

ピアノ教室のレッスンを補完する宿題練習支援システム
の実証実験における AI 採点の評価

Evaluation of Piano AI Scoring in a PoC Experiment
for a Homework Practice Support System that Complements Piano Classroom Lessons

細田 真道¹⁾
Masamichi Hosoda

小林 丈之¹⁾
Takeyuki Kobayashi

本村 愛真²⁾
Ami Motomura

笹生 恵理²⁾
Eri Sasao

福田 優子²⁾
Yuko Fukuda

福田 成康³⁾⁴⁾
Seikoh Fukuda

夏川 勝行¹⁾
Katsuyuki Natsukawa

1 はじめに

一般的なピアノ教室では、生徒はピアノがある教室で指導者から週 1 回 30 分程度のレッスンを受け、指導者は教本からいくつかの曲を宿題として課し、生徒が自宅ピアノで毎日練習するよう求める [1]。特に新しい曲は次回レッスンまでに譜読み [2] してくる、つまり一通り楽譜通りに弾けるが、まだ音楽的な表情付けはできなくてもよい、ところまで練習してくるよう求める。そして、次のレッスンでは生徒が譜読みできる（楽譜通り弾ける）ことを前提に、曲に表情付けして演奏するなど指導者がいるからこそできる音楽的指導に進む。

生徒の自宅練習では、指導者が不在のため生徒が自ら演奏の良否を判断し間違いがあれば修正を図り、楽譜通り弾けるまで繰り返し練習する必要がある。しかし、ピアノ導入期である小学校入学前後やピアノ初心者の生徒は、自分で演奏良否の判断が付かない、間違いを認識できないことが多い。間違いがわからないと、間違っまま練習をしたり、間違いを修正せず短時間で練習を終えてしまったりして、譜読みできないまま次のレッスンを迎えてしまう [3, 4]。すると指導者は限られたレッスン時間を間違いの修正や譜読みの補助に費やさざる得なくなり、表情付けなどの音楽的指導にかけられる時間が少なくなる。これにより指導者には負荷がかかるだけでなく、生徒は上達に時間を要するため向上心を削がれ、さらには保護者の不満を招くこともある。我々はこうしたピアノ指導者の存在を前提とした教室でのレッスンを補完するため、生徒が課された譜読みをはじめとする自宅での宿題練習を支援することで、生徒は次のレッスンまでに譜読みできるようになり効果的な上達を、指導者は貴重なレッスン時間を表情付けなどの音楽的指導に専念できるようになり負荷軽減を、そしてこれらによって保護者は満足度向上を、それぞれ図ることができる hiketa (仮称) システムの実現を目指している。

本稿では、まずピアノ導入期である小学校入学前後やピアノ初心者など自分で演奏良否の判断ができない生徒

- 1) 東日本電信電話株式会社 デジタル革新本部 デジタルデザイン部。Digital Design Department, Digital Transformation Headquarters, NTT East Corporation.
- 2) 株式会社 東音企画。TO-ON Kikaku Co., Ltd.
- 3) 一般社団法人 全日本ピアノ指導者協会 ピティナ音楽研究所。PTNA Research Institute of Music, The Piano Teachers' National Association of Japan.
- 4) 慶應義塾大学 大学院 システムデザイン・マネジメント研究科。Graduate School of System Design and Management, Keio University.



図 1 システムの楽譜選択画面

を対象とし、週 1 回 30 分の教室でのレッスンと自宅での宿題練習という従来からの形態は維持したまま、生徒の自宅練習における演奏良否を生徒へフィードバックし修正を促す AI 採点機能 [5, 6]、自宅練習での演奏回数を生徒自身や保護者、指導者に対して可視化し回数増を促す機能、練習開始などシステム使用によるポイント付与や指導者からのボーナスポイント付与によるインセンティブで練習頻度増を促す機能をもったシステムを提案、構築する (図 1)。そして生徒 83 名、指導者 46 名による約 4 か月半にわたる実証実験 [7] により評価を行い、AI 採点がピアノ上達に資することを示す。

2 関連研究

本稿の提案システムはピアノ指導者の存在が大前提であり独習システムではない。指導者による毎週 30 分の教室でのレッスンとシステムによる自宅での宿題練習とで役割分担する、つまり指導者は表情付けなどの音楽的指導に専念し、システムは楽譜通り弾ける譜読みできることと練習回数や頻度の増を図ることに特化することで、ピアノの効果的な上達に資するという点が他の関連研究と大きく異なる。さらに実証実験をピアノ導入期の生徒とその指導者を募り実施しており、本物の生徒・指導者によるこれだけの規模の実証実験は希少である。

