

〔原著〕

## 二人の投手の投球速度の違いは何に起因するか？

齋藤 健治<sup>1</sup>, 渡辺 正和<sup>2</sup>  
佐藤 菜穂子<sup>3</sup>, 井上 伸一<sup>4</sup>

### 要 旨

投球速度が異なる2名の大学野球投手を対象に、投球動作とパワー系体力を測定分析し、その差の原因を探ることを目的とした。対象とした2名の選手間には体格の差はないものの、投球スピードの差が10～20km/hあった。投球動作の量的分析には三次元動作解析法を用い、ハイスピード動画撮影による質的な分析も行った。動作解析では、指先から肘、肩、体幹、腰などの速度や、肩、肘、腰などの関節運動の角速度等を求めた。これらの動作解析結果と体力測定結果から、2名の選手間には体幹部の動きの方向、近位部の減速による遠位部の加速という相互作用、上肢関節の使い方、立ち五段跳びやメディシンボール投げなどのパワー系体力と背筋力などに違いがあることが明らかとなった。

キーワード：キネマティクス、運動連鎖、関節運動、運動依存相互作用、パワー発揮能力

### はじめに

投球スピードの増大は、投手（その他の野手も）にとっても指導者にとっても達成すべき大きな目標、あるいは課題の一つであることは論を俟たない。数多くの技術的知見やトレーニングに関する知見が積み上げられてきた昨今においても、時代の推移に合わせて投手の投球スピードの増大が認められる一方で、指導現場に

おける投手育成の難しさは相変わらずという印象を受ける。

投球動作とはそもそもどういう動作なのか、という視点での1970年代以降のkinematics的動作解析を端緒として [2, 3, 37]、近年の動力学解析まで数多くの知見が積み上げられてきた [47]。それらは、投球障害の発生メカニズムを明らかにすることを目的としたことが先行したともいえるが、投球パフォーマンスを向上させ

1 名古屋学院大学 スポーツ健康学部

2 福岡大学 スポーツ科学部

3 名古屋学院大学 リハビリテーション学部

4 佐賀大学 教育学部

Correspondence to: Kenji Saitou

E-mail: saiken@ngu.ac.jp

Received 16 December, 2020

Revised 14 January, 2021

Accepted 14 January, 2021

表1 対象となった2名の投手の体格と投球速度

	投手A (左投)	投手B (右投)
身長 [m]	1.68	1.69
体重 [kg]	69.0	64.0
指極 [m]	1.68	1.7
室内投球速度 [km/h]	111.5 ± 2.8	121.9 ± 4.4
マウンド投球速度 [km/h]	109.4 ± 3.8	128.8 ± 3.0

るためには、という目的が根本といえる研究も当然ながら数多くみられる。例えば、投球時の下肢の力学的エネルギーの流れや仕事量 [12, 39], 上肢や体幹のキネマティクス [43, 44], 関節トルクや関節力 [42], 運動依存トルク [27, 28], 上肢の筋トルク [8], 腰部体幹のキネマティクス [41], 腰部体幹の動力学 [38], ステップ長と運動量や角運動量との関係 [33, 34], 体幹運動の上肢関節への負担 [31], ボールリリース技術 [35], 技術レベルによる違い [1, 7, 11], 年齢や性別による違い [17, 22, 30], 数理的な解析 [13, 45] などである。

これらのような多数の知見をもとに、投球パフォーマンスの向上に貢献する動作要素については統計的な意味で概ね明らかにされているといえるが、指導現場において個々に対峙したときにはそれら知見をそのまま当てはめられることはむしろ稀かもしれない。それは、対象に合わせて知見を解釈し直す必要があったり、部分の動きはあくまでも全体の運動、つまり運動連鎖の中で解釈する必要があったりなど、学術的知見の翻訳や動きの全体性を軽視して部分に焦点をあてることの難しさが原因となっているといえる。したがって、現役選手に研究レベルで指導介入することは困難をとまなうと考えられるが、そのような中で、実際に大学生投手に対して介入した研究もみられ [24], このような取り組みの必要性は今後高まると思われる。本研究では、体格が同程度の二人の大学野球選手

