

ポップス系ドラム演奏の打点時刻及び音量とグルーブ感の 関連について (第 3 報)

— データの基礎的分析とドラム演奏生成システムの実装 —

奥 平 啓 太[†] 平 田 圭 二^{††} 片 寄 晴 弘^{†††}

ポップス系音楽においてドラムのグルーブ感は、楽曲全体の印象を変えるような重要な要素の 1 つと考えられる。我々はこれまで、タイトとルーズのグルーブ感を与えたドラム演奏から、スネア、ベースドラム、ハイハットの打点時刻と音量を測定し、これらのグルーブ感との関連を調べてきた。この結果からグルーブ感の違いは、実際の打点時刻や音量からも読み取ることが出来た。本研究では、グルーブ感を含んだ様々な演奏意図と打点時刻及び音量との関係を分析した。その分析結果をふまえてドラム演奏生成システムを実装した。そのシステムは連続する打点の相関を考慮すること、ゴーストノート付加できることなどの特徴を持つ。

Relationship Between Groove Feeling and the Timing and Loudness of Drum Attacks in Popular Music (third report) — Fundamental Analysis of Drum Performance Data and Implementation of Drum Performance Rendering System —

KEITA OKUDAIRA,[†] KEIJI HIRATA^{††} and HARUHIRO KATAYOSE^{†††,?}

The delicate control of beat timing referred to as the “groove” of a beat is a crucial factor when a listener forms an impression of a piece of popular music. We have been investigating “tight” and “loose” beats played by a professional drummer, as evident in the results of our variance analysis in our previous papers. In this paper, we analyzed the relationship between beat timings and volumes and the perceived “groove” of a beat. Based on the results of the analysis, we implemented a drum performance rendering system. The system is able to generate accents and ghost notes in order to emulate a particular groove.

1. はじめに

我々は身近な音楽ジャンルの 1 つであるポップス系音楽におけるリズムのグルーブ感 (groove) の定量的な分析に取り組んでいる^{1),2)}。グルーブ感とはリズムに感じる生き生きとした表情のことであり、ノリとも呼ばれる³⁾。ポップス系ドラム演奏では、ベースドラム、スネア、ハイハットなどの打楽器を用いて演奏を行う。この際、ドラム奏者は打点時刻を少し遅らせたり、音量を変えるなどによってグルーブ感を表現して

いる。グルーブ感はドラム奏者の個性を大きく表し、ドラム奏者の数だけグルーブ感があると言っても過言ではない。

我々の先行研究では、“タイト”と“ルーズ”という条件で、プロのドラム奏者が叩き分けたデータに対して各打楽器の打点時刻及び音量が deadpan と比較してどのように変化しているかを測定した。この結果、異なるグルーブ感を与えた場合やゴーストノートを付加した演奏に対して、打点の変化の傾向や音どうしの関連性を見いだすことができた^{1),2)}。

[†] 関西学院大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Kwansei Gakuin University

^{††} NTT コミュニケーション科学基礎研究所
NTT Communication Science Laboratories

^{†††} 関西学院大学理工学部
School of Science and Technology, Kwansei Gakuin University

聴感上の印象は、タイトがきちんとまとまった・明解なグルーブ感、ルーズがゆったりとしたグルーブ感であると言えよう⁴⁾。このような聴感上の印象は多くのドラム奏者の間で共通しており、暗黙知の一例と見なすこともできる。
文字通り“オバケの音”で、通常の打点の 1/10 程度の小さな音量で叩く音を指す。グレースノートとも呼ばれ、他の音符を装飾して全体としてのノリに躍動感を与える役割があるとされる⁵⁾。

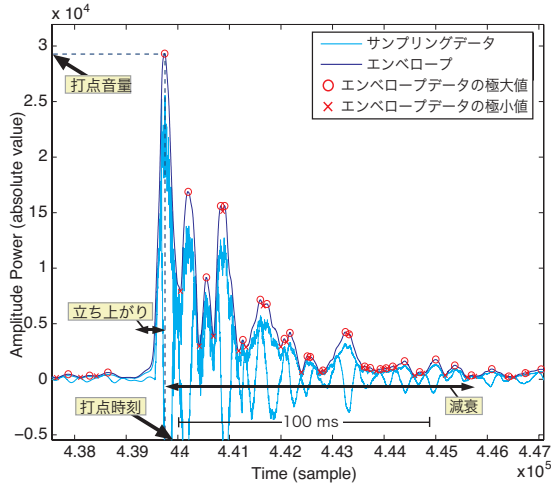


図 1 打点の分析 (ベースドラムの例)

