Vol.2014-MUS-102 No.9
2014/2/23

スコアインターフェースを用いたジャズピアノ練習における タイムフィール獲得について

有田 光希[†1]　馬場 隆[†1]　片寄 晴弘[†1]

概要：クラシックピアノの演奏スキルを持っている奏者でも，演奏表現の習得方法や必要とされる演奏技術が異なっていることからジャズピアノ演奏の習得は容易ではない．本研究では，クラシックピアノ経験者がジャズ独特の「タイムフィール（リズム感)」を習得することを目的とした練習支援システムの開発を行った．システムは，五線譜上に施す様々な表記を用いて，ユーザにジャズのタイムフィールを視覚的に明示する．用いる表記は事前に行ったユーザテストを通して決定し，ユーザの練習時のレベルに応じたものをシステムが選んで使用する．また，評価実験では，システムを用いてクラシックピアノ経験者に実際に練習を行ってもらい，演奏記録と聴取したコメントから，ユーザがシステムを用いた練習を通して実際にタイムフィールの獲得できたか検討した．その結果，五線譜上にプロの演奏のタイムフィールを可視化することでユーザがタイムフィールを習得できることが明らかになった．さらにこの練習を通して，ユーザはシステムを用いて練習を行っていない曲についても，適切なタイムフィールを持った演奏が行えるようになった．

1. はじめに

クラシックピアノを習い，基礎を学んだ後ジャズを始めたいという人は少なからず存在する．しかし，クラシックピアノの演奏スキルを持っている奏者でもジャズを演奏することは簡単ではない．理由として，クラシックとジャズでは演奏表現の習得法や楽譜の扱いが異なっていることが挙げられる．

クラシックは，「再現芸術」と呼ばれているように，演奏する音と作曲者の意図を表す表現記号がほぼ楽譜に記されている．クラシックのピアニストは，楽譜に記述されたことを再現し，その上で，自分なりの演奏表現を作り上げることが求められる．それ故，クラシックピアノ経験者は，楽譜を速く読み，正確に演奏する能力に長けている．一方で，ジャズは「即興芸術」と呼ばれ，ジャズピアニストにはその場その場で演奏を作り上げていくことが求められる．ジャズの楽譜は数小節分のメロディとコード程度しか記されていない場合が多く，ジャズピアニストは，即興でメロディのアレンジを行い（即興アレンジ)，コードを基に伴奏を作り（ヴォイシング*1)，ジャズ独特のタイムフィール*2を付与していく．そのため，ジャズにおいては楽譜と実際の演奏に大きな乖離が存在し，楽譜の再現を前提とした練習を行ってきたクラシックピアノ経験者にとって，その演奏は容易ではない．特に，タイムフィールは楽譜に表記することが難しく，これを習得するためにはプロのジャズ奏者の演奏を何度も聞いて，真似を繰り返すという方法（耳コピ）しかない [13] ため，クラシックピアノ経験者がジャズ演奏に対して敷居が高く感じる原因となっている．

これまでに，楽器練習を支援するシステムは多数開発されてきた [5], [6], [7], [8], [9] が，これらは楽譜通りの正確な拍位置・音価・音高で演奏することを目標とした練習を支援するものであった．ジャズの場合，楽譜に書かれていない演奏表情を表現することが必要であるため，これらのシステムで用いられてきた支援方法では不十分である．クラシックピアノ奏者にとって，ジャズ演奏への敷居を下げるためには，まず慣れているクラシックの練習方法をジャズの練習に利用し，その後，奏者の熟達度に応じて少しずつクラシックの練習方法を排除していくという２段階の練習が必要であると考える．

本研究では，クラシックピアノ経験者が従来の楽譜からは習得し難い「タイムフィール」に焦点をあてた練習支援システムの構築を行う．システムは，楽譜を早く正確に読めるというクラシックピアノ経験者の長所を活かすためにスコアベースとし，画面に表示された楽譜の表記を演

†1 現在，関西学院大学大学院理工学研究科
Presently with Graduate School of Science and Technology, Kwansei Gakuin University

*1 和音にするための音の積み重ね

*2 物理的な時間間隔ではなく人間が感じている拍のこと．リズム感・ノリとも言われる．

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

奏中に動的に変化させることによって，プロの演奏のタイムフィールを視覚的に明示する．また，ユーザがタイムフィールを習得したとシステムが判断すると，変化させた表記を少しずつ元に戻し，最終的には従来のジャズの楽譜を見た状態で適切なタイムフィールを持って演奏できることを目標とする．

2. 本研究における課題とアプローチ

クラシックピアノ経験者向けのジャズピアノ教則本 [1] が存在することからも，クラシックピアノ経験者を対象としたジャズ演奏の教育には潜在的な需要があると考えられる．本章では，クラシックピアノ経験者がジャズ演奏を習得する際の課題と，それを解決するために本研究で提案するアプローチについて述べる．

2.1 ジャズピアノ演奏の習得における課題

2.1.1 楽譜におけるクラシックとジャズの違い

楽譜とは音楽を記録するために楽曲をある一定の約束に従って記号化したものであり．その形態は文字で表したもの（月琴，尺八等）や演奏情報を直感的に視覚化したもの（ピアノロール等）など多岐にわたるが，最も普及しているものは五線譜である．五線譜とは，主に西洋音楽で広く用いられている楽譜であり，５本一組の直線からなる五線（水平軸が時系列・垂直軸が音高を表す）上に音符・休符・音楽記号を書いているものを指す．

