

# 身体知と知覚：けん玉熟練者における視覚的な調整活動

## Dexterity and perception: movement to facilitate detecting visual information in expert kendama players

伊藤 万利子<sup>†</sup>, 三嶋 博之<sup>†</sup> 佐々木 正人<sup>‡</sup>  
Mariko Ito, Hiroyuki Mishima, Masato Sasaki

<sup>†</sup>早稲田大学, <sup>‡</sup>J東京大学  
Waseda University, The University of Tokyo  
itomarik@gmail.com

### Abstract

We examined the relationship between dexterity and movement to facilitate detecting visual information in a skilled task, the kendama trick of “swing-in.” Three kendama experts (expert A, B, C) performed the swing-in motion while wearing liquid crystal occlusion goggles. Occlusion glasses were open in the control condition, but open and closed at predetermined intervals in the occluded condition.

After practice, the results showed a preference for seeing the zenith of the ball’s trajectory for all experts at all levels in the occluded condition. Ball movement along the anterior-posterior axis was diminished for all experts in the control compared to the occluded condition, and was influenced by the opening time of the goggles only for expert A. Head movement along the vertical axis was longer in the occluded than in the control condition for all experts, but influenced by the goggle’s intervals only for expert B. Ball velocity with the coordinate origin at the head was nearly constant for all experts when the ball trajectory was near the zenith in both conditions and when the goggles were open in the occluded condition. However, the orientation of the head was longer in the occluded than in the control condition.

These findings suggest that all experts detected optical information for catching the ball when the ball trajectory was near its zenith in the intermittent viewing conditions, and that it is easier to detect this information in the occluded condition due the longer duration of the nearly constant relative velocity of the ball. All experts adjusted their actions to easily detect the necessary optical information under visual constraints, although expert A adjusted the movement of the ball and expert B adjusted his head movement to the goggle’s opening intervals.

**Keywords — Dexterity, Movement for visual perception, Perception-action cycle**

### 1. 序論

本研究では、けん玉熟練者の身体運動を分析し、「わざ」としてのけん玉の dexterity に迫ることで、認知科学の諸領域で検討されている身体知の

一端を明らかにすることを試みる。特に、けん玉の「ふりけん」において視覚を助ける運動が技の成功にどう寄与するのかに注目する。

従来、運動制御の研究においては、運動の制御は、そのタスクの実行に関わる知覚情報を利用して出力としての運動が実行されると言われている。しかしながら、特にスポーツなどの時空間的な制約が厳しい状況下においては、環境の知覚情報が常に利用しやすい状態にあるとは限らない。出力としての運動に利用される知覚情報を得るのが困難な状態では、運動の制御が正確になされないであろう。知覚情報が得にくい場合には、物理的に環境に働きかける、あるいは知覚的に環境との関係を変化させて知覚情報をより効果的に得られるようにすることこそがタスクの達成を導き、「わざ」の成立につながると考えられる。したがって、知覚（情報）から運動への流れだけではなく、運動が知覚に影響を与えるという側面も検討すべきである。

物理的に環境に働きかける行為が視知覚を導くという点に焦点化した研究を ジャグリングという「わざ」の事例を通じて行ったのが van Santvoord and Beek(1994) である [1]. van Santvoord らの研究では、3つのボールを用いたジャグリングが実験課題とされた。ジャグリングでは、当然ながらジャグラーがボールの軌道を制御しており、従ってボールをキャッチするための視覚情報を生成するのは、ボールを操作するジャグラー自身である。彼らの実験では、3人の中級ジャグラーが、あらかじめ設定された間隔でシャッターの開閉をする視野遮蔽メガネを装着してジャ

グリングを行った。この装置を用いて行動と知覚の関係を調べた背景のひとつには、3つのボールを用いるカスケードジャグリングでは常に2つ以上のボールが滞空しているため、1つのボールだけを追視すればよいというわけではなく、視覚的な注意の向け方の制御が重要になるということがあった。ジャグリングでの視覚的な注意を検討したAustin(1976)の研究や、ジャグリングを指導する際になされる「最も高い部分を見なさい」、「前のボールが頂点に到達したときに次のボールを投げなさい」というインストラクションからすると、玉の軌道の頂点を見るのが重要だと考えられた。また別の背景としては、ジャグリング時のボールを手を持っている時間とボールが飛んでいる時間は、ある整数比で表されることが明らかになっており、手に関連するイベントと玉に関連するイベントの間で適切な位相関係を達成することが重要になるということがあった。van Santvoordらは、上記のようなジャグリングの特性に注目し、視野遮蔽メガネを用いることにより、滞空中の玉の位相とメガネで定義されるリズムとの関係から、メガネのシャッターが開いているときに玉がどこに位置しているのか、手の運動による位相の調整がその玉の軌跡部分に含まれる情報をピックアップすることをサポートしているのかを明らかにできると考えた。彼らの実験から、シャッター開閉の1周期(シャッターの開いている時間と閉じている時間を足した合計時間)を固定し、開いている時間の割合を徐々に減らしていった場合、1人の中級ジャグラーでボールの軌跡の頂点とそこに引き続く部分を見る傾向があり、かつ、実験参加者のなかでそのジャグラーが眼鏡の開いている時間が最も短い状態までジャグリングを達成できた。他の2人の中級ジャグラーでは、手の運動とシャッター開閉のリズムとの間で一貫した関係が部分的に観察され、その場合には、シャッターが開いているときに頂点とそこに引き続くボールの軌跡部分を見る傾向があった。したがって、van Santvoordらの実験条件下では頂点とそこに引き続く玉の軌跡を見るのがジャグリングの達成に

