

ドラム演奏のグルーヴ感の解析

渡辺 哲朗[†], 近山 隆[†]

[†] 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 基盤情報学専攻

今日のコンピュータ音楽においては、本来の人間の演奏に内在するずれやゆらぎといった「グルーヴ感」を表現することに困難がある。本研究では、プロのドラマーが実際に演奏したドラム演奏を収録した音源を解析することにより、演奏に内在するグルーヴ感の定量的評価を行い、グルーヴ感を持った「人間らしい」演奏を自動生成するシステムの構築を目指す。本稿においては、演奏中のハイハットシンバルの打点時刻から仮想的なメトロノームの位置を定め、その仮想メトロノームに対する各楽器の打点のずれと打点音量を解析した。その結果、グルーヴ感の種類によって打点のずれの標準偏差や打点音量の平均値に特に大きな差が生じることがわかった。

Analysis of Groove Feeling of Drums Plays

TETSUROH WATANABE[†] TAKASHI CHIKAYAMA[†]

[†] Dept. of Frontier Informatics, Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo

When we create a music on a computer, it is very difficult to express humanlike touch, called “groove feeling”. We evaluate groove feeling of drums play quantitatively by analyzing a professional drummer’s play, and aim at structuring a system of “humanlike” automatic playing. In this paper, we defined the position of the virtual metronome, and analyzed time-lags between attacks and the virtual metronome and attacks’ volume. As a result, we found significant differences in the deviation of time-lags and the mean value of volume between each groove feeling.

1 序論

1.1 背景

近年の音楽業界ではプロ・アマチュア問わず、コンピュータを用いた音楽作成手法が盛んに用いられている。すなわち、ポップス音楽の制作現場を始め、カラオケ業界や携帯電話の着信メロディ業界においてコンピュータ音楽技術は大変重要な地位を占めており、個人の趣味で音楽制作を行うアマチュアユーザにも、コンピュータ音楽は広く浸透している。

一方でコンピュータ音楽は、入力された制御数値に演奏が極めて忠実であるがゆえに、機械的な演奏になってしまうという問題がある。人間が実際にある種の楽器を演奏する際は、一定のテンポからは若干のずれが生じており、また音程・音量も微妙に変化する。こうしたずれはグルーヴ感とも呼ばれ、このグルーヴ感がリズムに表情を与え、機械的でない自然な音楽を生み出している。コンピュータ音楽では、テンポに完全に一致し音程も平均律そのものであるような音楽が前提となっているため、グルーヴ感は発生しづらく機械的な音楽となってしまうがちなためである。熟練者は、こうした細かいずれを意図的に入力することでグルーヴ感を再現しているが、その労力は膨大で高い熟練度を必要とするため、意図的に自然な演奏を再現することは困難を極めると言わざるを得ない。

もし実際の人間の演奏に内在する様々なずれ、つまりグルーヴ感を定量的に解析することができれば、その結果をソフトウェアのアルゴリズムに応用し、いわゆる「人間らしい演奏」をユーザの意図に沿う形で自動生成するシステム構築が可能と

なる。人間の演奏に関するこれまでの研究は感性的・主観的・定性的なものが大半であり、定量的な解析はあまり行われていない。こうした解析が進めば、コンピュータ音楽に携わる人間の労力が大幅に軽減でき、より多くの人がより自然な音楽を生成できるようになることが期待できる。

ここで、楽曲のグルーヴ感を大きくリードしているのはドラムであり、またドラムは他の楽器と比べて音数も少なく単純である。さらに近年のポピュラー音楽においては、ドラム部分をコンピュータで作成している楽曲が非常に多く存在することから、従来あまり行われてこなかった音楽の定量的解析の入り口として考えても、またグルーヴ感の解析と自動演奏システムの構築という目的と照らし合わせても、ドラム演奏の解析は、こうした問題の解決手段として適していると言える。

