

野球の内野手のクイックスローに関するバイオメカニクス研究

－ 中学・高校・大学生の動作の特徴 －

櫻井 直樹 宮西 智久

キーワード：内野手，送球動作，発達，3次元画像解析法，バイオメカニクス

Biomechanical Study of the Quick Throwing Motion in Infielder of Baseball

－ Comparisons of the Motion between Junior High School, High School,
and University Players －

Naoki Sakurai and Tomohisa Miyanishi

Abstract

The purpose of this study was to investigate the differences of the quick throwing motion between the junior high school, high school, and university baseball infielders using three-dimensional (3D) motion picture analysis. After obtaining informed consent, 8 junior high school (JS), 20 high school (HS), and 12 university (UV) skilled male infielders were participated in this study. The subjects were requested to catch a ball rolled by the person in front of the fielding position of the shortstop, and then to throw the ball with quickly, accurately, and maximum effort (which defined as a quick throw) toward the target set up on the first base. These motions were videotaped using two high-speed motion picture cameras (250 fps). The 3D coordinates of 25 body landmarks and the ball center were reconstructed by the 3D DLT method, and then analyzed. Significant difference was found between three groups in the value of the ball velocity at ball release (102 km/h for JS, 115 km/h for HS, and 122 km/h for UV). The values of the height and the angle of ball release were significantly larger in the JS than in the HS and UV. The shoulder abduction angle of the throwing arm was significantly smaller in the JS than in the HS and UV. On the other hand, the elbow extension angle of the arm was significantly larger in the JS than in HS and UV. The angular velocity of elbow extension at ball release was larger in the HS than in the JS and UV. The angular velocity of shoulder internal rotation at ball release was smaller in JS and HS than in the UV. As a result, the rate of the angular velocity of shoulder internal rotation relative to elbow extension at ball release was larger in the UV and JS than in the HS. These findings suggest that the different mechanisms in the baseball quick throwing motion might be exist between the JS and the HS/UV.

Key words : infielder, quick throw, development, 3D motion picture analysis, biomechanics

I. はじめに

野球の投げを分類するにあたっては、守備位置別に捉えることができ、大きく投手のピッチング動作と、野手の送球動作（クイックスロー）に分けられる。このうち、野手の送球動作は、内野手、外野手、捕手の動作に分類でき、いずれにも捕球後ステップを用いずに投げる「ノーステップスロー」、ステップを用いて投げる「ワンステップスロー」や「ツーステップスロー」、走りながら投げる「ランニングスロー」、空中で投げる「ジャンピングスロー」などがある。

投動作の課題に着目すると、野手の送球動作には、打者走者をアウトにするために、捕球したボールを「すばやく」、「速く」かつ「正確に」他の野手へボールを投げることが課されている。このように、野手の送球動作は空間的・時間的に制約を受けた課題のもとで送球しなければならない。

先行研究において、これまで多くの野球の投球動作研究が3次元画像解析法を用いて行われてきた（Feltner and Dapena, 1986；桜井ら, 1990；宮西ら, 1995, 2007；Matsuo et al, 2001；島田ら, 2004；高橋ら, 2005）。しかし、これらの研究のほとんどは投手のピッチング動作に着目したものであり、野手の送球動作に着目したものではない。また発達段階の動作特性を明らかにしたものでもない。このように、野手の送球動作に着目した3次元動作研究は見当たらないようである。

そこで、本研究では、中学・高校・大学生を対象として、野球の内野手の「すばやく」、「速く」かつ「正確に」投げる送球動作（ワンステップスロー）を、3次元画像解析法を用いて比較・検討することにより、発達学的な投げの動作特性を明らかにすることである。

II. 研究方法

1. 被験者

被験者は、中学校、高校、大学の硬式野球部（中学校、高校は全国大会出場経験を持ち、大学はリーグ戦強豪校）に所属し、内野手としてプレーしている右投げの健全な男子であり、それぞれ中学生8名、高校生20名、大学生12名、合計40名であった。表1に被験者の身長および体重などを

表1 被験者の身体的特性

	中学生 (n=8)	高校生 (n=20)	大学生 (n=12)	検定 (分散分析)	群
身長(m)	1.61±0.06	1.72±0.05	1.73±0.04	*	中-高,中-大
体重(kg)	56±9	66±8	69±6	*	中-高,中-大