において重要であり、頂点に引き続く玉の軌跡を見ることができるよう手の運動の位相が制御されたと言ったことができるだろう。

一方、知覚的に環境に働きかける行為が視知覚を導くという点に焦点化した研究をけん玉の「ふりけん」というタスクで検討したのが Ito, Mishima, & Sasaki (2011)である[2]。Ito et al., (2011)は、行為者が物理的に環境に働きかけなくても、目を備えた頭部、頭部を支える身体を制御して環境を見やすく調整することによって「知覚的に」環境に働きかけ、視覚情報を利用しやすくすることが可能であると考えた。そして身体を使うことにより制御される視知覚の役割を、けん玉の「ふりけん」をいうタスクにおいて検討した。ふりけんでは、視覚情報を瞬時に、かつ適切なタイミングで得ることが必要になる。Ito et al., (2011)では、タスクを実行する動作の背後にあり、そのタスクの達成をサポートするように制御される身体運動を「姿勢」と定義して、けん玉初心者群と熟練者群の「姿勢」制御を比較した。その結果、頭部が玉の運動に対して適応的に動くことが視覚情報を得やすくしており、また、そのような玉と頭部の関係を膝の運動によって構築するという姿勢づくりこそが、けん玉熟練者のふりけんの成立に寄与していることを示した。

視覚情報を得やすくするための制御には、van Santvoord & Beek(1994)の研究で検討された物理的に環境に働きかけて視覚情報を得やすくする操作と、Ito et al., (2011)のように身体を制御して環境を見やすくするという姿勢制御があると言える。本研究では、その両方を視覚のための運動と捉え、この運動とわざの成立との関係を検討する。

本研究の実験課題であるふりけんとは、「斜め下前方に振り出した玉を手前上方に返し、回転を伴って運動する玉の穴にけんを入れる」という技であり、1秒程度で終了する技である。ふりけんでは、振り出した玉を返す(けんを持つ手や腕を行為者側に向かって引く)行為者の運動により玉の運動が決定され、その玉を見てけんを玉の穴に入れる。したがってどのように玉の軌道を生成するかが行

為者の視知覚に影響を与える。一方で、ふりけんでは、回転を伴って放物運動する玉にけんを差し入れなければならない状況が発生するため、その局面ではもはや行為者は物理的に玉の軌道を修正することができない。この、行為者が玉を触知することが困難な段階では視知覚が極めて重要であり、したがって、視覚的な探索運動をする身体(眼一頭部一身体)をいかに制御して玉を見るのかが、行為者にとって重要になると予測される。本研究では、ふりけんにおいて、けん玉熟練者が視環境を制約された場合に視覚情報を得やすくするようにどのように玉や頭部運動の制御を行うのかを調べた。

## 2. 方法

### 2.1 実験協力者

けん玉熟練者 3 名(男性 2 名, 女性 1 名, 身長は 154cm, 170cm, 174cm, 年齢は 19 歳, 28 歳, 29 歳) が実験に参加した。二人は日本けん玉協会が認定するけん玉道 5 段であり, もう一人は 6 段であった<sup>1</sup>。3 人とも視力に問題はなかった。

### 2.2 装置

実験協力者の動作は, 6 台の赤外線カメラで構成される三次元動作計測装置(VICON460, Vicon Motion Systems Ltd.)を用い, サンプリング周波数 120Hz で計測した。実験協力者に装着した赤外線カメラ用の反射マーカを用いて, 実験協力者の頭部の運動を記録した。玉の運動を計測するため, 玉の全面に反射テープを貼付した。

実験協力者の視環境の操作には, 視野遮蔽メガネ(PLATO, Translucent Technologies)が使用された。本装置により, あらかじめ設定したプログラムに従ってレンズ部分のシャッターを瞬時に開閉できた。

<sup>1</sup> けん玉道における最高段位は 10 段であるが, 実力での最高段位は 6 段である。本研究の実験協力者の 3 人は, 実力で 5 段, 6 段を認定されており, 国内でも有数の卓越したけん玉プレーヤーである。

### 2.3 手続き

本研究では実験目的に照らして, 次のようなスクリーニングテストを 2 回行った。スクリーニングの 1 回目と 2 回目は別の日に実施した。

実験協力者は, はじめに, メガネが開いた状態でふりけんを行った(遮蔽なし条件)。これは, 通常の条件での安定した運動を記録するために行われ, 1 セット(10 試行)のうち 8 回以上成功することが連続して 3 セットできれば, けん玉熟練者が普段通りのふりけんができていとみなし, そこで遮蔽なし条件を終了した。

遮蔽なし条件の次に, メガネのシャッターを開閉させる「遮蔽あり条件」を行った。遮蔽あり条件では, シャッター開閉の 1 周期を 1200ms に定めた。これは実験協力者が通常ふりけん 1 試行に要する時間であった。シャッターの開閉の時間は, 最初, 開いている時間を 600ms, 閉じている時間を 600ms とした。そして開閉を規則的に繰り返すように設定し, 実験協力者がメガネの開くタイミングを予測できるようにした。メガネの開いている時間が 600ms の水準で 1 セット 10 回中 8 回以上成功した場合, 視認可能な時間が 100ms 少なくなる水準(シャッターが開いている時間が 500ms, 閉じている時間が 700ms)へと移行した。5 回同じ水準を繰り返しても 1 セット 10 回中で 8 回以上成功しなければ, その水準はクリアできないとみなし, クリアできなかった水準より視認可能な時間が 50ms 多い水準でふりけんを行った。その水準で 10 回中 8 回以上成功したらそこで遮蔽あり条件を終了し, 10 回中 8 回以上成功しない場合は最長 5 セットまで繰り返して遮蔽あり条件を終了した。

