

3 ボールカスケード習得のためのトレーニングシステムの開発

Training system for three-ball cascade juggling

○正 佐野 将人 (東理大) 正 竹村 裕 (東理大) 正 多田 充徳 (産総研)

Masato SANO, Tokyo University of Science

Hiroshi TAKEMURA, Tokyo University of Science

Mitsunori TADA, Digital Human Research Group, AIST

Three-ball cascade juggling is the one of common theme in skill aquisition. In previous research, dwell ratio is an important factor from the perspective of learning how to juggle and number of catches. In this paper, we experienced whether the time subjects can continue three-ball cascade is relevant to the dwell ratio. In the result, except for two beginners, we realized there was a correlation and the variability of dwell ratio in the juggler who can throw more than 1 minutes. We considered the stability of dwell ratio is important for improvement of the juggling skill. Finally, we made a training system that feedbacks the dwell ratio visually in real time but it still remains some problems. In conclusion, we will modify and develop the system for sound feedback.

Key Words: Motion capture, Motion analysis

1 緒言

身体スキルの獲得の研究において、ジャグリング動作は複雑な動作とパターン性を有する運動として様々な解析が行われている。市川ら [4] はジャグリング動作の優れた特質として、ボールの連続キャッチ数で客観的にパフォーマンス評価ができる点と、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の検討が可能となる点を挙げている。Rodrigues らは [5] ジャグリング時の姿勢安定化について熟練者と中間者の比較により評価し、熟練者の体動は速度が遅く振幅が小さいことを明らかにしている。また Hashizume [3] らは、Stage1 から Stage2 に至るには保持率が高いほうが良く変化の過程でボールのキャッチ位置が低下することや、Stage2 から Stage3 に移るまでにはボールの軌道が安定・低下し、リリースとキャッチの位置の差が小さくなりバランスが良くなることを明らかにした。

このように、ジャグリング動作の習得過程や上達についての研究は幅広く行われている。しかし、ジャグリング動作中の運動情報のフィードバックによる、習得のためのトレーニングを補助する研究はほとんど行われていない。そこで本研究では、ジャグリングスキルの獲得を目指したシステムの開発を目的とする。

2 ボール保持率

ボールジャグリングにおけるカスケードの手とボールの動きを図 1 に示す。ボールがキャッチされてからリリースまでの時間を T_L 、リリースされてから再びキャッチされるまでの時間を T_F とおく。一方、ボールをリリースしてから次のボールをキャッチするまでの時間を T_U とする。

先行研究においては、動作中のボール保持率に着目している。保持率とは、ボールをキャッチしてからリリースし、次のボールをキャッチするまでの時間を 1 としたとき、キャッチからリリースまでのボールを保持している時間を表すものである [1]。上述の 2 変数 T_L と T_U を用いて保持率を k とすると、以下の式 (1) のように表される。

$$k = \frac{T_L}{T_L + T_U} \quad (1)$$

Beek ら [2] は、保持率は 3 段階あるジャグリングの習得過程においてそれぞれ変化が見られると述べている。まず最初の Stage1

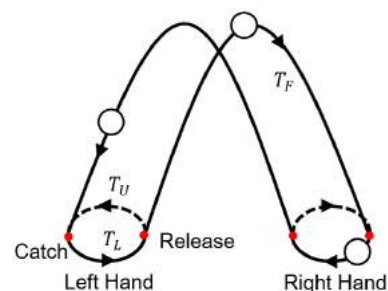


Fig.1: The trajectory of ball on three-ball cascade juggling.

