

異なる残響時間でのスネアドラムのタイミング逸脱知覚の検討 —3種類の打楽器によるリズムパターンを用いて—*

☆上田恭平, 辻慎也, 荒井隆行 (上智大)

1 はじめに

打楽器演奏の聴取体験において、楽譜の規定タイミングから僅かに逸脱した演奏を「グルーヴ感がある」と評することは慣例的である。これは、音楽の聴取体験においては一定の意図的なタイミング逸脱が設けられていることが評価されており、一方でその逸脱を聴取者は一般的に検知していると言える。宮丸らの先行研究[1]では、スネアドラムの打叩タイミングと、ハイハットシンバルのアクセント位置が異なっているリズムパターンを聴取させる実験により、2 種類に大別されたグルーヴと演奏との定量的関係を明らかにしている。

荒生らの先行研究[2]では、リズムパターン中に、音符の間隔が細かく分割されるフレーズが存在する場合、その特定フレーズ中で演奏タイミングが逸脱したとしても、リズムパターン全体の聴感としては一定と知覚されるとしている。さらに、その逸脱の許容範囲はリズムパターンのテンポによって異なり、時間軸上で正・負どちらの方向に逸脱したかにはよらないとも述べている[2]。

一方で、音楽の演奏や聴取は多様な環境下で行われるため、残響が与える影響も無視できない。Agator[3]らはドラム演奏への残響の影響を検討する上で、単一のエコー (奏者が発した音をそのまま遅延して再生したもの) と後期反射音 (白色雑音から合成されたインパルス応答) それぞれの影響を考察している。これらを組み合わせた実験環境下でのドラム演奏を比較した結果、単一エコーは演奏のテンポに有意な差を生じさせたが、後期反射音は有意差を生じさせなかった。結論として、

パルス性の高いドラムのような楽器においては、後期反射音よりも単一の反射音の方が強く知覚され、演奏に影響したと述べている[3]。したがって、演奏と同様に知覚にも残響が影響することが予想される[4]が、残響下でのドラム音のタイミング逸脱の知覚については検討が進んでいない。

そこで、本研究では残響時間の差異が、演奏におけるタイミングの逸脱を聴取者が知覚する精度へどのように影響するのかを明らかにすることを目的とする。

2 実験方法

2.1 実験概要・仮説

実験の目的は、残響時間の差異により、リズムパターンにおける特定の楽器音の演奏タイミング逸脱を知覚する精度が影響されるかどうかを検討することである。

タイミング逸脱知覚に影響すると考えられる要素である (1) 聴取環境の残響時間、(2) リズムパターンの Beat Per Minute (BPM) を説明変数とし、タイミング逸脱を知覚できる閾値 (ms) を目的変数とした。

実験を行うにあたり、上述の目的変数と説明変数に加え、1 章で述べたドラム演奏やリズムパターンの聴取に関する先行研究[2-4]を踏まえ、以下の仮説を立てた。

1. 残響時間が長い環境において、タイミング逸脱知覚の閾値は大きくなる
2. BPM の遅いリズムパターンを聴取する場合、タイミング逸脱知覚の閾値は大きくなる

2.2 リズムパターン作成

本研究では Digital Audio Workstation (DAW;



Fig. 1 Score for the rhythm patterns in the experiment.

* Research of the perception of timing deviations in snare drums at different reverberation times: Using rhythmic patterns from three types of percussion instruments, by UEDA, Kyôhei, TSUJI, Shinya, and ARAI, Takayuki (Sophia University).

エンベロープ曲線の比較 (BPM 80)