遮蔽あり条件のあとは再度遮蔽なし条件を行い, スクリーニングを終えた。遮蔽あり条件前後の遮蔽なし条件を, それぞれ, 「統制 1」, 「統制 2」とする。

1 度目のスクリーニングの後日, 実験協力者には, メガネが開閉している状態でふりけんをする練習を行ってもらい, メガネが開閉している状態でふりけんを成功に導く視覚情報を得るための

玉・頭部の制御方略を学習してもらった。練習ではスクリーニングで10回中8回以上成功した水準より1段階見える時間が少なかった水準でふりけんを30セット行ってもらった。練習を8回(週2回を4週間)実施したあと、2回目のスクリーニングを行った。以後、練習前後のスクリーニングをそれぞれ pre-test, post-test と呼ぶ。

## 2.4 分析

本研究では、2度のスクリーニングのデータを用いて、けん玉熟練者は視覚情報を得られるようにどのように玉・頭部の制御するようになったのか学習の効果を調べた。その際、遮蔽なし条件の通常のふりけんと遮蔽あり条件で制御が異なっているのか、遮蔽あり条件におけるシャッターの開閉時間によって制御が変化するかという遮蔽の効果にも注目した。また、有効な視覚情報を得ようとする玉・頭部の制御の安定した特性について検討するため、成功試行のみを分析の対象とした。

ふりけん試行の開始と終了は次のように決定した。熟練者は試行を開始する際に振り子状に玉を動かしていたため、玉が熟練者に近づき、かつ、玉の速度が最小となったときに試行の開始とした。試行の終わりは、けん玉との接触時とした。

本研究の目的に照らして、1)玉の軌道とメガネのシャッターが開いていたタイミング、2)頭部運動、3)頭部中心座標系での玉の速度について分析した。3)の頭部中心座標系での玉の相対速度について検討する意義について述べる。ふりけん試行の最終段階では玉とけんが接触することになるが、このようなイベントでは接触のタイミングの知覚が重要であると考えられる。キャッチング動作の研究では、捕球のためには、ボールと行為者との相対的な運動で決定される光学的加速をなくすように速度制御すること、すなわち接触を等速化することが重要であると言われている(Oudejans, 1996 など[3])。さらに Ito et al.,(2011)では、けん玉熟練者の頭部運動は、落下する玉の運動を相殺するような制御がなされていることが明らかになっている。したがって、けん玉熟練者のふりけん

では、頭部運動により、玉の相対速度を制御することで視覚情報を得やすくしている可能性がある。そのため、頭部中心座標系での玉の速度を算出し、熟練者によるその制御を分析した。

## 3. 結果

### 3.1 熟練者3名の遮蔽あり条件での実施水準

表1は、熟練者A, B, Cが pre-test と post-test において実施した各水準と、その水準を繰り返したセット数を示している。すべての熟練者は遮蔽なし条件(統制1, 2)を3セット行った。この遮蔽なし条件では、ほとんどが成功試行であった。熟練者A, B, Cが1セット10回中8回以上ふりけんを成功させることができたときの、シャッターの開く時間が最も短い水準は、pre-test では、それぞれ、400ms, 400ms, 300ms であった。Post-test では、250ms, 200ms, 250ms であった。したがって、すべての熟練者で post-test の方がシャッターの開く時間が短い水準でもふりけんを成功させており、練習を通じてシャッター開閉下での何らかの制御方略を獲得したのではないかと考えられた。

### 3.2 玉の運動

#### 3.2.1 玉の軌道とシャッターの開閉タイミング

玉の軌道と視野遮蔽シャッターの開閉タイミングとの関係から、視覚的に特定の軌跡区間が選択されているのかを調べた。図1は熟練者Aの pre-test と post-test における玉の軌道とシャッターの開閉タイミングを示すものである。シャッターの開閉タイミングは、pre-test では熟練者AもBもCも玉を引いて以降にシャッターが開く傾向があった。一方、post-test では、すべての熟練者で、玉の軌道の頂点付近でシャッターが開くように調整されていた。熟練者Aについては、試行の開始直後にもシャッターが開いていた。熟練者Cもシャッターの開いている時間が長い水準で試行の開始直後にもシャッターが開く傾向があった。

#### 3.2.2 玉の上下方向範囲・軌跡長・速度

すべての熟練者において、post-test では、玉の

軌道が頂点に到達するときにシャッターが開いていた。さらに、図1のように、遮蔽あり条件では玉の軌道が前後方向に長くなっているようであった。すべての熟練者は、シャッターの開くタイミングで玉の軌道が頂点付近に到達するよう玉を制御していたのではないかと考えられた。そこで、各試行の試行開始から玉が軌道の頂点に達するま

での時系列を対象として、玉の運動の前後方向移動範囲、軌跡長、速度(軌跡長/時間)を pre-test と post-test の各試行で算出し、遮蔽の効果(遮蔽なし条件の2水準と遮蔽あり条件の各水準)と学習の効果(pre-test/post-test)を分散分析により検討した<sup>2</sup>。

