

熟練ドラマーの動作解析：演奏速度の違いによる協応構造の変化

Phase Transitions in Coordination of the Wrist to Other Body Parts at Different Tempi in Professional Drum-set Players

谷貝 祐介[†], 三嶋 博之[‡], 古山 宣洋[‡]

Yusuke Yagai, Hiroyuki Mishima, Nobuhiro Furuyama

[†]早稲田大学大学院人間科学研究科, [‡]早稲田大学人間科学学術院

Graduate School of Human Sciences, Waseda University

yagai.yusuke@gmail.com

Abstract

本研究では、プロドラマー3名にテンポの異なる8ビートを演奏してもらい、その際の3次元動作データから、演奏速度による協応構造の変化を検討した。解析の結果、低中速のテンポでは、右手首に対してその他の部位(肘・肩・頸部)が逆位相や90度位相差など、個人間で多様なパターンを示すが、高速テンポでは、全ての参加者が同位相に近い傾向を示した。この結果から、ドラマーの「持ち味」を表現できるテンポ(低中速)とそうでないテンポ(高速)が存在する可能性が示唆された。

Keywords — Drum-set Playing, Auditory-Motor Coordination, Phase Transition

1. はじめに

ドラムセット演奏では、演奏速度の違いに応じて適応的に運動を調整することが求められる。これまでの研究では、テンポに応じて軌道が調整されること^[1]、楽器に応じて打の同期誤差が制御されること^[2]、などが報告されている。しかしながら、こうした運動調整がどのような身体各部の協応関係の調整から実現されているのかについては、依然として明らかにされていない。本研究では、プロドラマー3名を対象に、両手足を用いた8ビート課題時における、打圧データ、3次元動作データを計測した。得られたデータから、メトロノーム音に対する各楽器の同期誤差、右手首に対する右肘・右肩・頸部の相対位相を求め、演奏速度の違いによって演奏の時間的精度、右手首に対する各部の位相構造がどのように変化するかを検討した。

2. 方法

2.1. 実験参加者

3名のプロドラマーが実験に参加した。熟練者1は25歳で、演奏経験年数は10年であった。熟練者2は38歳で演奏経験年数は27年であった。熟練者3は34歳で演奏経験年数は21年であった。

2.2. 課題

参加者は、電子ドラムセット(TD-25, Roland社)を用いてシンプルな8ビート課題を叩いた(図1)。具体的には、ハイハット(右手)、スネアドラム(左手)、バスドラム(右足)から構成されるドラムセットを、3つの演奏速度(60, 120, 180 beats per minute, 以下bpm)で叩くことが課題であった。メトロノーム音をモニターヘッドフォンで呈示した。



図1 8ビート課題

2.3. 計測

演奏時の打圧データ、メトロノーム音データを1000 Hzで計測した。3次元動作データは、光学式の動作計測装置(Opti track, Natural Point社)を用いて100 Hzで計測した。計測は1試行30秒間であった。3次元動作データの計測は全身に反射マーカを貼り付けて行ったが、本研究ではそのうち、右手首と右手首の動作に関わる主部位(第7頸椎, 右肩, 右肘)との位相差を分析対象とした。

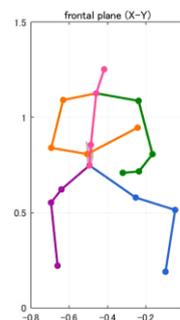


図2 ドラマーのスティックピックアップ(前額面)

2.4. 解析

解析には計測開始後2小節目から4小節目分のデータ

を使用した（ハイハット演奏の 32 打分）. 演奏精度を評価する指標として、メトロノーム音に対する各打の同期誤差をすべての楽器・テンポで算出した（図 3）.

協応構造の変化を評価する指標として、右手首に対する第 7 頸椎 (C7)・右肩・右肘の相対位相を算出した. 相対位相は、二つの時系列データにおける位相角の差分から算出できる (相対位相 $\phi = \text{位相角 } \theta_1 - \text{位相角 } \theta_2$). 本研究では、右手首の位相角 θ_{Wrist} に対する、身体各部の位相角 θ_{C7} , θ_{Shoulder} , θ_{Elbow} の差分を求めることで相対位相 ϕ を求めた. 具体的な解析手順は次の通りであった. まず 3 次元動作データは、打動作の周期性が反映されやすい垂直方向のみを分析対象とし、バンドパスフィルターを適用した (6 次, 0.8-10Hz, 双方向). 次に、各データ点から平均値を減算することでデータをセンタリングし、波形が正負をまたぐ点に基づき 1 周期を特定後、周期毎に z スコア化した. これらの処理は波形のドリフトを抑制し、位相角の算出を安定させるための手続きであった. 位相角の算出には、ヒルベルト変換を用いた (詳細は, Lamb & Stöckl^[3]; Varlet & Reardon^[4]を参照されたい). ヒルベルト変換により、位置変位データを瞬時振幅と瞬時位相から成る解析信号に変換することができ、完全な正弦波でない場合の位相角算出が安定することが報告されている.

