運動計測と言語報告に基づく身体スキル習得過程の分析 Analysis of Motor Skill Acquisition Process by Three-dimensional Motion Recording System and Participants' Verbal Reporting

市川 淳†, 三輪 和久†, 寺井 仁‡

Jun Ichikawa, Kazuhisa Miwa, Hitoshi Terai

 [†] 名古屋大学大学院情報科学研究科,[‡] 近畿大学産業理工学部
[†] Graduate School of Information Science, Nagoya University
[‡] Faculty of Humanity-Oriented Science Engineering, Kinki University ichikawa@cog.human.nagoya-u.ac.jp

Abstract

For skill acquisition that needs periodic body movements such as cascade juggling, it is often confirmed that the establishment of stable body movements seems crucial. However, we have a further question: do all jugglers develop through common developmental processes? We investigated the processes of establishing stable body movements, In addition, we also investigated participants' verbal reports referring to what was intentionally concerned for achieving optimum learning in practice. In the experiment, novices practiced three-ball cascade juggling over a period of one week. The result revealed that two fifth of intermediate expert jugglers who performed over 100 successive catches established unique individual body movements. The result also showed that such unique individual body movements were guided based on their intentional focuses in practice.

Keywords — Skill acquisition process, Threedimensional motion recording, Verbal reporting

1. はじめに

スポーツや演奏,曲芸などの分野において,人は, 日々の練習から身体動作に関連するスキル(以下,身 体スキルと呼ぶ)を習得してゆく.

身体スキルでは、最終的な成果であるパフォーマン ス(例:打率,得点)の向上から「習得」が定義され る.そして、パフォーマンスの向上に向けては、運動 学において、最小のエネルギーによる効率的で正確な 身体動作の獲得が重要であると言われている[1].そ のような動作は基本動作として考えられ、分野に関係 なく解説した教本が膨大にある.一方で、基本動作に 従っていなくても,高いパフォーマンスを達成するこ とができる人がいる.

例えば、野球のバッティングでは、ピッチャー側の 足を高く上げて打つ選手が、プロ・アマ問わず存在す る.足を高く上げる動作は、効率性という点で言えば、 余分な、非効率的な動作であると考えられ、基本動作 に従っていないと言える.しかし、多くの場合、選手 たちはその動作を意識して、獲得に向けた練習を行っ ている.「スイングを行うタイミングを取りやすくす る」といった、意識的な工夫である「着眼点」に基づ いて、彼らは足を高く上げる動作を実行していると考 えられる.諏訪 (2009)[2] は、パフォーマンスの向上 や新たなフォームの獲得のためには、自ら積極的に、 意識的にどのように身体を動かせば良いのかなどを考 えることが要求されると主張している.

本研究では、例で挙げたような「個人特有の身体動 作」が、その個人が持つ着眼点に基づいているのかに ついて実験的に検討する.そこで、歩行を始めとする 基盤的運動の1つである、周期的な運動が要求され る身体スキルの習得に注目する.周期的な運動が要求 される身体スキルでは、基本動作と言える、身体を一 意に動かす、身体を動かすタイミングを一意にすると いったような、安定した身体動作の獲得が極めて重要 である.このような身体スキルにおいても、個人特有 の身体動作は観察されるのだろうか.

今回,身体スキルの習得対象として,ボールジャグ リングの中で最も基礎的な課題である3ボールカス ケード(以下,カスケードと呼ぶ)を取り上げる.こ こでは,ボールのトスとキャッチによる周期的な運動 が要求される.そして,安定した身体動作とは「体幹 が動かない」,「上肢の動きが一意である」,及び「上肢 を動かすタイミングが一意である」ことを意味する. また,カスケードでは,パフォーマンスを連続キャッ チ数で客観的に評価することができる.

カスケードを対象にした身体スキル研究は,これま で数多くあり,身体動作の安定性について議論が行わ れている (e.g., [3, 4]). 先行研究では,安定した身体 動作の獲得に関する平均的な遷移パターンについて示 されている.しかし,個人における身体動作の安定性 を捉えた場合,安定した身体動作の獲得がカスケード 習得を意味しているのだろうか,個人特有の身体動作 が観察されることはあるのだろうか.そして,個人特 有の身体動作が観察された際,それは着眼点に基づい ているのだろうか.

本研究では,7日間にわたって練習を行い,カス ケードを習得したジャグラーから上記の点について検 証する.

2. 実験方法

2.1 参加者

大学生,及び大学院生26名(男性,右投げ)が以下で述べる実験オーディションに参加した.彼らは全員,ジャグリング未経験者である.そして,オーディションから選抜された11名(平均20.5歳)が実験に参加した.

