

ジャズダンスにおける

音楽ビートと運動ビートの同期性に関する分析

Analysis of the Synchronization between the Musical Beat and the Movement Beat in Jazz Dance

杉本 恵哉*¹ 平山 高嗣*¹ 間瀬 健二*¹
 Keiya Sugimoto Takatsugu Hirayama Kenji Mase

*¹名古屋大学大学院情報科学研究科
 Graduate School of Information Science, Nagoya University

The timing control is an important mechanism for generating human behavior adapted to an external event. To perform a rhythmical dance, human needs to control the timing for moving various body parts to the beat of music. In the present study, we analyzed the synchronization between the musical beat and the body movement beat in jazz dance and obtained the difference between an expert and a beginner as an effective knowledge for training dance: the expert generated the movement beat prior to the musical beat, whereas the beginner generated them in synchronization.

1. はじめに

外的イベントに対する人間の適応行動生成において、そのタイミング制御が重要な機構とされる [松田 96]。スポーツや楽器の演奏、職人の技といった身体技能は、動作の形を整えるだけでなく、タイミングを合わせて動作を行う必要がある。特に、ダンスを行う際には、人間は音楽のリズムに合わせて体の各部位の動作を制御する必要がある。そこで本研究では、モーションセンサで計測したデータをもとに、手本となる動作との違いを見つけ、明示的に評価、提示することで、初級者の上達支援・振り返り支援を行うための有用な知見を得ることを目的とする。

身体技能の上達支援を行うことを目標とする研究 [吉村 04] は多く存在する。しかし、動作のみの比較を行っている研究が多く、ダンスの要素に含まれる、リズム感の一部である音楽とのタイミングについては議論が十分に尽くされていない [松村 06]。本研究では、音楽の拍点（音楽ビート）と動作の特徴点（運動ビート）の同期性、具体的にはタイミングに着目する。音楽ビートと運動ビートの同期性についての研究 [新山王 02] は存在するものの、いずれも単調な動作のみを分析しており、ジャズダンスのような複雑な動作に対する分析は行われていない。そこで、ジャズダンスにおける音楽ビートと運動ビートの同期性についての分析と、上級者と初級者の差異の分析を行う。

2. 音楽ビートと運動ビートの同期性

2.1 音楽ビートと運動ビート

本研究では、音楽ビートは拍点（等しい間隔で打たれる基本的なリズム）であり、運動ビートは従来研究 [新山王 02] に倣い、身体の各部位の位置変化において極値を取る時刻とする。ここで、身体の各部位の位置変化において極値を取る点を「極値点」と表し、極大値を取る場合は「極大値点」、極小値を取る場合は「極小値点」と表す。すなわち、運動ビートは極値点の時刻を表すこととする。また、本研究では、タイミングを音楽ビートと運動ビートの時刻差とし、「タイミングが合っている」ことは「音楽ビートと運動ビートが同期している」とことと

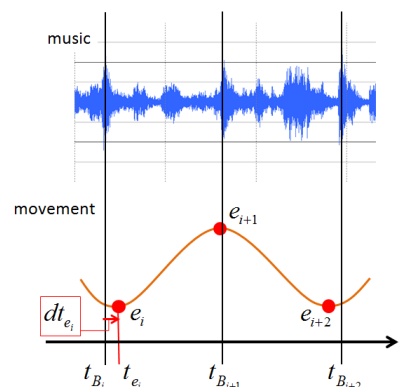


図 1: 音楽ビートと運動ビートの定義

する。図 1 に、音楽ビートと運動ビートを図示する。音楽ビートは t_B 、運動ビートは t_e 、タイミングは dt_e で表されている。

2.2 ジャズダンスにおける仮説立て

同期性に関して、数々の研究が存在する。新山王ら [新山王 02] は、マーチングの熟練者と未経験者のステップ動作について、主に音楽ビートと運動ビートの不一致という視点を中心にして、「日本人的な足の動かし方」の分析を試みた。被験者は、メトロノーム音に合わせてマーチングステップ動作、具体的には足の上げ下げの繰り返し動作を行った。その結果、熟練者は「拍点で足が上がり始めるようなステップ」に、未経験者は「拍点で足が着地するようなステップ」に収束していく傾向がみられた。これより、熟練者におけるマーチングのステップ動作は、音楽ビートよりも運動ビートが先行すると考えられる。

マーチングステップ動作は、単調な動作の繰り返しである。本研究では複雑な動作を含むジャズダンスにおいても同様の現象が起こるかどうかを検証する。そこで、以下の仮説を立てる：ジャズダンスの上級者は初級者に比べて、音楽ビートよりも運動ビートが時間的に先行する。

