

ユーザの演奏のペロシティ変化を考慮する ドラム演奏表情付けシステム

関 晋之介^{1,a)} 北原 鉄朗^{1,b)}

概要：本研究は、キーボードの演奏パートを考慮してドラムパートのペロシティを自動で決定するドラム演奏システムの構築を目的としている。既存のドラム演奏システムのほとんどは再生されるリズムパターンのペロシティ（音の強弱）が一定か事前に決められているため、人がドラムを演奏することを前提としたジャンルでは演奏の違和感につながる可能性がある。そこで大局的なペロシティ変化と局所的なペロシティ変化の2つに分かれるペロシティ表情付け手法を用いたドラム演奏システムを構築した。大局的なペロシティ変化では人間同士でのセッション演奏データをもとに重回帰分析を用いてドラムパートの次小節のペロシティ平均を予測し、局所的なペロシティ変化ではドラムセット内の各楽器に応じてペロシティ平均からの偏差を算出する。ピアノ奏者が本システムを用いてジャズのスタンダードナンバーを演奏する実験を行ったところ、一部の曲については、キーボードパートとドラムパートの大局的なペロシティ間の相関に関しては人間同士の演奏に近くなった。一方、人間同士での演奏でも正の相関が見られない楽曲が存在するなど、提案手法の一般性については課題が残った。

1. はじめに

近年、ギター、ベース、ドラムといった多種多様な楽器を使ったバンド形式での演奏が広く親しまれている。その背景には軽音楽のバンド演奏を題材としたアニメのヒットや音楽フェスの人気などがあり、バンドを組んで楽器の演奏を始める人が若者を中心に増え続けている。

演奏される楽器の中でもドラムはロック、ジャズなど幅広い音楽ジャンルで用いられ、曲のテンポを維持しリズムを提供する重要な役割を担っているため、バンドに組み込まれやすい楽器である。しかし、ドラムはギターやキーボードといった楽器より1年あたりの販売個数が少なく[1]、このことからドラマー人口がギターなど他楽器の演奏者人口と比べて少ないといった現状が推測される。そこで、ドラマーを求めるミュージシャンにコンピュータを用いたドラム演奏システムの需要があることが期待できる。

現在、特定の楽器のパートを自動演奏することでセッション演奏が可能となる機器やシステムが多数開発・研究されている。和気らの研究[2]は演奏の緊張感を考慮したドラムとベースの演奏を出力するシステムであるが、出力のドラム演奏に対して表情付けがなされていない。日高らの研究[3]、[4]はすべてのプレーヤーが対等となる合奏を実現

するシステムであり、プレーヤーの主張度に応じてリズム、音程、音量のパターンを選択できるが、ドラム専用の表情付け方法ではないためドラムセット内の楽器を考慮した表情付けができない。北原らの研究[5]は、ユーザとシステムが相互に演奏を予測することで合奏を進行させるジャムセッションシステムである。また、演奏表情付けに関する研究・システムの開発も多数行われている。複数旋律音楽を対象とした声部別の表情付けを施した演奏データを生成する研究[6]、エレキギターの自然なピッチ遷移を実現するシステム[7]、波形接続合成を用いて表現力豊かなサックス音を生成する研究[8]、マイクロタイミングやグルーブを取り入れたドラムマシンを構築する研究[9]、ドラマーからドラムパターンを学習し表現力豊かなグルーブを出すドラムマシンを構築する研究[10]などが存在する。その他に、著名なDAWであるCubase[11]やCakewalk by BandLab[12]におけるヒューマナイズ機能、ランダマイズ機能ではMIDIノートの発音タイミング、ペロシティを設定した範囲内でランダムに変化させ、演奏表情の付与を行うことができるが、他の楽器の演奏を考慮した表情付けはできない。このように既存のドラム演奏システムのほとんどはドラム演奏のペロシティ（音の強さ）も一定か、あるいは事前に決められている。そのため、ジャズのように人がドラムを演奏することを前提としたジャンルでは、演奏の違和感につながる可能性がある。

¹ 日本大学文理学部

^{a)} seki@kthrlab.jp

^{b)} kitahara@chs.nihon-u.ac.jp

本研究は人間が演奏したものに限りなく近いドラム演奏を生成することを最終的な目標としている。そのための第一段階としてピアニストとのセッション演奏をする際のドラム演奏の生成を目指すため、本研究ではキーボード演奏を入力として、その演奏に応じて音の強さ（ベロシティ）の表情付けを施したドラム演奏を出力するシステムの構築を目的とする。