同じ五線譜でもクラシック音楽において用いられる楽譜には，奏者が弾くべき音が全て記載されているが，ジャズで用いられる楽譜には最低限のメロディとコード情報しか書かれておらず，演奏に関する情報量が少ない．クラシック奏者にとっての楽譜は奏者が暗譜するまでは必需品であるが，ジャズ奏者にとっての楽譜はメモ書き程度に利用されることがほとんどである．なので，クラシックは楽譜に記述されている指定を守った上で奏者が独自のアレンジを行うがジャズは同じ曲でも奏者によって全く違う演奏になる．

2.1.2 演奏におけるクラシックとジャズの違い

ジャズピアノ演奏において重要であるがクラシックピアノ経験者が慣れていない要素として，「即興アレンジ」，「ヴォイシング」，「タイムフィール」が挙げられる．即興アレンジとは，楽譜に書かれているメロディから音符の加減・変更を行ったり，楽譜上ではメロディが書かれていない箇所に即興で作ったメロディを挿入することである．ヴォイシングは，楽譜に書かれたコードネームを基に和声をアレンジすることである．即興アレンジとヴォイシングは楽譜上で記述することが可能であり，プロの演奏を五線譜に書き出した楽譜が市販されている [1]．従来，ジャズを対象とした研究では，即興アレンジやヴォイシングの生成であったり [2], [3]，即興アレンジにおけるプレイヤ間の演奏予測・生成に焦点があてられていた [4]．

タイムフィールとは，いわゆる「リズム感・ノリ」と言われるもので，どのジャンルにおいても表情豊かな演奏を行うために不可欠な要素である．ジャズ演奏では，拍から発音時刻・消音時刻を意図的にずらしたり，音の強弱をつけることによって，スウィングをはじめとする独特のリズム感を表現することが多い．タイムフィールは，即興アレンジ・ヴォイシングとは違い，従来の五線譜では表現することができない．タイムフィールを習得する方法としては，プロの演奏を注意深く聞き，自分で再現することを目指す，いわゆる「耳コピ」しかないとされてきた [13]．筆者が，クラシックピアノの演奏経験があり，本格的なジャズ演奏経験のない奏者 80 人を対象に行ったアンケートにて，「ジャズの演奏で苦手意識がある点（複数回答可）」を尋ねたところ，即興アレンジと回答したのが 36 名，ヴォイシングと回答したのが 17 名，タイムフィールと回答したのが 45 名であったことから，タイムフィールはクラシックピアノの経験者にとって，特に苦手意識を感じやすい要素であることが分かる．

2.2 課題に対するアプローチ

クラシックピアノ経験者がタイムフィールに苦手意識を持つ原因の 1 つとして，クラシックピアノ経験者は楽譜に書かれた情報をもとにした練習に慣れているが，タイムフィールは楽譜上で表現できず，耳からの情報のみを頼りに習得するしかないことが考えられる．そこで，本研究では，クラシックピアノ経験者の，楽譜を読むことに長けているという点を活かし，タイムフィールを楽譜上に視覚的に明示することでジャズピアノの練習を支援するスコアベースのシステムを構築する．

本研究で構築する練習支援システムは，(1) プロのタイムフィールを直感的に表す表記を付加した楽譜の表示，(2) ユーザの演奏とプロの演奏を比較，(3) 2 の結果とミスタッチの数から，ユーザの習得レベルを判定し，それに応じて推奨する表記を決定，という機能を持ち，練習中は (2) (3) をループする（図 1）．ユーザはプロの演奏の聴取から得た聴覚的な情報と，システムから与えられる視覚的な情報をもとに練習を進める．システムに入力された演奏は MIDI[*3]形式で取り扱われる．本研究では，タイムフィールを構成する要素として発音時刻・消音時刻・音量に着目する．練習曲として，「指使いが比較的単純で，ジャズ独特のリズム感を含んでいる」という条件を満たしたスタンダードナンバーのテーマ部分を用いる．システムがあらかじめ保有している演奏表現の情報はプロの演奏をもとに作られる．入力された演奏の各音符における演奏情報について，プロの演奏とユーザの演奏を比較し，その結果よ

*3 Musical Instrument Digital Interface の略．電子楽器の演奏データを機器感でデジタル転送するための規格．

り，ユーザの現在の習得レベルを判定する．演奏の癖や上達のスピード，表記への慣れ方はユーザによって異なるため，用いる表記について，システムは推奨するという形で，実際に用いるかはユーザが選べるようにする．また，システムは楽譜とユーザの演奏のリアルタイムマッチングを行い，ユーザが練習中ミスタッチや弾き飛ばしをしても楽譜上の現在位置を正確に検出できるようにする．

以下に，本研究のアプローチにおける重要な要素について，関連研究を紹介しながら説明する．

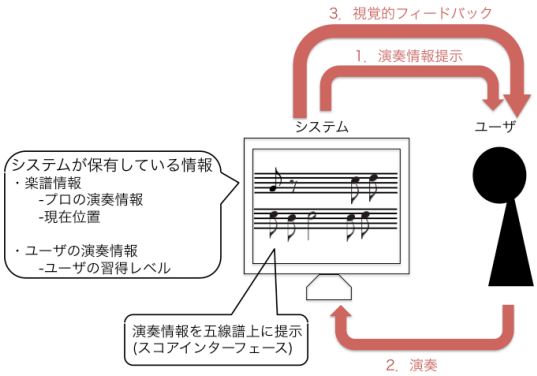

図 1 課題に対するアプローチ

2.2.1 スコアインターフェース

従来の楽譜は，演奏の前後に情報を記録するための静的なものであったが，技術との融合により，五線譜をベースにしたシステム（スコアインターフェース）では，書かれる情報の増減を容易に行えたり，アニメーションを用いた動的な表記を使用できるようになった．スコアインターフェースは，楽譜が読めるユーザ向けのシステムを構築する場合に採用されている．以下にその一部を紹介する．