連絡先: 杉本恵哉, 名古屋大学大学院情報科学研究科,
 sugimoto@cmc.ss.is.nagoya-u.ac.jp

3. 音楽ビートと運動ビート間の同期性の分析

上級者と初級者それぞれにおいて、次の 1-3 を行う。

1. 拍点を t_{B_i} 、上級者の極値点を e_i 、初級者の極値点を b_i とする ($i = 0, 1, 2, \dots, 16$)。拍点到最も時間的に近い上級者の極値点の時刻を選択し、それを t_{e_i} とする。 t_{e_i} と対応している初級者の極値点の時刻を t_{b_i} とする。対応の取り方については 4.2.3 で述べる。ただし、拍点と極値点の時刻の対応は 1 対 1 とする。極値点の時刻が連続する 2 つの拍点の丁度中間にある場合は、早い方の拍点と対応を取ることとする。
2. 上級者の極値点の時刻 t_{e_i} と初級者の極値点の時刻 t_{b_i} について、拍点 t_{B_i} との時刻差分 dt_{e_i}, dt_{b_i} をそれぞれ求める。これは以下の式 (1), (2) で表される。

$$dt_{e_i} = t_{e_i} - t_{B_i} \quad (1)$$

$$dt_{b_i} = t_{b_i} - t_{B_i} \quad (2)$$

3. dt_{e_i}, dt_{b_i} をそれぞれまとめ、0 から正負方向に各 H 刻みのヒストグラムを作成する。

4. モーションデータの収集・処理

4.1 データの収集

被験者は、ジャズダンスの上級者 1 名、初級者 1 名の合計 2 名であり、両被験者は 20 歳代の女性である。上級者はダンス歴 12 年で、過去に指導歴 2 年を持つ元ジャズダンスインストラクタである。初級者はダンス歴 3 年で、指導経験はない。

計測対象として、ジャズダンスの 10 種類の基礎ダンスを用いた。それぞれの基礎ダンスの名称と簡単な動作内容を表 1 に示す。なお、「表拍」は拍点における拍であり、「裏拍」は連続する 2 つの拍点の中間の拍のことである。

本研究では、Motion Analysis 社製の光学式モーションキャプチャ MAC3D システムを用いた。これは、被験者の体の各部位に赤外線反射するマーカを取り付け、マーカを複数台の赤外線カメラで追跡し、データ処理を施した上で、各マーカの軌跡を 3 次元時系列データとして出力するものである。各マーカの出力は $\{(x(t), y(t), z(t); t = 0, 1, 2, \dots)\}$ で得られ、分解能は 10^{-5} mm である。なお、 t は動作開始時からの時間を表すフレーム番号である。ここで、 $p(t) \in \{x(t), y(t), z(t)\}$ とする。

本研究では、赤外線カメラを 11 台用いて、サンプリング周波数を 200Hz として撮影を行った。そのため、フレーム番号は

表 1: 10 種類の基礎ダンス

	名称	動作内容
1	アイソレーション (1)	胸を左右前後に四角形を描くように動かす
2	アイソレーション (2)	胸を円を描くように体軸まわりに動かす
3	アイソレーション (3)	腰を円を描くように体軸まわりに動かす
4	ウェーブ	体全体を波を描くように動かす
5	アップ	音楽の裏拍で膝を曲げ、表拍で膝を伸ばす
6	ダウン	音楽の表拍で膝を曲げ、裏拍で膝を伸ばす
7	ダウンサイドステップ	ダウンの動作を行いながら左右に移動する
8	ターン	前進してターンをし、後退する
9	ジャンプターン	ターンをしながら前進し、その後後退する
10	ロッキング	鍵をかけるように動作を行う

1/200 秒を単位とした時間となる。使用した曲のテンポについては、1 拍=130 フレームである。11 台の赤外線カメラは、約 5m × 4m からなる撮影領域を円形に囲むように配置された。座標軸については、体の左右の方向を x 軸、前後の方向を y 軸、上下の方向を z 軸として定義した。

4.2 分析を行うためのデータの処理

4.2.1 前処理

まず、モーションキャプチャで得られた 3 次元座標値の全フレーム区間に対して、単純移動平均を適用して平滑化処理を行う。単純移動平均とは、平滑化する対象フレームを中心とした周辺 R フレームの平均の値を、平滑化後の同フレームの値とする処理である。これによって、ノイズを除去した。なお、R は経験的に 33 フレーム (およそ 4 分の 1 拍) とした。