2. ベロシティの表情付け手法

2.1 システムの概要

本システムはキーボード演奏を入力として、その演奏に応じてベロシティの表情付けを施したドラム演奏（MIDI ファイル）が再生されるものである。ドラムパターンは全て 1 小節の MIDI ファイルで、ジャズ、ロックそれぞれのジャンルに通常のドラムパターン 5 種とフィルインのドラムパターン 3 種が存在する。演奏の際ドラムパターンは全てランダムに選択され、8 小節単位の最後の小節にフィルインが入る。ベロシティの表情付け手法は入力キーボード演奏に影響される大局的なベロシティ変化とドラムセット内の楽器によって変化する局所的なベロシティ変化の 2 つに分かれている。また、入力キーボードには MIDI キーボード、ピアノ音には MIDI キーボード内蔵の音源、ドラム音には MT Power Drum Kit 2 のプラグイン音源を使用している。

2.2 ベロシティの表情付け手法

本研究では、曲全体の大きなスケールでの変化をさせる大局的なベロシティ変化と小節内の強拍・弱拍など小さなスケールでの変化をさせる局所的なベロシティ変化の 2 つに分けた、ベロシティの表情付け手法を提案する。大局的なベロシティは 1 小節単位でのベロシティの平均値、局所的なベロシティはそこからの偏差であり、両者を足し合わせることで実際の各音符のベロシティが得られる。

キーボードが演奏する各音符のベロシティの時系列を $\{v_{i,j}^{(key)}\}$ 、ドラムセット全体が演奏する各音符のベロシティの時系列を $\{v_{i,j}^{(dr)}\}$ 、ドラムセット内の各楽器（スネアドラム、ライドシンバルなど）単体が演奏する各音符のベロシティの時系列を $\{v_{i,j}^{(dr_inst)}\}$ とする ($v_{i,j}^{(dr_inst)}$ はドラムセット内の各楽器ごと、またその中で表拍と裏拍で分かれている)。ここで、 $v_{i,j}^{(key)}$ は i 小節目の j 番目の音符のベロシティを表す ($v_{i,j}^{(dr)}$, $v_{i,j}^{(dr_inst)}$ も同様とする)。このとき、各小節のベロシティの平均値

$$\bar{v}_i^{(key)} = \text{mean}_j v_{i,j}^{(key)}$$

$$\bar{v}_i^{(dr)} = \text{mean}_j v_{i,j}^{(dr)}$$

を大局的なベロシティと定義する。また、大局的なベロシティからの偏差、つまり、

$$\Delta v_h^{(dr_inst)} = v_{i,j}^{(dr_inst)} - \bar{v}_i^{(dr)}$$

を局所的なベロシティと定義する。 $\Delta v_h^{(dr_inst)}$ は曲全体の h 番目の音符の大局的なベロシティからの偏差を表す。

本研究で解決すべき課題は、キーボードの大局的なベロシティ $\bar{v}_i^{(key)}$ が与えられた状況で、リアルタイムにドラムセット全体の大局的なベロシティ $\bar{v}_i^{(dr)}$ とドラムセット内の各楽器単体の局所的なベロシティ $\Delta v_h^{(dr_inst)}$ を決定することである。以下、大局的なベロシティと局所的なベロシティのそれぞれについて決定方法を述べる。

2.2.1 大局的なベロシティ変化

大局的なベロシティは、次の仮定の下で決定する。

- キーボードとドラムそれぞれの各小節の大局的なベロシティは、線形予測が可能である。
- キーボードとドラムとで互いに関連しながら大局的なベロシティが決定される。

