運動計測と言語報告に基づく身体スキル獲得に関する実験的検討

Analysis of Motor Skill Acquisition in Novice Jugglers by Three-dimensional Motion Recording and Participants' Verbal Reporting

市川 淳
Jun Ichikawa

名古屋大学大学院情報科学研究科
Graduate School of Information Science, Nagoya University
ichikawa@cog.human.nagoya-u.ac.jp

三輪 和久
Kazuhisa Miwa

(同 上)
miwa@is.nagoya-u.ac.jp

寺井 仁
Hitoshi Terai

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
terai@is.nagoya-u.ac.jp

keywords: skill acquisition, three-dimensional motion recording, verbal reporting

Summary

For skill acquisition that needs periodic body movements as cascade juggling, the establishment of stable body movements seems crucial. We investigated them in each of the learning stages defined by the Beek and van Santvoord (1992) framework. In addition, we investigated participants' verbal reports about 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. We focused on two types of stabilities: the stability of chest movement representing torso movement, and another stability of wrist movement representing arm swing. The result revealed that the skills for establishing stabilities of torso movement and arm swing were acquired sequentially. In this case, the stability of arm swing emerged between Stage 2 (by 50 successive catches) and Stage 3 (by over 100 successive catches), and another stability of torso movement emerged between Stage 3 and the expert stage in which jugglers had acquired complete skills for performing five-ball cascade juggling. The result also showed that in the establishment of stable arm swing, the development of the stability occurred only in passive catching behavior, but did not in active tossing behavior. Additionally, we found that the participants who did not develop beyond Stage 1 (by 10 successive catches) trained themselves while focusing on their specific physical movements.

1. 導 入

スキルは、経験や訓練によって獲得される課題解決能力のことである [橋詰 12, 岩田 02]。その中でも、スポーツや伝統芸能などで要求されるのは、訓練によって身体動作として獲得されたスキル [古川 05] である (以下、身体スキルと呼ぶ)。情報技術の発達により高い精度の測定技術、解析技術が実現され、身体スキルに関する研究は新たな局面を迎えている。例えば、人工知能におけるデータマイニング手法を用いて、人間がもつ身体スキルの「巧みさ」を抽出する試みが行われている。ここで述べる「巧みさ」とは、あらゆる状況で、課題に対する適切な解決をもたらす運動能力のことである [Bernstein 96]。

身体スキル研究における主な実験方法としては、熟達者 (エキスパート) と初学者 (ノービス) における課題遂行中の身体動作を比較検討する方法がある。また、ノー

ビスが熟達してゆく過程を観察する方法もある。後者では、運動パターンが無秩序な状態から秩序ある安定した状態へ遷移する自己組織化が着目されている [Handford 97, 山本 05]。一方、認知科学的観点から身体スキル獲得における思考、着眼点の変化を捉える試みも行われており、身体スキル研究は学際的な発展が期待されている [古川 05]。

本研究では、身体スキル獲得の課題として3ボールカスケードを取り上げる。3ボールカスケード (以下、カスケードと呼ぶ) は、ボールジャグリングのなかで最も基本的な身体スキルとされている。カスケードは、(1)~(5)で構成される [中嶋 01]。

- (1) (右投げの場合) ボールを右手に2つ、左手に1つ持つ
- (2) 右手にあるボールの1つを左手に向けてトスする
- (3) ボールが左手に落ちてきたら、その内側を通すようにして左手にあるボールを右手に向けてトスする。

- 落ちてくるボールはそのまま左手でキャッチする
- (4) 左手からトスしたボールが右手に落ちてきたら、同じように右手のボールを内側を通して左手に向けてトスする。落ちてくるボールはそのまま右手でキャッチする
- (5) 同じように落ちてくるボールの内側を通してトスし、左右の手でこれを交互に繰り返す

カスケードの遂行には、周期的な運動、具体的には、ボールを投げる「トス」と、ボールを受け取る「キャッチ」の周期的な運動が要求される。このような周期的な運動は多くの身体動作に共通して現れ、身体スキル全般を支える基盤的運動の 1 つであると考えられる。また、カスケードは先述した自己組織化の特徴が現れる代表的な課題でもある。そして、実験課題としてのカスケードを考えた場合においても、「ボールの連続キャッチ数で客観的にパフォーマンスを評価することができること」や、「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、身体スキル獲得における初期段階からの熟達を検討できること」など、優れた特質を有している。

Beek ら [Beek 92] は、自己組織化によるカスケードの熟達段階として、3 段階で構成される学習 Stage を提唱した。Stage 1 は、カスケードに要求される動きを理解する段階であり、ボールの軌道と身体動作が連動していない。ボールの連続キャッチ数でいえば 10 回程度しかできない段階に対応する。続いて、Stage 2 では 50 回程度、さらに Stage 3 では 100 回以上の連続キャッチができるようになる [Hashizume 04]。この Stage 2 と Stage 3 では、単に連続キャッチ数が異なるだけでなく、ボール保持率に特徴的な差異がある。ボール保持率とは、一方の手でトス（あるいはキャッチ）してから、同じ手において再度トス（あるいはキャッチ）するまでの時間に対する、ボールを保持している時間の割合である。Beek ら [Beek 92] によれば、Stage 2 では、連続キャッチ数の増加に対しても、ボール保持率が 75% 程度に維持され、その時期が一定程度継続するとされる。その状態から、ボール保持率のさらなる減少が始まると Stage 3 に移行する。そして、5 つのボール、7 つのボールを用いたジャグリングができると、エキスパートに至ると考えられる。

カスケードのような周期的な運動では、自己組織化を達成するうえで、身体動作の安定性が鍵となる。本研究では、カスケードに要求される動きを理解したと考えられる Stage 2 からエキスパートの各熟達段階に焦点をあて、身体動作の安定性に関する検討を行う。本研究では、身体動作の安定性を以下の 2 つの観点から捉える。1 つ目は、「身体を中心を動かさずにカスケードが行われること」で、これを「体幹」の動きの安定性とする。2 つ目は、「腕の振りにおける、安定した周期的な運動によりカスケードが行われること」で、これを体幹の動きに対する「上肢」の動きの安定性とする。カスケードでは、これらの体幹と上肢、双方の動作の安定性の確立が要求さ

