano Education Beyond Notation Literacy, *Proc. ACM International Conference on Multimedia*, pp.457–465 (1995).
- [11] Matsui, R., Takegawa, Y. and Hirata, K.: Tel-Gerich: Remote Piano Lesson System Considering Joint Attention and Automated Camera-Switching, *Journal of Human Interface Society*, Vol.20, pp.321–332 (2018).
- [12] 兼重直文：ヒートマップと動作追尾によるピアノ演奏基礎能力に関する研究（中間報告），日本音楽表現学会第15回大会，p.130 (2017)。
- [13] 仲川正則，齊藤 葵，村上和哉，谷口 竜，黒田裕芳，伊藤政彦，矢嶋知己，秦 史壯，中西崇文：病院内行動ログおよび属性情報を用いた行動予測手法の実現，人口知能学会第33回全国大会，Vol.33 (2019)。
- [14] Simonyan, K. and Zisserman, A.: Very deep convolu-

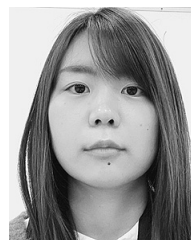
tional networks for large-scale image recognition, *InICLR* (2015).

- [15] Hasegawa, A., Takegawa, Y. and Hirata, K.: Design and Implementation of a Support Tool to Find Bad Fingering Habits for Piano Teachers, *Proc. International Conference on Music Perception and Cognition*, pp.1–6 (July 2018).



松井 遼太 （正会員）

2016年公立ほこだて未来大学システム情報学部情報アーキテクチャ学科卒業。2018年同大学大学院博士前期課程システム情報科学研究科修了。同年民間企業でソフトウェアエンジニアとして勤務。2019年公立ほこだて未来大学大学院博士後期課程システム情報科学研究科に入学。また、同年 m plus plus 株式会社研究員。ヒューマンコンピュータインタラクション、音楽情報科学に関する研究に従事。



長谷川 麻美

2017年公立ほこだて未来大学システム情報学部情報アーキテクチャ学科卒業。2019年同大学大学院博士前期課程システム情報科学研究科修了。



竹川 佳成 （正会員）

2007年大阪大学大学院情報科学研究科博士課程修了。同年神戸大学自然科学系先端融合研究環重点研究部助教。2012年公立ほこだて未来大学システム情報学部助教。2014年公立ほこだて未来大学システム情報学部准教授，現在に至る。2011年にはMIT Media Lab. で Assistant Visiting Professor を兼務。博士（情報科学）。ヒューマンコンピュータインタラクション，エンタテインメントコンピュータインテグレーション，音楽情報科学の研究に従事。



平田 圭二 (正会員)

1987年東京大学大学院工学系研究科情報工学専門課程博士課程修了。工学博士。同年NTT基礎研究所入所。1990～1993年(財)新世代コンピュータ技術開発機構(ICOT)に出向。2011年より公立ほこだて未来大学教授。

1993年音楽情報科学研究会初代主査。2005～2007年および2011～2013年本会理事。2010～2015年デジタルプラクティス誌編集委員長。現在、音楽情報学に加え、うつ病家族看護者のICT支援、スマートシティの研究に従事。本会フェロー、本会シニア会員。



柳沢 豊 (正会員)

1998年大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年NTT基礎研究所入所。NTTコミュニケーション科学基礎研究所を経て、2013年よりm plus plus株式会社CTO。LED衣装システムの開発、情報科学のエンタテインメント分野への応用、センサネットワークおよびプログラミング言語の研究業務に従事。博士(工学)。IEEE会員。

1998年大阪大学大学院工学研究科博士後期課程修了。同年NTT基礎研究所入所。NTTコミュニケーション科学基礎研究所を経て、2013年よりm plus plus株式会社CTO。LED衣装システムの開発、情報科学のエンタテインメント分野への応用、センサネットワークおよびプログラミング言語の研究業務に従事。博士(工学)。IEEE会員。