

基礎的演奏能力向上のための打楽器練習支援システム

星野 将吾^{1,2} 深山 覚² 後藤 真孝²

概要: 本研究では、吹奏楽やオーケストラにおける打楽器の奏者を対象とした、基礎的演奏能力向上のための打楽器練習支援システムを提案する。打楽器の基礎的演奏能力を向上するための基礎練習は、個人で行うことが多く、演奏能力の客観的評価が得られないために練習効率を上げにくい問題がある。そこで本研究は、クラシック音楽の基礎的演奏能力を自動的に評価し、能力の弱点や上達の推移の把握を容易にすることで基礎的演奏能力を向上させることを目的とする。MIDI ドラムの演奏と基礎的演奏能力の関係をモデル化し、評価アルゴリズムをスマートフォン上に実装することで、基礎的演奏能力の評価機能と基礎的演奏能力の可視化インタフェースを備えた打楽器練習支援システムを実現した。評価実験の結果、本システムによって自身の演奏の癖や傾向、改善点をより把握でき、基礎練習の効果が向上する可能性が示唆された。

1. はじめに

打楽器における基礎的演奏能力とは、奏者が曲を譜面通りに演奏するために必要とされる能力である。例えば、リズムを癖なく正確に演奏する能力、音量を一定に演奏する能力、譜面の強弱記号に則った適切な強弱をつける能力などである。奏者はこのような基礎的演奏能力を備えた上で、楽曲に応じてリズムを意図的にずらす、強弱記号が無くとも強弱表現をつけるなどの音楽表現を行う。基礎的演奏能力が乏しい場合、楽曲に応じた音楽表現が効果的でなくなるため、その能力を高めることは様々な曲を的確に演奏する上で重要である。

基礎的演奏能力を上げる練習は、演奏能力の客観的評価が得られにくいために練習効果や効率を上げにくい問題がある。吹奏楽やオーケストラなどにおいて打楽器の奏者は、練習台（あるいはスネアドラム）、メトロノーム、ドラムスティック（ばち）を使った基礎練習と呼ばれる練習により、打楽器共通の基礎的演奏能力を養うことが推奨されている [1,2]。基礎練習は、自身の演奏についての他者からのフィードバックがない状態で教則本等に載っている練習用譜面を個人で練習することが多く、基礎的演奏能力向上のために演奏上の欠点の指摘がされにくい。

奏者に演奏についてのフィードバックを与えることで打楽器の練習支援を行う研究はこれまでも行われてきた。

それらは、触覚提示や電気筋肉刺激によるフィードバック [3-7]、あるいは、可視化によるフィードバック [8-12] を用いていた。前者の研究では、基礎的演奏能力の1つである正確なリズムを演奏するためのフィードバックが提案された。正しい演奏に誘導するような触覚提示や、電気筋肉刺激による身体感覚へのフィードバックがされていた。しかし奏者に対しどの音符がどの程度ずれていたかを提示したり、奏者のリズムの癖を提示したりすることはできなかった。また、音量をコントロールする能力については取り組まれていなかった。後者の研究では、打拍フォームの可視化、リズムのずれの可視化、リズムパターンの繰り返しにおけるの音量不安定さの可視化、テンポの安定度合いの可視化などのフィードバックが提案された。しかしリズムの正確さや音量の均等さをコントロールする能力が、繰り返し練習をする中でどのように推移しているかを把握することができなかった。

そこで本研究では、吹奏楽やオーケストラの打楽器奏者を対象とした、基礎的演奏能力の現状と上達を容易に把握できる打楽器練習支援システムを提案する。システムはMIDI ドラムで取得した演奏をスマートフォン上で処理し、基礎的演奏能力評価機能と基礎的演奏能力可視化インタフェースによって、効果的な基礎練習となるよう奏者を支援する。

基礎的演奏能力評価機能では、奏者が演奏した打音時刻と打音音量を基に、5つの基礎的演奏能力を評価する。具体的には、リズムの正確性、音量の均等さ、強弱記号に従ったダイナミクス、アクセントの表現、ロール（楽器の打面を素早く連続して叩くことで音に疑似的な持続効果を持た

¹ 筑波大学大学院 システム情報工学研究科
Graduate School of Systems and Information Engineering, University of Tsukuba

² 産業技術総合研究所
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)

