

ピアノ宿題練習のための AI 採点方式 AI Scoring Method for Piano Homework Practice

細田 真道¹⁾ 最知 庸¹⁾ 小林 丈之¹⁾

Masamichi Hosoda You Saichi Takeyuki Kobayashi

笹生 恵理²⁾ 山内 峻平³⁾ 野口 啓之³⁾ 阪内 澄宇¹⁾

Eri Sasao Shumpei Yamauchi Hiroyuki Noguchi Sumitaka Sakauchi

1 はじめに

一般的なピアノ教室では、生徒は教室で指導者から週 1 回 30 分程度のレッスンを受け、指導者は教本に掲載されているいくつかの曲を宿題として課し、生徒が自宅で毎日練習することを求める [1]。宿題となる曲は例えば教本としてブルグミュラー 25 の練習曲 [2] を使用している場合、1 曲あたりの演奏時間は 1~2 分程度だがそれぞれの曲には弾けるようになるための課題となる要素が複数含まれている。自宅練習では指導者不在のため生徒が自ら演奏の良否を判断することになるが、ある程度の経験がある生徒は良否を判断し間違いの修正を図るような練習をして宿題の効果を大きくすることが可能である。しかし、特に初心者はこうした判断ができず間違った演奏に気が付かなかったり、気が付いても修正する方法がわからなかつたりして、次のレッスンで指導者が指摘するまで間違ったまま練習をして宿題の効果が小さくなってしまふことがある [3, 4]。我々はこうした自宅練習の課題を解決するため練習曲そのものを宿題として課すのではなく、練習曲の課題要素 (図 1) を分解した短い練習フレーズ (図 2) を宿題とし、自宅練習を補助する hiketa システムの実現を目指している。

本稿は hiketa システム実現のため、まず既存の練習曲から課題要素を分解した練習フレーズと、練習フレーズを宿題として課した場合に想定される典型的な間違い演奏、そして間違い演奏に対する修正アドバイスを作成して示す。次にその AI 採点方式として、生徒に宿題として課した練習フレーズの演奏を MIDI 収録し、予め登録しておいた模範演奏や間違い演奏のモデルと比較することで生徒演奏の良否や間違いを検出し修正アドバイスできる方式を提案する。最後に提案方式の有効性を確かめるため複数の演奏者による実際の演奏を判定する評価実験を実施する。

2 関連研究

ピアノなど鍵盤楽器の学習を支援する方法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方法 [5] がある。本稿は一般的な生徒の自宅練習で使用できるようにするため、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ものを目指す。もう一つの例として学習の敷居を下げるためミスの許容度を導入し、一つの曲の練習で最初



図 1 すなおな心 13~15 小節と課題要素の例



図 2 練習フレーズ「指広げ/指縮め Op. 13248」level. 12

は許容度を高くして成功体験を提供し段階的に許容度を下げていくことで学習を進める方法 [6] がある。本稿はある程度の長さがある一つの曲そのものを練習するのではなく曲の課題要素を分解した短い練習フレーズを数多く用意し、練習フレーズが「弾けた」体験を繰り返して継続的に達成感が得られ、その積み重ねによって曲そのものが弾けるようになる方法を採用。さらなる例としてピアノ教室で行う練習をコンピュータ上で再現しミス判定用楽譜データの作成を提案 [7] したものがある。本稿は指導者の存在を前提としており、ピアノ教室の代替ではなく教室で課す宿題を効率よく自宅練習するシステムを目指している。また、本システムで使用する判定用モデルデータは統計学や情報処理などのリテラシーをほとんど必要とせずにピアノ指導者であれば容易に作成できるものを意図している。

ピアノなど鍵盤楽器の演奏では正しい指使い (運指) が重要であり大きな課題要素の一つである。そこで鍵盤を撮影するカメラを用いて演奏者の運指を認識し間違いを指摘することで学習の支援を行う方法 [8, 9] がある。本稿はタブレット端末やスマートフォンなどでの利用を想定しており、これらの多くはカメラを搭載しているが鍵盤を撮影できるように設置するのは困難であり、それよりは操作デバイスとしてピアノの譜面台に置いて使う方が便利であると考え。また、運指の間違いは演奏の乱れにつながるため、直接運指を認識できずとも演奏の乱れから運指の間違いを推定する方法を採用。

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る。楽譜追跡技術はいくつかあり、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方法 [10] がある。HMM は確率モデルであり

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)。The Piano Teachers' National Association of Japan.

