

ストリートダンスにおける身体運動とビートの時間的關係性

上原 僚[†] 阪口 豊^{†‡}

[†]電気通信大学 大学院情報理工学研究科

[‡]電気通信大学 技能情報学研究ステーション

〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1

E-mail: † { tsukasa.uehara, yutaka.sakaguchi } @uec.ac.jp

あらまし 本研究では、ダンサーが音楽に身体運動をどのように同期させているか、また、観客がどのような視覚的手がかりに基づいて音楽と身体運動の同期性を知覚しているかについて実験的に検討した。具体的には、ストリートダンスにおける“UP”と“DOWN”の動作を題材として、これらのダンスにおける身体運動軌道と床反力を計測して音楽の拍との時間的關係性を分析したほか、ダンス運動から生成した point light figure と拍との同期性知覚特性を分析した。実験の結果、“UP”と“DOWN”は膝の屈曲伸張運動を単に逆位相に反転させたものではなく、拍との關係性に依って踊り分けられており、それが同期性知覚の違いを生むことが明らかになった。

キーワード 感覚運動同期, 視聴覚同期性知覚, ストリートダンス, 身体コミュニケーション

Temporal Relationship between Beats and Body Movement in Street Dance

Tsukasa UEHARA[†] and Yutaka SAKAGUCHI^{†‡}

[†] Graduate School of Information Science and Engineering, University of Electro-Communications
1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo, 182-8585 Japan

E-mail: † { tsukasa.uehara, yutaka.sakaguchi } @uec.ac.jp

Abstract We experimentally examined how the dancers synchronize their body motion to the music beats and how the audience perceive the synchrony between beats and dancers' body motion. To be more specific, we picked up “UP” and “DOWN” movements in the street dance, and analyzed the temporal relationship between the metronome beats and the body trajectory and ground reaction force in performing these dance movements. Moreover, we examined the synchrony perception of the metronome beats and the motion of point light figure generated from the dancers' body motion. We found that “UP” and “DOWN” movements were not the same knee bending-and-stretching actions with opposite phases, but were distinctively performed, which brought different characteristics in synchrony perception of music and body movements in dance performance.

Keywords Sensorimotor synchronization, Audiovisual Synchrony Perception, Street Dance, Body Communication

1. はじめに

ダンスのような音楽を伴う身体表現藝術において音楽と身体運動の時間的同期性は演技の印象に大きな影響を与える重要な因子である。しかし、ダンサーは音楽の拍に自身のどのような動作（動きの特徴点）を一致させているのか、また、音楽の拍とダンサーの動きのいかなる特徴点が一貫していれば観客は踊りが音楽に合っていると知覚するのかは明らかではない。

本研究では、ストリートダンスで用いられる“UP”（音楽の拍に合わせて脚を伸ばす踊り）と“DOWN”（音楽の拍に合わせて脚を曲げる踊り）を題材として、ダンサーの身体運動の計測実験と、ダンサーの動きと音との同期性知覚に関する心理物理実験を行うことにより、ストリートダンスにおける音楽と身体運動の時間的關係性について、運動制御（ダンサー）と同時性知覚（観客）の二つの視点から検討する。また、実験

で得られた結果に基づき、ダンスにおける時間コミュニケーションのメカニズムについて考察する。

2. 本研究の位置づけ

前節で指摘したように、ダンスにおける音楽と身体運動の同期性の問題は、ダンサー側では聴覚刺激に合わせて運動を行う「感覚運動同期 (sensorimotor synchronization)」の問題として、観客側では視覚刺激と聴覚刺激の「同期性知覚 (audiovisual synchrony perception)」の問題として捉えられる。これらの問題に対する基礎的研究はこれまでに数多くなされてきた。例えば、感覚運動同期に関する研究では、メトロノーム音に合わせてタッピング運動を行う課題を用いた実験[1, 2]が広く行われ、その結果、運動が聴覚刺激より数十ミリ秒先行することが明らかになっている (negative asynchrony) [3, 4]。また、視聴覚同期性知覚