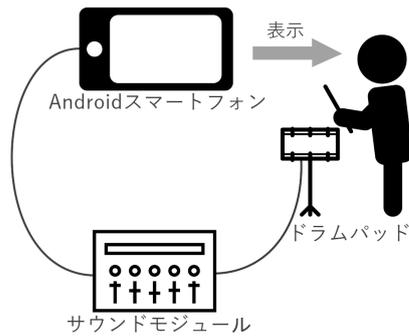


図1 打楽器練習支援システムの構成

せる奏法)といった、クラシック音楽の基礎的表現に加えて打楽器特有の基礎的表現を含め、吹奏楽やオーケストラで評価すべき基礎的演奏能力を従来研究よりも幅広く評価する。

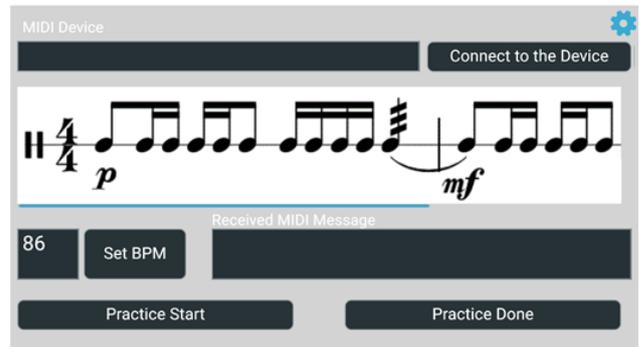
基礎的演奏能力可視化インターフェースでは、奏者の演奏と基礎的演奏能力評価の結果に基づき、奏者の演奏結果や演奏の傾向、基礎的演奏能力を可視化することで奏者にフィードバックする。このインターフェースにより、奏者は自身の基礎的演奏能力の現状や上達の推移を知ることができる。それにより、さらなる能力向上のための方針を立てやすくなり、基礎練習の効率・効果の向上が期待できる。

2. 基礎的演奏能力向上のための打楽器練習支援システム

2.1 システムの概要

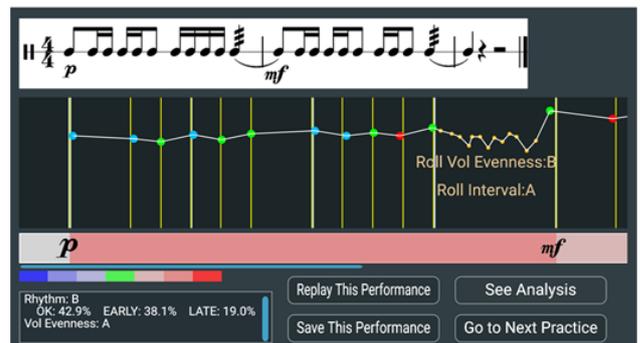
システム構成を図1に示す。奏者がドラムパッドを叩いた演奏は、サウンドモジュールを通じてMIDIメッセージとして送信される。それをMIDIインターフェースを介してスマートフォンで受信する。受信したMIDIメッセージにはMIDIベロシティと呼ばれるドラムパッドを叩いた強さに対応する情報が含まれている。MIDIベロシティは1以上127以下の整数値をとる。このMIDIベロシティとMIDIメッセージの受信時刻をそれぞれ打音音量、打音時刻としてスマートフォンで処理してその結果を可視化し、基礎的演奏能力評価機能と基礎的演奏能力可視化インターフェースを実現する。スマートフォンで動作させるアプリケーションは、C++フレームワーク「JUICE」を用いて開発した。

本システムを使った基礎練習の流れを図2に示す。まず、奏者はスマートフォンに表示される「練習画面」において表示されている基礎練習用の譜面を見ながら、ドラムパッドをドラムスティックで叩くことで練習を行う。次に「練習結果画面」において、演奏結果および基礎的演奏能力の評価結果の確認を行う。奏者はこれに基づき演奏の良い点・悪い点の確認を行うことができる。本システムではそれに加えて、「分析画面」を表示できる。「分析画面」では、一連の練習における基礎的演奏能力の推移と平均、基



(a) 練習画面

練習完了 ↓ ↑ 次の練習へ



(b) 練習結果画面

分析画面へ ↓ ↑ 練習結果画面へ



(c) 分析画面

図2 本システムを使った基礎練習の流れ

礎的演奏能力を評価したレーダーチャートを開覧することができる。奏者は「練習結果画面」と「分析画面」を参考にして演奏を改善するための方針を立てた後に、再び「練習画面」に戻って練習を行う。

2.2 基礎的演奏能力評価機能

基礎的演奏能力評価機能では、リズムを正確に演奏する能力や音量を均等に叩く能力、強弱記号 (*p* や *mf* など) に則った音量で演奏する能力、アクセント記号がついた音符について適切な音量で演奏する能力、ロールを音量むらなく、均等な間隔で演奏する能力の評価を行う。それぞれの基礎的演奏能力は、リズム評価機能、音量均等さ評価機能、

