

【原著論文】

ソフトボール・ウインドミル投法におけるライズボールの投げ方

～手・指のキネマティクス～

高橋 流星¹⁾, 筒井 崇護²⁾, 古城 隆利¹⁾, 船渡 和男³⁾, 小嶋 武次⁴⁾

¹⁾ 日本体育大学コーチング系

²⁾ 日本体育大学身体教育系

³⁾ 日本体育大学体育スポーツ科学系

⁴⁾ 調布バイオメカニクス研究所

How to throw a rise ball using a windmill pitch in fastpitch softball

—Kinematics of the hand and fingers of the pitching arm—

TAKAHASHI Subaru, TSUTSUI Takamori, KOJO Takatoshi, FUNATO Kazuo and KOJIMA Takeji

Abstract: The purpose of this paper was to analyze the snap of the wrist joint of the pitching arm kinematically in windmill pitches of a rise ball in fastpitch softball, and to investigate the mechanism which explains how the increase of a backspin speed of the ball is brought about. Five male collegiate fastpitch softball pitchers participated in this study. Each subject pitched a rise ball 20 times in a laboratory. Their pitching motions and the motion of the ball were captured using eight high-speed cameras (500 fps), and the motions of the forearm, hand, fingers of the pitching arm and the ball were kinematically analyzed with the markers attached to their bodies and the ball. The angular velocities of the wrist palmar flexion of all subjects began to increase rapidly associated with the increases of the backspin speed of the ball and the linear speed of the fingertip of the middle finger when the forearm brushed the lateral side of the hip. The mean time period from the start of the brushing to the appearance of the maximum angular velocity of the wrist palmar flexion was at most 0.014 s among all subjects. The mean value of the maximum velocity of each subject was statistically larger than the mean maximum wrist palmar flexion velocity produced voluntarily by human subjects using only the muscles crossing the wrist joint (Jessop and Pain, 2016, p. 41). The mean maximum velocities of the four subjects in this study exceeded the latter maximum by 1.5 times at least, and the velocity of another subject also exceeded the latter maximum. The time period from the start of the brushing to the appearance of the maximum backspin speed of the ball in a pitch was at most 0.016 s in the pitches done by all subjects. In baseball throwing, the resultant joint force acting from the forearm to the hand of the throwing arm helps increase the mechanical energies of the hand and ball during the final phase of throwing motion (Miyanishi et al., 1997, pp. 59–63). In this phase, the larger the dorsiflexion angle of the wrist joint up to an angle of $\pi/2$ rad, the larger the rate of the increase of the mechanical energies due to the rotation of the hand (Ae, 2004, p. 439, equation (38)). The mean dorsiflexion angles shown by the subjects of this study at the start of brushing were at most about one-third of the maximum angles observed in the phase of baseball throwing (Barrentine et al., 1998, p. 30; Sakurai et al., 1993, p. 62; Solomito et al., 2014, p. 324). The mean linear speeds of the fingertip at the appearance of the maximum backspin speed were statistically larger than the speeds at the start of the brushing for three subjects. These results suggest that the snaps of the wrist joint in the rise ball pitches were not voluntarily brought about using the muscles but mainly from the impulsive force acting on the forearm caused by the brushing considering the recruitment of the nervous system, the rate of muscular activation, and the dorsiflexion angle of the wrist joint at the start of the brushing, and that the increases of the backspin speed of the ball after the start of the brushing for the three subjects were brought about by the snaps considering the increase of the backspin speed associated with the increase of the linear speed of the fingertip.

要旨：本研究の目的は、ファーストピッチソフトボールでのウインドミル投法を用いたライズボールの投球で、投球腕の手関節のスナップを運動学によって分析し、そのスナップがもたらされる仕組みとライズボールの下回転角速度が増加する仕組みを調べることであった。大学でファーストピッチソフトボールを行っている5名の男子投手がこの研究に参加した。各被験者は実験室で20球のライズボールの投球をした。彼らが投球する際の身体とボールの動きがモーションキャプチャーシステムを用いて8台の高速度カメラで毎秒500コマで撮影され、投球腕の前腕、手、指とボールの運動がそれらに付けられたマーカーを用いて運動学により分析された。前腕による腰の外側部のブラッシングが行われている間に、ボールの下回転速度の増加とともに全ての被験者の手関節掌屈角速度が急増し始めた。ブラッシング開始から最大手関節掌屈角速度が出現するまでの時間の平均値は被験者全員について最長でも0.014秒であった。その際の各被験者の最大手関節掌屈角速度の平均値は、ヒトの手関節周りの筋のみで随意的に生み出される最大手関節掌屈角速度の平均値 (Jessop, D M and Pain, M T G, 2016, p. 41) より有意に大きかった。4名の各値はその平均値の少なくとも1.5倍を超えており、残り1名の値はその平均値を超えていた。また、ブラッシング開始から最も長く0.016秒で分析された全ての被験者の投球でのボールの下回転角速度の最大値が出現した。野球の投球では、投球腕の前腕の運動由来で前腕から手に作用する合力が投球の最終的な局面で手とボールの機械的エネルギーを増加させるのを助長する (Miyanishi et al., 1997, pp. 59-63)。この際、手関節の背屈角度が $\pi/2$ radの範囲まではその角度が大きいほど手の回転に由来する手とボールの機械的エネルギーの増加の割合も大きい (阿江, 2004, p. 439, 式 (38))。本研究で被験者がブラッシング開始時に示したその角度の平均値は、野球の投球の最終局面での最大値 (Barrentine et al., 1998, p. 30; Sakurai et al., 1993, p. 62; Solomito et al., 2014, p. 324) の最大でも約1/3であった。3名の被験者で、ボールの下回転角速度が最大になった時の中指の指先速度はブラッシング開始時の同速度より有意に大きかった。随意的な運動では筋に達する神経刺激は漸増的で、また神経刺激を受けた筋も十分に活動するためには一定の時間が必要であり、ブラッシング開始時の手関節の背屈角度が野球の投球の最終局面でのその最大値より小さかった。これらのことを考慮すると、以上の結果は、ライズボールを投げる際の手関節のスナップは手関節を跨ぐ筋を用いての随意的な手関節の運動によってではなく、ブラッシングの際に前腕に作用した衝撃力によって主にもたらされていること、及び先の3名の被験者について、ブラッシング開始後のボールの下回転角速度の増加はブラッシングによって生じたスナップが中指の指先速度を増加させたことに由来していることを示唆している。

(Received: October 1, 2020 Accepted: December 10, 2020)

Key words: windmill pitching, rise ball, brushing, hand and fingers

キーワード：ウインドミル投法、ライズボール、ブラッシング、手指

1. 緒 言

ウインドミル投法は、風車のように投球腕を一回転させ、その勢いを利用して投球するダイナミックな投法である。ウインドミル投法の特徴の一つは、振り下ろしてきた前腕尺側部を腰外側部付近に接触させて投球することであり (ブラッシング動作: 付録1)、非常に複雑な投球動作でもある。本投法においても野球と同様に変化球が存在する。そのひとつであるライズボールは、リリースポイントが低く且つ下回転の角速度成分を持つためにボールが浮いてくる感覚を打者に与え、投球の幅を広げる重要な球種でもある。井川 (2005, p. 35) によると、ストライクゾーンからボールになるライズボールの方が三振を奪う確率が増加し、尚且つ高めと低めに投げ分ける投手は、ピッチングの幅が広がるとされている。ニュージーランドソフトボール協会の指導教本 (Coaching Planner, 2005) にも、ポップフライを打たせたいときにストライクゾー

ンの高めに投球することやストライクゾーンの下限に投げ、低いライズボールで空振りを取るために投球する重要な球種とされている。上記のように、ライズボールの修得は、試合に勝利する上で重要であると捉えることが出来る。しかしながら、ライズボールを修得することは、他の多くの球種の習得より難しいとされている (Coaching Planner, 2005)。

具体的な練習方法や投球するために大切な幾つかのポイントとして挙げられていることは、ボールに対してスナップを用いてバックスピンをかける必要がある (利根川, 2008, p. 54, 56, 60)、そのためにはリリースの際にボールの下に手のひらを入れスナップを利用することや (増淵, 2014, p. 44, 49)、手首を内に曲げて手の甲を下に向けスナップを利用すること (星野, 2014, p. 35, 36)、肘を曲げて前腕と手首、指を小指側から上に絞るように捻り上げ、その際にスナップを利用すること (三宅, 1996, p. 42, 45, 50, 53)、野球での上投げのカーブを投げる際のリストワークを使うこと