に関する研究では、光点とクリック音を用いた研究[5]やチェスや発話、ドラムなどのヒトの動作に関する映像を題材とした実験が行われている[6, 7]. ただし、従来の基礎研究では、同期させる聴覚刺激（メトロノーム音）と動作（タッピング）、同期性を判断する視聴覚刺激（光点とクリック音）がいずれもタイミングが点として決まるものが用いられてきた。また、自然動作を対象にした研究でも動作そのものが音を発する事象を題材としており、視覚刺激と聴覚刺激の同期性が客観的に定まる課題のみが検討されてきた。

これに対し、ダンスは連続的な全身運動であり、タイミングを点として定義できる離散的イベントが存在しない。また、ダンスでは動作そのものが音を発せず他の音源にあわせて身体を動かすことから、ダンサーの動きと音とのあいだに客観的な同期性が定まらない。にもかかわらず、ダンサーはだれでも同じように音楽にあわせて身体を動かし、観客は音楽とダンスの動きの同期性を感じ取ることができることから、そこにはヒトに特有の感覚運動同期および同期性知覚の特性が隠されていると考えられる。本研究の狙いは、このような問題意識に基づき、ダンスにおける運動生成および同期性知覚のメカニズムを探る点にある。

なお、周期運動における引き込み現象という観点から、ストリートダンスで用いられる動作を模擬した運動課題を用いた感覚運動同期に関する研究がすでに行われている[8, 9]. この研究では、メトロノーム音に合わせて膝関節を屈曲あるいは伸展させる動作を課題としているが、メトロノーム音のテンポが速くなると、音にあわせて膝関節を伸展させる課題の遂行が難しくなり、音にあわせて屈曲させる動作に引き込まれてしまうことが明らかにされている。

本研究では、ダンスの動作として“UP”と“DOWN”の二つを題材として取り上げた。この二つの踊りは、音楽の拍に合わせて脚を伸展あるいは屈曲するもので、上述した研究[8, 9]で題材となった動作と極めて類似している。しかし、上述の研究では、これら二つの動作を同一の屈伸運動を位相反転させたものと捉えていたのに対し、本研究では、ダンスは音楽にあわせて行うことを踏まえて、音楽との関係性に応じてこれら二つが踊り分けられていると考え、両者の違いに注目して検討する。そのうえで、これら二つの踊りが観察者の同期性知覚に与える影響を調べる。すなわち、ダンスを観察した被験者が音と動きの同期性を知覚する際に、“UP”と“DOWN”のあいだでいかなる違いが生じるかを検討する。

具体的には、運動計測実験では、ストリートダンスのインストラクター、経験者、未経験者の身体運動軌跡と床反力を測定し、拍と一致する運動特徴点を調べ

た。また、同期性知覚実験では、インストラクターの動作から作成した point light figure (PLF: 身体の代表点を光点として表した図形で、バイオリジカルモーションの研究で使われる刺激) を用いて身体運動と音の同期性知覚について調べた。

3. 運動計測実験

本実験では、ストリートダンスの習熟度の異なる被験者を対象として“UP”と“DOWN”の動作における身体運動と床反力を計測し、音楽の拍と一致する運動特徴点を分析した。

3.1. 方法

3.1.1. 被験者

被験者は、ストリートダンスのインストラクター1名、初心者2名、未経験者2名であり、全員が男性である。なお、本研究は、電気通信大学ヒトを対象とする実験に関する倫理審査委員会の承認を受けて行った。

3.1.2. 装置

試行中の身体運動軌跡を光学式モーションキャプチャシステム (NaturalPoint, Optitrack Prime13, 6台) を用いて計測し、床反力を床反力計 (テック技販, TF-4060) を用いて計測した。

3.1.3. 手続き

実験課題は、被験者に“UP”と“DOWN”を 60, 80, 100 bpm のメトロノーム音に合わせて 45 秒間、2 試行を行うことであった。また、実験では、腕の動きの効果を検討するため、腕の動きを制限しない条件と手を腰に固定した条件の 2 条件を設けた。