本研究では、さらにタイトとルーズのグルーブ感を含んだテンポや演奏の強弱の異なる様々な演奏意図と打点時刻及び音量との関係を分析し、その分析結果をふまえてドラム演奏生成システム Groovedit を実装する。Groovedit は連続する打点の相関を考慮し、ゴーストノートを追加できるなどの機能を持つことで、分析結果に基づいた様々な演奏を生成することを可能とする。

2. ドラム演奏の収録と打点の分析

リズムパターン、演奏パターン、演奏の収録に関しては、我々の前研究報告を参照されたい^{(1),(2)}。打点時刻及び音量は、各打楽器のサンプリングデータからエンベロープを得て、そこから求めるようにしている。演奏の収録で得られた各打楽器のサンプリングデータに対して、1) サンプリングデータをヒルベルト変換したものの絶対値をとる。2) 簡単のために 1) の操作の結果と平均値 0、標準偏差 10 サンプル (約 0.23 ms) の 1 次ガウス分布関数との畳込みを 2 度行う。この操作は各打楽器を同等に扱うために、すべてのサンプリングデータに対して同様の処理を行う (図 1)。打点ごとにエンベロープの最大値を打点音量、打点音量の 70% 以上にはじめに達する極大値の時刻を打点時刻とした。

本研究で取り扱うデータは比較的に音源の分離が良いサンプリングデータであるが、ハイハットのサンプリングデータにおいて、ベースドラムとスネアの音が

音量 (振幅) の時間変化、またこれを包絡する曲線を指す。この相違は同じ周波数の音波であっても音色にも影響を与える。

表 1 打点時刻の比較 ($2/132/T/f$ と $2/132/L/f$)

	平均値 (%/16 分音符)			標準偏差 (%/16 分音符)		
	タイト	ルーズ	r1	タイト	ルーズ	r2
$H_{1.0}$	16.58	31.20	L	4.14	12.96	L
$H_{1.5}$	15.28	26.61	L	4.27	10.39	L
$H_{2.0}$	17.19	35.63	L	7.67	9.98	=
$H_{2.5}$	15.48	28.02	L	7.14	7.77	=
$H_{3.0}$	22.31	30.04	=	8.47	7.07	=
$H_{3.5}$	21.14	27.69	L	6.48	3.05	T
$H_{4.0}$	21.24	36.69	L	7.82	6.54	=
$H_{4.5}$	17.79	38.71	L	5.53	9.21	L
$B_{1.0}$	11.77	14.56	L	5.00	11.76	L
$B_{2.5}$	16.53	20.07	=	5.67	8.84	=
$B_{3.0}$	19.80	26.21	=	4.90	9.63	L
$S_{2.0}$	12.40	26.41	L	6.84	9.79	=
$S_{4.0}$	14.15	28.29	L	5.63	6.48	=

無視できない大きさで入ってしまったものがあった。そこでエンベロープの極大値を中心に、前後 256 サンプル (約 5.8 ms) の離散フーリエ変換により得られたパワースペクトルの周波数成分を見ることで打楽器の種類を判断し、ハイハット以外の打楽器による極大値を除外することでハイハットの正確な打点を検出した。

3. 打点の分析結果

3.1 タイトとルーズの打点の比較

本研究では、タイトとルーズのグルーブ感の打点時刻及び音量に対して 2 標本の平均値の差の検定と等分散性の検定⁽⁶⁾を行い、グルーブ感の異なる演奏の打点を比較した。表 1 に、リズムパターン、テンポ、演奏の強弱、ゴーストノートの有無の組み合わせが同じであるタイトとルーズのグルーブ感による演奏に対して 24 通りの打点時刻の比較を行った結果を示す。表中、各数値は deadpan からのズレの平均値及び標準偏差の値 (単位: %/16 分音符) を示す。r1 は 2 標本の平均値の差の検定結果を示し、L はルーズの打点時刻がタイトの打点時刻に対して遅れている (遅い) ことを示している。= はルーズとタイトの打点時刻の平均が等しい (近い) ことを意味し、T はタイトの打点時刻がルーズの打点時刻よりも遅れていることを示している。r2 は等分散性の検定結果を示し、L, =, T の意味は r1 と同様である。