梶らは，楽曲に対するユーザの印象や楽曲の構成等の解釈を収集するスコアインターフェースを構築した [8]．インターフェースは web 上に構築されており，ユーザは，自身が楽曲に対して持った印象を，楽曲全体・楽曲を時間的にセグメント化したもの・楽譜の要素（音符等）にそれぞれアノテートすることができる．渡辺らは，コンピュータ上でインタラクティブに操作できる楽曲学習支援システムを実装した [7]．多数のパートが存在するアンサンブル譜を奏者の目的に合わせてパートを拡大，もしくは非表示にするモードや，繰り返し情報やパート間でのメロディの受け渡し情報が可視化されたモード等を作ることによって，効率的なスコアのブラウジングを実現した．

スコアインターフェースでは，従来の楽譜で用いられている記号や，クラシックピアノ経験者が楽譜にメモ書きを行う状態を再現したような表記が用いられることが多い．本研究では，これらの表記に加え，動的な表記や，従来の楽譜・スコアインターフェースで用いられなかった表記も候補に入れ，クラシックピアノ奏者にとって，どのような楽譜上の表記がタイムフィールの視覚化に適しているかを実装に先立って調査し，その結果に基づいてシステムの実装を行った．調査の詳細は 3.1 節で述べる．

2.2.2 視覚的フィードバック

楽器練習は，「お手本を聞いて真似をし，自分の演奏をお手本に近づけていく」ことを反復して行うことが多い．そのため，練習支援には，ユーザの演奏を分析し，その結果に基づいてユーザの弱点を指摘するフィードバックが必要である．従来の練習方法では，聴覚に頼る部分が大きいため，そこにフィードバックとしてユーザに視覚情報を与え，練習・演奏を支援するという試みは多く行われてきた．以下にその一部を紹介する．

岩見らは，ドラム初心者・中級者の演奏を分析し，その結果を基に演奏の評価軸を定め，ドラム演奏練習支援システムを構築した [5]．打刻時刻のずれや欠落音を，ドラム譜と折れ線グラフから成る視覚フィードバックとしてリアルタイムにユーザに提示し，システムが自動評価する熟達度とユーザの演奏を基に最終的な演奏評価を行い，その結果に基づいたアドバイスを文章でユーザに返す．Hoppe らは，ユーザの歌唱をリアルタイムに分析し，波形や五線譜，ピアノ鍵盤に色をつけるなど様々な表記を用いて，どの程度正確に歌唱が行えているかフィードバックを行うシステムを構築した [6]．

視覚的フィードバックを用いた練習支援は様々な表記方法を用いているが，システムユーザにとってなじみがある表記，もしくは誰でも直感的に理解できる表記を用いて，最小限の欲しい情報を的確に示しているという共通点がある．そこで，本研究では，実装したシステムを用いて反復練習に適した表記を調査した．特に，従来の楽譜で用いられなかった表記に対して，反復練習における慣れの効果が現れるか検討した．この調査の詳細は 3.2 節で述べる．

2.2.3 ユーザの習得レベルに合わせた支援

ジャズのピアニストは，リズムに関する表記がほとんどない楽譜を用いて，自身でタイムフィールを付加していく．タイムフィールの習得には，(1) 表記による支援がある状態でプロの演奏に近いタイムフィールを付加した演奏ができるようになる，(2) 表記による支援がない状態でタイムフィールを付加した演奏ができるようになる，の 2 段階が必要となる．システムは，練習中ユーザがどの段階に所属しているか判定し，(1) の段階ではプロの演奏やユーザの演奏を視覚的に明示する表記を用いるが，(2) の段階では表記を減らしていく．

2.2.4 楽譜追跡

システムは，練習中，プロの演奏とユーザの演奏を音符単位で比較する．システムに楽譜追跡機能を実装し，楽譜とユーザの演奏のマッチングを行えるようにすることで，演奏音の誤りや弾き飛ばし，弾き直しがあってもユーザが楽譜上のどの音符を演奏したか，システムが正確に把握することができる．ミスタッチを許容するリアルタイム楽譜追跡機能については既存研究で確率ベースのモデル化が行

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

われている．

Dannenberg らは，動的計画法を用いて演奏と楽譜の動的な対応付けを行った [10]．入力された演奏の音高情報について楽譜とマッチングをとることで，演奏の局所的な誤りを考慮した楽譜上の現在位置を追跡することに成功した．武田らは，隠れマルコフモデル（以下 HMM）を用いて，演奏に対するリアルタイムでのリズム・テンポ推定を基に自動伴奏システムを構築した [11]．演奏誤りや同時刻に複数音の発音が行われる場合の演奏順序を確率的にモデル化し，多声音楽の動的な楽譜追跡を実現した．

本研究では，武田らの HMM を用いたモデルのうち，テンポが既知である場合の弾き飛ばし・弾き直し・演奏誤りを許容する楽譜追跡機能をシステムに実装する．これは，用いる練習曲がジャズ曲のテーマ部分であるため，大きなテンポの変動は起こらないからである．

