

# 運動調整に基づく個人間の協調過程に関する検討 Analyzing the Process of Interpersonal Coordination between Paired Jugglers

市川 淳<sup>1,2</sup>, 三輪 和久<sup>3</sup>, 寺井 仁<sup>4</sup>

Jun Ichikawa, Kazuhisa Miwa, Hitoshi Terai

<sup>1</sup> 名古屋大学大学院情報科学研究科, <sup>2</sup> 京都工芸繊維大学,

<sup>3</sup> 名古屋大学大学院情報学研究科, <sup>4</sup> 近畿大学産業理工学部

Graduate School of Information Science, Nagoya University, Kyoto Institute of Technology,

Graduate School of Informatics, Nagoya University,

Faculty of Humanity-Oriented Science and Engineering, Kindai University

j-ichikawa@kit.ac.jp

## Abstract

We investigated whether skills were shared with abstraction level in the process of interpersonal coordination. In the experiment, participants practiced duo juggling in charge of either the right- or left- hand. They also practiced duo juggling in charge of alternative hands. The results revealed that in the practice after they altered in charge of hands, they achieved over 100 successive catches earlier than the practice before alternating in charge of hands. The findings also revealed that arms swing of duo juggling in the practice after they altered in charge of hands was as coordinate as that in the practice before alternating in charge of hands. These results indicated the possibility that the paired jugglers shared the skills with abstraction level and transferred them.

**Keywords** — Interpersonal Coordination, Adaptation, Acceleration Sensor

## 1. はじめに

タンゴダンスやボート, オーケストラでは, 他者と行為を協調することが要求される [1]. このような個人間の協調 (interpersonal coordination) においては, 他者の行為を予測し, その予測に対して自身の行為を調整することが求められると先行研究 [2, 3] では考えられている. さらに, [4] は, お互いの行為の表象と共有が, 個人間の協調に関連すると主張する. ゆえに, ボート等においては, お互いの行為を表象し, 共有したうえで, 協調に関するスキルを共有することが重要である可能性が考えられる.

また, [5, 6] は, スポーツ等で, 人は抽象化したレベルで課題に関するスキルを習得すると述べる. 例

えば, ゴルフのパッティングで言えば, 人は, 特定の飛距離を実現するパットの強さに関するスキルを習得するのではなく, パットの強さとボールの飛距離の関係性や, グリーンの勾配に応じたパットの強さとボールの飛距離の関係性に関するスキルを習得する. そのような抽象化した, 一般化したスキルを習得することで, 状況に応じた柔軟な運動が実現すると考えられている. そして, そのような特徴は, 類似課題を行った際の正の学習転移と関連すると言われている.

以上を踏まえると, 個人間の協調が要求される課題の達成過程において, 人は抽象化したレベルのスキルを他者と共有するかといった点が疑問として挙げられる. 抽象化したレベルのスキルを共有した場合, 正の学習転移が観察されると考えられる. そこで, 本研究では, ジャグリングの課題を用いて, 他者と抽象化したレベルのスキルを共有するかを実験的に検討する.

具体的な課題として, 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. 2人カスケードでは, 1人でボール3個のトスとキャッチを行う3ボールカスケードの右手を1人が, もう1人が左手を担当し, 連続キャッチを行う (図1). 手続きは以下である [7].

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. 落ちてくるボールの内側を通して, 左右の手で交



図1 単独カスケードと2人カスケード ([7] から画像を引用)

### 互にボールをトスする

課題の特徴として、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した。

## 2. 方法

### 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: 参加者Uと参加者S)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る(図2)。全てのフェーズで、ビデオ撮影を行った。

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、参加者がボールを落とさず、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実施した。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つけて運動計測を実施した(サンプリング周波