3.1.4. データ分析

実験により得られた 45 秒分のデータのうち、中央部分 10 ~ 40 秒の区間 (30 秒分) を取り出した。抽出したデータに対し、メトロノーム音を中心として前後半拍分の区間 (つまり、裏拍から次の裏拍までの区間) ごとに切り出して、それらを重ねて描画することにより、周期ごとの運動特徴点を目視により分析した。

3.2. 結果

図 1 は、テンポ 80 bpm におけるインストラクター被験者の腰椎 5 番 (L5) に貼付したマーカの鉛直方向の動き (高さとその時間変化) および床反力鉛直成分 (vGRF) の時間パターンを示したものである。各データにおいて、中央の実線は周期運動の各時刻における平均値、薄い網掛けは標準偏差の大きさを表す。また、図中の点線 (時間原点) はメトロノーム音のタイミングを表す。80 bpm の条件では 1 周期の長さが 750 ms であり、この図の横幅がちょうど 1 周期分に相当する。

この図からわかるように、“UP”では上向き運動の停止点 (終端点) が、“DOWN”では下向き運動の最速

点がメトロノーム音のタイミングとほぼ一致していた。仮に、二つの動きが逆位相で実行されているのであれば、メトロノーム音と一致するイベントは共通する特徴量となるはずである。すなわち、“UP”において上向き運動の終端点が音と一致しているのであれば、“DOWN”においては下向き運動の終端点が音と一致しているはずであり、また、“DOWN”において下向き運動の最速点が一致しているのであれば、“UP”においては上向き運動の最速点が一致しているはずである。にもかかわらず、二つの動きのあいだで同期する特徴量が異なっていたことは、これら二つの動きが逆位相の動作として実行されていないことを示している。

このほかにも、軌道パターンを詳細に検討すると、“UP”では“DOWN”に比べて最上点（つまり、膝が伸展している状態）で停留している時間が長いなど、いくつかの点で二つの軌道形状に違いが見られた。

次に、図1において床反力鉛直成分の時間パターンを見ると、“UP”と“DOWN”のいずれにおいても、音の時刻（つまり時間原点）の直前に床反力が立ち上がることが読み取れる。このことは、“UP”と“DOWN”の違いに関わらず、床を蹴る動作が音にやや先行して始まっていることを意味している。このことから、最速点や終端点といった運動学的特徴点よりも、床反力という動力学的特徴点の方が、ダンサーが音との同期性を定めるうえで本質的であることが推察される[10]。

以上で述べた特徴は、インストラクター以外のダンス経験者においてもおおよそ共通して観察された。一方、未経験者の運動タイミングは試行間の変動が大きく、ダンスの動きとして一貫性が保たれていなかった。また、先行研究[8, 9]で指摘されたように、“UP”の動作を安定して行うことは難しいようで、メトロノーム音に同期して運動できなくなってしまう被験者もいた。

3.3. 考察

“UP”と“DOWN”が同じ動作を逆位相で実行したものでないことは、ダンサーがこれらの踊りを音楽の拍との関係性に応じて踊り分けていることを意味している。また、これらの特徴がダンス経験者に共通してみられたことは、ダンサーにおいて身体運動を拍と同期させる一定の規範があることを示している。

また、“UP”と“DOWN”に共通して、床反力の立ち上がりが拍にやや先行にして生じたことは、ダンサーが拍に同期させているのは身体パーツの動きではなく床を蹴る力であることを示唆しており、興味深い。この点については、より複雑な動きを含んだダンス動作を題材にするなどして、さらなる検証が必要である。

