

学習者の習得度を予測するピアノ学習支援システムに向けた 演奏習得度判定モデルの提案

松井 遼太^{1,2,a)} 竹川 佳成¹ 平田 圭二¹ 柳沢 豊²

概要: 本研究では、ピアノ学習者の日々の練習状況に応じて学習者の習得度を予測するピアノ学習支援システムに向けた、ピアノ演奏習得度判定モデルの構築を目指す。ピアノ演奏技術の効率的な習得のためには教師からレッスンを受けることが必須である。レッスンは重要である一方で、ピアノ学習の時間はレッスンよりも自宅での独習時間が大半を占める。しかし学習者は演奏技術・知識が未熟であり、かつピアノ学習では正確な打鍵やテンポなど考慮すべき様々な要素が存在するため、次回のレッスンまでに何をどれくらい練習すれば良いか、課題曲を合格するまでにどのくらいの期間が必要か、といった情報がわからない。そのため、学習者は自身の課題曲における習得度合いを適切に判断できず、レッスン間の独習期間における練習へのモチベーションを維持することは難しい。そこで本研究では、学習者の演奏データをもとに学習者の習得度を予測するピアノ学習支援システムの構築をめざす。本稿では、システムの構築に向けたピアノ学習者の習得度判定モデルの構築について述べる。ピアノ初学者の日々の練習時に取得した演奏データを、分析ツールを用いて音高正解率、打鍵時間間隔、和音のバラツキの各要素を算出する。算出した各要素をもとに、習得度を判定する関数を作成する。関数から出力された値が、設定した閾値を超えている場合にシステム上合格と判断する。個人の演奏特徴量をもとに、日々の演奏に対して画一的な習得度を算出することは、学習者の習得度を予測することにつながる。このように、課題曲における習得の様子を可視化することで、学習者は自身で練習時間の配分ができ、モチベーションを維持しながらレッスン間の独習ができる。

1. はじめに

ピアノ演奏においては、譜読み、指示されている鍵への正確な打鍵、適切な運指(指使い)、リズム感覚、打鍵の強弱、テンポなど、さまざまな技術が求められ、これらの技術の習得には長期間の基礎的な練習を必要とする。ピアノ演奏には多大な時間と労力を必要とするため、習熟効率の低さから挫折してしまう学習者が存在する。そのため、効率的なピアノ演奏技術の向上のためには教師からレッスンを受講することが重要である。学習者は通常、月に数回レッスンを受講して、自身の演奏誤りや演奏技術についての指導を受ける。レッスン後は次回のレッスン日までに、与えられた課題や修正箇所を重点的に自宅で練習する。レッスンが重要である一方で、ピアノ学習時間の大半は自宅練習が占める。学習者は演奏技術・知識が未熟であるため、自身の習得度合いが分からずに次回レッスンまでのモチベーションを保つことが難しい。その原因として以下の理由が挙げられる。

- どのような練習時間配分を維持すれば良いか分からない
学習者は前回のレッスン時に指摘された箇所を修正するために、毎日どの程度練習すれば良いかの目算がつかない。さらに、仕事や勉強の合間に練習する場合は1日の練習時間配分が限られるため、学習者には効率的な練習時間の配分が求められる。
- 練習中の課題曲を合格するまでにどのくらいの期間が必要か分からない
一般に、教師から与えられた課題曲は「よく弾けました、では次回からは新しい課題曲に挑戦しましょう」などと、教師から合格をもらうまで練習を続ける。一方で、学習者は現在の課題曲がいつ頃に合格をもらえるかが分からず、いつまで経っても習熟しないと思込み、練習へのモチベーションが低下する恐れがある。
そこで本研究では、ピアノ学習者のレッスン間におけるモチベーション維持を妨げる原因を解決するために、学習者の習得度を予測するピアノ学習支援システムの構築をめざす。本稿では、提案システムの習得度予測に向けた、演奏習得度判定モデルの構築について述べる。習得度判定モデルは、学習者の音高正解率、旋律部の打鍵時間間隔、和

