

## 野球投手の一流競技者にみられる投球動作の特徴

波戸謙太<sup>1)</sup> 金堀哲也<sup>2)</sup> 谷川 聡<sup>3)</sup> 梶田和宏<sup>3)4)</sup> 奈良隆章<sup>3)</sup> 川村 卓<sup>3)</sup>

### Characteristics of the pitching motion in professional baseball pitchers

Kenta Hato<sup>1)</sup>, Tetsuya Kanahori<sup>2)</sup>, Satoru Tanigawa<sup>3)</sup>, Kazuhiro Kajita<sup>2)4)</sup>,  
Takaaki Nara<sup>2)</sup> and Takashi Kawamura<sup>2)</sup>

#### Abstract

This study delineates the common characteristics of pitching motion in professional baseball pitchers by focusing on their lower limbs. Further, to gain an insight into the development of athletic capacity, the pitching motion of the Top group was compared with the Minor group, resulting in the clarification of lower limb issues in the Minor group. Data analysis was performed using a test with the highest score in a 5-point objective evaluation by the observer and the highest ball speed in the tracking data obtained from Trackman, with the following results: (1) The common characteristics in a professional baseball pitcher was that the hip joint was flexed while the stride leg knee joint angle was fixed to MBV (Minimum Ball Velocity), MER (Maximal Shoulder External Rotation), and the stride leg hip joint and knee joint were slightly extended to MER, REL (Ball Release). (2) Regarding the difference between the Top and Minor groups, it is suggested that the Top group accelerates the rotational speed of the lower torso to SFC (Stride Foot Contacts Ground), which increases the angular velocity of adduction of the hip joint of the stride leg, resulting in torsion of the trunk and stable force transmission after MBV. (3) In the Top group after SFC, the angular displacement and angular velocity was such that the hip joints of both legs were fixed. Additionally, the stride leg hip joint was in adduction, which caused the motion to increase the rotation of the lower and upper torsos. Authors suggest considering these key points while coaching baseball.

Key words: Kinematics, Common Characteristics, Baseball coaching, Pitching assessment, Tracking data, Coefficient of variation

キネマティクス, 共通性, 野球コーチング, 投球動作のアセスメント, トラッキングデータ, 変動係数

#### I. はじめに

メジャーリーグベースボール (MLB) を筆頭に、プロ野球に所属する投手は、打者を打ち取るための優れた素養を有する投手の集団である。通常、わが国のプロ野球は、1 球団ごとに約 70 名の選手を擁し、その中でも投手は 30~45 名ほど在籍している。こうした高い競技水準の集団でも序列が存在し、1 軍の公式試合に出場することのできる 1 軍選手 (以下、「Top 群」と略す) は、28 名と定められているため、投手の 1 軍登録人数は各球団 10~13 名程度である。その枠に収ま

らない投手は、2 軍や育成選手 (以下、「Minor 群」と略す) の登録となり、1 軍での公式試合に出場することができない。

近年では、蓄積されたビックデータを基に、セイバーメトリクスやトラッキングデータによる客観的評価基準から、投手の特徴を把握している。しかし、そうしたデータが優れていなくてもプロ野球に在籍する選手もいることから、まず初めに必要なのは、球速やコントロール、投球障害等に関するそれぞれの要因に起因する投球動作ではなく、一流競技者として高いパフォーマンスを発揮するプロ野球に所属する投手の投

- 
- 1) 筑波大学大学院人間総合科学学術院コーチング学学位プログラム  
Graduate School of Comprehensive Human Sciences, Doctoral Program in Coaching Science, University of Tsukuba
  - 2) ベースボール&スポーツクリニック  
Baseball & Sports clinic
  - 3) 筑波大学体育系  
Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba
  - 4) 京都先端科学大学教育開発センター  
Educational Development Center, Kyoto University of Advanced Science

球動作の特徴を明らかにする必要があると考えられる。川村 (2016) は、投手で最も重要なのは打者打ち取るためのメカニクス (以下、「動作」と略す) であると述べている。したがって、打者のタイミング調整に関わる、緩急のついた投球や打者の予想から外れた球質といった要素も、それらを可能にさせている発生要因は、投球動作にあることが考えられる。さらに、松尾ほか (2010) の報告においても実際の指導現場では、投手指導の際に、投球動作に着眼し指導することで、選手のパフォーマンス向上に努めていることが窺える。

投手の育成を考えると体力面の強化、心理面の強化と共に重要なのは、最適なパフォーマンスを発揮した場合において、球速が大きく、コントロールも正確であり、障害のリスクが少ない合理的な投球動作を身につけることである。同時に、特に競技レベルが高いプロ野球投手の投球動作には、各投手特有の個性が存在することも事実である。そのため、投球動作は個人の特性に依存すると考えられてきたが、個性を考慮して投球動作を検討されたものではなく、それぞれの動作を平均化してパフォーマンスに関連する動作を検討しているもの (Fleisig et al., 1999; 高橋ほか, 2005; 川村ほか, 2012) がほとんどである。谷川・内藤 (2014) が指摘するように、パフォーマンスが優れた集団の平均値および標準偏差を知ることで、パフォーマンスの劣った集団に関連する動作を明らかにすることができ、平均値を算出することの利点もある。このような知見を踏まえると、投手の投球動作を平均化して考える場合、標準偏差や変動係数のような、ばらつきの指標を同時に算出することで、選手個々の動作が平均値と共通する動作なのか、個性として許容される動作なのかを判断し、投球動作をアセスメントすることが必要になる。さらに、わが国の野球界では、指導者認定制度がないことや指導方法が体系化されていない (川村, 2019) ために、投手のトレーニングに関する情報が錯綜している。これら複数の情報が矛盾する内容を含んでいることもあり、松尾ほか (2010) では、同じ動作でも指導書や指導者によって動作指導の見解が異なるケースがあることを報告している。したがって、現在の投球動作指導では、どのように投球したら優れたパフォーマンスを発揮することができるかのアセスメント法が定まっていないことが課題として挙げられる。松尾・平野 (2013) によって、プロ野球投手のような優れた投手には共通の動作パターンが存在することが指摘されている。しかし、松尾・平野 (2013) の先行

研究は、プロやアマチュア指導者の着眼点を質的に分析したものであり、実際の投球動作にみられる共通性を三次元的に分析したものはみられない。野球の投球動作にみられる共通性を、量的な視点からみる基礎的な知見として、一流競技者であるプロ野球投手を対象とし、動作の共通性を明らかにすることができれば、投手をアセスメントする上で、高い競技水準の中でのパフォーマンスの発揮に貢献している動作を導き出すことができると考えられる。さらに、これらの知見を基にアマチュア投手との比較を行うことができ、今後の投球動作指導の体系化に向け、各競技レベルに応じた動作の共通性や個性を明らかにしていくための一つの知見になることが予想される。

さらに、1軍や2軍・育成といった競技水準の序列があるにも関わらず、1軍の公式試合で出場し続ける投手の優れた投球動作、さらにMinor群がTop群に昇格するための選抜方法は、解明されていないのが現状である。したがって、Top群とMinor群の技能差を導き出すことができれば、Minor群の選手がTop群に昇格するための動作的要因を明らかにすることに加え、アマチュア選手に対しても、技術向上のためのアセスメント法を提示することができると考えられる。

野球の投球動作は、下肢による重心の移動と着地による地面反力を受けることで運動連鎖が生じることから、「(ボールは) 脚で投げろ」(House, T., 1994) と指摘されるように国内外を問わず、下肢の重要性は、さまざまな文献で指摘されている (Campbell et al., 2010; 島田ほか, 2000)。下肢の動作による運動連鎖が伴うことで、投球速度の増大やコントロール、障害予防に起因する様々な要因が生み出されている。ゆえに、投球動作の根幹を担っているのが下肢の動作であり、投球動作の共通性を検討するにはまず、下肢の動作に着目する必要があると考えられる。

そこで本研究の目的は、一流競技者であるプロ野球投手を対象者とし、投球動作時における下肢の動作に着目することで、投球動作の共通性を導き出すこととした。さらに、その中でもTop群とMinor群の動作を比較し、Minor群による下肢動作の課題を明らかにすることで、競技力向上のための知見を得ることとした。

## II. 方法

### 1. 対象者およびその群分け

対象者は、日本野球機構 (NPB) に所属する投手25名 (身長 $1.80 \pm 0.02$ m, 体重 $87.87 \pm 9.85$ kg, 年齢27.0

表1 Top群とMinor群の対象者情報

	身長 (m)	体重 (kg)	1軍経験者 (名)	実験前年度平均 1軍登板イニング数	実験年度平均 1軍登板イニング数	平均球速 (m/s)	各投法の人数		
							OT	SQT	ST
Top群	1.83 ± 0.05	92.67 ± 8.79	9/9	73.6 ± 64.3	73.2 ± 66.5	37.6 ± 0.7	4	4	1
Minor群	1.78 ± 0.05	82.38 ± 8.43	8/16	17.7 ± 36.5	3.4 ± 7.1	37.9 ± 1.5	7	7	2

O T : オーバーハンドスロー

SQT : スリークォータースロー

S T : サイドハンドスロー

±4.5歳)であった。実験の参加にあたっては、本研究の目的と実験条件、個人情報取り扱いを、まず球団へ説明し、その後選手へ説明した。測定終了後、再度球団および選手へデータ利用の可否を求めた。その際に、研究成果発表までの間、データ利用を撤回できる旨を説明し、任意参加の同意を得た。なお、本研究は筑波大学体育系研究倫理委員会の承認(課題番号:第体019-122号)を得て実施されたものである。