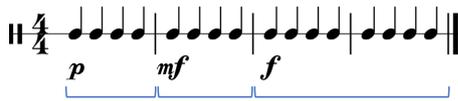


図3 強弱記号区間の例 (図中の枠線の区間が強弱記号区間)

ダイナミクス評価機能, アクセント評価機能, ロール評価機能により評価される。

2.2.1 リズム評価機能

リズムを正確に演奏する能力を, 各音符における譜面上の正確な打音時刻と奏者の打音時刻を比較して評価する。

基礎練習や合奏においてどの程度の打音時刻のずれを許容すべきかの厳密な基準はない。そこで, 西堀らの研究 [13] を参考とし, ± 15 [ms] を打音時刻が正確だとみなす許容時間差とした。すなわち, 奏者による評価をしたい音符の打音時刻を t_b [ms], その音符の正しい打音時刻を t_c [ms], 譜面上で評価したい音符の一つ前にある音符の正しい打音時刻を t_{c-1} [ms], 一つ後の音符の正しい打音時刻を t_{c+1} [ms] として, $t_c - 15 \leq t_b \leq t_c + 15$ のとき「正確」, $\frac{t_c + t_{c-1}}{2} < t_b < t_c - 15$ のとき「早い」, $t_c + 15 < t_b \leq \frac{t_c + t_{c+1}}{2}$ のとき「遅い」と判定することとした。

2.2.2 音量均等さ評価機能

音量を均等に演奏できる能力を, 一回の演奏を通じた音量の標準偏差を計算して評価する。ただしアクセント記号が付与されている音符の音量は計算から除外する。

楽譜中に強弱記号が2つ以上書かれている場合, 強弱記号が付与されている箇所では音量は増加もしくは減少するため, 音量均等さを評価するにあたってこのことを考慮する必要がある。そこで, それぞれ強弱記号が適用されている譜面上の区間を強弱記号区間とし, 音量均等さを評価する際には, 強弱記号区間ごとに分けて音量の標準偏差を計算し, それらの平均値に基づいて一回の演奏全体の音量均等さを評価する。強弱記号区間の例を図3に示す。

2.2.3 ダイナミクス評価機能

ダイナミクスは音の強弱の変化ないし対比による音楽表現を意味し, 強弱記号に則った音量で演奏する能力を評価する。その際に, ある強弱記号区間において演奏された音符の平均音量が, その強弱記号に適切に対応しているかを自動判定する必要がある。そこで, 強弱記号に応じて実際に演奏される音符の音量がどう違うのかを, MIDI ドラムを用いて事前調査してモデル化した。そのために *ppp* から *fff* まで全8種類の強弱記号を含んだ譜面を, 打楽器演奏経験者である第一著者が演奏して, すべての音符の音量 (MIDI ベロシティ) を記録した。評価対象の音符がロールか否かによって強弱記号に応じた適切な音量が異なるため, 以下の2種類に分けてモデル化をして判定に用いる。

まず, ロールでない音符の音量をモデル化する。対数値に変換してモデル化すべきかどうかを判断するため, 強弱記号ごとに, 記録した MIDI ベロシティのヒストグラムと,

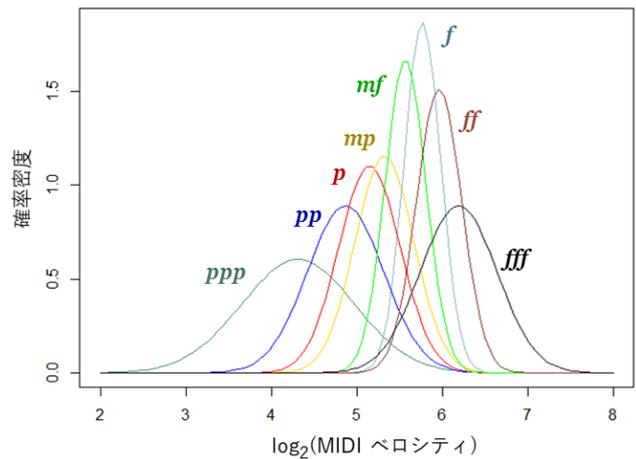


図4 ダイナミクス評価に用いる確率モデル (ロールでない音符)