最後に、位相角の各点における相対位相を算出し、結果をヒストグラム化した. 本研究では、サンプルが少数であるため、試行内での協応関係の変動量を表す SD ϕ (図 4), 相対位相のヒストグラム (図 5) を全ての参加者について呈示し、傾向を定性的に議論した.

3. 結果

3.1. 同期誤差

図 3 は、演奏速度の違いに応じた各楽器の同期誤差である. 値は小さくなればなるほど、打とメトロノームの誤差が小さいことを意味している. また、値が負であれば、打がメトロノームに対して先行し、正であれば、後行していることを示している. 図から、演奏速度が上がるにつれ、誤差が小さくなることが読み取れる. さらに、60, 120 bpm 条件では打がメトロノームに対して先行しており、180 bpm 条件のハイハットやバスドラムでは、わずかに後行する結果となった. こうした傾向は、同じくプロドラマーの同期誤差を解析した Fujii et al.^[2]でも報告されている.

3.2. 相対位相の SD ϕ

図 4 は、熟練者 3 名の演奏速度の違いに応じた相

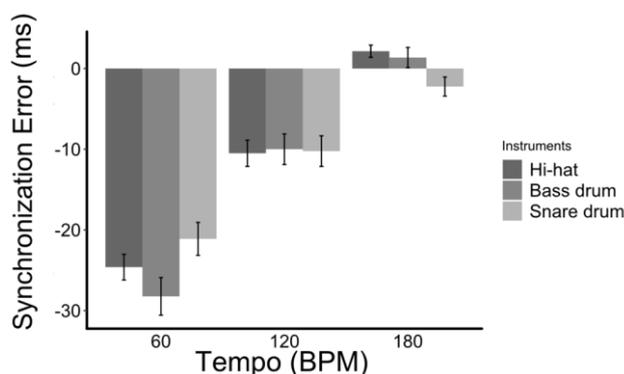


図 3. 演奏速度に応じた各楽器の同期誤差 (熟練者 3 名の平均値)

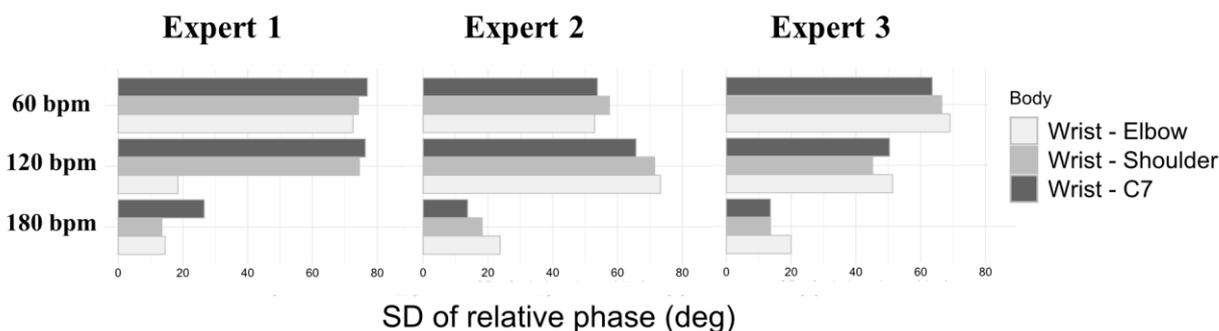


図 4. 熟練者 3 名における右手首に対する右肘・右肩・頸椎 7 番 (C7) の相対位相の SD ϕ .