研究遂行に先立ち、対象者の群分けを実施した。表1に示すように、本研究の対象者には、実験前年度シーズンにおいての1軍経験者が17名いた。しかし、イニング数に換算すると数イニングの登板に留まっている投手が多数いたため、当該球団に所属するアナリスト3名に群分けを依頼することで、当該球団がTop群・Minor群と位置付ける群分けを実施した。アナリストとは、スカウティングデータや動作、パフォーマンスデータを基に、客観的な視点から選手の育成や編成に貢献している者である。2名のアナリストは、元プロ野球選手であり、残り1名は、野球指導者として10年以上の経験を有し、なおかつ野球に関する研究に従事した経験を持つものである。以上の3名による、「Top群に値する選手(Top群)」と「そうでない選手(Minor群)」という観点から群分けを実施した。上記3名による複合的視点からトライアングレーション(金堀ほか, 2012)を実施し、3人の意見が100%一致するまで意見交換を繰り返すことで、群分けの妥当性および信頼性の担保を目指した。その結果、Top群を9名、Minor群を16名とした。

## 2. 実験試技

実験試技は、投手板から18.44m離れた捕手に向かってストレートの全力投球を行った。投手の投球姿勢は、両腕を振りかぶらず身体の前方で保持してから投球にはいるセットポジションからの投球を行った。分析試技は、野球の研究に従事しており大学野球の指導を行っている検者による客観的な評価(ストライク

ゾーンに投球され、且つ、スムーズな投球動作であること)において最も得点が高いこと、また、ボール自動追尾システムTrackman(Trackman社製)によって得られたトラッキングデータの結果から、最も球速が大きい(平均球速37.8 ± 1.3m/s)1試技を分析試技とした。

## 3. 実験設定およびデータ収集

図1に本研究の実験設定および撮影範囲を示した。投球動作の3次元座標を算出するために、右投手は右斜め後方と左斜め前方から、左投手は左斜め後方と右斜め前方へ完全に同期された2台の高速度VTRカメラ(JVC社製:スポーツコーチングカム)を用い、撮影速度毎秒240コマ(露出時間1/2000秒)で撮影した。また、試技の撮影前にキャリブレーションボール(DKH社製、高さ:2.0m、較正点:4個)を撮影範囲の12カ所へ垂直に立て、順に撮影した。本研究では右投手の場合、右脚をピボット脚、左脚をストライド脚とした(左投手の場合は、それらを逆とした)。本研究で用いた静止座標系は、投球方向をy軸、鉛直方向をz軸、対象者の左右方向でy軸とz軸に垂直な三塁に向かう方向をx軸とした。撮影範囲は、ホームプレートから見て前後方向を2.7m、左右方向を1.8m、上下方向を2.0mとした。

## 4. データの分析方法

本研究では、ストライド脚離地前5コマからボールリリース後10コマまでを分析範囲とした。ストライド脚離地前5コマからボールリリース後10コマにおける毎秒240コマの画像について、身体部位25点とボール中心1点の計26点を動作解析システムFrame-DIASVを用いて手動でデジタイズした。また、身体部位の三次元座標は、数値解析ソフトウェア(MATLAB R2017, The Math Works)にて、分析点の三次元座標をDLT法により算出した。算出した三次元座標の各成分は、Wells and Winter (1980)の方法により三次元座

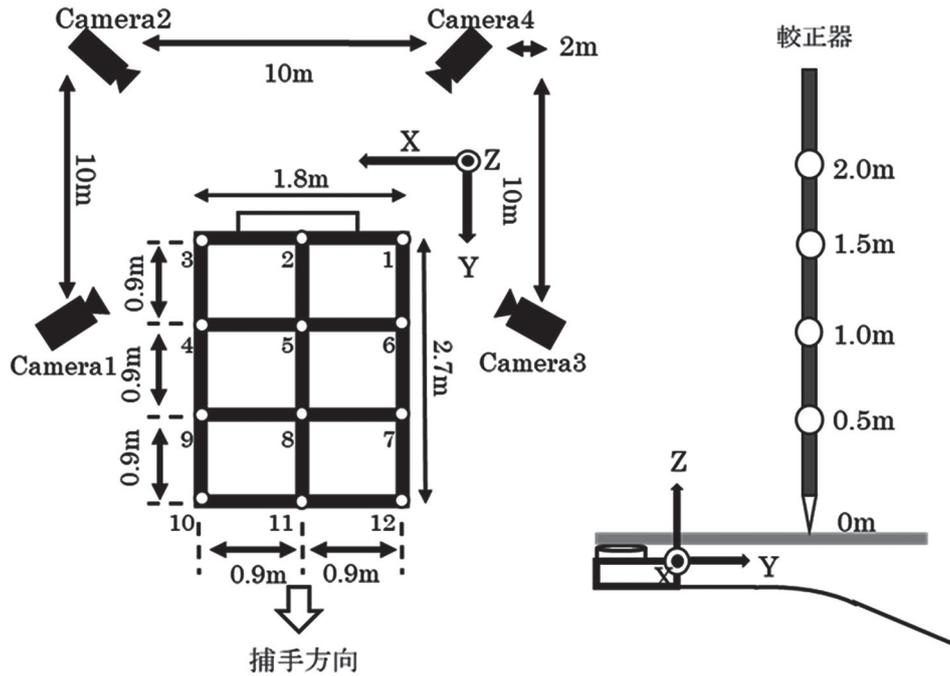


図1 実験設定図および撮影範囲

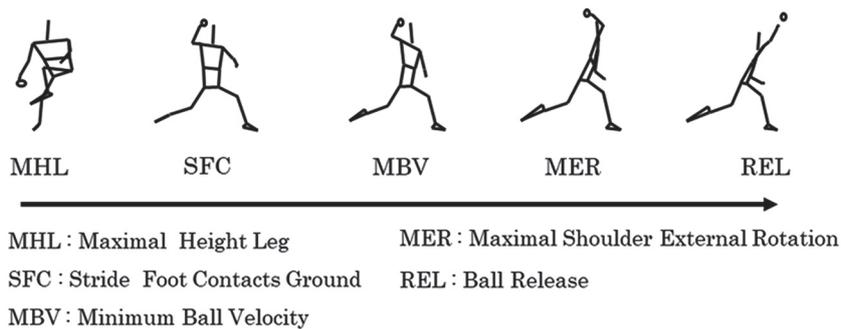


図2 分析範囲および動作の区分点

標データの成分毎に最適遮断数 (5-30Hz) を決定し、Butterworth digital filter を用いて平滑化した。三次元座標を算出する際の平均誤差は、X軸方向0.004m、Y軸方向0.004m、Z軸方向0.004mであった。また、重心位置とそれぞれのセグメントにおける慣性特性は、阿江 (1996) の日本人競技者による身体セグメントパラメータを用いた。

図2に本研究における分析範囲および動作の区分点を示した。本研究では、Fleising et al. (1999) が定義している、ストライド脚膝関節の最大挙上 (MHL)、ストライド脚の接地 (SFC)、投球腕肩関節最大外旋位時 (MER)、ボールリリース時 (REL) の4つの動作時点に島田ほか (2004) が定義しているボール速度最小値 (MBV) を加えた5つの動作を動作の区分点とした。

## 5. 分析項目および算出方法

図3に、身体各部に対する移動座標系の定義を示した。本研究は、以下のように下肢各関節に右手系の移動座標系を定義した。

### 1) 下脚座標系

下脚座標系では、両股関節の midpoint から両肋骨下端の midpoint へ向かうベクトルを  $zlt$  軸とし、左股関節から右股関節へ向かうベクトルを補助ベクトル  $alt$  と定め、 $zlt$  軸ベクトルと補助ベクトル  $alt$  の外積から  $ylt$  軸ベクトルを、 $ylt$  軸ベクトルと  $zlt$  軸ベクトルの外積から  $xlt$  軸ベクトルと定めた。

#### ① 股関節屈曲伸展角度

右股関節の屈伸角度は、下脚座標系の  $yz$  平面において  $-zlt$  と右股関節から右膝関節へ向かうベクトルのなす角度とした。 $-zlt$  を  $0^\circ$  として、屈曲を正 (+)、

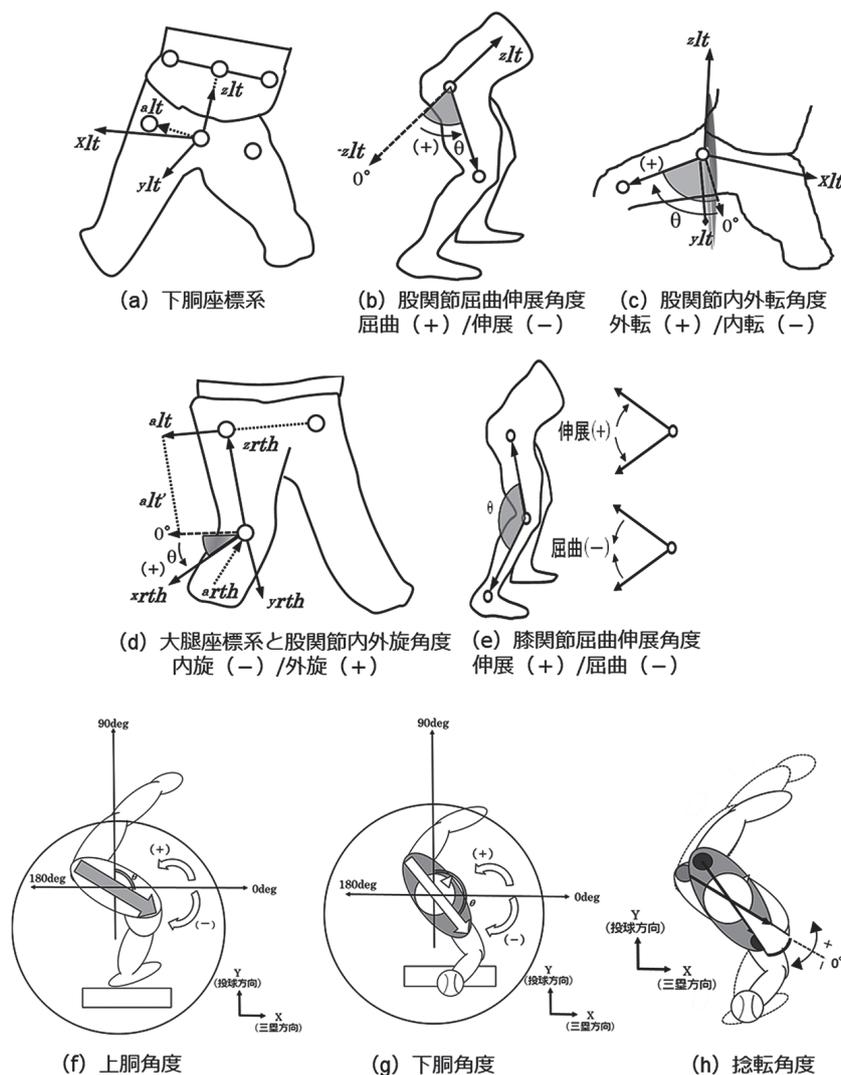


図3 各関節角度と体幹回旋角度の定義

伸展を負(-)と定義した。同様にして、左股関節の屈曲伸展角度を算出した。

②股関節内外転角度

右股関節の内外転角度は、金堀ほか(2014)の定義を用いて、下胴座標系のyz平面と右股関節から右膝関節へ向かうベクトルのなす角度とした。yz平面を基準(0°)に、外転を正(+), 内転を(-)と定義した。同様にして、左股関節の内外転角度を算出した。

