

個人間の運動調整過程に関する実験的検討

Analyzing the Interpersonal Coordination between Paired Jugglers

市川 淳*¹ 三輪 和久*¹ 寺井 仁*²

Jun Ichikawa Kazuhisa Miwa Hitoshi Terai

*¹名古屋大学大学院情報科学研究科

Graduate School of Information Science, Nagoya University

*²近畿大学産業理工学部

Faculty of Humanity-Oriented Science and Engineering, Kindai University

The present study investigated the process of improvement of performance in duo juggling. We analyzed the periodicity of arm swing in solo and duo juggling by using the autocorrelation coefficients in the time series of composite accelerations from each hand. We also analyzed the synchronization of arm swing in solo and duo juggling by using the cross-correlation coefficients between the time series of composite accelerations of the right- and left-hand. The results showed that in solo juggling, there were no differences of the autocorrelation and cross-correlation coefficients between the jugglers. However, the results also indicated that in duo juggling, the autocorrelation coefficient of one juggler was significantly lower than that of another juggler. Those findings suggested the possibility that one juggler who organized higher periodicity of arm swing actively established the arm swing of duo juggling with consideration of another juggler.

1. はじめに

本研究では、タンゴダンスやボート、オーケストラにおいて観察される個人間の協調 (interpersonal coordination) に注目する。個人間の協調における困難として、[Knoblich 03] では、単独で同様の課題を行う場合と比較して、予測していなかった他者の行為への対応や、他者の行為に対する自身の行為の調整を挙げている。

先行研究 [Loehr 11] では、ピアノ課題を用いて、両手によるソロ演奏と、お互いの片手によるデュエット演奏を比較して、後者の方が、一方の手による演奏リズムの周期性が低いだけでなく、両手による演奏リズムの同期性も低いことを確認した。さらに、ソロ演奏における他者とのリズムの類似性が、デュエット演奏の同期性に影響を与えることについても明らかにした。

デュエット演奏のような、他者の行為に対して自身の行為を調整するうえでは、他者の行為をシミュレーションすることが重要であると多くの先行研究が指摘する (例えば、[Knoblich 03], [Loehr 11])。具体的に、他者がいつ、どのような行為を行い、そして、どのような結果になるかを予測して課題を行うことが重要であると述べる。

個人間の協調に関する研究は、上記で取り上げた研究以外にも数多くある。しかし、先行研究では、課題の達成「過程」における行為の調整を示す周期性や同期性に注目した研究は数少ない。例えば、先ほどのピアノ課題では、デュエット演奏におけるリズムの周期性や同期性は、ソロ演奏よりも低くなるものの、課題の演奏自体はミスすることなく達成している。

そこで、本研究では、個人間の協調が要求される課題の達成過程において、単独で同様の課題を行う場合と比較して、運動の周期性や同期性にどのような特徴が現れるかを実験的に検討する。そして、なぜ、そのような特徴が現れるかに関して、他者との「関係性」という視点から仮説を提唱する。

本研究では、課題としてボールジャグリングの2人カスケードを取り上げる。2人カスケードでは、ボール3個のトスとキャッチを行うための周期的な運動が要求される。この課題は、1人でボール3個のトスとキャッチを行う3ボールカスケード (以下、単独カスケードと呼ぶ) の右手を1人が、左手をもう1人が担当する構図になっている (図1)。手続きは以下である [中嶋 01]。

1. ボールを右手に2個、左手に1個それぞれ持つ
2. 右手のボール1個を左手にトスする
3. ボールが左手に落ちてきたら、その内側を通すように左手のボールを右手にトスする。落下してくるボールは左手でキャッチする
4. ボールが右手に落ちてきたら、先程と同様に、その内側を通すように右手のボールを左手にトスする。落下してくるボールは右手でキャッチする
5. 落下してくるボールの内側を通して、左右の手で交互にボールをトスする

実験課題の特徴として、使用するボールの数と手続きは、単独カスケードと同様である。このことから、課題を行う2人がともに単独カスケードのスキルを習得している場合、他者との運動等の調整が、ボールの連続キャッチの維持に向けて極めて重要になると考えられる。