3. 楽譜表記に関する調査

スコアインターフェースでは，動的な表記を含めた様々な表記を用いることができるが，ほとんどのクラシックピアノ経験者は，従来の楽譜で用いられない表記に慣れていない．よって，システムを実装する前に，クラシックピアノ経験者にとって，練習の邪魔にならず，楽譜上でタイムフィールを視覚的に捉えさせる表記はどのようなものであるか調べる必要がある．表記の候補として，音楽記号や楽譜への書き込みといった従来の楽譜・スコアインターフェースで用いられている手法や，音符そのものの位置や大きさを変えるといった従来の楽譜で用いられていない手法，ピアノロールに代表される五線譜では用いられないが楽譜要素を直感的に表す手法を挙げ，その中から，ユーザが見やすいと感じるものと，ユーザの演奏に対して影響を与えるものを選んだ（3.1 節）[12]．

また，システムは反復練習を前提としているため，動的な表記を含む従来の楽譜で用いられない表記を用いて練習を行った場合，ユーザの表記への慣れの効果がどのように現れるか調査した（3.2 節）．

3.1 使用表記の選定に関する予備調査

3.1.1 概要

ジャズの本格的な演奏経験が無く，調査で使用する楽曲を聞いたことがない音楽大学のピアノ科に在籍する学生 10 名に，プロのジャズピアニストによる演奏を聴いてもらった後，同曲の様々な表記を用いた楽譜を見ながら演奏を行ってもらい，その録音と順位付けからシステムに適した表記の選別を行う [12]．

「C Jam Bluses」の冒頭 4 小節を使用楽曲，Red Garland Trio のアルバム「Groovy」に収録されている演奏（BPM=170）を手本演奏として用いる．楽曲の選定理由は，指使いが簡単であるため，初見に際し被験者のピアノ演奏能力が結果に影響しないこと，楽譜とプロ演奏のジャズ独特のリズムを含んでいることである．

調査手順は，まず被験者に手本演奏を聞かせ，その後，表記を静止画像もしくはアニメーションで作成したものを見てアコースティックピアノで演奏してもらう．試行は，従来のジャズの楽譜からコードネームを省いた，音符のみ書かれている楽譜を表記なし楽譜として 1 つの試行とし，それに加えてリズム・アーティキュレーションについての表記を加えた楽譜 10 種類，音量についての表記を加えた 6 種類の合計 17 種類を用意する，動的な表記として，アクセントをつけるべき音符の大きさを演奏中に大きくするという試行を用いる．

3.1.2 結果

演奏後，それぞれの表記についての感想を聴取し，後日，演奏の録音データを解析した．これらの結果から，ユーザに無意識もしくは意識的に働きかける表記を選定した．演奏の録音データを解析した結果から，**音符の位置・サイズを変える表記は，ユーザの無意識に働きかけ，演奏の修正に効果的である**ことが分かった，これらの表記について，被験者からは「見た目がシンプルであるので，短時間での譜読みに向いている」という肯定的な意見と「従来の楽譜で見ない書き方なので違和感を感じる」という否定的な意見が得られた．アニメーションを用いた動的な表記についても，「演奏中にびっくりしてしまう」という意見と「サイズが大きくなった音符を無意識に強く弾いた」というコメントが得られたことから，**動的な表記については反復練習の中で表記に慣れていった場合の被験者からの印象と演奏に対する効果を調べる必要がある，**音符に丸や矢印を書き込む表記は，ユーザが普段楽譜へ同じような書き込みを行っている場合には肯定的な意見が得られたが，そうでない場合には「どのように演奏を直せばいいのかわからない」という否定的な意見が出された．

3.2 反復練習に適した表記の選定に関する調査

3.2.1 概要

システムを用いて反復練習を行った場合，表記への印象がどのように変化するか，特に演奏中に動的に変化する表記や，複数の表記を組み合わせた場合の効果について調べる．被験者は，使用楽曲を聞いたことがない音楽大学のピアノ科に在籍する学生 12 名（男性 1 名，女性 11 名，平均年齢 19.3 歳），使用楽曲は 3.1 節で述べた調査と同じ曲の冒頭 16 小節部分を使用した．

用いた表記は，(1) 演奏中，発音時刻が合わなかった音符上に矢印を書き込む（楽譜への書き込みを再現）(2) 音楽記号を付加する（従来の楽譜で用いられた手法）(3) プロ・ユーザそれぞれの演奏について発音/消音時刻をピアノロールで表す（五線譜で用いられない動的な手法）(4) 音符の大きさを演奏前に変える（五線譜で用いられない手

法）（5）音符の位置を演奏前に変える（五線譜で用いられない手法）（6）ユーザの演奏を薄い音符で表示する（動的にユーザの演奏を可視化する手法）である．手順は，まず，被験者の音楽経験についてアンケートを実施する．次に，手本演奏を１回，スピーカより音を出して提示する．そして，調査で使用する表記について説明を行い，それぞれ単独で反映させた状態で練習を行う．その後，気に入った表記，初見では難しいと思った表記を用いたり，複数の表記を組み合わせた状態で練習を行う．最後に，各表記に対する使いやすさを５段階で印象評価を行ってもらい，口頭で感想を聴取する．