2) 大腿座標系

右大腿座標系では、右足関節から右膝関節へ向かうベクトルを補助ベクトルar<sub>th</sub>と定め、右膝関節から右股関節へ向かうベクトルをzr<sub>th</sub>軸ベクトルとし、補助ベクトルar<sub>th</sub>とzr<sub>th</sub>軸ベクトルの外積からxr<sub>th</sub>軸ベクトルを、zr<sub>th</sub>軸ベクトルとxr<sub>th</sub>軸ベクトルの外積から、yr<sub>th</sub>軸ベクトルを定めた。同様にして、左大腿座標系を算出した。

①股関節内外旋角度

右股関節の内外旋角度は、右大腿座標系のxy平面上で、左股関節から右股関節へ向かうベクトルに対してxr<sub>th</sub>軸ベクトルのなす角度とした。左股関節から右股関節へ向かうベクトルを基準(0°)に内旋を負(-), 外旋を正(+))と定義した。脚の前部が正中矢状面の方向(右脚の場合は反時計回り)へ回旋する動作を内旋とする。同様にして、左股関節の内外旋角度を算出した。

②膝関節屈曲伸展

膝関節から股関節へ向かうベクトルを0°とし、膝関節から足関節へ向かうベクトルのなす角度とし、伸展を正(+), 屈曲を負(-)とした。左股関節においても、右股関節と同様に算出した。なお、動作における解釈のしやすさを考慮し、完全伸展を180°とした。

### 3) 上胴回旋角度

上胴回旋角度では(以下,「上胴角度」と略す),左肩関節から右肩関節へ向かうベクトルを作成し,静止座標系のy軸に対する角度とした。そのため,本研究では,投球方向に回転した際を正(+ )の角度,その逆を負(- )の角度と定義した。3塁に正対した角度を0°とし,ホームベースに正対した角度を90°とした。

### 4) 下胴回旋角度

下胴回旋角度(以下,「下胴角度」と略す)では,左股関節から右股関節へ向かうベクトルを作成し,静止座標系のy軸に対する角度とした。そのため,本研究では,投球方向に回転した際を正(+ )の角度,その逆を負(- )の角度と定義した。

### 5) 体幹の捻転角度

体幹の捻転角度では,下胴角度に対する上胴角度の差分(体幹捻転角度=上胴回旋角度-下胴回旋角度)から算出した。捻転角度が負の値であれば,下胴に対して右回旋している状態を示し,正の値であれば左回旋している状態を示す。

### 6) 角速度算出

上記に記載した各関節角度,部分角度を五点微分法により数値微分することで,角速度を算出した。

## 6. 共通性の検討

本研究では, Murata et al. (2008) の方法を参考に変動係数を用いて,投球動作の共通性について検討を行う。変動係数は,パフォーマンスのばらつきを示す統計的尺度として広く使用されており, Bartlett et al. (2007) では,変動係数を用いて動作のばらつきを示すことの有用性を示している。阿江(1997)では,一流競技者が示す動きの変動係数が小さい局面は,パフォーマンス発揮をするための共通した動作であることを示している。そのため,本研究においても変動係数を用いて動作のばらつき具合から一流競技者の投球動作に関する共通性を検討し,パフォーマンス発揮のための動作ポイントを導き出すこととした。しかしながら,変動係数は通常データが負(-)にならないことを前提として計算される。しかし,本研究では,正(+ )負(-)の値を持つ角度データであるため,算出された変動係数にゼロ除算や負(-)の符号を持った変動係数が算出されてしまう。このような問題を回避するために,畠山(1995)の方法を参考にし,各関節角度や各関節角速度の項目における各時点の平均値に,最小の負を示す測定値の絶対値を加算して,補正することで変動係数を算出した。

例) SFC時ストライド脚股関節屈曲伸展の変動係数を算出する場合

$$\frac{SFC時のSD}{(SFC時のAve. + 最小の負を示す値の絶対値)}$$

共通性を判断するための基準値を作成するために,各時点での各関節角度・角速度に関する変動係数の平均値±標準偏差(0.48±0.32)を算出した。これらの値を山蔭ほか(2016)の方法を基に,平均変動係数-1/2SD未満(CV=0.32)である時点を「共通性の高い動作」,平均変動係数+1/2SD以上(CV=0.64)であった時点を「共通性の低い動作」,それら以外の場合(0.33~0.63)を「中程度の共通性がある動作」として,共通性を判断する3つの水準を評価基準として設定した。これら3つの水準に関する妥当性を検証するために,共通性を判断する3つの水準(「共通性の高い動作」,「中程度の共通性がある動作」,「共通性の低い動作」)を独立変数,各水準での変動係数を従属変数とする一元配置分散分析を行った。その結果,共通性の度合いを判断する3つの水準毎において,1%未満で差がみられた(高と中:F[1, 65]=53.1,中と低:F[1, 60]=70.7,高と低:F[1, 27]=54.7,いずれも $p<0.01$ )。そのため,「共通性の高い動作」「中程度の共通性がある動作」「共通性の低い動作」の順で有意に変動係数の値が高くなっているため,本研究で算出した共通性示す変動係数に基づいた3水準の評価基準は,妥当性をもって行われたと考えられる。

## 7. 統計処理

基本統計量は,平均値±標準偏差として示した。主な統計処理は,Top群とMinor群(被験者間要因)に関する経時変化(被験者内要因)の比較を行うために,二元配置分散分析を行った。群内の経時変化の要因については,本研究の目的と異なるため検討しなかった。本研究においては,投球動作の各時点における群間の差異を明らかにするため,分散分析で有意な交互作用がみられた場合,要因の水準ごとに単純主効果の検定を行った。そこで有意な要因の単純主効果がみられた場合,Bonferroni法による多重比較検定を行った。一方で,交互作用が有意でない場合は,主効果および多重比較検定を順次実施した。分析にはSPSS ver.24 (IBM社)を使用し,いずれの分析においても有意水準は5%未満とした。

Ⅲ. 結 果

1. 一流競技者の投球動作に関する共通性の検討

1) 下半身の角度変位と変動係数の推移

表2に、ストライド脚とピボット脚による股関節と膝関節の各関節角度と変動係数を示した。まず股関節の内外転角度について、ストライド脚では、SFC時に高い共通性がみられた(SFC: CV = 0.29)。MHLでは、中程度の共通性(MHL: CV = 0.56)がみられ、MBV・MER・REL時では、共通性の低い動作(MBV: CV = 0.65, MER: CV = 1.43, REL: CV = 1.92)であった。ピボット脚においても、SFC時に高い共通性がみられた(SFC: CV = 0.21)。SFC時以外の時点では中程度の共通性(MHL: CV = 0.46, MBV: CV = 0.49, MER: CV = 0.62, REL: CV = 0.55)がみられた。股関節の内外旋角度について、ストライド脚ではMHL・SFC・MER時に中程度の共通性(MHL: CV = 0.26, SFC: CV = 0.51, MER: CV = 0.42)がみられ、MBV時では高い共通性(MBV: CV = 0.24)、REL時では共通性の低い動作(CV = 0.76)であった。ピボット脚で

は、全ての時点において中程度の共通性(MHL: CV = 0.33, SFC: CV = 0.34, MBV: CV = 0.53, MER: CV = 0.47, REL: CV = 0.55)がみられた。股関節の屈曲伸展について、ストライド脚では、全ての時点で共通性の高い動作(MHL: CV = 0.26, SFC: CV = 0.19, MBV: CV = 0.15, MER: CV = 0.15, REL: CV = 0.16)がみられた。ピボット脚では、MHL時とMER時に中程度の共通性(MHL: CV = 0.40, MER: CV = 0.57)、SFC・MBV・REL時に共通性の低い動作(SFC: CV = 0.73, MBV: CV = 0.71, REL: CV = 0.75)がみられた。膝関節の屈曲伸展について、ストライド脚では、すべての時点で共通性の高い動作(MHL: CV = 0.31, SFC: CV = 0.06, MBV: CV = 0.06, MER: CV = 0.09, REL: CV = 0.11)がみられた。ピボット脚では、全ての時点で共通性の高い動作(MHL: CV = 0.12, SFC: CV = 0.05, MBV: CV = 0.05, MER: CV = 0.07, REL: CV = 0.09)がみられた。