ピアノなど鍵盤楽器の学習を支援する研究はいくつか提案されている。例えば鍵盤や周辺に映像を投影して支援する研究 [8] がある。本稿のシステムは一般的な生徒の自宅練習で使用するため、ピアノの他はタブレット端末やスマートフォンなど広く普及している端末のみで動作しプロジェクタなど大がかりな装置構成を必要としない。生徒演奏の間違いを判定するためには楽譜上のどこを演奏しているのか判断する楽譜追跡が必要となり、例えば隠れマルコフモデル (HMM) を用いて弾き直しや弾き飛ばしに追従した楽譜追跡を行う研究 [9] がある。HMM は確率モデルであり通常のピアノ指導者やピアノ教材作成者が判定用モデルを作成することは困難である。本稿のシステムはある程度の長さがある一つの曲そ



図 2 生徒自宅でのシステム使用形態

教本	曲	フレーズ	A コース	B コース
ベーシックス	56	146	644	446
オールインワン	43	132	578	396
他の楽譜	0	0	0	0

表 1 教本毎の曲数, フレーズ数, コース数

のものの判定ではなく, 短い練習フレーズの判定を行えばよいため弾き直しや弾き飛ばしが発生する余地がほとんどなく, より単純な DP マッチングを用いたモデルの作成を容易なものとする. ピアノ学習と誤り評価の例として, ピアノ演奏の学習の過程を記録して間違い演奏を評価した研究 [10] がある. これは練習時間の間, 収録し続けた連続的なデータを後から分析している. 本稿のシステムは演奏後すぐに間違い判定してフィードバックし, 演奏したフレーズに応じた練習方法やより簡単な曲で構成された「コース」へ誘導することで, その場で間違いを修正して再度チャレンジする練習を促すことができる. 誤りを演奏者へフィードバックして効果を評価するピアノ練習支援の例として, 演奏を分析し誤りを楽譜表示する研究 [11] がある. 本稿のシステムは小学校入学前後の生徒を対象としており, 詳細な誤りを表示しても生徒本人に理解してもらえない可能性が高いため, 誤りの指摘は小節単位で何小節目が間違っていたかという表示にとどめ, その代わりにコースへ誘導することで間違いの修正を図る練習ができるようにしている.

本システムのピアノ AI 採点は文献 [5] の技術を元に生徒の対象年齢および教本の難易度を下げたための改良をした. 機械学習などの学習に基づくものではなく, 生徒演奏をあらかじめ用意した正しい演奏のモデルとパターンマッチング [12] し, あらかじめ熟練したピアノ教材作成者が定めたルールに基づいて判定することで, 正しく弾けたか, あるいはどのように間違ったか判断して表示するものである. これにより元々は音楽的知識や能力を持った人間が判断していた演奏良否を「人間と同じ知的作業をする機械を工学的に実現する技術」[13] である AI として判断できるようにしたものである.

3 提案システム

3.1 対象および使用形態

提案システムはピアノ導入期である小学校入学前後やピアノ初心者など自分では演奏良否の判断ができない生徒を対象とする. 週 1 回 30 分の教室でのレッスンと自宅での宿題練習という従来からの形態は維持する. 通常のレッスンで使用する紙冊子による教本はそのまま利用することで, 指導者は従来からの指導方法を大きく変更することなく容易に本システムを導入・併用できるようにする. 教本としては導入期向けの 2 種類 [14, 15] を選定し, どちらかを使用したレッスンをしている指導者・

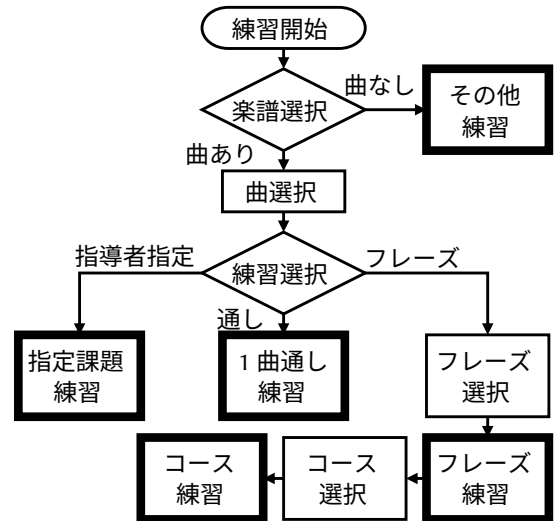


図 3 生徒の操作フロー

生徒が本システムの利用対象となる. 前者 (以下, ベーシックス) に 45 曲, 後者 (以下, オールインワン) に 43 曲が収録されている.