(小川・高橋, 2018, p. 20) などがある。Sammons (1997, p. 99) は、手掌が3 塁側を向くことや手が回転して中指がボールの下側を移動すること、ドアノブを回すように、手首のスナップを効かせること、ボールに強いバックスピンを与えることなどを挙げている。また Kempf (2002, p. 111) は、手指については、ボールがグラブから離れるときに手首を少し曲げ、手をボールの下にして手首のスナップに向かうこと、手をボールの下側を横滑りさせ、リリースではボールより先行させるといったことを記載している。National Fastpitch Coaches Association (2002, p. 201) では、完全なバックスピンの投げようとしても、前腕を捻っての手首のスナップ、急激に動きが変化するフォロースルー、また腰と肩の適正な位置を維持することの難しさなどの理由によりスクリーのような回転になり易く、ライズボールの回転のかけ方は複雑で難しいとしている。よって、その回転のかけ方を練習するときは、速い回転を生み出すために手首のスナップの素早さを強調すべきであると記載されている。

このように、ボールに下回転を与えるためにスナップの利用を勧める指導書が相当数見られるが(星野, 2014, p. 36; Kempf, 2002, p. 111; 増淵, 2014, p. 49; 三宅, 1996, p. 42; National Fastpitch Coaches Association, 2002, p. 201; Sammons, 1997, p. 99; 利根川, 2008, p. 54), 客観的なデータに基づいてのスナップの技術指導はそれらの中に全く見当たらない。松浦 (2012, p. 20) はブラッシングの利点のひとつとして、「ブラッシングの瞬間に強く鋭いスピンのかけられる。」ことを挙げている。小嶋と高橋 (2018) は、ウインドミル投法で直球を投げる際、ブラッシング開始に合わせて手関節が急激に掌屈することを報告している。これらの点を考慮し、本研究ではライズボールを投げる際のブラッシングにより生ずるスナップがスナップ開始後のボールの下回転角速度の増加を生み出すという仮説を立て、それを運動学的観点から検証することを研究目的とした。それにより競技力向上に役立ち、また今後のソフトボール選手のタレント発掘や指導の一助、もしくは今後の研究課題を見つける重要な研究になり得ると考えた。

2. 方 法

2-1 被験者

被験者は大学男子ソフトボール投手5名で、彼らの身体的特徴を表1に示す。彼らは高等学校及び大学時にそれぞれ全国大会に出場経験があり、競技レベルが高い被験者であった。3名が右投げで、2名が左投げであった。

本研究では、日本体育大学倫理規定に基づき同倫理

表1 被験者の身体的特徴 (平均値±標準偏差)

	年齢(歳)			身長(cm)			体重(kg)		
	mean	±	sd	mean	±	sd	mean	±	sd
n = 5	20.7	±	0.5	176.0	±	4.6	76.6	±	5.6

委員会の承認を得たうえで(承認番号: 第018-H140号)、実験の目的と内容を十分に説明し、参加の同意が得られた者を実験の対象とした。

2-2 実験設定および測定機材

実験室内(図1)で被験者は伸縮性のある袖なしのシャツと水泳パンツを着け、ゴム底の運動靴を履いた。まず、投球腕の示指と中指の中手指節関節(中手骨端)の厚さをデジタルノギス150mm(シンワ測定(株))を用いて計測した。十分な準備運動の後に投球練習を行った。投球プレートから簡易バックネットまでの距離は約4mであり、的はなかった。床には屋内テニスコートの床に用いられる緩衝性のあるシートを3枚重ね、投球中の床からの被験者への衝撃を和らげた。被験者が十分に投球に慣れたと感じた後に身体に反射マーカーを付けた。試行内容は、実験室内にてストレートとライズボールをバックネットに向かって全力投球(各20球)することであった。その際、捕手に投球するような感覚で投げるように依頼した。5球毎にライズとストレートで順番を変え、球種が変わるたびに2投の練習を行ってから試行に入った。20球の投球終了後10分間の休みを入れ、その後は5球毎にストレート、ライズの順で投球した。試合の投球ではグラブを装着するが、マーカーの反射を遮ることが多くデータの欠損があった為、本研究ではグラブの着用はしなかった。ソフトボールは、試合用公認球(MIZUNO150: MIZUNO社製)を使用した。

図2に示すように身体の様々な部分に反射マーカー

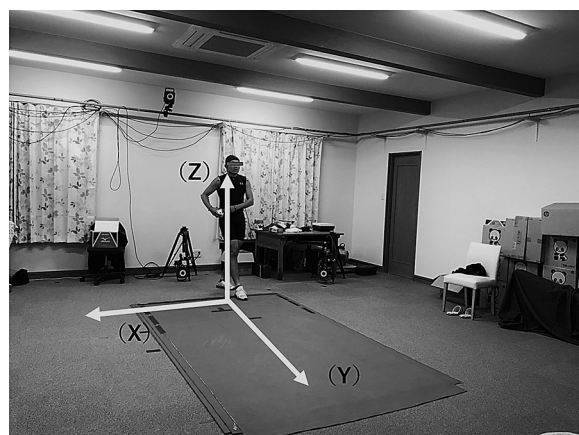


図1 実験風景と実験室の全体座標系

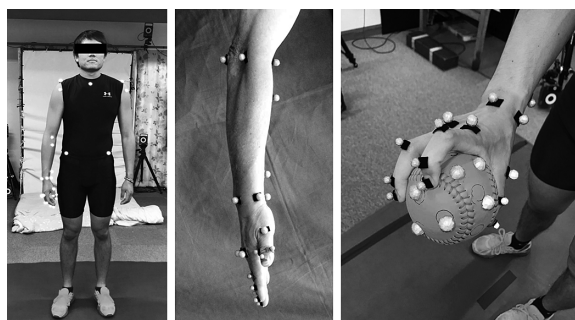


図2 身体とボールに付けたマーカの位置

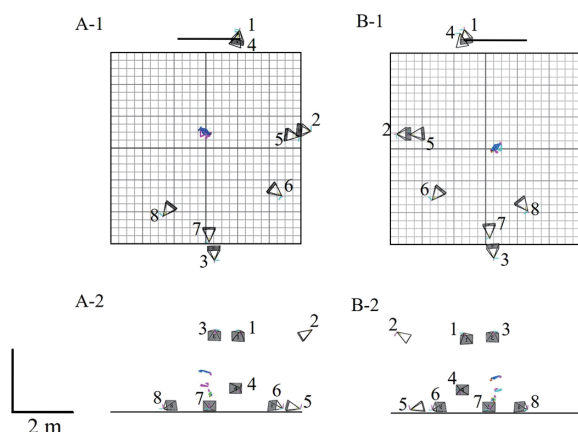


図3 モーションキャプチャー用カメラ (VICON-MT10: Vicon社製) の位置。図A, Bはそれぞれ右投げ及び左投げ投手の場合で、-1, -2はそれぞれ上方及び後方から見た場合である。A-1, B-1の各上方の太い横線はバックネットの位置を示す。A-2, B-2の各下方の横線は床を示す。カメラの番号はA, Bそれぞれで上方と後方に対応している。各図のほぼ中央部の不規則な線はブラッシング開始時の被験者のスティックピクチャーである。

を両面テープを用いて付けたが、本研究で分析に用いたマーカは以下の場所に付けた。肘関節とその近傍の前腕上で、上腕骨の外側上顆、肘関節外周上の脊側と腹側の内・外側上顆の midpoint、及び前腕腹側上に付けた。手関節とその近傍の前腕上で、橈骨茎状突起、手関節外周上の掌側及び背側の橈骨及び尺骨両茎状突起の midpoint、及び前腕腹側上に付けた。手については、示指と中指の中手指節関節中心に近い背側部、近位指節間関節中心に近い背側上及び爪上に付けた。用いた反射マーカの直径は、肘関節とその近傍、手関節とその近傍及び中手指節関節上は 12 mm、指節間関節と爪上は 8 mm、それ以外は 15 mm であった。