表1 熟練者A(上), B(中), C(下)の実施水準。各testでの実施順に上から水準を記載。

熟練者A pre-test			熟練者A post-test		
遮蔽水準	繰り返したセット数	試行時間(ms)	遮蔽水準	繰り返したセット数	試行時間(ms)
統制1	3	1194.44 (SD=27.28, n=30)	統制1	3	1247.78 (SD=37.77, n=30)
600ms	1	1182.29 (SD=47.65, n=8)	600ms	1	1415.83 (SD=22.38, n=10)
500ms	1	1147.62 (SD=32.88, n=7)	500ms	1	1391.67 (SD=26.06, n=10)
400ms	3	1199.17 (SD=58.61, n=20)	400ms	1	1420.00 (SD=31.48, n=10)
300ms	5	1197.40 (SD=57.87, n=16)	300ms	1	1457.29 (SD=21.10, n=8)
350ms	5	1238.14 (SD=44.61, n=26)	200ms	5	1469.58 (SD=33.91, n=20)
統制2	3	1221.67 (SD=28.25, n=30)	250ms	1	1452.08 (SD=33.85, n=8)
			統制2	3	1283.61 (SD=30.44, n=30)

熟練者B pre-test			熟練者B post-test		
遮蔽水準	繰り返したセット数	試行時間(ms)	遮蔽水準	繰り返したセット数	試行時間(ms)
統制1	3	1217.50 (SD=32.49, n=30)	統制1	3	1175.86 (SD=27.13, n=29)
600ms	4	1189.89 (SD=52.03, n=15)	600ms	1	1220.83 (SD=29.88, n=8)
500ms	4	1237.50 (SD=28.80, n=26)	500ms	1	1218.33 (SD=24.78, n=10)
400ms	3	1221.03 (SD=20.69, n=21)	400ms	1	1227.50 (SD=24.86, n=10)
300ms	5	1232.87 (SD=35.06, n=18)	300ms	1	1254.63 (SD=22.86, n=9)
350ms	5	1258.07 (SD=42.20, n=32)	200ms	1	1281.25 (SD=18.23, n=8)
統制2	3	1271.60 (SD=23.26, n=27)	100ms	5	1307.84 (SD=21.34, n=17)
			150ms	5	1278.16 (SD=20.70, n=29)
			統制2	3	1188.79 (SD=27.39, n=29)

熟練者C pre-test			熟練者C post-test		
遮蔽水準	繰り返したセット数	試行時間(ms)	遮蔽水準	繰り返したセット数	試行時間(ms)
統制1	3	1249.40 (SD=72.18, n=28)	統制1	3	1230.28 (SD=33.51, n=30)
600ms	4	1377.90 (SD=32.43, n=23)	600ms	2	1282.22 (SD=43.17, n=15)
500ms	1	1417.59 (SD=30.17, n=9)	500ms	1	1273.33 (SD=28.81, n=10)
400ms	2	1382.50 (SD=42.39, n=10)	400ms	1	1300.93 (SD=32.39, n=9)
300ms	5	1387.76 (SD=50.00, n=32)	300ms	2	1289.29 (SD=20.78, n=14)
200ms	5	1372.08 (SD=41.65, n=20)	200ms	5	1323.96 (SD=37.45, n=24)
250ms	5	1357.89 (SD=37.11, n=19)	250ms	2	1287.88 (SD=31.70, n=11)
統制2	3	1267.56 (SD=49.19, n=28)	統制2	3	1195.56 (SD=35.47, n=30)

熟練者 A では、玉の運動の前後方向移動範囲、軌跡長、速度の主効果、交互作用が有意であった ( $p < .05$ )。単純主効果の検定の結果、前後方向移動範囲については、pre-test では遮蔽なし条件のほうが遮蔽あり条件よりも値が大きかったが、post-test では遮蔽あり条件のほうが大きく、遮蔽あり条件のシャッターの開いている時間が長い水準のほうが短い水準よりも値が大きい傾向があった ( $p < .05$ )。軌跡長は pre-test では遮蔽なしのほうが遮蔽あり条件よりも値が大きかったが、post-test では遮蔽なし条件はシャッターの開いている時間が長い水準よりも値が小さかった ( $p < .05$ )。速度は両 test で遮蔽あり条件のほうが遮蔽なし条件よりも値が小さかったが、post-test ではシャッターの開いている時間の短い水準のほうが長い水準よりも値が小さい傾向があった ( $p < .05$ )。また、前後方向移動範囲、軌跡長、速度は、両 test で実施した 300ms, 400ms, 500ms, 600ms のすべての水準で pre-test よりも post-test で値が大きくなっていた ( $p < .05$ ) (図2上)。

熟練者 B では、玉の軌跡長は2つの主効果と交互作用が有意であり、前後方向の移動範囲と速度は、遮蔽と学習の主効果が有意であった ( $p < .05$ )。下位検定の結果、軌跡長は、pre-test では遮蔽の有無による差は認められなかったが、post-test では

<sup>2</sup> 本研究では、pre-test と post-test で実施した水準や各水準での試行数が異なっている。そこで、欠損データを推定し、補完した。欠損データの推定には、ランダムな欠損であるという仮定をおき、Rパッケージの Ameria II 1.6.4(Honaker, King, & Blackwell, 2011[4])を用い、多重代入法を行った。補完された5組のデータセットに対し、分散分析を行った。5組のデータのそれぞれから得られた推定値を用いて、統合を行った。各testで実施しなかった水準についてもデータの補完を行ったが、本研究では実際に各testで実施した水準について報告を行うこととする。

遮蔽あり条件のほうが遮蔽なし条件よりも値が大きかった ( $p < .05$ ) また、600ms の水準では、post-testのほうがpre-testよりも値が大きかった ( $p < .05$ )。前後方向範囲と速度は、遮蔽あり条件のほうが遮蔽なし条件より値が大きく、post-testのほうがpre-testよりも値が大きかった ( $p < .05$ )。 (図2中)。