図 2 に生徒自宅でのシステム使用形態を示す. 本システムは生徒の自宅でも広く普及しているタブレット端末やスマートフォンなど (以下, 端末) で動作するものとし, ピアノ譜面台にレッスンで使用している紙冊子の教本と, 本システムが動作する端末の両方を置いて, 併用する形で使用する. ピアノは普段練習に使用している通常のもので構わないが, AI 採点機能のみ MIDI 出力できるピアノ (以下, MIDI ピアノ) が必要となる.

3.2 コンテンツ

選定した教本に収録されている曲毎に, おおむね 4 小節毎で区切った部分練習用のフレーズを用意した. 例えば 1 曲が 4 小節の曲は曲全体がそのまま 1 フレーズ, 16 小節の曲は音楽的に意味のあるところで区切り 4 フレーズに分割した. さらに, フレーズ毎にフレーズに応じた練習方法や簡単な曲での練習を促す「コース」のコンテンツを用意した. A コースは, 弾いている曲を用いた練習方法, B コースは, 同じ要素を用いた簡単な曲とし, 1 フレーズにつき両コースそれぞれ複数用意した. また, 選定した教本以外の練習を記録するため「他の楽譜」という選択肢を設けるが曲以下は収録しない. 表 1 に教本毎の曲数, フレーズ数, コース数を示す.

3.3 システム構成

本システムは Web アプリケーションとして端末のブラウザで動作する. 生徒・指導者には各々の ID を埋め込んだ URL を用意, Lua \LaTeX で URL の二次元コードと利用規約が入った PDF を生成して配布し, 端末で二次元コードを読み取ることで使用できる. AI 採点を使用する場合はブラウザの Web Bluetooth API を用い, BLE-MIDI でピアノと接続する. MIDI ピアノが BLE-MIDI 非対応の場合は, BLE-MIDI 変換アダプタを介して BLE-MIDI 接続する. なお, ブラウザの Web MIDI API にも対応し, 端末とピアノを USB ケーブルで直接接続する USB MIDI 接続もできる. 端末のマイクで練習の演奏を録音する機能もある.

3.4 使用方法

3.4.1 生徒

生徒の操作フローを図 3 に示す。太枠で示した部分が実際にピアノを演奏する練習を、それ以外は何の練習をするか選択をするものである。なお、生徒向けの文言は、低年齢の生徒を考慮しひらがなを多用した平易な表現としており、本稿での表現とは一部異なる。

まず、練習開始すると「楽譜選択」(図 1)となる。ここでシステムに曲が収録されているベーシックスまたはオールインワンを選択(曲あり)すると「曲選択」へ、収録されていない他の楽譜を選択(曲なし)すると「その他練習」へ遷移する。「曲選択」は教本の収録曲一覧が選択肢として示され、練習する曲を選択すると「練習選択」へ遷移する。「練習選択」は、選択した曲を教本で開いたイメージを表示して併用する教本の物理的なページを開くことを促し、指導者から指定された課題の練習を選択すると「指定課題練習」、1 曲通しの練習を選択すると「1 曲通し練習」、1 曲を分割したフレーズでの部分練習を選択すると「フレーズ選択」へ遷移する。「フレーズ選択」は曲のフレーズ一覧が選択肢として示され、練習するフレーズを選択すると「フレーズ練習」へ遷移する。「コース選択」は練習したフレーズに紐づいたコースが選択肢として示され、コースを選択すると「コース練習」へ遷移する。

実際にピアノを演奏する練習のうち、「その他練習」「指定課題練習」「1 曲通し練習」「コース練習」は、選択した曲・フレーズ・コースを画面で示して演奏させ、演奏したら「ひいた♪」ボタンをタップすることで自己申告による演奏回数としてカウントする。「フレーズ練習」は、画面の楽譜イメージへ、どこを弾けばよいか赤枠で囲って示して演奏させ、AI 採点对応の場合は AI 採点を実施して結果の表示が、非対応の場合は自己申告による結果の登録ができ、演奏回数をカウントした上で「コース選択」へ遷移する。

また、開始操作や練習などに応じてポイントを付与する。画面には常に演奏回数とポイントを表示するとともに、練習終了時には、その日の練習時間が何分であったか表示し、生徒の練習へのモチベーションを向上させるインセンティブとした。

3.4.2 指導者

指導者画面には指導する生徒の演奏回数、ポイント、練習時間を表示し、生徒の努力に応じてボーナスポイントを付与できる機能を用意した。これにより、生徒がどの程度の頻度・回数・時間の練習をしているのか把握でき、次回レッスン内容を組み立てる参考にできるだけでなく、ボーナスポイントによって生徒のモチベーションを向上させるインセンティブとなるようにした。