試行中の反射マーカの位置座標を求めるために、モーションキャプチャー装置 (VICON-MT10, 500 Hz: カメラ 8 台) を用いた (図 3)。

2-3 分析

用いたボールと爪上のマーカの半径がそれぞれ 0.049 m と 0.004 m であったので、このマーカ近辺の

指節の厚さと幅を考慮して、ボールリリースの時刻は、ボールの中心と示指の爪上のマーカの中心間の距離が 0.06 m 以上になった時とした。ただし、その時の距離が 0.075 m 以上であった場合には、時間的にはそのひとつ前の撮影コマがボールリリースの時刻により近いと考え、その時刻を採用した。

ボールリリースの次のコマまで分析に必要な全てのマーカの位置座標が得られていない場合は、その試行は分析から除いた。ただし、モーションキャプチャーシステムのプログラム (Nexus 1.8.5) を用いて内挿して求められる場合はその限りではなかった。内挿の際は、5 次のスプライン関数による方法と、近くの他のマーカの運動を参照する方法を用いた。マーカの欠損部分の時間的前後に十分な数の同マーカの位置座標が得られている場合は前者を用い、そうでない場合は後者を用いた。また 1 名の被験者の試行で、ブラッシング開始時のボールの下回転角速度がその試行での最大下回転角速度となった場合が数試行あり、それらは分析から除いた。

実験室の全体座標系は、黒色のガムテープで示した投球プレートからの向かう床と平行な軸を Y-軸とし、投球プレート上の鉛直軸を Z-軸とした。Y-軸と Z-軸の外積として得られたベクトルを X-軸とした (図 1)。なお、身体セグメントの局所座標系と関節座標系の各軸は小文字の x, y, z で表した。

ボールリリース直前に投球腕と体側との接触があるため、すべてのマーカの座標の平滑化を行わなかった。

肘関節及び手関節の中心に関し、前者の関節については上腕骨の内・外側上顆上に、そして後者の関節については橈・尺骨茎状突起上に付けたそれぞれ 2 つのマーカの位置座標の平均値を関節中心の位置座標とする方法がしばしば用いられている (Jinji et al., 2012, p. 786; Naito et al., 2014, p. 119)。しかしウインドミル投法では、ブラッシングにより投球腕が体側を擦るため、内側上顆上と尺骨茎状突起上のマーカの皮膚上の位置がずれたりそれらが剥けて落下する恐れがあるため、それらのマーカを付けなかった。そのため、それぞれの関節について、外周上の midpoint に付けた 2 つのマーカの midpoint で代用した。

中指の中手指節関節の中心は、手関節屈伸軸、手関節中心から中手指節関節上のマーカの中心への位置ベクトル及び中手骨端の厚さを用いて求めた (Barrentine et al., 1998, p. 39)。示指については、手関節屈伸軸の代わりに示指用の屈伸軸を設定し (付録 2), Barrentine et al. (1998, p. 39) の方法を援用して求めた。

野球のオーバーハンドでの投球の分析では、ボールの表面に付ける 2 つのマーカをそれらの中心を結ん

だ線分がボールの中心を通るように付け、2つのマーカーのそれぞれの中心の位置座標の平均値をボールの中心とする方法が報告されている (Nissen et al., 2007, p. 1348)。しかしウインドミル投法では、ボールリリース直前にボールが両脚の直ぐ横を通過し、限られたカメラの台数では野球の場合のような2つのマーカーの位置座標を連続的に求めることが難しい。そのため、付録3に述べる3つのマーカーによる方法を用いた。

次に身体セグメントの局所座標系と関節座標系について述べる。以下の位置ベクトル \mathbf{r}_1 と \mathbf{r}_2 を用いて前腕の局所座標系と前腕関節と手関節の座標系を求めた。

・前腕の局所座標系と前腕関節と手関節の座標系

- \mathbf{r}_1 : 肘関節中心から手関節中心へのベクトル
- \mathbf{r}_2 : 手関節脊側のマーカー中心から同関節掌側のマーカー中心へのベクトル

$$\mathbf{r}_4 = \mathbf{r}_1 \times \mathbf{r}_2, \quad \mathbf{r}_3 = \mathbf{r}_1 \times \mathbf{r}_4, \quad \mathbf{r}_2 = \mathbf{r}_4$$

局所座標系はこの操作で得られた $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3$ と向きが等しい単位直交ベクトルとした。また、前腕関節の回内外軸は \mathbf{r}_1 に平行であり、手関節の屈伸軸と橈尺屈軸はそれぞれ \mathbf{r}_2 と \mathbf{r}_3 に平行である。

・手の局所座標系

- \mathbf{r}_1 : 手関節中心から中指の中手指節関節中心へのベクトル
- \mathbf{r}_2 : 手関節脊側のマーカー中心から同関節掌側マーカー中心へのベクトル

$$\mathbf{r}_4 = \mathbf{r}_1 \times \mathbf{r}_2, \quad \mathbf{r}_3 = \mathbf{r}_1 \times \mathbf{r}_4, \quad \mathbf{r}_2 = \mathbf{r}_4$$

局所座標系はこの操作で得られた $\mathbf{r}_1, \mathbf{r}_2, \mathbf{r}_3$ と向きが等しい単位直交ベクトルとした。

運動中の身体セグメントの姿勢行列を求めるため、まず試行前に行った静止状態での基本姿勢中の各身体セグメントの3個のマーカーからそれぞれの姿勢行列を求めた。運動中の各身体セグメントの姿勢行列を求めるため、まず ISB のウェブサイト (<https://isbweb.org/>)

にある Veldpaus et al. (1988, pp. 46–48) のアルゴリズムによるフォートランプログラム DISP3D (新版は DISP3DB) を用いて静止時の姿勢行列を基準とするそれらの回転行列を求めた。そして、その行列を対応する身体セグメントの静止時の姿勢行列の左側にかけることにより、運動時の姿勢行列を求めた。

各身体セグメントの角速度は、それらの時間的に連続する回転行列に Poisson の式 (Wittenburg, 1997, p. 29; ザツィオルスキー, 1999, pp. 167–170) を用いて求めた。ボールの角速度は、DISP3D を用いて同様に回転行列を求めた後、同式を用いて求めた。ボールについては姿勢行列を求めなかったため、この際の基準の姿勢行列は、適当な時刻の回転行列で代用した。以下が Poisson の式である。

$$[\dot{\theta}] = [\dot{R}][R]^T$$

但し、 $[\dot{\theta}]$ は角速度行列、 $[\dot{R}]$ は回転行列の時間変化率、 $[R]^T$ は回転行列の転置行列である。 $\dot{\theta}_x, \dot{\theta}_y, \dot{\theta}_z$ は、それぞれ全体座標系での角速度成分である。

$$[\dot{\theta}] = \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\theta}_z & \dot{\theta}_y \\ \dot{\theta}_z & 0 & -\dot{\theta}_x \\ -\dot{\theta}_y & \dot{\theta}_x & 0 \end{bmatrix}$$

関節角速度は、隣接する遠位の身体セグメントの角速度から近位の身体セグメントの角速度を引き、それを関節座標系の各軸に投影した。

ボールの角速度の各成分については図4に示す。X-軸がライズ回転成分、Y-軸がジャイロ回転成分、Z-軸がスライダ回転成分と定義し、またボールの角速度ベクトルと角速度ベクトルの各成分を示した。

図5は、手関節の掌背屈角度の定義を示す。

図6は、手の向きの定義を示す。

2-4 統計処理

平均値の差の検定を行うために、t-検定を用いた。

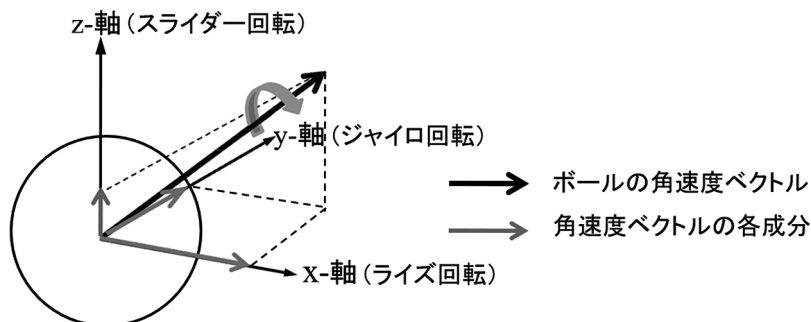


図4 ライズボールの全体座標系での角速度成分。黒色の矢印はソフトボールの角速度ベクトルで、灰色の矢印はそのベクトルのX-, Y-, Z-軸周りの角速度成分である。ベクトルの方向に右ねじの先を向けてねじを回した際に、ねじがベクトルの方向へ進む回転方向が、ベクトルが表す回転方向である。また回転速度の大きさは、ベクトルの長さで表している。