熟練者 C では、玉の運動の前後方向移動範囲、軌跡長、速度のすべてで主効果、交互作用が有意であり ( $p < .05$ )、単純主効果の検定の結果、pre-test では軌跡長のみ遮蔽あり条件のほうが遮蔽なし条件よりも値が大きかった ( $p < .05$ )。一方、Post-test では、前後方向範囲のみ遮蔽あり条件のほうが遮蔽なし条件よりも値が大きく、速度については、遮蔽なし条件はシャッターの開いている時間が長い水準のほうが遮蔽なし条件よりも値が大きかった ( $p < .05$ )。また、前後方向範囲と速度は両 test で実施したすべての水準で pre-test よりも post-test で値が大きくなっており、軌跡長は600ms 以外の水準で post-test の方が値が小さくなっていった ( $p < .05$ ) (図2下)。

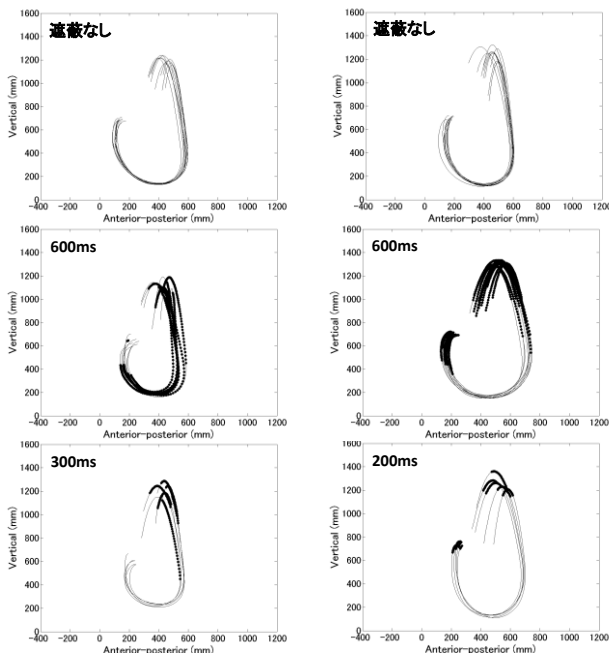


図1 熟練者Aのpre-test(左列)とpost-test(右列)における玉の軌道とシャッターの開閉タイミング。遮蔽なし条件と、遮蔽あり条件の一部の水準における代表的な1セットの成功試行の玉の軌道をプロットしたもの。横軸が前後方向、縦軸が上下方向であり、濃いドット部分はシャッターが開いていたタイミングに相当する。

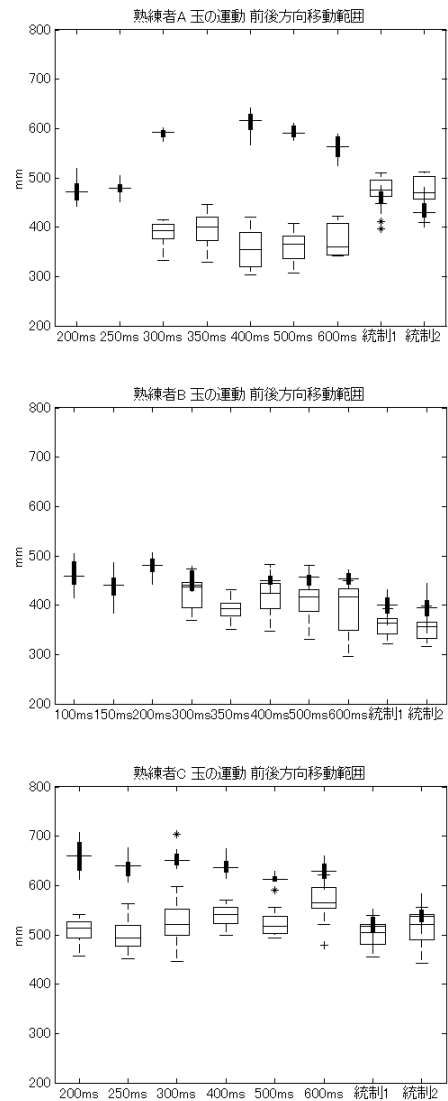


図2 熟練者A(上), B(中), C(下)の玉の運動の前後方向移動範囲。中抜きのボックスと十字の外れ値はpre-testのデータを、中塗りのボックスとアスタリスクの外れ値はpost-testのデータを示す。

### 3.3 頭部運動

視覚情報を得やすくすることは頭部運動の制御によっても達成されると考えられるため、頭部運動についても続いて検討した。すべての熟練者で、頭部は玉を振り出すときには下前方に動いて上下方向の動きが最小値をとり、玉を返して以降は頭部も上に動き、玉の軌道が頂点に到達するところで頭部もおおよそ上下方向の運動が最大値をとっていた。頭部運動が上下方向での最大値をとる付近でシャッターが開いていた。以降、玉の落下とともに、頭部も下に動いていた。すべての熟練者は、post-test で、頭部運動の上下方向の最大

値が遮蔽あり条件で大きくなっており上下方向の移動範囲が大きくなっていると考えられた。また、上下方向の頭部運動が最大値をとる時点は、シャッターが開くタイミングに相当するため、重要な変化だと考えられた。