2) 下半身の角速度変位と変動係数の推移

表3に、両脚股関節と膝関節の各関節による角速度と変動係数の値を示した。まず、股関節の内外転につ

表2 一流競技者の投球動作における各関節角度と変動係数の値

		ストライド脚股関節				
		MHL	SFC	MBV	MER	REL
内外転	(deg)	-9.3 ± 11.9	37.8 ± 10.9	28.6 ± 18.6	13.0 ± 18.5	8.6 ± 16.4
	CV	0.56	0.29	0.65	1.43	1.92
内外旋	(deg)	-22.6 ± 16.2	-0.3 ± 14.7	-4.4 ± 21.6	-1.4 ± 16.9	3.4 ± 35.0
	CV	0.26	0.51	0.24	0.42	0.76
屈曲伸展	(deg)	96.7 ± 26.5	70.7 ± 13.4	90.6 ± 13.8	103.5 ± 15.5	102.1 ± 15.7
	CV	0.26	0.19	0.15	0.15	0.16
		ストライド脚膝関節				
屈曲伸展	(deg.)	95.6 ± 37.0	131.2 ± 7.3	129.3 ± 7.8	129.3 ± 11.7	133.1 ± 15.2
	CV	0.31	0.06	0.06	0.09	0.11
		ピボット脚股関節				
内外転	(deg)	11.0 ± 11.3	36.0 ± 7.7	19.4 ± 11.7	-3.4 ± 12.1	-7.3 ± 11.4
	CV	0.46	0.21	0.49	0.62	0.55
内外旋	(deg)	15.6 ± 38.4	26.9 ± 18.6	15.4 ± 22.5	9.5 ± 20.2	11.0 ± 16.7
	CV	0.33	0.34	0.53	0.47	0.55
屈曲伸展	(deg)	31.0 ± 21.2	-6.6 ± 13.9	-14.3 ± 11.1	-4.2 ± 9.4	8.5 ± 10.2
	CV	0.40	0.73	0.71	0.57	0.75
		ピボット脚膝関節				
屈曲伸展	(deg)	144.1 ± 16.8	136.6 ± 8.0	141.3 ± 7.0	131.8 ± 8.7	123.0 ± 10.6
	CV	0.12	0.05	0.05	0.07	0.09

■ 高い □ 中程度 □ 低い

† 変動係数の値が最低値~0.32の値を共通性が高い動作, 0.33~0.63の値を中程度の共通性がある動作, 0.64~最高値の値を共通性が低い動作と定義した。

表3 一流競技者における各関節角速度と変動係数の値

		ストライド脚股関節				
		MHL	SFC	MBV	MER	REL
内外転	(deg/s)	-70.3 ± 154.9	-162.4 ± 360.3	-250.3 ± 406.0	-204.6 ± 309.8	-87.5 ± 204.8
	CV	0.53	0.60	0.76	0.28	0.39
内外旋	(deg/s)	58.5 ± 297.2	4.1 ± 415.1	-56.9 ± 640.6	39.6 ± 375.5	91.8 ± 679.8
	CV	0.38	0.33	0.27	0.35	0.83
屈曲伸展	(deg/s)	-92.5 ± 233.5	654.3 ± 757.6	584.1 ± 1084.2	96.0 ± 242.7	-42.8 ± 173.4
	CV	0.28	1.16	1.48	0.69	0.67
		ストライド脚膝関節				
屈曲伸展	(deg/s)	244.9 ± 226.3	53.2 ± 193.5	-39.0 ± 135.0	106.8 ± 192.9	143.4 ± 213.2
	CV	0.62	0.46	0.70	0.80	0.36
		ピボット脚股関節				
内外転	(deg/s)	104.2 ± 250.1	-231.2 ± 172.5	-463.4 ± 182.8	-231.0 ± 210.8	-105.2 ± 191.4
	CV	0.46	0.21	0.49	0.62	0.55
内外旋	(deg/s)	-0.4 ± 296.1	-459.6 ± 471.0	-222.7 ± 405.0	-65.1 ± 373.9	76.7 ± 348.1
	CV	0.33	0.34	0.53	0.47	0.55
屈曲伸展	(deg/s)	81.7 ± 168.8	-280.6 ± 577.1	-54.8 ± 338.5	433.5 ± 195.8	374.9 ± 198.2
	CV	0.40	0.73	0.71	0.57	0.75
		ピボット脚膝関節				
屈曲伸展	(deg/s)	-26.0 ± 122.5	132.4 ± 129.1	39.9 ± 144.3	-352.1 ± 181.5	-258.4 ± 165.6
	CV	0.54	0.47	0.48	0.50	0.63

■ 高い □ 中程度 □ 低い

\*変動係数の値が最低値~0.32の値を共通性が高い動作, 0.33~0.63の値を中程度の共通性がある動作, 0.64~最高値の値を共通性が低い動作と定義した。

いて、ストライド脚ではMHL・SFC・MER・REL時に中程度の共通性 (MHL: CV = 0.53, SFC: CV = 0.60, MER: CV = 0.28, REL: CV = 0.39), MBV時に共通性の低い動作 (CV = 0.76) がみられた。ピボット脚では、SFC時に高い共通性がみられ (SFC: CV = 0.21), SFC時以外の時点で中程度の共通性 (MHL: CV = 0.46, MBV: CV = 0.49, MER: CV = 0.62, REL: CV = 0.55) がみられた。股関節の内外旋について、ストライド脚では、MHL・SFC・MER時に中程度の共通性 (MHL: CV = 0.38, SFC: CV = 0.33, MER: CV = 0.35), MBV時に高い共通性 (CV = 0.27), REL時に共通性の低い動作 (CV = 0.83) がみられた。ピボット脚では、すべての時点で中程度の共通性 (MHL: CV = 0.33, SFC: CV = 0.34, MBV: CV = 0.53, MER: CV = 0.47, REL: CV = 0.55) がみられた。股関節の屈曲伸展について、ストライド脚では、MHL時のみ高い共通性 (CV = 0.28), SFC・MBV・MER・REL時に共通性の低い動作 (SFC: CV = 1.16,

MBV: CV = 1.48, MER: CV = 0.69, REL: CV = 0.67) がみられた。ピボット脚では、MHL・MER時に中程度の共通性 (MHL: CV = 0.40, MER: CV = 0.57), SFC・MBV・REL時に共通性の低い動作 (SFC: CV = 0.73, MBV: CV = 0.71, REL: CV = 0.75) がみられた。膝関節の屈曲伸展について、ストライド脚では、MHL・SFC・REL時に中程度の共通性 (MHL: CV = 0.62, SFC: CV = 0.46, REL: CV = 0.36), MBVとMER時に共通性の低い動作 (MBV: CV = 0.70, MER: CV = 0.80) がみられた。ピボット脚では、すべての時点で中程度の共通性 (MHL: CV = 0.54, SFC: CV = 0.47, MBV: CV = 0.48, MER: CV = 0.50, REL: CV = 0.63) がみられた。

## 2. Top群とMinor群の比較

ここでは、プロ野球投手をTop群とMinor群との比較検討を行うことで、Minor群がTop群に昇格するための動作ポイントを導き出す。

表 4 本研究の結果と先行研究との比較

	本研究	高橋ほか (2005)		Fleisig et al. (1999)		Kageyama et al. (2014)	
	プロ野球選手	大学生 (High群)	大学生 (Low群)	高校生	大学生	プロ野球選手	大学生 (High群)
	<i>n</i> = 25	<i>n</i> = 10	<i>n</i> = 12	<i>n</i> = 33	<i>n</i> = 115	<i>n</i> = 60	<i>n</i> = 10
MBV時ストライド脚股関節屈伸角度 (deg)	90.6 ± 13.8						
MER時ストライド脚股関節屈伸角度 (deg)	103.5 ± 15.5						110.7 ± 10.8
REL時ストライド脚股関節屈伸角度 (deg)	104.4 ± 17.2						105.3 ± 12.7
SFC時ストライド脚膝関節屈伸角度 (deg)	133.2 ± 7.3	114.3 ± 6	124.3 ± 6.7	13.0 ± 9.0	132.0 ± 12.0	134.0 ± 8.0	134.0 ± 6.7
MBV時ストライド脚膝関節屈伸角度 (deg)	129.3 ± 7.8						
MER時ストライド脚膝関節屈伸角度 (deg)	129.3 ± 11.7						140.5 ± 13.1
REL時ストライド脚膝関節屈伸角度 (deg)	131.2 ± 15.2			137.0 ± 13.0	141.0 ± 13.0	142.0 ± 13.0	152.5 ± 13.4
MHL時ピボット脚膝関節屈伸角度 (deg)	144.1 ± 16.8	160.0					160.9 ± 8.2
SFC時ピボット脚膝関節屈伸角度 (deg)	136.6 ± 8.0	130.0					154.5 ± 6.4
MER時ピボット脚膝関節屈伸角度 (deg)	131.8 ± 8.7						
REL時ピボット脚膝関節屈伸角度 (deg)	123.0 ± 10.6	120.0					

(1) 股関節の内外転角度および角速度の比較

図 4 (A) に、両脚股関節における内外転角度の変位を示した。ストライド脚では、両群間で交互作用 ( $F [1,23] = 4.78, p < 0.05$ ) がみられた。その後、下位検定として単純主効果検定を行ったところ選手レベル (Top 群と Minor 群) 要因の単純主効果では、MBV 時と MER 時、REL 時 (MBV 時:  $F [1,23] = 6.40$ , MER 時:  $F [1,23] = 5.10$ , REL 時:  $F [1,23] = 5.22$ , いずれも  $p < 0.05$ ) で、単純主効果がみられた。多重比較検定の結果、MBV 時 (Top 群:  $17.2 \pm 17.0\text{deg}$ , Minor 群:  $35.0 \pm 16.8\text{deg}$ ) と MER 時 (Top 群:  $2.6 \pm 19.4\text{deg}$ , Minor 群:  $18.7 \pm 15.8\text{deg}$ ), REL 時 (Top 群:  $0.1 \pm 15.4\text{deg}$ , Minor 群:  $14.9 \pm 15.6\text{deg}$ ) において Top 群がより内転位を示していた。ピボット脚では、両群間で主効果および交互作用はみられなかった。

図 5 (A) に、両脚股関節における内外転角速度の変位を示した。ストライド脚では、主効果がみられ、多重比較検定を行ったところ、Top 群投手が SFC 時に有意に高い内転速度を示した (SFC 時:  $F [1,23] = 8.92, p < 0.05$ )。ピボット脚では、両群間で主効果および交互作用に差はみられなかった。