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

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

a) g3119005@fun.ac.jp

音打鍵時のバラツキから、学習者の課題曲習得度合いを識別し、現在の演奏で教師から合格がもらえるかを判定する。

学習者に対して学習者自身の課題曲の習得度合いや合格時期をフィードバックすることで、効果的にレッスン間のモチベーションを維持することができると考えられる。また、合格時期がわかることにより、練習時間配分に余裕を持たせて別の練習曲に取り組み、更なる学習に励むこともできる。そのため、本システムは単なる自宅練習においても利用できると考えられる。

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 [1][2][3][4][5][6]。これらのシステムは初学者の独習支援を対象としている。また、上級者向けの学習支援としては、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。このようなピアノ学習支援システムは、取得した打鍵情報から音高の正誤や打鍵の強さを判別している。これらの研究では取得したデータから学習者の苦手箇所予測などが行われているが、学習者の習得度合いを予測しているものはない。本研究においては学習者の打鍵情報を取得・記録し、習得度の予測に用いる。

2.2 Learning Analytics

近年、IT を利用した教育の充実化に伴い Learning Analytics の分野における研究が活発化している。Learning Analytics について、Ferguson[9] は「学習とそれが生じる環境を理解し、最適化することを目的として、学習者とその状況についてのデータを測定・収集・分析・報告すること」と定義している。身近な例としては、e-ポートフォリオや学習管理システム (LMS : Learning Management System) が挙げられる。これらのシステムにより蓄積されたデータに対してデータマイニングし、分析することで学習者の達成度や進捗状況を予測する研究が存在する [10]。一方でピアノ学習においては積極的に Learning Analytics を取り入れている研究はあまり見当たらない。勉強などの学習においてはテストなどにより点数化することが比較的容易であるが、ピアノにおいては一概に点数化することは難しい。本研究では、学習者が演奏した打鍵情報から、打鍵時間間隔や音高の正誤率などを抽出し、それぞれの演奏者で比較できるようにフォーマットする。これにより、演奏者間での演奏の比較や、ある一定の視点から習得度合いを測ることができる。

3. データ収集実験

3.1 実験の目的

ピアノ学習者の習得度判定に用いるための演奏データを収集するために、自宅での練習を模した環境で、初学者を対象とした演奏データ収集実験を実施した。

3.2 分析用データセットの構築

被験者に合計 5 日間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

被験者が課題曲を演奏している様子を 2 視点から撮影し、両手の打鍵時刻と音高、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。

- 打鍵時刻

被験者が鍵盤を打鍵した際の時刻をミリ秒単位で記録する。実験終了後、分析ツールを使用して記録した打鍵時刻から打鍵時間間隔 (IOI, inter-onset interval) を算出した。

- 音高

演奏中に取得した MIDI データから抽出した、打鍵された鍵の音高 (pitch) である。

- 演奏動画

図 1, 2 に示すとおりビデオカメラ 2 台を演奏協力者の正面上部、後方右側にそれぞれ設置して撮影した。なお、正面上部の映像からは打鍵位置と打鍵の瞬間、後方右側の映像からは肘を含めた体全体の動きを確認できる。

3.2.2 被験者

被験者は 25 歳から 36 歳までの男女 6 名であった。いずれの被験者も学校教育以外でのピアノ演奏経験が 1 年未満のピアノ初学者である。初学者を対象とした理由は、上級者であればあるほど自身の習得度を把握でき、学習者本人の本質的な音楽へのモチベーションを保つことができるからである。また、上級者は演奏表現などの定量化が難しい要素が習得度に影響する。一方で、今後システムとしての予測精度が向上するにつれ、ユーザの技能レベルも上げられると考えられる。なお、被験者にはギターなどピアノ以外の楽器経験者が存在したが、いずれも五線譜のト音記号が読めないレベルである。

