

周期的動作に見られる協調構造の分化

Differentiation within Coordination in Periodic Movements

藤波 努^{*1} 山本 知幸^{*1}
Tsutomu Fujinami Tomoyuki Yamamoto

^{*1}北陸先端科学技術大学院大学 知識科学研究科
School of Knowledge Science, Japan Advanced Institute of Science and Technology

We study human bodily movements to analyze the characteristics of skillful movements. Bodily movements can be studied as coordination between body parts. The coordination between parts has been thought to be synchronization between movements, but we have shown that a bodily movement can be decomposed into several sub-movements, each of which is performed on different timings. We call the phenomenon differentiation. A sub-movement can further be decomposed into smaller components. We thus regard the bodily movement to be hierarchically structured. We observed through an experiment differentiation within coordination in periodic movements.

1. はじめに

我々は身体知研究の一環として、陶芸の菊練りやシェイカーによるサンバリズム演奏を調査し、周期的動作の特徴を分析してきた。その結果、身体各部位の協調関係には階層性があることを見出した [Yamamoto 04, 藤波 04]。菊練りを例とすると、練り動作は体幹部を前後させて両腕で粘土を押しながらこねる動作であるように見える。このレベルでは熟練者と中級レベルの技能者の間に違いはない。しかし、詳細に動作を分析すると、熟練者では粘土を「押す」動きと「押し戻す」動きが独立した動作として見出された。

従来の身体動作に関する研究（たとえば [Haken 85] で扱われている指振り運動）は、身体部位の「協調」という概念を単一周期への同期として扱っていた。すなわち、身体各部位が同時に動くことを協調関係と見なしていた。しかしながら我々は、あるタスクに関わる全ての身体部位が同時に動く段階を経て熟練者となると、身体各部位が複数のグループに分かれ（分化）、グループ間では位相が異なることを見出した。時間尺度を細かくすると、分化したグループの中にさらに分化が見出されることもある。このことから人間の身体動作は階層構造になっていると考えられる。

身体動作の階層性を示唆する現象はシェイカーによるサンバリズムの演奏にも見られたが、先の報告 [藤波 04] では被験者が2名であり、またいずれも熟練者ではなかったことから、分化といえる現象を明確には特定できなかった。そこで演奏レベルの高い被験者5名を対象として新たに実験を行い、身体動作を分析した。本論では実験によって得られたデータの分析結果を報告する。

以下では、実験の概要を説明し、身体動作に分化が起きているかどうかをデータに基づいて検証する。最後に身体技能について考察する。

2. 対象と手法

2.1 シェイカーによるサンバリズムの演奏

実験はシェイカーを使ってサンバのリズムを演奏するタスクで行った。シェイカーは腕を体幹に対して外側と内側にくり返し振ることによって音を出す。アクセントのついた音を H、

軽く振っただけの鈍い音を L とすると、サンバの場合、一小節の間に {H-L-L-H H-L-L-H H-L-L-H H-L-L-H} という 16 ビートを演奏する。

正確にアクセントをつけるには半年程度の練習を必要とする。また長時間、リズムを一定に保つには、腕の動きだけでなく全身を使って演奏する必要がある。このことから、シェイカーによるサンバリズムの演奏は全身を使った周期的動作と見なすことができる。またサンバの演奏は、一定のテンポで規則的にシェイカーを振る動作なので、振動として解析できる。

2.2 被験者

先に報告した実験 [藤波 04] では被験者が2名であり、またいずれもサンバ経験が浅かったため、分化と考えられる現象を明確には捉えられなかった。そこで今回はできるだけサンバ経験が豊かで、演奏技能にも優れた者5名を被験者とした。各人のプロフィールは以下の通りである。

被験者A：ブラジル音楽を専門とするプロ演奏家。ギタリストでボーカリスト。ブラジル音楽の演奏では日本でトップクラスと認められている。パーカッションは専門ではないが、長期間ブラジルに滞在して音楽を学んでおり、ブラジル音楽のリズム感を体得している。