4.2.2 極値点の検出

極値点を以下の手法で検出する。

極値点であるかどうか調べる対象のフレーム t_f を中心とした前後 N フレーム以内において ($t_f - N \leq t \leq t_f + N$)、マーカ値が最大値 $p_{\max}(t)$ となるフレーム t_{\max} と最小値 $p_{\min}(t)$ となるフレーム t_{\min} を取り出す。さらに、以下の条件を満たすものを極値点の時刻とする。

1. $t_f = t_{\max}$ または $t_f = t_{\min}$
2. $dP(= p_{\max}(t) - p_{\min}(t)) \geq D$

1 については、前後 N フレーム以内の極値点を検出するため、2 については、動作の小さなぶれや計測誤差による影響を除くために行う。本研究における極値点の条件を図示したものを、図 2 に示す。

この処理を開始フレームから終了フレームまでの全てのフレームに対して行った。本研究では、N=20 フレーム、D=1.0mm とした。

4.2.3 上級者と初級者で対応した極値点ペアの検出

分析を行うためには、上級者のある極値点が、初級者のどの極値点に対応しているかを関連付ける必要がある。そのため、以下の方法により上級者と初級者で対応した極値点ペアを検出する。

1. 4.2.2 で検出した上級者と初級者のそれぞれ時刻順に並んだ極値点列に対して、極大値点同士の間時間差分と極小値点同士の間時間差分を全て算出する。
2. 1 で求めた時間差分の中で最も小さいものを上級者と初級者で対応した極値点ペアとする。
3. 2 で見つかった対応した極値点ペアで、上級者、初級者それぞれの極値点列を 2 分割する。

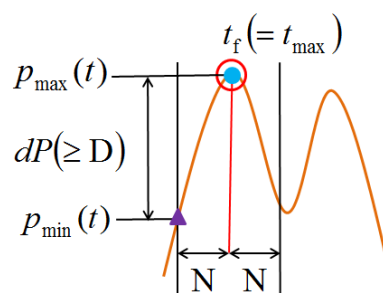


図 2: 極値点の検出方法

- 分割された極値点列それぞれに対して、1-3 の処理をどちらかの極値点が存在しなくなるまで繰り返し行う。

5. 音楽ビートと運動ビート間の同期性の分析結果と考察

3章で述べた分析手法を各基礎ダンス毎に適用した結果を示す。ただし、 $t_{B_i} = 130 \times i (i = 0, 1, \dots, 16)$ フレームであり、 $H=20$ フレームとする。

5.1 各基礎ダンスにおける比較

上級者の各基礎ダンスについて作成した拍点と極値点の時刻差のヒストグラムを図3に示す。なお、横軸は拍点と極値点の時刻差を20フレーム間隔で表し、範囲は-80フレームから80フレームである。縦軸は各基礎ダンス毎に、全部位、全座標軸をまとめた dt_{e_i} の頻度を表し、範囲は0~1300である。

上級者の各基礎ダンスのヒストグラムの結果から、アイソレーション(1)について、拍点よりもわずかに早く極値点の時刻が現れることが多いことが分かった。それに対して、他のアイソレーションではどのビンについてもあまり差は現れなかった。アイソレーション(1)が上半身を前後左右のみ動かす動作に対し、アイソレーション(2)及びアイソレーション(3)では体の一箇所を回転させて動かす点で異なる。後者は、拍点と極値点の時刻の同期性が重要ではない可能性がある。

また、アップとダウンの動作は、他の動作と比較して拍点と極値点の時刻差が小さいビンの値が非常に高い。これは、アップとダウンが他の基礎ダンスより単調で単純な繰り返し動作であるため、拍点に極値点の時刻を合わせやすいものと考えられる。

ターン及びジャンプターンでは、拍点と極値点の時刻差が大きいビンと比較して、拍点と極値点の時刻差が小さいビンの値が高い。しかし、アップとダウンほど拍点と極値点の時刻差が大きいビンとの差は見られない。これは、ダウンのリズムで前進・後退する部分はアップダウンの動作のように拍点と極値点の時刻差が小さくなるが、ターンを行う部分は回転動作をしているため、拍点と極値点の時刻は同期しないと推測でき、それらが組み合わせられたからであると考えられる。

以上のことから、拍点と極値点の時刻は概ね同期しているが、全ての動作が同期するわけではないことが確認できた。特に、回転運動は同期性が重要ではない可能性がある。

5.2 上級者と初級者の比較

上級者と初級者のヒストグラムについて、拍点と極値点の時刻差のヒストグラムの一例を図4、図5に示す。なお、横軸は拍点と極値点の時刻差を20フレーム間隔で表し、範囲は-160フレームから160フレームである。縦軸は、全部位、全座標軸をまとめた dt_{e_i}, dt_{b_i} それぞれの頻度を表し、範囲は0~1200である。