見ることへの頭部の役割を考えた場合に、玉を返して以降の視知覚が重要になる局面において頭部運動が積極的に関与しているのではないかと考えられた。そこで、各試行で頭部運動が上下方向の最小値をとってからの試行の終了までの時系列を対象として、上下方向移動範囲、軌跡長、速度をそれぞれの熟練者の pre-test と post-test の各試行で算出した。それらの値が遮蔽と学習を要因として変化するかを、欠損データを補完して分散分析を行うことにより検討した。

熟練者 A の頭部運動は、上下方向移動範囲、軌跡長、速度のすべてで主効果、交互作用が有意であった( $p < .05$ )。単純主効果の検定より、上下方向移動範囲、軌跡長、速度は、pre-test では、遮蔽の有無による差が認められなかったが、post-test では遮蔽あり条件のほうが遮蔽なし条件よりも値が大きかった( $p < .05$ )。また、両 test で実施した遮蔽あり条件の水準で pre-test よりも post-test で値が大きくなっていた( $p < .05$ ) (図 3 上)。

熟練者 B の頭部運動は、上下方向移動範囲、軌跡長、速度のすべてで主効果、交互作用が有意であった( $p < .05$ )。単純主効果の検定より、頭部運動の上下方向移動範囲、軌跡長、速度は、pre-test では遮蔽の有無による差が認められなかったが、post-test では遮蔽あり条件のほうがなし条件よりも値が大きく、シャッターの開いている時間の短い水準のほうが長い水準よりも値が大きい傾向があった( $p < .05$ )。学習の効果については、軌跡長と速度の 500ms で pre-test のほうが post-test よりも値が大きかった( $p < .05$ ) (図 3 中)。

熟練者 C の頭部運動は、上下方向移動範囲、軌跡長、速度のすべてで主効果、交互作用が有意であった( $p < .05$ )。単純主効果の検定より、遮蔽あり条件間での差が認められた水準に違いがあるものの、pre-test でも post-test でも、上下方向移動範

囲、軌跡長、速度のすべて遮蔽あり条件のほうが遮蔽なし条件よりも値が大きかった。また、上下方向範囲と速度では、両 test で実施したすべての水準で、軌跡長では 250ms と 600ms の水準で pre-test よりも post-test のほうが値が小さくなっていた ( $p < .05$ ) (図 3 下)。

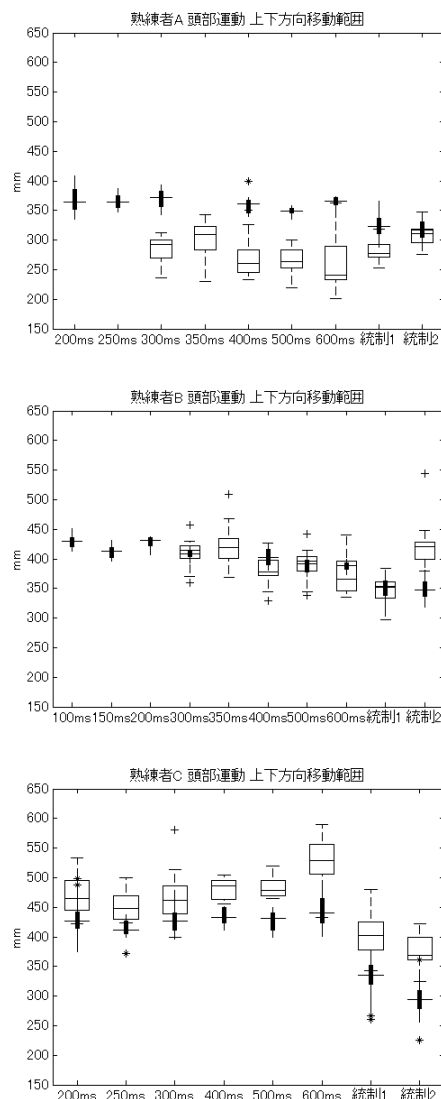


図 3 熟練者 A (上), B (中), C (下) の頭部運動の上下方向移動範囲。中抜きボックスと十字の外れ値は pre-test のデータを、中塗りのボックスとアスタリスクの外れ値は post-test のデータを示す。

### 3.4 玉の運動の相対速度

頭部中心座標系の玉の相対速度を各試行で算出し、ふりけんでけん先を玉に入れるときに、頭部の運動によって観察点を動かすことで、視覚情報を得やすくしていたのかどうかについて検討した。図 4 は、熟練者 A の post-test における遮蔽なし条件と、シャッターが 400ms 開いていた水準のあ

るセットにおける玉の相対速度を示している。図4で、速度が最大値をとるときが玉を返す(引く)ところで、速度が試行の途中で極小値をとるところが玉の軌道の頂点付近に相当する。図のように、玉の軌道の頂点付近では、条件に関わらず玉の相対速度の変化率が小さくなっていった。遮蔽あり条件では、速度変化率が小さくなるときにシャッターが開いており、さらに、速度変化率の小さい領域が遮蔽なし条件と比較して長くなっているようであった。速度変化率を小さくする時間を長くして、けんを玉に入れるときに利用する視覚情報を得やすくしているのではないかと考えられたため、その継続時間(範囲)を算出した<sup>3</sup>。そして3人の熟練者の速度変化率を小さくする時間幅について、遮蔽と学習を要因とする分散分析を行った。

熟練者 A は遮蔽と学習の主効果、交互作用が有意であった( $p < .05$ )。単純主効果の検定の結果、pre-test では、遮蔽水準間に有意差が認められなかったが、post-test では、遮蔽なし条件よりも遮蔽あり条件のほうが速度変化率を小さくしている時間が有意に長かった( $p < .05$ )、両 test とともに実施した遮蔽あり条件の各水準では、pre-test よりも post-test のほうが、減速の範囲が長かった( $p < .05$ ) (図 5)。