4. 同期性知覚実験

本実験では、運動計測実験で得られたインストラクターの身体運動軌道データを用いてPLFを作成し、そ

のビデオ映像が拍と同期して知覚される時間的關係性を調べた。

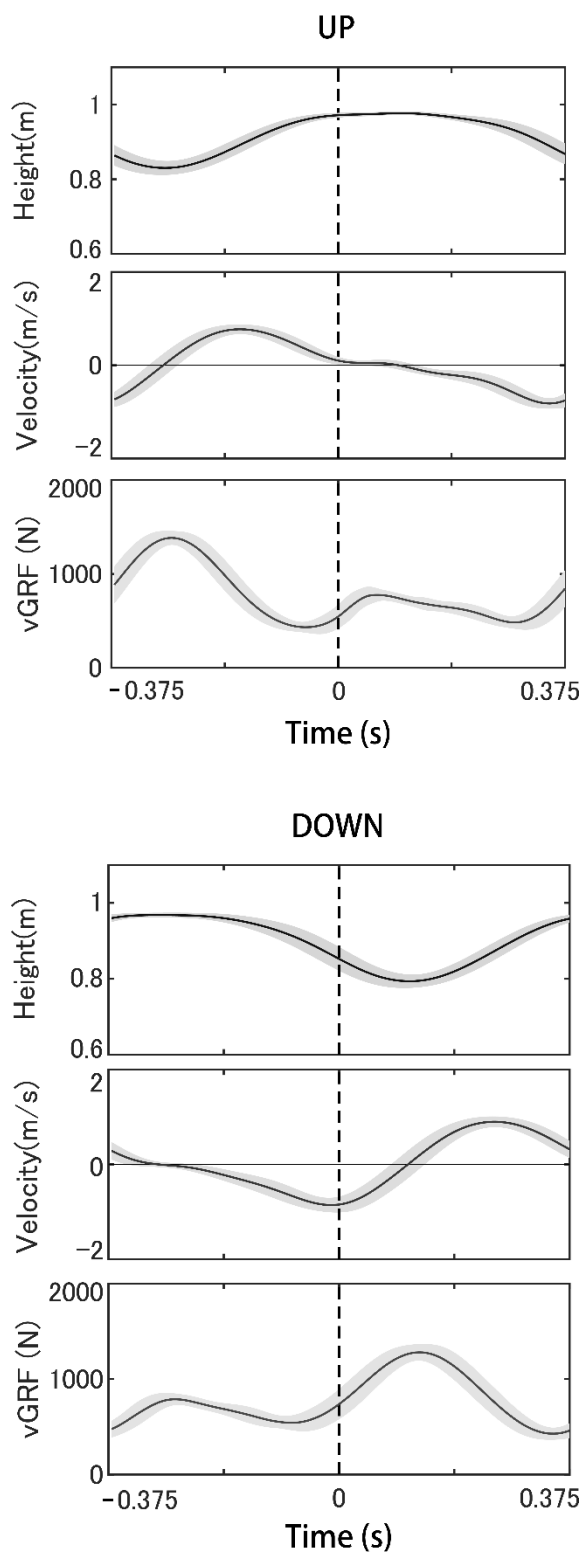
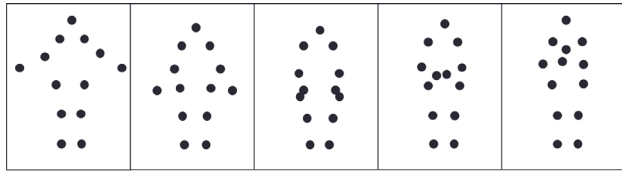
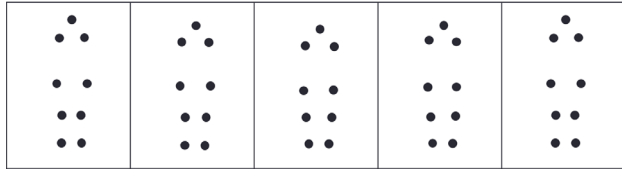