被験者B：在日ブラジル人。17才よりプロ演奏家から本格的にサンバ演奏を学び、25年以上の演奏経験を持つ。楽器は主にバンディーロ（タンバリンに似た楽器）を担当するが、ダンボリン、シェイカーなどパーカッション全般を演奏できる。

被験者C：サンバ歴2年（音楽歴35年）の日本人。サンバ経験は浅いが、プロ演奏家である被験者Aと共演したこともある。ブラジル人である被験者Bからもブラジル音楽のリズムになっていると評された。サンバ歴は短いものの、幼少より10年以上クラシック音楽を学んだことがあり、ピアノを弾く。

被験者D：サンバ歴6年の日本人。被験者Aよりギター演奏を学ぶ。サンバ以外にはフォークギターを得意とする。音楽経験は15年。プロではないが、地元ではブラジル音楽演奏家としてステージに立つこともある。ステージではギターを演奏することが多い。

被験者E：サンバ歴5年（音楽歴35年）の日本人。アマチュアではあるが、地元では被験者Aと共にステージに立つこともある。ブラジル音楽だけでなくジャズも好み、楽器はクラリネットを得意とする。オルガン、ピアノ、合唱、ギター、ベースなどもできる。

連絡先: 藤波 努, 北陸先端科学技術大学院大学, 〒 923-1292
石川県能美市旭台 1-1, Email: fuji@jaist.ac.jp

被験者A以外はプロ演奏家ではないものの、全員ブラジル音楽をステージで演奏できるレベルには達しており、本実験の対象者として適格である。

2.3 ボディモデル

本実験で採用した実験機材とボディモデル、データ解析手法は先に報告したモデルおよび手法と同様である [藤波 04]。実験で用いたモーションキャプチャ装置の時間分解能は 86.1Hz であり、マーカーは 18 個用いた。各マーカーは図 1 左に示した位置に取り付けた。これらのマーカー取り付け位置に基づいて、8 つの関節と 13 の部位からなるボディモデルを構築した。(図 1 右を参照。) 図中、J で始まる記号が関節 joint を表しており、対応は次のようになっている：首 (J1)、腰 (J2)、右肘 (J3)、右手首 (J4)、左股関節 (J5)、左膝 (J6)、右股関節 (J7)、右膝 (J8)。また、e は終端 endpoint を意味し、それぞれ e1(頭)、e2(左肘)、e3(右手) である。各関節の動作は角度変化としてとらえている。

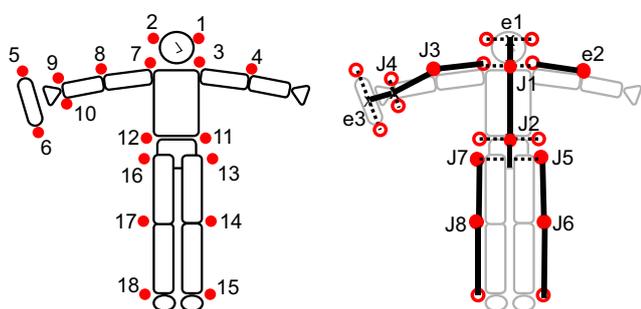


図 1: ボディモデル 左: マーカー取り付け位置 右: 部位と関節

2.4 データ解析手法

モーションキャプチャ装置を使って収集したデータは以下の手順で解析した:

1. 関節角度の計算: 18 点から得られたデータを元に各関節の角度を計算する。
2. 平滑化: 4 階の Butterworth フィルターを使って角度変化を平滑化する。
3. 位相基点の計算: 平滑化した各時系列データにヒルベルト変換 [Panter 65][Pikovsky 01] を適用し、各関節動作の位相基点を求める。
4. 相対位相の計算: 動作が他よりも安定している関節を参照点として、その他の関節動作との相互位相を求める [Pikovsky 01]。