本研究では、単独カスケードのスキルを習得している2人が、2人カスケードの課題を行うと連続キャッチが続かない状態から始まる練習過程を観察する。そして、2人カスケードの達成過程における、運動の周期性や同期性を信号処理的な分析から評価する。

連絡先: 市川 淳, 名古屋大学大学院情報科学研究科, 名古屋市千種区不老町, ichikawa@cog.human.nagoya-u.ac.jp

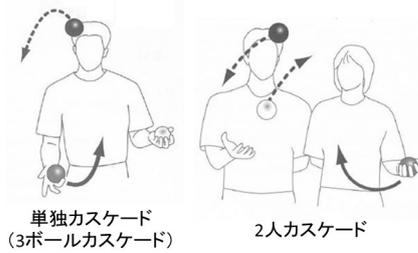


図 1: 単独カスケードと 2 人カスケード ([中嶋 01] から画像を引用)

2. 実験

2.1 参加者

ジャグリングサークルに所属する大学生 1 組 (2 名) が実験に参加した。2 名の参加者は、いずれも単独カスケードのスキルを習得していたが、2 人カスケードの練習は、未経験であった。

2.2 手続き

本実験は、単独カスケードフェーズと 2 人カスケードフェーズで構成され、単独から先に実施した。

単独カスケードフェーズでは、始めにインタビューを行った。インタビューでは、単独カスケードの連続キャッチを続けるうえで気をつけるべき点について、自由に言語報告を行わせた。1 名が回答する間、もう 1 名は、実験室の外で待機した。次に、ボールを落とさず、問題なく単独カスケードを行うことを確かめるためのテストを行った。参加者は 1 名ずつ、3 分間のウォーミングアップの後、30 秒間を 1 試行として、計 3 試行の単独カスケードを行った。また、確認テストの際、全ての試行で、参加者の両手首に加速度センサを付けて運動計測を実施した (フォーアシスト社製、G-Air: 2 台、サンプリング周波数 100 Hz) (図 2)。運動計測では、3 軸方向の加速度 (G) を記録した。

単独カスケードフェーズの終了後、2 人カスケードフェーズを実施した。参加者は、連続キャッチ数 50 回を目標に 2 人カスケードの練習を行った。練習では事前に、参加者には立ち位置を決めてもらい、積極的に話し合いながら練習するように指示した。なお、途中で立ち位置を入れ替えることは禁止した。1 ブロック 10 分間で、計 6 ブロックの練習を行い、ブロックの間に適宜、休憩を入れた。練習では縦 70 cm × 横 140 cm の枠内で 2 人カスケードを行うように指示した。目標の連続キャッチ数を踏まえて、練習中に行う 2 人カスケードの 1 試行は最大 60 秒間とした。全ての試行で、ボールを操作する両手首に加速度センサを付けて運動計測を実施した。

6 ブロック目の練習終了後、インタビューを行った。インタビューでは、2 人カスケードの連続キャッチを続けるうえで気をつけるべき点、どのような練習過程を経て、その点に気がついたか、さらに、単独カスケードとの違いについて、自由に言語報告を行わせた。単独カスケードフェーズのインタビューと同様に、1 名ずつ回答を行った。

2.3 分析

本分析では、パフォーマンスと身体動作を分析した。パフォーマンスは、課題の成果である連続キャッチ数をビデオ映像から求めた。身体動作は、一方の手による運動の周期性と、両手

による運動の同期性を自己相関係数と相互相関係数でそれぞれ分析した。

3 個のボールを用いたカスケードでは、各手の位置や運動リズムを一定にしつつ、両手の運動を同期させることが重要である [Haibach 04]。ゆえに、加速度の時系列データが示す波形の周期性や同期性が高いほど、安定した手の運動を達成したことを示すと考えられる。そこで、時系列データの波の形状を評価するために、自己相関係数と相互相関係数の分析を行った。本分析では、各手における、3 軸方向の全ての成分を含む加速度合成の時系列データを使用した。ただし、Butterworth フィルタを 6 Hz で適用し、ボールをキャッチした衝撃による高周波のノイズを可能な限り除去した。また、本分析では、定常状態の身体動作を分析した。そのため、時系列データにおける、ボールを手を持った初期状態の影響が現れる区間やボールを落とす直前の区間は分析から除外し、残りを分析区間とした。具体的には、波形の 3 つ目の山のピークから、最後から遡って 3 つ目の山のピークまでを分析区間とした (図 3)。

