

## ノービスによる身体スキル獲得過程：身体動作と着眼点からの検討

## Analysis of Motor Skill Acquisition Process by Novice Jugglers: Investigation of Participants' Body Movements and Their Intentional Focuses in Practice

市川 淳\*<sup>1</sup> 三輪 和久\*<sup>1</sup> 寺井 仁\*<sup>2</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

Graduate School of Information Science, Nagoya University

\*<sup>2</sup>名古屋大学大学院情報科学研究科/JST CREST

Graduate School of Information Science, Nagoya University/ CREST, JST

We investigated how there are differences of body movements and intentional focuses between novices in their motor skill acquisition process. In the experiment, novices practiced three-ball cascade juggling over a period of one week. We analyzed the stability transition of body movements and verbal reports referring to what they intentionally concerned for achieving the optimum learning in practice. The result showed a possibility that there is a relationship between the acquisition of stable body movements, and the verbal reporting about whether novices focus on the control of timing and rhythm in practice.

## 1. はじめに

スポーツや伝統芸能などで要求されるスキルは、身体として表現される暗黙的なスキルである（以下、身体スキルと呼ぶ）。身体スキルに関する研究は、運動学やスポーツ科学の分野だけでなく、近年、人工知能や認知科学においても、様々な手法を用いて実験的に検討が行われている（e.g., [古川 09]）。

古川ら [古川 05] は、身体スキル研究の発展に向けて、運動計測から得られた身体動作に関するデータと、言語報告から得られた思考や知覚に関するデータの双方から、身体スキルについて議論する重要性を訴えている。運動計測に基づく分析に主軸をおいた研究では、運動学やスポーツ科学をはじめ、身体動作の特徴に関して膨大な蓄積がある。しかし、これらの中で、どのようなことに着目して練習を行っていたのかといった、意識的活動と関連付けて検討した研究は多くない。

一方、言語報告に基づく分析に主軸をおいた研究では、Suwa [Suwa 08] をはじめ、学習者の思考や知覚に関連する意識的活動について検討しており、身体スキル獲得を促進するツールとして、メタ認知的言語化が提唱されている。学習者が積極的に言語報告を行うことで、新たな着眼点や着眼点同士の関係性の発見が促進されると主張している。しかし、ここでは、身体スキル獲得過程における身体動作の変化を詳細に捉えるための実験的検討は行われていない。

以上より、運動計測と言語報告の双方に基づく身体スキル獲得に関する検討は、古川ら [古川 05] でその重要性が主張されているものの、未だにその取り組みは少ないと考えられる。そこで、本研究では、身体スキル獲得過程において、同程度の学習段階に到達したノービスの間で、身体動作と着眼点にどのような特徴的な差異があるのかについて実験的に検討する。本研究では、練習時に課題を達成するうえで意識的に着目していた点を着眼点と呼ぶことにする。

本研究では、身体スキル獲得の課題として、3 ボールカスケード（ボールジャグリング）を取り上げる。3 ボールカスケード

連絡先: 氏名: 市川 淳

所属: 名古屋大学大学院情報科学研究科

住所: 名古屋市千種区不老町 電話番号: 052-789-4748

E-mail: ichikawa@cog.human.nagoya-u.ac.jp

スケード（以下、カスケードと呼ぶ）は、ボールジャグリングの中で最も基本的な身体スキルである。カスケードでは、多くの身体スキルと同様、運動制御や、タイミングやリズムに関連する時間制御が要求され、これまで数多くの先行研究がある（e.g., [Hashizume 04]）。また、ボールの連続キャッチ数でパフォーマンスを客観的に評価することができる課題である。そして、カスケードは、多くの実験参加者にとって新規に獲得する身体動作であるため、初期段階からの熟達を検討できるなど、課題として優れた特質を有している。

カスケードのような周期的な運動が要求される課題においては、身体動作の安定性が重要であると考えられる。そこで、本研究では、カスケードを行う際の (1) 身体的位置の安定性と、(2) 時間間隔の安定性、2つを用いて身体動作の安定性を捉えることを試みる。

分析上の便宜から、手首の上下運動に着目し、その最下点をトスに関連する特徴点である「谷点」、最上点をキャッチに関連する特徴点である「山点」と定義する（図 1）。これらの両点における、(1) 身体的位置の安定性と、(2) 時間間隔の安定性を検討する。(1) については、「身体全体を動かさずにカスケードが行われること」と、「腕の振りにおける、安定性した周期的な運動により、カスケードが行われること」の2つが鍵となる。そこで、前者を、身体全体の動きと関連する「胸」の位置の安定性で、後者をボールに触れる手のひらに直結する「手首」の位置の安定性で、それぞれ評価を行う。