図 1 谷点と山点の定義

れると考えられる。

体幹の動きについては、カスケードと同様に周期的な運動が要求される歩行において、胸部や重心に着目して、ぶれの少ない安定した運動について議論されている [中村 03, Stokes 89]。ここでは、体幹の動きは、歩行全体の動きの安定性に影響があると考えられている。また、上肢の動きについては、歩行 [中村 03] や、カスケードと同様に対象物（ボール）の操作が要求されるテニスのストローク [山本 05, Yamamoto 00] において、体幹の動きに対して上肢の運動がどのように遂行されるのか、さらに後者では、同じストロークの繰り返しが要求される際に、上肢の運動がどのような収束をみせるのかに関して議論が行われている。本研究では、体幹の動きを「胸」の動きの安定性によって、上肢の動きをボールのトスとキャッチを行う手のひらに直結する「手首」の動きの安定性によって、それぞれ評価する。

加えて、カスケードにおいて、トスはボールを投げようとする能動運動、キャッチは落下してくるボールに対応する受動運動として捉えることができる。カスケードでは、この能動運動と受動運動の繰り返しが要求される。上肢の動きの安定性の確立に関しては、能動運動と受動運動のそれぞれについて検討する。分析上の便宜から、手首の上下運動の最下点を「谷点」と定義し、最上点を「山点」と定義して、その両点における上肢の動きの安定性を検討する (図 1)。前者はトスに関連する能動運動の、後者はキャッチに関連する受動運動の、それぞれにおける特徴点となる。

以上をまとめると、カスケードを維持するためには、「体幹の動きの安定性と上肢の動きの安定性の確立」が重要であり、後者に関しては、「上肢の動きにおける安定した能動運動と受動運動」が鍵となる。本研究では、これらの体幹の動きの安定性と上肢の動きの安定性が、Beek ら [Beek 92] が定義した学習 Stage のどの段階で確立されるのかを、エキスパートも含めて明らかにする。この目的に関連して、以下の 3 つのリサーチ・クエスチョンを設けて実験的に検討を行う。

RQ1: 熟達段階が異なるジャグラー間で、体幹の動きの安定性と上肢の動きの安定性はどのように異なるのか

RQ2: 上肢の動きの安定性は、能動運動と受動運動により確立され则认为られるが、両運動の安定性は、各熟達段階とどのように関連するのか

Wickstrom [Wickstrom 75] や山本 [山本 07] は、打動作全般の身体スキル獲得過程において、最終段階で体幹の回旋と上肢の回旋による一連の動きが定まると主張した。この場合、体幹と上肢、双方の動作がともに確立されることで、一連のフォームが構築されることを示唆している。一方、小児歩行においては、中枢神経系の制御に伴い、体幹の動きが確立されてから下肢の動きが確立される [中村 03] とされ、両者の動きが段階的に確立されることを意味する。RQ1 に関しては、このように体幹の動きの安定性と上肢の動きの安定性が同じ熟達段階で確立されるのか、あるいは、異なる熟達段階で確立されるのかを検証する。

Hashizume ら [Hashizume 04] は、カスケードの身体スキル獲得過程において、ボールの位置の変動が、特に水平方向に関して、トス時で減少することを明らかにした。これは、ボールを持つ手の位置の安定性が高くなることを意味し、上肢の動きの安定性の確立が能動運動に現れる可能性を示唆する。一方、Haibach ら [Haibach 04] は、カスケードの身体スキル獲得過程において、ボールの軌道がハの字に収束すると主張した。このようなボールの軌道の安定性は、ボールの追従に伴って現れる受動運動としてのキャッチにおける上肢の動きの安定性を予測する。以上は、上肢の動きの安定性の確立が、能動運動と受動運動の双方に現れる可能性を示唆する。RQ2 に関しては、上肢の動きの安定性の確立を各熟達段階と関連付けて能動運動と受動運動の双方から検証する。

さらに、古川ら [古川 05] は、身体スキル研究を発展させるために、運動計測によって得られた客観的なデータと、言語報告から得られた主観的なデータの両観点から議論する必要性を訴えている。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の分野を中心に、本研究で取り上げた課題であるカスケードに限っても、膨大な蓄積がある。しかし、これらの中で学習者の意識的活動と関連付けて議論している研究は多くない。例えば、田中ら [田中 10] は、ボールの軌道や身体動作と、学習者の意識的活動を関連付けている数少ない研究であるが、各熟達段階における意識的活動の内容にまで踏み込んだ検討はしていない。

一方、言語報告に基づく分析に主軸をおいた研究では、学習者の思考や知覚に関わる意識的活動について検討している。Suwa [Suwa 08] をはじめ、身体スキル獲得に向けたツールとして、メタ認知的言語化が提唱されている。身体スキル獲得の促進を目的としたシステムの開発も行われている (例えば、[松原 10] や [西山 11])。ここでは、運動計測で得られた身体動作の特徴をフィードバックすることで、学習者の言語報告を支援している。しかし、これらは主に言語報告の支援を目的として身体動作を記録

しているため、身体動作の特徴を詳細に捉えるための実験的な検討は行っていない。

以上より、運動計測と言語報告の両面からのアプローチは、その重要性が主張されているものの、いまだにその取り組みは少ないと考えられる。本研究では、カスケードの身体スキル獲得に関する言語報告から以下の RQ3 について議論を行う。

RQ3: 各熟達段階に達したジャグラーは、言語表現できるレベルで何に注目して練習を行っていたのか

橋詰 [橋詰 12] は、インタビューに基づく報告により、運動計測だけではわからない身体スキルを、より正確に把握することができると主張している。本研究では、身体動作の安定性と同様に、各熟達段階で言語報告にどのような特徴が現れるのかについて検証する。