表 1 から、ルーズの演奏はタイトの演奏に対し、打点時刻が遅れる ($p < 0.05$) 傾向が見られた。またルーズの打点時刻の分散がタイトの打点時刻の分散よりも大きい ($p < 0.25$) ものが多かった。表 2 は、タイトとルーズのグルーブ感による演奏の 24 通りの打点時刻の比較結果を打楽器ごとにまとめたものである。こ

表 2 タイト (T) とルーズ (L) の打点時刻の比較

	平均値の差 (r1)			等分散性 (r2)		
	L	=	T	L	=	T
ハイハット	180	12	0	66	100	26
ベースドラム	60	12	0	31	34	7
スネア	44	4	0	13	30	5
計	284	28	0	110	164	38

表 3 タイト (T) とルーズ (L) の打点音量の比較

	平均値の差 (r1)			等分散性 (r2)		
	L	=	T	L	=	T
ハイハット	10	82	100	40	102	50
ベースドラム	16	28	28	16	45	11
スネア	14	29	5	16	27	5
計	40	139	133	72	174	66

表 4 BPM 100 (S) と 132 (F) の打点時刻の比較

	平均値の差 (r1)			等分散性 (r2)		
	F	=	S	F	=	S
ハイハット	57	7	0	22	34	8
ベースドラム	19	4	1	6	14	4
スネア	15	1	0	3	11	2
計	91	12	1	31	59	14

表 5 BPM 100 (S) と 132 (F) の打点音量の比較

	平均値の差 (r1)			等分散性 (r2)		
	F	=	S	F	=	S
ハイハット (表拍)	4	24	4	4	22	6
ハイハット (裏拍)	0	9	23	7	12	13
ベースドラム	0	0	24	7	14	3
スネア	1	11	4	3	12	1
計	5	44	55	21	60	23

こからも上記と同様の傾向が見られ、タイトの打点時刻がルーズの打点時刻より遅れることはなかった。これらは聴覚上の印象とも一致する。また表 3 の打点音量の比較結果からは、タイトの打点音量がルーズの打点音量よりも大きい値となった。

3.2 演奏パターンの違いによる打点の変化

演奏パターンの違いによる打点の変化を 3.1 の手続きにより分析する。

3.2.1 テンポの違いによる打点の変化

表 4 に、テンポ BPM 100 (S) と BPM 132 (F) による演奏の 8 通りの打点時刻の比較結果を示す。これより、テンポが速くなると、打点時刻の遅れが大きな値になることがわかる。テンポが異なるため絶対的な時間間隔の異なる 16 分音符基準の値によって比較した結果であるが、絶対時刻で比較した場合でもほぼ同等の結果が得られた、各打楽器を拍ごとにグラフ化すると、図 2 のように変化の割合に近い値をとること

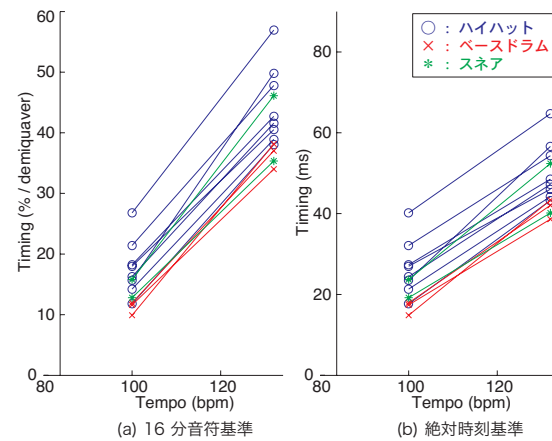


図 2 打点時刻の変化 (3/100/L/f と 3/132/L/f)