本研究では、ノービスに7日間、カスケードの練習を行わせた。身体動作の安定性は運動計測で、着眼点は言語報告で、それぞれ測定された。

## 2. 実験方法

## 2.1 参加者

大学生、及び大学院生 26 名（男子、右投げ、ジャグリング未経験）が、以下で述べる実験オーディションに参加した。そして、オーディションを通過した 11 名（平均 20.5 歳）が実験に参加した。

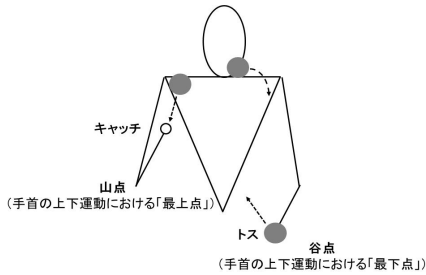


図 1: 山点と谷点の定義

## 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、投げ方について図解された解説シートが配布された。加えて、エキスパート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日目は、オーディションを行った。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は、2日目以降の実験に参加することができた。結果、11名が2日目以降の実験に参加した。2日目以降は、補助資料なしで1日最低60分、各自で練習を行った。

進捗状況を確認するために、2日目以降、連続キャッチ数を測るパフォーマンス測定を実施した。ここでは、足下に区切られた縦70cm×横70cmの枠内でカスケードを原則10試行、最大25試行実施した。

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した。計測にあたって、左右の手首、肘、肩、そして胸、計7か所に反射マーカが取り付けられた。これらの反射マーカの動きを赤外線カメラ9台(NAC社製, Hawk: 4台, Hawk-i: 5台, サンプル周波数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)。3次元モーションキャプチャにより、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、カスケードを続けるうえでの重要な点について、自由に言語報告を行わせた。

## 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、パフォーマンスを大きく向上させ、7日間を通して、少なくとも1試行で連続キャッチ数100回以上を達成したことが確認された。その5名について、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を対象にパフォーマンス平均値を算出した。図2は、その推移である。横軸は測定日、縦軸はパフォーマンス平均値(回数)である。エラーバーは、標準誤差である。

今回は、参加者Aと参加者Bの2名について、以下の身体動作の安定性と着眼点に関する分析を行う。

### 3.2 身体動作の安定性

7日目のベストパフォーマンスを記録した1試行を対象に、床を原点とする右手首の垂直方向における位置の時系列推移を図3に示す。参考までに、5ボールカスケードを習得しているエキスパートジャグラーによる時系列推移も示す。

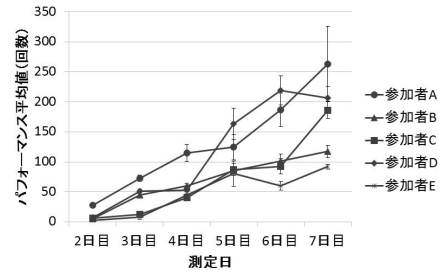


図 2: パフォーマンス平均値の推移

図3より、参加者Bでは、エキスパートジャグラーと同様、滑らかなsinカーブを描いていることが視覚的に確認できる。ゆえに、参加者Bは、エキスパートジャグラーのような規範的な身体動作を獲得したと考えられる。一方、参加者Aでは、谷点周辺において、滑らかなカーブを描けておらず、いわゆるタメが観察される。以上より、参加者Aと参加者Bでは、身体動作に特徴的な差異がある可能性が考えられる。

### 3.2.1 身体的位置の安定性

#### 分析手続き

身体的位置の安定性に関して、以下の2つの指標を用いた分析を行う。図1に基づく、(1)「谷点」と「山点」における「胸」の位置の安定性と、(2) 両点における「手首」の位置の安定性である。

(1)を、 $n$ 番目と $n+1$ 番目の谷点(及び、山点)間での、床を原点とする胸の絶対的位置の「ずれ」によって、(2)を、同様の谷点(及び、山点)間での、胸を原点とする手首の相対的位置の「ずれ」によって、それぞれ評価する。本分析では、定常化した身体的位置の安定性を検討するために、カスケード開始からはじめの谷点2つ分は、ボールを手を持った状態による初期状態の影響が現れる区間とみなし、分析から除外した。さらに、最後の谷点2つ分についても、終了直前状態の区間とみなし、分析から除外した。そして、残りを定常状態の区間として、左右の手首の運動による谷点を分析対象とした。 $n$ 番目と $n+1$ 番目の谷点で、胸の絶対的位置のずれ、及び、手首の相対的位置のずれをそれぞれ求め、その平均値を3軸方向について算出した。山点についても、同様の分析を行った。