*: p<0.05 n.s.:有意差なし
中:中学生, 高:高校生, 大:大学生

示す。なお、被験者には事前にインフォームドコンセントを行い、実験参加への同意を得た。

2. 実験およびデータ計測・解析

実験は、2006年10月から2008年5月までの期間にわたって計5回実施した。被験者には、十分なウォーミングアップを行わせた後、身体各部位に計測用のテープを貼付し、さらに投球腕の動作を詳細に分析するため、投球腕の手関節および肘関節にアルミニウム製の小ボールを固定した（宮西, 2000）。なお、図1に被験者の身体各部位およびボール中心の計測点の位置を示す。

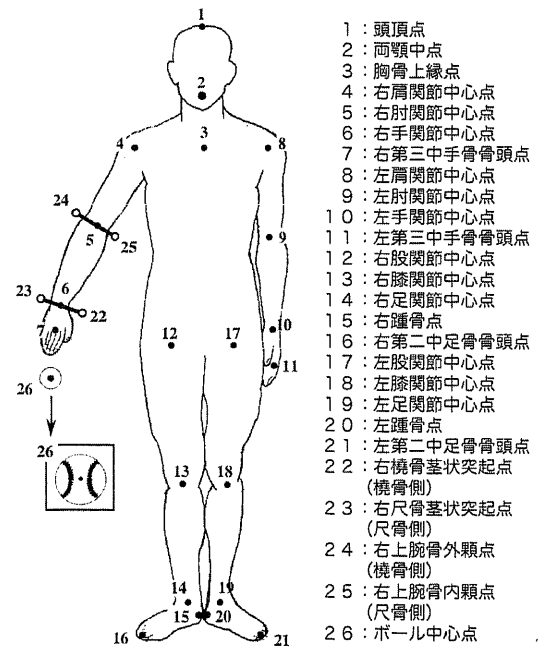


図1 身体各部位計測点の位置
(宮西, 2000:一部改変)

図2に実験の模式図を示す。身体計測マーカーの貼付後、遊撃手の定位置付近にゴロを転がし、捕球後1塁ベースに設置した的（防球ネット）に向かって被験者にすばやく全力で送球するワンステップスローを行わせた。

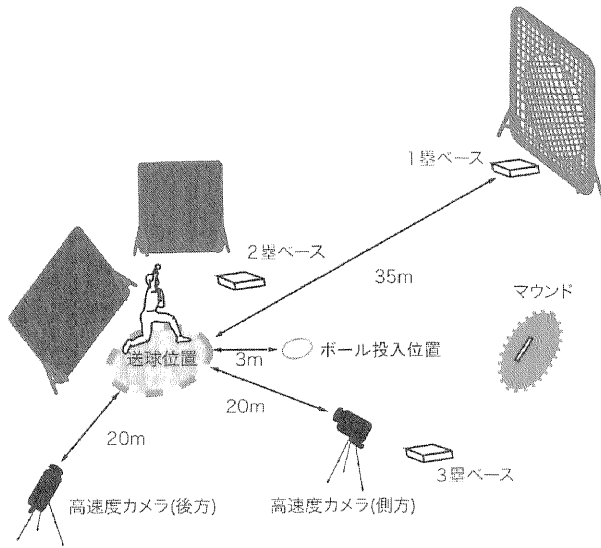


図2 実験の模式図

各試技の撮影は、投球方向の右側方および右斜め後方に設置した2台の高速ビデオカメラ(HSV-500C³, nac社)を用いて行った。撮影スピードは毎秒250コマとした。収録画像の身体各部位計測点座標はビデオ動作解析装置(Frame-Dias, DKH社)を用いて手動で読み取り、データ修正後、Direct Linear Transformation(DLT)法(Abdel-Aziz and Karara, 1971; 池上, 1983)を用いて3次元座標に換算した。データの平滑化および微分処理は、5次スプライン関数を用いて行った(Woltring, 1986)。

3. 力学量の算出

本研究では、リリースパラメータ(球速, 投射高, 投射角), 各動作局面時間および各種力学変量を算出した。キネマティクス変量として、体幹部の角度および投球腕の角度などを求めた。図3は送球動作局面の定義を、図4および図5はそれぞれ体幹部の角度および投球腕の関節角度の定義と正負の符号を示したものである。

4. 統計処理

算出データは、分散の均一性の検定(Levene検定)を行った後、1元配置分散分析を行った(出村, 2004)。分散分析の結果が有意な場合、各群間の差を検定するため、さらに多重比較を行った。各検定の有意水準は5%未満とした。