これらの仮定に基づき、現在、 i 小節目を演奏中の状況において、 $i+1$ 小節目のキーボードとドラムそれぞれの大局的なベロシティを次のように決定する。

$$\bar{v}_{i+1}^{(key)} = a_{-1} + \sum_{k=0}^{N-1} a_k \bar{v}_{i-k}^{(key)}$$

$$\bar{v}_{i+1}^{(dr)} = b_{-1} + \sum_{k=0}^{N-1} b_k \bar{v}_{i-k}^{(dr)}$$

$$\bar{v}_{i+1}^{(dr)'} = \alpha \bar{v}_{i+1}^{(key)} + (1 - \alpha) \bar{v}_{i+1}^{(dr)} \quad (0 \leq \alpha \leq 1)$$

a_{-1} , a_k , b_{-1} , b_k はあらかじめ用意した MIDI データから重回帰分析により求める。

2.2.2 局所的なベロシティ変化

$\Delta v_h^{(dr_inst)}$ のデータ数を n とする。そして局所的なベロシティ L を次のように決定する。

$$\bar{\Delta v}_h^{(dr_inst)} = \text{mean}_h \Delta v_h^{(dr_inst)}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=0}^n (\Delta v_k^{(dr_inst)} - \bar{\Delta v}_h^{(dr_inst)})^2}$$

$$L = \{r \sim N(0, 1)\} \sigma + \bar{\Delta v}_h^{(dr_inst)}$$

r は正規分布 $N(0, 1)$ に従う乱数値である。

3. 実験

3.1 演奏記録・分析

2.2.1 で立てた仮説を検証するため、人間同士でのセッション演奏の記録を行った。

3.1.1 演奏記録

大学のモダンジャズ研究会に所属するピアノ奏者とドラム奏者の 2 名が MIDI キーボードと MIDI ドラムを用いてジャズのスタンダードナンバー 26 曲を演奏し、その演奏を MIDI 形式で記録した。MIDI キーボードは YAMAHA P-255, MIDI ドラムは YAMAHA DTX502 を使用した。

3.1.2 演奏分析

記録した演奏の MIDI ファイルからキーボードパートとドラムパートの 1 小節ごとのペロシティ平均値を算出したデータを用意し、相関係数を算出した結果を表 1 に示す。表 1 の通り、Cantaloupe Island(2 回目) は相関係数が 0.7 と 26 曲中一番高い値で、強い正の相関があった。また、Take The A Train, Bags Groove(2 回目), Feel Like Makin' Love(2 回目) は相関係数が 0.40 以上 0.46 未満、Autumn Leaves, All Blues(1 回目), Bags Groove(1 回目), Cantaloupe Island(1 回目), Fly Me To The Moon(2 回目) は相関係数が 0.30 以上 0.40 未満と、これらは若干の正の相関があった。対して、Johnny B Goode は-0.44 とそこそこ強い負の相関がみられた。他の曲については目立った相関がみられなかった。

表 1 記録したセッション演奏でのキーボードパートとドラムパートの 1 小節ごとのペロシティ平均値の相関係数

曲名	相関係数
Autumn Leaves	0.32
Johnny B Goode	-0.44
Someday My Prince Will Come	0.059
Take The A Train	0.40
The Chicken	0.0098
All Blues(1 回目)	0.39
Bags Groove(1 回目)	0.32
Blue Bossa(1 回目)	0.12
Cantaloupe Island(1 回目)	0.34
Feel Like Makin' Love(1 回目)	0.26
Fly Me To The Moon(1 回目)	0.25
Miles Tones(1 回目)	0.16
My Little Suede Shoes(1 回目)	0.056
The Days Of Wine And Roses(1 回目)	0.27
Work Song(1 回目)	0.13
All Blues(2 回目)	0.19
Bags Groove(2 回目)	0.40
Blue Bossa(2 回目)	0.043
Cantaloupe Island(2 回目)	0.70
Feel Like Makin' Love(2 回目)	0.45
Fly Me To The Moon(2 回目)	0.36
Miles Tones(2 回目)	0.29
My Little Suede Shoes(2 回目)	0.023
The Days Of Wine And Roses(2 回目)	0.24
Work Song(2 回目)	0.18
I'll Remember April	-0.0059

3.2 評価実験

3.2.1 実験方法

大学のモダンジャズ研究会に所属するピアノ奏者が本システムを用いてジャズのスタンダードナンバー 3 種類を演奏し、その演奏を MIDI 形式で記録する。ジャズのスタンダードナンバー 1 種類につき 2.2.1 で記述したドラムの大

局的なペロシティを求める式の α の値 3 種類それぞれを適用させながら、3 回ずつ演奏する。曲を演奏するとき α の値がいくつになっているか演奏者には知らせず、演奏する順番もランダムに行う。また、演奏されるドラムパターンは演奏する曲に合ったものが事前にシステムに実装されており、それを再生する。ジャズのスタンダードナンバー 3 種類と α の値 3 種類を表 2 と表 3 に示す。