3.5 AI 採点

文献 [5] の技術を元にするが、より低年齢・低難易度を対象としたためフレーズ内の音符の数が少なく、それに伴って間違いバリエーションも少なくなるため、正しい演奏のモデルのみ使用する。また、低年齢の生徒は、自らの演奏の間違いが分からないだけでなく、詳細な誤りの指摘を表示しても理解できない可能性が高い。そこで誤りの指摘は小節単位で何小節目が間違っていたかにとどめて「コース」の練習へ誘導することで修正を促し、再度 AI 採点にチャレンジすることを繰り返して正

ISO 週番号*	初回ログイン人数	累積ログイン率
2023-W41	34	41%
2023-W42	25	71%
2023-W43	16	90%
2023-W44	1	92%
2023-W45	1	93%
2023-W46	4	98%
2023-W47	2	100%

表 2 生徒の初回ログイン週と人数、累積ログイン率

しく演奏できるように図る。音楽的な表情付けなどは指導者がレッスンで指導する分担であり、本システムの分担は譜読みできること、つまり楽譜通り機械的に弾けていることを判定すればよいので、モデルは LilyPond[16] で作成した機械的な演奏の SMF[17] とする。生徒演奏も同じく SMF 化し、DP マッチング [12] により生徒演奏とモデルで音符の対応関係を認識する。

SMF 同士の距離計算 [5] 結果が閾値より大きい場合は選択したフレーズとは違うフレーズを演奏したとみなして間違っている旨を表示する。閾値より小さい場合は次に進み、マッチングで一致した(対応が取れた)最初と最後の音符の時刻からテンポを推定し、許容範囲を逸脱していた場合は、もっと速く・遅く弾くことを促す表示をする。テンポが許容範囲内であれば次に進み、マッチングで削除された(弾かなかった)音符、挿入された(余計に弾いた)音符があったら、あるいはテンポ補正した打鍵間隔 [5] が許容範囲を逸脱した音符があったら、該当の音符が位置する小節が間違っている旨を表示する。いずれの間違いも検出されなかったら正しく演奏できた旨の「ひけました!!!」を表示する。許容範囲などのパラメータはピアノ指導経験がある熟練したピアノ教材作成者により教本・曲・フレーズ毎の指導方針を定めて設定し、試奏を繰り返して意図した判定ができるよう調整した上で決定した。

4 評価実験

4.1 実験方法

実証実験の期間は 2023 年 10 月から 2024 年 2 月とし、選定した教本を使用している指導者に対し実証実験の参加募集をした [18]。条件として生徒自宅にインターネット接続できる無線 LAN があること、期間中に本システムを使用して練習することを必須とし、AI 採点できる MIDI ピアノは推奨にとどめた。その結果、生徒・指導者あわせて 100 名を超える参加者を得た。参加者には指導者を通じ本システムを利用するための二次元コードが入った PDF を配布した。また、BLE-MIDI 非対応の MIDI ピアノを持つ生徒には、BLE-MIDI 変換アダプタを貸与し AI 採点できるようにした。さらに、一部の希望する参加者にはタブレット端末を貸与した。

システムで取得したログデータから AI 採点有無による生徒の練習回数などの行動、生徒やフレーズによる AI 採点の正解率やその変化を分析することによって、AI 採点がピアノ上達に資するか評価する。有意差検定は有意水準 5% とする。また、実験の期間終了後にアンケートを実施し AI 採点について質問をした。

* 2023-W41 のような表記は ISO 8601 週番号の 2023 年第 41 週を意味し、これは 2023 年 10 月 9 日(月)からの 1 週間のことである。