3.2.2　結果

印象評価を集計した結果，**音符の大きさ・位置を変更する表記と演奏中に自分が演奏したタイミングを音符で示す表記が使いやすい**という結果になった（図 2）．これより，**反復練習においては，従来の楽譜で用いられていない表記でもユーザは使いやすく感じる**ということがわかった．特に，ユーザが演奏したタイミングを薄い音符で表示する表記について，「どのように演奏を直せば良いのか分かりやすい」というコメントが得られ，演奏面での向上も見られた．動的な表記は，「慣れたら自身の演奏を修正するための手がかりとして分かりやすいが，譜読みが完了するまでは邪魔に感じる」というコメントが多かったため，**ユーザの習得レベルを考慮して使用すべき**だと考えられる．

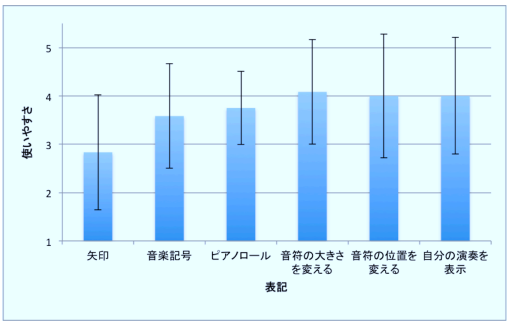

図 2　反復練習を行った場合の各表記に対する印象

3.3　インターフェースデザイン

２度の調査結果を踏まえて，システムで用いる表記を以下のように設定する．

- システムで用いる表記を静的な表記・動的な表記・オプション表記の３グループに分ける

  表記グループ 1：静的な表記

  音符の位置を変える・音符の大きさを変える・プロの演奏の発音時刻と音価をピアノロールを用いて表示する

  表記グループ 2：動的な表記

  ユーザの演奏を薄い音符で表示する・ユーザの演奏の発音時刻と音価をピアノロールを用いて表示する

  表記グループ 3：オプション表記

  プレイバックバー（楽譜上をバーが動いて現在位置を示す）・音符に矢印をつけて適切な発音時刻を示す・音楽記号で適切な音価や音量を示す

- ユーザの習得レベルと，推奨する表記グループを以下のように設定する．

  1．未暗譜の段階

  楽譜（演奏する音符の音高・発音時刻・音価）を記憶していない状態

  用いる表記グループ：静的な表記

  2．適切な演奏表情が不明な段階

  楽譜が頭に入っているが，どのような演奏表情をつけたらいいか分からない状態

  用いる表記グループ：静的な表記＋動的な表記

  3．汎用的なタイムフィールが未習得の段階

  ユーザが自立的に演奏表情をつけられない状態

  用いる表記グループ：２の表記をユーザの熟達に合わせて減らしていく

システムは表記について推奨という形で提示し，ユーザが手動で表示/非表示を選ぶことができる．推奨通りにシステムを使うと，ユーザの練習段階が１→２では表記が増え，２→３では表記が減り，最後は表記による支援なしでタイムフィールを付加した演奏を行うことを目指す．

4.　システム

システムの構成を図 3 に示す．ユーザインターフェースの入出力管理と画面描画は Flash，それ以外の部分は Java で実装されている．ユーザは，コンピュータに繋いだ MIDI キーボードを用いて，コンピュータのスピーカーから流れてくる伴奏に合わせてピアノパートを演奏する．システムは，入力されたユーザの演奏とプロの演奏の発音/消音時刻・音量について表記を用いて可視化する．以下，用いるデータとシステムの各機能について説明する．

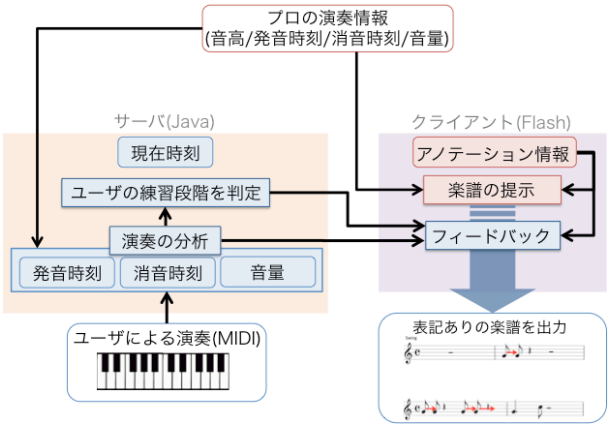

図 3　システム構成

4.1　使用データの準備

ジャズの出版譜 [14] の楽譜情報を MusicXML*4によっ

*4　XML 形式の楽譜表記のためのオープンなフォーマット

て記述し，そこから抽出した各音符についての音高・発音時刻・消音時刻を表記なしの楽譜情報とする．また，プロによる演奏の録音データから筆者が聴取作業により作成した SMF（Standard MIDI File）を finale[16] を用いて MusicXML によって記述し，そこから抽出した各音符の音高・発音時刻・消音時刻をプロの演奏情報とする．音量については MusicXML に代わり DeviationInstanceXML*5 によって記述したものから抽出する．

4.2 プロの演奏情報を反映した楽譜の表示

手本演奏における全ての音の発音時刻・音長・アクセントやスタッカート，テヌート等の演奏表現を筆者が音源より聴取作業にて分析し，得られた特徴を静的な表記で可視化する．静的な表記を視覚的にわかりやすくするため，システムは，表記のなしの楽譜を起動時に表示し，ユーザが手動で切り替えることで静的な表記ありの楽譜を表示する．