<sup>3</sup> 速度変化率を小さくする範囲は、その開始点と終了点を次のように算出した。まず減速の開始点については、玉の相対速度の時系列において、玉を返して以降(玉の相対速度が最大値をとって以降)の時系列を用いて、最初は 10 ポイントのデータを用いて回帰直線をあてはめ、決定係数を求める。回帰の当てはめに使う時系列を 1 ポイントずつ増やして決定係数を求めていき、減速が開始されると回帰へのあてはめが悪くなり、決定係数が小さくなる。本論文では、決定係数が 0.980 よりも小さくなった点を減速の開始とした。減速の終了点は、減速の開始とみなしたデータの速度変化率の絶対値が約 0.2 であったことから、その数値を基準として、速度変化率が増加し、かつ 0.2 より大きくなったポイントを減速終了点とした。

熟練者 B も遮蔽と学習の主効果、交互作用が有意であった( $p < .05$ )。単純主効果の検定の結果、pre-test では、遮蔽の有無で差は認められなかった。Post-test では、遮蔽あり条件の各水準のほうが遮蔽なし条件よりも減速の範囲が長く、シャッターの開いている時間が短い水準の方が長い水準よりも減速の時間が長かった( $p < .05$ )。500ms の水準では、pre-test よりも post-test のほうが、減速の範囲が短かった( $p < .05$ )。

熟練者 C は遮蔽と学習の主効果が有意であった( $p < .05$ )。多重比較の結果、遮蔽あり条件のほうが遮蔽なし条件より減速時間が長く、pre-test よりも post-test のほうが減速時間が短かった( $p < .05$ )。

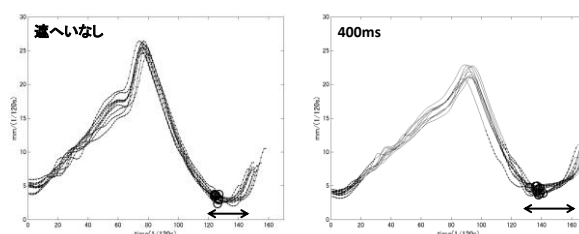


図4 熟練者 A の post-test における遮蔽なし条件の代表的なセット(左)とシャッターが 400ms 開いていた水準(右)の頭部中心座標系の玉の相対速度の時系列変化。図中の矢印が等速化の範囲を、ドットでプロットされた部分はシャッターが開いていたタイミングを、円は玉が頂点に到達したタイミングを示す。

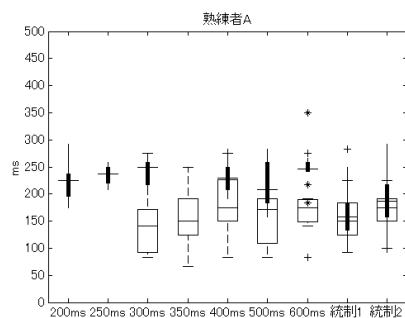


図5 熟練者 A における玉の相対速度の速度変化を小さくしていた時間(ms)。中抜きボックスと十字の外れ値は pre-test を、中塗りのボックスとアスタリスクの外れ値は post-test を示す。

## 4. 考察

### 4.1 視覚情報を得やすくする玉の運動と頭部の姿勢

本研究では、課題の達成可能性をより高めることに寄与する視覚情報を得るための身体運動と、



わざの成功との関係を検討することを目的とした。実験結果から、3人の熟練者は、pre-testよりもpost-testで、メガネのシャッターの開いている時間がより短い水準でふりけんを成功させることができるようになっており、シャッターの開閉タイミングと玉の運動との関係や、ふりけん動作時の玉・頭部運動の制御方略が変化していた。

すべての熟練者は、post-testでは、シャッターが開いている時間幅の大小に関わらず、玉の軌道の頂点付近でメガネが開くようになった。さらに、シャッターの開くタイミングは、pre-testよりもpost-testのほうでより一貫していた。したがって、3名の熟練者はシャッターが開くときに玉が軌道の頂点に到達するように玉の運動を制御していたと考えられた。熟練者Aでは、post-testでは試行開始時にもシャッターが開いており、シャッターの開いている時間幅に応じて玉の前後方向移動範囲、速度が変化していた。これらのことから、試行の開始にシャッターの開くタイミングを合わせ、いったんシャッターが閉じた後に再度シャッターが開くタイミングで玉が軌道の頂点に到達するように、玉の軌道をシャッターの開閉時間に応じて変化させたのではないかと考えられた。それに対し、熟練者B、Cは、post-testでは、玉の運動を者への有無で変化させていたが、熟練者Aのように遮蔽あり条件でシャッターの遮蔽時間の幅に応じて軌道を変化させてはいなかった。

一方、頭部運動については、post-testでは、すべての熟練者で上下方向の移動範囲、軌跡長、速度が、遮蔽なし条件よりも遮蔽あり条件で大きくなる傾向があったが、熟練者Bは遮蔽あり条件でシャッターの開いていた時間が短いほどに頭部運動が大きくなっていったのに対して、熟練者A、Cでは熟練者Bほどの変化はなかった。

頭部中心座標系での玉の相対速度の制御について分析したところ、すべて熟練者で玉の軌道の頂点付近、つまり、遮蔽あり条件でメガネが開くタイミングに相当するところで、玉の相対速度の変化率(加速度)が小さくなっていった。またそのように加速度が小さくなる区間の時間幅は、post-test