上級者と初級者のヒストグラムに差異があるかどうか確認するために、各基礎ダンスのヒストグラムに対し、まず上級者と初級者の2群で有意水準5%の等分散性検定を行った。その結果、どの基礎ダンスにおいても不等分散であるということが分かった。

次に、各基礎ダンスの各部位、各座標軸毎の dt_{e_i}, dt_{b_i} に対して有意差の検定を行う。 dt_{e_i}, dt_{b_i} に正規性の検定を行い、共に正規性があると判定された場合、 dt_{e_i}, dt_{b_i} が等分散ならば Student の t 検定、不等分散ならば Welch の t 検定を行った。共に正規性があると判定されなかった場合、中央値検定を行った。有意水準はいずれも5%とし、帰無仮説は「2群の母代表

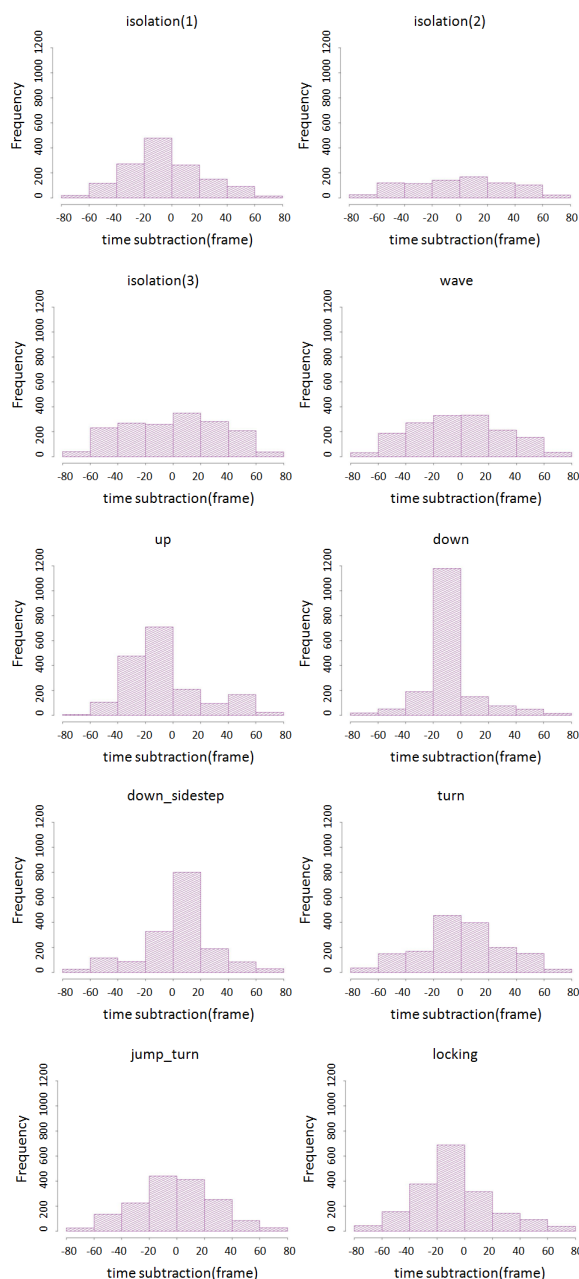


図3: 拍点と極値点の時刻差のヒストグラム

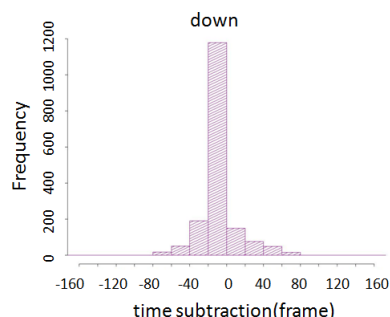


図4: ダウンにおける上級者のヒストグラム

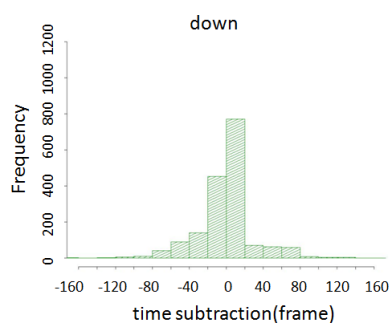


図 5: ダウンにおける初級者のヒストグラム

表 2: 各基礎ダンスに対する代表値検定の結果

結果	iso1	iso2	iso3	wave	up
A	8	8	22	12	7
B	0	0	2	1	37
C	121	106	105	116	80
計	129	114	129	129	124
結果	down	down_side	turn	jturn	locking
A	15	35	5	7	0
B	51	3	0	1	4
C	56	91	124	121	125
計	122	129	129	129	129