2. 実験方法

2.1 参加者

大学生、及び大学院学生 11 名 (男性、平均 20.3 歳) が実験に参加した。彼らは全員、ジャグリング未経験者で右投げである。さらに、エキスパートとして、大学のジャグリングサークルに所属する大学生、及び大学院学生 3 名 (男性、平均 20.0 歳) が実験に参加した。彼らは全員 5 ボールカスケードを習得している。

2.2 手続き

実験は、7 日間にわたって実施された。ただし、エキスパートは既にカスケードを習得しているため、7 日目のみ実験に参加した。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。加えて、補助資料として、参加者には投げ方について図解された解説シートと、エキスパートによるカスケードの映像が入った DVD が配布され、参考にするよう指示を受けた。ただし、補助資料は練習時のみ利用することができ、提供された補助資料以外を参考にすることは禁止された。そして、1 日目から 6 日目まで、1 日最低 60 分、各自で練習するよう指示された。

進捗状況を確認するために、1 日目と 4 日目、7 日目に、連続でボールをキャッチできた回数を測る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い、1 日目と 4 日目は 5 試行、7 日目は原則 10 試行、最大 15 試行実施した。なお、エキスパートを対象とした測定では、30 秒間のカスケードを 1 試行として 5 試行行った。

1 日目と 4 日目、7 日目において、パフォーマンス測定後、参加者は半構造化インタビューを受けた。インタビューでは「身ぶり手ぶりやボールを使って説明してもかまいません。現段階でカスケードの連続キャッチを続けるうえで特に重要であると思われるポイントはありますか。

詳しく報告して下さい」という質問をした。報告が少なく、実験者が内容を理解できない場合は、「もう少し、その点について詳しく報告して下さい」など、より詳細な報告を促した。

そして、7 日目に、練習全体を通して獲得された身体スキルを定量的に評価するために、カスケード実行時の身体動作を 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 か所に反射マーカーが取り付けられた。これらの反射マーカーの動きを、参加者を囲むように設置された赤外線カメラ 9 台 (NAC 製, Hawk: 5 台; Hawk-i: 4 台, サンプリング周波数: 100Hz) で捉えた。ただし、実験の途中で 1 台 (Hawk) が故障したため、途中から 8 台で計測を行った。3 次元モーションキャプチャによって、床を原点とした、各身体部位の位置を 3 軸方向 (奥行方向, 水平方向, 垂直方向) で記録した。

3. 実験結果

3.1 パフォーマンス

1 日目と 4 日目, 7 日目に実施したパフォーマンス測定における参加者ごとのベストパフォーマンスから、パフォーマンス向上の差が参加者間で非常に大きいことが確認された。例えば、最終的にパフォーマンスが最も高かった参加者は、7 日目の連続キャッチ数が 354 回であった (1 日目: 19 回; 4 日目: 101 回)。一方、パフォーマンスが最も低かった参加者は、7 日目の時点で 7 回しかできなかった (1 日目: 6 回; 4 日目: 7 回)。

次に、Hashizume ら [Hashizume 04] の知見を参考に、ノービスの参加者を以下の 3 つのグループに群分けを行った。7 日目に連続キャッチ数が 100 回以上できるようになった Stage 3 到達群 (4 名, $M = 266$)、続いて 50 回程度できるようになった Stage 2 到達群 (3 名, $M = 42$)、そして、10 回程度しかできなかった Stage 1 群 (4 名, $M = 9$) の計 3 群である。以降では、この各 Stage 到達群ごとに分析を実施する。

図 2 は、各 Stage 到達群におけるベストパフォーマンスの平均値の推移である。横軸は測定日、縦軸はベストパフォーマンスの平均値 (回数) である。ただし、縦軸は 10 を底とする対数目盛である。ここで、Stage 要因 (Stage 2 到達群, Stage 3 到達群, エキスパート群) を被験者間要因、測定日要因 (1 日目, 4 日目, 7 日目) を被験者内要因とする 2 要因の分散分析を行ったところ、Stage 要因と測定日要因でそれぞれ主効果が確認された (Stage 要因: $F(2, 8) = 17.24, p < .005$; 測定日要因: $F(2, 16) = 9.67, p < .005$)。さらに、Stage 要因と測定日要因の交互作用が有意であった ($F(4, 16) = 5.89, p < .005$)。交互作用が有意であったので、各 Stage 水準における測定日要因についての単純主効果検定を行ったところ、Stage 3 到達群のみ有意であった (Stage 1 群: $F(2, 16) = 0.01, n.s.$;

図 2 各 Stage 到達群におけるベストパフォーマンスの平均値の推移

Stage 2 到達群: $F(2, 16) = 0.58, n.s.$; Stage 3 到達群: $F(2, 16) = 20.86, p < .001$)。Ryan 法を用いた多重比較の結果、Stage 3 到達群において、7 日目のパフォーマンスは 4 日目よりも、4 日目のパフォーマンスは 1 日目よりも有意に高かった ($MSe = 2617.59, p < .05$)。

また、各測定日水準における Stage 要因の単純主効果検定を行ったところ、4 日目と 7 日目において有意であった (1 日目: $F(2, 24) = 0.10, n.s.$; 4 日目: $F(2, 24) = 6.98, p < .005$; 7 日目: $F(2, 24) = 24.17, p < .001$)。Ryan 法を用いた多重比較の結果、4 日目と 7 日目において Stage 3 到達群は、Stage 1 群や Stage 2 到達群よりも有意にパフォーマンスが高かった (4 日目: $MSe = 2904.01, p < .05$; 7 日目: $MSe = 2904.01, p < .05$)。