■ミス A: 1 小節 2 拍目「レミ」と弾いてしまう

↳ 3 音目は「ド」。ゆっくり弾きましょう。

■ミス B: 1 小節 2, 4 拍目「レミ」と弾いてしまう

↳ 3 音目は「ド」。ゆっくり弾きましょう。

■ミス C: 2 小節目「ソファミレド」と弾いてしまう

↳ 5 指の音をよく確認しましょう。指を縮めますよ。

■ミス D: 1 小節 2 拍目がつかえる

↳ 3 音目は「ド」。ゆっくり弾きましょう。

■ミス E: 1 小節 2, 4 拍目がつかえる

↳ 3 音目は「ド」。ゆっくり弾きましょう。

■ミス F: 2 小節目 3 拍目がつかえる (指が足りない)

↳ 2 小節目の第 1 音は 5 指で弾いていますか。

図 3 想定される典型的な間違い演奏とアドバイス (1, 2 小節)

通常のピアノ指導者が判定用モデルを作成することは困難である。本稿はある程度の長さがある一つの曲そ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。弾き直しや弾き飛ばしが発生する余地はほとんどなく、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。

3 練習フレーズ

3.1 背景と概要

初等中等教育で用いられている教科書は学習指導要領に定められた単元に基づいて書かれている。近年は教科書デジタル化の流れで単元をより細かい学習要素に分解し、学習者がどの要素を理解しているかかを推定したり、それに応じて学習者に適した教材・要素を推薦することなどが行われるようになってきている [11]。音楽教育においても同様に読譜に必要な課題要素を分解して一つずつ解決させることによって効率よく読譜スキルを得る方法を提案するものがある [12]。

しかし、曲そのものに対して課題要素を分解して指導するようなことはほとんど行われていない。例えばピアノ初級から中級向けの教本として人気が高く多くの生徒が使用するブルグミュラー 25 の練習曲 [2] は 1 曲あたり数十小節で演奏時間は 1~2 分程度となっており、それぞれの曲には弾けるようになるための課題要素が複数含まれている。しかし、うまく弾けない部分を集中して練習する部分練習 [13] を課すことはあっても、それはあくまでの曲の一部分そのもので課題要素としては分解しきれず、段階的に難易度を細かく設定して容易なものから一つずつ達成していくことで継続的に達成感を得られるような構成にすることも難しい。我々は、こうした練習曲を課題要素に分解し、課題要素ごと・難易度ごとに分類した短い 4~8 小節程度の練習フレーズを数多く用意し、それが「弾けた」か、あるいはどこをどのように間違ったかによって修正アドバイスを提示し次

にどの課題要素・難易度の練習フレーズへ進むかを決定する方法を採る。これにより継続的な達成感を得ることができるようになり、宿題の効果を高め効率よく練習曲そのものを弾けるように補助することができる。

3.2 作成

図 1 にブルグミュラー 25 の練習曲の 1 曲目「すなおな心」[14] から 13~15 小節を抜粋した楽譜と、そこから抽出した課題要素を示す。ここでは課題要素として「外声を保持」「指広げ」「指縮め」「音部記号の変化」を抽出し、各課題要素それぞれに対し複数の難易度 (level) の練習フレーズを作成した。図 2 に「指広げ」「指縮め」level. 12 のために作成した練習フレーズの一つ Op. 13248 を示す。そして、生徒に各練習フレーズを宿題として課した場合に頻繁に発生するであろう典型的な間違い演奏を複数想定するとともに、それぞれの間違い演奏をした生徒に対して修正を促す修正アドバイスを用意した。さらに修正アドバイスを提示しても弾けなかった場合に推薦する、次に練習すべき練習フレーズを設定した。図 3 に練習フレーズ Op. 13248 前半 1, 2 小節で想定した典型的な間違い演奏とアドバイスを示す。ミス A, B は指を広げずに 3 音目を弾いてしまい音高を間違えた演奏、ミス C は 2 小節 1 拍目で指を縮めずに弾いてしまい音高を間違えた演奏、ミス D, E は指広げがうまくいかず 3 音目を迷って遅れた演奏、ミス F は 2 小節 1 拍目で指を縮めなかったことにより運指を間違え 5 指 (小指) で打鍵すべきところを 4 指 (薬指) で打鍵してしまい、本来は 5, 4, 3, 2, 1 指と順番に打鍵すべきところを 4, 3, 2, 1 指と打鍵して 3 拍目「シ」を打鍵する指が足りなくなり遅れた演奏である (本稿では扱わないが後半 3, 4 小節でも同様の間違いが想定できる)。