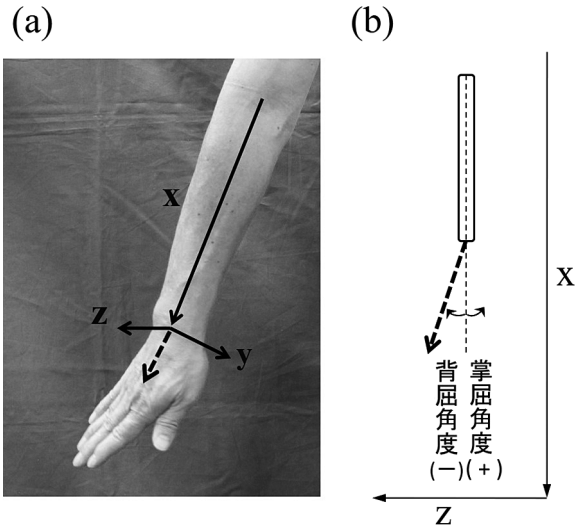


図5 手関節の掌背屈角度の定義。図(a)のx-, y-, z-軸は手関節座標系のx-, y-, z-軸に平行している。破線は手関節中心から中指の中手指節関節中心へのベクトルである。図(b)の縦線と横線はそれぞれ手関節座標系のx-軸とz-軸に平行している。手関節中心から中指の中手指節関節中心へのベクトルをx-z平面に投影し、投影されたベクトルとx-軸が作る角を掌背屈角とした。掌屈位と背屈位をそれぞれ正值と負値で表した。

4. 考察でのブラッシング開始後の最大手関節掌屈角速度の平均値とヒトの手関節周りの筋のみで反動動作を用いて随意的に生み出される最大手関節掌屈角速度の平均値の比較に対応のないt検定を用い、それ以外の平均値の比較では対応のあるt検定を用いた。p<0.05の場合に両群間に有意な差があったとした。

3. 結果

分析が出来た試行数は、被験者AからEまで5名について順に19, 19, 10, 16, 11であった。試行の欠損

の理由を被験者AからEまで順に述べる。被験者Aでは、示指の爪上のマーカを付け忘れた。被験者Bでは、肘関節周りの1つのマーカを付け忘れた。被験者Cでは、ボールリリース1-3コマ前からボールのマーカの一部がカメラから隠れて位置座標を算出できなかった(8試行)試行に加え、ボールリリース1-2コマ前から示指の爪上のマーカがカメラから隠れ、その位置座標が算出できなかった(2試行)。被験者Dでは、ボールリリース1コマ前からボールのマーカひとつがカメラから隠れ、位置座標を算出できなかった(3試行)のに加え、1試行でリリースと思われるコマ以降で中指の爪上のマーカの位置座標が算出できなかった。被験者Eでは、6試行でブラッシング開始時のボールの下回転速度が最大であった。また2試行でリリース前2-3コマからボールのひとつのマーカがカメラから隠れてその位置座標が算出できず、1試行で示指の爪上のマーカがリリース4コマ前から剥がれ落ちた。

図7は被験者Bのある試行でのブラッシング開始からボールリリース0.004秒前までのボールに対する手関節中心及び示指と中指の中手指節関節中心、近位指節関節近くと爪先に付けたマーカの位置を示している。同図aから、両指が手関節中心を回転の中心にして反時計回りに回転しているように見える。また、中指はリリース0.004秒前になる以前にボールから離れている。

同試行でのボールの角速度を全体座標系のX-, Y-, Z-軸周りの成分として図8に示した。ライズボールの特徴である下回転(X-軸周り)の角速度成分は途中で最大値に達し、ボールリリースに向けて減少した。一方、Y-軸周りの角速度成分はリリース直前まで増加した。

本研究ではブラッシング開始を全体座標系のY-軸

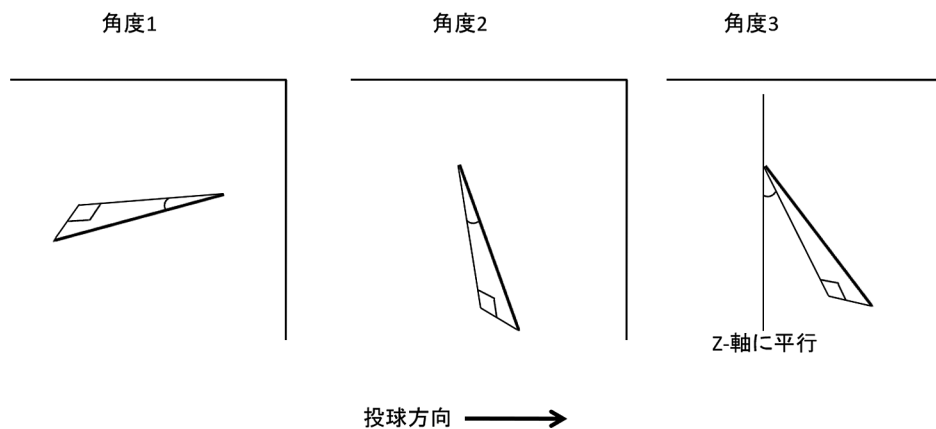


図6 手の向きの定義(右投げの被験者の場合)。角度1から角度3の各面は、全体座標系のY-Z平面に平行である。角度1の太線は橈骨茎状突起(左端)と尺骨茎状突起(右端)を結んだ線分に平行である。角度2, 角度3の太線は手関節中心(上端)から中指の中手指節関節中心(下端)を結んだ線分に平行である。左投げの被験者の結果は、右投げの被験者の結果の表示に合わせて換算して表示した。

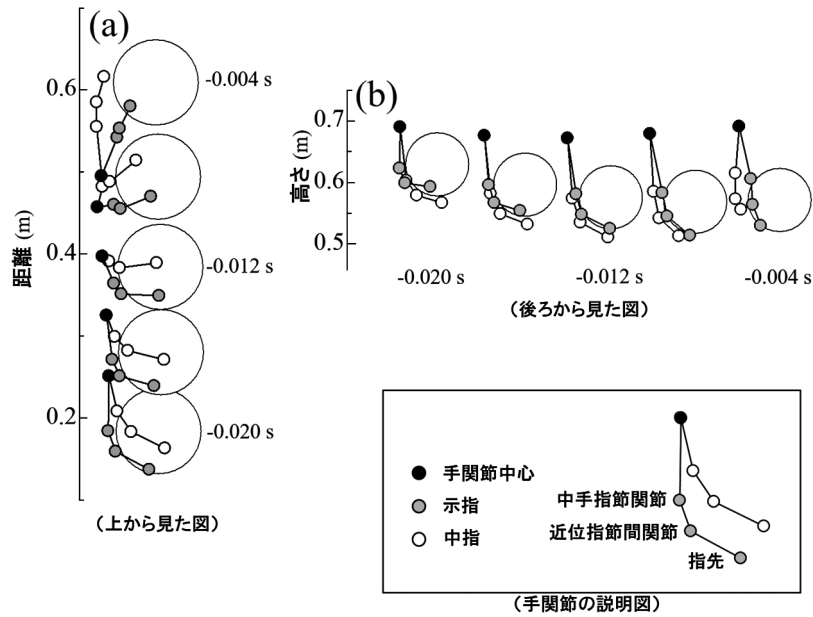


図7 手指とボールの位置関係図。選手Bのある試行におけるソフトボールに対する手関節中心、示指と中指の中手指節関節中心及び近位指節間関節近くと爪上のマーカーの位置を示した。以下でも指先とは爪上に付けたマーカーを意味する。(a)は真上から見た図であり図の下から上方向が投球方向である。(b)は2塁ベースとホームベースを結ぶ線上で、2塁ベースと投手間から見た図である。横方向は図が重なるのを避けるために、各図を一定間隔ずらしている。時間はボールリリースの時刻を0sとし、それ以前の時刻を負とした。以下の図でも同じである。