図1 インストラクター被験者の腰椎5番（L5）の鉛直方向位置、速度と床反力



腕を含めた条件



腕を含めない条件

図 1 提示した刺激

4.1. 方法

4.1.1. 被験者

被験者は、ダンス経験者、未経験者あわせて 15 名の協力を得た。

4.1.2. 実験刺激

PLF は、実験 1 での腕の動きを制限しない条件における 80 bpm の“UP”と“DOWN”のデータから作成した。刺激の条件として腕の動きを含めた条件と含めない条件の 2 種類を設定し、腕の動きを含めた条件では頭や肩、脚などの代表点 13 点、腕の動きを含めない条件では 9 点からなる PLF を作成した (図 3)。

4.1.3. 実験手続き

実験では、収録した運動データにおけるメトロノーム音の時刻を 0 とし、 $-375 \sim +375$ ms の範囲で 75 ms 間隔で音のタイミングをずらした 11 種類の刺激を作成し (負の数値は音が映像に対して先行すること、正の数値は音が映像に対して遅れることを示す)、それぞれについてメトロノーム音と身体運動のタイミングが合っているかどうかを二肢強制選択 (2-AFC) で判断させた。試行数は各時間条件に対して 10 試行としたため、実験中の総試行数は 440 試行 (=4 映像×11 タイミング×10 試行) であった。

4.1.4. 評価方法

実験から得られた結果に基づき、設定した時間ずれを横軸に、「音と映像が合っている」と回答した割合を縦軸にとってグラフを描いた。それらのデータをガウス関数により近似し、その頂点を観察者が音と映像が同期していると知覚した主観的同期点 (point of subjective synchrony : PSS) と定めた。ただし、刺激の種類や被験者によっては同期していると回答した割合のピークが二か所に現れたことから、そのような場合には、二つのガウス関数の荷重和を用いて心理測定関数を推定した。

$$F(x) = \alpha_1 \exp\left\{-\frac{(x-\mu_1)^2}{2\sigma_1^2}\right\} + \alpha_2 \exp\left\{-\frac{(x-\mu_2)^2}{2\sigma_2^2}\right\} \quad (1)$$

ここで、 $\alpha_1, \alpha_2, \mu_1, \mu_2, \sigma_1, \sigma_2$ はパラメータであり、 μ_1, μ_2 が主観的同期点である。なお、フィッティングにおいては音楽や運動の周期性を考慮して一定の補正を加えた。

4.2. 結果

図 4, 5 は、それぞれ“UP”と“DOWN”における腕の動きを含めない条件での心理測定関数を被験者ごとに描画したもので、図中の個々の細線が一人の被験者の心理測定関数である。図には、推定した心理測定関数から求めた主観的同期点の被験者間中央値を破線として示した。被験者間のばらつきは大きいものの、これらの図から、同期性知覚の特性について一定の傾向を読み取ることができる。

まず、“UP” (図 4) では、+300 ms 付近に心理測定関数のピーク (主観的同期点) が被験者間で共通して見られた。これは、メトロノーム音が収録時と比べて半周期近く遅れたときに、映像と音が同期して知覚されることを示しており、被験者がダンサーの“UP”の動きを逆位相で捉えやすいことを意味している。また、ばらつきは大きいものの -100ms 付近にも主観的同期点が見られたことから、順位相での動きについても、収録時に比べてやや先行するタイミングで音が鳴ると、運動 (映像) と音が同期して知覚されることがわかる。ただし、一部の被験者では、この時間領域に主観的同期点を検出されなかったことから、音の近辺でのダンサーの動きに含まれる同期性の手がかりは、逆位相付近での手がかりに比べて効果が弱いといえる。