3.2.3 課題曲

課題曲は世界中で民謡として広く親しまれている「子犬のマーチ」とした。課題曲の楽譜を図 3 に示す。本楽曲は旋律が広く知られており、また全 16 小節と程よい長さであるため初学者が馴染みやすい。また、左手の伴奏形が最も基本的な 3 和音の全音符のみである。さらに和声が基本的なカデンツを構成するトニック、ドミナント、サブドミナントの 3 種類のみである。そのため、ピアノ未経験者や初学者にとっても馴染みやすく、かつピアノ演奏の最も基礎的な技能のみが要求されるといえる。以上の理由から、本課題曲を選定した。

3.2.4 実験環境

実験に使用したピアノはヤマハのトランスアコースティックピアノ TA2 である。TA2 は打鍵するとハンマーが内部の弦を打ち鳴らす機構を搭載している。そのため、アコースティックピアノと同様の打鍵感覚をもちながら MIDI データを取得できる。なお、本実験の被験者には全くのピ



図 1 正面上部のビデオカメラ映像



図 2 後方右側のビデオカメラ映像

アノ未経験者もいるため、鍵盤の2オクターブ半と楽譜にドイツ音名が書かれた音名シールを貼り付けている。音名シールが演奏を妨げることはない。

実験は、実際のレッスンとレッスンの間の独習期間を想定し、1日あたり25分間の練習時間を設け、計5日間実施した。25分の練習終了後に到達度テストを実施し、課題曲を2回通し演奏してもらった。日毎の実験終了後に5件法によるアンケートを実施し、演奏の出来栄や課題曲への印象を調査した。また被験者は、あらかじめ用意しておいた模範演奏動画を自由に視聴できる。これは自宅での練習の際にYoutubeなどの動画投稿サイトを参考に閲覧することを想定したものである。

実験前に行った被験者への教示は以下である。

- これから課題曲を25分間練習していただきます。模範演奏の動画を参考に練習してください。動画は何度視聴しても構いません。
- 練習終了後に到達度テストを行います。テストの際はその時点で弾ける範囲で構いませんので、2回通し演奏をしてください。
- 間違えずに演奏できるようになっても、強弱などを工夫してより良い演奏になるよう練習してください。
- 演奏の正誤や練習方法についての質問にはお答えできません。

3.3 結果と練習中の考察

被験者が一通りスムーズな演奏ができるようになるまで、おおよそ3日を要した。被験者に対して練習方法の指示や助言は与えていないため、各々が自由な練習方法を用いていた。6名中4名は部分練習を、残り2名は通し練習を中

子犬のマーチ



図 3 実験で使用した課題曲「子犬のマーチ」の楽譜

心に練習していた。ピアノ学習における部分練習とは、楽曲の一定の部分のみを繰り返し練習することである。両手ではなく、右手のみや左手のみなど苦手なパートだけを部分練習することもある。一方、通し練習とは楽曲のはじめから終わりまでを何度も繰り返し練習することである。片手のみを通し練習も存在する。

被験者のうち、部分練習を中心に行っていた4名に共通することとして、ダンスや新体操、ギターなど他の技芸の長期の経験歴があった。いずれもピアノ練習と同様に音楽と合わせて実施するものであり、練習の際には楽曲を区切って部分練習を行うため、それに倣って「ピアノにおいても部分練習を中心に行った」と感想を述べていた。一方で、通し練習を中心に行っていた2名はピアノ以外の技芸に関してはサッカーの経験歴があった。サッカーでは体力作りや個々のテクニックの練習などは行うが、基本的に部分練習という概念は存在しない。そのため、「部分練習は効率が悪く、全体を通して練習の方が効率が良いと思った」などと回答を得た。部分練習を行った被験者と通し練習を行った被験者間において、習得効率に大きな差は見られなかったが、今後被験者を増やし、練習条件を整えることで習得効率に影響が見られる可能性がある。