1.2 本研究の目的

本研究では、グルーヴ感の種類や程度に応じた人間らしいドラム演奏の自動化を実現し、ユーザの意図を反映した演奏生成システムを構築することを目的とする。そして、それに際して必要不可欠である作業として、人間のドラム演奏に内在するグルーヴ感の解析を行う。

本研究のアプローチの概要を、Fig.1に示す。

本研究では、Fig.1に示すように、打点時刻や音量といった物理的な特徴と、グルーヴ感の種類やグルーヴ感の強度といったグルーヴ感に関する特徴との間に写像関係を生成し、一種の座標変換を可能とする。これにより、打点時刻や音量といった物理的特徴パラメータを直接操作するのではなく、タイトやルースといったグルーヴ感（3.2節参照）

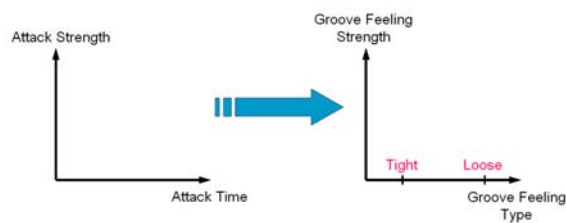


Fig. 1 本研究のアプローチ: 物理的特徴 ↔ グルーフ感の座標変換

の調節によって間接的・自動的に物理的パラメータを制御できるような、演奏生成システムの実現を目指す。

1.3 本稿の構成

本稿においては、第2章でドラムに関する基礎知識の紹介を行った後、第3章で関連研究の紹介と本研究のアプローチについて述べる。第4章では、本研究にて提案する仮想メトロノームという手法についての説明を行い、第5章で本研究における実験条件と現時点での成果を述べる。第6章ではまとめと今後の展望を述べる。

2 ドラム

2.1 ドラムの構成

ドラムとは、打楽器のひとつである。通常、ポピュラー音楽で用いられるものは、太鼓やシンバルを複数組み合わせたものであり、正しくは「ドラムセット」「ドラムス」などと呼ばれる。

標準的な構成のドラムセットの概観を、Fig.2に示す。演奏に主に用いられる楽器は、ハイハットシンバル (Hi-hat Cymbal)、バスドラム (Bass Drum)、スネアドラム (Snare Drum) の3種である。演奏者は、イスに座った状態で、これらをスティックなどで叩き、またペダルを踏むことによって演奏を行う。本稿では、以下「ドラム」といえば、この「ドラムセット」を指すものとする。



Fig. 2 標準的なドラムセット

2.2 リズムパターン

ドラムの譜面は、通常の楽器の譜面とは異なり、Fig.3のように表記される。Fig.3は、8ビートと呼ばれるリズムパターンで、8分音符のリズムでハイハットシンバルを叩きながら、小節の1拍目と3拍目にバスドラム、2拍目と4拍目にスネアドラムを叩くという、基本的なリズムのひとつである。また、ハイハットシンバルでリズムを刻む間隔を半分にした16ビートと呼ばれる基本リズムパターンも存在し、これをFig.4に示す。



Fig. 3 8ビートのドラム譜面



Fig. 4 16ビートのドラム譜面

3 グルーフ感の定量的解析

3.1 従来研究

1.2節で述べた通り、本研究では、人間がドラムを演奏した際に生じるグルーフ感の解析を行う。しかし、これまでのグルーフ感の考察は、主観的あるいは感性的なものが多く、定量的・科学的な解析はあまり進んでいない。

Fribergらは、ジャズドラム奏者のレコード演奏から、シンバル打点時刻を抽出し、スウィング比との関連についての研究を行っている¹⁾。また、同様にジャズ分野において、ジャズドラム奏者の手の動きとシンバル打点時刻の関連を調べた研究も存在する²⁾。辻らは、モーションキャプチャシステムを用いて、ドラム奏者の演奏情報（打拍時刻、打拍の強さ）とフォーム情報（手の甲の動き）の同時測定を行い、その結果、打楽器経験者と未経験者に対して、リズム安定性や叩く強さの安定性などについて定量的に有意な差を見出している³⁾。