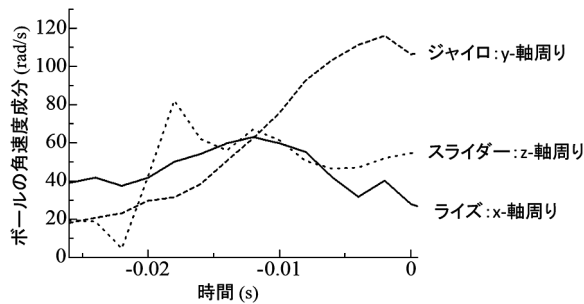


図8 ライズボールでのボールの角速度成分。実線はX-軸周リ(ライズ)、破線はY-軸周リ(ジャイロ)、点線はZ-軸周リ(スライダー)の角速度成分を表す。横軸の時間0sはボールリリースを示す。図7と同試行である。

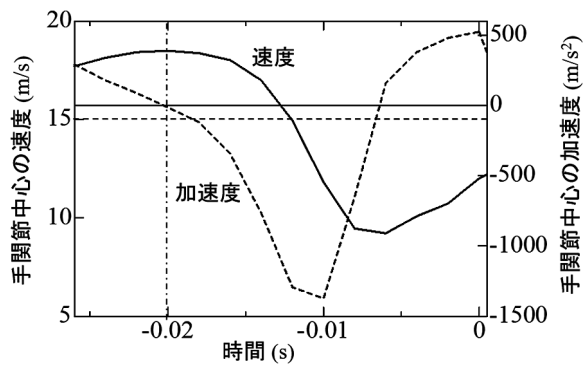


図9 ブラッシング開始の定義。手関節中心の速度と加速度はY-軸成分のみを用いた。水平の破線は加速度 -100 m/s^2 を示し、垂直の一点鎖線はこの試行でのブラッシング開始を示す。横軸の時間0sはボールリリースを示す。図7と同試行である。

に沿った手関節中心の減速を用いて決めた。図9は同試行での手関節中心のY-軸方向の速度成分と加速度成分を示している。加速度成分が数コマ続いて -100 m/s^2 よりも小さくなった最初のコマの1コマ前をブラッシング開始とした。

図10に同試行のブラッシング直前からの手指とボールの運動の幾つかを示した。ブラッシング開始直後から手関節の掌屈と尺屈の角速度が急増し、ボールの下回転角速度が最高に達した直後に示指と中指の指先速度は減少し、一時ボール速度を下回った。

表2に5名の被験者の試行でのボール速度、及びボールの下回転角速度についてブラッシング開始時、最大

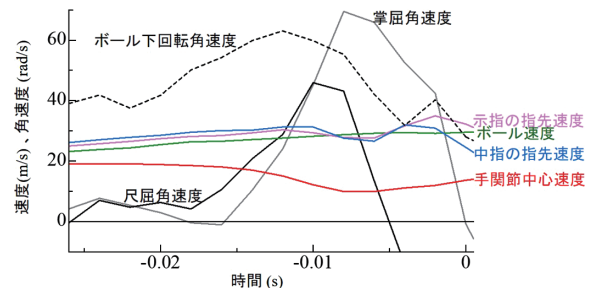


図10 ボールと手の速度と角速度。黒色と灰色の実線はそれぞれ手関節掌屈角速度と同関節尺屈角速度で、黒色の破線はソフトボールの下回転角速度である。色付きの実線は赤色、桃色、青色、緑色の順に手関節中心、示指の指先、中指の指先とボール速度である。これらの速度はY-軸成分とZ-軸成分の合成速度である。横軸の時間0sはボールリリースを示す。図7と同試行である。

表2 ボールの速度と下回転角速度 (平均値±標準偏差)

被験者	ボール速度	下回転角速度1	下回転角速度2	下回転角速度3	速度1から速度2までの時間	
	m/s	rad/s	rad/s	rad/s	s	
A	26.5 ± 0.7	37.1 ± 3.8	55.1 ± 5.9	36.2 ± 7.0	0.010 ± 0.001	
B	28.5 ± 1.3	40.8 ± 6.1	53.0 ± 6.3	25.7 ± 9.7 ##	0.008 ± 0.002	
C	26.2 ± 0.9	49.4 ± 8.6	73.4 ± 9.3	54.1 ± 15.4	0.007 ± 0.002	
D	23.6 ± 0.7	40.5 ± 5.8	66.7 ± 7.6	52.2 ± 9.9 **	0.012 ± 0.002	
E	24.7 ± 0.9	33.5 ± 3.2	41.3 ± 6.7	24.6 ± 12.3 #	0.007 ± 0.002	

下回転角速度1, 2, 3は順にブラッシング開始時, 最大値, ボールリリース時の値である。

** : 角速度3 > 角速度1 (p<0.001)

: 角速度3 < 角速度1 (p<0.001)

: 角速度3 < 角速度1 (p<0.05)

表3 手関節掌屈角速度 (平均値±標準偏差)

被験者	掌屈角速度1	掌屈角速度2	速度1から速度2までの時間	
	rad/s	rad/s	s	
A	-10.0 ± 4.9	42.8 ± 3.2	0.011 ± 0.002	
B	3.9 ± 3.0	70.5 ± 7.5	0.014 ± 0.002	
C	6.9 ± 5.4	51.3 ± 6.4	0.011 ± 0.001	
D	0.5 ± 3.5	30.4 ± 5.2	0.013 ± 0.002	
E	2.0 ± 3.9	43.0 ± 8.3	0.012 ± 0.001	

掌屈角速度1, 2はそれぞれブラッシング開始時の値と最大値である。

時,そしてボールリリース時の値の各平均値を示した。また,ブラッシング開始時から角速度が最大になるまでの時間の平均値も示した。被験者Dではリリース時の角速度がブラッシング開始時のそれより有意に大きく (p<0.001), 被験者B, Eでは逆に有意に小さかった (それぞれ, p<0.001, p<0.025)。また, 最大下回転角速度にまで達する時間は0.007秒から0.012秒の範囲にあった。

表3にブラッシング開始時と最大を示した時の手関節掌屈角速度の平均値を示した。最大角速度の平均値は30.4 rad/s から70.5 rad/sの範囲にあり,それに達するまでの時間は0.011秒から0.014秒の範囲にあった。

図11に同試行でのx-軸周りの前腕,手とボールの角速度(同図a)及び手関節中心と中指の指先速度を示し,また手関節の角速度が0で,手が前腕と一体となって運動するという仮定の下での同指先速度も示した(同図b)。ブラッシングによる手関節中心速度と前腕の角速度の減少に伴い,仮定の下で求めた指先速度は減少したが,実際の指先速度はボールの角速度が最大に達する頃まで増加した。

表4にブラッシング開始時とボールの下回転角速度が最大になった時の中指の指先速度の平均値を示した。被験者A, B, Cでは後者の速度が有意に大きかった(順にp<0.001, p<0.001, p<0.025)。前者に比べ後者の速度が小さかった試行が被験者C, D, Eでそれぞれ1例, 7例, 3例見られた。

表5にブラッシング開始時, ボールの下回転角速度が最大になった時と手関節の掌屈角速度が最大になっ

た時の同関節の掌背屈角度を示した。ブラッシング開始時は全被験者が背屈位にあったが, 掌屈角速度が最大になった時には全被験者が掌屈位であった。

表6は,ブラッシング開始時とボールの下回転角速度が最大になった時の手掌の向きである。角度1から分かるように,ブラッシング開始時の手関節の両茎状突起を結ぶ線分の向きの被験者間のばらつきが大きい。また角度2と角度3から分かるように,手関節中心と中指の中手指節関節中心を結ぶ線分は下方向を向いている。下回転角速度が最大になった時の前者の線分の向きは被験者Bを除き似た値を示していた。また, 角度3aは最大でも0.520 radで, どちらかといえば下向きであった。