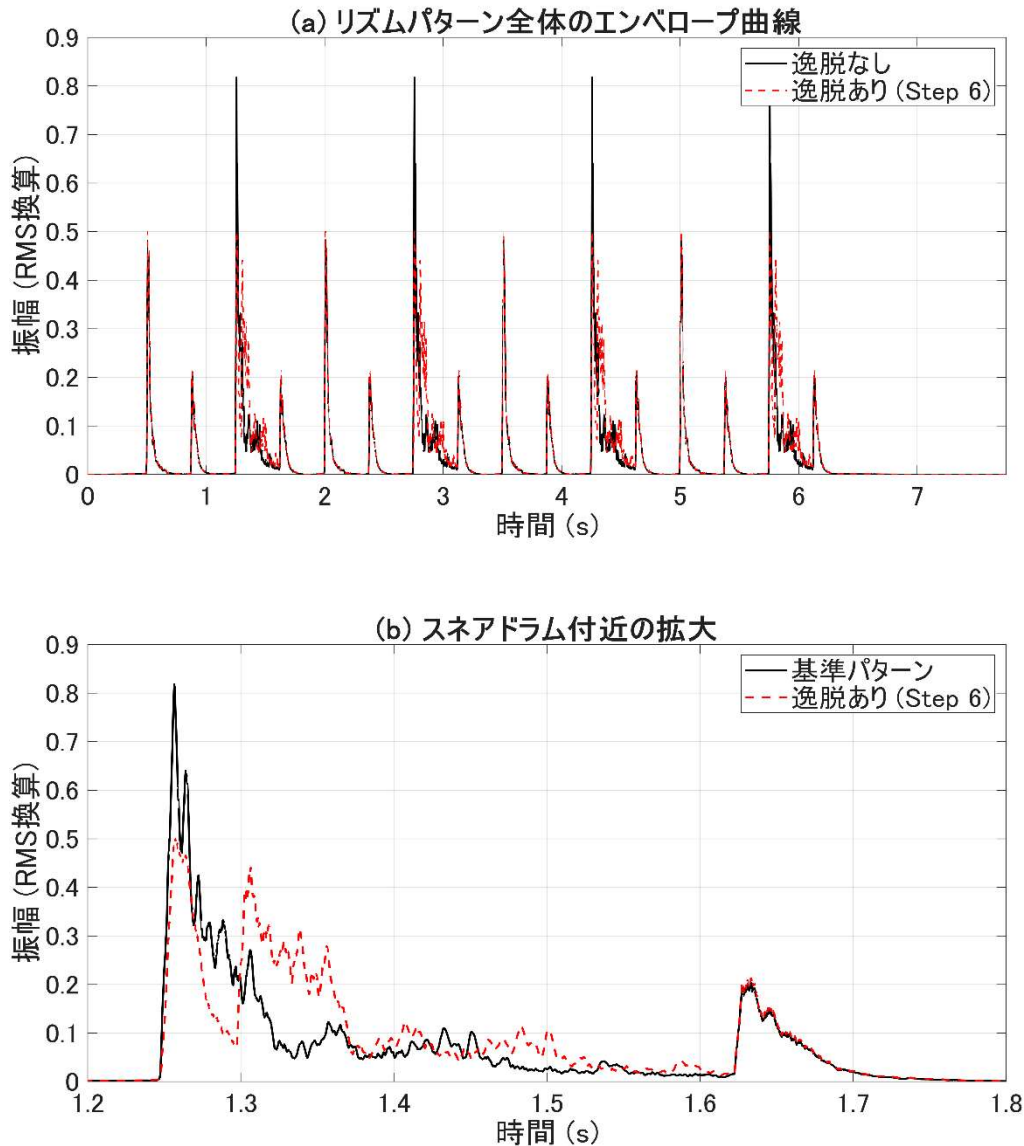


Fig. 2 Envelopes of the rhythm patterns (Full and zoomed-in view).

Cubase, LE AI Elements 11) ソフト上で利用可能なドラム音源 (HALion Sonic SE, GM 134 Rock Kit) からスネアドラム、ハイハットシンバル、バスドラムの単発音を WAV ファイルとして抽出し、MATLAB 上でリズムパターン (Fig. 1) の音源を作成した。DAW のスネアドラムのステレオ音源について、片方のチャンネルの減衰曲線が減衰しきらず、 -50 dB に達したところでラウドネスレベルが一定になっていた。聴取実験においてノイズになり得る可能性を考慮し、減衰していないチャンネルを除いたモノラル音源を作成した。

音源は楽譜上の規定タイミングで演奏されるものと、スネアドラムのタイミングのみを逸脱させたものを作成した。

スネアドラムのタイミング逸脱幅について、

参加者を音楽経験のある者に限定した宮丸らの先行研究[1]では 30 ms 以上逸脱させた場合に、聴感上違和感を生じさせると述べている。しかし、本研究では楽器演奏等の音楽に関する活動経験がほとんどない者も対象者としたため、タイミング逸脱知覚に関する予備実験を行った。予備実験では参加者に 10 ms から 60 ms まで 10 ms 刻みでスネアドラムに逸脱幅を設けたリズムパターン (Fig. 1) の音源を聴取させ、参加者すべてが逸脱を知覚できた 50 ms を本実験での初期値とした。