hiketa システムでは、こうした練習フレーズが正しく弾けなかったと判定した場合には間違いに応じたアドバ

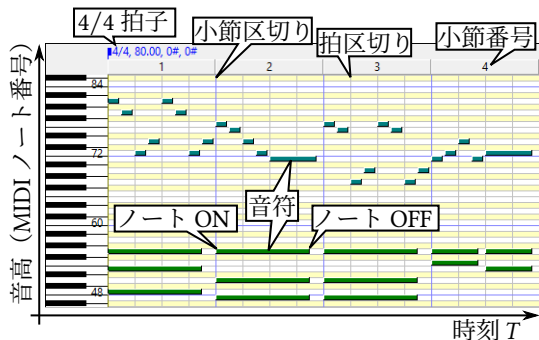


図 4 模範演奏モデル SMF のピアノロール

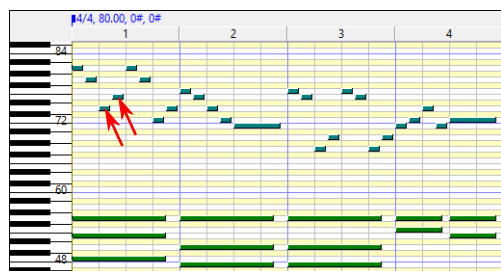


図 5 ミス A モデル SMF のピアノロール

イスを提示して何回か修正を促し、それでも弾けなかった場合には間違いに応じて次に練習すべき練習フレーズを推薦する。正しく弾けたと判定した場合には以前に弾けなかった練習フレーズへ戻ったり、まだ弾けていない他の練習フレーズを推薦したりする。なお、曲への表情付け、ペダル、装飾音符はシステムで扱わず自宅練習では機械的に弾ければよいものとする。これらはある程度弾けるようになってから指導者が指導する。

4 モデル

図 2, 3 で示した練習フレーズ Op. 13248 の正しい楽譜と間違い演奏の楽譜から生徒演奏の良否や間違いを判定するためのモデルを作成する。これらの楽譜は楽譜作成プログラム LilyPond [15] で譜刻 (浄書) したもので、LilyPond は譜刻と同時に Standard MIDI File (以下、SMF) [16] を生成することができる。他の楽譜作成ソフトウェアの多くも同様に SMF を生成することができ、生成された SMF は楽譜に記載する情報から機械的に生成した表情付けなどがされていない演奏となる。本稿ではこれらをそのまま判定用のモデルとして使用する。そのため、楽典やピアノ指導の知識と経験があり、練習フレーズとその典型的な間違い演奏の楽譜を作成することができれば、統計学や情報処理などのリテラシーがほとんど無くても本システムで使用するモデルを作成することができる。これらをモデル SMF と呼ぶことにする。

図 4 に練習フレーズ Op. 13248 の正しい楽譜について LilyPond で模範演奏モデル SMF を生成し世界樹 [17] でピアノロール表示したものを示す。縦軸は音高で、左側の鍵盤を模した表示とそこに書かれた MIDI ノート番号の数字 (中央ド・IPN*表記の C4 が 60 番) で音の高さを示している。横軸は時刻で、上側の数字 1, 2, 3, 4 は小節番号、濃い縦線は小節区切り、薄い縦線は拍区切りを示しており、1 小節目冒頭から 4/4 拍子なので 1 拍の長