値に差はない」とする。本研究では、有意差検定において、2群を上級者、初級者とする。そして、「上級者と初級者の母代表値に差がある」と判定される場合、上級者の代表値 dt_{em} と初級者の代表値 dt_{bm} によって、以下のように評価できる。

- $|dt_{em}| < |dt_{bm}|$ ならば、「上級者の方が拍点と極値点の時刻差が小さい」
- $|dt_{em}| \geq |dt_{bm}|$ ならば、「初級者の方が拍点と極値点の時刻差が小さい」

各基礎ダンスの各部位 43 点、各座標軸 x, y, z 毎の計 129 種類の dt_{ei}, dt_{bi} に対して有意差検定を行った結果をまとめたものを表 2 に示す。なお、表中の「A」は、「上級者の方が拍点と極値点の時刻差が小さい」ことを示す。「B」は、「初級者の方が拍点と極値点の時刻差が小さい」ことを示す。「C」は、「上級者と初級者に差がない可能性が高い」ことを示す。「iso1」から「locking」は、それぞれ表 1 の 1-10 を示す。また、合計が 129 でない基礎ダンスについては、極値点の時刻が 1 つも検出されなかった、または 1 つしか検出されなかった座標軸が存在することを示している。

上級者と初級者の動作において、有意差検定の結果から、アップとダウンは上級者よりも初級者の方が拍点と極値点の時刻が同期しているという結果が得られた。図 4、図 5 を見ると、拍点よりも極値点の時刻の方が早く現れるという傾向が上級者では顕著である。これらのことから、従来知見 [新山王 02] と同様に、ジャズダンスにおいても単調な繰り返し動作ならば上級者は音楽ビートよりも運動ビートが先行する動作を行い、初級者は音楽ビートと運動ビートを合わせるような動作を行うと考えられる。

また、アイソレーション (3)、アップ、ダウン、ダウンサイドステップの動作以外は上級者と初級者でほとんど差異がないという結果が得られた。しかし、全ての動作のヒストグラムに対する等分散性の検定において、不等分散であるという結果が前述のように得られており、初級者は拍点と極値点の時刻を同期させる、すなわちタイミングを合わせることが安定していない可能性が考えられる。

6. おわりに

本研究では、ダンスの上達支援を行うことを目的とし、そのためのダンス動作の評価方法の一つとして、音楽ビートと運動ビートの同期性の評価を提案し、同期性に関して基礎ダンス毎にどのような違いが現れるのか分析した。また、同期性に関して上級者と初級者ではどのような違いが現れるのか分析した。その結果、以下のことが分かった。

- ジャズダンスの水平に円を描く動作、すなわち回転運動においては、音楽ビートと運動ビートの同期性が低い
- ジャズダンスにおいても単調な繰り返し動作ならば上級者は音楽ビートよりも運動ビートが先行するような動作が多く、初級者は音楽ビートと運動ビートを合わせるような動作が多い
- 上級者に比べて初級者は音楽ビートと運動ビートの時刻差の分散が大きい

本研究では、被験者が上級者 1 名、初級者 1 名であるために、個人特有のタイミングが含まれている可能性がある。したがって、被験者を上級者初級者共に増やし、個人特有の動作に依存しない分析を行う必要がある。また、本研究で得られる知見に基づいて、初級者のダンスの上達を支援するシステムを設計することが今後の課題として挙げられる。

謝辞

本研究の一部は、総務省の戦略的情報通信研究開発推進制度 (SCOPE) による。

参考文献

- [松田 96] 松田ら: 『心理的時間 その広くて深いなぞ』, 北大路書房, (1996).
- [吉村 04] 吉村ら: “日本舞踊における基礎動作「オクリ」の基本型の特徴”, 情報処理学会研究報告. 人文科学とコンピュータ研究会報告 2004, No. 7, pp. 41-48, (2004).
- [新山王 02] 新山王ら: “音楽ビートと運動ビートのタイムラグについて - マーチングステップの熟達者と未経験者の相違について -”, 情報処理学会研究報告. [音楽情報科学] 2002, No. 40, pp. 79-84, (2002).
- [松村 06] 松村ら: “B7 加速度センサを用いたサンバダンスの解析”, ジョイント・シンポジウム講演論文集: スポーツ工学シンポジウム: シンポジウム: ヒューマン・ダイナミクス: symposium on sports engineering: symposium on human dynamics 2006, pp. 216-221, (2006).