次に、同様の分析を、中央値を用いて行った。各測定日における参加者ごとの中央値を Stage 到達群ごとに平均し、Stage 要因を被験者間要因、測定日要因を被験者内要因とする 2 要因の分散分析を行ったところ、Stage 要因と測定日要因でそれぞれ主効果が確認された (Stage 要因: $F(2, 8) = 58.42, p < .001$; 測定日要因: $F(2, 16) = 22.19, p < .001$)。さらに、Stage 要因と測定日要因の交互作用が有意であった ($F(4, 16) = 11.93, p < .001$)。交互作用が有意であったので、各 Stage 水準における測定日要因についての単純主効果検定を行ったところ、Stage 3 到達群のみ有意であった (Stage 1 群: $F(2, 16) = 0.03, n.s.$; Stage 2 到達群: $F(2, 16) = 1.88, n.s.$; Stage 3 到達群: $F(2, 16) = 44.14, p < .001$)。Ryan 法を用いた多重比較の結果、Stage 3 到達群において、7 日目のパフォーマンスは 4 日目よりも、4 日目のパフォーマンスは 1 日目よりも有意に高かった ($MSe = 187.90, p < .05$)。

また、各測定日水準における Stage 要因についての単純主効果検定を行ったところ、4 日目と 7 日目において有意であった (1 日目: $F(2, 24) = 0.31, n.s.$; 4 日目: $F(2, 24) = 17.73, p < .001$; 7 日目: $F(2, 24) = 58.55, p < .001$)。Ryan 法を用いた多重比較の結果、4 日目と 7 日目

において Stage 3 到達群は, Stage 1 群や Stage 2 到達群よりも有意にパフォーマンスが高かった (4 日目: $MSe = 177.08, p < .05$; 7 日目: $MSe = 177.08, p < .05$).

以上の結果は, パフォーマンスの推移に関して, ベストパフォーマンスと中央値いずれの指標を用いた分析においても, 同一の傾向を示すことを確認するものである.

3.2 身体動作の安定性

§ 1 分析手続き

身体動作の安定性に関して, 以下の 2 つの指標を用いた分析を行う. (1) ボールを投げようとする能動運動の特徴点である「谷点」と, 落下してくるボールに対応する受動運動の特徴点である「山点」の両点における胸の位置, 及び (2) 谷点と山点の両点における手首の位置である.

まず「体幹」の動きの安定性を「身体の中心を動かさずに, 絶対的に同じ位置でカスケードが行われること」と定義し, (1) 床を原点とする胸の絶対的位置の変動を示す標準偏差を用いて評価する. 続いて「上肢」の動きの安定性を「身体の中心である, 胸から相対的に同じ位置でトスとキャッチが行われること」と定義し, (2) 胸を原点とする手首の相対的位置の変動を示す標準偏差を用いて評価する.

Stage 2 到達群, Stage 3 到達群, 及びエキスパート群に関しては, 定常化した身体動作の安定性を分析することを試みた. そのため, 谷点については, カスケード開始から 3 つ目のボールが最初にキャッチされた直後の谷点までを定常状態に達する以前の初期状態の影響が現れる範囲とみなし, 分析から除外した. それ以降, 左右の手における谷点, 各 6 点計 12 点を分析範囲として, それぞれ 2 つの指標により身体動作の安定性を求めた. 山点についても, 同様の分析を行った. なお, Stage 1 群については, 連続キャッチ数が少なく, 上記の条件を満たすことができなかったため, 最初のトスから最後のキャッチまでを分析範囲とし, その範囲内にある谷点, 山点全てを対象に同様の分析を行った.

原則として, 各参加者のベストパフォーマンスを記録した 1 試行を対象に分析を行った. ただし, 分析範囲において, 谷点と山点の両点における各身体部位の位置の計測に欠損があった場合は, セカンドベスト, あるいはサードベストの 1 試行を用いて分析を行った (具体的には, セカンドベストを用いた参加者は Stage 1 群で 1 名, Stage 2 到達群で 1 名, さらにサードベストを用いた参加者は, Stage 2 到達群で 1 名であった). 今回, Stage 1 群の 4 名中 2 名については, これらの分析条件を満たす試行がなかったため分析から除外した.

§ 2 分析結果

分析結果を図 3, 図 4 に示す. どちらのグラフも横軸は各 Stage 到達群, 縦軸は位置の変動を示す標準偏差の平均値 (mm), エラーバーはその標準誤差を表す. なお,

図 3 手首の位置の変動

Stage 1 群は分析基準が他の群と異なることから参考値とし, Stage 2 到達群, Stage 3 到達群, 及びエキスパート群の 3 水準で分散分析を行った.

まず, 上肢の動きの安定性に関しては, 手首の位置の変動において, Stage 要因 (Stage 2 到達群, Stage 3 到達群, エキスパート群) を被験者間要因, イベント要因 (谷点, 山点) を被験者内要因とする 2 要因の分散分析を行ったところ, Stage 要因とイベント要因でそれぞれ主効果が確認された (Stage 要因: $F(2, 7) = 6.31, p < .05$; イベント要因: $F(1, 7) = 26.81, p < .005$). さらに, Stage 要因とイベント要因の交互作用が有意であった ($F(2, 7) = 8.80, p < .05$). 交互作用が有意であったので, 各 Stage 水準におけるイベント要因についての単純主効果検定を行ったところ, Stage 2 到達群において, 山点は谷点と比べて変動が有意に大きく, Stage 3 到達群においても同様の傾向が認められたが, エキスパート群ではそのような差異は認められなかった (Stage 2 到達群: $F(1, 7) = 39.86, p < .001$; Stage 3 到達群: $F(1, 7) = 4.17, p < .10$; エキスパート群: $F(1, 7) = 0.38, n.s.$). また, 各イベント水準における Stage 要因についての単純主効果検定を行ったところ, 山点のみ有意であった (谷点: $F(2, 14) = 0.45, n.s.$; 山点: $F(2, 14) = 13.46, p < .001$). Ryan 法を用いた多重比較の結果, 山点において, Stage 2 到達群は, Stage 3 到達群やエキスパート群に比べて有意に変動が大きかった ($MSe = 43.91, p < .05$). なお, 図 3 より明らかなように, Stage 1 群については, 他の群よりも変動が極めて大きかった.