(2) 股関節の内外旋角度および角速度の比較

図 4 (B) には、両脚股関節における内外旋角度の変位を示した。ストライド脚では、両群間で主効果および交互作用はみられなかった。また、ピボット脚においても、両群間で主効果および交互作用はみられなかった。両脚ともに、内外旋の角度変位では、有意な差はみられなかった。

図 5 (B) に、両脚股関節における内外旋角速度を示した。ストライド脚では、両群間で主効果および交互作用に差はみられなかった。また、ピボット脚では、

主効果がみられたため、多重比較検定を行ったところ、SFC 時のみ Top 群投手が有意に高い内旋速度を示した (SFC 時:  $F [1,23] = 4.85, p < 0.05$ )。

(3) 股関節の屈曲伸展角度と角速度の比較

図 4 (C) に、両脚股関節の屈曲伸展角度の変位を示した。ストライド脚では、両群間に主効果および交互作用はみられなかった。また、ピボット脚においても、両群間の交互作用に差はみられなかった。

図 5 (C) に、両脚股関節の屈曲伸展角速度を示した。ストライド脚では、両群間に交互作用 ( $F [1,23] = 3.85, p < 0.05$ ) がみられた。その後、下位検定として単純主効果検定を行ったところ選手レベル (Top 群と Minor 群) 要因において、MER 時と REL 時で両群間に主効果がみられ、Top 群がより伸展速度が有意に高かった (MER 時:  $F [1,23] = 4.78$ , REL 時:  $F [1,23] = 4.70$ , いずれも  $p < 0.05$ )。また、ピボット脚では、主効果がみられ、多重比較検定を行ったところ MER 時と REL 時において Top 群が有意に高い伸展速度を示した (MER 時:  $F [1,23] = 6.31$ , REL 時:  $F [1,23] = 8.38, p < 0.05$ )。なお、MHL-MBV 時では、両群間に差はみられなかった。

(4) 膝関節の屈曲伸展角度と角速度の比較

図 4 (D) に、両脚膝関節の屈曲伸展角度の変位を示した。ストライド脚では、両群間に主効果および交互作用はみられなかった。ピボット脚では、両群間で交互作用 ( $F [1,23] = 8.42, p < 0.05$ ) がみられた。その後、下位検定として単純主効果検定を行ったところ、選手レベル (Top 群と Minor 群) 要因において、MBV 時と REL 時 (MBV 時:  $F [1,23] = 4.46$ , REL 時:  $F [1,23] = 7.45, p < 0.05$ ) に単純主効果がみられた。多重比較検定の結果、MBV 時 (Top 群:  $145.0 \pm 7.8\text{deg}$ , Minor 群:

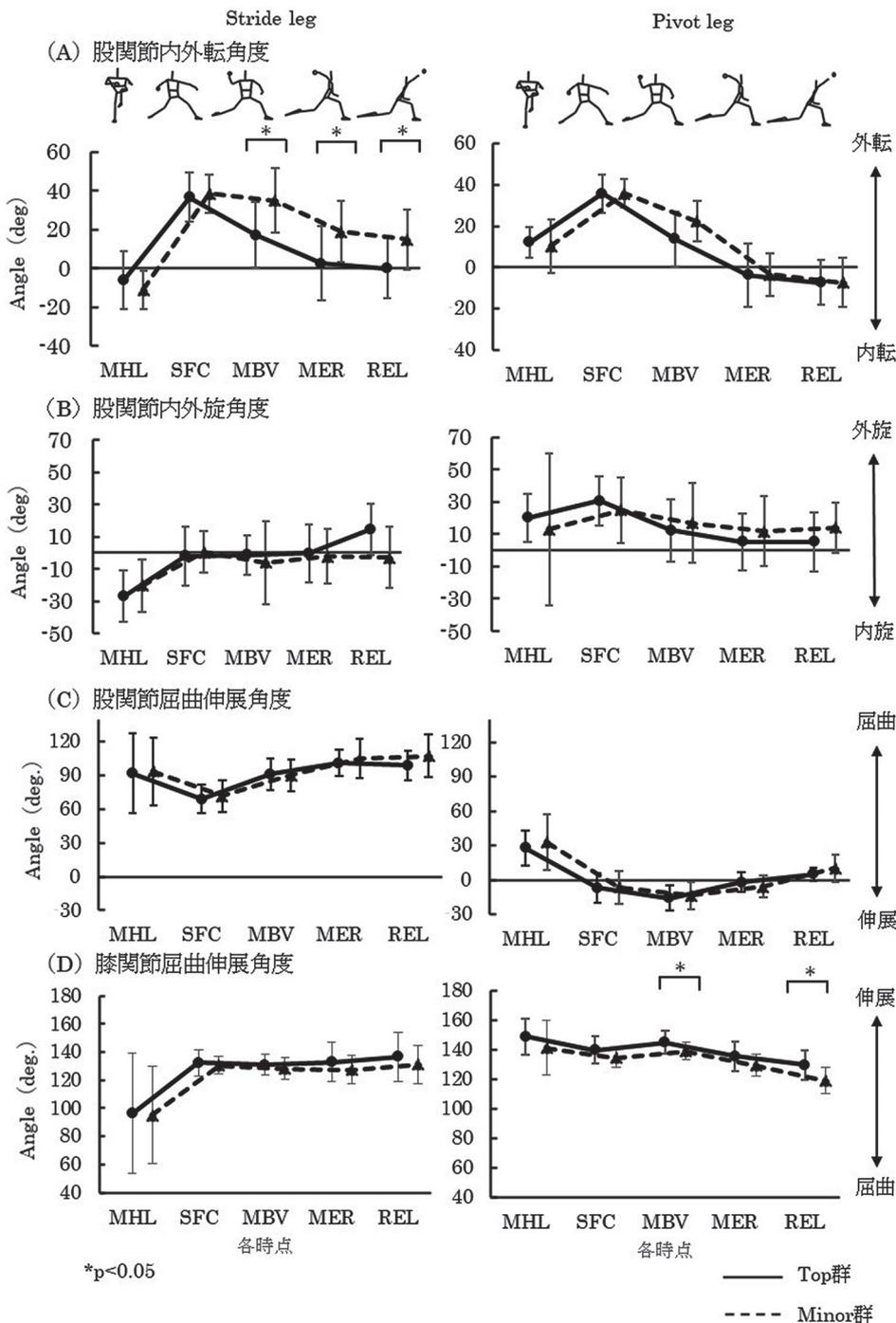


図4 Top群とMinor群における各関節角度の比較

139.3 ± 5.8deg) とREL時 (Top群 : 129.9 ± 10.1deg, Minor群 : 119.2 ± 9.0deg) においてTop群が有意に高い伸展角度を示した。

図5 (D) に、両脚股関節の屈曲伸展角速度の変位を示した。ストライド脚では、両群間に主効果および交互作用はみられなかった。ピボット脚においても、両群間に主効果および交互作用はみられなかった。

(5) 体幹の回旋角度と角速度

図6に、上胴・下胴・捻転角度の変位および角速度を示した。上胴角度では、両群間で交互作用 ( $F [1,23] = 9.12, p < 0.01$ ) がみられた。その後、下位検定として単純主効果検定を行ったところ選手レベル (Top群とMinor群) 要因の単純主効果では、MER時とREL時 (MER時 :  $F [1,23] = 8.40, p < 0.01$  ; REL時 :  $F [1,23] = 7.21, p < 0.05$ ) で、単純主効果がみられた。多重比