本研究において、逸脱させるのはスネアドラムに限定し、逸脱方向は楽譜上の規定タイミングから遅れる方向のみ (Fig. 2) とした。

また、荒生らの先行研究[2]を踏まえ、時間間隔の差異、つまり演奏の速い・遅いを明確

に知覚できるよう、リズムパターンのBPMは80と120とした。リズムパターンの聴取において、音量差によって逸脱の有無を判別する可能性を排除するためRMS正規化を行った。

2.3 残響の付与・音声の出力

実験音場の構築には、3次元立体音響付加装置 (Roland, RSS-303) を使用し、残響時間として実験を行った防音室の環境[5]に準ずる0.2s、および楽器演奏に最適なコンサートホール[6]に即した2.1sの2水準を設定した。

リズムパターン音源はRSS-303とミキサー (YAMAHA, DME-24N) を通じてミキシングされ、4台のスピーカー (Genelec, 8020A) から出力した。

2.4 実験手続き

実験は上智大学の防音室で行った。参加者は18歳以上の健聴者10名であった。

参加者はMATLABを用いて作成されたユーザーインターフェースを通じて、まずリズムパターン音源を再生した。再生ボタンをクリックすると、逸脱が設定された音源と逸脱のない音源がランダムに連続して再生された。その後、参加者は回答ボタンを通じて、逸脱が生じていた音源がどちらであったかを二肢強制選択法により回答した。

逸脱知覚の閾値測定には変形上下法 (2 up-1 down) [7]を使用した。2回連続で正解できた場合は逸脱の幅が $\frac{1}{\alpha}$ に、1回不正解すると逸脱の幅が α 倍になり、難易度の反転が8回発生すると実験は終了となる。本研究の実験では $\alpha = 1.13$ とした。亀川らの先行研究[8]では、参加者が自身の発した音とモニター音の遅延を知覚する場合の検知限は3ms程度とされていることを踏まえ、逸脱幅の段階は減少の方向に30段階、増加の方向に5段階の全36段階とした。また、実験が長期化し、回答に疲労等の影響が現れることを軽減するため、

Table 1 Combination of conditions in experiment.

Number	RT [s]	BPM
①	0.2	80
②	0.2	120
③	2.1	80
④	2.1	120

最初に誤答するまでは難易度が2段階ずつ難化するようにした。

リズムパターンの聴取は残響・BPMの条件が異なるセッションごとに行い、参加者4名単位でTable 1に示す実験条件によるカウンターバランスをとった。

3 結果・分析

3人目までの実験については、ユーザーインターフェースのコードにパラメータの誤りがあったため、分析に使用したデータは4人目以降に限定した。条件ごとに得られた逸脱知覚の閾値の平均と標準偏差をTable 2に示す。

2.1節で述べた仮説1・2を検証する分析手法として、帰無仮説を棄却するための分散分析を行った。本研究で収集したデータは正規分布に従わなかったため、Aligned Rank Transform ANOVA (ART-ANOVA) を選択した。有意水準は0.05とし、説明変数は残響時間・BPMとそれらの交互作用とした。分散分析を行う上で、知覚閾値を平均に潰さず個体内変動をモデル化するため、3回目以降の反転が発生したタイミングでの逸脱幅すべてを目的変数とし、実験参加者番号を切片としてART-ANOVAを行った。分析結果をTable 3に示す。Table 3から、残響時間においてのみ p 値は有意水準を下回り、BPMおよび残響時間とBPMの交互作用においては有意水準を上回った。したがって、この場合では残響時間のみ知覚閾値に対して統計的に有意な差を生じさせることが分かった。ペアワイズ比較による事後検定を行ったところ、残響時間が2.1sの場合で知覚閾値が有意に大きいことが分かった。

Table 2 Mean and standard deviation of data.

RT [s]	BPM	Mean [ms]	SD
0.2	80	15.63	5.44
0.2	120	15.16	7.06
2.1	80	18.92	6.51
2.1	120	19.00	8.70

Table 3 Statistical results (ART-ANOVA).