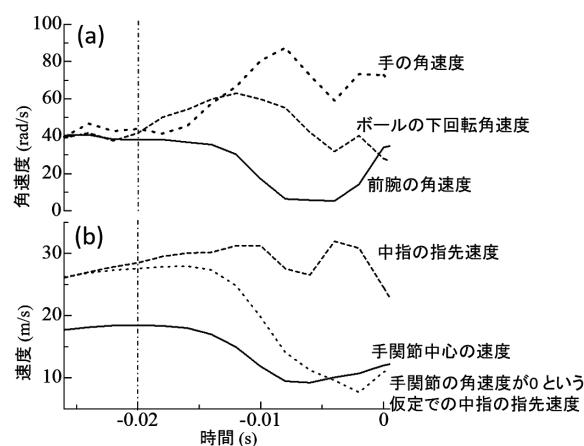


図11 手関節の運動と中指の指先速度。前腕と手の角速度はX-軸周りの成分である。手関節中心と中指の指先速度は,Y-軸成分の速度とZ-軸成分の速度の合成速度である。横軸の時間0sはボールリリースを示す。図7と同試行である。

表4 中指の指先速度 (平均値 ± 標準偏差)

被験者	速度1		速度2	
	m/s		m/s	
A	25.0 ± 0.6	29.2 ± 1.8	**	
B	27.4 ± 1.3	29.8 ± 1.2	**	
C	26.1 ± 1.4	27.6 ± 1.6	*	
D	24.2 ± 0.9	24.4 ± 1.4		
E	23.6 ± 0.6	24.2 ± 1.8		

速度1, 2はそれぞれブラッシング開始時と下回転角速度が最大の時の値を示す。

** : 速度2 > 速度1 (p<0.001)

* : 速度2 > 速度1 (p<0.05)

表5 手関節の掌背屈角度 (平均値 ± 標準偏差)

被験者	角度1		角度2		角度3	
	rad		rad		rad	
A	-0.019 ± 0.040	0.100 ± 0.060	0.221 ± 0.070			
B	-0.244 ± 0.024	-0.122 ± 0.056	0.188 ± 0.088			
C	-0.165 ± 0.036	-0.064 ± 0.053	0.118 ± 0.073			
D	-0.034 ± 0.049	0.129 ± 0.058	0.162 ± 0.082			
E	-0.228 ± 0.063	-0.121 ± 0.103	0.087 ± 0.050			

角度1, 2, 3はそれぞれブラッシング開始時, ボールの下回転角速度が最大になった時, 掌屈角速度が最大になった時の角度を示す。正の値は掌屈位を表し, 負の値は背屈位を表す。

4. 考 察

ファーストピッチソフトボールの投手がウインドミル投法を用いてライズボールを投げる際に, ボールに下回転を与えるためにスナップの利用を勧める指導書が相当数見られる (星野, 2014, p. 36; Kempf, 2002, p. 111; 増淵, 2014, p. 49; 三宅, 1996, p. 42, 50, 53; National Fastpitch Coaches Association, 2002, p. 201; Sammons, 1997, p. 99; 利根川, 2008, pp. 54-57)。しかし客観的なデータに基づいてのスナップの技術指導はそれらの中に全く見当たらない。本研究ではライズボールを投げる際のブラッシングにより生ずるスナップがボールの下回転を加速するという仮説を立て, それを検証することを研究目的とした。著者らは, 本研究結果からこの仮説は棄却できないと考えた。以下にその根拠を述べる。

本研究では手関節の掌屈角速度に注目して考察を進

めるが, これはヒトが手関節を跨ぐ筋のみを用いて発揮できる最大手関節掌屈角速度が既に報告されていることによる。この値との比較が仮説を棄却できない根拠の一つになるためである。実際, 尺屈角速度も無視できないほど大きい被験者もいた。これら個々の角速度よりも, 図11に示しているX-軸周りの手の角速度の方が, 中指の指先速度の変化とより密接な関係にあるはずである。

本研究でブラッシングの開始を決める際に, 手関節中心のY-軸方向の加速度成分のみを用いたが, Z-軸方向の同成分はブラッシング開始前後で大きく, これを含めると開始の決定が困難になるためであった。

本研究では, ブラッシング開始に伴い手関節掌屈角速度が急増した。その際の最大手関節掌屈角速度の平均値は, ヒトの手関節周りの筋のみで反動動作を用いて随意的に生み出される最大手関節掌屈角速度の平均値 (Jessop, D M and Pain, M T G, 2016, p. 41) を全ての被験者で超えていた (p<0.05) (表3)。そして4名の値はその平均値の少なくとも1.5倍を超えていた。筋は自身の最大短縮速度を超えると, 筋力を発揮できない (Hill, 1938, pp. 177-178)。つまり, 手関節掌屈に関わる複数の筋が筋力を発揮できなくなっても掌屈角速度が増加したことは, 筋以外の他の要因も掌屈角速度の増大に関与していたことになる。また, ブラッシング開始から最大手関節掌屈角速度が出現するまでの時間の平均値は, 被験者全員について最長でも0.014秒であった (表3)。随意的な運動では筋に達する神経刺激は漸増的で, また神経刺激を受けた筋も十分に活動するためには一定の時間が必要である (Aagaard, 2002, p. 1319, Fig. 1)。例えば, 最短時間で膝関節伸展の最大等尺性筋力を発揮することを目的とした試行では, 筋力発揮が確認されてからそれが最大に達するまでに約0.2sを必要とする (Aagaard, 2002, p. 1319)。等尺性筋収縮を用いた実験なので, 膝関節伸展筋群の活動水準が最大になるまでの時間もこの時間に似ていると考えられる。そして, ヒトが無負荷の状態から反動動作を用いずに最大屈曲速度を目標に肘関節屈曲を行うと, 肘関節屈筋群をひと塊として見れば, 屈曲開始後

表6 ブラッシング開始時とボールの下回転角速度が最大になった時の手掌の向き

被験者	角度1		角度2		角度3		角度1a		角度2a		角度3a	
	rad		rad		rad		rad		rad		rad	
A	0.607 ± 0.045	0.204 ± 0.040	-0.162 ± 0.059	1.310 ± 0.137	-0.026 ± 0.045	0.447 ± 0.075						
B	0.231 ± 0.064	0.081 ± 0.038	-0.255 ± 0.042	0.676 ± 0.107	0.051 ± 0.034	0.172 ± 0.119						
C	0.759 ± 0.056	0.035 ± 0.020	-0.018 ± 0.025	1.215 ± 0.116	0.007 ± 0.046	0.335 ± 0.106						
D	0.384 ± 0.120	-0.142 ± 0.036	-0.097 ± 0.083	1.211 ± 0.194	0.004 ± 0.042	0.520 ± 0.092						
E	0.906 ± 0.092	-0.111 ± 0.031	-0.158 ± 0.076	1.273 ± 0.200	-0.112 ± 0.032	0.174 ± 0.139						

角度1, 2, 3はブラッシング開始時で, 角度1a, 2a, 3aはボールの下回転角速度が最大になった時の手掌の向きを表す。角度2, 3及び角度2a, 3aの意味はそれぞれ角度1と角度1aを考慮すると分かり易い。

約 0.2 s で筋が最大短縮速度に達する (Kojima, 1991, pp. 210-211)。最大等尺性手関節掌屈筋力の最大値が発揮される時間が膝関節伸展のそれと等しいとする根拠及び手関節掌屈角速度が最大になる時間が肘関節屈曲角速度のそれと等しいとする根拠はないがもし等しいとした場合、平均的にはその約 1/14 の時間で最大角速度に達したことになる。つまり、筋の活動水準が低い段階でその角速度に達したと考えられる。実際にはソフトボールが負荷になっていたので、無負荷であればさらに早く最大角速度に達していたかもしれない。このように手関節を跨ぐ筋の活動水準が極めて低い状況でその筋によって最大掌屈角速度が生み出されたとは考え難い。よって、ブラッシング開始と同時に起きたスナップは他の要因により生じたと考えられる。