3.2 グルーフ感に注目した従来研究

奥平、平田、片寄ら^{4) 5) 6)}は、ポップス系音楽においてドラムのグルーフ感は、その違いにより楽曲全体の印象を変えるような重要な要素のひとつであると捉え、グルーフ感の定量的解析を行った。この研究では、主に8ビートに分類される4種類のリズムパターンについて、プロのドラム奏者による2種類のグルーフ感の演奏を収録し、その

音データからスネアドラム、バスドラム、ハイハットシンバルの打点時刻および音量を測定し、解析を行っている。

ここで収録を行った2種類のグルーヴ感というのは、一般に「タイト」「ルース」と呼ばれるものである。タイトの聴感上の印象は、きちんとまとまった明解なグルーヴ感であり、一方ルースの聴感上の印象は、ゆったりした滑らかなグルーヴ感であると言える。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。

ドラム奏者は、ヘッドフォンから流されるメトロノーム音（一定テンポで流れるクリック音¹）を聞きながら、それに合わせて演奏を行う。演奏は楽器別に収録され、得られたサンプリングデータから各楽器のメトロノーム音からの時刻の差分および音量を求め、統計処理を行った。結果の一部を挙げると以下のようなものである。

- ルーズの演奏はタイトの演奏に対し、打点時刻が遅れる傾向が見られた。
- 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ものが多かった。
- テンポが速くなると、打点時刻の遅れが大きな値になる。

またこの研究では、さらにゴーストノート²を付加させたドラムパターンについても同様の研究を行った。そして、以上のような解析結果をもとにした、ドラム演奏生成システムの実装も行われた。

3.3 本研究のアプローチ

3.2節で紹介した研究においては、ドラム演奏者がヘッドフォンで聞くメトロノーム音の時刻を基準とすることで、各楽器の打点時刻のずれを定量評価したが、実際にドラム演奏を聞く立場の人間は、当然こうしたメトロノーム音を聞くことは出来ない。

そこで本研究では、**ユーザが実際に聞くことの出来る演奏音のみ**を扱うことによって、よりユーザに近い立場でのグルーヴ感の解析を試みる。具体的には、演奏音中に含まれるハイハットシンバルのリズムから、演奏の聴取者が脳内で補完するであろう仮想的なメトロノーム音（以下、**仮想メトロノーム**と呼ぶ）の時刻を求め、その仮想メトロノームからの各楽器の打点時刻のずれを算出し、各種検証を行ってゆくものとする。この仮想メトロノームに関する詳細な説明は、次章にて行う。

4 仮想メトロノーム

4.1 仮想メトロノームの概要

ここでは、3.3節に述べた仮想メトロノームについて、その導出法を述べる。

¹ ドンカマとも呼ばれる。

² 聞こえるか聞こえないか程度の小さな音量でスネアドラムを叩き、他の音符の装飾をする演奏法。

今回の解析対象となる、8ビートおよび16ビートの基本的なリズムパターンの演奏音源においては、ハイハットシンバル・バスドラム・スネアドラムの3種類の楽器の中では、ハイハットシンバルが最も多い回数叩かれている。そこで本研究においては、演奏中のハイハットシンバルの打点時刻と仮想メトロノームの時刻との差分の二乗値を全て足し合わせた際に、その合計が最小になるように（**最小二乗法**により）仮想メトロノームの開始時刻と間隔（テンポ）を決定する。これにより、演奏を聞いた人がハイハットシンバルの音を基準として頭の中で生成するであろう仮想的なメトロノームを、一意に定めることとする。