Factor	p	F	Df	$Df.res$
RT	$< 10^{-4}$	16.006	1	158
BPM	0.401	0.708	1	158
RT : BPM	0.636	0.224	1	158

4 考察・展望

まず、本研究で BPM の知覚閾値への寄与が有意でなかったことについて考察を行う。BPM の大小によって、音符どうしの間隔が変動し、本研究の条件では、BPM 80 の方が、BPM 120 のリズムパターンに比べて音符どうしの時間的間隔が 1.5 倍大きくなっている。したがって、拍の間隔に対して相対的にタイミング逸脱の知覚閾値が決まるのならば、BPM 80 では BPM 120 の場合に比べて閾値が 1.5 倍になると予想された。しかし、そのような傾向はみられず、本研究で用いたリズムパターンでは絶対時間によりタイミング逸脱が知覚された。つまり、参加者はハイハットやバスドラムのタイミングを基準として、その差でタイミング逸脱を知覚したことで、本研究のリズムパターンにおいては、BPM が知覚閾値に寄与しなかったと考えられる。

次に、残響時間が知覚閾値に有意差を生じさせたことについて考察する。ドラム演奏と残響の関連については、Agator らの先行研究[3]から、単純な残響時間の差ではなく初期反射音と後期反射音に分けて残響の影響を考える必要があることが分かる。一方で、ドラムの音と同様にパルス性の高い発話においては Bolt and MacDonald の先行研究[9]から、残響がもたらす音の延長によるマスキングの作用が指摘されている。このように、聴覚フィードバックに基づくプロセスに対しては残響の影響は一定ではないと考えられる。そこで、本研究の実験においては、参加者の認知が再生されるリズムパターンを聴取することに限定されていることを踏まえ、聴取者が判別のキューとしたと考えられるスネアドラム音の立ち上がりのタイミングへ残響が及ぼした影響に注目して考察を行う。

残響が音の時間構造を延伸させる self-masking とその延伸が後続音に覆い被さる overlap-masking[9]により、スネアの音の時間構造が変化することに加え、先行するハイハットやバスドラムの残響がターゲットのスネアに重なることで、リズム全体の時間的な基準が曖昧になったと考えられる。Danielsen らは、人間が音の立ち上がりを知覚する心理的なタイミングとして定義される、P-center について、複数の楽器が演奏される場合では、特にハイハットとバスドラムの音が全体の

P-center の位置に強い影響を与えると述べている[10]。このことを踏まえると、ハイハットとバスドラムの P-center が、残響下ではマスキングにより曖昧化し、非残響下に比べて大きい逸脱幅でも参加者が逸脱知覚のキューを喪失しやすくなることで、逸脱知覚の精度が低下したと推察できる。

本研究では立体音響付加装置により残響を付与したが、現段階では内部的な処理の解析や、パラメータ設定により想定される空間のインパルス応答の詳細までは測定できていない。また、ドラム演奏と同様に[3]、知覚においても初期反射音と後期反射音の影響をそれぞれ考察することも必要である。そのため、残響とドラム音のタイミング逸脱の知覚に関する今後の研究において、実際の音場で収録されたインパルス応答を用いることで、初期反射音と後期反射音の影響について検討を行いたい。

謝辞

実験に際して、上智大学「人を対象とする研究」に関する倫理委員会の承認 (2026-040) を受けています。また、上智大学学術研究特別推進費 (重点領域研究) の助成を受けています。

参考文献

- [1] 宮丸他, J. Acoust. Soc. Jpn., 73(10), 625–637, 2017.
- [2] 荒生, 基礎心理学研究, 28(2), 249–255, 2010.
- [3] Agator *et al.*, The 17th International Symposium on Computer Music Multidisciplinary Research, 379–390, 2025.
- [4] 上田他, 音講論 (秋), 3–6, 2025.
- [5] Osawa *et al.*, Acoust. Sci. & Tech., 41(5), 751–760, 2020.
- [6] Beranek, Bull. Am. Acad. Arts. Sci., 45(8), 25–46, 1992.
- [7] H. Levitt, J. Acoust. Soc. Am., 49(2B), 467–477, 1971.
- [8] 亀川, ITE Journal, 69(5), 408–411, 2015.
- [9] Bolt and MacDonald, J. Acoust. Soc. Am., 21(6), 577–580, 1949.
- [10] Danielsen *et al.*, Ann. N.Y. Acad. Sci., 1560(1), e70306, 2026.