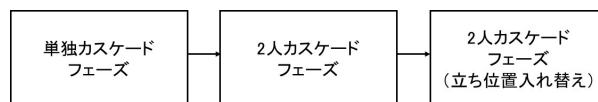


図2 実験手続き

数 100 Hz) (図3)。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、立ち位置を参加者に決めてもらい、積極的に話し合いながら練習するように教示した。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、最大6ブロックとし、実験者と参加者の合意のもと、安定して連続キャッチが続くようになった段階で終了とした。練習では縦70cm×横140cm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つけて運動計測を実施した。

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。

その後、参加者の立ち位置を入れ替えて、再び2人カスケードフェーズを実施した。先程のフェーズで右手を担当した参加者は左手を、左手を担当した参加者は右手を担当し、2人カスケードの練習を行った。このフェーズにおいて、正の学習転移が観察されるかを検証する。立ち位置を入れ替えた以外は、同様の手続きであった。

### 2.3 分析

本分析では、課題のパフォーマンスとして連続キャッチ数を評価した。さらに、運動の協調性として相互相関係数を評価した。

運動の協調性に関して、3個のボールを用いたカスケードでは、各手の位置や運動のリズムを一定にして、両手の運動を協調させることが重要である[8]。ゆえに、左右の手における加速度の時系列データが示す波形の類似度が高いほど、手の運動が協調していると



図3 加速度センサ

考えられる。そこで、類似度を評価するために相互相関係数の分析を行った。

具体的には、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6Hz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、定常状態の運動を分析した。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、残りの区間を分析範囲とした。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。そして、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、山のピーク同士が重なり、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。相互相関係数の値が1に近いほど、運動の協調性が高いことを示す。

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相互相関係数の分析を行った。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を対象に分析を行った。

### 3. 結果

#### 3.1 パフォーマンス

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。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。

ペアは練習を通して、最終的に安定して連続キャッチ数100回以上を達成したことを確認した。ただし、立ち位置を入れ替えた直後の数試行では、入れ替え

る前に100回以上を達成したにも関わらず、一時連続キャッチ数が低い水準で停滞した。そして、4試行目で、立ち位置を入れ替える前の水準と同程度に回復したことを確認した。

#### 3.2 運動の協調性

2人カスケードの連続キャッチ数と相互相関係数との相関を図5に示す。横軸は連続キャッチ数、縦軸は相互相関係数を示す。

立ち位置を入れ替える前の練習において、連続キャッチ数と相互相関係数との間に有意な正の相関を確認した ( $r = 0.62, p < .005$ , 試行数  $N = 23$ )。他方で、立ち位置を入れ替えた後の練習においては、有意な相関はなかった ( $r = -0.09, p = .77$ , 試行数  $N = 13$ )。

次に、各参加者の単独カスケード、立ち位置を入れ替える前の2人カスケード、および立ち位置を入れ替えた後の2人カスケードにおける相互相関係数を比較した結果を図6に示す。横軸は課題、縦軸は相互相関係数の平均値を示し、 $N$ は試行数を表す。エラーバーは標準誤差である。

課題要因（単独（参加者U）/単独（参加者S）/ペア（入れ替え前）/ペア（入れ替え後））を1要因とする分散分析を実施したところ、要因の主効果を確認した ( $F(3, 38) = 12.71, p < .01$ )。TukeyのHSD法を用いた多重比較の結果、参加者Sの単独と立ち位置を入れ替える前のペアの間で、参加者Sの単独と立ち位置を入れ替えた後のペアの間で、そして参加者Uの単独と立ち位置を入れ替えた後のペアの間で相互相関係数に有意差を確認した ( $ps < .05$ )。他方で、ペアにおける立ち位置の入れ替え前後で相互相関係数に有意差はなかった。