4.2 仮想メトロノームの決定方法

一回の演奏の中で、ハイハットシンバルが計 N 回叩かれているとき、その打点時刻を t_1, t_2, \dots, t_N とする。また、求める仮想メトロノームの開始時刻を t 、リズムを刻む時間間隔を x とする。これらの関係を、Fig.5 に示す。

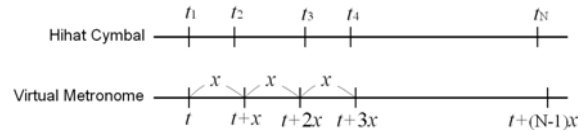


Fig. 5 ハイハットシンバルの打点時刻と仮想メトロノームの位置との関係

このとき、ハイハットシンバルの打点時刻と仮想メトロノームの時刻との差分の二乗値の合計は、以下の2変数関数

$$f(t, x) = \sum_{k=1}^N [t_k - \{t + (k-1)x\}]^2 \quad (1)$$

によって表されるので、この関数 f を最小化するような t と x を求めることにより、仮想メトロノームの位置を決定することができる。ここで、関数 f を最小化する t と x は、以下の連立方程式

$$\frac{\partial f}{\partial t} = 0, \quad \frac{\partial f}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

を解くことによって求められ、それぞれ、

$$t = \frac{4(N+1) \sum_{k=1}^N t_k - 6 \sum_{k=1}^N k t_k}{N(N+1)} \quad (3)$$

$$x = \frac{12 \sum_{k=1}^N k t_k - 6(N+1) \sum_{k=1}^N t_k}{N(N+1)(N-1)} \quad (4)$$

となる．以下の実験では，式 (3)(4) 中に現れる $\sum_{k=1}^N t_k$ および $\sum_{k=1}^N kt_k$ は実際の演奏音源中のハイハットシンバルの打点時刻を求めることによって計算し，その結果を式 (3)(4) に代入することによって t と x の値を求め，仮想メトロノームの位置を決定する．

5 実験

5.1 実験条件

5.1.1 解析対象音源

本研究では，3.2 節で紹介した研究で用いられているものと同じ音源を解析対象とする．この音源は，プロのドラム奏者に演奏を依頼し，数種類のリズムパターンおよびテンポに対し，**タイト**と**ルーズ**の2種類のグルーヴ感でドラム演奏を行ったものを収録した音源である．

演奏収録は，digidesign 社の Pro Tools を用い，ハイハットシンバル，バスドラム，スネアドラムに対して，それぞれ個別にマイクを配置して各打楽器の音を別トラックに分離して収録された．すべての演奏収録を通して，打楽器配置，マイク位置，Pro Tools のボリューム設定などの録音状態は一定に保った．

ドラム奏者に対しては次のように演奏するように求めた．ドラム奏者は全ての演奏において，右手でハイハットシンバル，左手でスネアドラム，右足でバスドラムを叩くものとする．この際ドラム奏者は，一定テンポで流れるメトロノーム音を聴きながら，それに合わせて演奏するものとする．

以上により，各打楽器から分離の良い 44.1 KHz, 16bit の WAVE データが得られた．

今回収録したドラム演奏については，2 種類のグルーヴ感の違いの他に，

- テンポスピード … 2 パターン (100 BPM³ / 132 BPM)
- リズムパターン … 8 パターン (8 ビート … 4 パターン / 16 ビート … 4 パターン)
- 演奏音量 … 2 パターン (f (フォルテ: 強め) / p (ピアノ: 弱め))

という各指示をドラム奏者に与えて収録してあり，これらの組み合わせにより，グルーヴ感ごとに様々なパターンの演奏収録データが存在する．また，各演奏データは，それぞれ 8 小節のドラム演奏から成る．

この WAVE データを解析し，打点位置を検出することで，各演奏の各打点における時刻・音量などを求める．打点位置の検出方法については，以下の 5.1.2 節にて述べる．