では、図 1 に示したカスケード動作を行うための条件を学習する。次に Stage2 では保持率が 0.75 となるようなジャグリング動作を発見する。最後に Stage3 ではボール保有率が 0.75 より低い値となり、上達とともに減少していくとしている。また、Hashizume ら [3] によれば、Stage1 ではカスケードは連続で 5~10 程度のキャッチを達成する程度であり、次の Stage2 では 50 回程度までキャッチ、そして Stage3 では 100 回以上連続でキャッチが可能になる。このことから保持率と連続キャッチ数には相関関係があることが推定できる。本研究ではまずこの相関関係について追試を行う。その後リアルタイムに保持率の計測およびフィードバックが可能なシステムを提案する。

3 追試及び結果

本研究では、保持率と持続時間の相関を見るため 3 ボールカスケードの計測を行った。まずそれぞれの被験者について、市販のボールを用いた 3 ボールカスケードの計測を 3 回行った。その後、光学式モーションキャプチャを用いた 30 キャッチ以上のカスケード動作を計測した。計測終了後、リリースとキャッチのタイミングを指先のマーカ位置データより抽出し、 T_L および T_U の算出した。この値を基に各被験者の保持率を計算した。なお保持率については、30 キャッチ分の平均値とする。以上の条件で、健康な成人男性 10 名 (平均年齢 24.6±3.9 歳、平均身長 167.4±4.5[cm]) を被験者として実験を行った。

持続時間を横軸に、保持率を縦軸にして結果を表したものが図

Table 1: 保持率比較

	TF[s]	TL[s]	保持率 [-]
平均値	0.61	0.50	0.67
誤差あり	0.67	0.44	0.75

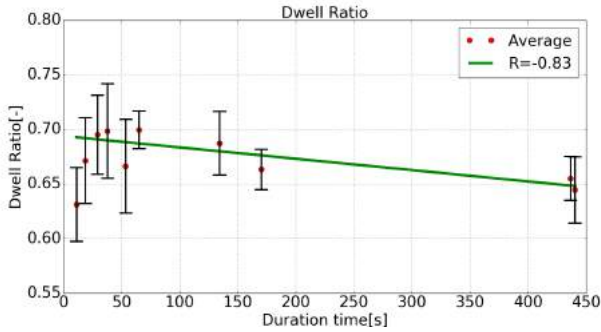


Fig.2: Average and variability of dwell ratio for each subjects. Vertical axis: dwell ratio[-], horizontal axis: How long did subject continue three-ball cascade juggling. Red circle: dwell ratio, black bar: variability, blue: regression line.

2である。Stage2とStage3の境界を50キャッチとすると、10名中左側の2名はStage2であり、残りの8名はStage3となる。Stage2の2名においては保持率が高い方がより持続しており、先行研究と一致している。一方、Stage3の8名において相関係数の計算を行うと-0.83と高い相関が確認され、持続時間が長くなると保持率が低下することが確認された。こちらも先行研究との結果の一致する。また、Stage3において持続時間が60秒以上続いた被験者群(グラフの右から5人)は残りの被験者群と比較すると保持率のばらつきが少ないことが見て取れた。この結果より、始めのうちは保持率が安定せず、安定した後は保持率は減少していくことがわかった。以上の結果から、トレーニングにはまず高い保持率を出させること、また保持率のばらつきを減らすことが必要であることが推察できた。

4 リアルタイム保持率フィードバックシステム

今回の実験結果をふまえ、保持率の安定化を図るためのシステムを作成する。先行研究[2]では、メトロノームを保持率が0.75になるようなリズムに設定し、それに合わせてリリースとキャッチをするという実験が行われていたが、トレーニング効果は見受けられなかったとあった。そこで本研究では、リアルタイムに被験者に保持率をフィードバックすることで安定化を図る。システムとしてはまず、加速度計(XSENS, Inc. MTw Awinda)を用いてリアルタイムにボールの加速度値を取得する。ボールが滞空している間はボールにかかる力は重力のみになることを利用し、ボールの加速度が閾値以下になれば滞空、閾値以上であれば保持と判断することで T_L および T_F をリアルタイムに算出できる。しかし、式(1)からわかるように、保持率の算出には T_U が必要となる。ここで、Claude Shannonが開発したジャグリング動作において成立するShannonの式を用いる。ジャグリングを行うボールの数を N 、手の数を H とすると以下の式(2)が成立する。ここで式(2)を式(1)に代入することで、保持率は式(3)のように変形できる。したがって保持率は上述の2変数で算出可能になる。今回の実験では $H=2$ 、 $N=3$ を代入し保持率を算出する。最終的に算出した結果は産業技術総合研究所が開発した運動解析ソフト(DhaibaWorks)が受け取り表示する。なお今回閾値は1500と設定したが、その妥当性について考察する。

