

タップダンサーの技術向上のためのリズム計測タップシューズの開発

山元 亮典¹ 三輪 貴信² エンリケズ ギエルモ² ヤップ フェイ イー³ 橋本 周司²早稲田大学大学院先進理工学研究科¹早稲田大学理工学術院²株式会社 LP-Research³

1. はじめに

一般の楽器演奏の練習と同様に、リズムタップダンスの練習には、高度な演奏技術を持つ専門家による緻密なフィードバックが重要であると考えられる。しかしながら、近年タップダンスの人気の高まったこともあり、ダンサーの数に対して技術を教えることのできる専門家の数が不足しており、タップダンスのレッスンは複数人をまとめて行われることが一般的である。したがって、ダンサー一人ひとりに対するフィードバックは少なく、演奏技術を向上するのが難しい状況であるといえる。

このような背景から我々は、タップダンスのリズムを計測し、演奏の熟練度や特徴を評価することができれば、個々のダンサーに対してリズムタップダンス技術の修得において有効なフィードバックを行えると考えている[1]。代表的なリズム楽器であるドラムの演奏では、ドラムの打刻時刻のずれに着目することが熟練度の評価に役立つとされており[2]、タップダンスにおいてもステップ毎の打刻時刻ずれを用いてダンサーの熟練度を評価できると考えられる。本論文では、9軸モーションセンサと圧力センサを内蔵し、ステップのタイミングと種類を同時に計測することが可能なリズム計測タップシューズを作製し、その有効性を評価する。また、演奏データから得た打刻時刻のずれに対して統計解析を行い、ダンサーの演奏の特徴がどのように表れるのか考察する。

2. リズム計測タップシューズ

2.1. プロトタイプ構成

これまでも靴にセンサを取り付けて、ダンスの動作を検出するシステムが提案されている[3]。しかしながら、このシステムではタップダンスの複雑なステップの種類を判別できず、リズムを計測するには不十分である。タップダンスのステップには様々な種類があるが、それらの多くは5種類の異なる基本ステップの組み合わせである。したがって、ステップ時の足の姿勢、または姿勢の時間変化がわかれば、ステップの種類を識別できると考えられる。

そこで我々は、加速度と姿勢を同時に測定できる9軸モーションセンサ（LP-Research社製LPMS-B）をタップシューズに装着し、タップのタイミングを加速度の変化から、タップ時の足の姿勢をセンサの角度から測定するリズム計測タップシューズを開発した。さらに、タップ時の靴底に加わる加重を考慮することで姿勢計測の精度を高められると考え、圧力センサ（ニッタ株式会社製Flexi Force）を母指球付近に3枚、踵側に2枚それぞれ並列に配備したインソールセンサ[1]を靴に装着した。図1にリズム計測タップシューズのプロトタイプを示す。モーションセンサは、靴紐の網状になった部分の下に固定されている。インソールセンサの最大出力電圧は5Vで、荷重の有無を識別する閾値を1Vとした。人間が刻むリズムのゆらぎを計測する場合、サンプリング周期は10ms以下で十分なので[4]、センサのサンプリング周期を2.5msとした。

2.2. タップのタイミング検出

ダンサーがステップを踏み、鉛直方向の加速度が急激に変化した瞬間をタップのタイミングとした。具体的には、あるサンプリング点を n としたときの時刻 t_n での鉛直方向の加速度 $g(t_n)$ が、式(1)および式(2)を満たしたとき、時刻 t_n をステップのタイミングとして検出する。

$$g(t_{n+1}) - g(t_n) > 6.87 \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (1)$$

$$g(t_{n+1}) - g(t_{n+2}) > 6.87 \text{ [m/s}^2\text{]} \quad (2)$$

2.3. ステップの識別

ステップの種類は、ステップを踏んだ時刻 t_n における、靴の傾き角 $\theta(t_n)$ 、踵から爪先に向かう方向の速さ $V(t_n)$ 、踵と爪先の加重の有無を用いて、表1に示す条件に基づいて識別される。ただし、靴の傾き $\theta(t_n)$ は、踵から爪先に向かう方向ベクトルが水平面と成す角として定義した。これらの条件は、予備実験の結果から経験的に決定したものである。



図1 リズム計測タップシューズ。

Rhythm Measuring Tap Shoes for Making Tap Dancers Skillful

- 1) Ryosuke Yamamoto, School of Advanced Science and Engineering, Waseda University
- 2) Takanobu Miwa, Guillermo Enriquez, Shuji Hashimoto, Faculty of Science and Engineering, Waseda University
- 3) Huei Ee Yap, LP-Research Inc.