次に, 体幹の動きの安定性に関しては, 胸の位置の変動において先程と同様に, Stage 要因を被験者間要因, イベント要因を被験者内要因とする 2 要因の分散分析を行ったところ, Stage 要因のみで主効果が確認された (Stage 要因: $F(2, 7) = 5.44, p < .05$; イベント要因: $F(1, 7) = 0.01, n.s.$). また, Stage 要因とイベント要因の交互作用が有意傾向であった ($F(2, 7) = 3.28, p < .10$). Stage 要因に有意な主効果が認められたため, Ryan 法を用いた多

図4 胸の位置の変動

重比較を行った結果, Stage 3 到達群はエキスパート群に比べて有意に変動が大きかった ($MSe = 5.87, p < .05$). なお, 図4より明らかなように, Stage 1 群については, 他の群よりも変動が極めて大きかった.

§3 結果まとめ

分析結果より, カスケードに要求される動きを理解したと考えられる Stage 2 到達群からエキスパート群の間で位置の変動を比較したところ, 手首に関しては, 山点において, Stage 3 到達群やエキスパート群の方が, Stage 2 到達群よりも有意に小さかった. 一方, 谷点では, 群間で有意差が確認されなかった. このことは, 手首の動きの安定性の確立が, 山点, 受動運動で現れたことを意味する.

また, 手首の位置の変動は, Stage 3 到達群やエキスパート群の方が, Stage 2 到達群よりも有意に小さかったのに対し, 胸の位置の変動については, Stage 2 到達群と Stage 3 到達群の間で有意差はなく, エキスパート群の方が, Stage 3 到達群よりも有意に小さかった. このことは, 上肢の動きの安定性が確立された後に, 体幹の動きの安定性が確立されたというように, 両者の安定性が異なる熟達段階で向上したことを示唆する.

3.3 言語報告

§1 分析手続き

半構造化インタビューに基づき, ジャグラーは身体スキル獲得において, 何に注目して練習を行っていたのかという観点から分析を行う. 本分析では, 大谷 [大谷 08, 大谷 11] によって提唱された SCAT (Steps for Coding and Theorization) を用いて, 言語報告の要素分類を行う. SCAT は, 段階的な手続きを踏むことで, 言語データの概念化を行う分析手法である. 比較的小規模のデータにも有効であるとされており, 観察記録や面接記録をはじめとした言語データの分析に利用されている. 今回は, 先行研究 [大谷 08, 大谷 11] に基づき, 以下の手続きに沿っ

て, 身体スキル獲得に向けて練習時にジャグラーが着目していたことの抽出を試みる.

- (1) 言語報告において, 重要である語句を抽出
- (2) (1) で使用されている語句以外の語句で, 報告内容を一般化
- (3) (2) を示すものの背景にある概念を生成
- (4) (1) ~ (3) 全体を示すものの背景にある概念 (要素) を生成

言語報告の分析を参加者ごと, 測定日ごとに実施したところ, 主に3つの要素が抽出された. 1つ目は, 「身体的要素」である. これは, カスケードを続けるうえでの重要な点として「身体の動かし方」や「力の入れ方」, あるいは「投げる目標先が身体部位」といった, 身体に着目した言語報告を表す. 2つ目は, 「時間的要素」である. これは, トスやキャッチを行う「タイミング」や, トスやキャッチを行うことで生成される「リズム」, あるいは「ボールの滞空時間」といった, 主に時間に着目した言語報告を表す. そして, 3つ目は「空間的要素」である. これは「ボールの軌道」や「視線先」, あるいは「ボールを動かす範囲」といった, 身体の周囲にある空間に着目した言語報告を表す. なお, 実際に SCAT を用いて, これらの3つの要素を抽出した分析プロセスについては, 付録を参照して頂きたい.

§2 分析結果

言語報告の要素分類をまとめた結果を表1に示す. なお, 3つの要素のいずれにもあてはまらない場合は「その他」とした. 表1より, Stage 1 群では, 3回の測定日を通して, 全体的に身体的要素が多いことが確認された. 一方, Stage 2 到達群では, 1日目と4日目には一部の参加者が身体的要素に言及するものの, 最終的には全員, 身体的要素に関する報告がなくなったことが確認された. さらに, Stage 3 到達群では, 1日目から通して, 全体的に身体的要素が少なく, かつ, 身体的要素に関する報告を行った場合においても, 他の時間的要素や, 空間的要素について同時に報告を行っている場合がほとんどであった. さらに, エキスパート群については, 身体的要素に関する報告が確認されなかった.

以上の結果は, Stage 1 群は他の群よりも, 身体的要素に関する報告が多いという点で顕著な差異がみられたことを示す. 一方, Stage 2 到達群, Stage 3 到達群, 及びエキスパート群の間では, 報告内容に関して, 十分な差異を確認することはできなかった.

4. 考察

本研究では, RQ1 として, 熟達段階が異なるジャグラー間で, 体幹の動きの安定性と上肢の動きの安定性の確立がどのように異なるのかを明らかにするために検討を行った. その結果, 双方の安定性が同じ熟達段階で確立されるのではなく, 異なる熟達段階で, 具体的には上

表 1 言語報告の要素分類

	参加者	1日目	4日目	7日目
エキスパート群	No.12			空間
	No.13			その他
	No.14			空間 時間
Stage 3 到達群	No.5	空間 時間	空間 時間 身体	時間 身体
	No.7	その他	空間	空間
	No.9	時間	空間	空間 身体
	No.11	空間 空間	身体	身体 空間
Stage 2 到達群	No.1	空間 身体	身体 身体	時間
	No.6	身体 身体	時間 空間	時間
	No.10	空間	空間	時間
Stage 1 群	No.2	身体	空間	身体
	No.3	空間 身体	空間	空間
	No.4	身体 空間 空間	身体	身体 空間
	No.8	空間 身体	空間	身体

肢の動きの安定性は Stage 2 到達群と Stage 3 到達群の間で、体幹の動きの安定性は Stage 3 到達群とエキスパート群の間で向上することが示された。