* International Pitch Notation

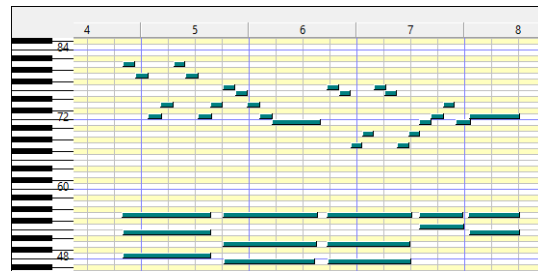


図 6 正しい楽譜を演奏した手弾き SMF のピアノロール

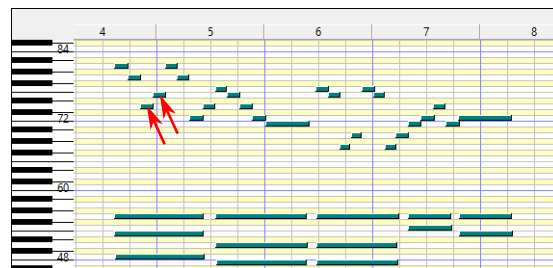


図 7 ミス A 楽譜を演奏した手弾き SMF のピアノロール

さは 4 分音符と同じである。そして太い横棒 1 本が音符 1 つを示しており、縦方向の位置が音高、左端がノート ON (打鍵) の時刻、右端がノート OFF (離鍵) の時刻を意味している。同様に図 5 に練習フレーズ Op. 13248 のミス A 楽譜について生成したミス A モデル SMF のピアノロール表示を示す。矢印で示した音符が正しくは C5, D5 (ノート番号 72, 74) であるべきところ、D5, E5 (同 74, 76) になるという音高を間違えた SMF になっている。いずれのモデル SMF もノート ON 時刻が小節・拍・半拍と一致している機械的な演奏になっている。

5 収録

生徒演奏は MIDI 機能 [18] を搭載したピアノで収録する。今回は収録用端末として PC を用い USB MIDI [19] で接続するが、タブレット端末やスマートフォンへ Bluetooth MIDI (BLE MIDI) [20] などで接続し、同等の機能を持たせることは可能であると考えている。ピアニストはソロの曲を自分のテンポで演奏する必要があることが多いので、収録の際にはメトロノーム音やクリック音のような同期演奏に必要なガイドを提示せず生徒自らのテンポで演奏してもらおう。ノート ON やノート OFF などの演奏情報は端末で時々刻々の MIDI メッセージとして得られるので、これらを時間情報とともに SMF として記録する。手で演奏したものを SMF へ記録したもので手弾き SMF と呼ぶことにする。

図 6 に練習フレーズ Op. 13248 の正しい楽譜を演奏して収録した手弾き SMF のピアノロールを示す。SMF には管理上のテンポ・拍子・小節・拍が存在するが、収録時にそれらのガイドを提示をして演奏を合わせてもらおう同期演奏をしておらず、演奏情報からそれらを推定するビートトラッキングもしていないため、音符はそれらとは無関係に並んでおりノート ON が小節・拍・半拍に揃っていない状態になっている。同様に図 7 に練習フレーズ Op. 13248 のミス A 楽譜を演奏して収録した手弾き SMF のピアノロールを示す。

6 採点方式

SMF 同士の距離を求める距離計算方式を定義し、評価対象となる手弾き SMF を、模範演奏および各間違い演

モデル SMF (模範演奏)	音符番号	1	2	3	4	5	6	7	—	8	9	10	11	...	39
	音名	C3	E3	G3	A5	G5	C5	D5	—	A5	G5	C5	D5	...	C5
手弾き SMF (ミス A)	音符番号	1	2	3	4	5	—	6	7	8	9	10	11	...	39
	音名	C3	E3	G3	A5	G5	—	D5	E5	A5	G5	C5	D5	...	C5
種別		一致					削除	一致	挿入	一致					
一致音符番号		1	2	3	4	5	—	6	—	7	8	9	10	...	38

表 1 差分比較の例

奏のモデル SMF とそれぞれ比較し、最も距離が近かったモデル SMF の演奏をしたものとして判定する採点方式を提案する。

6.1 前処理

まず SMF の音符をノート ON の時刻順に並べる。ただし SMF では同時刻にノート ON となる音符の出現順に関する仕様が無いため、単純に出現順で音符を並べると SMF の作成方法によって再現性が無くなってしまふ。そこで同時刻にノート ON となる音符は MIDI ノート番号の昇順でソートして並べることとする。また、モデル SMF では同時に打鍵されるべき音符は同時刻にノート ON となるように作成すればよいが、手弾き SMF では同時に打鍵しても知覚できないほどの極わずかなズレがあって記録上は同時刻にならないことがある。そこで一定の閾値 $t_{\text{misalignment}}$ を設定し、その時間内にあるノート ON はすべて同時打鍵とみなしてソートの対象とする。これにより和音や多声を再現性のある方法で扱うことができるようになる。

次にベロシティ（強弱）が一定の閾値 th_{velocity} より小さい音符、音長（ノート ON からノート OFF までの時間）が一定の閾値 t_{duration} より短い音符を取り除く。これは鍵盤が重いピアノで演奏している場合にはほとんど発生しないが、初心者が鍵盤の軽いキーボードで演奏する場合に打鍵位置がズレて隣の鍵盤を少しかすってしまい、音ではほとんど知覚できないほどの、長さが短い音符やベロシティが小さい音符が発生することがあるので、その影響をフィルタするものである。