データ計測・解析作業日数は延べ160日(8時間/日)であった。

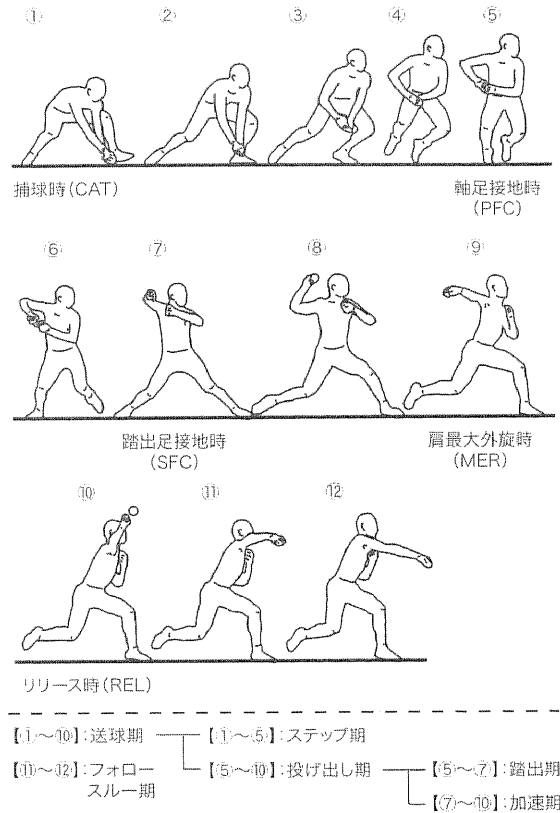


図3 送球動作局面の定義

III. 結果

1. 被験者の身体的特徴

身長および体重は、表1に示されているように高校生、大学生が中学生よりも有意に大きかった。高校生と大学生間に有意差はなかった。

2. 送球動作の特徴

図6に各群選手1名(典型例)の送球動作を、それぞれ側方から示す。図に示すように、定性的な観察において、中学生と高校生、大学生間の動作に顕著な差が認められる点が多かった。

3. リリースパラメータおよび動作時間

球速(平均値)は中学生が102 km/h, 高校生が115 km/h, 大学生が122 km/hであり, 高校生, 大学生が中学生よりも, 大学生が高校生よりも有意に大きかった。投射高および投射角は, 中学生が高校生, 大学生よりも有意に大きかった。

送球期時間, ステップ期時間, 投げ出し期時間, 踏出期時間は, 高校生, 大学生が中学生よりも, 大学生が高校生よりも小さかった。投げ出し期時間, 踏出期時間は, 大学生と中学生間に有意差があった。加速期時間は, いずれの群間においても有意差はなかった。送球期時間とステップ期時間