4. 予測モデルの設計

習得度判定モデルを構築するため、3章で説明した演奏データ収集実験の結果を分析ツールを用いて、データを算出、および分析した。

4.1 演奏データの分析

図4における、日毎に取得した演奏データから分析ツールを用いて必要なデータを算出した。

4.1.1 音高正解率

課題曲の両手の正しく打鍵できている割合を算出した。すなわち、全ての音符に対して、打鍵された鍵のうちからミス打鍵を除いたものの割合である。ミス打鍵とは、楽譜

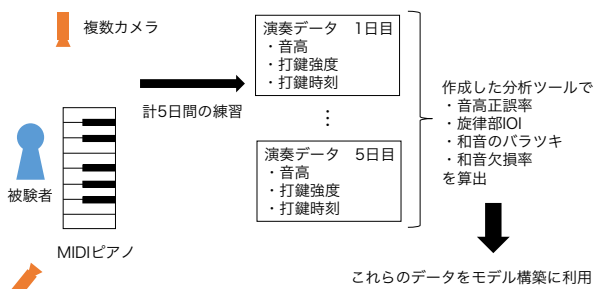


図 4 実験で取得したデータと分析までの流れ

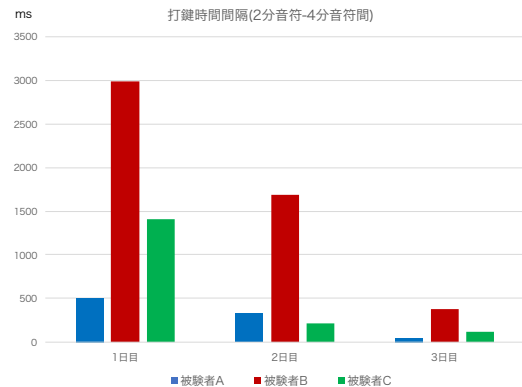


図 5 被験者間における打鍵時間間隔の比較

に記載されていない余計な鍵を押鍵する余打鍵、楽譜に記載されている鍵盤を打鍵しなかった未打鍵、順序は楽譜通りに演奏していたが間違った鍵盤を打鍵する誤打鍵の3つが存在する。また、旋律部である右手パートの音高正誤率も算出した。これは、本課題曲において演奏する上で最も重要なメロディ部分を右手が担っており、後述の打鍵時間間隔がどんなに均等であっても右手の音高に間違いが多ければ、音楽として成立しないためである。

4.1.2 旋律部の打鍵時間間隔

課題曲の演奏のうち、旋律部(右手)の各音符の発音時刻の差分の標準偏差を算出した。発音時刻はミリ秒単位で記録されている。課題曲の旋律部には4分音符と2分音符の2種類の音価の音符が存在する。これらは4分音符と4分音符間、4分音符と2分音符間、2分音符と4分音符間、2分音符と2分音符間、の4種類の音価の遷移があるといえる。そのため、上記の4種類の遷移状態に分けて打鍵時間間隔を算出している。初学者にとって、現在弾いている音符の音価から異なる音価に遷移することは難しく、戸惑うことが考えられる。簡単な楽曲とはいえ、打鍵を一瞬戸惑うだけで旋律が音楽的に聞こえないこともある。そのため、今回の分析では音価の遷移の種類ごとに打鍵時間間隔を算出した。

4.1.3 和音のバラツキ

これは課題曲の演奏のうち、各小節毎に左手和音部の最初に打鍵された音と最後に打鍵された音の発音時刻の差分を算出した、その回の演奏における平均値である。ピアノ指導において一般に、演奏の習熟に伴い和音の発音が揃うことを「音の粒が揃う」などと表現される。そのため、習得度の判定においても和音のバラツキ具合を考慮することは重要であると言える。なお、速いテンポの曲において左手に16分音符や32分音符のアルペジオがある場合、和音との判別が難しいこともある。しかし、本課題曲はテンポが速くなく、左手の音価も全音符のみのため、アルペジオとの判別がつかないという問題は発生しない。本分析において和音のバラツキは、3和音のうち2音以上打鍵している場合に算出し、未打鍵等により当該和音の打鍵数が1音