図 4 で示した模範演奏モデル SMF に対して以上の前処理を行って並べた音符の音名を IPN 表記で示すと、

C3, E3, G3, A5, G5, **C5, D5**, A5, G5, C5, D5, ..., C5

となる。同様に図 7 で示したミス A 手弾き SMF では、

C3, E3, G3, A5, G5, **D5, E5**, A5, G5, C5, D5, ..., C5

となる。双方太字で示した部分が互いに異なっている。

6.2 差分比較

DP マッチングにより SMF 同士の Levenshtein 距離を求めてバックトレースすることで、マッチングがとれた（一致した）音符、削除された音符、挿入された音符を求める。この際、音高（MIDI ノート番号）のみで一致か否かを評価する。表 1 に模範演奏モデル SMF とミス A 手弾き SMF を差分比較した例を示す。音符番号はモデル SMF と手弾き SMF の音符にそれぞれ 1 番から順番に番号を振ったもの、種別は差分比較の結果が一致・削除・挿入のいずれになったかを示したもので、一致音符番号は一致という結果になった音符の組に改めて 1 番から順番に番号を振ったものである。モデル側の音符番号で 1 番の C3 から 5 番の G5 まで 5 つの音符はマッチングが取れて種別としては一致となり、その後は 6 番 C5 削除、7 番 D5 一致、モデルに存在しない E5 挿入と続いてから、8 番 A5 以降は最後の 39 番 C5 までマッ

ングが取れて一致という結果になる。7 番 D5 と一致となった手弾き側の音符番号は 6 番であり位置がズレているが、この差分比較では音高が一致したため位置がズレていても一致とみなされる。一致音符番号は 5 番までモデル側の音符番号と一致するが、モデル側 6 番の C5 が削除になっているため、以降は 1 つズレて最後が 38 番となる。モデル SMF の音符数を N_{model} 、一致した音符数を N_{match} 、削除された音符数を N_{missing} 、挿入された音符数を N_{extra} とすると、以上より $N_{\text{model}} = 39$ 、 $N_{\text{match}} = 38$ 、 $N_{\text{missing}} = 1$ 、 $N_{\text{extra}} = 1$ ということになる。

6.3 テンポ推定

モデル SMF と手弾き SMF は同期演奏していないため基本的にテンポは一致しない。ある程度の長さの曲であればテンポが変化していくことを考慮する必要があるが、本稿で扱う練習フレーズは短いためテンポはほとんど変化しないとみなし、テンポの比率を推定する。一致音符番号 i の音符についてモデル SMF のノート ON 時刻を $T_{\text{model}i}$ 、手弾き SMF のノート ON 時刻を $T_{\text{foreval}i}$ として、テンポの比率 R_{tempo} を以下の式で推定する。

$$R_{\text{tempo}} = \frac{T_{\text{foreval}} N_{\text{match}} - T_{\text{foreval}1}}{T_{\text{model}} N_{\text{match}} - T_{\text{model}1}} \quad (1)$$

これが 1 を超えた場合は手弾き SMF の方が速いことを、1 を下回った場合は手弾き SMF の方が遅いことを意味する。そこで一定の範囲を設定してそれを超えた場合は「速すぎます。もっとゆっくり弾きましょう。」下回った場合には「遅すぎます。もっと速く弾きましょう。」のようなアドバイスを提示して弾き直しを促すことでテンポの逸脱を防ぐことができる。また、範囲内であった場合には誤差計算でモデル SMF と手弾き SMF の全体的なタイミングの伸縮を補正するために使用する。

6.4 誤差計算

6.4.1 打鍵間隔

一致音符番号 i の音符に対して、 j を $j < i$ かつ $T_{\text{model}j} < T_{\text{model}i}$ となる最大の整数とする。 i 番音符における前の音符との打鍵間隔の誤差 $E_{\text{previous}i}$ をテンポ補正も含め以下の式で計算する。

$$E_{\text{previous}i} = \frac{(T_{\text{model}i} - T_{\text{model}j}) - \frac{T_{\text{foreval}i} - T_{\text{foreval}j}}{R_{\text{tempo}}}}{T_{\text{model}i} - T_{\text{model}j}} \quad (2)$$

ただし最初の一致音符である $i = 1$ およびその同時打鍵の音符（表 1 の例では $i = 1, 2, 3, 4$ ）は条件を満たす j が存在しないため計算できない。