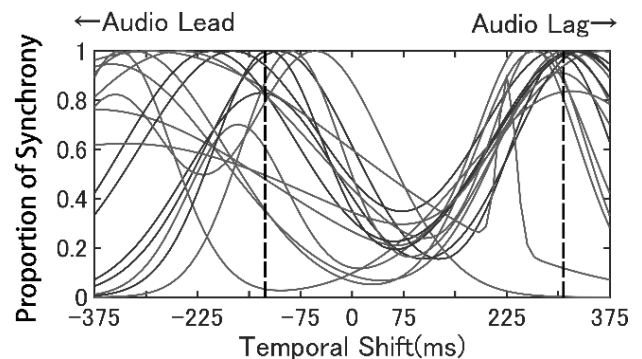


図 2 “UP”における主観的同期点の推定結果

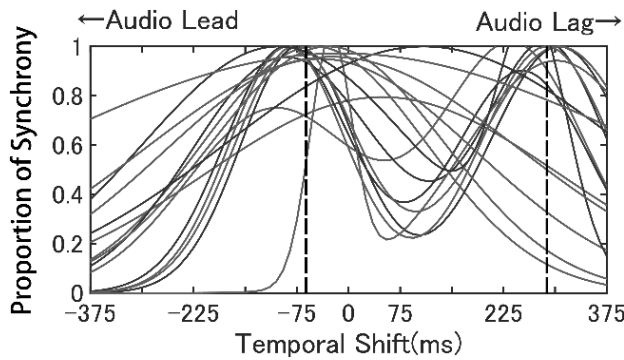


図 3 “DOWN”における主観的同期点の推定結果

一方，“DOWN”（図 5）では、ほぼすべての被験者に共通して、-100ms 付近に主観的同期点が見出された。すなわち、収録時のメトロノーム音よりもやや先行した時刻で音が鳴ると、運動（映像）と音が同期して知覚された。また、一部の被験者では、“UP”と同様に +300 ms 付近にもう一つの主観的同期点が観察されたが、この逆位相での同期点が生じた被験者の多くはダンス経験者であった。このことから、自らダンスを踊る被験者は、逆位相周辺の運動から同期性をもたらす手がかりを読み取ることができることが推察される。

以上まとめると、本実験では、拍およびその反転時刻（裏拍）のどちらにおいても、収録時に比べて音が先行する時刻の周辺で主観的同期点が得られた。このことは、ダンサーが踊る際に作り出した音と身体運動の同期性と、それを観察した観客が知覚する音と身体運動の同期性とのあいだにずれが生じていることを示している。この結果は、感覚運動同期に関する基礎研究で得られている *negative asynchrony* [3, 4]の現象の一端であると考えられるが、そのような解釈が妥当であるかどうかについてはさらなる検証が必要である。

4.3. 考察

本実験ではまず、“UP”と“DOWN”のどちらの動作においても、メトロノーム音（表拍）のタイミングだけでなく、その逆位相（裏拍）のタイミングにおいても、映像と音の同期性知覚が成立することが明らかになった。このことは、これら二つの動作がおおよそ逆位相の動きになっていることを考えれば合理的な結果である。

一方で、データ収録時のダンサーの踊りに適合したタイミングで（つまり表拍で）音が鳴ったときに同期性を知覚する傾向は、“UP”に比べて“DOWN”の方が顕著であった。さらに、“UP”において、表拍よりもむしろ裏拍において、すべての被験者において共通する主観的同期点が得られたことは、“DOWN”の動作に含まれる視覚的手がかりが、音との同期性知覚を生み出

すうえで強い手がかりとなっていることを意味している。逆にいえば、“UP”の動作において本来の拍の位置で同期性を知覚させるには、より強い同期性手がかりを踊りの中に組み込む必要があることを示唆している。