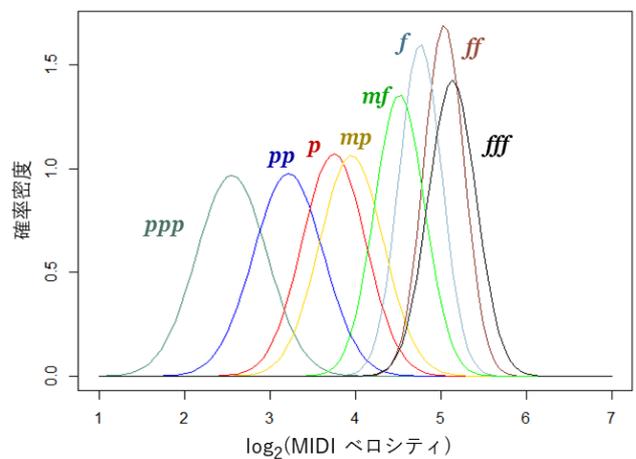


図5 ダイナミクス評価に用いる確率モデル (ロール音符)

MIDI ベロシティの対数値のヒストグラムの2種類を作成し, どちらがより音量の傾向を正規分布でモデル化しやすいかを比較した。歪度は, 正規分布のときに左右対称で0になるため, これら2種類のヒストグラムについてそれぞれの歪度を求めれば, 歪度の絶対値が0に近いほど左右対称で良いと判断できる。その比較の結果, 対数値の場合, 8種類の強弱記号中, 5種類のヒストグラムにおいて対数値でない場合よりも歪度の絶対値が小さかった。そこで, それぞれの強弱記号に対応する MIDI ベロシティの対数値の傾向を, 正規分布によってモデル化した。こうして求めたロールでない音符用の確率モデルを図4に示す。

次に, ロールの音符の音量をモデル化する。ロールにはオープンロールとクローズドロールの2種類の奏法があり, どちらで演奏するかは奏者の判断に委ねられている。そこで, 両奏法に対応した確率モデルをロールでない音符と同様に構築した。システムの現在の実装では, 奏者によるロールがオープンロールかクローズドロールかを識別しないため, 最終的な各強弱記号ごとの確率モデル (正規分布) の平均はそれら二つの平均の平均値とし, 確率モデルの標準偏差はそれら二つの標準偏差の平均値とした。こう

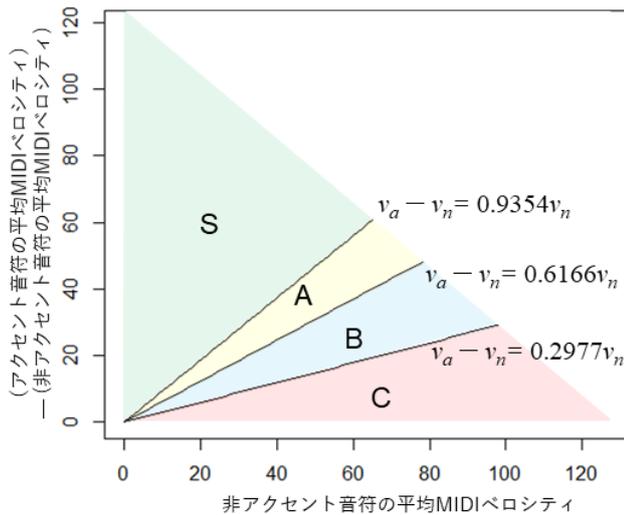


図6 アクセント評価基準 (前後にロール音符がない場合)

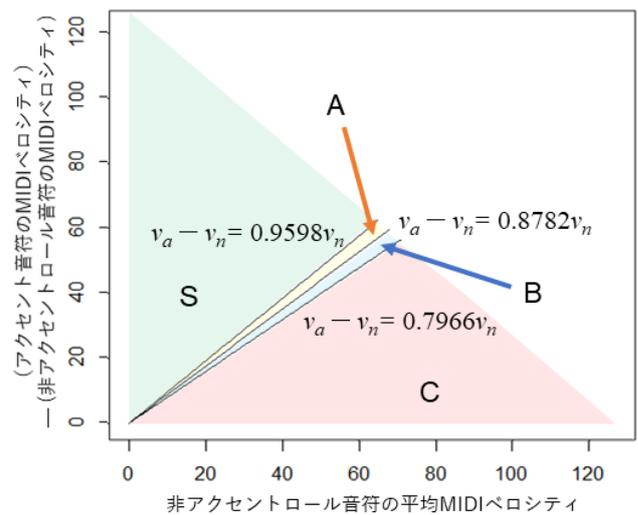


図7 アクセント評価基準 (前後がロール音符の場合)