表 2 演奏するジャズのスタンダードナンバー 3 種類

Bags Groove
Cantaloupe Island
Now's The Time

表 3 適用する α の値 3 種類

0.0
0.25
0.5

3.2.2 評価方法

ピアノ奏者が 1 曲演奏するごとにその演奏に対してアンケートの回答を行う。アンケートの質問は 7 段階評価 (そう思う 7 1 そう思わない) で、項目は以下の通りである。
 項目 1 ドラム演奏の大局的なペロシティ変化は自然なものだったか。
 項目 2 ドラム演奏の局所的なペロシティ変化は自然なものだったか。
 項目 3 キーボードを弾く強さに対してドラム演奏のペロシティが追従してくる感じが感じられたか。
 項目 4 キーボードを弾く強さに対してドラム演奏のペロシティが追従してくる様子は自然なものだったか。
 項目 5 楽しく演奏することができたか。

また、記録した演奏データの分析を行う。

3.2.3 実験結果

アンケート項目 1~5 の結果をそれぞれ表 4, 5, 6, 7, 8 に示す。項目 3 では、 α の値が上がるにつれて評価が下がることはなかった。

表 4 アンケート項目 1 の結果

	$\alpha=0.0$	$\alpha=0.25$	$\alpha=0.5$
Bags Groove	4	5	6
Cantaloupe Island	6	6	4
Now's The Time	5	6	5

表 5 アンケート項目 2 の結果

	$\alpha=0.0$	$\alpha=0.25$	$\alpha=0.5$
Bags Groove	3	5	5
Cantaloupe Island	5	6	2
Now's The Time	5	4	5

表 6 アンケート項目 3 の結果

	$\alpha=0.0$	$\alpha=0.25$	$\alpha=0.5$
Bags Groove	3	3	5
Cantaloupe Island	3	4	6
Now's The Time	4	4	4

表 7 アンケート項目 4 の結果

	$\alpha=0.0$	$\alpha=0.25$	$\alpha=0.5$
Bags Groove	4	5	4
Cantaloupe Island	5	6	3
Now's The Time	5	4	5

表 8 アンケート項目 5 の結果

	$\alpha=0.0$	$\alpha=0.25$	$\alpha=0.5$
Bags Groove	4	5	5
Cantaloupe Island	4	4	5
Now's The Time	4	3	4

また、記録した演奏の MIDI ファイルからキーボードパートとドラムパートの 1 小節ごとのベロシティ平均値を算出したデータを用意し、相関係数を算出した結果を表 9 に示す。Bags Groove($\alpha=0.5$) は、3.1 で記録した同曲での相関係数(表 1) が 0.40 に対し 0.38 と近い値だった。Now's The Time($\alpha=0.0$) では相関係数が -0.27 と若干の負の相関がみられた。

表 9 実験で記録した演奏でのキーボードパートとドラムパートの 1 小節ごとのベロシティ平均値の相関係数

曲名	相関係数
Bags Groove($\alpha=0.0$)	0.022
Bags Groove($\alpha=0.25$)	0.26
Bags Groove($\alpha=0.5$)	0.38
Cantaloupe Island($\alpha=0.0$)	-0.039
Cantaloupe Island($\alpha=0.25$)	0.12
Cantaloupe Island($\alpha=0.5$)	0.16
Now's The Time($\alpha=0.0$)	-0.27
Now's The Time($\alpha=0.25$)	0.20
Now's The Time($\alpha=0.5$)	0.19

3.2.4 考察

$\alpha=0.0$ ではキーボードパートのベロシティの影響を全く受けずにドラムパートの各小節の大局的なベロシティが決定されていく。そのため両パートの大局的なベロシティ間に相関がない状態になる。それに対して $\alpha=0.25$, $\alpha=0.5$ ではドラムパートのベロシティを決定するのにキーボードパートのベロシティの影響を受けようになるので、両パートの大局的なベロシティ間に相関がある状態になる。よって、 α の値が大きくなるにつれて両パートの大局的なベロシティ間の相関係数が大きくなることが予想できる。

Bags Groove の曲で演奏した結果について考察する。Bags Groove($\alpha=0.0$, $\alpha=0.25$, $\alpha=0.5$) でのキーボードパートとドラムパートの大局的なベロシティ変化を表すグラフ