Haibach ら [Haibach 04] は、カスケードの身体スキル獲得過程において、両手運動が八の字に収束するだけでなく、胴体における横揺れの範囲が小さくなることを示唆した。前者は、本研究における上肢の動きであり、後者は体幹の動きに関する議論に対応するといえる。しかし、Haibach ら [Haibach 04] では、ジャグラーの熟達段階を、Stage 2 と Stage 3 といったように先行研究に基づいて分けていないため、どちらの安定性が先に確立されるのかに関する議論ができない。本研究では、同じカスケードの維持でも、Stage 2 到達群と Stage 3 到達群、及びエキスパート群の間で身体動作の安定性に特徴的な差異があり、かつ安定性の確立に上肢から体幹へ進むという順序性をもつ可能性を示唆した。

RQ2 では、能動運動と受動運動による上肢の動きの安定性の確立を各熟達段階と関連付けて検証を行った。その結果、キャッチに関連する受動運動において、Stage 2 到達群と Stage 3 到達群の間で安定性の確立が確認された一方、トスに関連する能動運動については、Stage 2 到達群、Stage 3 到達群、及びエキスパート群の間で手首の位置の変動の有意差は確認されず、Stage 2 到達群に

おいて既に一定の安定性が確立されていたことが明らかになった。Haibach ら [Haibach 04] は、カスケードの身体スキル獲得過程において、ボールの軌道が八の字に収束すると主張した。ボールの軌道を安定させるためには、ボールコントロールの向上が必要とされる。ボールコントロールが定まっていない段階では、トスを行う位置が安定していたとしても、ボールの落下地点が安定しないため、落下してくるボールへの対応が要求されるキャッチの位置は安定しない。このような安定性は、Stage 3 到達群の熟達段階に至ってはじめて確立されるといえる。

RQ3 に関して、Stage 1 で停滞していた参加者は、身体に着目して練習を行っていたことが確認された。Stage 1 はカスケードに要求される動きを理解する段階である [Beek 92]。ゆえに、身体的要素に関する報告が多くなり、身体的要素以外の新たな着眼点を発見することができなかったと考えられる。一方、Stage 2 以降の到達群では、一連の動きに対する理解が進んだため、リズムや周囲の空間に着目できるようになった可能性がある。時間的要素や、空間的要素に関する新たな着眼点の発見は、彼らが示した高いパフォーマンスとの関係を示唆していると考えられる。

Suwa [Suwa 08] は、身体スキル獲得を促進させるツールとして言語報告を提唱しており、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を促進できると主張している。一方、本研究では、参加者が、練習中に意識的な注意をどこに向けているのかを理解するためのデータとして、言語報告を用いた。両者では、言語報告の目的に違いがあるものの、ともに、学習者自身が、意識的に新たな着眼点を見い出してゆくことの重要性を示唆しており、主張は一致していると考えられる。

さらに、Suwa [Suwa 08] や諏訪 [諏訪 09] は、身体スキル獲得過程において、身体の個別的部位への注意から、身体全体への注意のシフトが起こる時期に、パフォーマンスが向上することを示唆している。また、García ら [García 13] は、ジャグラーが、放物線の頂点からの情報を頼りに身体動作を調整していることを示唆した。このことから、練習時に身体の個別的部位以外に着目できるようになることは、カスケードの身体スキル獲得において重要であると考えられる。

本研究における身体的要素は、特に、個々の身体部位の動かし方についての着眼点であり、Suwa [Suwa 08] や諏訪 [諏訪 09] が言う、身体の個別的部位への注意に関する言語報告である。一方、時間的要素や空間的要素は、複数の身体部位やボールとの協調した運動により生成されるリズムや、身体全体の周囲にある空間に対する着眼点であり、身体全体への注意に基づく言語報告に、より関連があると考えられる。高いパフォーマンスを示した参加者において、これらに関わる言語報告が観察されたという本研究の結果は、これまでの先行研究で明らかに

されてきた知見と一致している。

Polanyi [Polanyi 66] は、外界に対して何かを行うスキルが要求された際に、近位項ではなく遠位項に注意を向けて、その状態から身体感覚が得られると述べている。このことを踏まえると、Stage 2 以降の到達群では、近位項である手や肘といった身体の個別的部位ではなく、身体全体への注意に基づき、遠位項であるリズムや、ボールも含めた周囲の空間に着目することで、カスケードの維持を実現する身体動作の調整が可能になったのかもしれない。

古川ら [古川 07] は、思考と身体動作が互いに影響し合うことで身体スキル獲得が実現されると主張する。この点に関して、本研究では、練習時における着眼点と身体動作の安定性の双方から分析は行っているが、両者のインタラクションについては明らかではない。意識的な着眼点と身体動作の安定性を同時に捉え、そのインタラクションを議論するための方法論の検討が今後の課題である。また、展望として、身体スキル獲得支援における学習者の言語報告の利用を検討するうえでは、(1) 統制群を設けた実験的検討、あるいは (2) 松原ら [松原 10] や西山ら [西山 11] のような支援システムの開発といった、学習支援の枠組みでの検討が必要であると考えられる。この点についても、今後の課題として挙げられる。

5. む す び

本研究では、カスケードの身体スキル獲得において、体幹の動きの安定性と上肢の動きの安定性が、どの熟達段階で確立されるのかを明らかにするために、エキスパートも含めて Stage 到達群ごとに身体動作の安定性を比較検討した。加えて、身体スキル獲得に向けて、どのようなことに着目して練習を行っていたのかに関する言語報告についても比較検討を行った。その結果、(1) 体幹の動きの安定性と上肢の動きの安定性が確立される熟達段階が異なること (具体的には、上肢の動きの安定性は、Stage 2 到達群と Stage 3 到達群の間で、体幹の動きの安定性は、Stage 3 到達群とエキスパート群の間で向上が確認されたこと)、(2) 上肢の動きの安定性の確立が受動運動で現れたこと、(3) Stage 1 で停滞していたジャグラーは、特に、個々の身体部位に着目して練習を行っていたこと、以上の 3 点が明らかになった。

今回得られた知見は、異なる学習 Stage に到達した参加者間での身体動作の安定性、及び言語報告を比較した分析に基づく結果である。今後は、ノービスによる熟達過程の観察を通して、本研究で得られた知見と同様の議論が可能なのかを検討する予定である。