$$N(T_L + T_U) = H(T_L + T_F) \quad (2)$$

$$k = \frac{T_L}{\frac{H}{N}(T_F + T_L)} \quad (3)$$

本システムの評価として、加速度計を入れたボールを右手でリリースし、自由落下させた際の加速度を算出し、設定した閾値

(1500)でリリースから自由落下までの誤差後どの程度発生するかを検証した。リリースの判定は、リリース時に右手の位置が最も左側に行くことから手にモーションキャプチャマーカを付け最も左に来た時の時間を抽出した。また自由落下については、ボール自体にもマーカをつけ、落下後転がらないように柔らかいものを敷いた状態で位置を計測し、最下点に来た時の時間を計測した。これを10回行い、閾値1500以下にならなかった時間をそれぞれ計測し平均した。この結果、落下直前で1500を超える時間があったため、平均して0.063[s]の誤差が発生することがわかった。このことから、現状の閾値では T_L について0.063[s]程過大評価することが判明した。この誤差が与える影響について考察する。

著者がモーションキャプチャを用いてカスケードを行った際の結果が表1である。30回分の T_F および T_L の平均値は T_F はおおよそ0.61[s]、 T_L はおおよそ0.50[s]であった。この値のとき、式(3)を用いて算出される保持率は0.67[-]である。一方、 $T_F-0.063$ 、 $T_L+0.063$ をして算出した保持率は0.75[-]となることから、0.08[-]ほど過大評価することがわかった。図2の結果からすると、この誤差は無視できない。以上のことから、正確な保持率計算のためには閾値判断の他にキャッチ判定を行うシステムの開発が必要であることがわかった。

5 結論

本研究では3ボールカスケードにおける保持率と持続時間の関係から保持率の重要性を明らかにした。その後、保持率をフィードバック可能なシステムを開発した。またシステムの評価としてボールの自由落下をどの程度認識できるか計測し、その結果誤差は0.058[s]程度であることが判明した。閾値の設定が十分ではないことが判明した。今後は時間の較正を行うことでより正確な保持率の表示を目指す。また現状視覚的なフィードバックでは、常に画面を見続ける必要があり初心者のトレーニングには不向きと考えられる。したがって今後の展望としては、視覚ではなく聴覚によるフィードバックをすることを考えている。また、ボール数が少ない数であれば画面を見る余裕もあることから、少ないボール数の際に視覚フィードバックを行い、その後数を増やすトレーニングを行うことを考えている。

参考文献

- [1] Beek, P. J., "Timing and Phase Locking in Cascade Juggling," *ecological Psychology*, vol.1, pp.55-96, 1989.
- [2] Beek, P. J., and van Santvoord, A. A. M., "Learning the cascade juggle: A dynamic system analysis," *Journal of Motor Behavior*, vol.24, pp.85-94, 1992.
- [3] 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.
- [4] 市川淳, 三輪和久, 寺井仁, "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", *人工知能学会論文誌*, vol.30, pp.585-594, 2014.
- [5] Roudrigues, S. T., Polastri, P. F., Gotardi, G. C., Aguiar, A. S., Measaros, M. R., Pestana, M. B., and Barbieri, F. A., "Postural Control During Cascade Ball Juggling: Effects of Expertise and Base of Support,," *Perceptual and Motor Skills*, vol.123, pp.279-294, 2016.