身体各部位の同期の度合いを分析するため、参照点となる関節を選び、分析対象とする動作 (関節角の変化) について参照点との相互位相を求め、そのヒストグラムを作成した。これらのヒストグラムは、参照点となった関節の動きに対して位相がどの程度ずれているかを示している。中心に近いほど、その関節角の変化が参照点と同期しており、中心から左にずれるほど遅めに、また右にずれるほど早く振れていることを意味する。横軸は一周期をラジアン (2π) で表示しており、グラフの両端は基準点の動きに対して逆位相の動きに相当する。

被験者	左股関節	左膝	腰	右股関節
A				
B				
C	-			
D	-	-	-	
E	-			

表 1: 体幹部と下肢の協調構造

3. 分析

3.1 体幹部および下肢の協調構造

図 2 に A から E の各被験者について、左股関節と左膝の周期 (上) と腰と右股関節の周期 (下) を分析した結果を示す。参照点は右膝である。要点を表 1 にまとめる。は動作が順位相、は逆位相になっていることを意味する。また'-'は参照点に対して遅れ気味であることを意味する。

被験者 A の動作をみると左股関節、左膝、腰、右股関節すべてについて、順位相か逆位相かの違いはあるものの、強く参照点 (右膝) に同期していることがわかる。被験者 B の場合は、腰を除いて同期している。被験者 A と B に共通しているのは、膝と体幹部 (股関節または腰) の同期といえる。また注目すべきは逆位相が含まれていることである。このことは、膝と体幹部が同じ周期で振れているだけでなく、その中に分離があること、すなわち構造が存在していることを示唆している。

膝と体幹部 (股関節または腰) に同期が認められたのは、シェイカーの演奏方法に起因すると考えられる。経験の浅い演奏者は、シェイカーを腕の動きだけで演奏しようとする。たしかに演奏を見て最も目につくのは腕を振る動作である。しかしながらシェイカーの演奏で重要なのは腕ではなく、下半身の動きである。優れた演奏者は体を床に落とし、着地時に蹴り込んだ反動を利用してアクセントをつけている。

プロあるいはセミプロ級の被験者 A と B 以外の被験者には同様の現象は観察されなかった。ただ被験者 C には弱いながらも腰に逆位相が見られた。被験者 C は最近、サンバ・ステップを踏む練習に励んでおり、その効果が部分的に現れたものと考えられる。被験者 D と E については部分的に同期が見られたものの、逆位相は観察されなかった。したがって被験者 A や B の動作に見られるような協調構造はないと考えられる。

3.2 右肘と右手首の協調構造

上では体幹部に属する腰や下肢 (左右の股関節と膝) の協調構造を分析したが、ここでは上肢の動作を調べるため、右肩を参照点として右肘と右手首の協調構造を分析した (図 3)。

グラフで目に付くのは、被験者 A と D の右肘であり、ピークが他の被験者に比べて格段に高い。これは腕の動作に何らかの特徴があることを示している。この 2 名は右肘と右手首が肩より遅れて振れており、腕がしなっていると考えられる。被験者 D では右肩 - 右肘 - 右手首の順で遅れて振れている。また被験者 A の場合、ピーク位置は同じだが、右肘に比べて右手首の同期の強度が急に弱くなっている。強度が弱くなることは、時系列では変動が大きいことを意味するので、力が抜けているのではないかと予想される。