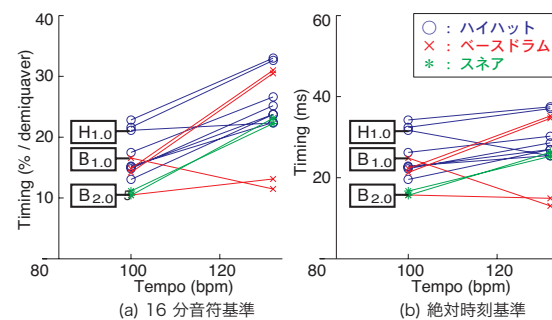


図 3 打点時刻の変化 (4/100/L/F と 4/132/L/F)

表 6 フォルテ (f) とピアノ (p) の打点時刻の比較

	平均値の差 (r1)			等分散性 (r2)		
	p	=	f	p	=	f
ハイハット	0	46	18	7	39	18
ベースドラム	0	19	5	2	18	4
スネア	0	14	2	2	8	6
計	0	79	25	11	65	28

かる。例外的に、4/100/L/f と 4/132/L/f を比較したときに (図 3), 1.0 拍目のハイハット、及び 1.0 拍目と 2.0 拍目のベースドラムの変化の割合の値が、その他の値と大きく違う値をとった。表 5 の打点音量の比較では、打点音量の比較では、ハイハットの裏拍の打点音量が、BPM 100 による演奏が BPM 132 による演奏よりも大きな値をとった。ベースドラムは、すべて BPM 100 による演奏が BPM 132 による演奏よりも打点音量が大きな値となった。

3.2.2 演奏の強弱の違いによる打点の変化

表 6 に、フォルテ (f) とピアノ (p) の演奏の強弱に

1.5, 2.5, 3.5, 4.5 拍目：今回は偶数回目のハイハットを指す。
1.0, 2.0, 3.0, 4.0 拍目 (奇数回目のハイハット) は表拍。

表 7 ゴーストノート無 (n) と 有 (G) の打点時刻の比較

	平均値の差 (r1)			等分散性 (r2)		
	G	=	n	G	=	n
ハイハット	8	108	76	60	119	13
ベースドラム	1	41	30	27	40	5
スネア	1	23	24	9	35	4
計	10	172	130	96	194	22

表 8 ゴーストノート無 (n) と 有 (G) の打点音量の比較

	平均値の差 (r1)			等分散性 (r2)		
	G	=	n	G	=	n
ハイハット (表拍)	29	54	13	15	57	24
ハイハット (裏拍)	9	41	46	12	55	29
ベースドラム	21	34	17	20	37	15
スネア	2	28	18	11	28	9
計	61	157	94	58	177	77

よる演奏に対して 8 通りの打点時刻の比較を行った結果を示す。ここではフォルテによる演奏における打点時刻がピアノによる演奏打点時刻よりも 1/4 程度の組み合わせで大きい値をとった。打点音量の比較においては、ほぼすべてフォルテによる演奏の打点音量がピアノによる演奏の打点音量を上回った。例外的に、4/100/T/f と 4/100/T/p の比較で、2.5 拍目のハイハットの打点音量が等しい結果となり、4/100/L/f と 4/100/L/p の比較で、1.5、3.5、4.5 拍目のハイハットの打点音量が等しい結果で 2.5 拍目のハイハットはピアノの打点音量がフォルテの打点音量を上回った。打点音量の分散は、すべての打楽器でフォルテのほうがタイトよりも大きくなる傾向が見られた。このように、打点音量のみでなく打点時刻からも変化の傾向が読み取れた。

3.2.3 ゴーストノートの付加による打点の変化

表 7 に、ゴーストノート無 (n) と ゴーストノート有 (G) による演奏の 24 通りの打点時刻の比較結果を示す。ここからゴーストノート無の演奏はゴーストノート有の演奏に対して打点時刻が遅れているものが多く見られた。すなわちゴーストノートを付加することで、打点時刻は早まるという観察結果が得られた。表 8 に示した打点音量の比較結果からは、ハイハットの裏拍において、ゴーストノートを付加することで打点音量が小さな値をとる傾向が見られた。