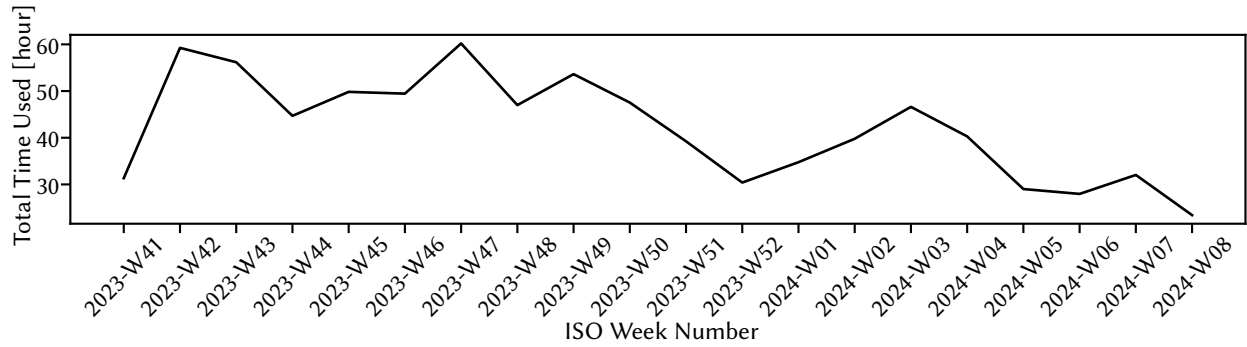


図 4 生徒の本システム利用時間合計

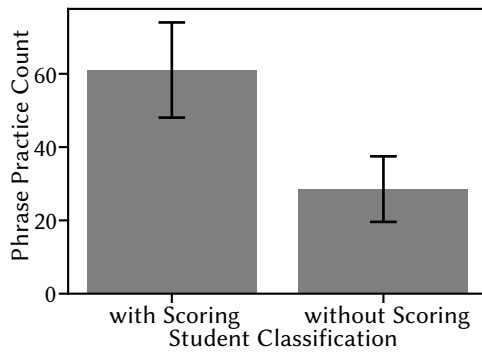


図 5 フレーズ練習回数の平均と標準誤差

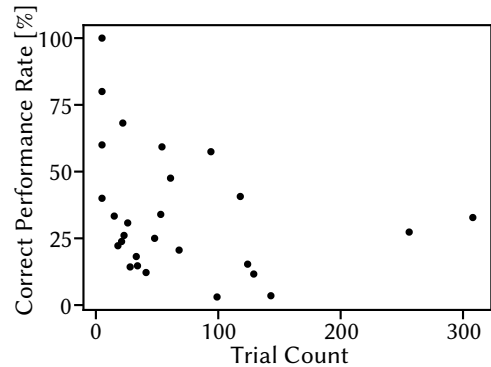


図 6 AI 採点の正解率と実施回数の散布図 (生徒)

4.2 実験結果

4.2.1 システム利用時間

期間中に本システムへログインした生徒は 83 名であった。うち、AI 採点を実施した生徒は 32 名、AI 採点非対応ピアノのため AI 採点を実施せずに演奏練習をした生徒は 45 名、ログインしたが演奏練習しなかった生徒は 6 名であった。表 2 に生徒の初回ログイン週と人数を示す。生徒のログイン情報である二次元コードは指導者を通じて配布したため、生徒によって受け取った時期が異なること、また保護者など家庭の都合の影響を受けることなどから、生徒によってシステム利用開始時期が異なる。第 1 週 2023-W41 に最初の生徒ログインがあり、第 3 週 2023-W43 までに約 9 割の生徒、第 7 週 2023-W47 までに全生徒 83 名が初回ログインした。

図 4 に全生徒の本システム利用時間合計を週毎を示す。最終週は 2024 年 2 月末日を含まない最後の週である第 20 週 2024-W08 とした。生徒によって教本の進度はまちまちで、利用開始時に対象の教本を始めたばかりの生徒もいれば、既に修了に近い状態の生徒もいる。教本が修了した生徒の多くはシステムから離脱していくこと、期間中は新たな参加者を募らなかったことから利用時間はおおむね減少していく傾向となった。一方、第 1 週 2023-W41 はまだ利用開始していない生徒が多いため、2023-W52 付近は年末年始のため、傾向よりも利用時間が少ない結果となった。

4.2.2 フレーズ練習回数

図 5 に AI 採点利用有無によるフレーズ練習回数の比較を示す。with Scoring は AI 採点を利用した 32 名、without Scoring は利用しなかった 45 名で、縦軸にフレーズ練習回数の平均と標準誤差を示している。これらの母平均の差を独立した 2 標本の t 検定 (等分散を仮定

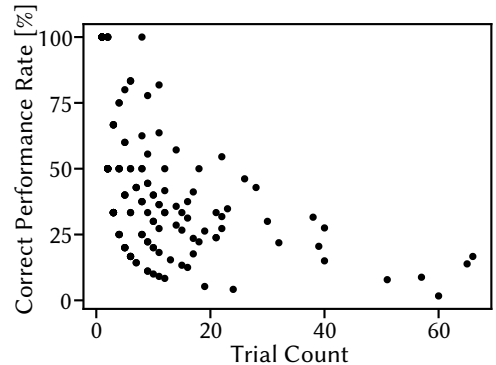


図 7 AI 採点の正解率と実施回数の散布図 (フレーズ)

しない片側検定) で比較すると有意差あり ($p = 0.02$) となり、AI 採点を利用した生徒の方が利用しなかった生徒よりもフレーズ練習の回数が有意に多いと言える。

4.2.3 AI 採点の正解率と実施回数

AI 採点について、各生徒の正解率を縦軸、実施回数を横軸としてプロットした散布図を図 6 に示す。これはスピアマンの順位相関係数が -0.42 で負の相関、有意差あり ($p = 0.03$) となった。よって、正解率が高い生徒は実施回数が少なく、正解率が低い生徒は実施回数が多い傾向があると言える。