なお、連続キャッチ数が10回程度の場合は、参考値として、カスケード開始から全ての谷点、及び山点を対象に分析を行った。本分析は、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を対象に実施した。

#### 分析結果

分析結果を、図4と図5にそれぞれ示す(参加者Bの2日目の記録は参考値であるため、他の測定日とは異なる色でプロットしている)。全てのグラフで横軸は測定日、縦軸は位置のずれの平均値(mm)を表す。また、各測定日の上にある数字は、パフォーマンス平均値(回数)である。

各参加者について、3軸方向の全てにおける胸の位置のずれと、手首の位置のずれに対して、測定日要因(2日目, 3日目, 4日目, 5日目, 6日目, 7日目)と、特徴点要因(谷点, 山点)による、2要因被験者内の分散分析を行った(参加者Bの2日目の記録は参考値であるため、3日目以降の5水準で分析を行った)。ここでは、練習によって、どの程度安定性を向上させたのが重要である。ゆえに、測定日要因の主効果、及び、交互作用の有意に基づく下位検定の結果から、各測定日の間で有意差があった箇所のみ焦点をあて、以下で議論を行う。

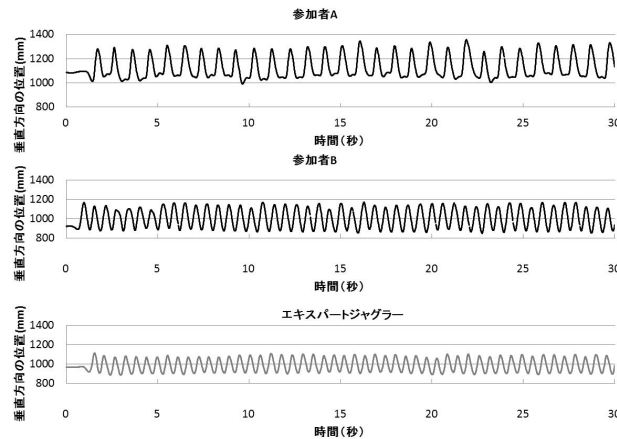


図 3: 右手首の垂直方向における位置の時系列推移 (カスケード開始から 30 秒間)

図 4 より, 胸の位置のずれにおいて, 参加者 A では, 全ての方向で, 谷点と山点ともに, 5 日目以降, ある一定の水準以上, 安定性が向上しないことが確認された. 一方, 参加者 B では, 全ての方向で, 谷点と山点ともに, 3 日目以降, ある一定の水準以上, 安定性が向上しないことが確認された.

図 5 より, 手首の位置のずれにおいて, 参加者 A では, 全ての方向で, 谷点と山点ともに, 5 日目以降, ある一定の水準以上, 安定性が向上しないことが確認された. 一方, 参加者 B では, 全ての方向で, 谷点と山点ともに, 5 日目以降, ある一定の水準以上, 安定性が向上しないことが確認された.

以上の結果は, 両参加者ともに, 手首と胸において, 最終的に一定の水準の安定性を獲得したことを示唆する.

### 3.2.2 時間間隔の安定性

#### 分析手続き

時間間隔の安定性に関して, 以下の 2 つの指標を用いた分析を行う. (1)  $n$  番目と  $n+1$  番目の谷点における時間間隔の安定性と, (2) 山点における同様の時間間隔の安定性である. 両者を時間間隔の変動を示す標準偏差を用いて評価する. 身体的位置の安定性と同様, 定常状態の区間における時間間隔の安定性を検討する. 左右の手首の運動による谷点を分析対象に,  $n$  番目と  $n+1$  番目の谷点で時間間隔を求め, その標準偏差を算出した. 山点についても, 同様の分析を行った.

なお, 時間間隔の安定性についても, 連続キャッチ数 10 回程度の場合には, 参考値として, カスケード開始から全ての谷点, 及び山点を対象に分析を行った. 本分析は, 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を対象に実施した.

#### 分析結果

分析結果を, 図 6 に示す (参加者 B の 2 日目の記録は参考値であるため, 他の測定日とは異なる色でプロットしている). 両グラフともに横軸は測定日, 縦軸は時間間隔の変動を示す標準偏差の平均値 (mm) を表す. また, 各測定日の上にある数字は, パフォーマンス平均値 (回数) である.

各参加者の時間間隔の変動に対して, 身体的位置の安定性と同様, 測定日要因と, 特徴点要因による, 2 要因被験者内の分散分析を行った.