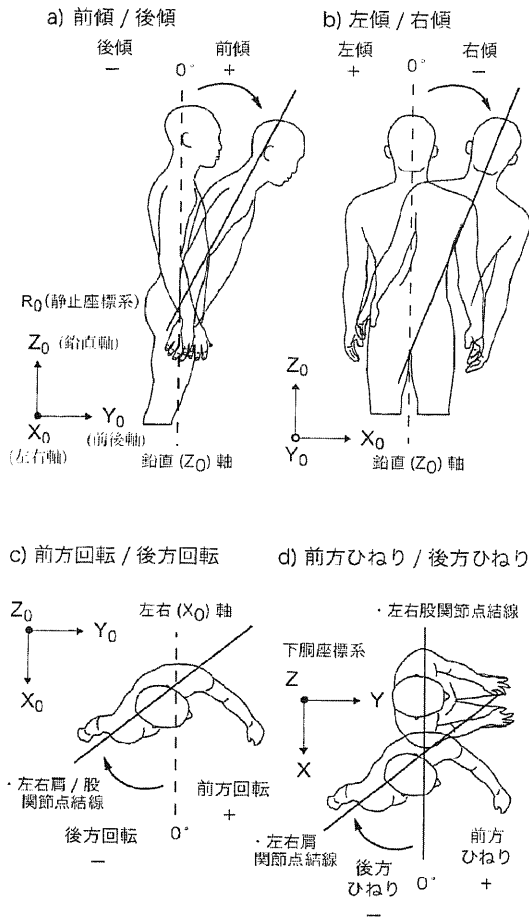


図4 体幹部の角度定義と正負の符号

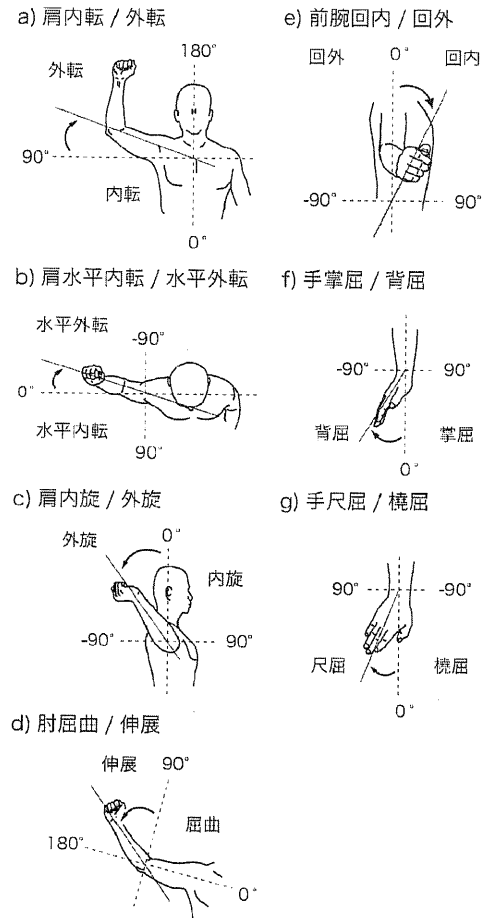


図5 投球腕の関節角度定義と正負の符号

には有意に強い正の相関関係 ($r=0.895$, $p < 0.001$) が認められた。また同様の関係は、送球期時間と投げ出し期時間、送球期時間と踏出期時間の間 (それぞれ $r=0.483$, $p < 0.01$; $r=0.492$, $p < 0.01$) にもみられた。

投げ出し期において、ボールに作用させた最大力は、高校生、大学生が中学生よりも、大学生が高校生よりも有意に大きかった。重心移動距離量は、中学生が大学生よりも有意に大きかった。ボールに作用させた力の作用距離量は、いずれの群間においても有意差はなかった。踏出期の力作用距離量は中学生が大学生よりも有意に大きく、加速期はいずれの群間にも有意差はなかった。

4. 体幹および投球腕のキネマティクス

図7に下胴の前後方回転角の変化 (各群典型例1名) を示す。大学生は踏出期において、中学生、高校生よりも下胴の後方への回転が大きかった。また加速期において、中学生、高校生よりも下胴

が前方へ回転し、リリース時にほぼ 0° となった。

図8に肩内外転、水平内外転および内外旋角の変化 (各群典型例1名) を示す。肩内外転角は、大学生、高校生は加速期において外転がほぼ 90° 位に保たれていたが、中学生は踏出足接地後、 60° 位まで内転していた。水平内外転角は、いずれの群も水平外転から水平内転した。最大外旋時以降、高校生は水平内転角が大きくなったが、中学生、大学生はリリース時に水平外転位であった。

図9に肩内外旋および肘屈伸速度の変化 (各群典型例1名) を示す。肩内外旋速度は、いずれの群も最大外旋時以降、急激な内旋速度となり、リリース時は大学生が中学生、高校生よりも大きい傾向にあった。肘屈伸速度は、いずれの群もリリース直前にピークに達した。大学生のピーク出現時刻は、中学生、高校生よりも早期に現れる傾向にあり、リリース時の値は高校生よりも顕著に小さかった。