◇ 参 考 文 献 ◇

[Beek 92] Beek, P. J., and van Santvoord, A. A. M.: Learning the cascade juggle: A dynamic systems analysis, *Journal of Motor Behavior*, Vol. 24, pp. 85-94 (1992)

- [Bernstein 96] Bernstein, N. A. (Translated by Latash, M. L., edited by Latash, M. L., and Turvey, M. T.): *On Dexterity and Its Development*, Lawrence Erlbaum Associates (1996), (邦訳: デクステリティ巧みさとその発達, 工藤訳, 佐々木監訳, 金子書房 (2003))
- [古川 07] 古川 康一, 諏訪 正樹, 加藤 貴昭: 身体スキルの創造支援について, *人工知能学会論文誌*, Vol. 22, pp. 563-573 (2007)
- [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)
- [García 13] García, R. S., Hayes, S. J., Williams, A. M., and Bennett, S. J.: Multisensory perception and action in 3-ball cascade juggling, *Journal of Motor Behavior*, Vol. 45, pp. 29-36 (2013)
- [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, pp. 185-206 (2004)
- [Handford 97] Handford, C., Davids, K., Bennett, S., and Button, C.: Skill acquisition in sport: Some applications of an evolving practice ecology, *Journal of Sports Sciences*, Vol. 15, pp. 621-640 (1997)
- [橋詰 12] 橋詰 謙: トップアスリートのスキルを探る, *電子情報通信学会誌*, Vol. 95, pp. 437-441 (2012)
- [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)
- [岩田 02] 岩田 一明: 「スキルの科学」を考える, *精密工学会誌*, Vol. 68, pp. 1263-1266 (2002)
- [松原 10] 松原 正樹, 西山 武繁, 伊藤 貴一, 諏訪 正樹: 身体的メタ認知を促進させるツールのデザイン, *人工知能学会身体知研究会, SIG-SKL-06-03*, pp. 15-22 (2010)
- [中村 03] 中村 隆一, 齋藤 宏, 長崎 浩: 基礎運動学 第 6 版, 医歯薬出版 (2003)
- [中嶋 01] 中嶋 潤一郎: ボールジャグリング入門 第二版, ナランハ (2001)
- [西山 11] 西山 武繁, 松原 正樹, 諏訪 正樹: 間合いの可視化による駆け引きスキルの体得支援ツールのデザイン, *人工知能学会第 25 回全国大会発表論文集, 3D2-OS8-12* (2011)
- [大谷 08] 大谷 尚: 4 ステップコーディングによる質的データ分析手法 SCAT の提案 - 着手しやすく小規模データにも適用可能な理論化の手続き -, *名古屋大学大学院教育発達科学研究科紀要 (教育科学)*, Vol. 54, pp. 27-44 (2008)
- [大谷 11] 大谷 尚: SCAT: Steps for Coding and Theorization - 明示的手続きで着手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)
- [Polanyi 66] Polanyi, M.: *The Tacit Dimension*, Peter Smith (1966), (邦訳: 暗黙知の次元, 高橋訳, 筑摩書房 (2003))
- [Stokes 89] Stokes, V. P., Andersson, C., and Forssberg, H.: Rotational and translational movement features of the pelvis and thorax during adult human locomotion, *Journal of Biomechanics*, Vol. 22, pp. 43-50 (1989)
- [Suwa 08] Suwa, M.: A Cognitive model of acquiring embodied expertise through meta-cognitive verbalization, *Transactions of the Japanese Society for Artificial Intelligence*, Vol. 23, pp. 141-150 (2008)
- [諏訪 09] 諏訪 正樹: 身体的メタ認知: 身体知獲得の認知的的方法論, 古川 康一 (編著), *スキルサイエンス入門*, pp. 157-185, オーム社 (2009)
- [田中 10] 田中 彰吾, 小原 慶太: 身体知の形成 - ボールジャグリング学習過程の分析 -, *人体科学*, Vol. 19, pp. 69-82 (2010)
- [Wickstrom 75] Wickstrom, R. L.: Developmental kinesiology: Maturation of basic motor patterns, *Exercise and Sport Sciences Reviews*, Vol. 3, pp. 163-192 (1975)
- [山本 05] 山本 裕二: 複雑系としての身体運動, 東京大学出版会 (2005)
- [山本 07] 山本 裕二: 打動作における体幹回旋動作の獲得, *体育学研究*, Vol. 52, pp. 351-360 (2007)
- [Yamamoto 00] Yamamoto, Y., and Gohara, K.: Continuous hitting movements modeled from the perspective of dynamical systems with temporal input, *Human Movement Science*, Vol. 19, pp. 341-371 (2000)

〔担当委員：松浦 健二〕

2014 年 7 月 14 日 受理

◇ 付 録 ◇

A. SCAT を用いた言語報告の分析プロセス (一部)

SCAT を用いた言語報告の分析 (一部) を表 A.1 に示す。身体的要素、時間的要素、及び空間的要素に該当する言語報告の代表例をいくつか提示した。テキスト中の言語報告については、読みやすさを考慮して、言いよどみや質問に関係ない報告は省略してある。また、テキストの括弧書きは実験者による補足である。

なお、表 A.1 の「<5>疑問・課題」における「補足説明」は、同じ要旨である追加報告を意味するため、表 1 ではカウントしていない。

著 者 紹 介

市川 淳(学生会員)

2014 年名古屋大学大学院情報科学研究科博士前期課程修了。現在、同大学院博士後期課程に在籍。スポーツや伝統芸能などで要求される高度な身体スキルの獲得に関心を持っている。身体スキル獲得過程における身体動作や着眼点の変化を認知科学的観点から実験的に検討を行っている。

三輪 和久(正会員)