同様に、各フレーズをプロットした散布図を図 7 に示す。これはスピアマンの順位相関係数が -0.60 で負の相関、有意差あり ($p = 1.2 \times 10^{-16}$) となった。よってこちらも正解率が高いフレーズは実施回数が少なく、正解率が低いフレーズは実施回数が多い傾向があると言える。

4.2.4 正解するまでの AI 採点実施回数の変化

図 8 に初正解までに要した AI 採点回数の累積割合が、週毎にどのように変化したか示す。これは AI 採点を利

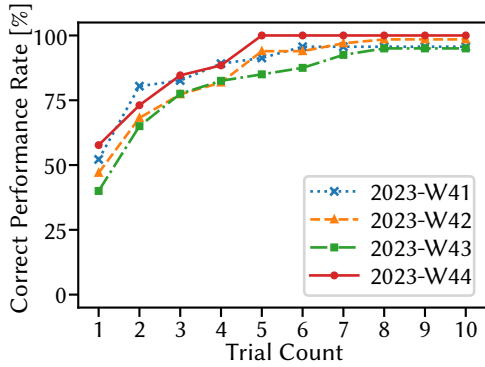


図8 初正解までに要したAI採点回数の累積割合

用した生徒32名とフレーズ数278の組み合わせ8,896通りのうち、まず第1週2023-W41に1回目のAI採点をして翌週までに正解に至った46件を追跡し、1回目で正解した24件より約52%、2回目で正解した13件より累積37件約80%、のように10回目までプロットし、同様に第2週2023-W42から第4週2023-W44に1回目のAI採点をして翌週までに正解に至ったものをそれぞれ追跡してプロットしたものである。第1週と第2週は表2の通りまだ利用生徒が少ないため、9割以上の生徒が利用開始した第3週2023-W43と翌第4週2023-W44における5回目の正解率について、母比率の差をz検定(片側検定)で比較すると有意差あり($p = 0.02$)となった。よって第3週よりも第4週の方が少ない回数で正解にたどり着くようになったと言える。

4.2.5 アンケート結果

図9にAI採点を使用した生徒とその保護者、AI採点を使用した生徒を指導した指導者から得られた、AI採点の有効性に関するアンケート結果を示す。図は縦破線が中立の位置で横軸のゼロ点であり、右側が中立回答(灰色)の半分と有効性を認める回答(青系色)の人数、

左側が同様に中立回答(灰色)の半分と有効性を認めない回答(赤系色)の人数を示している。生徒・保護者はいずれの質問でも半数以上が有効性を認める回答をしており、指導者も右側の有効性を認める回答が多かった。一方、図10に示す、AI採点を使用した生徒とその保護者から得られた、AI採点に対する所感に関するアンケート結果では評価が分かれた。

4.3 考察

図5で示したように、AI採点を利用した生徒の方が利用しなかった生徒よりもフレーズ練習の回数が有意に多いことから、AI採点があることでピアノ練習の演奏回数や頻度を増加させることができ、練習量が増えることでピアノの上達を促すことができたと考えられる。

練習量が増えた理由は、図6,7で示したように、正解率が低い生徒、正解率が低いフレーズほどAI採点の実施回数が多い傾向があるため、システムで間違いを指摘されると「コース」練習などで演奏の修正を図り、正解するまで繰り返しAI採点にチャレンジするような行動になったと考えられる。正解率が高い生徒、正解率が高いフレーズは生徒のレベルが高い、あるいはフレーズの難易度が低くて簡単に弾け、少ない回数で正解にたどり着くため実施回数が少ないと考えられる。しかしAI採点がない場合は、たとえ間違えていても気が付かず短時間・少ない回数の演奏だけで満足し本来必要な修正や再チャレンジをしないため、図5のように練習量が少ないままとなると考えられる。

AI採点により練習量が増えた結果、図8で示したように、後の週の方が少ない回数で正解にたどり着くようになったと考えられる。教本は先に進むと難易度が上がる傾向があるため後の週の方が難しくなることが多いにもかかわらず、少ない回数で弾けるようになったということは、ピアノ上達の効果が出てきたためと考えられる。