参加者 A では, 特徴点要因のみで主効果が確認された (測定日要因:  $F(5, 10) = 2.12, n.s.$ ; 特徴点要因:  $F(1, 2) = 3955.65, p < .001$ ; 交互作用:  $F(5, 10) = 0.87, n.s.$ ). これは, 谷点における時間間隔の変動を示す標準偏差の値が, 山点よりも

有意に大きいことを示す. 一方, 参加者 B では, 測定日要因の主効果は確認されず, 特徴点要因は有意傾向であった (測定日要因:  $F(4, 8) = 0.44, n.s.$ ; 特徴点要因:  $F(1, 2) = 12.47, p < .10$ ). 交互作用については, 有意でなかった ( $F(4, 8) = 0.92, n.s.$ ). さらに, 時間間隔の変動は, 谷点と山点ともに, 変動を示す標準偏差の値が小さく保たれていたことが観察された.

以上の結果は, 同じように連続キャッチ数 100 回以上を達成した参加者であっても, 時間間隔の安定性に関して, 特徴的な差異があることを示唆する.

### 3.3 着眼点

半構造化インタビューより, 参加者がどのような点に着目して練習を行っていたのかという視点から, 着眼点に関する分析を行う.

本分析では, 大谷 [大谷 11] で提唱されている SCAT (Steps for Coding Theorization) を用いて, 報告内容の一般化を行う. そして, 一般化された報告を着眼点として, 参加者 2 名における特徴について以下で検討する.

参加者 2 名の着眼点には, それぞれ以下のような特徴があった. まず, 参加者 A については, 練習の中盤である 4 日目に, 「指先でトスをするように, ボールを手の上で転がして調整を行う」や, 「トスを行うための時間をつくる」, 「ボールの握りを修正する」といった, ボールを正確に投げるために, トスの直前の準備に対して, 意識的に着目していたことが確認された.

一方, 参加者 B では, 練習の序盤である 3 日目から既に, タイミングやリズムに関連する時間に対して, 意識的に着目していたことが確認された. 参加者 A においては, 参加者 B のような時間制御の確立に関する着眼点は, 7 日間を通して観察されなかった.

以上の結果は, 時間間隔の安定性に加えて, 着眼点においても, 参加者の間で特徴的な差異があることを示唆する.

## 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 2 名を対象に, 身体動作の安定性と, 練習を通して意識的に着目していた点 (着眼点) について比較検討した. 連続キャッチ数 100 回以上を達成した段階は, カスケードの学習 Stage における最後の段階である [大谷 11].