これは個別の音符についての誤差なので、次に全体の誤差としてこの RMSPE である E_{previous_r} と MAPE である E_{previous_m} を求める。 $i = 1$ と同時打鍵ではない最初の一致音符番号を k （表 1 の例では $k = 5$ ）として以下の式で計算する。

$$E_{\text{previous}_r} = \sqrt{\frac{1}{N_{\text{match}} - k + 1} \sum_{i=k}^{N_{\text{match}}} E_{\text{previous}_i}^2} \quad (3)$$

$$E_{\text{previous}_m} = \frac{1}{N_{\text{match}} - k + 1} \sum_{i=k}^{N_{\text{match}}} |E_{\text{previous}_i}| \quad (4)$$

6.4.2 音長の誤差

一致音符番号 i についてモデル側音符の音長を d_{model_i} , 手弾き側音符の音長を d_{foreval_i} とする. i 番音符における音長の誤差 E_{duration_i} をテンポ補正も含め以下の式で計算する.

$$E_{\text{duration}_i} = \frac{d_{\text{model}_i} - (d_{\text{foreval}_i} / R_{\text{tempo}})}{d_{\text{model}_i}} \quad (5)$$

次に全体の誤差としてこの RMSPE である E_{duration_r} と MAPE である E_{duration_m} を以下の式で計算する.

$$E_{\text{duration}_r} = \sqrt{\frac{1}{N_{\text{match}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{match}}} E_{\text{duration}_i}^2} \quad (6)$$

$$E_{\text{duration}_m} = \frac{1}{N_{\text{match}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{match}}} |E_{\text{duration}_i}| \quad (7)$$

6.4.3 ベロシティの誤差

ベロシティは音符の強弱を表す数字であると言えるが, 特に手弾き SMF では収録環境の違いによって値が大きく異なってしまう可能性がある. そこで, モデル SMF と手弾き SMF 双方ともベロシティの平均との差分を用いることで SMF 内の相対的なベロシティの変化を求め, その誤差を計算することにする. モデル側, 手弾き側それぞれについて (一致以外も含んだ前処理後の) すべての音符のベロシティの平均を \bar{V}_{model} , \bar{V}_{foreval} , 一致音符番号 i についてモデル側と手弾き側の音符のベロシティを V_{model_i} , V_{foreval_i} とする. i 番音符におけるベロシティの誤差 E_{velocity_i} を以下の式で計算する.

$$E_{\text{velocity}_i} = ((V_{\text{foreval}_i} - \bar{V}_{\text{foreval}}) - (V_{\text{model}_i} - \bar{V}_{\text{model}})) \quad (8)$$

次に全体の誤差としてこの RMSE である E_{velocity_r} と MAE である E_{velocity_m} を以下の式で計算する.

$$E_{\text{velocity}_r} = \sqrt{\frac{1}{N_{\text{match}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{match}}} E_{\text{velocity}_i}^2} \quad (9)$$

$$E_{\text{velocity}_m} = \frac{1}{N_{\text{match}}} \sum_{i=1}^{N_{\text{match}}} |E_{\text{velocity}_i}| \quad (10)$$

6.5 距離計算

最後にここまで得られた値それぞれに係数を乗じて和を取ったものを SMF 同士の距離 D として, 以下の式で計算する.

$$\begin{aligned} D = & a_{\text{missing}} \frac{N_{\text{missing}}}{N_{\text{model}}} + a_{\text{extra}} \frac{N_{\text{extra}}}{N_{\text{model}}} \\ & + a_{\text{previous}_r} E_{\text{previous}_r} + a_{\text{previous}_m} E_{\text{previous}_m} \\ & + a_{\text{duration}_r} E_{\text{duration}_r} + a_{\text{duration}_m} E_{\text{duration}_m} \\ & + a_{\text{velocity}_r} E_{\text{velocity}_r} + a_{\text{velocity}_m} E_{\text{velocity}_m} \quad (11) \end{aligned}$$

これは距離の公理を完全に満たすわけではないので厳密には距離ではなく非類似度であるが, 数値が大きいと

類似しておらず遠い, 小さいと類似しており近い, 完全に一致する場合は 0 になるという性質を持つので距離として扱う.

7 評価実験

提案方式の有効性を確かめるため, 複数の演奏者・環境で生徒演奏を模した演奏を収録し判定する評価実験を実施する.

7.1 収録

演奏者および環境は以下の 3 種類とした.