4.3 ユーザの演奏とプロによる演奏の比較

ユーザが演奏を行うと，システムは発音時刻・消音時刻について式（1），音量について式（2）に基づいた判定を行う．

$$j_t(i) = \begin{cases} early & if \quad T_p(i) - T_u(i) > TPB/4 \\ late & elseif \quad T_u(i) - T_p(i) > TPB/4 \\ just & else \end{cases} \quad (1)$$

$$j_v(i) = \begin{cases} quiet & if \quad V_p(i) - V_u(i)/127 > 0.5 \\ loud & elseif \quad V_u(i)/127 - V_p(i) > 0.5 \\ just & else \end{cases} \quad (2)$$

ここで，$T_p(i)$，$T_u(i)$ はそれぞれプロ，ユーザの演奏における i 番目の音符の発音/消音時刻，$V_p(i)$，$V_u(i)$ はプロ，ユーザの演奏における i 番目の音符の音量，TPB は 1 拍の長さ（本研究では 480ms に定めている）を表す．

4.4 楽譜上の現在位置検出

システムには，ユーザの演奏と楽譜を対応づけて，現在の演奏位置を動的に推定する楽譜追跡機能が実装される．楽譜追跡機能は，演奏における音符の遷移を隠れマルコフモデル（HMM）として扱い，Viterbi 探索を用いて入力された演奏の楽譜上の位置をリアルタイムで推定する [11]．

4.5 ユーザの習得レベルに合わせた表記の推奨

ユーザが演奏している間，システムは，現在どの習得レベルにユーザが所属しているかを判定する．判定は（1）誤って弾いた音（ミスタッチ）の数，（2）4.3 で分析したプロとの演奏の差分，に基づいて行われる．習得レベルは 5 段階に設定されている．以下に習得レベルの遷移とそれぞれの習得レベルにおいて推奨される表記について述べる．

習得レベル１：ユーザが譜読みを行っている段階である．ユーザは，プロの演奏表情の特徴を示す静的な表記が施されている楽譜を見ながら演奏することによって，曲を演奏するための基本的な指の動かし方と従来の楽譜から読み取ることが困難であったプロの演奏表情を学習する（図 4 (2)）．ユーザは演奏に慣れたと感じたら手動で習得レベル２に移る．

習得レベル２：ユーザが自身の演奏とプロの演奏を比較し，自身の演奏をプロの演奏に近づける段階である．プロの演奏表情の特徴を示す静的な表記と，ユーザの演奏を反映する動的な表記の両方を用いる（図 4 (3)）．自身がタイムフィールを習得できたとユーザが感じたら手動で習得レベル３に移る．

習得レベル３〜５：ユーザ自身が表記による視覚的な補助無しで，プロのような表情豊かな演奏を行うための練習段階である．習得レベル３は習得レベル２と，習得レベル４は習得レベル１と同じ表記を使用し，習得レベル５は表記なしの楽譜（図 4 (1)）を用いる．ユーザがプロの演奏表情を習得できているとシステムが判定した場合，次のレベルへと自動的に移る．習得レベル５において，ユーザがプロの演奏表情を習得できていると判定された場合，合格となり練習は終了する．習得レベル 3〜5 で用いた合格判定基準を以下に記す．

- 音高の間違いがなく，各音の発音・消音時刻両方について，プロの演奏の該当音との時間差が 1/4 拍以下であればその音符は「合っている」とみなす．
- 「合っている」とみなされた音符数が演奏した音符数の半分を超えていたら合格とする．

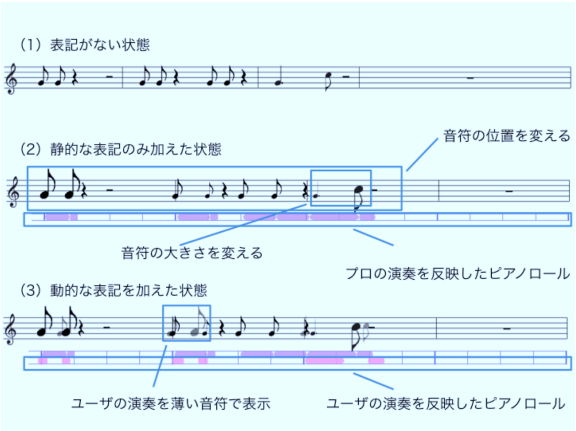

図 4 演奏提示

5. 評価

本研究では，タイムフィールを楽譜上に視覚的に明示することで，クラシックピアノ経験者を対象としたジャズピ

*5 演奏表情を楽譜からのズレ (逸脱) という形で記述するフォーマットであり，CrestMuseXML[15] の一部．

アノ演奏の練習を支援するシステムを構築した．システムの評価を行うために，クラシックピアノ経験者に，実際にシステムを使いながら練習を行ってもらい，その後感想を聴取した．また，デモ展示を行い，ピアノに限らず様々な楽器演奏経験者からシステムの印象や今後実装してほしい付加機能について聴取した．

5.1 クラシックピアノ奏者を対象とした評価実験

クラシックピアノ経験者に，システムを使って練習を行ってもらった．その際の演奏情報の記録と，練習後に被験者から聴取した感想より，表記が演奏のタイムフィールを可視化できているか，また，ある曲のタイムフィールを学ぶことで他曲の演奏も変化するか調べる．