³ Beat Per Minute: 1 分間あたりの拍数を表す指標．例えば，マーチ等に採用される 1 秒に 2 拍のテンポなら，120BPM となる．

5.1.2 打点検出

本研究では，以下の手順によって波形を分析し，打点を検出して打点時刻と音量を抽出する．

打点検出に先立ち，波形の生データそのままでは扱いづらいので，まず波形の振幅 (WAVE ファイルのデータ値) の絶対値を取る．その後，波形中の全サンプルに対して，自身と前後 n 個ずつの計 $2n+1$ 個のサンプルの平均振幅を計算し，得られた値をあらたにそのサンプルの振幅とすることによって，波形の平滑化を行う．この平滑化操作を 3 回連続で行うことにより，打点検出に用いるデータサンプル列を取得する．元の生データによる波形との比較を，Fig.6 に示す．

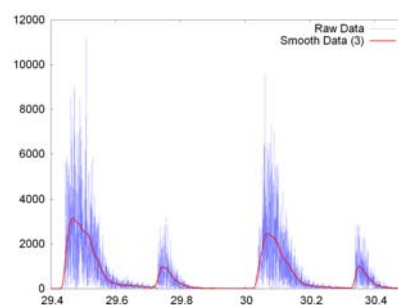


Fig. 6 生データと 3 回平滑化後データ (横軸: 時間 [s] / 縦軸: 振幅データ値)

続いて，上記手順で平滑化されたデータサンプル列に対して極大値となる地点を探索し，その極大値が一定の振幅 h 以上であればその地点を打点として検出する．

本実験では，各楽器の波形の立ち上がり形状などを考慮し，上記手順中の各パラメータの値を， $n = 250$, $h = 100$ として解析を行った．結果，各楽器の各演奏パターンに対して，打点の音量ならびに時刻を検出することに成功した．

仮想メトロノーム時刻に対する打点時刻のずれ (以下，**打点時刻差分**と呼ぶ) と音量は，各楽器・各打点でそれぞれ別々に集計し，それらの平均や標準偏差を求める．すなわち，

- ハイハットシンバル: 8 ビートの場合…8 拍分 / 16 ビートの場合…16 拍分)
- バスドラム: 2~4 拍分 (リズムパターンにより変動)
- スネアドラム: 2 拍分

を，小節ごとに別々に保存し，各演奏 (8 小節分) における平均と標準偏差を各楽器・各打点別に集計する．なお，打点時刻差分は，打点が仮想メトロノームよりも早い場合にはマイナスの値，遅い場合はプラスの値をそれぞれとるものとする．

Table 1 仮想メトロノームに対する打点のずれの平均 [ms] : ルースとタイトの差 (ルース>タイトのとき正の値)

	パターン	1			2			3			4		
		BPM			100			132			100		
		強さ			<i>f</i>		<i>p</i>	<i>f</i>		<i>p</i>	<i>f</i>		<i>p</i>
Hihat Cymbal	1 拍目	-5.8	-1.1	6.7	-6.7	-6.2	1.4	-2.1	5.7	3.2	3.1	-4.4	-0.5
	1.5 拍目	-8.8	-13.7	1.3	0.6	-7.3	-2.4	-4.5	-1.9	-2.2	-0.9	-4.4	-5.4
	2 拍目	3.4	7.1	-6.9	5.1	8.2	3.1	-6.5	4.1	-6.0	-2.6	8.7	-3.6
	2.5 拍目	1.3	1.6	4.2	4.6	7.5	0.8	1.7	-8.0	-4.5	-1.7	-3.0	-5.7
	3 拍目	4.7	10.8	-9.3	1.7	4.2	-5.1	1.2	-2.3	2.1	-3.6	3.5	7.2
	3.5 拍目	-4.2	-4.6	-0.9	-1.0	-1.5	-8.8	0.3	-1.2	-0.9	-1.5	-2.4	-2.5
	4 拍目	3.9	3.0	-3.9	-0.9	-1.4	0.8	2.1	1.0	2.5	-1.2	2.6	6.3
Bass Drum	4.5 拍目	5.4	-3.1	8.8	-3.3	-3.5	10.2	7.9	2.7	5.9	8.4	-0.6	4.2
	1 拍目	-4.2	-17.8	-11.5	-8.1	-14.8	-0.6	-5.9	-4.8	-2.1	8.3	-6.7	-12.3
	2 拍目	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6.5	5.6	4.4
	2.5 拍目	-	-	-	7.4	9.3	-12.0	-	-	-	-	-	-
	3 拍目	-5.2	-8.5	-12.6	5.5	3.1	-9.0	-1.8	-12.4	-1.7	1.0	-2.2	-11.1
Snare Drum	3.5 拍目	-	-	-	-	-	-	-5.1	4.2	-1.8	-	-	-
	4 拍目	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5.9	5.3	6.4
	2 拍目	-7.9	0.6	-7.0	3.1	11.1	-0.7	-6.1	0.1	-5.7	2.7	5.1	0.1
	4 拍目	-2.2	-1.4	-4.9	-2.2	2.5	-0.8	1.7	-3.4	3.7	1.5	-1.6	7.7