2.2 手続き

本実験は、7日間にわたって行われた.1日目に参加者は、ジャグリング専用ボール3個を受け取った. さらに、補助資料として、手続きについて図解された 解説シートが配布された.カスケードは、以下の1.~ 5.の手続きで構成される[5].

- 1. (右投げの場合)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個を左手に投げる
- 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投げる.落下して来るボールはそのまま左手でキャッチする
- 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投げる.落下して来るボールはそのまま右手でキャッチする
- 5. 落ちて来るボールの内側を通して, 交互に左右の 手でボールを投げる

加えて,エキスパートジャグラーによるカスケード の映像が実験室の壁に映し出され,参考にするよう指 示を受けた. 1日目のオーディションでは,制限時間約60分以内 に連続キャッチ数7回以上できた参加者については,2 日目以降の実験に参加することができた.

2日目以降,参加者は補助資料なしで1日最低60 分,各自でカスケードの練習を行った.また,進捗状 況を確かめるために,全ての測定日でパフォーマンス 測定を実施した.パフォーマンス測定では,足下に区 切られた縦70cm×横70cmの枠内でカスケードを行 わせ,ボールをトスしてから落とすまでを1試行とし て,連続キャッチ数を記録した.ここでは,原則10試 行分の記録を行った.

さらに、パフォーマンス測定時の身体動作を3次 元モーションキャプチャで計測を行った.運動計測に あたって、参加者には、左右の手首、肘、肩と胸、計 7 か所に反射マーカーが取り付けられた.これらの 反射マーカーの動きを赤外線カメラ9台(NAC 社 製、Hawk:4台、Hawk-i:5台、サンプリング周波数 100Hz)で捉えた(途中で、Hawk-iが1台故障したた め、8台で計測を実施した).計測により、床を原点 とする各身体部位の位置を3軸方向で記録した(奥行 方向、水平方向、垂直方向).

また,パフォーマンス測定の前後に半構造化インタ ビューを行った.インタビューでは,カスケード習得 に向けて気を付けていた点について,自由に言語報告 を行わせ,参加者が持つ着眼点を記録した.実験者が 内容を理解できない場合は,より詳細な報告を促すな ど柔軟な対応を行った.

3. 実験結果

3.1 パフォーマンス測定

参加者 11 名中 5 名が,実験を通して,少なくとも 1 試行で連続キャッチ数 100 回以上を達成することが できた.連続キャッチ数 100 回以上は, Beek and van Santvoord (1992)[6] が提唱した学習 Stage における 最後の段階であると言われている [7].

本研究では,最後の学習 Stage に到達し,十分に習 得したと言える5名の参加者について,次節以降で, 身体動作の安定性と着眼点に関する分析を行った(以 下,各参加者をA,B,C,D,Eと呼ぶ).

3.2 身体動作の安定性

本研究では,身体的位置の安定性と,時間間隔の安 定性から身体動作の安定性を捉える.前者について は,床を原点とする「胸」の位置の安定性と,胸を原 点とする「手首」の位置の安定性から検討する.

これらは、1章で述べた身体動作の安定性における 「体幹が動かない」、「上肢の動きが一意である」、「上 肢を動かすタイミングが一意である」とそれぞれ対応 する.

3.2.1 分析手続き

本分析では,手首の上下運動に着目し,その最上点 をキャッチに関連する特徴点である「山点」,最下点 をトスに関連する特徴点である「谷点」と定義する. 今回,この両点における,身体的位置の安定性と時間 間隔の安定性を検討する.

具体的に,身体的位置の安定性に関しては,n番目 とn+1番目の山点,及び谷点における胸の位置の「ず れ」と手首の位置の「ずれ」により評価する.時間間 隔の安定性に関しては,n番目とn+1番目の山点,及 び谷点における時間間隔の変動を示す標準偏差により 評価する.

本分析では、ボールを持った状態で開始する影響が 現れると考えられる区間、各手におけるはじめの山点 及び、谷点2つ分については分析から除外した. さら に、連続キャッチ終了に直結するミスの影響が現れる と考えられる区間、最後の山点及び、谷点2つ分につ いても分析から除外した.そして、残り全ての山点、 及び谷点を分析区間とした.

身体的位置の安定性については,各手における n 番 目と n + 1 番目の山点の間で,胸の位置の「ずれ」と 手首の位置の「ずれ」を絶対値としてそれぞれ求め, 平均値を 3 軸方向(奥行方向,水平方向,垂直方向) について算出した.時間間隔の安定性についても, n 番目と n+1 番目の山点の間で,時間間隔を求め,そ の「変動」を標準偏差として算出した.谷点について も,同様の分析を行った.