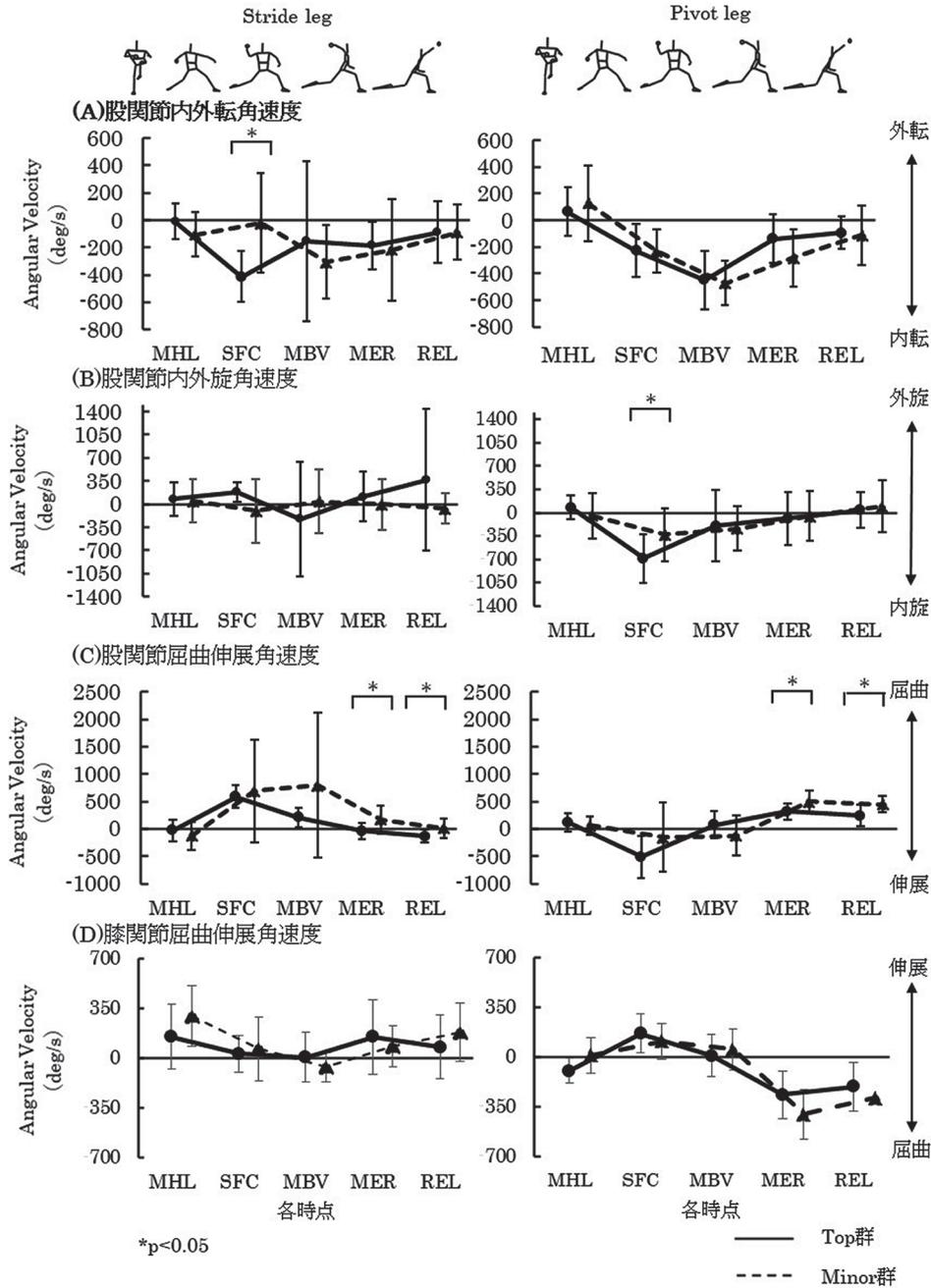


図5 Top群とMinor群における各関節角速度の比較

較検定の結果, MER時 (Top群:  $100.5 \pm 8.5\text{deg}$ , Minor群:  $84.9 \pm 14.7\text{deg}$ ), REL時 (Top群:  $118.3 \pm 9.0\text{deg}$ ,  $p < 0.01$ ; Minor群:  $107.9 \pm 9.5\text{deg}$ ,  $p < 0.05$ ) においてTop群投手がより投球方向への回旋を示していた。下腕角度では, 主効果がみられたため, 多重比較検定を行ったところ, MBV時とREL時にTop群が有意に投球方向への回旋を示した (MBV時:  $F [1,23] = 5.65$ , REL時:  $F [1,23] = 5.63$ , いずれも  $p < 0.05$ )。捻転角度では, 両群間に主効果および交互作用はみられな

かった。

上腕角速度では, 両群間に主効果および交互作用はみられなかった。下腕角速度では, 主効果がみられたため, 多重比較検定を行ったところ, SFC時にTop群が有意に投球方向への高い回旋角速度を示した (SFC時:  $F [1,23] = 9.79$ ,  $p < 0.05$ )。捻転角速度では, 主効果がみられたため, 多重比較検定を行ったところ, SFC時にTop群が有意に投球方向とは反対側への高い回旋角速度を示した (SFC時:  $F [1,23] = 6.50$ ,  $p < 0.01$ )。

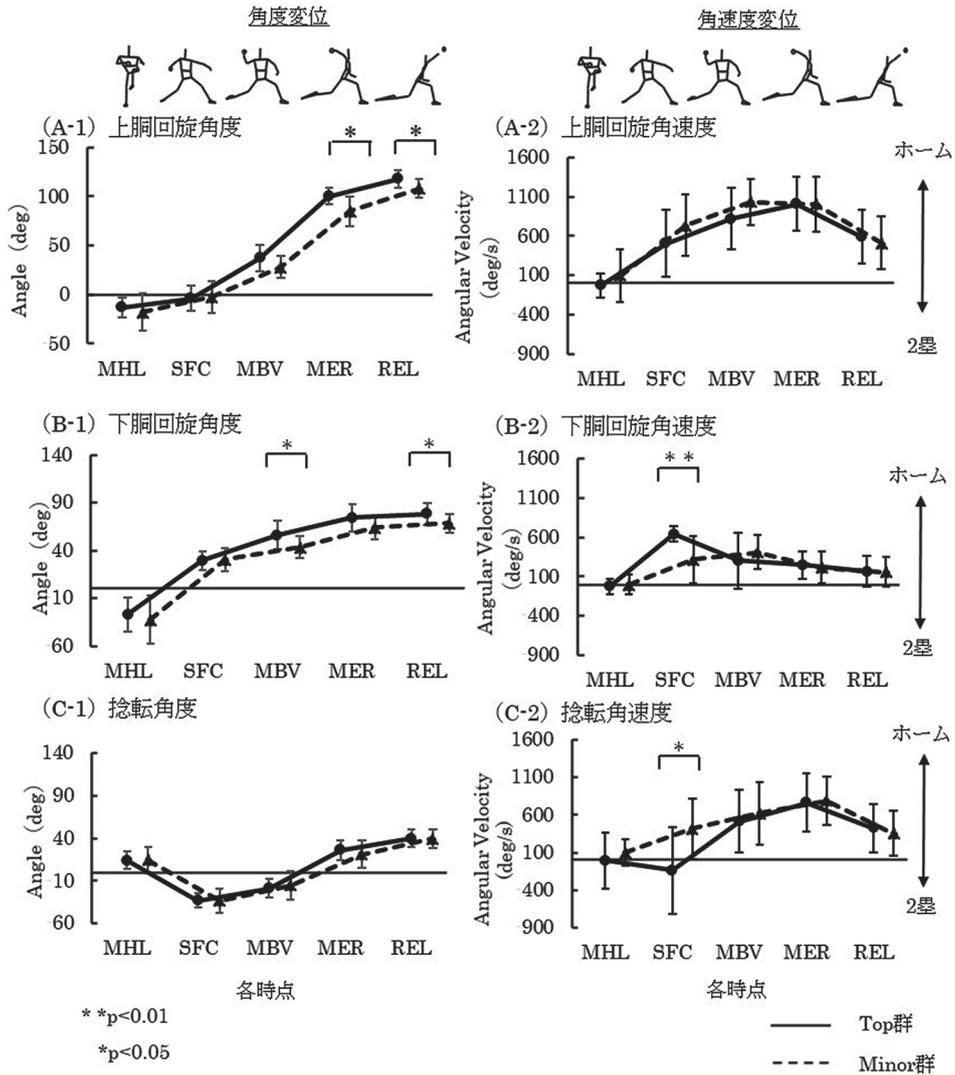


図6 Top群とMinor群における体幹回旋角度の比較

IV. 考察

本研究に参加した対象者は、サイドスローやスリークォーター等、様々な投球タイプの投手が含まれている。これらの投手の各関節角度を各時点で平均化し、変動係数を求めることで共通性を検討した。さらに本研究は、プロ野球投手のみを対象としているため、共通性のみられた動作部位がプロ野球投手の固有の共通した動作なのか、それとも動作としてばらつきにくい動作なのかまでは、断定できない。そのため、プロ野球投手のパフォーマンス発揮のためのポイントを探るために、高い共通性のみられた動作と先行研究で示されたアマチュア投手の値とを比較することによって、動作としてプロ野球投手の投球動作がアマチュア投手の投球動作と比較して、どの程度の相違があるのか検

討を進めていく。

1. 投球動作の共通性

1) 下半身の角度変化からみられる共通性

表2に各時点で各関節角度とその変動係数を示した。また、表4に各動作時点を示している投手の投球動作に関する国内外の先行研究と本研究の結果の比較を示した。なお、先行研究の各動作に関する角度定義が異なる場合、本研究の定義に合うように補正した。

ピボット脚膝関節屈伸角度では、すべての時点において高い共通性がみられた。これらの値を高橋ほか(2005)のアマチュア投手による球速HG群(高速群)と比較を実施してみると差がみられなかった。そのため、ピボット脚膝関節の屈伸角度は、プロ野球投手のみに共通した動作ではなく、競技レベル関係なくばら

つきのでにくい動作であることが推察される。

ストライド脚股関節と膝関節屈伸角度では、SFC・MBV・MER・REL時といった複数時点で高い共通性がみられた。これらの値をKageyama et al. (2014) が示した球速High群の大学野球投手と比較すると、僅かな差ではあるが、プロ野球投手の方が股関節と膝関節ともに屈曲位であった。プロ野球投手のストライド脚股関節・膝関節角度における時点間での変化量に着目してみると、SFC時からMBV時間で、膝関節角度が、SFC時 ( $131.2 \pm 7.3\text{deg}$ )・MBV時 ( $129.3 \pm 7.8\text{deg}$ ) 間で、平均  $-1.9 \pm 7.5\text{deg}$  程、股関節がSFC時 ( $70.7 \pm 13.4\text{deg}$ )・MBV時 ( $90.6 \pm 13.8\text{deg}$ ) 間で平均  $19.9 \pm 15.0\text{deg}$  程であり、ともに屈曲 (膝関節; 19/25名, 股関節; 25/25名) している状態であった。MBV時からMER時間では、膝関節角度がMBV時 ( $129.3 \pm 7.8\text{deg}$ )・MER時 ( $129.3 \pm 11.7\text{deg}$ ) 間で平均  $0.0 \pm 7.6\text{deg}$  であり、ばらつきはあるものの、ほとんど変化がみられず、ほぼ固定された状態 (20/25名) であった。さらに、股関節角度では、MBV時 ( $90.6 \pm 13.8\text{deg}$ )・MER時 ( $103.5 \pm 15.5\text{deg}$ ) 間で平均  $12.9 \pm 1.7\text{deg}$  程、屈曲 (23/25名) していた。さらにMER時とREL時間では、ストライド脚膝関節角度が、MER時 ( $129.3 \pm 11.7\text{deg}$ )・REL時 ( $133.1 \pm 15.2\text{deg}$ ) 間で、平均  $3.8 \pm 4.7\text{deg}$  程、ストライド脚股関節がMER時 ( $103.5 \pm 15.5\text{deg}$ )・REL時 ( $102.1 \pm 15.7\text{deg}$ ) 間で平均  $-1.5 \pm 0.2\text{deg}$  程で、膝関節・股関節角度ともに、僅かに伸展 (膝関節; 22/25名, 股関節; 20/25名) している状態であった。反対に、Kageyama et al. (2014) が示した球速High群の大学生投手は、SFC時 ( $134.0 \pm 6.7\text{deg}$ ) からREL時 ( $152.5 \pm 13.4\text{deg}$ ) でストライド脚膝関節角度が平均  $18.5\text{deg}$  程 伸展し、MER時 ( $110.7 \pm 10.8\text{deg}$ ) からREL時 ( $105.3 \pm 12.7\text{deg}$ ) でストライド脚股関節角度が平均  $5.4\text{deg}$  程 屈曲する動作であった。高橋ほか (2005) によると、ストライド脚接地からリリースにかけてストライド脚膝関節角度を一定に保つことで「体幹を支える動作」に繋がると報告している。さらに陸上競技のやり投げを三次元的に分析したBartlett et al. (1996) は、リリース時に膝関節の運動が少ないことが体幹および投球側上肢の前方推進力を加速させる要因になると述べている。これらの知見を踏まえると、本研究のプロ野球投手では、指導現場で指摘される「膝のつぶれ」がなく、加速局面で膝関節を固定・伸展しながら股関節を伸展させることで、投球方向への推進力を加速させながら体幹を支えていることが考えられる。これまでの先行研究で膝関節の伸