以下の場合には、欠損値として扱っている。

4.1.4 和音欠損率

和音欠損率は左手全体に対する3和音のうち、2音以上が未打鍵、または誤打鍵の箇所の割合である。4.1.3節で述べたように、本分析では当該小節における左手3和音のうち打鍵数が1音以下の場合を欠損値として扱っている。これは、3和音のうち2音以上が判明している場合は和声的な構造から和音を推測できるためである。一方で、このような和音判定のアルゴリズムでは、学習者が右手のみを練習したり、左手をほとんど弾けていない場合に、正常な識別ができない。左手の弾けるところのみを弾き、弾けないところは飛ばすという弾き方をした際に、音高正誤率のみが上昇してしまう。そのため、課題曲の演奏のうち、「どれだけ和音が弾けていないか」という情報を考慮する必要があるため、和音欠損率を導入した。

5. 予測モデルの構築

4章における分析の結果をもとに演奏習得度判定関数、および習得度判定モデルを構築した。

5.1 習得度判定関数

演奏者の演奏が教師から合格をもらえるかどうかを判定するための習得度判定関数を設定する。関数の説明変数には、4章で説明した音高正誤率、旋律部の打鍵時間間隔、和音のバラツキの3つを用いる。実際のデータの例を表1に示す。打鍵時間間隔と和音のバラツキはそれぞれミリ秒(ms)単位である。

5.1.1 説明変数の設定

4.1.2節で述べたように打鍵時間間隔には4種類が存在するが、全ての被験者において2分音符から4分音符に遷移する際に、最も顕著に打鍵時間間隔が減少していた(図5)。そのため、習得度判定関数を設計する際にも、2分音符から4分音符に遷移する際の打鍵時間間隔を使用する。

5.1.2 習得度判定のアルゴリズム

習得度を算出するための関数を以下のように設定した。

$$\text{習得度} = (IOI)X1 + (\text{accuracy_rate})X2 +$$

表 1 分析ツールで算出した被験者 A の演奏情報

	打鍵時間間隔 (2分音符-4分音符間)	音高正解率	和音のバラツキ	旋律部音高正解率	和音欠損率
被験者 A 1 日目	506.5	66.3%	177.2	87.2%	50.0%
被験者 A 2 日目	327.2	84.2%	133.1	82.9%	6.2%
被験者 A 3 日目	49.3	94.7%	60.1	100.0%	6.2%

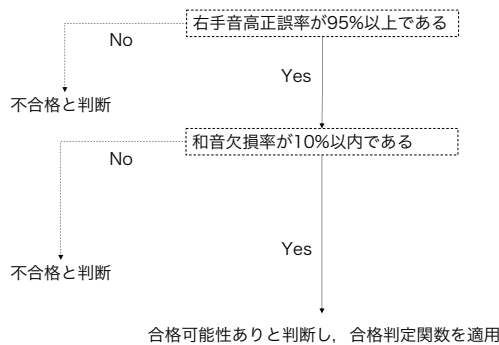


図 6 合格判定関数適用前に使用した決定木

$$(chord_variance)X3 + X4$$

2分音符-4分音符の打鍵時間間隔を IOI, 音高正解率を accuracy_rate, 和音のバラツキを chord_variance とする。また, X1, X2, X3 は任意の変数とする。X4 は初期値を 0 とし, 4分音符-4分音符間, 4分音符-2分音符間, 2分音符-2分音符間の IOI が 100ms を下回っている場合に, それぞれ 10 ずつ加算する。つまり X4 は最小値 0, 最大値 30 の値をとる。これは, 2分音符-4分音符間以外の打鍵時間間隔の習熟を考慮したものである。

なお, 実際に習得度判定を行う際は, 上記の式を用いる前に音楽として成立しているかどうかを決定木により判断する。使用した決定木のアルゴリズムを図 6 に示す。一概に音楽として成立しているかという判断を行うことは難しいが, 左手の和音が最低限弾かれているか, 旋律部の音高が正しく弾かれているかを指標とすることで, ある程度判断できると考えられる。決定木により音楽的として成立していると判断された後, 習得度判定関数を適用し, 算出した習得度が設定した閾値 5.0 を超えていた場合に, システム上は合格と判定する。