なお,連続キャッチ数15回未満の試行については, 全ての山点,及び谷点を分析区間として,同様の分析 を行い,参考値として扱うことにした.本分析では, 原則,各測定日におけるベストパフォーマンスから サードベストまでの試行を対象に分析を実施した.

3.2.2 分析結果

本分析では、参加者1人あたり、3軸方向(奥行方 向、水平方向、垂直方向)における、胸の位置のずれ と手首の位置のずれ、及び時間間隔の変動、計7つの 指標を得ることができた.ゆえに、参加者5名分、合 計 35 ケースの身体動作の安定性に関する推移を得る ことができた.

参加者の間で結果を比較したところ,35 ケース中2 ケースで,安定した身体動作と言えないような,特異 的な現象が観察された.具体的には,参加者 E の水平 方向における胸の位置のずれが,他の参加者よりも極 めて大きいことが確認された.さらに,参加者 A の時 間間隔の変動を示す標準偏差の値が,谷点で他の参加 者よりも極めて大きいことが観察された.

このことから,以上の2つのケースは,個人特有の 身体動作を示している可能性がある.

3.3 着眼点

3.3.1 分析手続き

カスケード習得に向けて気を付けていた点に関する 言語報告を,練習を通した意識的な工夫を意味する着 眼点として,以下の4つに分類を行った.1つ目は, 「(落下してくるボールの)内側に手を通す」や「下半 身を動かして逸れたボールに対応する」といった手続 き上不可欠な着眼点である.2つ目は,「目線先を固定 する」といった一意の視線先に関する着眼点である. 3つ目は,「ボールの軌道を一意にする」や「一定の位 置でトスとキャッチを行う」,さらには「テンポを決 めてトスを行う」といった,安定したボール運動や安 定した身体動作に関する着眼点である.4つ目は,「腕 を高く振り上げる」といった,独自の工夫を意味する 着眼点である.

1つ目から3つ目の着眼点については、カスケード 習得に向けた「一般的な着眼点」を示している.一方 で、4つ目は、一般的ではない、「個人特有の着眼点」 を示している.

なお,単に「集中する」といった抽象度が高い報告 や,カスケード習得に関係ない報告については,分析 から除外した.

3.3.2 分析結果

4つの分類を行い,参加者ごとに,全測定日を通し て確認された各着眼点の個数を見てゆくと,全ての参 加者において,一般的な着眼点である,手続き上不可 欠な着眼点,あるいは安定したボール運動や安定した 身体動作に関する着眼点が最も多かった.一意の視線 先に関する着眼点は,全ての参加者で確認されたもの の,他の一般的な着眼点よりは少なかった. 一方で,個人特有の着眼点については,参加者 B と 参加者 E で複数確認されたが,参加者 A,参加者 C, 及び参加者 D では,あまり確認されなかった.次に, 個人特有の着眼点の詳細を見てゆくと,参加者 A の 「トスの直前にボールの握りを修正する」と,参加者 E の「身体全体を使って腕を振る」の両着眼点につい ては,測定日を通して実行している様子が顕著に現れ ていることをビデオ映像から確認することができた.

3.4 結果まとめ

ここでは,個人特有の身体動作が着眼点に基づいて いるのかについて検討を行う.

参加者 A では,4日目に「手のひらでボールをトス すると逸れやすいので,ボールを手の上で転がして指 先でトスができるようにする」といった言語報告が確 認された.これは,個人特有の着眼点である「トスの 直前にボールの握りを修正する」を意味する.つまり, 時間間隔の変動がトスの特徴点で極めて大きくなる個 人特有の身体動作は,上記の着眼点に基づいている可 能性が考えられる.

さらに、参加者 E については、3 日目から5 日目 に掛けて、「ボール同士がぶつからないように(正面 から見た際の)手の位置が身体の中心よりもずれるよ うに、(中心の位置にならないように身体全体で手や 腕を動かして)トスを行う」といった言語報告が確認 された(括弧は、インタビューで回答する際のジェス チャーによる補足である).これは、個人特有の着眼 点である「身体全体を使って腕を振る」を意味する. つまり、水平方向における、身体全体の動きに関係す る胸の位置のずれが極めて大きくなる個人特有の身体 動作は、上記の着眼点に基づいている可能性が考えら れる.

今回,以上の2つの着眼点が,身体動作に作用していることを確認することができた.

4. 考察

本研究では,連続キャッチ数 100 回以上を達成した 参加者 5 名について,身体動作の安定性と着眼点に 関する分析を行った.連続キャッチ数 100 回以上は, Beek and van Santvoord (1992)[6] の学習 Stage にお ける最後の段階である [7]. このことから,参加者 5 名 は同程度の習得段階であると言える.