手関節掌屈角速度の増大に関与する他の要因として、ブラッシング以外に前腕から手に作用する力が考えられる。宮西ほか (1997, pp. 59-63) によれば、野球の投球で手とボールが獲得するエネルギーの内、手関節を跨いでいる筋によって生み出される量は僅かであり、ほとんどは前腕の運動由来で前腕から手に作用する力 (関節力; 宮西ほか) によっている。本研究でも同様の仕組みが例えば手関節掌屈に関わっている可能性が考えられる。手関節の関節力が例えば掌屈を助長するには、手関節が背屈している必要がある (阿江, 2004, p. 439, (38) 式)。 $\pi/2$ rad までの背屈であれば、その程度が大きいほど掌屈角速度の増加の割合は大きくなる。野球で速球を投球する場合、肩関節が最大に外旋した近辺で手関節の背屈角度が最大になり、その時の値が 0.72 rad, 0.73 rad, 0.63 rad と報告されている (順に, Barrentine et al., 1998, p. 30; Sakurai et al., 1993, p. 62; Solomito et al., p. 324)。本研究では表 5 に示すように、ブラッシング開始時の背屈角度の平均値は最大でも 0.244 rad であり、野球の場合の約 35% であった。そのため、関節力による掌屈の助長は野球の投球に比べれば少ないと考えられる。また、野球の投球での最大掌屈角速度は 25 rad/s 程であり、本研究の値に比べれば小さい。さらに、本研究での最大角速度が発現した時点では全ての被験者の手関節は掌屈位にあり (表 5)、関節力の助長がない状況であった。これらのことを併せ考えれば、前腕からの関節力も掌屈角速度の増加に一部関与している可能性があるが、野球に比べれば背屈角度が小さく、掌屈の中盤以降は関節力による助長が少ない掌背屈角度の領域で運動をしている。よって、スナップを生み出す主な原因はブラッシングであろうと考えるが、詳細を明らかにするには運動力学を用いた分析が必要になる。

図 7 から分かるように、ブラッシング中にボールの下回転角速度を増すために効率が良い手指の箇所は指

先の腹である。Y-Z 面内でボールの中心から最も離れており、手の角速度が速度に変換される割合が大きく、ボールに作用する X- 軸方向の力を大きくせず下回転の角加速を生み出しやすい。図 11-b が示すように、手が前腕と同じ角速度で運動したと仮定した場合、つまり手関節の角速度が 0 の場合、ブラッシング開始直後に中指の指先速度は低下する。同図から分かるように実際の指先速度はあるところまで増加したので、その増加は手関節の運動に由来することが分かる。ボールの下回転角速度が最大になったときの指先速度は 3 名の被験者でブラッシング開始時の値より有意に大きかった (表 4)。このことは、これらの被験者でこの間の指先速度の増加がボールの下回転角速度の増加に関与していたことを示唆している。残り 2 名の被験者でも、ブラッシング初期には指先速度が増加しており、これが下回転の角加速を生み出していた可能性が高い。ただし、それ以降の指先速度が低下していく位相でも下回転角速度が増加していたので、この増加には別の仕組みが関与していた可能性がある。先の 3 名の被験者についても、最大下回転角速度が生じる 0.002 秒から 0.004 秒程前に最大指先速度が出現する場合は少数例であるが見られた。この仕組みの解明にはやはり、運動力学を用いた分析が必要と考える。

ブラッシング中の手の向きについて、Sammons (1997, p. 99) を除く多くの指導書が手のひらを上に向けてボールを持つよう指導している (利根川, 2008, p. 60; 馬場, 2011, p. 33; 星野, 2014, p. 36; 増淵, 2014, p. 44)。しかし本研究では、全ての被験者はこれらの指導書が述べているような方向に手を向けていなかった (表 5)。ボールの下回転角速度が最大になった時点での角度 3 の平均値の最大値でも被験者 D の 0.520 rad であり、上向きよりは下向きの角度と言える。

本研究の各被験者の試行の再現性については、次のように考えている。実験に参加した全ての被験者が高等学校在学時及び大学入学後に全国大会に出場経験があり、彼らの競技レベルはとて高いと考えられる。しかし、比較すべき先行研究が見つからず、被験者全員についての試行の再現性の判断は保留せざるを得ない。ただし、被験者 E については、ボールの下回転角速度がブラッシング開始時に最大であった試行が 6 試行あり、他の被験者に比べ再現性が低かったと考えられる。

本研究の被験者の平均身長は 1.76 m であり、日本人としては身長が高いと言ってよいであろう。彼らより手が小さいソフトボール投手、特に女性や中学・高校生の投手はボールの握り方が本研究の場合と違う可能性がある。よって、そのような投手に本研究結果が全て当てはまるかについては疑問が残る。今後、

同様の研究を女性投手について行う必要を感じている。

本研究結果をソフトボールの指導現場で生かそうとした場合に大切なことは、ボールに下回転をかけるためにはボールリリース直前で手関節を跨ぐ筋を用いてボールを下回転させるように指導するのではなく、ブラッシングにより生ずる手関節のスナップでボールに下回転がかかることを知らせ、そして望ましいブラッシング直前の腕と手指の向きとボールの握り方及びブラッシングを含めた腕の振り方を練習により身に付けられるように指導することであろう。

ライズボールの威力の一部は、最大下回転角速度ではなくボールリリース時の下回転角速度によって決まる。本研究はライズボールの下回転角速度が低下する過程については分析を行っていない。しかし、ピッチングのパフォーマンスを高めるためには見逃せない課題だと考えており、ライズボールのピッチングに関する今後の重要な研究課題と位置づける。

5. 結 論

本研究では、ウインドミル投法を用いてライズボールを投げる際のブラッシングにより生ずる手関節のスナップがボールの下回転角速度を増加させるという仮説を立て、それを運動学の観点から検討した。男子大学生ソフトボール投手5名のライズボールの投球動作を分析した結果、ブラッシング開始後に手関節掌屈角速度が急増し、4名の被験者が平均値で長くても0.014 s以内にヒトが手関節を跨ぐ筋のみを用いて随意的に行う際の最大手関節掌屈角速度を平均値で少なくとも1.5倍超える最大角速度を示した。ヒトが最短時間で最大等尺性筋力を発揮できる時間と手関節を跨ぐ筋のみを随意的に用いた最大手関節掌屈角速度の大きさを考慮すると、この掌屈角速度の急増はこの筋のみを用いた随意的な運動によるものではないと考えられる。前腕の運動由来で前腕から手に作用する力がこの掌屈角速度の急増を助長する可能性がある。野球のオーバーハンドでの投球では、ボールリリース時にその力を利用して手関節掌屈角速度を高めている。その際、背屈角度が $\pi/2$ radまでは、この角度が大きいほど掌屈角速度を高めやすい。5名の各被験者のブラッシング開始時の手関節の背屈角度の平均値が野球のオーバーハンドでの投球の際のその角度の大ききくとも1/3程であるため、ブラッシングが主にこの掌屈角速度の急増をもたらしていると考えた。また、3名の被験者で中指の指先速度がブラッシング開始時に比べボールの下回転角速度が最大になった時点で有意に増加していた。以上の結果は、この3名の被験者についてはブラッシングにより生じた手関節のスナップがライズボールの下回転角速度を増加させたことを示唆している。

付 記

本研究の一部は、日本体育学会第70回大会において発表した。

謝 辞

実験に協力してくださった大学ソフトボール部の投手の皆さんに深く感謝申し上げます。加えて、実験の際にはご多忙中にもかかわらず、快くお時間を割いてくださいました研究室の先輩、後輩、友人の皆様から心からお礼申し上げます。