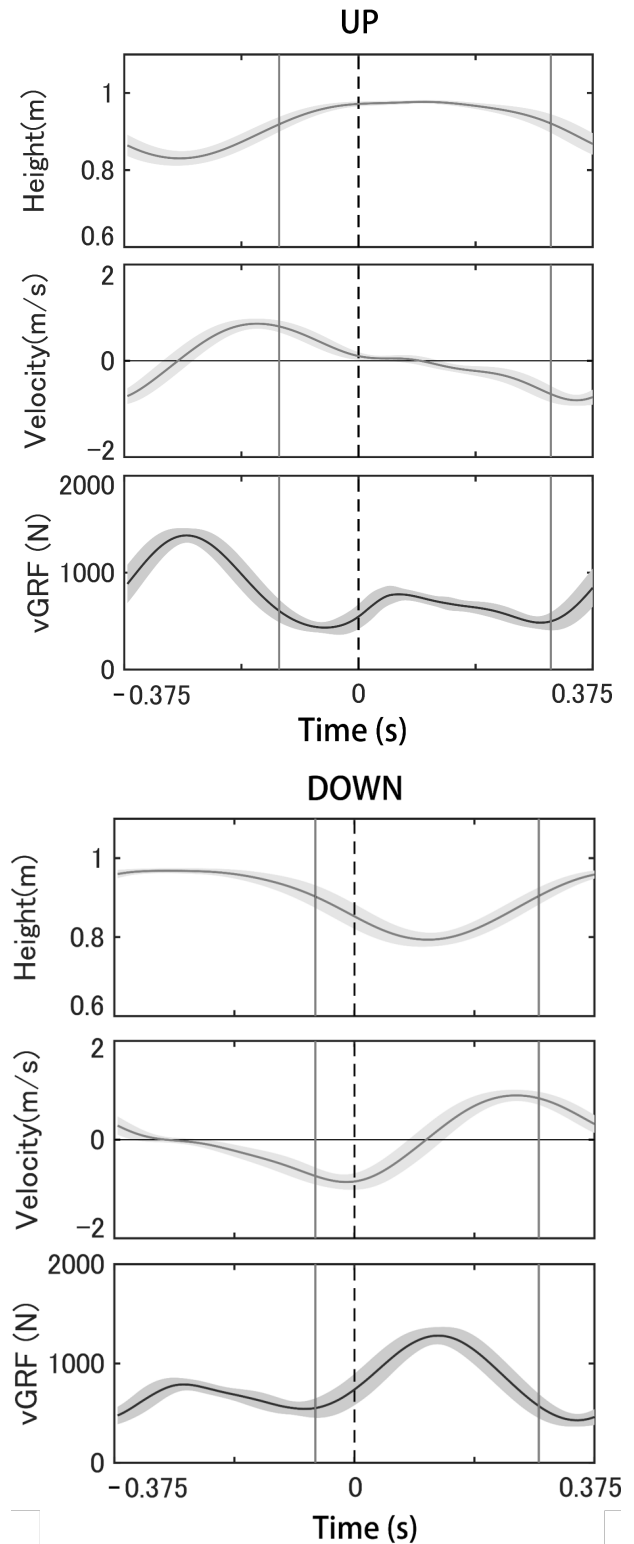


図 6 主観的同期点における運動特徴点

5. 総合考察

最後に、二つの実験で得られた結果をあわせて考察を加える。

図6は、実験2で得られた主観的同期点の被験者間中央値を実験1で得られた運動計測データ上に重ねて示したものである（図中の縦の実線が主観的同期点を表す）。

図を見るとわかるように、“DOWN”の条件では、床反力鉛直方向成分の立ち上がり時刻が主観的同期点とほぼ一致している。床反力の大きさはダンサーが床を蹴る力を反映しており、ダンサーの運動意図を表す最も単純な変数と考えられる。ダンサーは、体幹の下向きの運動を減速し上向きの運動に反転させるために床を蹴って反力を受け取るが、その蹴る力の立ち上がり時刻が主観的同期点とほぼ一致することは、観察者が運動者のそのような運動意図を映像から読み取っているか、もしくは、その際に足裏で感じる荷重感覚を想起している可能性を示唆する[10]。

一方、“UP”の条件において主観的同期点と一致していたのは、床反力の立ち上がりではなく上向き速度の最速点であった。これは、“UP”の動きにおいては“DOWN”の動きで生じるような床反力の大きな立ち上がりが生じないためであると考えられる。確かに、“UP”の動作においても、最上点で身体の位置を維持するために音に先行して床反力の立ち上がりが生じ、3節では、この床反力の立ち上がりがダンサーにとっての感覚運動同期の手がかりになっている可能性を指摘した。しかし、この床反力は大きさが小さく、その意図が身体運動軌道に明確に表れていないのかもしれない。その結果として、視覚情報として検出しやすい動きの最速点が同期性判断の手がかりとして機能している可能性が考えられる。