アンケートでは図9のようにAI採点の有効性を認め

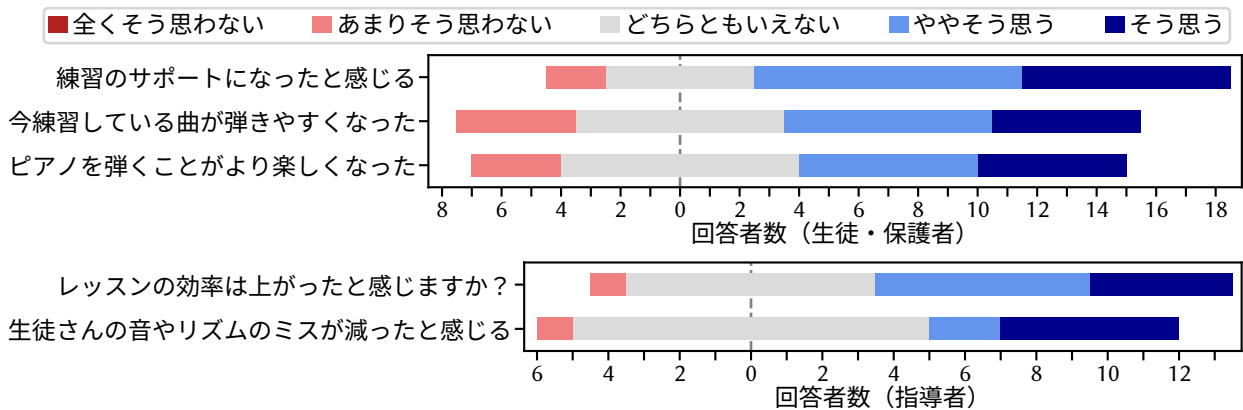


図9 アンケート・AI採点の有効性

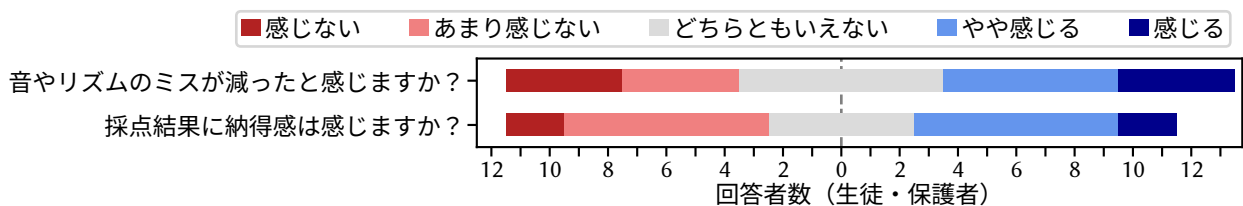


図10 アンケート・AI採点に対する所感

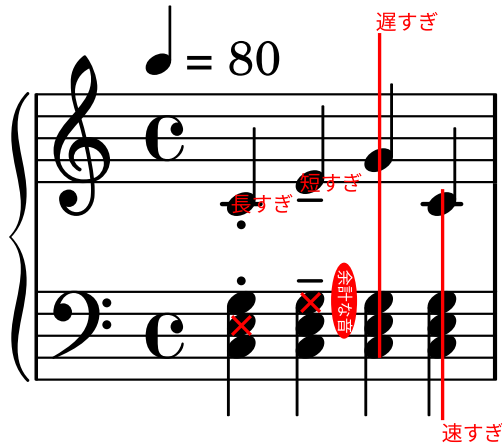


図 11 間違い指摘方法

る参加者が多かったが、図 10 のように所感は評価が分かれた。この理由として、保護者から本システムの間違い指摘が小節単位であるため、どこを間違えたのかわからないという指摘があった。本システムは、詳細な間違い指摘では生徒本人の理解が難しいと考え、小節単位で間違いを指摘するにとどめコースへ誘導することで修正し再チャレンジを促す設計としていた。しかし、生徒の自宅練習の際に保護者が傍につくケースがあり、生徒本人および保護者ともに演奏間違いがわからず、それでも AI 採点が小節単位で間違いを指摘すると保護者の不信感を招くこととなった。AI 採点の判定に問題が無いか生徒演奏 SMF を確認する調査をしたが意図通りの判定であり問題はなかった。そこで、生徒本人に対してではなく、保護者や指導者に対する間違い指摘方法として、図 11 のような表示がよいかたずねたところ、多くの保護者・指導者から賛同を得ることができた。

5 おわりに

本稿では、自分で演奏良否の判断ができない低年齢や初心者の生徒を対象として、週 1 回 30 分の教室でのレッスンと自宅での宿題練習という従来からの形態は維持したまま、指導者と役割を分担して自宅練習の補助をするシステムを提案した。このシステムは生徒の自宅練習における演奏良否を生徒へフィードバックし修正を促す AI 採点機能、自宅練習での演奏回数を生徒自身や保護者、指導者に対して可視化し演奏回数の増加を促す機能、練習開始などシステムを使用することによるポイント付与や指導者からのボーナスポイント付与によるインセンティブ付与で練習頻度の増加を促す機能を持つ。そして生徒 83 名、指導者 46 名による約 4 か月半にわたる実証実験により評価を行い、AI 採点がピアノ上達に資することを示した。一方で、AI 採点のフィードバックが詳細だと低年齢の生徒本人には理解が難しいと判断して小節単位にとどめたが、保護者が傍について練習し、生徒本人・保護者ともに演奏間違いを認識できなかった場合に不信感を招くことがあった。そこで生徒本人に対してではなく、保護者・指導者向けの詳細な間違い指摘方法を提案し賛同を得ることができた。今後はこの詳細な間違い指摘方法を検討・実装するとともに、収録する教本を増やすなどして実サービス化を進めたい。