文 献

- Aagaard, Per, Simonsen, Erik B, Andersen, Jesper L, Magnusson, Peter and Dyhre-Poulsen, Poul (2002) Increase rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl. Physiol.*, 93(4): 1318–1326.
- 阿江通良 (2004) キネマティクスとキネティクス. 金子公有, 福永哲夫編, バイオメカニクス: 身体運動の科学的基礎. 杏林書院, 東京, pp. 432–443.
- 馬場智久監修 (2011) トッププレイヤーに学ぶ! ソフトボールピッチング道場. (株) ベースボール・マガジン社, 東京, pp. 31–33.
- Barrentine, Steven W, Matsuo, Tomoyuki, Escamilla, Rafael F, Fleisig Glenn S and Andrews James R (1998) Kinematic analysis of the wrist and forearm during baseball pitching. *J. Appl. Biomech.*, 14(1): 24–39.
- Coaching Planner (2005) Skills Set Descriptions, Pitching. New Zealand Softball Association, Wellington.
- Hill, Archibald V (1938) The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc. R. Soc. Lond (Biol)*, 126: 136–195.
- 弘瀬拓生著 (2015) ソフトボールのピッチングその①. 川北印刷株式会社, 高知, p. 102.
- 星野昭監修 (2014) 連続写真で学ぶソフトボールピッチング. 株式会社ベースボール・マガジン社, 東京, pp. 32–37.
- Jessop, David M and Pain, Matthew T G (2016) Maximum velocities in flexion and extension actions for sport. *J. Hum. Kinet.*, 50: 37–44.
- Jinji, Tsutomu, Ohta, Ken and Ozaki, Hiroki (2012) Multi-body power analysis of the baseball pitching based on a double pendulum. *Procedia Eng.*, 34: 784–789.
- Kempf, Cheri (2002) The Softball Pitching Edge. Human Kinetics Pub., Inc. Champaign, IL, pp. 109–112.
- Kojima, Takeji (1991) Force-velocity relationship of human elbow flexors in voluntary isotonic contraction under heavy loads. *Int. J. Sports Med.*, 12(2): 208–213.
- 小嶋武次・高橋流星 (2018) ソフトボール・ウインドミル投法でのブラッシングの役割 (その2, 制球編). 第25回日本バイオメカニクス学会大会論文集, 03-2.
- 増淵まり子監修 (2014) 元日本代表に学ぶソフトボール

- ピッチング. 株式会社ベースボール・マガジン社, 東京, p. 44, 49.
- 松浦史彦著 (2012) ソフトボールウインドミル 50. 鈹脈社, 宮崎, p. 20, 68.
- 三宅豊著 (1996) ステップアップスポーツ ソフトボール. (株) 池田書店, 東京, pp. 38-55.
- 三宅豊・弘瀬拓生解説 (2007) トッププレイヤーに学ぶ! ソフトボールピッチングの極意, (株) ベースボール・マガジン社, 東京, p. 9, 39, 45, 51, 65.
- 宮西智久・藤井範久・阿江通良・功力靖雄・岡田守彦 (1997) 野球の投球動作における体幹および投球腕の力学的エネルギー・フローに関する3次元解析. 体力科学, 46(1), 55-68.
- Naito, Kozo, Takagi, Hiroyasu, Yamada, Norimasa, Hashimoto, Shinichi and Maruyama, Takeo (2014). Intersegmental dynamics of 3D upper arm and forearm longitudinal axis rotations during baseball pitching. Hum. Movement Sci., 38: 116-132.
- National Fastpitch Coaches Association (2002) The Softball coaching Bible. Human Kinetics Pub., Inc., Champaign, IL, pp. 201-202.
- Nissen, Carl W, Westwell, Melany, Öunpuu, Sylvia, Patel, Mausam, Tate, Janet P, Pierz, Kristan, Burns, Joseph. P and Bicos, James (2007) Adolescent baseball pitching technique: A detailed three-dimensional biomechanical analysis. Med. Sci. in Sport. Exer., 39(8): 1347-1357.
- 小川幸三・高橋流星監修 (2009) 試合で大活躍できる! ソフトボール上達のコツ 50. メイツ出版株式会社, 東京, pp. 20-23.
- Sakurai, Shinji, Ikegami, Yasuo, Okamoto, Atsushi, Yabe, Kyonosuke and Toyoshima, Shintaro (1993) A three-dimensional cinematographic analysis of upper limb movement during fastball and curveball baseball pitches. J. Appl. Biomech., 9(1), 47-65.
- Sammons, Barry E. (1997) Fastpitch Softball: The Windmill Pitcher. Masters Press, Lincolnwood, IL, pp. 98-99.
- 下奥信也監修 (1978) ソフトボール百科, (株) 恒文社, 東京, pp. 86-87.
- Solomito, Matthew J, Garibay, Erin J, Woods, Jessica R, Ounpau, Sylvia and Nissen, Carl W (2014) Evaluation of wrist and forearm motion in college-aged baseball pitchers. Sport. Biomech., 13(4), 320-331.
- 鈴木征著 (1977) ソフトボール. 講談社, 東京, p. 52.
- 鈴木利夫著 (1984) ソフトボール入門. (株) 梧桐書院, 東京, p. 68.
- 利根川勇著 (2008) ぐんぐんうまくなる! ソフトボール. (株) ベースボール・マガジン社, 東京, p. 54.
- 利根川勇著 (2012) ぐんぐんうまくなる! ソフトボール練習メニュー. (株) ベースボール・マガジン社, 東京, p. 32.
- Veldpaus, Frans E, Woltring, Herman J, Dortmans, Leonaraus J (1988) A least-squares algorithm for the equiform transformation from spatial marker coordinates. J. Biomech., 21(1): 45-54.
- Wittenburg, Jens (1977) Dynamics of Systems of Rigid Bodies. B. G. Teubner, Stuttgart, p. 29.
- ザツイオルスキー: 鳥居俊監訳 (1999) 身体動作の運動学. ナップ: 東京, pp. 167-170.

<連絡先>

著者名: 高橋流星

住 所: 東京都世田谷区深沢 7-1-1

所 属: 日本体育大学コーチング系

E-mail アドレス: subaru-takahashi@nittai.ac.jp

付 録

付録1 ブラッシング動作

ブラッシング動作とは、ボールリリース直前に振り下ろしてきた前腕尺側部を大腿外側部に接触させる動作である。この動作で、ボール速度の向上やコントロールの安定等を行っている（松浦, 2012, pp.20-21 付録図1）。



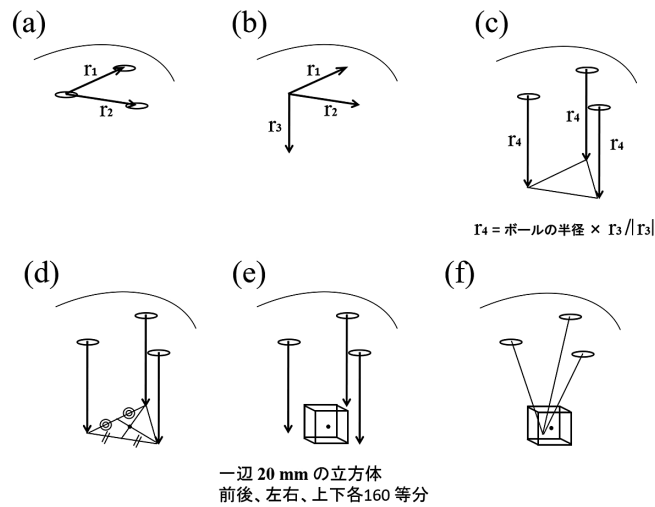
付録図1 ウインドミル投法におけるブラッシング

付録2 示指用の屈伸軸

手関節屈伸軸と平行なベクトルを \mathbf{r}_1 とし、手関節中心から示指の中手指節関節上のマーカーへのベクトルを \mathbf{r}_2 とし、それらの外積を \mathbf{r}_3 とした ($\mathbf{r}_3 = \mathbf{r}_1 \times \mathbf{r}_2$)。次に \mathbf{r}_2 と \mathbf{r}_3 の外積として得られたベクトル \mathbf{r}_4 ($= \mathbf{r}_2 \times \mathbf{r}_3$) を示指用の屈伸軸とした。

付録3 ソフトボールの中心の求め方

ボールに付けた3個の半円のマーカースを用いてボールの中心を次の様に求めた(付録図2)。最初のマーカースの中心から他の2つのマーカースの中心までの位置ベクトルをそれぞれ r_1, r_2 とする (a)。そして両ベクトルの外積 r_3 を求めた (b)。ただし外積を求める際には, r_3 がボールの中心方向へ向くように r_1, r_2 を選んだ。そして r_3 の単位ベクトルにボールの半径を掛けたベクトルを r_4 とした。次に r_4 の始点を3つのマーカースの各々の中心にし (c), 得られた3つの終点の位置座標を平均した位置座標を求めた (dの点)。次に, 平均した位置座標からその前と後, 左と右, 上と下各方向10 mm で囲まれる空間をそれぞれ160等分した (e)。このようにして得られた格子の交点全てについて, 3つのマーカースについての, 交点からマーカースの中心までの距離 (f) とボールの半径との差の2乗和を求めた。そして, その和が最少の交点をボールの中心とした。なお, 隣り合った交点間の各方向の距離は0.125 mm である。



付録図2 ソフトボールの中心の求め方