5.1.1 概要

ジャズの演奏経験が無く，実験で使用する楽曲を聞いたことがないクラシックピアノ経験者に，システムを用いてジャズピアノ曲の練習を行ってもらい，記録した演奏の情報と被験者のコメントからシステム評価を行った．被験者は，クラシックピアノを習ったことのある学生５名，楽曲は，課題曲として，Duke Ellington の「C Jam Bluses」の冒頭 16 小節における旋律部分（単音），練習曲として．Miles Davis の「Doxy」の冒頭１６小節における伴奏部分（和音，ただし単音で演奏できる処理を施しているので被験者は１本の指で演奏する）を使用した．

実験の手順を以下に記す．まず，被験者に何も表記が施されていない楽譜を見せた状態で課題曲を１度聴取させ，演奏させる．次に，システム操作について説明し，システムを用いて練習曲の練習を約 40 分間行わせる．その後，再度何も表記が施されていない楽譜を見せた状態で課題曲を演奏させ，最後に，システムの使用感について，口頭での聴取を含むアンケートを実施する．実験の様子を図５に示す．

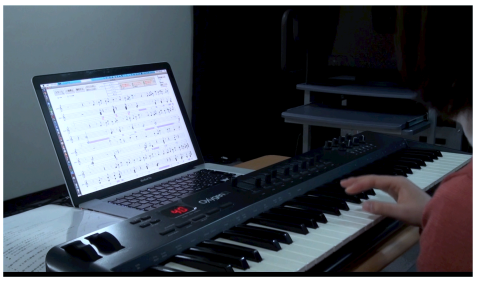

図 5 評価実験の様子

5.1.2 結果

被験者の行動パターンは「楽譜を見ながらプロの演奏の聴取」→「推奨された表記を用いた練習」を繰り返す，推奨された表記から気に入らないものは外して練習を行う，ほぼ全ての練習を動的な表記を用いて行う，等様々であった．表記については，最初は読みにくいと感じたが，練習を繰り返し，慣れると使いやすいというコメントを得た．

練習曲について，練習開始時と，各レベル終了後の，ユーザの演奏とプロの演奏との差分を取った結果，レベル２終了時が最も差分が小さく，その後は差分が大きくなるといった結果になった．また，実験冒頭と終了時に演奏した，課題曲の，それぞれの発音時刻・消音時刻についてユーザによる演奏とプロの演奏との差分を取った平均を図６に示す．発音時刻に関しては，ほぼ全ての被験者で最後の演奏の方がプロの演奏に近づいている．課題曲の聴取に関して「実験冒頭時と終了時で意識が変わったか」との質問には全ての被験者が変わったと答え，具体的には，終了時には楽譜と実際の演奏の違いを意識して聞き取ったというコメントが得られた．「どの要素に関して注意深く聞いたか」という質問に対する回答では，全ての被験者が発音時刻を含めていたのに対し，消音時刻と音量については被験者によって意識の差が見られた．

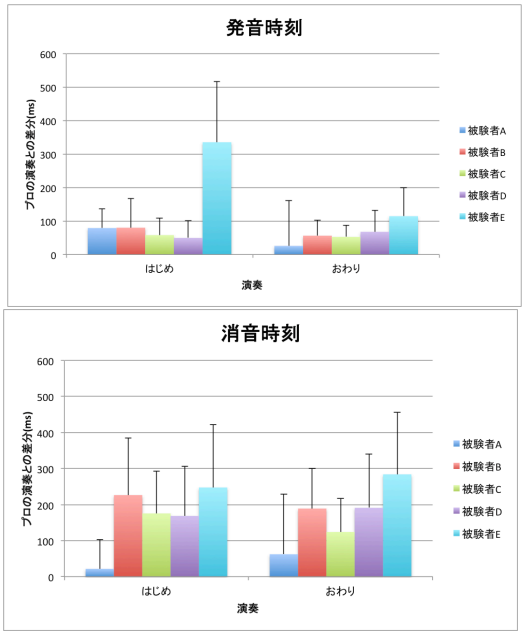

図 6 課題曲演奏についてユーザの演奏とプロの演奏の差分

5.1.3 考察

実験で得られた被験者の演奏とコメントより，表記を用いてユーザに対してプロの演奏におけるタイムフィールを可視化することは練習に有益であると考えられる．また，本システムでの練習はユーザに対して，練習した曲とは別の曲に対する聴取の意識も変化させることができた．しかし，練習後半の，演奏に対する判定が入る段階で演奏の向上が見られなかった．これは，判定基準がユーザ元来のピアノ演奏スキルより高過ぎる，もしくは低過ぎるといった現象が起きていたことが原因と考えられ，個人のピアノスキルを考慮した判定基準についての検討が今後必要となる．また，課題曲の演奏記録から，ユーザの意識を発音時刻へ向けることは達成できたが，消音時刻と音量に関しては不十分であったと考えられる．

ⓒ 2014 Information Processing Society of Japan

5.2 デモ展示による一般評価

2013 年 9 月 15 日〜21 日の 7 日間，デモ展示を行い，楽器演奏経験者（11〜63 歳の男性 57 名，女性 24 名）を対象にアンケートを実施した．展示では，静的な表記のみ用いるモードと動的な表記を加えたモードの 2 種類を手動で切り替えて C JAM BLUES を演奏してもらった．アンケートでは，各モードの使いやすさとシステム全体に対する使いやすさに対する 5 段階の印象評価，システムに対する意見，回答者の音楽歴を尋ねた．印象評価の結果（図 7）より，楽器演奏経験者からの印象は良好であったと言える．寄せられた意見の一部を以下に記す．