参考文献

- [1] 飯田有抄: 生徒を伸ばす! -ピアノ教室運営大研究-, ヤマハミュージックメディア (2014). ISBN 978-4-636-89076-1.
- [2] 長井進之介: 第 1 回: そもそも「譜読み」って何?, 知りたい! みんなの「譜読み」(オンライン), 入手先 (https://www.piano.or.jp/report/03edc/fuyomi/2016/04/15_21125.html) (参照 2024-06-12).
- [3] 池川礼子: 100 のレッスン・ポイント-名曲が弾けるまでのヒントとして-, 音楽之友社 (2013). ISBN 978-4-276-14344-9.
- [4] 池川礼子: 065. 自分の中に先生を!, 100 のレッスンポイント-名曲が弾けるまでのヒントとして- (オンライン), 入手先 (https://research.piano.or.jp/series/point100/2011/03/entry_474.html) (参照 2024-06-12).
- [5] 細田真道, 最知庸, 小林丈之, 笹生恵理, 山内竣平, 野口啓之, 阪内澄宇: ピアノ宿題練習のための AI 採点方式, FIT2022 (第 21 回情報科学技術フォーラム), No. CE-007, pp. 79-84 (2022).
- [6] 細田真道, 最知庸, 小林丈之, 笹生恵理, 山内竣平, 野口啓之, 阪内澄宇: ピアノ宿題練習のための AI 採点方式ご紹介およびデモ, NTT Tech Conference 2023, Presentation Track 2 (オンライン), 入手先 (<https://ntt-developers.github.io/ntt-tech-conference/2023/>) (参照 2024-06-12).
- [7] 細田真道, 小林丈之, 本村愛真, 福田成康: おうちのピアノ練習をサポートする「hiketa (仮称)」と AI 採点技術, NTT Tech Conference 2024, Showcase (オンライン), 入手先 (<https://ntt-developers.github.io/ntt-tech-conference/2024/>) (参照 2024-06-12).
- [8] 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設計と実装, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 4, pp. 1383-1392 (2013).
- [9] 中村栄太, 武田晴登, 山本龍一, 齋藤康之, 酒向慎司, 嵯峨山茂樹: 任意箇所への弾き直し・弾き飛ばしを含む演奏に追従可能な楽譜追跡と自動伴奏, 情報処理学会論文誌, Vol. 54, No. 4, pp. 1338-1349 (2013).
- [10] 加藤徳啓, 中村栄太, 峯恭子, 土江田織枝, 山田昌尚: 隠れマルコフモデルを用いたピアノ練習演奏の弾き間違い分析, FIT2022 (第 21 回情報科学技術フォーラム), No. E-014, pp. 241-242 (2022).
- [11] 島田彩女, 松村ひかる, 森尻有貴, 北原鉄朗: ピアノ練習支援のための楽譜表示システムの試作, 情報処理学会第 79 回全国大会, No. 5L-05, pp. 105-106 (2017).
- [12] Dannenberg, R. B.: An On-Line Algorithm for Real-Time Accompaniment, *Proc. ICMC 1984*, pp. 193-198 (1984).
- [13] 市瀬龍太郎: 教養知識としての AI: 第 1 回 AI って何?, 人工知能学会 (オンライン), 入手先 (https://www.ai-gakkai.or.jp/resource/ai_comics/comic_no1/) (参照 2024-06-12).
- [14] ジェームス・バスティン: バスティンピアノベーシックスピアノ (ピアノのおけいこ) レベル 1, 東音企画 (2009). ISBN 978-4-903291-69-7.
- [15] リサ・バスティン, ローリー・バスティン, ジェーン・バスティン: バスティン オールインワン レベル 1A, 東音企画 (2018). ISBN 978-4-905253-52-5.
- [16] LilyPond 開発チーム: LilyPond -みんなの楽譜作成, (オンライン), 入手先 (<https://lilypond.org>) (参照 2024-06-12).
- [17] (社) 音楽電子事業協会: 4. スタンダード MIDI ファイル 1.0, MIDI1.0 規格書 (オンライン), 入手先 (<https://amei.or.jp/midistandardcommittee/MIDIspcj.html>) (参照 2024-06-12).
- [18] ピティナ: おうちのピアノ練習をサポートする新サービスのモニターを募集します!, (オンライン), 入手先 (https://corporate.piano.or.jp/news/2023/06/entry_162.html) (参照 2024-06-12).