表1 ステップの種類の識別条件

ステップ	識別条件
Ball Brush (BB)	$\alpha(t_n) < -10^\circ$ で Ball のみに荷重を検出, $V(t_n) > 7.85$ m/s
Ball Touch (BT)	$\alpha(t_n) < -10^\circ$ で Ball のみに荷重を検出, $V(t_n) \leq 7.85$ m/s
Dig (D)	$\alpha(t_n) > 10^\circ$ で Heel のみに荷重を検出
Heel Drop (HD)	Ball Brush, Ball Touch, Dig に当てはまらず, $\alpha(t_n)/dt \geq 0$ m/s かつ $\alpha(t_{n-5}) < -5^\circ$
Ball Drop (BD)	Ball Brush, Ball Touch, Dig に当てはまらず, $\alpha(t_n)/dt \leq 0$ m/s かつ $\alpha(t_{n-5}) < 5^\circ$

2.4. 性能評価

作製したリズム計測シューズの性能評価実験を行った。実験参加者は、23歳の男性と22歳の女性で、タップダンス歴はそれぞれ4年と3年である。

実験では、リズムタップ計測シューズを装着した状態で右足を使って5種類のステップを500msおきに64回ずつ行わせた。また、実際のダンスの動きを想定して、左足を上げた状態でHeel DropとBall Dropのステップを500msおきに64回ずつ行わせた。これらのステップをそれぞれNew Heel Drop (NHD), New Ball Drop (NBD)と呼ぶ。各ステップについて、128回のうち正しく認識された回数と異なるステップに認識された誤認識の回数、ステップが検出されなかった非検出の回数を数えた。表2に実験結果を示す。NHDとNBDで認識率が50%を下回る結果となった。特に非検出の回数が多く、加速度の変化そのものが起こっていないと考えられる。原因として、重心を右足に乗せてステップを行うと足の上下移動が少なくなり、爪先立ちの状態ではシューズ自体も歪みセンサの位置変化が起こりにくいことが考えられる。また、シューズの硬さやダンサーの癖にも影響されやすいため、ステップを一般化することも難しい。ステップの識別条件を変えても性能は向上しなかった。このことから9軸モーションセンサと圧力センサのみでは、片足を上げた状態でのステップを識別するのが難しいといえる。

表2 性能評価実験の結果

ステップ	認識成功	誤認識	非検出
BB	80	48	0
BT	126	9	0
D	126	0	2
HD	111	0	17
BD	118	8	10
NHD	23	11	94
NBD	64	16	48

3. 打刻時刻のずれに基づく演奏特徴評価

タップダンスの打刻時刻のずれの情報に対して統計解析を行い、ダンサーの演奏の特徴を考察した。タップダンス歴3年の21歳の女性に、表3に示す14音で構成されるリズムを提示し、左右反対のステップも含めて、10分間練習を行わせた。練習後、メトロノームに合わせて、14音のリズムを左右反

対も続けて10セット行わせ、合計280音のデータを得た。その様子を録音し、拍点を検出して、正しい打刻時刻からのずれを算出した。

得られたデータ群より2種類のデータ群を抽出して、F検定($p=0.05$)を行った。右足での出力音のずれと左足での出力音のずれに関して、それぞれの分散に有意差は見られなかった。また14音の左右反対のステップでも有意差は見られなかった。一方で10音目から14音目の細かいステップのリズムとそれ以外のステップでは、分散に有意差が見られた。つまり、細かいリズムでぶれていることが分かった。以上の結果より、このダンサーは左右両方とも同様のリズムで演奏ができているが、細かいリズムでは他の部分より不安定であることが考えられる。このように打刻時刻のずれを用いることでダンサーの演奏の特徴を評価することができる。

表3 実験に使用したリズム

時刻(s)	0	0.5	1.0	2.0	2.5	3.0	4.0
ステップ	左 HD	左 HD	右 BT	右 HD	右 HD	左 BT	左 HD

時刻(s)	4.5	5.0	5.5	5.75	6.0	6.5	7.0
ステップ	左 HD	右 BT	左 HD	右 HD	左 HD	左 HD	右 BT

4. まとめ

9軸モーションセンサと圧力センサを用いて、タップのタイミングとステップの識別を目的としたリズム計測タップシューズを作製し性能を確かめた。またステップ毎の打刻時刻ずれを統計解析することで、タップダンスの演奏の特徴を評価できることを確かめた。今後はリズム計測タップシューズのタイミング検出精度を向上させることが課題である。

参考文献

[1] 山元亮典, 他: タップダンスのリズム解析のためのインソールセンサの開発. 電子情報通信学会講演論文集, 2015年情報システム2, 103. (2015)

[2] 小西夕貴, 他: 練習支援を目的としたドラム基礎演奏における熟達度の自動評価手法. 電子情報通信学会論文誌D 94, 3, 549-559. (2011)

[3] Paradiso, J., et al.: Interactive music for instrumented dancing shoes. In Proceedings of the International Computer Music Conference, 234-237. (1999)

[4] 吉田友敬, 中西智子: 音楽におけるリズムのゆらぎ. 情報文化学会論文誌3, 1, 43-50. (1996)