5.2 実験結果

本稿では、8 ビートの各種演奏音源を解析した実験について、その結果を示す。Table 1~Table 4 の中の値はいずれもルースとタイトの値の差を表しており、ルースの値>タイトの値である場合に正の値をとる。Table 1 は打点時刻差分の平均の差、Table 2 は打点音量の平均の差、Table 3 は打点時刻差分の標準偏差の差、Table 4 は打点音量の標準偏差の差をそれぞれ示す。

5.3 考察

Table 1 より、主にバスドラムについてはタイトよりもルースの方が早くなる傾向が見られたが、あまり顕著なものではない。Table 2 からは、全ての楽器において全般的にタイトよりもルースの方が打点音量が小さくなる傾向が明白に確認出来た。Table 3 では、全ての楽器において全般的にタイトよりもルースの方が標準偏差が大きくなっており、「ルース (loose)」という言葉通りゆらぎのあるまったりとしたグルーブ感が確かに表現されていることがわかった。Table 4 からは、音量の標準偏差についてはグルーブ感による大きな差は特に確認されなかった。

これらより本稿の段階においては、ルースなグルーブ感というのは、タイトなグルーブ感に対して主に音量の低減と標準偏差 (ゆらぎ) の増大という違いがあることがわかった。

6 結論

本稿では、ドラムに関する基礎知識の紹介を行った上で、関連研究の紹介と本研究のアプローチ、および本研究で用いる仮想メトロノーム手法について述べ、実験の概要と現時点での成果の報告を行った。

本稿の段階では、3.2 節の先行研究^{4) 5) 6)} とほぼ同じ結果となっているが、仮想メトロノームを用いることにより、特にハイハットシンバルに関する値の扱いが変化しているため、今後さらに解析を進めてゆきたい。また今後は、16 ビートを含

めた解析作業も進め、グルーブ感を生み出している要因を見出すことにより、自動演奏の実現に向けた研究を進めてゆく。

謝辞

本研究で用いた解析対象音源につきまして、NTT コミュニケーション科学基礎研究所の平田圭二氏のご協力を賜りました。また、先行研究の資料提供につきまして、関西学院大学の片寄晴弘教授のご協力を賜りました。

参考文献

- 1) Anders Friberg and Andreas Sundstrom: "Swing ratios and ensemble timing in jazz performance : Evidence for a common rhythmic pattern". Music Perception, Vol. 19, No. 3, pp.333-349 (2002)
- 2) Carl Haakon Waadeland: "Analysis of jazz drummers' movements in performance of swing groove - a preliminary report". In Proc. of the Stockholm Music Acoustics Conf. (SMAC 03), pp. 573-576 (2003)
- 3) 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, J-88-D-I, 1, pp.99-107 (2005)
- 4) 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, pp.21-26 (2004)
- 5) 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, pp.27-32 (2005)
- 6) 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 -". 情報処理学会音楽情報科学研究会研究報告, 2006-MUS-64, pp.53-58 (2006)