して求めたロール音符用の確率モデルを図5に示す。この図のように、ロールでない音符と同様、MIDIペロシティの対数値に基づいて評価することとした。対数値にすべきかの判断では、ロールでない音符のときと同様に各強弱記号ごとにヒストグラムの歪度を計算した。しかし、オープンロールとクローズドロールのいずれにおいても、歪度の絶対値が小さくなる強弱記号の種類は、対数値の場合とそうでない場合で同数(4種類ずつ)だった。この結果からどちらも一長一短であるため、処理の一貫性を優先して、ロールでない音符と同様に対数値を用いた。

2.2.4 アクセント評価機能

アクセントを適切に表現する能力を、アクセントが付与された音符の音量がその前後の音符の音量と比較して十分大きいか(適切な音量差があるか)で評価する。本評価で用いる音量は、対数値ではないMIDIペロシティとする。

まず、どの程度の音量差があれば適切なアクセントといえるかの基準を定めるため、アクセントが付与された音符を含む演奏を収録した。アクセントが付与された音符とそうでない音符が混在する譜面を、*ppp* から *fff* まで強弱記号を変化させて第一著者が演奏した。その際、音量差が大きいアクセント表現(普通のアクセント表現)、音量差が小さいアクセント表現(弱いアクセント表現)の2パターンを収録した。収録された演奏中の、アクセントが付与された音符の1小節内の音量の平均とそれ以外の音符の音量の平均を、それぞれ μ_a , μ_n とすると、「普通のアクセント表現」は $\mu_a - \mu_n = 0.9354\mu_n$ ($R^2 = 0.8928$)、「弱いアクセント表現」は $\mu_a - \mu_n = 0.2977\mu_n$ ($R^2 = 0.5856$)の近似直線が得られた。これらの近似直線を境界線として、アクセント評価の方法を図6のような4段階評価とした。Sが最も高く、Cが最も低い評価であり、AとBの境界線の傾きは上記二つの近似直線の傾きの平均値とした。図6中の v_a は評価対象のアクセントが付与された音符(アクセント

音符)の音量、 v_n は評価対象の音符の前後2つの音符のうち、アクセントなしで、より音量が小さい音符(非アクセント音符)の音量を表す。

次に、練習譜面中にはアクセントが付与された音符の前後にロール音符が現れる場合があるため、アクセントが付与された音符とアクセントなしのロール音符の音量差についても、アクセント評価の基準を定める必要がある。上述と同様にアクセントが付与された音符とアクセントなしのロール音符の両方を含んだ譜面の演奏を収録し、その音量差を調査した。収録された演奏中の、アクセントが付与された音符の平均音量とアクセントなしのロール音符の音量を、それぞれ μ_a , μ_n とする。オープンロール奏法では、「普通のアクセント表現」は $\mu_a - \mu_n = 0.9779\mu_n$ ($R^2 = 0.9548$)、「弱いアクセント表現」は $\mu_a - \mu_n = 0.7818\mu_n$ ($R^2 = 0.9648$)の近似直線が得られた。クローズドロール奏法では、「普通のアクセント表現」は $\mu_a - \mu_n = 0.9417\mu_n$ ($R^2 = 0.9900$)、「弱いアクセント表現」は $\mu_a - \mu_n = 0.8114\mu_n$ ($R^2 = 0.9791$)の近似直線が得られた。両奏法に対応するため、両奏法の近似直線の傾きの平均値を境界線の直線の傾きとして、アクセント評価の方法を図7のような4段階評価とした。図7中の v_a は図6と同様であり、 v_n は評価対象の音符の前後2つのロール音符の音量(ロールに含まれる打音の音量の平均)のうち、より音量が小さい音符(非アクセントロール音符)の音量を表す。

アクセントが付与された音符の前後に、非アクセント音符と非アクセントロール音符がある場合には、非アクセント音符と比較して評価する。その方が、実際に本システムを用いた際に、より適切に評価されたからである。

2.2.5 ロール評価機能

奏者がロールを綺麗に演奏する能力を評価する。ロールの演奏では、打音の音量のばらつきが少ないこと、打音の時間間隔が均等であることが重要だと教則本[1]で述べら

れている。よって演奏されたロール音符それぞれについて、音量と打音間隔が均等であるかを評価する。

まず、ある一定時間以下の打音間隔が連続している打音をロールとして判定する。この打音間隔の閾値を定めるため、第一著者によるロール演奏（オープンロール、クローズドロール混合）を収録し、その打音間隔のヒストグラムを作成した。その結果から、ロール打音とみなす打音間隔を 80 [ms] 以下とした。