5.1.3 各変数の決定

実際に習得度を算出する場合, 習得度判定関数の X1, X2, X3 に値を代入する必要がある。それぞれの数値の重みを考えた場合, 2分音符-4分音符間の打鍵時間間隔と, 和音のバラツキに関しては, どちらもミリ秒単位の打鍵時間間隔であるが, 対象の音価が異なるため, 差分が大きくなる。そこで今回の分析においては, 筆者の演奏による教師データをもとに, X1 = -0.1, X3 = -0.08 として重みを

調整した。演奏を判断するうえで, 和音のバラツキよりも打鍵時間間隔の方が影響が大きいと考えられる。教師データにおける打鍵時間間隔と和音のバラツキの比率は約 0.41 倍であり, 打鍵時間間隔と和音のバラツキの重要度を 2:1 と仮定して, このように重みを調整した。打鍵時間間隔は暗にリズムやテンポを示すものであるといえるが, 初心者を対象とした場合, 音高の正誤に特に差が出やすい。そのため, 音高正解率に関する変数 X2 の重みを重要視し, X2 = 20 と設定した。これらの各変数の決定に関しては, 学習者の技術レベルや課題曲によって大きく変化するものと考えられる。

5.2 習得度判定の結果, および考察

習得度判定モデルを実際の被験者に適用した結果のうち, 被験者 A, 被験者 C, 被験者 E, 被験者 F の結果を表 2 に示す。合格がもらえると判定されるまでの所用日数は被験者 A, 被験者 B が 3 日間, 被験者 E が 5 日間, 被験者 F が 2 日間であった。表右端列の「習得度判定」の項目が不合格となっているものは, 5.1.2 節で説明した決定木の合格判定アルゴリズムにおいて, 不合格と判断されたものである。また, 被験者 E の 4 日目では決定木で不合格と判断されていないものの, 習得度判定関数の出力結果から, 基準に達していないことがわかる。また主観的ではあるが, 実際にこれらの結果と演奏時に取得した動画を照らし合わせてみると, 概ね耳で聴いた演奏がうまくいっていると感じた時点の演奏と合致している。

各被験者のデータを段階的に見ていくと, 被験者 E は 3 日目において打鍵時間間隔が大きく上昇している。この理由としては, 被験者 E は 1 日目, 2 日目ともに和音欠損率が非常に高い。つまり, 1 日目, 2 日目は左手をあまり弾かず, 3 日目から左手も通して演奏していたことがわかる。そのため, 3 日目から両手演奏を開始したことで戸惑い, 一時的に右手が左手につられるように演奏してしまったといえる。また, 被験者 F は 1 日目から打鍵時間間隔や和音のバラツキの要素において, 比較的良好な結果が見られるが, 和音欠損率が非常に高い。これは, 左手のミス打鍵を気にせず, テンポやリズム重視の演奏を行っていたからである。

これらのことから, 提案した習得度判定関数と決定木のアルゴリズムからなる習得度判定モデルは, 本課題曲において, いくつかの演奏パターンに対応して習得度を出力できると考えられる。一方で, 今回は初学者においても数日で演奏が完了する課題曲であり, 被験者数も多いとは言え

表 2 習得度判定モデルを被験者の演奏に適用した結果

	打鍵時間間隔 (2分音符-4分音符間)	音高正解率	和音のバラツキ	旋律部音高正解率	和音欠損率	習得度判定
被験者 A 1 日目	506.5	66.3%	177.2	87.2%	50.0%	不合格
被験者 A 2 日目	327.2	84.2%	133.1	82.9%	6.2%	不合格
被験者 A 3 日目	49.3	94.7%	60.1	100.0%	6.2%	39.1
被験者 C 1 日目	1410.3	81.0%	160.2	89.3%	6.2%	不合格
被験者 C 2 日目	211.9	94.7%	66.6	93.6%	0.0%	不合格
被験者 C 3 日目	118.3	97.8%	56.7	100.0%	0.0%	33.2
被験者 E 1 日目	748.6	48.4%	-	97.8%	100.0%	不合格
被験者 E 2 日目	636.8	70.5%	35.7	97.8%	56.2%	不合格
被験者 E 3 日目	2498.2	87.3%	57.9	89.3%	12.5%	不合格
被験者 E 4 日目	697.6	89.4%	50.6	95.7%	0.0%	-25.9
被験者 E 5 日目	155.4	100.0%	35.3	100.0%	0.0%	31.6
被験者 F 1 日目	55.1	71.5%	46.5	97.8%	43.7%	不合格
被験者 F 2 日目	27.2	100.0%	32.8	100.0%	0.0%	44.6