- 演奏者 1・電子ピアノ (重い鍵盤)
- 演奏者 1・キーボード (軽い鍵盤)
- 演奏者 2・アップライトピアノ (MIDI 機能付き)

これら 3 種類に対して Op. 13248 の正しい楽譜とミス A~F 楽譜の 7 種類の楽譜をそれぞれ 3 回ずつ演奏したものを収録した. つまり $3 \times 7 \times 3 = 63$ 個の手弾き SMF を収録して得ることができた.

7.2 パラメータ

係数などは以下の設定とした.

$$\begin{aligned} t_{\text{misalignment}} &= 0.05 \text{ [s]}, \\ t_{\text{velocity}} &= 10, & t_{\text{duration}} &= 0.05 \text{ [s]}, \\ a_{\text{missing}} &= 1, & a_{\text{extra}} &= 1, \\ a_{\text{previous}_r} &= 0.25, & a_{\text{previous}_m} &= 0.25, \\ a_{\text{duration}_r} &= 0.25, & a_{\text{duration}_m} &= 0.25, \\ a_{\text{velocity}_r} &= 0.01, & a_{\text{velocity}_m} &= 0.01 \end{aligned}$$

7.3 結果

63 個の手弾き SMF すべてについて正解 (演奏に使用した楽譜で生成したモデル SMF との距離が最も近い) となり, 誤判定は一切発生しなかった.

7.4 考察

評価実験ではすべての手弾き SMF について正解となり, 提案方式の有効性を示すことができた. つまりモデルとして登録された既知のミスに近い演奏であれば問題なく判定できると考えられる.

一方で未登録である未知のミス演奏には課題がある. これに対しては, 例えば距離計算の結果, 模範演奏モデルが一番近かったとしても N_{missing} や N_{extra} が非 0 の場合は音符の削除や挿入が発生した付近に未知ミスがあることがわかるし, E_{previous_i} , E_{duration_i} , E_{velocity_i} が一定の閾値より大きい音符があればその付近に未知ミスがあるという判定を行うことも考えられる. このような方法で未知ミスを発見したらその位置に応じたアドバイスや, 弾けなかったときに推薦する練習フレーズなどを用意しておくことで, 未知ミスに対応することも可能と考えている. また, 提案手法をサービス化した際には許諾を得て手弾き SMF を収集し, 本稿の距離計算方式を使ってクラスタリングすることにより未知ミスの大きなクラスタを発見することができれば, それを新たに典型的なミスとしてアドバイスなどとともに登録することでモデルを改良していくことも可能であると考えている.

本稿では Op. 13248 についてのみ演奏と判定を行ったが, 実際には多くの練習フレーズの判定が必要となる. 距離計算にはある程度の計算コストが必要なため, あらかじめどの練習フレーズの採点を行うのか決めて対象となる練習フレーズのモデル SMF とのみ距離計算し, 他

の練習フレーズのモデル SMF とは距離計算しないのが現実的と思われる。そうすると別の練習フレーズを演奏してしまった場合は、最も近いモデル SMF であっても距離がかなり遠いという結果になる。また、途中までしか演奏しなかった場合や弾き直しをしてしまった場合についても同様に距離が遠くなる。そこで、最も近いモデル SMF との距離が一定の閾値より遠かった場合には「演奏する練習フレーズはありますか？途中で間違えてもそのまま最後まで弾ききってください。また、弾き直しはしないでください。(判定不能)」のようなアドバイスを提示して弾き直しを促すことが考えられる。

本稿で使用したパラメータは特に調整をせずに決定したもので、練習フレーズやモデル SMF・手弾き SMF を増やしながら調整していく必要がある。また、誤差計算では全体の誤差を求めるために RMSPE/RMSE と MAPE/MAE の両方を用い、距離計算でそれぞれ係数を設定しているが、調整の結果どちらか片方だけに計算コストを下げることも可能と考えている。

8 おわりに

本稿はピアノ教室の指導者が生徒に課す宿題（自宅練習）の効果を高める hiketa システム実現のため、まず既存の練習曲から課題要素を分解した練習フレーズと、練習フレーズを宿題として課した場合に想定される典型的な間違い演奏、そして間違い演奏に対する修正アドバイスを作成して示した。次にその AI 採点方式として、生徒に宿題として課した練習フレーズの演奏を MIDI 収録し、予め登録しておいた模範演奏や間違い演奏のモデルと比較し距離計算することで生徒演奏の良否や間違いを検出し修正アドバイスできる方式を提案した。最後に複数の演奏者による実際の演奏を判定する評価実験を実施し、提案方式の有効性を示した。