1984 年名古屋大学工学部卒業。1989 年同大学院工学研究科博士課程修了(情報工学専攻)。工学博士。1989 年名古屋大学情報処理教育センター助手、1993 年同大学院人間情報科学研究科助教授を経て、2004 年より名古屋大学大学院情報科学研究科メディア科学専攻教授。1991 年から 1992 年、米国 Carnegie Mellon University, Dept. of Psychology, visiting assistant professor。認知科学、人工知能、教育工学の研究に従事。とりわけ、発見、創造、洞察、協同など、人間の高次思考過程に興味がある。

寺井 仁(正会員)

2006 年名古屋大学大学院情報科学研究科博士後期課程修了。博士(情報科学)。同年名古屋大学附属図書館研究開発室助教、2008 年東京電機大学情報環境学部助教、2010 年名古屋大学大学院情報科学研究科/JST CREST 特任准教授を経て、2015 年 4 月より、近畿大学産業理工学部准教授。洞察、科学的発見、予期しない現象の原因同定、説明の再構築など表象の転換を伴う高次認知プロセスに興味を持っており、心理実験および計算機モデルの両面から研究を進めている。

表 A.1 SCAT を用いた言語報告の分析プロセス (一部)

番号	発話者	テキスト	<1>テキスト中の注目すべき語句	<2>テキスト中の語句の言い換え	<3>左を説明するようなテキスト外の概念	<4>デモ・構成概念 (前後や全体の文脈を考慮して)	<5>疑問・課題
身体的要素	1	No.2 (1日目)	投げたボールを逆の手の届きやすいところ キャッチしやすいか、キャッチしやすいところ に投げるっていうのが重要じゃないかと思ひます。	逆の手の届きやすい、 キャッチしやすいところに投げる	投げる標的(身体部位)の決定	身体的要素(標的となる手に対する注意)	
	2	No.2 (1日目)	体勢が崩れるともう一気に崩れるのでやっぱ、逆の手のキャッチ、逆の手から(もう一方の手から)ピンポイントに投げるっていうのが大事かなって思ひました。	体勢が崩れるともう一気に崩れる、 逆の手からピンポイントに投げる	投げる標的(身体部位)の決定	身体的要素(標的となる手に対する注意)	番号1の補足説明
	3	No.3 (1日目)	投げたときにキャッチする位置、この一定の弧を描けるように同じ力で、力配分で(ボールを)移動させることが重要なのかなと思ひました。	一定の弧を描けるように同じ力で、力配分で移動させる	ボールの軌道の維持、 力配分の決定	空間的要素(自身の外、空間で動くボールに対する注意) 身体的要素(力配分に対する注意)	
	4	No.4 (4日目)	正しい型を覚えることだと思ふんですけど、今回、自分が気になったのが、肘が動いてないっていうところ、やっぱり腕をちゃんと持つことが大切なのかなと思ひました。	正しい型を覚える、 肘が動いてない、 軸をちゃんと持つ	肘を固定させた腕の振り	身体的要素(腕の振りに対する注意)	
	5	実験者	軸が動いてないっていうのは自分が?				
	6	No.4 (4日目)	いや遅います、肘が動いてないっていうのは、軸がぶれていないことです。	肘が動いてないっていうのは、軸がぶれていない	腕の振りの定義	身体的要素(腕の振りに対する注意)	番号4の補足説明
時間的要素	7	No.1 (7日目)	ボールがこの落ちてくるときに(次のボールを)上げるんですけど、やっぱりギリギリだとココ、放物線で投げてても(放物線の手に近い)所まで落ちてきた時に次のボールをトスしても、この上げる時に(ボール同士が)当たっちゃうんで最頂点ぐらいで投げた方がいいなと思ひました。	ボールがこの落ちてくるときに上げる、 ギリギリだとココ、放物線で投げてても、この上げる時に当たっちゃう、 最頂点ぐらいで投げた方がいいな	ボールが放物線の頂点にある時にトスする	時間的要素(タイミングに対する注意)	
	8	No.9 (1日目)	リズムよくやることだと思ひます。	リズムよくやる	よいリズム	時間的要素(リズムに対する注意)	
	9	実験者	もうちょっと詳しく書いていただけます?				
	10	No.9 (1日目)	2つでやってみて下さい(2ボールカスケード練習をやっていたが)、トスって音が連続で同じタイミングでトスになってるように気を付けてました。	トスって音が連続で同じタイミングでトスになる	キャッチのタイミングを一定にする	時間的要素(リズムに対する注意)	番号8の補足説明
	11	No.10 (7日目)	僕、けっこうこのボールの滞空時間が短くて、あたふたしてしまうから、もう少しボールの滞空時間を長くしてやるようにこうやってみんなからとってやればはもうちょっとのびるんじゃないかと思ひました、遅線キャッチが、	ボールの滞空時間が短くて、 あたふたしてしまう もう少しボールの滞空時間を長くしてやる、 みんなからとってやればはもうちょっとのびるんじゃないかと思ひました、遅線キャッチが、	ボールの滞空時間の決定	時間的要素(滞空時間に対する注意)	
	12	No.2 (4日目)	自分の見える範囲でボールを動かすことが大事だと思ひます。	見える範囲でボールを動かす	視界の範囲内でボールを動かす	空間的要素(ボールを動かす空間に対する注意)	
空間的要素	13	実験者	自分の見える範囲?				
	14	No.2 (4日目)	しっかり、ボールの動きを捉えられる範囲でボールを動かすかといふ思ひます。	ボールの動きを捉えられる範囲でボールを動かす	視界の範囲内でボールを動かす	空間的要素(ボールを動かす空間に対する注意)	番号12の補足説明
	15	No.11 (1日目)	ビデオ見た時にあまり手元を見ないで、なので、手元を見ずになるべくボールの落下地点を予測するように、なおかつ、前後左右に行くんでなく、なるべく一定方向、ボール上げる時にボールが一定の所に行くように意識してやっていますね。	あまり手元を見ない、 ボールの落下地点を予測するように、 前後左右に行くんでなく、 ボール上げる時にボールが一定の所に行くように	視線先の決定、 ボールの軌道の収束	空間的要素(視線の先にある空間に対する注意)、 空間的要素(自身の外、空間で動くボールに対する注意)	