ないため、モデルに対して妥当な性能評価ができていない。そのため、今後は性能評価を含め、習得度を予測する頑健なモデルの構築をめざす。

6. おわりに

本稿では、学習者の演奏習得度の予測に向けた、演奏習得度判定モデルの構築について記述した。複数の被験者の演奏情報をもとに、演奏習得度判定モデル構築に必要な要素を抽出した。

2分音符と4分音符間の打鍵時間間隔、音高正解率、和音のバラツキを説明変数とした、演奏習得度判定関数を設計した。また、旋律部音高正解率、和音欠損率を抽出し、習得度判定関数の適用前に適用する、決定木による合格判定アルゴリズムを構築した。実際のデータに適用した結果、概ね耳で聞いて心地よいと感じる演奏と、出力された習得度の結果が合致した。

今後は、より定量的な性能評価を実施するとともに、被験者の人数を増やして、習得までの所用日数までを予測できる頑健な習得度判定予測モデルを構築する。

謝辞

本研究の一部は、JST CREST(JPMJCR18A3)の助成を受けたものである。

参考文献

- [1] K. Rogers et al., 'P.I.A.N.O.: Faster Piano Learning with Interactive Projection', Proceedings of the Ninth ACM International Conference on Interactive Tabletops and Surfaces, pp. 149-158, (2014).
- [2] Y. Takegawa, T. Terada, and M. Tsukamoto, 'A Piano Learning Support System Considering Rhythm', Proceedings of International Computer Music Conference, pp. 326-332. (2012).
- [3] Y. Takegawa, T. Terada, and M. Tsukamoto, 'Design and Implementation of a Piano Practice Support System using a Real-Time Fingering Recognition Technique', Proceedings International Computer Music Conference, pp. 1-8, (2011).

- [4] R. B. Dannenberg, M. Sanchez, A. Joseph, P. Capell, R. Joseph, and R. Saul, 'A Computer - based Multi - media Tutor for Beginning Piano Students', Journal of Interface, Vol. 19, No. 2-3, pp. 155-173, Jan. (1990).
- [5] S. Akinaga, N. Emura, M. Miura, and M. Yanagida, 'Toward Realizing Automatic Evaluation of Playing Scales on the Piano', Proceedings of International Conference on Music Perception and Cognition, pp. 1843-1847 (2006).
- [6] 森田慎也, 江村伯夫, 三浦雅展, 秋永晴子, 柳田益造, '演奏特徴の強調およびアドバイス文呈示によるピアノ基礎演奏の独習支援', 日本音響学会平成20年度秋季研究発表会, pp. 933-934 (2008).
- [7] M. Mukai, N. Emura, M. Miura, and M. Yanagida, 'Generation of Suitable Phrases for Basic Training to Overcome Weak Points in Playing the Piano', Proceedings of International Congress on Acoustics, MUS-07-018 (2007).
- [8] T. Kitamura, and M. Miura, 'Constructing a Support System for Self-learning Playing the Piano at the Beginning Stage', Proceedings of International Conference on Music Perception and Cognition, pp. 258-262 (2006).
- [9] Ferguson, R. 'Learning analytics: drivers, developments and challenges' International Journal of Technology Enhanced Learning, pp. 304-317 (2012).
- [10] H. Itoh, K. Itoh, and K. Funahashi, 'Forecasting Students' Grades Using Bayesian Network Models and an Evaluation of Their Usefulness' Journal of Information and Systems in Education, Vol.11, No.1, pp. 32-41, (2012).