次に、ロールに含まれる複数打音の音量の標準偏差を算出し、その値がいかにか小さいかで音量むらがなくロールを演奏する能力を評価する。また、複数打音の時間間隔の標準偏差も算出し、その値がいかにか小さいかで均等な間隔でロールを演奏する能力を評価する。

2.3 基礎的演奏能力可視化インタフェース

基礎的演奏能力可視化インタフェースでは、奏者の演奏データと 2.2 節で述べた基礎的演奏能力評価に基づき、奏者の演奏結果や演奏傾向、基礎的演奏能力を可視化する。本インタフェースは、奏者が譜面を演奏して練習する「練習画面」と、練習するごとにその演奏における基礎的演奏能力評価を可視化する「練習結果画面」、基礎的演奏能力の推移や奏者の演奏傾向、現在身につけている基礎的演奏能力を可視化する「分析画面」の 3 画面で構成される。

2.3.1 練習画面

図 2(a) の練習画面を見ながら、奏者は練習用の譜面に従って MIDI ドラムを叩く。「Practice Start」押下後、メトロノーム音が 4 回鳴った後に、表示譜面を演奏する。練習終了後「Practice Done」を押下すると、練習結果画面へ遷移する。

2.3.2 練習結果画面

図 2(b) の練習結果画面によって、奏者が練習画面で演奏した打音時刻と打音音量、基礎的演奏能力の評価結果を確認しながら、直前の演奏を客観的に振り返ることができる。

図 2(b) 中央のグラフ表示では、横軸が時刻、縦軸が音量を表し、白色の縦線はメトロノームの時刻（4 分音符単位）、黄色の縦線は楽譜上の正しい打音時刻を示している。奏者が演奏した各打音が丸い点で示されることで、打音時刻と音量が可視化されている。さらに、リズム評価結果も可視化されており、打音時刻が正確なときは丸い点が緑色、早すぎるときは赤色、遅すぎるときは青色で表示される。ロール中の打音はオレンジ色の小さい点で表示され、ロールの音量と打音間隔の均等さのロール評価結果がそれぞれ S, A, B, C の 4 段階で表示される。図 2(b) には示されていないが、アクセントが付与された音符では、そのアクセント評価結果が 4 段階で表示される。奏者はこれらの表示から、リズムが不正確な音符とその時刻ずれの度合い、演奏の音量変化、ロールやアクセントの良し悪しを知ることができる。

グラフ下部の強弱記号表示部では、譜面上の強弱記号とダイナミクス評価結果が可視化されている。強弱記号に対して演奏音量が適切なときは緑色、強すぎるときは赤色、弱すぎるときは青色で表示される。奏者はこれらの表示から、それぞれの強弱記号区間の演奏音量が適切であったかを確認し、強弱記号に則った演奏へと改善することができる。

「Save This Performance」を押下すると、今回の演奏結果および基礎的演奏能力評価結果が保存され、「See Analysis」を押下すると、保存した演奏結果および基礎的演奏能力評価結果を基にした分析画面が表示される。

2.3.3 分析画面

図 8 の分析画面では、縦にスクロールすることで、図 8(a)～(c) のように、その譜面の基礎的演奏能力評価の推移や、平均演奏データ、基礎的演奏能力レーダチャートが表示される。

図 8(a) の基礎的演奏能力評価推移グラフでは、当該譜面における 2.2 節に基づく各基礎的演奏能力評価結果の推移をグラフで表示する。これにより、基礎的演奏能力の改善傾向や、能力同士の改善・悪化の関係を知らることができる。

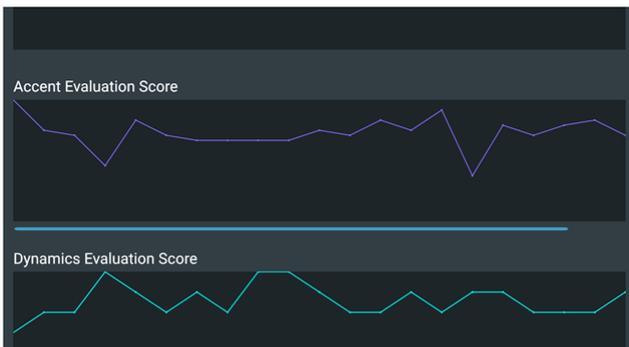
図 8(b) の平均演奏データ表示部では、過去 10 回の演奏に関して、その演奏データの平均や、評価結果の平均を確認できる。それぞれの音符について、平均打音時刻と平均打音時刻をグラフで表示している。打音を示す丸い点には縦棒と横棒が付与されており、その音符における演奏ごとの打音音量の標準偏差を縦棒で、打音時刻の標準偏差を横棒で表している。縦棒や横棒が短いほどばらつきが小さくて望ましい。グラフ下部には、ダイナミクス評価結果の平均も表示されている。これらの表示により、奏者は自身の演奏の癖や、不安定・不得意な音符を知ることができる。