をそれぞれ図 1, 2, 3 に示す。図の赤いグラフはキーボードパート、青いグラフはドラムパートの各小節の大局的なベロシティを表す。表 9 をみると Bags Groove の相関係数が α の値が大きくなるにつれて 0.022, 0.26, 0.38 と大きくなるのがわかる。また、3.1 で記録した人間同士でのセッション演奏 Bags Groove(2 回目) の相関係数は 0.40 と 3.2 で演奏した同曲 ($\alpha=0.5$) の相関係数 0.38 に近かった。よって Bags Groove($\alpha=0.5$) は相関に関しては人間同士の演奏に近いと言える。

Cantaloupe Island の曲で演奏した結果について考察する。Cantaloupe Island($\alpha=0.0$, $\alpha=0.25$, $\alpha=0.5$) でのキーボードパートとドラムパートの大局的なベロシティ変化を表すグラフをそれぞれ図 4, 5, 6 に示す。図の赤いグラフはキーボードパート、青いグラフはドラムパートの各小節の大局的なベロシティを表す。表 9 をみると Cantaloupe Island で α の値が 0.0 から 0.25 になる時の相関係数は -0.039 から 0.12 に若干大きくなるが、 α の値が 0.25 から 0.5 になる時の相関係数は 0.12 から 0.16 とあまり大きくならない。大局的なベロシティを求める線形予測で使われるデータに入っている Cantaloupe Island の曲でこのような結果になったのは、ドラムパートのベロシティがキーボードパートのベロシティにどれくらい依存しているか学習していないことによる提案手法の限界であることが考えられる。

Now's The Time の曲で演奏した結果について考察する。Now's The Time($\alpha=0.0$, $\alpha=0.25$, $\alpha=0.5$) でのキーボードパートとドラムパートの大局的なベロシティ変化を表すグラフをそれぞれ図 7, 8, 9 に示す。図の赤いグラフはキーボードパート、青いグラフはドラムパートの各小節の大局的なベロシティを表す。表 9 をみると Now's The Time で α の値が 0.0 から 0.25 になる時の相関係数は -0.27 から 0.20 に大きくなるが、 α の値が 0.25 から 0.5 になる時の相関係数は 0.20 から 0.19 と若干小さくなっている。このような結果になったのは、Now's The Time の曲が大局的なベロシティを求める線形予測で使われるデータに入っていないことが影響していることが考えられる。