ではすべての熟練者で、遮蔽あり条件のほうが遮蔽なし条件よりも長くなっていった。このことは、玉の相対速度を小さくする時間を長くすることで、シャッターが開いて視覚を利用可能なタイミングで、けんを玉に入れるときに利用する視覚情報を得やすくしていたことを意味すると考えられる。頭部中心座標系での玉の相対速度に影響を与える要因は、頭部と玉の運動である。熟練者Aでは玉の運動、熟練者Bでは頭部運動がシャッターの開いていた時間に応じて変化しており、熟練者の制御方略には個人差があった。しかしながら、すべての熟練者とも、ふりけんを成功に導く視覚情報を得やすいように運動の制御をし、通常よりも視環境の制約が厳しい本研究の実験状況下でもふりけんを成功に導いていたのではないかと考えられた。もちろん、そのような知覚的スキルではなく、ほとんど見えていない中でけんを玉に入れる「操作」自体が上達し、そのおかげでpost-testでふりけんが成功するようになった可能性もある。しかし、適切なタイミングで玉の特定の軌跡区間を視知覚できるようにするけん玉熟練者の玉の制御、頭部の姿勢制御が行われていることから、視覚情報をより得やすくする調整が、ふりけんを成功に導いた可能性が高いと考えられる。

#### 4.2 けん玉熟練者が利用した情報

練習後に行われたpost-testでは、すべて熟練者は、玉の軌道の特定区間が選択的に見えるように玉を制御しており、また、選択的に見えるようにしていた区間は軌道の頂点付近であった。この結果は、van Santvoordら(1994)のジャグリング研究の結果と同様であった。中級ジャグラーが玉の軌跡の頂点に引き続く区間を選択的に見ることができるようになっていた理由のひとつとして、van Santvoordら(1994)は、その特定の区間が捕球をする手に対する接触までの時間、接触する場所を知覚するためのより価値のある情報を提供できる可能性を挙げている。本実験の結果からは、頂点付近の情報がふりけんを成功させるために重要であったと考えられるが、その点については本研究と

類似した点をもつ状況下で視覚情報を検討した Todd(1981)の研究が参考になる[5]. Todd(1981)は、運動する物体についての視覚情報を検討する一連の実験のなかで、放物線軌道で観察者に接近する物体を一定の間隔でディスプレイ上に投影し、観察者に軌道の途中まで見せて、その物体が観察者の前に落ちるか、観察点に落ちるか判断をさせた。放物線軌道を描く物体が軌道の頂点に到達する前にディスプレイへの呈示を終了した場合と、軌道がちょうど頂点に到達した時点で呈示を終了する場合を比較し、軌道の頂点の情報が物体の落下位置についての判断に与える影響を検討したところ、観察者の判断の正確さにはあまり影響を与えなかった。判断に影響を与えていたのは、呈示される物体のサイズと加速度であり、それらが試行ごとに変化せず一定であるとき、物体がどこに落ちるかの判断が正確なものとなった。van Santvoordらの研究結果と、この Todd の実験結果を考慮すると、本研究においても、頂点という幅の無い「点」が重要だったとは考えにくく、頂点を含む一定の幅をもった玉の運動を見ることが重要なのだと考えられる。その上で、本研究の状況下で熟練者が「頂点」の付近を選択的に見えるようにしていたのには理由があるだろう。理由として考えられるのは、放物運動する玉の速度はその軌道の頂点付近で小さくなるために玉自体を相対的に視認しやすく、また、その部分では、本研究では触れなかったが、回転する玉の穴が熟練者から見える範囲にあるであろうことである。さらに、けんを玉に入れるまさにそのときにシャッターの開くタイミングを合わせても、けんをもつ手の運動を修正することは反応時間との兼ね合いですでにできなくなっているため、その少し手前にシャッターの開くタイミングを合わせるほうがふりけんを成功させるためには効果的であろう。けん玉熟練者たちは、物理則に従って回転を伴い放物運動をする玉の頂点付近の「シークエンス」を視覚して、けんを玉に入れるタイミングを予期的に制御していたのではないかと考えられる。

#### 4.3 今後の展望

本研究では、けん玉の「ふりけん」において視覚を助ける運動が技の成功にどう寄与するのかを検討してきた。実験結果から、玉・頭部運動の制御といった視知覚をサポートする運動が通常より制約が厳しい条件下でのふりけんの成功を促していると考えられた。視知覚を助ける運動については、本研究でのけん玉熟練者の学習プロセスの検討や他のスキルレベルの実験参加者を対象とする検討をすることにより、その役割がより明らかになるだろう。また、本研究で検討された視知覚をサポートする運動は、他のタスク、特に時空間的な制約のあるタスク(スポーツなど)でも意義があると考えられ、その効果の検証が必要であろう。

#### 参考文献

- [1] Van Santvoord, A. A. M., & Beek, P. J. (1994). Phasing and the pick-up of optical information in cascade juggling. *Ecological Psychology*, **6**, 239-263.
- [2] Ito, M., Mishima, H., & Sasaki, M. (2011). The Dynamical Stability of Visual Coupling and Knee Flexibility in Skilled Kendama Players. *Ecological Psychology*, **23**, 308-332.
- [3] Oudejans, R. R., Michaels, C. F., Bakker, F. C., & Dolne, M.A. (1996). The relevance of action in perceiving affordances: perception of catchableness of fly balls. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **22**, 879-891.
- [4] Honaker, J., King, G., & Blackwell, M. (2011). Amelia II: A Program for Missing Data. *Journal of Statistical Software*, **45**, 1-47.
- [5] Todd, J. T. (1981). Visual Information About Moving Objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, **7**, 795-810.