図 8(c) の基礎的演奏能力レーダチャートでは、その譜面における各基礎的演奏能力の評価それぞれについて、過去 10 回の演奏の平均評価をレーダチャート形式で可視化している。この表示を見ることで、奏者はその譜面において特に改善すべき基礎的演奏能力を把握しやすい。当該譜面中に現れない要素に関する基礎的演奏能力については「No Data」と表示される。

3. 評価実験

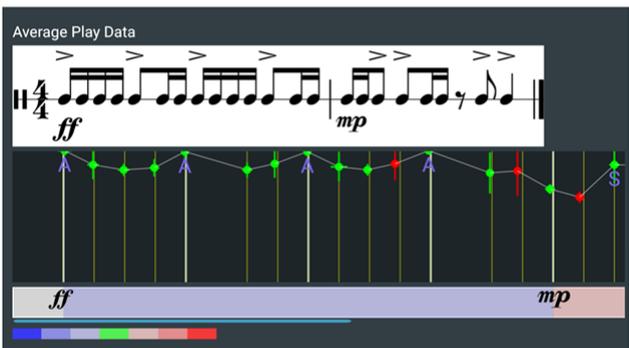
3.1 評価実験の概要

本システムの有用性を評価するため、打楽器経験者 8 名（大学生、大学院生）を対象とする評価実験を行った。被験者の打楽器経験年数の内訳は、5 年以上 10 年未満が 4 名、10 年以上が 4 名であった。全員が、練習支援システムを使用した練習は普段していなかった。評価実験では、普段の紙の譜面、練習台、ドラムスティック、メトロノームを用いた基礎練習と、本システムによる基礎練習を比較して、練習効率や練習効果が向上し得るかを検証する。



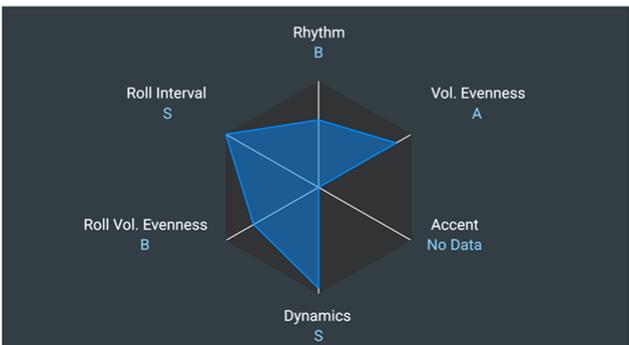
(a) 基礎的演奏能力評価推移グラフ

↑スクロール



(b) 平均演奏データ表示部

↑スクロール



(c) 基礎的演奏能力レーダチャート

図8 基礎的演奏能力の分析画面

実験では、教則本 [1] を参考に作成した基礎練習譜面 2 種類を、本システムを用いてそれぞれ 10 分間被験者に練習させた。練習後には、アンケート回答による評価を行った。アンケートの設問に対する回答方法は、5 段階評価 (そう思うのであれば 5 点, どちらともいえないのであれば 3 点, そう思わないのであれば 1 点) とした。また、本システムを利用した感想, 意見も聞いた。

3.2 評価実験の結果と考察

アンケート設問のうち、「普段の基礎練習に比べ、自分の演奏の癖・傾向を理解することができた」と「普段の基礎練習に比べ、基礎的演奏能力をより向上させることができる」の平均点数はそれぞれ 4.500 (±0.500), 4.125 (±0.599)

と比較的高かった。本システム利用後の感想においても、「アクセント表現が弱くなってしまったところが、どこであるか分からなくなることがあるので、アクセント評価の可視化はありがたい」や、「評価推移グラフを通して、リズムを気を付けたら、ダイナミクス表現がおろそかになったことに気づくことができた」、「平均演奏表示で傾向が分かるのがとてもよい」などの意見が寄せられた。以上より、本システムによって、普段の基礎練習で気づくことのできなかった自身の演奏の癖や傾向, 改善点を知ることが分かった。基礎的演奏能力向上のためには、複数回の演奏を通じた自身の演奏の癖や傾向, 改善点などの適切なフィードバックを受けることが重要であるため、基礎練習の効果が向上する可能性がある。