Table 2 打点音量の平均 [振幅データ値] : ルースとタイトの差 (ルース>タイトのとき正の値)

	パターン	1			2			3			4		
	BPM	100			132			132			100		
	強さ	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>f</i>
Hihat Cymbal	1 拍目	-282.3	140.3	-51.6	-234.9	-154.5	-335.8	-541.4	43.0	-1024.9	-353.6	1.9	-624.9
	1.5 拍目	-1161.2	-234.0	220.4	-785.1	-371.4	-179.1	-266.3	-162.3	-211.9	-1003.1	-433.0	-151.6
	2 拍目	-394.4	12.5	209.3	-94.1	-52.6	166.4	-305.9	96.6	-306.9	29.7	72.4	-43.6
	2.5 拍目	-1060.4	-282.6	460.1	-532.1	-419.8	2.6	-452.0	-320.8	-27.0	-1040.9	-423.8	-33.2
	3 拍目	-270.6	243.2	-106.0	-210.1	-205.9	-159.8	-434.5	112.4	-1070.3	-477.6	-13.4	-638.7
	3.5 拍目	-1045.9	-242.5	276.6	-775.0	-456.9	-182.0	-226.5	-219.8	-128.5	-1023.3	-421.9	-206.6
	4 拍目	-434.4	10.5	170.7	-50.4	-73.8	139.5	-430.9	-15.9	-192.5	-83.3	-0.1	49.4
	4.5 拍目	-1142.3	-295.0	202.1	-746.9	-432.6	39.1	-446.9	-286.5	155.9	-931.6	-466.8	-32.2
Bass Drum	1 拍目	-428.8	-369.8	-1350.9	-223.9	-262.6	-143.4	502.8	205.5	-568.1	703.1	-316.3	-920.3
	2 拍目	-	-	-	-	-	-	-	-	-	832.5	-241.6	682.9
	2.5 拍目	-	-	-	-646.1	-567.0	113.9	-	-	-	-	-	-
	3 拍目	-662.5	-608.3	-1138.4	358.5	-94.1	440.5	814.6	273.8	-817.5	563.3	-363.9	-1019.0
	3.5 拍目	-	-	-	-	-	-	914.6	425.8	-506.6	-	-	-
	4 拍目	-	-	-	-	-	-	-	-	-	797.2	-286.0	609.1
Snare Drum	2 拍目	-156.0	-26.1	315.4	114.8	60.5	308.3	51.0	83.9	77.6	318.2	56.1	-140.8
	4 拍目	-122.9	-25.8	281.9	203.8	20.3	207.0	339.9	-55.6	186.4	195.4	7.0	-198.6

Table 3 仮想メトロノームに対する打点のずれの標準偏差 [ms] : ルースとタイトの差 (ルース>タイトのとき正の値)