Hashizume ら [Hashizume 04] の知見を踏まえると, 連続キャッチ数の側面で見れば, 参加者 A と参加者 B は同程度の

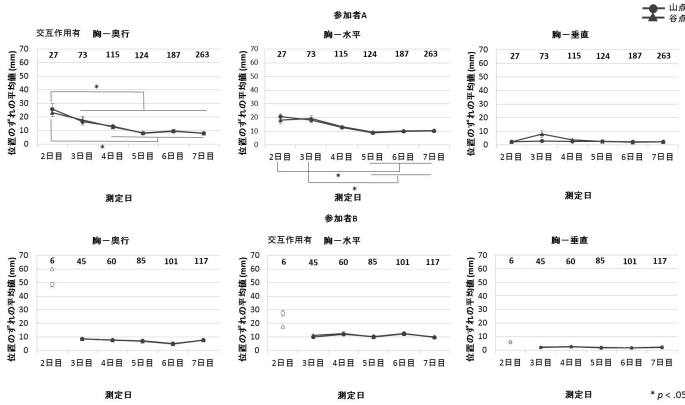


図 4: 胸の位置のずれの推移

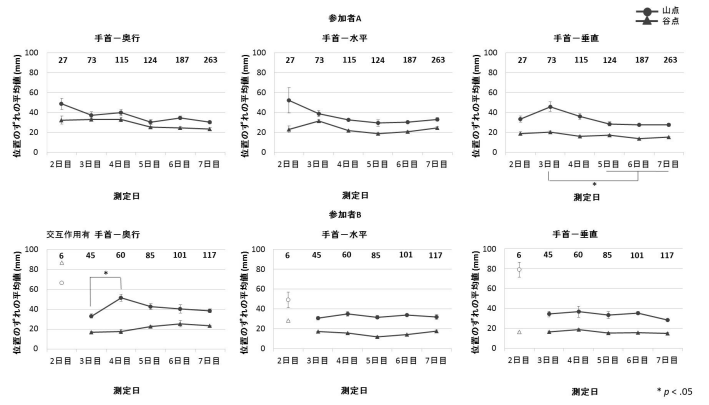


図 5: 手首の位置のずれの推移

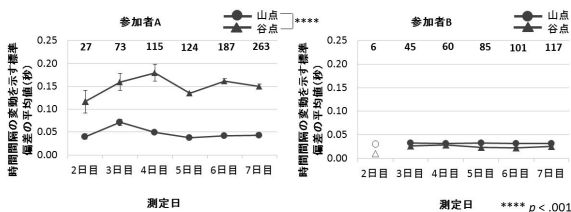


図 6: 時間間隔の変動の推移

学習段階であるといえる。さらに、身体的位置の安定性に関しても、両参加者は手首と胸ともに、最終的に、一定の水準の安定性を獲得したことが確認された。一方、着眼点や時間間隔の安定性の側面においては、参加者の間で特徴的な差異が観察された。

着眼点において、参加者 B では、練習の序盤 (3 日目) で「時間制御の確立」に関して、意識的に着目していた。学習者の中で、カスケードを維持するための適切なタイミングやリズムを決めて、そこに意識を向けて練習を行っていたことが考えられる。一方、参加者 A では、「トスの直前の準備」に関して、意識的に着目していた。これは、適切なボールコントロールを実現するために、手の上でボールを持つ箇所を (手のひらから) 指先へ修正することを意味する。参加者 A では、参加者 B のような時間制御の確立ではなく、トスを行う箇所の修正に意識を向けて練習を行っていたことが考えられる。

時間間隔の安定性においても、参加者 B では、谷点と山点ともに、変動を示す標準偏差の値が小さく保たれていたが、参加者 A では、谷点における標準偏差の値が、山点よりも有意に大きかった。

各参加者における、着眼点と時間間隔の安定性に関する特徴は、相互に対応していると考えられる。参加者 A について、トスの特徴点である谷点で時間間隔の変動を示す標準偏差の値が山点よりも大きいこと、さらには、手首の運動軌跡 (図 3) における、谷点周辺で滑らかなカーブを描けていないことは、トスの直前にボールを持つ箇所を修正するフェーズを入れることと関係している可能性が考えられる。一方、参加者 B についても、谷点と山点ともに、時間間隔の変動を示す標準偏差の値が小さく保たれていたことは、学習者の中で適切なタイミングやリズムを決めて、カスケードを行うことと関係している可能性が考えられる。

Suwa [Suwa 08] は、身体動作と思考、知覚のインタラクションにより、身体スキル獲得が実現されると主張している。本研究における、着眼点と時間間隔の安定性に関する特徴が相互に対応していることは、このインタラクションを示唆しているのかもしれない。

## 5. むすび

本研究では、身体スキル獲得過程において、同程度の学習段階に到達したノービスの間で、身体動作と着眼点にどのような特徴的な差異があるのかについて実験的に検討を行った。

その結果、連続キャッチ数 100 回以上という高いパフォーマンスを達成した参加者であっても、時間間隔の安定性と着眼点に特徴的な差異があり、かつ、それらが相互に対応している可能性を示唆した。

今後は、連続キャッチ数 100 回以上を達成した他の参加者においても、同様の議論が可能なのかについて検討する予定である。

## 参考文献

- [古川 09] 古川 康一 (編著) : スキルサイエンス入門, オーム社 (2009)
- [古川 05] 古川 康一, 植野 研, 尾崎 知伸, 神里 志穂子, 川本 竜史, 渋谷 恒司, 白鳥 成彦, 諏訪 正樹, 曾我 真人, 瀧 寛和, 藤波 努, 堀 聡, 本村 陽一, 森田 想平: 身体知研究の潮流—身体知の解明に向けて—, 人工知能学会論文誌, Vol. 20, pp. 117–128 (2005)
- [Hashizume 04] Hashizume, K., and Matsuo, T.: Temporal and Spatial Factors Reflecting Performance Improvement during Learning Three-ball Cascade Juggling, *Human movement science*, Vol. 23, pp. 207–233 (2004)
- [大谷 11] 大谷 尚: SCAT: Steps for Coding and Theorization —明示的手続きで着しやすく小規模データに適用可能な質的データ分析手法—, 感性工学, Vol. 10, pp. 155–160 (2011)
- [Suwa 08] Suwa, M.: A Cognitive Model of Acquiring Embodied Expertise Through Meta-cognitive Verbalization, *Transactions of the Japanese Society for Artificial Intelligence*, Vol. 3, pp. 399–408 (2008)