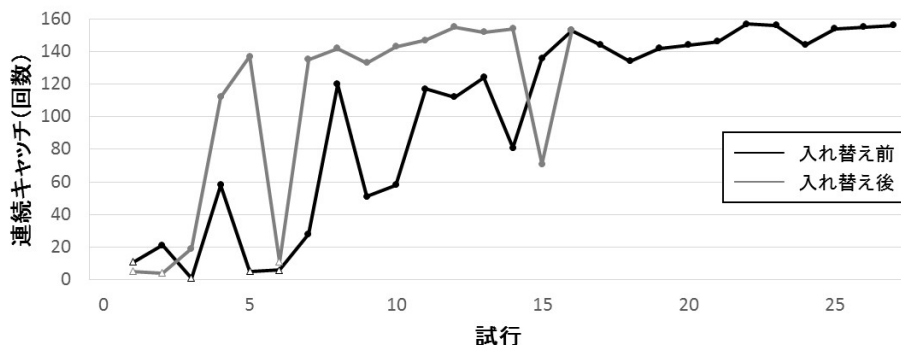


図4 連続キャッチ数の推移

### 3.3 結果まとめ

ペアは2人カスケードの練習を通して、最終的に連続キャッチ数100回以上を達成した。ただし、立ち位置を入れ替えた直後の数試行において、入れ替える前に連続キャッチ数100回以上を達成したにも関わらず、パフォーマンスが低い水準で停滞したが、その後すぐに入れ替える前の水準に回復した。

さらに、立ち位置の入れ替え前後で、運動の協調性を示す相互相関係数が同程度であったことを踏まえると(図6を参照)、立ち位置を入れ替えた後の課題において、正の学習転移が観察されたとと言える。

### 4. 考察

本研究では、個人間の協調が要求される2人カスケードの達成過程において、正の学習転移を確認した。これは、抽象化したレベルのスキルを他者と共有したことを示唆する。先行研究[5, 9]では、鏡映描写の課題において、利き手と利き手ではない手の間で正の学習転移が観察されている。本研究では、他者との協調が要求される課題で正の学習転移を確認した。

立ち位置を入れ替えて実施した2人カスケードフェーズ終了後のインタビューで、2名の参加者はともに、スキルを共有した状態で練習を開始したため、すぐに高いパフォーマンスを達成することができたと報告した。

具体的に、参加者Sは、連続キャッチを続けるうえで気をつけるべき点に関する質問において、「立ち位置を入れ替える前と異なる点はあまりなかった。最初は全然慣れていなくてできなかったが、右手でやっていた時の上達スピードよりも、左手の方が早くて、別に相違点というか、慣れていのおかげでちょっと早く上達した」という報告を行った。参加者Uは、どのような練習過程を経て連続キャッチを続けるうえで気をつけるべき点に気がついたかに関する質問において、「左