一方の手による運動の周期性については、時系列データを時間軸に沿ってずらしてゆき、元の時系列データとの相関関係において、正の相関が最初に極大を迎える時、つまり、手の上下運動約 1 往復分、時系列データをずらした際の元の時系列データとの類似度を自己相関係数として算出した。自己相関係数の値が高いほど、周期性が高いことを示す。各手で自己相関係数を求めた。両手による運動の同期性に関しては、右手の時系列データを時間軸に沿って前後にずらしてゆき、左手の時系列データとの相関関係において、正の相関が最初に極大を迎える時の右手と左手による時系列データの類似度を相互相関係数として算出した *1。

確認テストで単独カスケードを行わせた際に取得した参加者 1 名あたり 3 試行、計 6 試行のデータと、2 人カスケードの練習を行わせた際に取得したデータを対象に、手の運動の周期性と同期性の分析を行った。ただし、2 人カスケードについては、単独カスケードの分析結果と比較するために、連続キャッチ数 15 回以上を記録した試行、計 40 試行を対象に分析を行った。

本実験では、参加者 A が右手を、参加者 B が左手を担当し、2 人カスケードを行った。そこで、参加者 A に関しては、単独カスケードの「右手」による自己相関係数と、2 人カスケードで担当した「右手」による自己相関係数を算出した。参加者 B については、単独カスケードの「左手」による自己相関係数と、2 人カスケードで担当した「左手」による自己相関係数を求めた。さらに、参加者 A における単独カスケードの両手による相互相関係数と参加者 B における単独カスケードの両手による相互相関係数、および 2 人カスケードの両手による相互相関係数を算出した。

3. 結果

3.1 パフォーマンス

練習における 2 人カスケードのパフォーマンス推移を図 4 に示す。横軸は試行、縦軸は連続キャッチ (回数) を示す。縦軸に平行な直線は、ブロックごとの区切りを示し、三角のプロットは、連続キャッチ数 15 回未満の試行である。

計 6 ブロックの練習を通して、最終的に、ペアを組んだ参加者は、連続キャッチ数 107 回を達成した (ブロック 4, 44 試

*1 自己相関係数と相互相関係数のいずれにおいても、手の上下運動による山のピークと残ったノイズが重なったことで、正の相関が最初に極大を迎える場合は、以降で正の相関が極大を迎える時、言い換えれば、山のピーク同士が重なったことで、最初に極大を迎えた時の自己相関係数と相互相関係数を求めた。



図 2: 加速度センサ

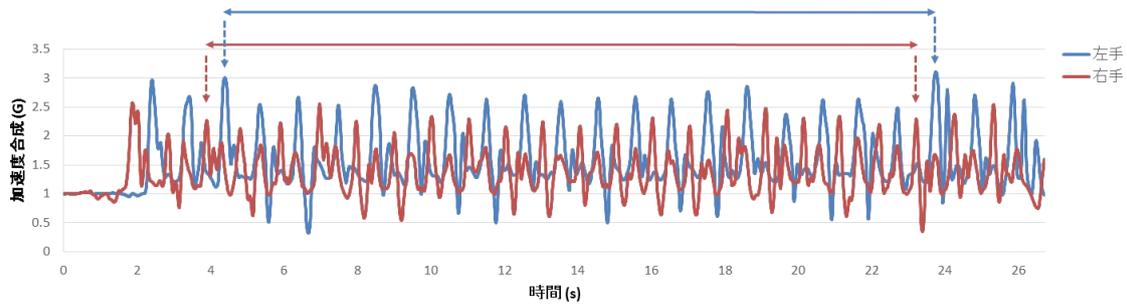


図 3: フィルタを適用した各手における時系列データの例。横軸は時間 (s), 縦軸は加速度合成 (G) を示す。破線の矢印は、3 つ目の山のピークと最後から遡って 3 つ目の山のピークをそれぞれ示す。実線の矢印の区間を分析区間とした。