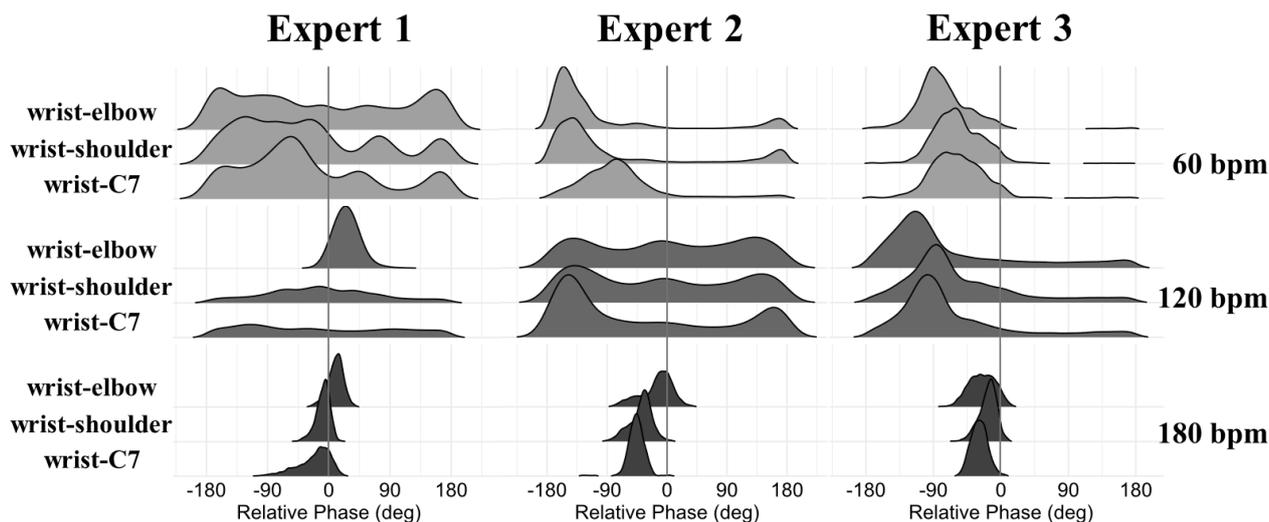


図5. 熟練者3名における右手首に対する右肘・右肩・頸椎7番(C7)の相対位相のヒストグラム

対位相の $SD\phi$ である。値が小さければ小さいほど、試行内での各部の協応関係が安定していたことを示している。図より、180 bpm 条件の $SD\phi$ は、60, 120 bpm 条件よりも小さく、安定したパターンを維持し続けていたことが示唆される。

3.3. 相対位相のヒストグラム

図5は、熟練者3名の相対位相のヒストグラムである。同図は、試行内での位相差の分布を示しており、0度付近に分布が集中する場合には、手首に対するが同位相、 ± 180 度付近に集中する場合には逆位相の協応関係となっていることを示している。

同図より、60, 120 bpm 条件(図5上段, 中段)では、参加者間で多様な分布となるが、180 bpm 条件(図5下段)では、全ての参加者で0度付近に分布が集中していることが読み取れる。すなわち、低速・中速のテンポ(i.e. 60, 120 bpm 条件)では、参加者間で多様な協応関係となるが、高速テンポ(i.e. 180 bpm 条件)では、どの参加者も同位相となることが確認できる。

次に、60, 120 bpm 条件における協応パターンについて、参加者毎に詳述する。熟練者1の60 bpm(図5左上段)について、いくつかのピークが混在しているが、負の領域により分布が集中していることが確認できる。これは、右手首の位相が各部の位相より先行していたことを示している。こうした傾向は120 bpm 条件における右手首-右肩、右手首-C7でも確認できる。他方、同条件の右手首-右肘では、30度付近に相対位相が集中しており、右手首に対して、右肘が先行していたことが示唆される。

熟練者2の60 bpm 条件について、右手首-右肘および右手首-右肩の相対位相では、-180度付近に分布しており、右手首-C7では、-90度付近に分布していることが確認できる。このことから、右手首に対して頸部が一貫して遅れているが、他の部位では逆位相に近い協応関係となることが示唆される。120 bpm 条件では、右手首-C7においては、 ± 180 度付近(i.e. 逆位相)に値が集中しているが、他の組み合わせでは、0度付近にもピークが存在し、全体としてフラットな分布となっている。このことから、右手首と頸部の位相関係は、試行内で一貫して逆位相となるが、それ以外の部位では多様な関係となることが示唆される。

熟練者3の60および120 bpm 条件における右手首-右肘の相対位相(図5右上・中段)は、-90度付近に集中していた。一方、右手首-右肩、右手首-C7の組み合わせでは、-60度付近に集中した。このことから、右手首の位相は他の部位に対して先行し、右肘の位相は、右肩・C7よりも後行していることが示唆される。

4. 考察

以上の結果より、ドラム熟練者は、低・中速の演奏速度(i.e. 60, 120 bpm, それぞれ1秒間に2回, 4回)では、多様な協応関係から演奏を行っているが、高速の演奏条件(i.e. 180 bpm, 1秒間に6回)では、全ての部位が同位相に近い協応関係となることが示唆された。この結果は言い換えれば、低・中速テンポでは各参加者の「持ち味」ともいえる独特な協応パターンから演奏できるが、高速テンポではそれが難しくなり、一律のパターンでしか演奏できなくなることを示唆してい