一方で、基礎的演奏能力可視化インタフェースに対し、提示情報が多い、演奏の分析結果の読み取りに時間がかかってしまうとの意見も寄せられた。アンケート結果では、「普段の基礎練習に比べ、より早く練習譜面を演奏できるようになる」という設問の平均点は 3.375 (±1.111) であり、他の設問の平均点と比べて低い結果となった。今後、リズムのずれをより直感的に把握できるように表示するなど、短時間で情報が読み取れるインタフェースへと改善する必要がある。

4. おわりに

本稿では、基礎的演奏能力向上のための打楽器練習支援システムを提案した。本システムによる基礎的演奏能力の評価, および、基礎的演奏能力の推移や傾向を可視化により、システムを用いない通常の練習方法では気づくことのできなかった自身の演奏の癖や傾向, 改善点をより把握することが可能となり、基礎練習の効果が向上することが示唆された。今後の研究で、MIDI ドラムを用いて演奏情報を入力せずに、練習台の演奏音の音響信号を入力して本システムを利用可能にすることで、より導入が容易で長期間利用しやすい練習支援システムへと発展させられる可能性がある。

参考文献

- [1] 今村征男, 塚田靖: 打楽器教則本 小太鼓・大太鼓編, 全音楽譜出版社 (2005).
- [2] 塚田靖: 小太鼓のための基礎練習 26 の基本パターン導入法, 音楽之友社 (2008).
- [3] Simon Holland, Anders J. Bouwer, Mathew Dagleish, Topi M. Hurtig: Feeling the Beat Where it Counts: Fostering Multi-limb Rhythm Skills with the Haptic Drum Kit. *Proceedings of the 4th International Conference on Tangible, Embedded, and Embodied Interaction*, pp. 25–27 (2010).
- [4] Hiroyuki Kanke, Tsutomu Terada, Masahiko Tsukamoto: A Percussion Learning System Using Rhythm Internalization with Haptic Indications. *Proceedings of the 12th International Conference on Advances in Computer Entertainment Technology*, Article No. 14, pp. 1–5 (2015).

- [5] Ayaka Ebisu, Satoshi Hashizume, Kenta Suzuki, Akira Ishii, Mose Sakashita, Yoichi Ochiai: Stimulated Percussions: Techniques for Controlling Human as Percussive Musical Instrument by Using Electrical Muscle Stimulation. *SIGGRAPH ASIA 2016 Posters*, Article No. 37, pp. 1–2 (2016).
- [6] Ayaka Ebisu, Satoshi Hashizume, Kenta Suzuki, Akira Ishii, Mose Sakashita, Yoichi Ochiai: Stimulated percussions: Method to Control Human for Learning Music by Using Electrical Muscle Stimulation. *Proceedings of the 8th Augmented Human International Conference*, Article No. 33, pp. 1–5, (2017).
- [7] Ayaka Ebisu, Satoshi Hashizume, Yoichi Ochiai: Building a Feedback Loop between Electrical Stimulation and Percussion Learning. *ACM SIGGRAPH 2018 Studio*, Article No. 1, pp. 1–2 (2018).
- [8] 辻靖彦: 統計処理を用いた打楽器のフォーム分析, 教育システム情報学会誌, Vol. 20, No. 3, pp. 274–283 (2003).
- [9] 辻靖彦, 西方敦博: リズムと打拍フォームの同時測定に基づく打楽器の演奏分析, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J88-D1, No. 1, pp. 99–107 (2005).
- [10] 辻靖彦, 西方敦博: リズムと打拍フォームに基づく打楽器学習支援システムの開発と評価, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J88-D1, No. 2, pp. 508–516 (2005).
- [11] Yasuhiko Tsuji, Atsuhiko Nishikata: Development and Evaluation of Drum Learning Support System Based on Rhythm and Drumming Form. *Electronics and Communications in Japan (Part III: Fundamental Electronic Science)*, Vol. 89, No. 9, pp. 11–21 (2006).
- [12] 安井希子, 三浦雅展: ドラム基礎的演奏の練習支援システム (システム論文特集号), 日本音響学会誌, Vol. 71, No. 11, pp. 601–604 (2005).
- [13] 西堀佑, 多田幸生, 曾根卓朗: 遅延のある演奏系での遅延の認知に関する実験とその考察, 情報処理学会研究報告 音楽情報科学研究会, 2003-MUS-53, pp. 37–42 (2003).