3.3 打点の相関

本研究では、リズムパターン 1 による演奏の 4 つの演奏パターンに対して連続するハイハットの相関、同一の拍に演奏されるハイハットとベースドラム及びスネアとの相関を調べた。表 9 に、上記の 4 つの演奏パターンにおける連続するハイハットの打点時刻の

表 9 連続するハイハットの相関係数

	1/100 /T/f	1/100 /L/f	1/100 /T/p	1/100 /T/p
打点時刻	0.834	0.776	0.346	0.445
打点音量	0.098	0.346	0.255	0.144

相関係数を調べた結果を示す。これより、タイトのグループ感を持つ演奏における連続するハイハットの打点時刻はやや相関があること、ルーズのグループ感を持つ演奏における連続するハイハットの打点時刻は強い相関があることが確認された。打点音量に関しても調査を行った結果、連続するハイハットの打点音量はほとんど相関がなかった。ハイハットと同一の拍に演奏されるベースドラム及びスネアとの打点時刻は、相関係数がいずれも 0.9 程度の値をとり、非常に高い相関があることが確認された。

4. ドラム演奏生成システムの実装

4.1 システム概要

以上の分析結果をもとに実装したドラム演奏生成システム Groovedit について述べる。

4.1.1 デザイン上のポイント

Groovedit では、まずは固定リズムパターンに対してのグループ感の付与を目的としている。本システムでは、

- ・タイトとルーズのグループ感を含んだ演奏を生成できる
- ・各打点の相関を考慮したヒューマナイズ機能ヒューマナイズ機能を搭載する
- ・ゴーストノートを付加した演奏を生成できる

ことをデザイン上のポイントとしている。分析の結果得られた演奏情報のモーフィングにより、任意のテンポ・音量の強弱によるグループ感を含んだ演奏の生成ができるようにしている。そして打点時刻と音量に対して意図的に不正確さ (乱数) を加えることで、演奏における人間らしさを再現する (機械的な演奏でなく) ヒューマナイズ機能を搭載している。また本システムでは、これまでの市販システムでは着目されてこなかったゴーストノートを付加する機能の初期的な実装を行った。これらの機能の実装について次節で説明する。

4.1.2 インタフェース

Groovedit では、モーフィングの割合やヒューマナイズ機能の設定を、図 4 に示すグラフィカル・ユーザ・

演奏に不正確さを取り入れることで、人間らしさを与える機能

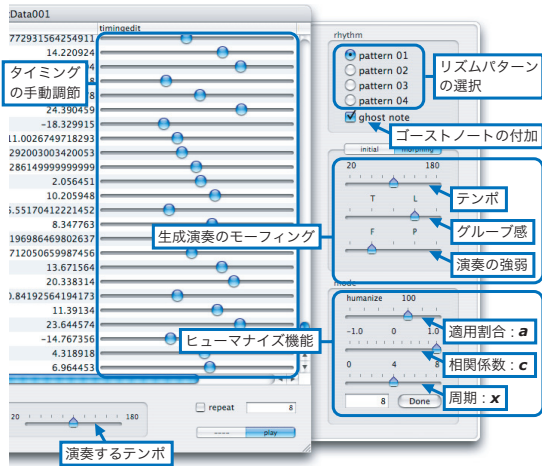


図 4 Groovedit の GUI

インタフェース (GUI) を用いてユーザが自由に決めることができる。演奏の出力は、実験で得られたサンプリングデータを用いて行う。各打楽器のサンプリングデータを打点ごとに切り出し、この打点音量が計算結果と最も近いものを用いる。また、MIDI (Musical Instrument Digital Interface) による出力も可能としている。生成演奏を演奏する際のテンポはユーザが自由に決めることができる。

4.2 システムの機能

Groovedit の機能とその実装について説明する。

4.2.1 生成演奏のモーフィング

図 5 は、Groovedit における生成演奏のモーフィングの概念を表したものである。本システムでは、1 つのリズムパターン (ゴーストノート無) に対して図中に位置する分析により得られた演奏情報を利用する。モーフィングは、この 6 つの演奏を基準として、まず打点時刻及び音量のモーフィングを実施する。BPM 100、フォルテの演奏を基準とし、BPM 132、フォルテの演奏との差分を用いてテンポのモーフィング、BPM 100、ピアノの演奏との差分を用いて音量のモーフィングを実施する。そしてタイト、ルーズのグルーブ感でそれぞれ得られた打点時刻及び音量のモーフィングを実施して出力する演奏を得る。