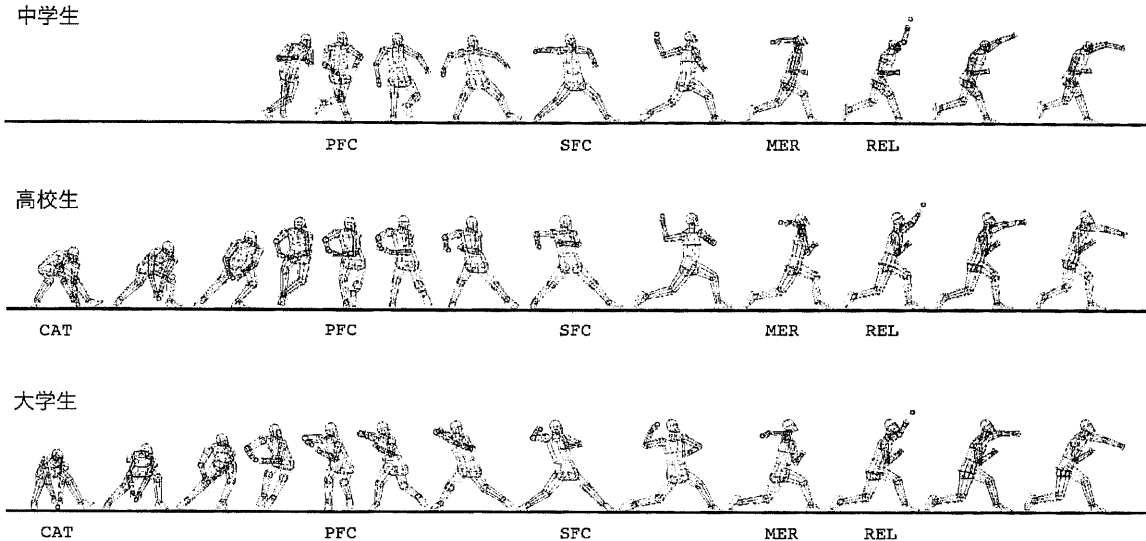


図6 ワイヤフレームで描画された送球動作の特徴(各群典型例1名)

IV. 考察

1. 被験者の身体的特徴

身長および体重は、表1に示したように、高校生、大学生が中学生よりも有意に大きかった。川口ら(1997)は、日本の中学生から成人における一流アマチュア野球選手の体力およびスキルについて報告している。本研究の結果においても、川口らの報告と同様であり、本研究で用いた被験者の身体的特性が、日本のアマチュア野球選手の典型的な特性を示すものであったと考えられる。

2. 動作時間について

先行研究では、野球の投球動作時間を報告した研究はほとんど見当たらない。その主たる理由の一つには、野球の投球動作研究が、主にピッチング動作や遠投動作を対象にしていることが挙げられる。なぜなら、そのような動作では、球速の増加が主たる課題であり、動作時間の短縮はあまり重要でないためである。しかし、野手の送球動作では、競技特性ゆえに打者走者との時間的兼ね合い(時間的制約)の中で投げなければならない(宮西, 2003b)。そのため、野手の送球動作は、球速の増加、正確性の向上に加えて、松永(1974)も指摘するように捕球してから投球するまでの動作時間が小さいことが要求される。

本研究において、動作時間をそれぞれ送球期、ステップ期、投げ出し期、踏出期の各局面時間に分けてみると、発達段階が上がるに従い、いずれ

の局面時間も小さくなり、特に投げ出し期と踏出期時間は大学生が中学生よりも有意に小さかった。また、加速期時間は、いずれの群間においても有意な差がなかった。これらのことから、投げ出し期時間は踏出期時間の大小に起因しており、踏出期時間を小さくすることが、内野手の送球時間を小さくする上で極めて重要であることがわかった。

送球期時間とステップ期時間の関係をみると、有意に強い正の相関関係が認められた。これは、ステップ期時間が送球動作全体の時間に大きな影響を及ぼすことを示している。このことから、送球期時間の短縮のためには、前出した踏出期時間と併せて、ステップ期時間を短縮することが極めて重要であるといえる。

3. 体幹部の動きについて

下胴の前後方回転角において、図7に示すように、踏出期では大学生が中学生、高校生よりも後方へ回転し、加速期では大学生が中学生、高校生よりも前方へ回転していた。豊島(1980)は、小学生は、高学年になると、肩・腰の回転角度が大きくなる傾向があったことを報告している。また、宮西(2003b)は、体幹の筋群を最大限発揮できる姿勢をとる、つまり肩外転90°位に保持したまま体幹のひねりを使うと球速増加のために効果的であることを示唆している。

本研究の結果において、図7に示すように、大

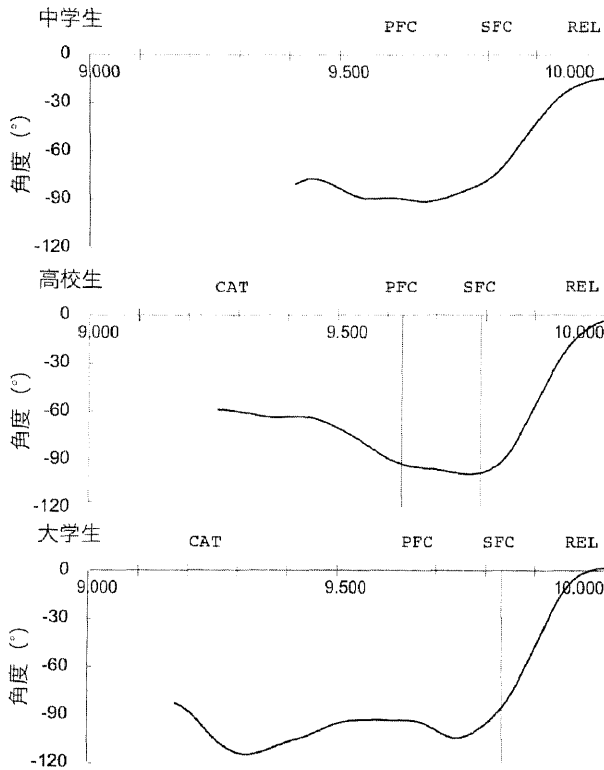


図7 下胴の前後方回転角の変化(典型例1名)