展動作は、球速向上に重要な動作であることが指摘されているが (Matsuo et al., 2001; 川村ほか, 2012)、本研究の結果は、従来指摘されてきた動作とは異なるものとなった。平均球速  $152.4\text{km/h}$  の大学生投手に関する投球動作を分析した川村ほか (2012) では、REL時の膝関節が  $144.3 \pm 15.7\text{deg}$  と本研究のプロ野球投手と比較すると  $10\text{deg}$  程 伸展位である。このことは、プロ野球投手のみを対象者とした場合にみられた共通動作は、球速発揮に貢献するような動作だけではないことが推察される。例えば、石原ほか (1999) によると、ストライド脚股関節伸展制限が投球時の肩関節の障害と関連があることを報告しており、障害のリスクを軽減させるような動作にも影響していることが推察される。本研究の結果だけでは、共通性を示した動作がどのパフォーマンス発揮に関連する動作であるのかまでは、断定することができない。しかし、持続可能で安定したパフォーマンス発揮が要求されるプロ野球投手にとって、プロ野球の1シーズンを戦い抜くことを考慮し、複合的な視点から投球動作を捉え、安定した投球動作を獲得することが必要になると考えられる。その中でも、本研究で示されたMBV・MER時間でのストライド脚膝関節の固定や、MER・REL時間でストライド脚股関節・膝関節をわずかに伸展させる動作は、投球動作のアセスメント項目となり、日々のコンディショニングやパフォーマンスを評価・診断するための動作となることが考えられる。さらに、これらの動作を基にアマチュア投手をアセスメントすることで、選手個々の技能的・体力的な要素を把握し、更なる競技力向上に繋げることができると推察される。

## 2) 下半身の角速度の変化にみられる共通性

表3に下半身の各関節における角速度の値を示した。角速度では、高い共通性が示された時点があったものの、どの動作も一時点で留まるものであり、動作を特定しにくいものであった。川村ほか (2012) は、投法が混在していると角速度の値が一樣ではなく、標準偏差が大きくなってしまふ要因になることを指摘している。本研究では、様々な投法の投手を一色淡にして角速度を算出しており、標準偏差と変動係数が高くなっている。川村ほか (2012) の報告は、上半身の動作について言及しているが、下半身の動作についても同様なことが言えると推察される。特に両脚股関節における屈曲伸展角速度では、共通性の低い動作を示す時点が多かった。そのため、股関節における屈曲伸展での角速度は特に個人の投球動作の特性に依存する個性の大きい動作であることが考えられる。

## 2. Top群とMinor群の比較

投球動作の相違点を検討する前に、分析試技の球速にTop群 ( $37.6 \pm 0.7 \text{ m/s}$ ) とMinor群 ( $37.9 \pm 1.5 \text{ m/s}$ ) に差がないかを検討したところ、両群間の球速に差がみられなかった。また、身体的特性(身長・体重)においても群間に、有意な差はみられなかった。したがって、本研究のTop群とMinor群は、同様な球速の投球をしており、身体的特性も同様であることが前提であり、投球動作に相違点がないかを検討する。さらに、プロ野球投手の共通性としてみられた下半身の動作が、体幹の動作に影響を与えるものであったため、Top群とMinor群の比較では、体幹の動作についても検討を進める。

SFC時では、ストライド股関節内転角速度(いずれも、 $p < 0.05$ )に違いがみられた。この時、Top群はストライド脚股関節の角度位置が外転位にあるものの、角速度では内転方向への速度が大きくなっている。さらに、SFC時以降内転への角度変位を示しており、SFC時からストライド脚股関節の内転動作が始まっていることが考えられる。MBV・MER・REL時以降でも、Top群はストライド脚股関節が内転位にあった( $p < 0.05$ )。この内転動作についてCampbell et al. (2010)は、下脛を回転させるときに生じるストライド脚股関節外転へのモーメントを抑える役割を果たしていると報告している。さらに、島田ほか(2000)では、前期コッキング局面(本研究におけるSFC時からMBV時)では、ストライド脚股関節の内転トルクにより下脛の前方回旋を維持する働きがあることを報告している。これらの知見を踏まえると、ストライド脚股関節の内転角速度が速いことは、Top群がMinor群よりも下脛を素早く回旋させていることが考えられ、下脛の動作をみるとTop群が、SFC時に下脛角速度が大きかった( $p < 0.01$ )。さらに、上脛角速度には差がなく、その結果Top群は、体幹の捻転角速度が投球方向とは反対方向への角速度が大きかった( $p < 0.05$ )。つまり、Top群はストライド脚の外転を維持した状態で、下脛を素早く回旋させることでストライド脚股関節の内転角速度が速くなったことが推察される。

さらにSFC時以降、Top群が下脛角度では、MBV時とREL時、上脛角度では、MER時とREL時に投球方向への回旋が有意に大きかった(いずれも、 $p < 0.05$ )。下肢の動作をみてみると、MER時のストライド脚股関節屈伸角速度において、Top群は角速度が $0^\circ$ だったのに対し、Minor群投手は、屈曲方向への角速度を示し、その差がわずかながら有意であった( $p <$

$0.05$ )。ストライド脚の股関節屈伸角度変位においても、MER時からREL時にかけて $101 \text{ deg}$ から $99 \text{ deg}$ とほとんど変化がなく、股関節の上下動を小さくするような固定した状態を示した。さらにMER時のピボット脚股関節の屈伸角速度においても、Minor群投手は屈曲方向への角速度が大きかった( $p < 0.05$ )。島田ほか(2004)の研究では、ストライド脚股関節力および並進速度がどちらも上方向を向くことが「体幹を支える動作」に繋がると述べている。本研究のMinor群は、Top群よりもSFC時以降両脚股関節の屈曲速度を示したことで「両脚股関節が沈みこんだ」動作になり、下脛や上脛の回旋角度が小さく、体幹を支えきれない状態。(島田ほか, 2000)になっていたことが推察される。

したがって、Top群は、SFC時にストライド脚股関節の内転を維持した状態から下脛を素早く回旋させ、SFC時以降ストライド脚股関節の固定や内転位を示したこと、ピボット脚股関節の屈曲速度を抑えていたことにより、下脛や上脛の回旋角度を大きくすることができた要因として考えられ、Minor群との分岐点となる動作として示唆された。

## 3. 指導への示唆

本研究の結果から、アマチュア選手とMinor群に対する以下の指導への示唆を導くことができる。まず、一流競技者を対象にしてみられた共通動作は、MBV時・MER時にストライド脚股関節が屈曲しながらも膝関節を固定させ、MER・REL時間に股関節と膝関節がわずかに伸展する動作であった。特に、膝関節と股関節による二関節筋の同時期による伸展は、ハムストリングと大腿四頭筋による共収縮(Elftman, H., 1939)が考えられ、島田ほか(2000)が報告している股関節のエキセントリックな収縮による体幹の固定とは異なることが推察される。そのため、力の発揮と共に固定する能力が必要となり、アイソメトリックのような筋の共収縮を伴う体力的要素が重要となる。さらに川村(2016)では、股関節の伸展を伴った投球動作には、リリース後のピボット脚がカーブの軌跡を描くような脚の抜き方になると述べている。そのため、指導上の着眼点としては、ストライド脚と同時に、リリース後にピボット脚がカーブの軌跡を描くような脚の動作になっているのかどうかにも着眼して指導することが必要となる。

Top群とMinor群との比較では、Top群がSFC時以降にストライド脚の内転を維持できるかが下脛や体幹

の捻転角速度を素早くさせる動作として明らかになった。宮下ほか(1999)では、左股関節の十分な内転可動域や、回旋運動を強める内転および内旋筋力、そして内転運動を急停止させることができる股関節および体幹の筋力が内転動作をするうえで必要になると述べている。そのため、Minor群は特にストライド脚の内転筋群の強化に加え、柔軟性を身につける必要がある。さらにSFC時以降は、両脚股関節をなるべく固定させることがMinor群に必要な技術として示された。MER時-REL時の動作は加速局面と定義され、動作時間が短い。村木(1994)では、最大速度の下で行われる運動は、最大下で行われるものと違い運動中の知覚的な運動修正は極めて難しいと述べている。そのため、最大下運動の中で動作を修正することがトレーニング実践上の課題となる。蔭山ほか(2015)が実施した傾斜台にストライド脚を乗せることで自動的に屈曲した状態を作り出し、そこから伸展の動きを作り出せるような自己の内在的な運動感覚を磨くトレーニングも有効になるだろう。一方で指導者は、MER時以降に両脚股関節を固定させながらリリースをむかえられているかどうかプロ野球投手の指導上の着眼点となる。