4.2.2 ヒューマナイズ機能

Groovedit では、3.3 の分析結果をもとにリズムパターン 1 に対応するヒューマナイズ機能を実装した。連続するハイハットの相関を再現するために、正規乱数を発生するボックスミューラー法を応用した正弦波をベースとする数列を用いる。この数列における i

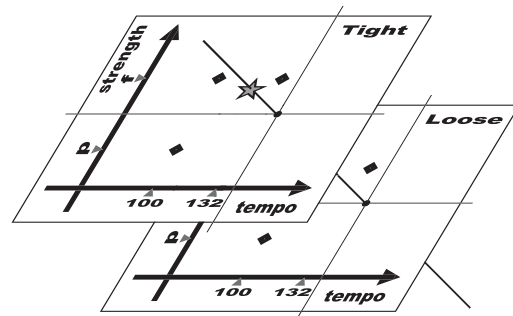


図 5 生成演奏のモーフィングの概念

番目の値を r_i 、周期を x 小節とすると、

$$r_i = \sqrt{(-2 \log \text{rand})} \cdot \sin\left(2\pi \frac{i}{8x}\right)$$

となる。ここで rand は一様乱数である。ハイハットの i 回目に対する打点の位置係数 (拍ごとの打点時刻の平均に対するズレの割合) H_i は、相関係数を c 、正規乱数を r_2 とすると、

$$H_i = \frac{|c| \cdot r_i + (1 - |c|) \cdot \text{n_rand}}{\sqrt{c^2 + (1 - |c|)^2}}$$

となる。ここで n_rand は正規乱数である。相関係数が負の場合は、 H_i に対して -1 を交互に掛け合わせる。ベースドラムとスネアの位置係数は、上式の r_i の代わりに同一の拍に演奏されるハイハットの位置関数 H_i を使い、 $c = 0.8$ とする。実際に出力する打点時刻のズレ B_{out} (ベースドラムの場合) は、各打楽器の平均的な打点時刻の標準偏差を s とし位置係数の適用割合を a とすると、

$$B_{out} = B_i \cdot s \cdot \frac{a}{100}$$

となる。分析結果からは打点音量については大きな相関は確認できなかったため、本システムでは、打点音量としてボックスミューラー法を用いた正規乱数に各打楽器の平均的な打点音量の標準偏差に掛け合わせた値を用いた。

4.2.3 ゴーストノートの付加

Groovedit では、実験で収録したゴーストノート有の演奏からゴーストノートに当たるサンプリングデータを抜き出し、小節ごとに転写することでゴーストノートを含んだ演奏を生成する。図 6 のようにユーザが選択した 1 つのゴーストノートを含む演奏におけるゴーストノートを小節ごとに取り出し、これをランダムに生成演奏へ配置する。ゴーストノート有の演奏を生成する際の打点時刻及び音量は、モーフィングではゴーストノート有の演奏の分析結果における各値を用いる。

平均 0、標準偏差 1 の正規乱数を発生させる方法

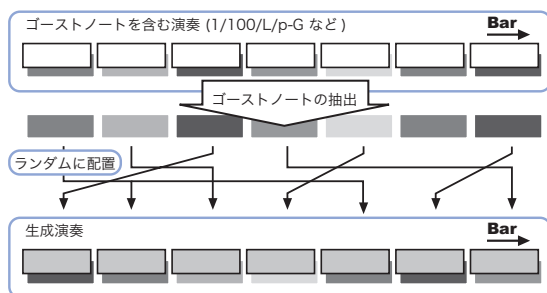


図 6 ゴーストノートの転写

表 10 ハイハットの打点時刻の比較

	Groovedit			Groove Agent 2	
	100%	50%	100%	100%	50%
a	100%	50%	100%	100%	50%
c	0.8	0.8	0.4	—	—
相関係数	0.711	0.770	0.458	0.132	-0.007
標準偏差	6.11	3.05	6.24	10.47	3.34