図 1 Bags Groove($\alpha=0.0$) でのキーボードパートとドラムパートの大局的なベロシティ変化

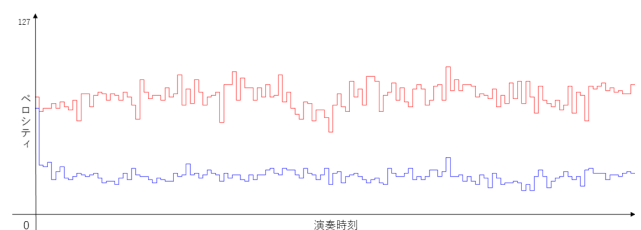


図 2 Bags Groove($\alpha=0.25$) でのキーボードパートとドラムパートの大局的なペロシティ変化

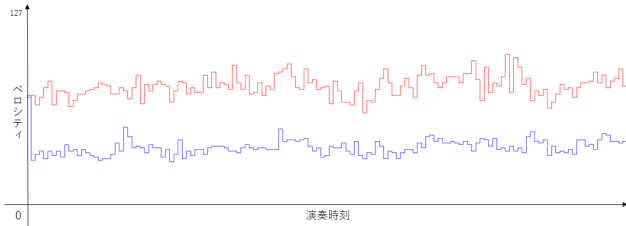


図 6 Cantaloupe Island($\alpha=0.5$) でのキーボードパートとドラムパートの大局的なペロシティ変化

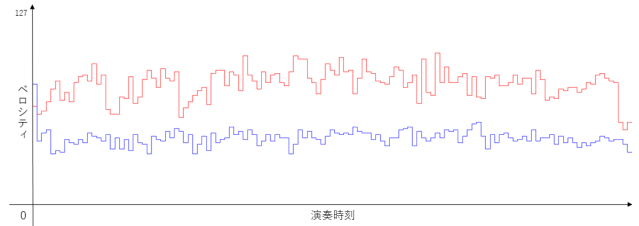


図 3 Bags Groove($\alpha=0.5$) でのキーボードパートとドラムパートの大局的なペロシティ変化

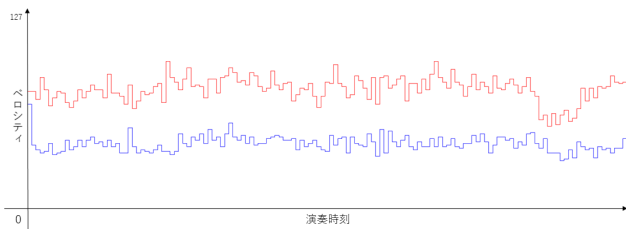


図 7 Now's The Time($\alpha=0.0$) でのキーボードパートとドラムパートの大局的なペロシティ変化

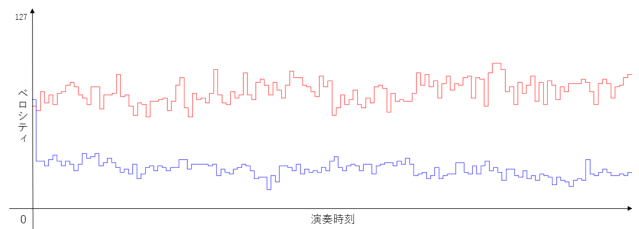


図 4 Cantaloupe Island($\alpha=0.0$) でのキーボードパートとドラムパートの大局的なペロシティ変化

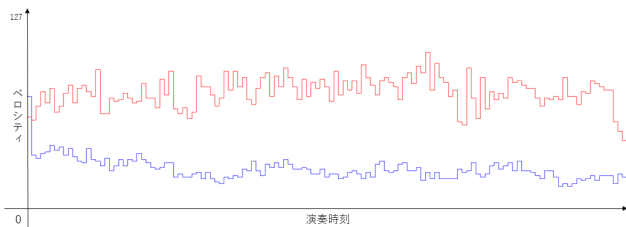


図 8 Now's The Time($\alpha=0.25$) でのキーボードパートとドラムパートの大局的なペロシティ変化

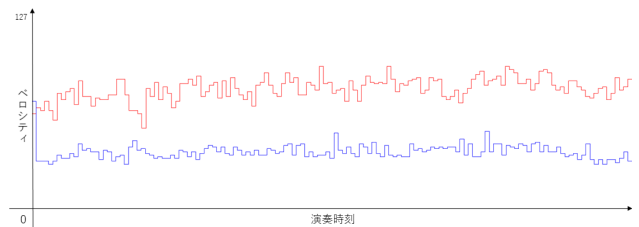


図 5 Cantaloupe Island($\alpha=0.25$) でのキーボードパートとドラムパートの大局的なペロシティ変化

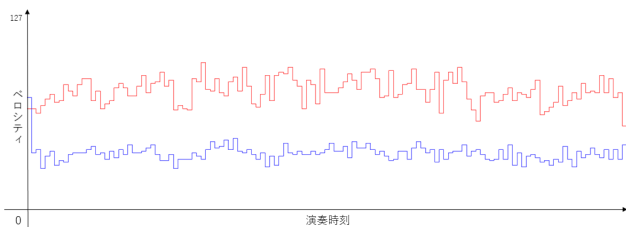
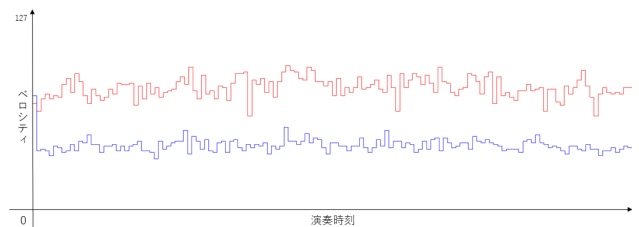


図 9 Now's The Time($\alpha=0.5$) でのキーボードパートとドラムパートの大局的なペロシティ変化



4. おわりに

本研究では、キーボードの演奏を考慮してドラムパートのペロシティを自動で決定するドラム演奏システムを構築

した。演奏記録のデータからドラム演奏のペロシティ変化が曲全体の大きなスケールでの変化と小節内の小さなスケールでの変化に二分できることがわかったため、本研究では大局的なペロシティ変化と局所的なペロシティ変化の