- 自分の演奏でできていない箇所が分かるのが良かった．
- 実際の演奏が楽譜とどれだけずれているかが分かった
- 他の曲・ジャンル・楽器で使えるものも開発して欲しい
- システムに慣れるまでは難しいと思う
- 自分の演奏が演奏中に可視化されるのが気になる
- 自分の演奏を録音する機能が欲しい

従来の楽譜と実際の演奏の差分や，自分の演奏でできていない部分が視覚的に分かる，という意見が得られたことから，本研究の狙いは達成できたと言える．ピアノ以外の楽器経験がある回答者からは，他の楽器（ギター，ドラム等）やジャンルでも使えるようにして欲しいとの回答が得られた．このことから，タイムフィール習得に焦点をあてた練習支援に対するニーズが確認された．また，ジャズの演奏経験がある回答者や，音楽経験が豊富な回答者からは録音機能への要望が得られた．ある程度の音楽経験を積んだ奏者は，演奏表情は聴覚から得た情報を基に作り上げるという印象が強いことが理由と考えられる．

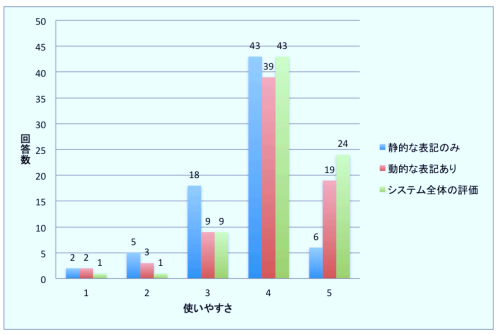

図 7 展示時に行ったアンケート結果

6. まとめ

本研究では，クラシックピアノ経験者を対象としたジャズピアノ演奏におけるタイムフィール習得支援を目的としたスコアインターフェースを構築し，提案したアプローチが実際にタイムフィール習得に有効であるか調べた．実験結果より，五線譜上にジャズにタイムフィールを可視化することは，ユーザのタイムフィール習得に有効であり，さらに，システムを用いて練習しなかった曲について演奏の向上も見られた．今後の課題として，評価実験の結果より，(1) 消音時刻と音量にユーザの意識を向けさせるような表記・方法についての再検討 (2) クラシックピアノ経験者間のピアノ演奏スキルの高低が非常に幅広いことを考慮し，練習後半の合否判定基準の検討，が挙げられる．

参考文献

[1] 宮前 幸弘，山本 琢，加藤 英介，あびる 竜太：超実践！ジャズ・ピアノ塾-賢人 20 人から学ぶ”ジャズらしい”弾き方，リットーミュージック・ムック (2011).
[2] 吉田 洋平，浜田 望，国松 昇: 遺伝的アルゴリズムを用いたジャズにおけるアドリブソロの生成，情報処理学会研究報告，Vol.2006，pp.49-54（2006）
[3] 後藤, 真孝，平田, 圭二: ハービー君 : 演繹オブジェクト指向に基づいてジャズらしいコードにリハーモナイズするシステム，情報処理学会研究報告，Vol.96，pp.33-38（1996）
[4] 浜中 雅俊，後藤 真孝，麻生 英樹，大津 展之: Guitarist Simulator : 演奏者の振舞いを統計的に学習するジャムセッションシステム，情報処理学会論文誌，Vol.45，pp.698-709（2004）
[5] 岩見 直樹，三浦 雅展: MIDI 楽器を用いたドラム演奏練習支援システムの提案， 情報処理学会研究報告，Vol.2007，pp.85-90（2007）
[6] D. Hoppe, M. Sadakata and P. Desain: Development of real-time visual feedback assistance in singing training: a review, Journal of Computer Assisted Learning, 22（2006）.
[7] 渡邉 ふみ子，藤代 一成，平賀 瑠美: デジタルスコアによる楽曲学習支援インタフェース，情報処理学会論文誌，Vol.45，No.3， pp.710-718（2004）
[8] 梶 克彦，長尾 確: 楽曲に対する多様な解釈を扱う音楽アノテーションシステム，情報処理学会論文誌，Vol.48，pp.258-273（2007）
[9] 雨宮聡子，金子敬一: 音高と音価に着目した譜読学習システムの設計と実現，情報処理学会研究報告，Vol.46，pp.7-14（2006）
[10] Dannenberg R.B.: An on-line algorithm for real-time accompaniment，In Proceedings of the 1984 International Computer Music Conference, Computer Music Association（1984）
[11] 武田 晴登: 音楽演奏の確率モデルに基づく自動採譜と自動伴奏に関する研究（東京大学博士論文（2007））
[12] 有田 光希，馬場隆，片寄晴弘: ジャズピアノ演奏におけるプレイヤのタイムフィール獲得を目的とした練習支援システム，情報処理学会研究報告，Vol.2013，No.8，pp.1-6（2013）
[13] jazzLife，Vol.144〜149（1989）: Herbie Hancock Private Piano Lesson
[14] Hal Leonard Corporation Staff（2004）: TheRealBook，Hal Leonard Corporation
[15] 北原鉄朗, 橋田光代, 片寄晴弘: 音楽情報科学研究のための共通データフォーマットの確立を目指して, pp.149-154 第 71 回音楽情報科学研究会発表論文
[16] finale, 入手先 ⟨http://www.finalemusic.jp/products/finale/⟩