学生は踏出期において下胴をより後方へ回転させた後、踏出足接地時より少し前から前方へ大きく回転させて、動作範囲を大きくしていた。これらのことは、大学生が中学生、高校生よりも下胴の動作範囲を大きくすることによって、身体の鉛直軸回りの角運動量をより増加させて、球速の増加を図っていたものと考えられる。

4. 投球腕の動きについて

加速期において、肩内外転角の変化では、図8に示すように、大学生、高校生は、中学生よりも肩外転角が大きく、踏出足接地時からほぼ90°となった。宮西(2005)は、投球時における肩外転角の相違による生体力学的な効果について述べている。それによると、加速期において肩外転90°位、肘伸展90°位に保持すると、体幹長軸回りの投球腕の慣性モーメントが大きくなり、鉛直軸回りの回転がしにくくなると述べ、逆に肩外転を90°以上にすると、慣性モーメントが小さくなり、鉛直軸回りの回転がしやすくなると述べている。そして、肩外転90°位に保持して体幹の長軸回りの投球腕の慣性モーメントを大きくすると、肩の外旋が促進され、より効果的に伸張

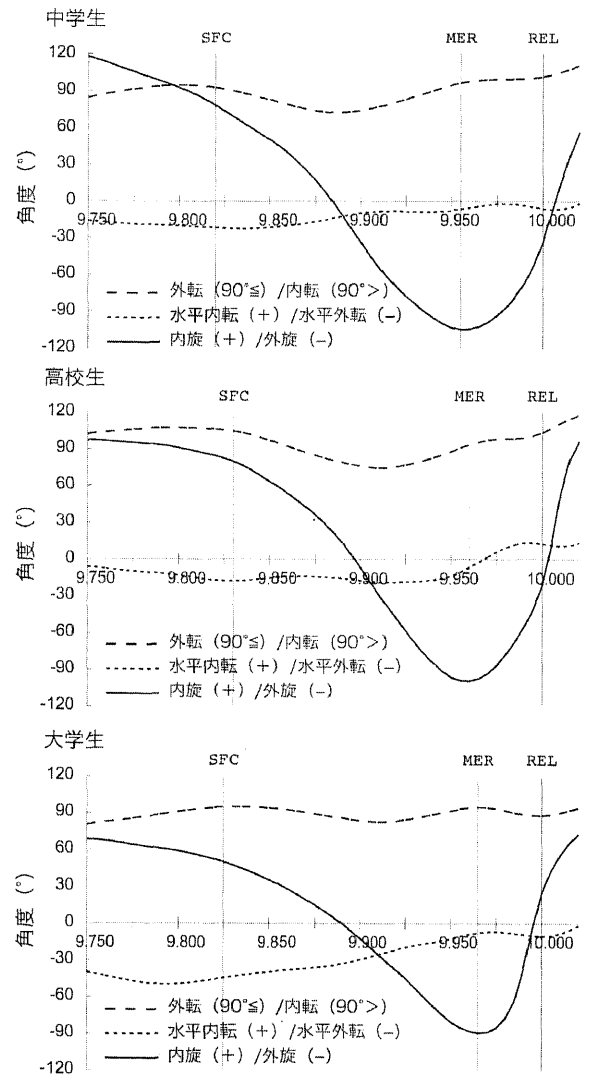


図8 肩内外転, 水平内外転および内外旋角の変化(典型例1名)

-短縮サイクル(Stretch-Shortening Cycle: SSC)が働くことを示唆している(宮西, 2003a)。

本研究の結果、大学生、高校生は、加速期において、肩外転をほぼ90°位に保持していた。宮西の仮説に基づく、大学生、高校生は肩の外旋を促進させる動作になっており、一方、中学生は、肩の外旋が促進できない動作となっていると考えられる。

次に、肩の水平内外転角の変化をみると、最大外旋時以降リリース時まで、高校生は中学生、大学生よりも水平内転角が大きかった。つまり、高校生は投球腕の肘を投球方向つまり身体の前方向へ大きく引き出して、肘の伸展を主体とした投げ方であった。