	パターン	1			2			3			4		
	BPM	100			132			132			100		
	強さ	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>f</i>
Hihat Cymbal	1 拍目	-9.7	6.5	10.9	1.2	3.9	8.7	8.9	3.7	7.5	-2.9	3.0	-1.2
	1.5 拍目	-5.0	2.4	5.4	3.5	3.4	5.8	0.0	5.3	4.0	-4.7	5.3	0.4
	2 拍目	-2.5	3.4	7.3	1.8	4.8	3.5	1.9	6.0	1.8	-4.0	1.5	-3.0
	2.5 拍目	-0.9	10.5	3.7	3.0	3.7	0.1	4.5	7.1	9.4	-0.9	5.3	4.1
	3 拍目	0.4	2.1	3.7	2.9	0.9	1.8	6.6	1.5	3.7	-0.2	0.0	4.1
	3.5 拍目	1.2	1.0	1.0	5.1	-1.1	-2.0	5.2	3.0	6.9	0.3	0.5	1.2
	4 拍目	-0.5	2.9	5.9	3.7	-1.5	0.5	6.5	1.9	15.5	-0.2	0.6	3.2
	4.5 拍目	-0.2	7.3	8.6	5.3	0.6	3.7	10.9	3.0	9.7	2.8	2.1	6.3
Bass Drum	1 拍目	-5.1	-6.4	7.2	3.2	7.7	7.7	8.6	3.3	11.1	3.0	4.6	5.7
	2 拍目	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-4.5	1.3	4.9
	2.5 拍目	-	-	-	6.3	8.8	5.8	-	-	-	-	-	-
	3 拍目	1.0	9.9	4.2	4.3	2.0	6.8	7.5	-12.5	8.9	-0.4	3.9	3.9
	3.5 拍目	-	-	-	-	-	-	5.0	2.4	5.3	-	-	-
	4 拍目	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-2.6	0.6	5.7
Snare Drum	2 拍目	-0.8	3.1	6.5	0.9	3.8	4.8	2.8	4.4	1.9	-2.8	7.3	0.6
	4 拍目	0.0	3.3	6.8	1.8	-0.4	1.9	8.2	2.0	11.7	1.9	2.3	-0.3

Table 4 打点音量の標準偏差 [振幅データ値] : ルースとタイトの差 (ルース>タイトのとき正の値)

	パターン	1			2			3			4		
	BPM	100			132			100			132		
	強さ	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>f</i>	<i>f</i>	<i>p</i>	<i>f</i>
Hihat Cymbal	1 拍目	-79.2	-103.5	-7.7	185.5	65.3	110.0	-37.5	-5.5	-26.0	270.6	41.8	-39.9
	1.5 拍目	-4.7	-27.9	108.3	100.3	-47.1	18.4	-69.3	-52.7	0.3	-63.9	39.3	15.4
	2 拍目	-32.5	-78.4	188.5	33.9	11.5	212.7	50.1	69.1	101.5	-69.5	-37.2	-131.1
	2.5 拍目	148.7	-67.4	108.5	-39.0	-105.2	189.2	-82.8	-44.1	114.1	-64.9	91.8	177.9
	3 拍目	-79.8	-99.3	150.7	40.3	69.4	71.4	61.3	62.9	-85.0	-80.8	31.5	-138.4
	3.5 拍目	-0.2	1.5	81.6	-17.4	-77.5	24.2	131.6	-55.5	44.3	-75.5	80.5	-20.4
	4 拍目	-197.1	10.6	165.8	-30.1	47.1	-6.9	12.0	41.6	-44.4	283.0	-9.6	28.2
	4.5 拍目	7.6	-77.5	-186.8	16.7	-58.4	81.1	-83.8	-44.0	177.0	-45.5	43.6	9.1
Bass Drum	1 拍目	-143.2	-147.7	112.4	7.6	-260.4	331.6	-2.3	-67.5	309.6	39.6	40.6	170.4
	2 拍目	-	-	-	-	-	-	-	-	-	114.1	-126.0	-23.3
	2.5 拍目	-	-	-	130.9	-102.9	239.2	-	-	-	-	-	-
	3 拍目	-2.5	17.2	65.9	238.9	8.0	269.6	67.2	-292.2	7.8	-129.0	-53.9	343.9
	3.5 拍目	-	-	-	-	-	-	496.7	-3.5	178.4	-	-	-
	4 拍目	-	-	-	-	-	-	-	-	-	188.2	29.5	10.1
Snare Drum	2 拍目	66.4	38.8	61.9	-134.4	-36.1	20.9	-29.3	-3.3	84.9	-50.4	87.6	-31.5
	4 拍目	7.0	30.2	168.1	-62.1	15.3	67.8	12.7	12.5	81.9	-4.5	2.9	27.9