4.3 GA2 との比較

本研究では、Groovedit と steinberg 社の Groove Agent 2 (GA2)⁷⁾ の動作を検証し、これらの比較を行った。GA2 はヒューマナイズ機能を搭載し、著名な演奏家によって実際に演奏された演奏を用い、ユーザがシステムにあらかじめ用意されたドラムパターンを選択することでドラム演奏を得るというデザインが実装されている。表 10 に、Groovedit と GA2 の生成演奏の打点時刻に対して各拍ごとに平均からのズレを求め、連続する打点の相関係数、及び楽曲を通した標準偏差を求めた結果を示す。

Groovedit は相関係数 c を 0.8、適用度合 a を 100% と 50% に設定して生成した演奏、及び相関係数を 0.4、適用度合 a を 100% に設定して生成した演奏について調べた。ここで数列の周期 x は、すべて 4.0 小節とした。GA2 はヒューマナイズ機能の適用度合を 0 から 100% まで設定できるので、適用度合を 100% と 50% に設定して生成した演奏について調べた。その結果、Groovedit では、相関係数は設定した値に近い値をとることが確認できる。また標準偏差は、適用度合を 100% に設定した場合に分析結果と近い値をとり、50% に設定した場合には分析結果の約半分の値をとった。GA2 では、適用度合を 50% に設定した場合 100% に設定した場合よりも標準偏差は小さい値をとったが、どちらも打点時刻にほとんど相関がなかった。以上から Groovedit では、GA2 では留意されていない打点どうしの相関が考慮されており、より人間らしいドラム演奏の生成が可能であるといえる。

5. おわりに

本研究では、ポップス系音楽におけるドラム演奏を分析し、その結果に基づいて、グルーブ感を付与できるドラム演奏システムのプロトタイプ groovedit を実装した。

プロのドラム奏者にタイトとルーズのグルーブ感を表現するべくドラムを演奏してもらい、テンポや演奏の強弱、ゴーストノートの有無の組み合わせが異なる演奏における打点時刻及び音量との関係性を分析した。分析結果からテンポや演奏の強弱が異なる演奏間の打点時刻の遅れや音量の変化の傾向や、各打点の打点時刻に高い相関があることを見いだした。groovedit では、固定リズムパターンに対してのグルーブ感の付与を目的とし、タイトとルーズのグルーブ感を表現した演奏をモーフィングを実施することで、ユーザが設定したテンポ、演奏の強弱、ゴーストノートの有無で出力することを可能とした。本システムは、連続する打点の相関を考慮したヒューマナイズ機能やゴーストノート付加できることなどの機能を搭載している。またゴーストノートを付加することも可能である。

今後は、リズムパターンの構成も含めたシステムの構築を目指して開発を進めていく予定である。またシステムの評価として、バンドでの演奏経験者に対して聴取実験により市販のシステムとの比較を行いたい。

参 考 文 献

- 1) 奥平啓太, 平田圭二, 片寄晴弘. ポップス系ドラム演奏の打点時刻及び音量とグルーブ感の関連について. 情報処理学会 音楽情報科学研究会 研究報告 2004-MUS-56, Vol. 56, pp. 21–26, 2004.
- 2) 奥平啓太, 平田圭二, 片寄晴弘. ポップス系ドラム演奏の打点時刻及び音量とグルーブ感の関連について (第 2 報). 情報処理学会 音楽情報科学研究会 研究報告 2005-MUS-59, Vol. 59, pp. 27–32, 2005.
- 3) Charles Keil. Motion and feeling through music. In *Music Grooves*, Charles Keil and Steven Feld (Eds), pp. 53–76, 1994.
- 4) 佐野正佳, 菅沼道昭, 山村牧人. リズムドラム・マガジン直伝 技. リットーミュージック・ムック, 2002.
- 5) 小野祐市他. リズムドラム・マガジン直伝 巧. リットーミュージック・ムック, 2003.
- 6) 石村貞夫. 統計解析の話. 東京図書, 1989.
- 7) steinberg. Groove agent 2, 2005. <http://www.japan.steinberg.net/products/grooveagent2/>.