Kreighbaum and Barthels (1996)によると、的

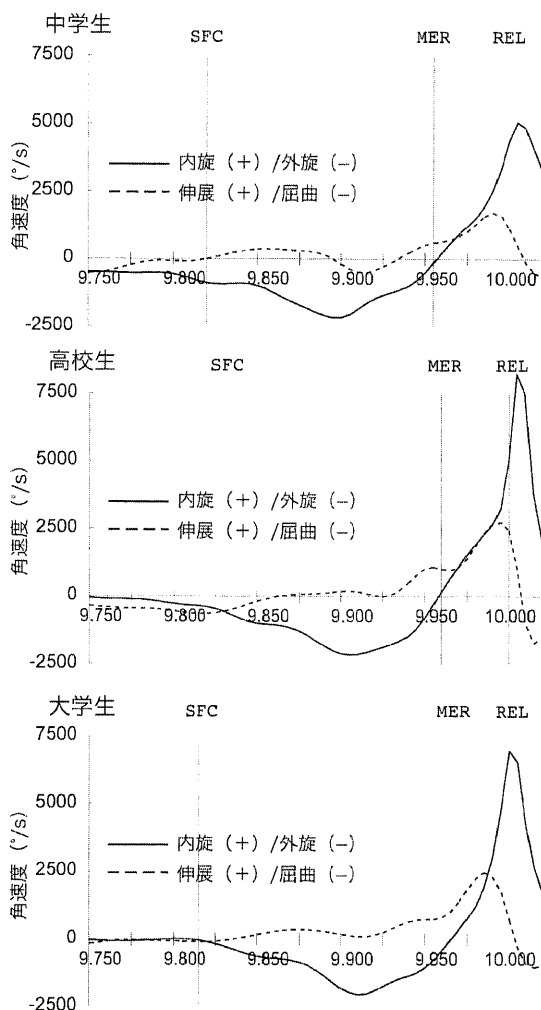


図9 肩内外旋および肘屈伸速度の変化(典型例1名)

に正確にボールを当てるには、投げ手の手先を曲線的に動かすよりも、直線的に動かす方が効果的であることを示している。この説に基づくと、本研究で用いた高校生は、球速よりも正確性をより重視した投げ方に習熟していたと考えられる。

肩内外旋および肘屈伸速度の変化において、リリース直前の内旋速度は、大学生が、中学生、高校生よりも大きく増大し、またリリース時の肘伸展速度は、大学生、中学生が高校生よりも顕著に減少した。このことは、大学生、中学生は肩の内旋動作を、高校生は肘の伸展動作を主体にした投法となっていることを示すものである。

石田(2003)は、投動作の熟練者と未熟練者の動作相違について報告している。それによると、熟練者は肘関節が伸び、内旋速度が高まるが、未熟練者は肩関節の水平内転角が大きく、肘関節の伸展によってボールを最終的に加速していると

いう。石田の見解に当てはめれば、高校生の送球動作は未熟練者、大学生、中学生は熟練者の動作と類似しているといえる。しかし、中学生は、高校生、大学生の動作と顕著に異なり、肩外転を小さくさせながら、体幹の後傾と左傾を大きくしてボールを投げ上げていた。このように、中学生の動作は、宮西ら(1995)の報告にあるように遠投とよく似た動作であったため、熟練者の高校生や大学生とは異なるメカニズムが働いている可能性が示唆される。なお、この原因のひとつとして、中学生が高校生や大学生よりも身体的に未成熟であるため、発達学上の体力的要因の相違が動作の違いを生み出しているのかもしれない。

V. まとめ

本研究では、中学・高校・大学生を対象として、野球の内野手の「すばやく」、「速く」かつ「正確に」投げる送球動作を3次的に比較・検討した。その結果、以下のことが明らかにされた。

- 1) 球速は中学生が 102 km/h, 高校生が 115 km/h, 大学生が 122 km/h であり、各群間に有意差があった。投射高および投射角は、中学生が高校生、大学生よりも有意に大きかった。
- 2) 送球期, ステップ期, 投げ出し期, 踏出期時間は中学生, 高校生, 大学生の順に小さくなったが、加速期時間に差は認められなかった。投げ出し期および踏出期時間は中学生と大学生間に有意差が認められた。
- 3) 体幹部の動きについて、中学生、高校生は、大学生よりも加速期中期から後期にかけて下胴の後方回転角が大きかった。
- 4) 投球腕の動きについて、中学生は高校生、大学生よりも、加速期において、肩の外転が小さかった。高校生は、中学生、大学生よりも投げ出し期中、水平外転が小さく、加速期後期に水平内転が大きかった。大学生は加速期前期から肩外転 90° を保持していた。
- 5) 肩内外旋速度変化は、いずれの群も外旋から内旋となったが、加速期後期において大学生、高校生、中学生の順に大きく増大した。肘伸展速度変化は、いずれの群も加速期後期に最大となった後、減少したが、高校生、中学生、大学生の順に減少の度合いが小さかった。