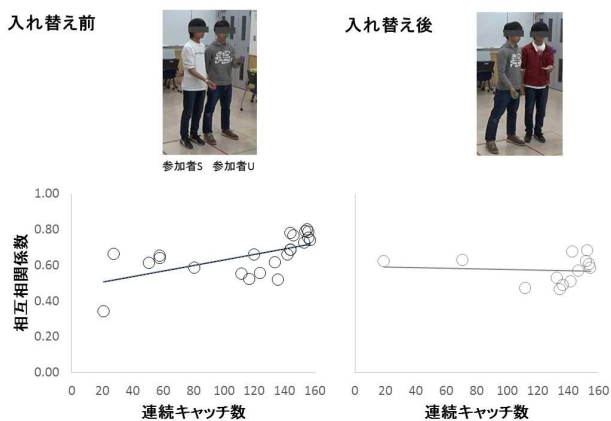


図5 連続キャッチ数と相互相関係数との相関

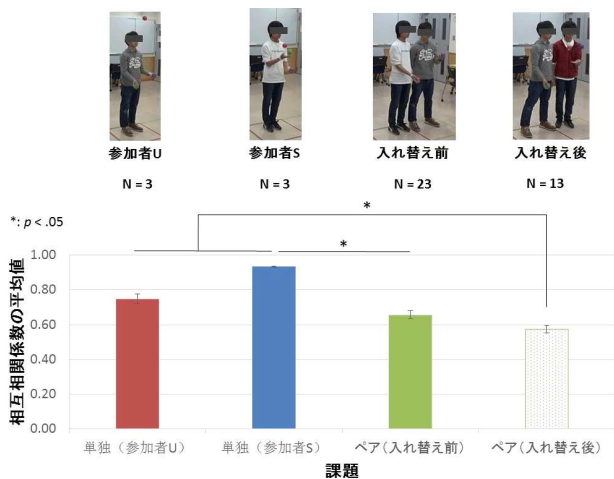


図6 課題間での相互相関係数の比較

手でやっていた最初の時よりも圧倒的に早く、上達したというのは、多分、タイミングが元々合っている状態で始めたからなのかなと感じた」という報告を行った。これは、抽象化したレベルのスキルを他者と共有したことを意識していた可能性を示唆する。予測しづらい他者の行為に対応するうえで、このスキルの「抽象性」が重要であると考えられる。

また、単独カスケードの相互相関係数と比べて、2人カスケードの相互相関係数が低かった箇所を一部確認したことについては、ピアノの課題を用いた先行研究 [10] と同様の結果であった。ペアで課題を行う場合、一方の手が他者であるため、ボールをトスするタイミング等が単独よりも予測しづらかったことが、両手による運動の協調性に影響を与えた可能性が考えられる。

今後は、参加者数を増やして、今回と同様の結果になるかを検討する。さらに、練習中の会話を分析し、具体的にどのようなスキルを共有したかについて詳細に検討する。[11] は、個人間で運動を協調するうえで、行為者の意図が重要な役割を果たす可能性について主張する。運動の協調性に関する特徴が、参加者の言語報告から確認される課題の達成に向けた意図や意識的な工夫と関連するかについて議論する予定である。

## 参考文献

- [1] Konvalinka, I., Vuust, P., Roepstorff, A., and Frith, C. D. (2008) "Follow you, follow me: Continuous mutual prediction and adaptation in joint tapping" *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, Vol. 63, No. 11, pp. 2220-2230.
- [2] Keller, P. E., Knoblich, G., and Repp, B. H. (2007) "Pianists duet better when they play with themselves: On the possible role of action simulation in synchronization" *Consciousness and Cognition*, Vol. 16, No. 1, pp. 102-111.
- [3] Knoblich, G., and Jordan, J. S. (2003) "Action coordination in groups and individuals: Learning anticipatory control" *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, Vol. 29, No. 5, pp. 1006-1016.
- [4] Knoblich, G., and Sebanz, N. (2006) "The social nature of perception and action" *Current Directions in Psychological Science*, Vol. 15, No. 3, pp. 99-104.
- [5] Mazur, E. J. (2006) "Learning Motor Skills", *Learning and Behavior*, NJ: Prentice Hall. (磯博之訳 (2008) "運動技能の学習", メイザーの学習と行動, pp. 301-323, 大阪: 二瓶社)
- [6] Schmidt, R. A. (1975) "A schema theory of discrete motor skill learning" *Psychological Review*, Vol. 82, No. 4, pp. 225-260.
- [7] 中嶋潤一郎 (2001) ボールジャグリング入門, 東京: ナランハ.
- [8] Haibach, P. S., Daniels, G. L., and Newell, K. M. (2004) "Coordination changes in the early stages of learning to cascade juggle" *Human Movement Science*, Vol. 23, No. 2, pp. 185-206.
- [9] Latash, L. M. (1999) "Mirror writing: Learning, transfer, and implications for internal inverse models" *Journal of Motor Behavior*, Vol. 31, No. 2, pp. 107-111.
- [10] Loehr, J. D., and Palmer, C. (2011) "Temporal coordination between performing musicians" *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, Vol. 64, No. 11, pp. 2153-2167.
- [11] Knoblich, G., and Sebanz, N. (2008) "Evolving intentions for social interaction: From entrainment to joint action" *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, Vol. 363, No. 1499, pp. 2021-2031.