2 つに分けたベロシティ表情付け手法を提案した。大局的なベロシティ変化では記録した演奏データをもとに重回帰分析を用いてドラムパートの次小節のベロシティ平均を予測し、局所的なベロシティ変化ではドラムセット内の各楽器に応じてドラムパートの次小節のベロシティ平均からの偏差を算出する。ドラムパートの次小節のベロシティ平均とその偏差を足し合わせたものが最終的に決定するベロシティとなる。

評価実験の結果、大局的なベロシティを求める線形予測で使われるデータに入っている Bags Groove の曲を演奏した場合は $\alpha=0.5$ の条件で相関に関しては人間同士の演奏に近いことが言え、提案手法が有効であることがわかった。また、同じく線形予測で使われるデータに入っている Cantaloupe Island、線形予測で使われるデータに入っていない Now's The Time の曲を演奏した場合は α の値が 0.25 から 0.5 になる時の相関係数が大きくなることから、提案手法が有効でないことが考えられた。

今後の展望としては、本研究では音の強さ（ベロシティ）のみに着目した演奏表情付けを行ったため、ベロシティに加えて曲のテンポ、発音タイミングなど他の要素も組み合わせたい。また、今回はピアニストとのセッション演奏をする際のドラム演奏を想定したが、ベースやギターなど他の楽器の演奏も考慮に入れた表情付けも視野に入れたい。

謝辞 本研究は、JSPS 科研費 19K12288, 16H01744 から支援を受けた。

参考文献

- [1] “2001 年 (平成 13) ~ 2010 年 (平成 22) 全国楽器製造協会 楽器生産統計調査表”, 月刊ミュージックトレード 2011 年 4 月号
- [2] 和気早苗, 加藤博一, 才脇直樹, 井口征士: “テンション・パラメータを用いた協調型自動演奏システム: JASPER”, 情報処理学会論文誌, Vol.35, No.7, pp1469-1481, 1994.
- [3] 日高伊佐夫, 後藤真孝, 村岡洋一: “すべてのプレイヤーが対等なジャズセッションシステム . ベーシストとドラマーの実現”, 情報処理学会研究報告, 音楽情報科学 96-MUS-14-5, Vol.96, No.19, pp.29-36, 1996.
- [4] 後藤真孝, 日高伊佐夫, 松本英明, 黒田洋介, 村岡洋一: “仮想ジャズセッションシステム: VirJa Session”, 情報処理学会論文誌, Vol.40, No.4, pp.1910-1921, 1999.
- [5] 北原鉄朗, 戸谷直之, 徳網亮輔, 片寄晴弘: “BayesianBand: ユーザとシステムが相互に予測し合うジャムセッションシステム”, 情報処理学会論文誌, Vol.50, No.12, pp.2949-2953, 2009.
- [6] 橋田光代, 長田典子, 河原英紀, 片寄晴弘: “複数旋律音楽に対する演奏表情付けモデルの構築”, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.1, pp.248-257, 2007.
- [7] 水本直希, 北原鉄朗, 片寄晴弘: “事例データに基づくエレキギターの表情付けシステム「Guitar-Case Maker」”, 情報処理学会研究報告, Vol.2010-MUS-87, No.4, pp.1-6, 2010.
- [8] Esteban Maestre, Amaury Hazan, Rafael Ramirez, Alfonso Perez: “USING CONCATENATIVE SYNTHESIS FOR EXPRESSIVE PERFORMANCE IN JAZZ SAX-

- OPHONE”, ICMC, 2006.
- [9] Grigore Burloiu: “Interactive Learning of Microtiming in an Expressive Drum Machine”, The 2020 Joint Conference on AI Music Creativity, Oct 2020, Stockholm, Sweden, hal-03015476
 - [10] Axel Tidemann, Yiannis Demiris: “A Drum Machine that Learns to Groove”, In: Dengel A.R., Berns K., Breuel T.M., Bomarius F., Roth-Berghofer T.R. (eds) KI 2008: Advances in Artificial Intelligence. KI 2008. Lecture Notes in Computer Science, vol 5243. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-85845-4_18
 - [11] “Cubase” <https://new.steinberg.net/ja/cubase/>
 - [12] “Cakewalk by BandLab” <https://www.bandlab.com/products/cakewalk>