なお、本研究の予備実験において、音楽にあわせて自然に身体を動かした際（いわゆる「グルーヴ」）の身体運動と音楽の同期性を分析したところ、音楽にあわせて首を縦に振ったり身体を上下させたりする動きのタイミングは、実験1における“DOWN”の条件とよく似た特性を示した。このことは、拍に合わせて足を屈曲する動作に対して引き込み現象が起きるという先行研究[8, 9]と合わせて、音に合わせて“DOWN”の動作を行うことがヒトにとって自然な動きであることを示している。同期性知覚実験において、動きの本来のタイミングで音との同期性を知覚しやすかったのが“DOWN”の動きであった背景には、このような「ヒトにとって自然な動き」という素地があると思われるが、この「ヒトにとって自然な動き」が何で決まるのかは今後の検討課題である。

6. むすび

本研究では、ストリートダンスに用いられる“UP”と“DOWN”の動作を対象として、感覚運動同期性および視聴覚同期性知覚の特性を実験的に検討した。その結果、拍と一致する運動特徴点は、“UP”では上向き運動の停止点（終端点），“DOWN”では下向き運動の最速点であり、両者において、床反力の立ち上がりが拍と一致することが明らかになった。両者の運動は必ずしも逆位相の関係にあるわけではなく、時間パターンに明らかな違いがみられた。実際、この動きに基づいてPLFを作成し、同期性知覚実験を行った結果、“UP”と“DOWN”では、映像と音の同期性知覚の特性に明確な違いが現れた。拍と同期して知覚される運動特徴点は、“DOWN”では床反力の立ち上がり、“UP”では上向き速度最速点であった。これは同期知覚において、視覚情報のみでなく、観察者の身体感覚が手がかりになっていることを示唆している。

なお、本研究の一部はJSPS 科研費 18K19823 の助成を受けて実施した。この場を借りて謝意を表す。

文 献

- [1] Repp, B.H.: “Sensorimotor synchronization: A review of the tapping literature,” *Psychonomic Bull. & Rev.*, 12, 969–992, 2005.
- [2] Repp, B. H. and Su, Y. H.: “Sensorimotor synchronization: A review of recent research (2006–2012),” *Psychonomic Bull. & Rev.*, 20, 403–452, 2013.
- [3] Dunlap, K. “Reaction to rhythmic stimuli with attempt to synchronize,” *Psychol. Rev.*, 17, 399–416, 1910.
- [4] Aschersleben, G. and Prinz, W.: “Synchronizing actions with events: The role of sensory information,” *Attention, Perception, & Psychophysics*, 57, 305–317, 1995.
- [5] Stone, J. V., Hunkin, N. M., Porrill, J., Wood, R., Keeler, V., Beanland, M., Port, M. and Porter, N. R.: “When is now? Perception of simultaneity,” *Proc. R. Soc. B Biol. Science*, 268, 31–38, 2001.
- [6] Eg, R. and Behne, D.M., “Perceived synchrony for realistic and dynamic audiovisual events,” *Frontiers in Psychol.*, 6, 736, 2015.
- [7] Vatakis, A. and Spence, C.: “Audiovisual synchrony perception for music, speech, and object actions,” *Brain Res.*, 1111, 134–42, 2006.
- [8] Miura, A., Kudo, K., and Nakazawa, K.: “Action-perception coordination dynamics of whole-body rhythmic movement in stance: A comparison study of street dancers and non-dancers,” *Neuroscience Letters*, 544, 2013.
- [9] Miura, A., Kudo, K., Ohtsuki, T. and Kanehisa, H.: “Coordination modes in sensorimotor synchronization of whole-body movement: A study of street dancers and non-dancers,” *Human Movement Science*, 30, 1260–71, 2011.
- [10] Takehana, A., Uehara, T., and Sakaguchi, Y.: “Audiovisual synchrony perception in observing human motion to music,” *PLoS ONE*, 14(8): e0221584, 2019.