行目)。

3.2 身体動作

手の運動の周期性について、自己相関係数の結果を図 5 に示す。図 5 左のグラフは単独カスケードにおける自己相関係数の結果で、右のグラフは 2 人カスケードにおける自己相関係数の結果である。いずれも横軸は参加者、縦軸は自己相関係数の平均値を示す。参加者 A に関しては、単独カスケードの「右手」による自己相関係数と、2 人カスケードで担当した「右手」による自己相関係数を表す。参加者 B については、単独カスケードの「左手」による自己相関係数と、2 人カスケードで担当した「左手」による自己相関係数を表す。エラーバーは標準誤差を示す。

単独カスケードと 2 人カスケードのそれぞれにおいて、対応のない t 検定を実施したところ、単独カスケードでは参加者の間で自己相関係数に有意差はなかったが、2 人カスケードでは有意差を確認した (単独: $t(4) = 1.46, n.s.$; 2 人: $t(78) = 5.52, p < .001$)。2 人カスケードにおいて、参加者 A の自己相関係数は、参加者 B の自己相関係数に比べて有意に低かった。

次に、手の運動の同期性について、相互相関係数の結果を図 6 に示す。横軸は課題、縦軸は相互相関係数の平均値を示す。エラーバーは標準誤差を表す。

相互相関係数について、課題要因 (単独-参加者 A/単独-参加者 B/2 人) を被験者間要因とする 1 要因の分散分析を行ったところ、課題要因の主効果を確認した ($F(2, 43) = 33.13, p < .001$)。さらに、Ryan 法による多重比較を行ったところ、単独-参加者 A と 2 人、および単独-参加者 B と 2 人の間で有意差を確認した ($ps < .05$)。単独-参加者 A と単独-参加者 B の間に有意差はなかった ($n.s.$)。2 人カスケードの相互相関係数は、参加者 A や参加者 B における単独カスケードの相互相関係数に比べて有意に低かった。

以上の結果より、単独カスケードでは、参加者 A と参加者 B の間で、手の運動の周期性や同期性に差異はなかったが、2

人カスケードでは、参加者の間で、周期性に差異を確認した。さらに、2 人カスケードの同期性は、各参加者における単独カスケードの同期性よりも低いことを確認した。

4. 考察

本研究では、個人間の協調が要求される 2 人カスケードの連続キャッチの達成過程において、単独カスケードを行う場合と比較して、手の運動調整に関連する周期性や同期性にどのような特徴が現れるかについて検討した。実験の結果、単独カスケードでは、参加者の間で、周期性を示す自己相関係数や同期性を示す相互相関係数に差異はなかったが、2 人カスケードでは、参加者 A の方が、参加者 B よりも自己相関係数が低いことを確認した。さらに、2 人カスケードの相互相関係数は、各参加者における単独カスケードの相互相関係数よりも低くなることについても合わせて確認した。

これは、2 人カスケードにおいて、参加者の間で手の運動の周期性に差異があることが、同期性に影響を与えた可能性を示唆する。周期性に差異が生じた点に関して、以下の仮説が考えられる。

仮説 参加者 A よりも手の運動の周期性が高かった参加者 B が、主導して、2 人カスケードの運動を確立しようとした

仮説に関して、参加者 B は能動的に参加者 A を踏まえて、2 人カスケードの運動を確立しようとしたが、参加者 A が参加者 B を踏まえて自身の運動を調整することに困難を伴った可能性が考えられる。参加者 B の練習後のインタビューにおいて、他者を考慮したと考えられる報告を確認した。具体的には、2 人カスケードの連続キャッチを続けるうえで気をつけるべき点について、「お互いのどこが一番キャッチしやすいかってことを綿密に、特に (練習の) 最初の方に伝え合うことが非常に大事である」と報告した。さらに、単独カスケードとの違い