一方、被験者 B と C は逆に右肩よりも早く動いているように思われるが、同期の度合いが低いいため、特徴とは言い切れない。被験者 E についても同様である。

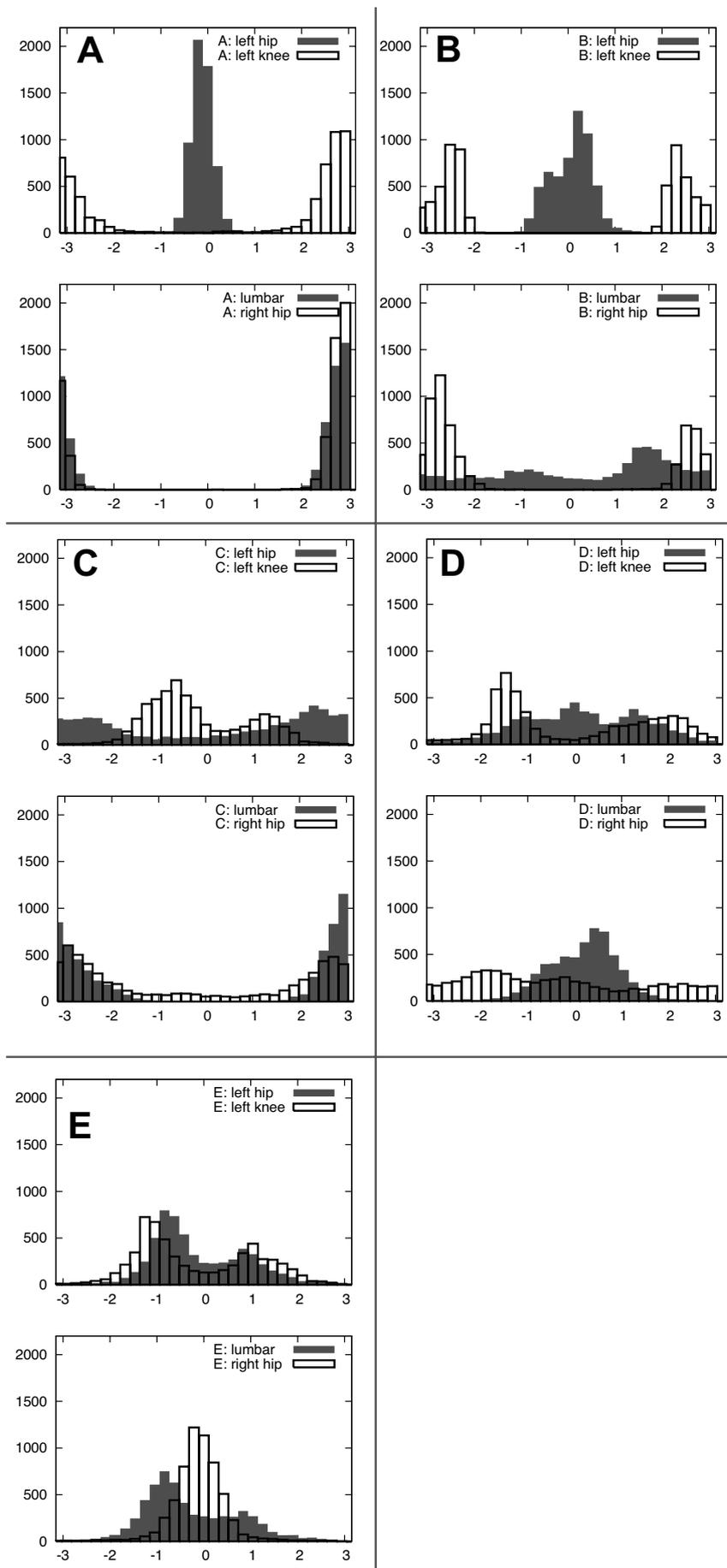


図 2: 下肢および体幹部の分析結果

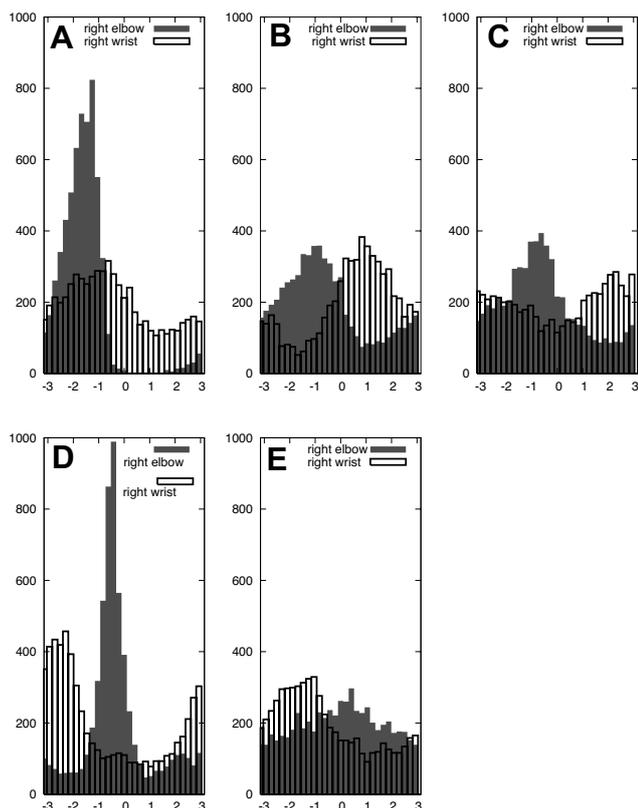


図 3: 右肘と右手首の分析結果

4. 考察

はじめに体幹部と下肢の協調構造について考察する。表 1 より被験者 A と B に共通する協調構造が読みとれる。すなわち、右膝と左膝の逆位相、および右膝と右股関節の逆位相である。このことは左膝と右股関節が順位相であることを意味する。以上から、二つの動作が浮かび上がってくる。ひとつは左膝と右股関節が同期した動きであり、もうひとつは右膝と左股関節が同期した動きである。これら二つの動作は互いに逆位相となっている。この協調構造は Hip-pop など黒人系ダウンビートのダンスで腰を振る動きと似ている点が興味深い。演奏の様子を見ているだけではまったく予期できなかった特徴である。

上肢の協調構造、すなわち右の肩 - 肘 - 手首の連係は、被験者 A と D についてのみ、鞭のようにならぶ動きが観察された。被験者 A と D は共にギターを専門とするため、普段の演奏が影響しているのかもしれない。因果関係は不明であるが、重要なのは、腕の力が抜けているということ以外、特徴が見出されなかった点である。

シェイカーの演奏を見ると、腕を振る動作が目につくため、経験の浅い演奏者は手先の動作に気を取られてしまう。しかし、熟練者の演奏動作を解析してみると大きな違いが出たのは体幹部と下肢の動きであり、上肢については顕著な違いは見られなかった。このことは、シェイカーの演奏では体幹部と下肢の動きが重要であることを示唆している。

5. まとめ

本論ではシェイカーによるサンバリズムの演奏を解析し、熟練者では身体各部位の協調構造に分化が起きていることを示し

た。また、一見、上肢の運動が主と思われる動作でも体幹運動が重要な役割を果たしていることを明らかにした。

参考文献

- [Haken 85] Haken, H., Kelso, J. A. S., and Bunz, H.: A theoretical model of phase transitions in human hand movements, *J. Biological Cybernetics*, Vol. 51, pp. 347 – 356 (1985)
- [Panter 65] Panter, P.: *Modulation, Noise and Spectral Analysis*, McGraw Hill, New York (1965)
- [Pikovsky 01] Pikovsky, A., Rosenblum, M., and Kurths, J.: *Synchronization – a universal concept in nonlinear sciences*, Cambridge University Press (2001)
- [Yamamoto 04] Yamamoto, T. and Fujinami, T.: Synchronisation and Differentiation: Two stages of Coordinative Structure, in *proceedings of 4th international workshop on Epigenetic Robotics 2004*, pp. 97–104 (2004)
- [藤波 04] 藤波 努, 山本 知幸, 阿部 真美子: 身体技能に見られる階層性と「あそび」に関する考察, 第 18 回人工知能学会全国大会予稿集 (2004), 3D1-04