しかし,身体動作の安定性については,2名の参加 者で個人特有の身体動作が観察された.さらに,個人 特有の身体動作が,その個人が持つ着眼点に基づいていることが確認された.

鈴木・大西・竹葉 (2008)[8] は,スキル習得過程に おける意識的制御の影響について議論することが重要 であると主張している.本実験の結果は,着眼点によ る意識的制御が身体動作に作用することを示唆してい ると考えられる.では,カスケード習得の過程におい て,個人特有の身体動作はどのように現れたのだろう か.加えて,今回,観察された,着眼点に基づく個人 特有の身体動作は,ジャグリング全般の「熟達」に向 けてどのような影響を与えるのだろうか.

本実験では、2名の参加者について、いずれも習得 の初期で、個人特有の身体動作が確立されたことを確 認した.ここでは、「着眼点が見出されてから、個人特 有の身体動作が確立される」といった現象は観察され なかった.諏訪 (2005, 2009)[2, 9] や Suwa (2008)[10] は、積極的に着眼点を見出してゆくことで、その着眼 点がパフォーマンスや身体動作に変化を与えると主張 している.これらの先行研究を踏まえると、本実験の 結果においては、着眼点が身体動作に作用している可 能性が考えられる.しかし、両者の因果関係について は今後、詳細に検討する必要があるだろう.

また,先行研究では,5つや7つのボールを使って ジャグリングができるジャグラーをエキスパートと定 義しており (e.g., [11]),ジャグリング全般が熟達して いることを意味する.一方で,本実験の参加者5名は, 3ボールカスケードのみを習得した.これは,ジャグ リングの中級レベルを意味しており (e.g., [11]),熟達 の途中段階であると言える.このことから,本実験 で観察された着眼点に基づく個人特有の身体動作は, ジャグリングの熟達に向けた阻害要因になるかもしれ ない.今後は,5ボールや7ボールカスケード習得ま での過程を観察する長期的な実験を行うことで,上述 した点について実験的に検討を行う必要がある.

5. まとめ

本研究では,連続キャッチ数100回以上を達成した ジャグラー5名のうち2名において,個人特有の身体 動作が観察された.加えて,個人特有の身体動作が, 意識的な工夫である着眼点に基づいていることが確認 された.

今後は、考察で挙げた「個人特有の身体動作と着眼 点の因果関係」や、「着眼点に基づく個人特有の身体動 作が熟達に向けた促進要因、あるいは阻害要因になる のか」について実験的な検討を行う予定である.

参考文献

- 中村 隆一·齋藤 宏・長崎 浩 (2003). 『基礎運動学』. 東京: 医歯薬出版.
- [2] 諏訪 正樹 (2009). 身体的メタ認知:身体知獲得の認知的 方法論. 古川 康一 (編著). 『スキルサイエンス入門』, pp. 157-185. 東京:オーム社.
- [3] 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.
- [4] 山本 耕太 (2012). 3 ボールジャグリング学習過程における時空間的変数の変化. 『愛知教育大学保健体育講座研究紀要』, Vol. 37, pp. 83-85.
- [5] 中嶋 潤一郎 (2001). 『ボールジャグリング入門』. 東京: ナランハ.
- [6] Beek, P. J., and van Santvoord, A. A. M. (1992). Learning the cascade juggle: A dynamic systems analysis. *Journal of Motor Behavior*, Vol. 24, No. 1, pp. 85-94.
- [7] Hashizume, K., and Matsuo, T. (2004). Temporal and spatial factors reflecting performance improvement during learning three-ball cascade juggling. *Human Movement Science*, Vol. 23, No. 2, pp. 207-233.
- [8] 鈴木 宏昭・大西 仁・竹葉 千恵 (2008). スキル学習にお けるスランプ発生に対する事例分析的アプローチ.『人 工知能学会論文誌』, Vol. 23, No. 3, pp. 86-95.
- [9] 諏訪 正樹 (2005). 身体知獲得のツールとしてのメタ認 知的言語化. 『人工知能学会誌』, Vol. 20, No. 5, pp. 525-532.
- [10] Suwa, M. (2008). A Cognitive model of acquiring embodied expertise through meta-cognitive verbalization. *Transactions of the Japanese Society for Artificial Intelligence*, Vol. 23, No. 3, pp. 141-150.
- [11] van Santvoord, A. A. M., and Beek, P. J. (1996). Spatiotemporal variability in cascade juggling. Acta Psychologica, Vol. 91, No. 2, pp. 131-151.