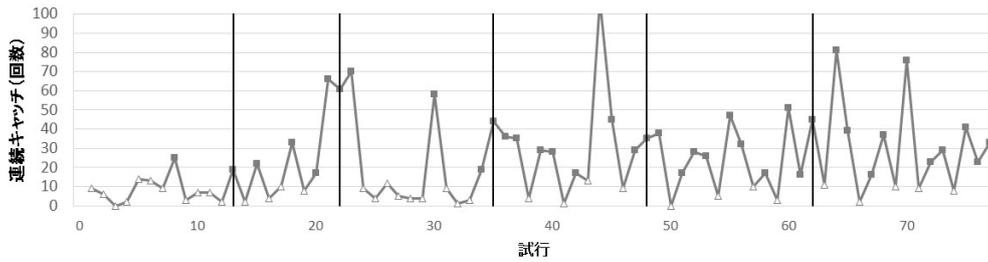


図 4: 2人カスケードのパフォーマンス推移

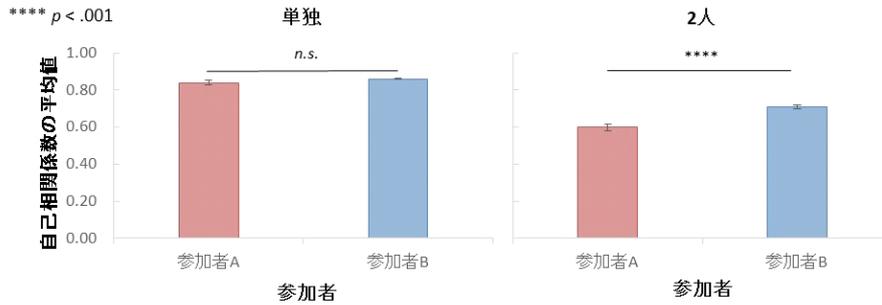


図 5: 自己相関係数

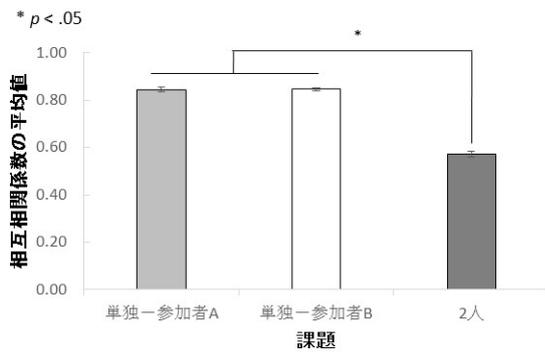


図 6: 相互相関係数

に関して、「自分1人でやる場合は、(ボールの放物線の頂点が正面から見て水平方向における胴体の)中央付近になるが、(2人カスケードの場合は)お互いの例えば、右手はどこがキャッチしやすいとか、左手はどこがキャッチしやすいとか、自分の身体(胴体)よりも右の方がキャッチしやすい、左の方がキャッチしやすいという点で、そのような好みがある」と報告した。参加者Aのインタビューでは、他者を考慮したと考えられる報告は観察されなかった。

今後は、参加者数を増やして、身体動作に関して同様の結果になるかを検討する予定である。さらに、練習中の会話を詳細に分析し、他者との関係性に関する先述した仮説についても合わせて検証する。

参考文献

- [Knoblich 03] Knoblich, G. and Jordan, J. S.: Action coordination in groups and individuals: Learning anticipatory control, *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, Vol. 29, No. 5, pp. 1006-1016 (2003)
- [Loehr 11] Loehr, J. D. and Palmer, C.: Temporal coordination between performing musicians, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, Vol. 64, No. 11, pp. 2153-2167 (2011)
- [中嶋 01] 中嶋 潤一郎: ボールジャグリング入門, ナランハ (2001)
- [Haibach 04] Haibach, P. S., Daniels, G. L., and Newell, K. M.: Coordination changes in the early stages of learning to cascade juggle, *Human Movement Science*, Vol. 23, No. 2, pp. 185-206 (2004)