以上のことから、中学生と高校生、大学生の間では送球動作に異なるメカニズムが働いている可能性があることが示唆された。

付記

本研究は、第 58 回日本体育学会大会(神戸大学, 2007), 第 20 回日本バイオメカニクス学会大会(仙台大学, 2008), 第 21 回日本トレーニング科学学会大会(大東文化大学, 2008)において発表した内容に加筆してまとめたものである。

謝辞

本研究の実験にあたり、宮城県 S リトルシニア, S 高等学校および S 大学, 山形県 Y 高等学校の各硬式野球部の選手ならびに関係者の皆様にご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を申し上げます。

文献

- Abdel-Aziz YI, and HM Karara (1971) Direct linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. In: ASP UI Sym on Close-Range Photogram, Am Soc Photogram: Falls Church, VA, pp.1-19
- 出村慎一 (2004) 健康・スポーツ科学のための統計学 改訂版. 大修館書店: 東京
- Feltner M, and J Dapena (1986) Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch. *Int J Sports Biomech* 2: 235-259
- 池上康男 (1983) 写真撮影による運動の 3 次元解析法. *J J Sports Sci* 2: 163-170
- 石田和之 (2003) どうしたら上手に投げられるようになるか-投動作の発達-. *バイオメカニクス研究* 7: 368-372
- 川口啓太・平野裕一・高松薫 (1997) 日本人一流アマチュア野球選手の体力・運動能力とスキルの発達-中学生から社会人野球選手までの横断的観察から-. *トレーニング科学* 9: 39-46
- Kreighbaum E, and KM Barthels (1996) *Bio-mechanics: A Qualitative Approach for Studying Human Movement* (4th Ed) Allyn and Bacon, pp.350
- Matsuo T, RF Escamilla, GS Fleisig, SW Barrentine, and JR Andrews (2001) Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups. *J Appl Biomech* 17: 1-13
- 松永尚久 (1974) 内野手の投球動作の習熟. *体育の科学* 24: 448-452
- 宮西智久・藤井範久・阿江通良・功力靖雄・岡田守彦 (1995) 大学野球選手における速投および遠投動作の 3 次元比較研究. *体育学研究* 40: 89-103
- 宮西智久 (2000) 野球の投球動作のバイオメカニクス的研究-加速局面の上腕と投球腕の運動に着目して-. 平成 12 年度博士論文. 筑波大学
- 宮西智久 (2003a) 投球動作の評価-より速いボールを投げる野球の投球動作-. *体育の科学* 53: 38-44
- 宮西智久 (2003b) 野球の投球動作のバイオメカニクス-どうしたらより速いボールを投げられるようになるのか-. *バイオメカニクス研究* 7: 360-367
- 宮西智久 (2005) より速いボールを投げるための野球の投球動作-バイオメカニクスからみた最新理論-. *Baseball Clinic* 16 (5): 29-34
- 宮西智久・森本吉謙 (2007) 大学野球投手におけるピッチング動作の改善事例:投球技術指導前後のトレーニング効果. *体育学研究* 52: 361-381
- 桜井伸二・池上康男・矢部京之助・岡本敦・豊島進太郎 (1990) 野球の投手の投動作の 3 次元動作解析. *体育学研究* 35: 143-156
- 島田一志・阿江通良・藤井範久・川村卓・高橋佳三 (2004) 野球のピッチング動作における力学的エネルギーの流れ. *バイオメカニクス研究* 8: 12-26
- 高橋佳三・阿江通良・藤井範久・島田一志・川村卓・小池関也 (2005) 球速の異なる野球投手の動作のキネマティクスの比較. *バイオメカニクス研究* 9: 36-52
- 豊島進太郎 (1980) ボール投げと体幹のひねり. *体育の科学* 30: 478-482
- Woltring HJ (1986) A Fortran package for generalized, cross-validatory spline smoothing and differentiation. *Adv Eng Software* 8: 104-113