る。本研究では、こうしたある種の相転移現象を離散的な演奏速度を用いた実験デザインによって示したが、今後は演奏速度を連続的に変化させながら演奏を行うような実験を実施し、120 bpm と 180 bpm 条件との間にある転換点、あるいは熟練者・初心者で転換点に差があるのかどうかなどを検討する必要がある。特に、ドラム熟練者は初心者よりも全身レベルでの運動が大きく、安定している、という報告^[5]もあるため、こうしたレベルでの安定性が、本研究で得られた結果とどのように関わっているのかについては、より一層の研究蓄積が不可欠である。

また、本研究では、最も周期性が反映されていた垂直軸のデータのみから、相対位相を算出し、演奏速度に応じた協応関係の変化を検討した。しかし、参加者間・内で多様なバリエーションが観察された 60, 120 bpm 条件では、垂直軸以外にも軌道が分散していた可能性がある。そのため、今後は得られたデータを 3 次元的に解析する必要がある。解決策としては、3 つの軸全て（前後、左右、垂直）で同一の解析を行い、比較する方法^[6]、主成分分析を用いた方法^[7]が考えられる。

一点目について、Burger ら^[6]は、音楽に誘発される運動（music-induced movement）に着目し、実験参加者が楽曲を聴いている際の 3 次元動作をこのような方法で解析している。その結果、楽曲の「拍」に対応する部分では、垂直方向の運動が優位となり、「小節」に対応する部分では、左右方向の運動が優位となる、ということが示唆されている。この方法を用いれば、テンポに応じた運動方向の変化を検討できる可能性がある。本研究の結果から、ゆったりとしたテンポでは、左右・前後方向への運動が優位となり、高速テンポでは、垂直方向への運動が優位となることが推測される。

二点目について、同手法では、まず全身の 3 次元動作データを主成分分析にかけ、データを代表するベクトルを求める^[7]。このベクトルは全身の 3 次元動作の中で最も分散が大きい軸であるため、この軸をテンポ条件毎に算出することで、テンポによってどの軸上の運動が優位となっているのかを示すことができる。さらに重要な点は、得られた主成分に対し、各部のデータ（e.g. 手首、肩、肘）を射影することで、どの部位が試行内で優位に動いていたのか^[6]を評価できることである。例えば、先行研究^[8]では、チェロのボウイング動作の 3 次元データに主成分分析を適用し、各関節の第一主成分への寄与率を検討することで、熟練者と

初心者で自由度の使い方が異なることを明らかにしている。ドラマーの 3 次元動作データに対しても、こうした手法を適用することで、テンポや熟練度毎の違いがより詳細に特定できる可能性がある。

参考文献

- [1] Dahl, S. (2011). Striking movements: A survey of motion analysis of percussionists. *Acoustical Science and Technology*, 32(5), 168-173.
- [2] Fujii, S., Hirashima, M., Kudo, K., Ohtsuki, T., Nakamura, Y., & Oda, S. (2011). Synchronization error of drum kit playing with a metronome at different tempi by professional drummers. *Music Perception: An Interdisciplinary Journal*, 28(5), 491-503.
- [3] Lamb, P. F., & Stöckl, M. (2014). On the use of continuous relative phase: Review of current approaches and outline for a new standard. *Clinical Biomechanics*, 29(5), 484-493.
- [4] Varlet, M., & Richardson, M. J. (2011). Computation of continuous relative phase and modulation of frequency of human movement. *Journal of biomechanics*, 44(6), 1200-1204.
- [5] 谷貝祐介・古山宣洋・三嶋博之. (2019). ドラム演奏を支える姿勢制御—打圧データと床反力中心データを用いた熟練者と初心者の比較—, *認知科学*, 26(2), 197-218.
- [6] Burger, B., Thompson, M. R., Luck, G., Saarikallio, S. H., & Toiviainen, P. (2014). Hunting for the beat in the body: on period and phase locking in music-induced movement. *Frontiers in human neuroscience*, 8, 903.
- [7] Daffertshofer, A., Lamoth, C. J., Meijer, O. G., & Beek, P. J. (2004). PCA in studying coordination and variability: a tutorial. *Clinical biomechanics*, 19(4), 415-428.
- [8] Verrel, J., Pologe, S., Manselle, W., Lindenberger, U., & Woollacott, M. (2013). Coordination of degrees of freedom and stabilization of task variables in a complex motor skill: expertise-related differences in cello bowing. *Experimental brain research*, 224(3), 323-334.