本稿の提案方式は生徒演奏を MIDI 収録して判定するものであるため、家庭での普及が進んでいる電子ピアノやキーボードで使用できる。また、本稿では端末に PC を使用したが、タブレット端末やスマートフォンなどの一般に広く普及している端末でも同様の機能を提供することは可能であると考えている。しかし、古くから普及しており数が多いと思われるアコースティックピアノ（アップライトピアノやグランドピアノ）は、ごく一部には MIDI 機能を搭載したものもあるが多くはそのような機能を持たず使用できないという課題がある。これらについては MIDI 収録ではなくマイクで音を録音して判定する方法を検討している [21]。

今後は練習フレーズや間違い演奏モデル SMF を増やし、手弾き SMF の収録を進めることでパラメータの最適化を進め、hiketa システムのさらなる高度化に取り組みたい。

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] Burgmüller, J. F. F.: ブルグミュラー 25 の練習曲 Op. 100, ピティナ・ピアノ曲事典 (オンライン), 入手先 (<https://enc.piano.or.jp/musics/680>) (参照 2022-06-06).
- [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://www.piano.or.jp/report/03edc/point100/2011/03/04_12209.html) (参照 2022-06-06).
- [5] 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).
- [6] 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, 情報処理学会研究報告, Vol. 2013-MUS-98, No. 6, pp. 1-7 (2013).
- [7] 永尾謙伍, 白杵潤: 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, 情報処理学会研究報告, Vol. 2014-MUS-105, No. 12, pp. 1-6 (2014).
- [8] 竹川佳成, 寺田努, 塚本昌彦: 運指認識技術を活用したピアノ演奏学習支援システムの構築, 情報処理学会論文誌, Vol. 52, No. 2, pp. 917-927 (2011).
- [9] 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, Vol. 2012-MUS-97, No. 15, pp. 1-6 (2012).
- [10] 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).
- [11] (一社) 日本教育情報化振興会: ICT を活用した学習成果の把握・評価に向けた学習要素の分類等に関する調査研究事業 事業報告書, 平成 29 年度文部科学省委託事業 (オンライン), 入手先 (https://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/zyouhou/detail/1410959.htm) (参照 2022-06-06).
- [12] 山本美芽: 「譜読み」のための 13 のステップ, 音楽力を伸ばす「譜読み」の基本-楽譜攻略 13 のステップ-, ヤマハミュージックエンタテイメントホールディングス, p. 6 (2021). ISBN 978-4-636-89410-3.
- [13] 池川礼子: 011. 難しい時は簡単にする・・・片手、ゆっくり、短く、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://www.piano.or.jp/report/03edc/point100/2010/02/12_10250.html) (参照 2022-06-06).
- [14] Burgmüller, J. F. F.: すなおな心 Op. 100-1, ピティナ・ピアノ曲事典 (オンライン), 入手先 (<https://enc.piano.or.jp/musics/20802>) (参照 2022-06-06).
- [15] 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 2022-06-06).
- [16] (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/MIDIspecj.html>) (参照 2022-06-06).
- [17] くず: MIDI シーケンサー・MIDI 編集ソフト『世界樹』, おーぶん MIDI ぶろじょくと (オンライン), 入手先 (<https://openmidiproject.osdn.jp/Sekaiju.html>) (参照 2022-06-06).
- [18] (社) 音楽電子事業協会: MIDI1.0 規格書, (オンライン), 入手先 (<https://amei.or.jp/midistandardcommittee/MIDIspecj.html>) (参照 2022-06-06).
- [19] USB Implementers Forum: USB Device Class Definition for MIDI Devices, Version 2.0, (online), available from (<https://www.usb.org/document-library/usb-class-definition-midi-devices-v20>) (accessed 2022-06-06).
- [20] The MIDI manufactures Association: Specification for MIDI over Bluetooth Low Energy (BLE-MIDI), No. RP-052, (online), available from (<https://amei.or.jp/midistandardcommittee/RP&CAj.html>) (accessed 2022-06-06).
- [21] 細田真道, 内山匡, 最知庸, 小林丈之, 笹生恵理, 山内峻平, 野口啓之, 阪内澄宇: ピアノフレーズ練習の AI 採点のための音特徴量比較方式, FIT2022 (第 21 回情報科学技術フォーラム), No. E-015 (2022).