#### 4. 今後の課題と展望

本研究では、一流競技者であるプロ野球投手を対象者とし、変動係数を算出することで野球の投球動作にみられる共通性について検討を行った。しかし、本研究はプロ野球投手のみを対象者としており、プロ野球投手固有の共通性なのか、競技レベル関係なく投球動作としてばらつきの出にくい共通した動作なのかについて断定することはできない。そのため、今後、本研究の方法に基づき、社会人・大学生・高校生のような競技レベルごとでの投球動作の共通性を明らかにすることができれば、発育発達段階に応じた投球指導の体系化へ向け、有益な知見になることが考えられる。全ての競技レベルで共通している動作であれば、小学生や中学生の段階から指導できる動作となり、プロや社会人のような高い競技レベル間で共通している動作であれば、体力的な要素やケガのリスク等も考慮した発育発達段階に合わせた指導法の検討が可能となる。さらに、既往歴やコントロールの良否を含めた投球動作の共通性とパフォーマンスの関連を検討することができれば、そこで見られた共通性に関連するパフォーマンスの要因を検討することが可能となり、更なる投球動作指導の体系化へ向けた一助に繋がることが予想さ

れる。

また、本研究は、様々な投法を合算することによって、野球投手の一流競技者を対象者とし、投球動作の共通性とTop群とMinor群の相違点を明らかにした。しかし、宮西(2011)も指摘するように、それぞれの投法によって特徴が異なることが考えられる。そのため、プロ野球投手間においても、投法ごとに下肢や体幹・上肢におよぶ投球動作の共通性ならびに相違点を明らかにすることができれば、より詳細な指導現場への知見や投手のアセスメント法を提示することができるであろう。

## V. 要約

本研究は、一流競技者を対象とすることで投球動作の共通性を明らかにし、Top群とMinor群との比較を行うことで、Minor群に対する投球動作の課題を導き出すことを目的とした。本研究で得られた知見をまとめると、以下のとおりである。

- 1) MBV時・MER時にかけてストライド脚股関節角度が屈曲しながらも、膝関節を固定させ、MER・REL時間でストライド脚股関節と膝関節がわずかに伸展する動作に共通性が示された。
- 2) Top群は、SFC時に下胴角速度を素早くすることで、ストライド脚股関節の内転角速度が速くなり、MBV時以降による体幹の捻転や安定した力の伝達を生み出していることが示唆された。
- 3) SFC時以降Top群は、両脚股関節が固定されるような角度変位や角速度を示した。同時に、ストライド脚股関節が内転位にあることで、下胴と上胴角度を大きくさせる動作を生み出し、指導上の着眼点になることが示唆された。

以上のことから、一流競技者を対象としてみられた投球動作の共通性は、球速を生み出す要因として指摘されてきた動作とは異なる点がみられた。本研究の結果から、好投手の条件は様々であり、球速等の一つのパフォーマンス指標に基づいて投手をアセスメントすることは、持続可能で安定したパフォーマンス発揮が必要なプロ野球投手において弊害があると考えられる。投手に要求されるパフォーマンスは、競技レベルが異なると推奨される動作は異なることが考えられ、今後の投手育成において、単なるパフォーマンスアップだけでなく、競技レベルや発育発達の観点から複合的に投球動作を捉え投手をアセスメントすることが求められるだろう。

## 注記

本論文は、日本野球機構 (NPB) に所属する当該球団の協力のもと、実験を遂行することができた。筆者所属の大学と当該球団との契約上、論文としてまとめる際には、選手個人が特定できるような情報ならびにTrackman (Trackman社製) によって取得した球速以外のパラメーターを提示しないことを条件としている。したがって本研究は、上記のような研究上の限界があった上で、論文としてまとめたものである。

## 謝辞

本研究は、日本野球機構 (NPB) の某球団に所属する関係者の皆様に多大なご理解とご協力を賜り、研究が遂行できました。この場をお借りして、心より感謝申し上げます。さらに、筑波大学体育系のラルクワール・ランディーブ (Rakwal Randeep) 教授に、英文抄録の作成においてご指導ご支援いただきました。また、日本スポーツ振興センターの蔭山雅洋氏にも貴重なご意見をいただきました。以上のご支援ご協力を賜りました皆様に、心より感謝申し上げます。

## 付記

本研究は、第6回日本野球科学研究会と第31回日本コーチング学会にて発表した内容に、加筆修正を加え、論文としてまとめたものである。

## 文献

阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *J. J. Sports. Science* 15: 155-162.

阿江通良 (1997) 体育・スポーツにおける動作分析手法の利用. *計測と制御*, 第36巻, 第9号: 622-626.

Ae, M., Muraki, Y., Koyama, H and Fuji, N. (2007) A Biomechanical Method to Establish a Standard Motion and Identify Critical Motion Variability: With Examples of High Jump and Sprint Running. *Bull. Inst. Health & Sport Sci., Univ. of Tsukuba* 30: 5-12.

Bartlett, R., Muller, E., Lindinger, S., Brunner, F., and Morriss, C. (1996) Three-Dimensional Evaluation of the Kinematic Release Parameters for Javelin Throwers of Different Skill Levels. *J Appl Biomech.*, 12: 58-71.

Bartlett, R., Wheat, J., and Robins, M. (2007) Is movement variability important for sports biomechanists? *Sports Biomechanics*, 6, 224-243.

Campbell, B. M., Stodden, D. F., and Nixon, M. K. (2010) Lower extremity muscle activation during baseball pitching. *J. Strength. Cond. Res*, 24(4): 964-971.

Elftman, H. (1939) The function of muscles in locomotion. *Am J Physio* 125: 357-366.

Fleising, G. S., Barrentine, S. W., Zheng, N., Escamilla, R. F., and Andrews, J.R. (1999) Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. *J.Biomech.*, 32(12): 1371-1375.

畠山英夫 (1995) 分布の取り扱いと変動係数について. *獣医情報科学雑誌*. No.34, 1-7.

House. T (1994) *The pitching edge*, 2nd Ed., Chap. 2, Human ki-

netics 15, Champaign IL, 53-101.

石原祐司・山田稔晃・山本淳史・井芹直子・矢野孝幸・原川健一郎・浦辺幸夫・原正文 (1999) 投球障害肩における体幹および股関節の可動域の検討. *九州・山口スポーツ学会誌*. 11, 33-37.

Kageyama, M., Sugiyama, T., Takai, Y., Kanehisa, H., and Maeda, A. (2014) Kinematic and Kinetic profiles of the lower limbs during baseball pitching in collegiate baseball pitchers. *J. Sports Sci. Med.*, 13, 742-750.

蔭山雅洋・鈴木智晴・藤井雅文・前田明 (2015) 傾斜台を用いたトレーニングが投球速度および投球動作に及ぼす即時的効果—ある小学野球投手の場合—. *スポーツパフォーマンス研究*, 7, 42-54.

川村卓・島田一志・平野裕一・松尾知之・平山大作・阿部太希・小谷内和宏・阿江数道 (2012) 時速150km/hを投げる投手の特徴について. *バイオメカニクス研究*, 16(1): 32-40.

川村卓 (2016) *決定版ピッチングの科学*. 洋泉社. pp.59-60, 178.

川村卓 (2019) *新しい少年野球の教科書—科学的コーチングで身につく野球技術—*. 株式会社カンゼン. pp.2.

金堀哲也・川村卓・松尾知之・朝岡正雄・山田幸雄・會田宏 (2014) 我が国の指導書からみた野球の打撃指導における指導者の着眼点—動作局面における指導対象部位に着目して—. *コーチング学研究*, 25(2), 149-156.

金堀哲也・山田幸雄・會田宏・島田一志・川村卓 (2014) 野球の打撃における指導者の主観的評価に対するキネマティック的研究: 下肢および体幹に着目して. *体育学研究*, 59: 133-147.

小林育斗・阿江通良・宮崎朋世・藤井範久 (2012) 優れた投能力をもつ小学生の投動作の特徴とその標準動作. *体育学研究*, 57: 613-629.

Matsuo, T., Escamilla R. F., Fleisig, G. S., Barrentine S. W., and Andrews, J. R. (2001) Comparison of kinematics and temporal parameters between different pitch velocity groups. *J. Appl. Biomech.*, 17: 1-13.

松尾知之・平野裕一・川村卓 (2010) “投球動作指導における着眼点の分類と指導者間の意見の共通性: プロ野球投手経験者および熟練指導者による投球解説の内容分析から”. *体育学研究*, 55: 343-362.

松尾知之・平野裕一 (2013) “投球動作指導の共通項—アンケート調査によるコーチング・ノードの探索—”. *コーチング学研究*, 第26巻第2号, 203-212.

宮西智久 (2011) 野球投手のタイプ分けによるピッチング動作評価—オーバースロー, スリークォーターズロー, サイドハンドスローとアンダーハンドスロー—. *バイオメカニクス研究*, 15(3), pp108-117.

宮下浩二・小林寛和・横江清司 (1999) 投球動作で要求される下肢関節機能に関する検討. *Journal of Athletic Rehabilitation*, No2. 65-72.

村木征人 (1994) *スポーツ・トレーニング理論*, ブックハウスHD. pp120.

Murata, K., Ae, M., Uchiyama, H and Fujii, N (2008) A Biomechanical Method to Quantify Motion Deviation in the Evalua-

- tion of Sports Techniques using the Example of a Basketball Set Shot. Bull. Inst. Health & Sport Sci., Univ. of Tsukuba 31: 91-99.
- 島田一志・阿江道良・藤井範久・結城匡啓・川村 卓 (2000) 野球のピッチング動作における体幹および下肢の役割に関するバイオメカニクス的研究. バイオメカニクス研究, 4: 47-60.
- 島田一志・阿江道良・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・阿江道良・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 (2), pp36-52.
- 谷川 聡・内藤 景 (2014) スプリント・ハードルトレーニングのためのバイオメカニクス知見の活かし方. バイオメカニクス研究, 18 (3), pp157-169.
- Wells, R.P. and Winter, D.A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological sporting gaits. Human Locomotion 1: pp.92-93.
- 山蔦圭輔・佐藤 寛・笹川智子・山本隆一郎・中井義勝・野村忍 (2016) 女子学生を対象とした新版食行動異常傾向測定尺度の開発. 心身医学, 56巻7号, 737-747.

令和2年12月25日受付

令和3年5月28日受理