の投球スピードの差が何に起因しているのか、これまでの知見のいくつかを当てはめて、介入前の分析を目的とした。

## 方法

### 1. 実験参加者

対象は、大学野球投手2名（投手A, 22歳；投手B, 22歳）であった。対象である実験参加者の身体的特徴と投球スピードを表1に示す。両者は、概ね同程度の体格を有していたが、投球スピードには10km/h ~ 20km/hの差があった。

実験に際して、検査結果を含む個人情報の保護を保障すること、得られた結果は研究以外に使用しないことを口頭および書面にて説明し、同意を得た。

### 2. 実験試技および計測

#### 2-1. 正規の距離での実投球ビデオ撮影

実験参加者に、室内での三次元動作計測の前に、グラウンドのマウンド上から正規の距離（18.44m）で10球の投球を行わせた。投球時の投動作を撮影（CASIO Exilim, 300fps）すると同時に、スピードガン（スポーツレーダー SR3600）によるスピード計測を行った。実験参加者には投球毎に内省をコメントしてもらった。

二人の投手の投球速度の違いは何に起因するか？

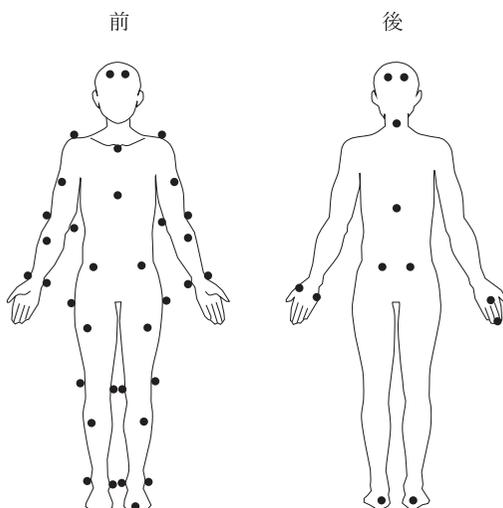


図1 右投げ用三次元動作解析のための反射マーカ貼付部位(47箇所)。左投げの場合は手とつま先のマークが左右逆になる。

## 2-2. 室内での三次元動作解析

### 1) 試技と計測

実験参加者の身体47箇所(箇所)に反射マーカを貼付し(図1)、室内に設置した木製マウンドから5m先のネットに向かって、20球の投球を行わせた。このとき、10台のカメラの三次元動作解析装置VICON(Vicon motion systems社製、サンプリング周波数200Hz)を用いてマーカを追跡撮影した。また、スピードガンによる投球スピード計測も行った。実験参加者には投球毎に内省をコメントしてもらった。マウンドにはピッチャーズプレートの中心からキャッチャー方向に垂直のラインが引かれており、実験参加者はより正確な投球方向のガイドラインとして利用した。

### 2) 分析

分析にあたっては、計測した200Hzのマーカ座標データを、フーリエ変換法により2kHzに補間した後、ローパスフィルタ(高域遮断40Hz、4次バターワース型)により高域ノ

イズを除去した。その後、指先(第三指末節骨遠位端)、手(第三指中手骨遠位端)、手首(尺骨茎状突起)、肘(上腕骨外側上顆)、肩(肩峰)、腰(上前腸骨棘)、膝(大腿骨外側上顆)、足首(外果)の速度成分(それぞれ $V_x$ 、 $V_y$ 、 $V_z$ )、合成速度 $\mathbf{V}$ を計算した。さらに、肘関節の屈曲伸展、前腕の回内外、肩関節の内外旋、体幹上部の回旋(肩峰点の右から左に向かうベクトルの水平面に投影した回旋)、体幹下部の回旋(上前腸骨棘点の右から左に向かうベクトルの水平面に投影した回旋)の角速度を計算した。

肘関節の屈曲伸展角速度、前腕の回内外角速度および肩関節の内外旋角速度は、移動座標系の単位ベクトルを微分する方法により求めた[39]。上腕座標系は、内側上顆マーカと外側上顆マーカの中点から肩峰マーカに向かう単位ベクトルを $\mathbf{y}_{ua}$ とし、 $\mathbf{y}_{ua}$ と内側上顆マーカから外側上顆マーカへの補助ベクトルとの外積により得られる単位ベクトルを $\mathbf{z}_{ua}$ とした。さらに、 $\mathbf{y}_{ua}$ と $\mathbf{z}_{ua}$ との外積により得られる単位ベクトルを $\mathbf{x}_{ua}$ とした。肩の内外旋角速度は、

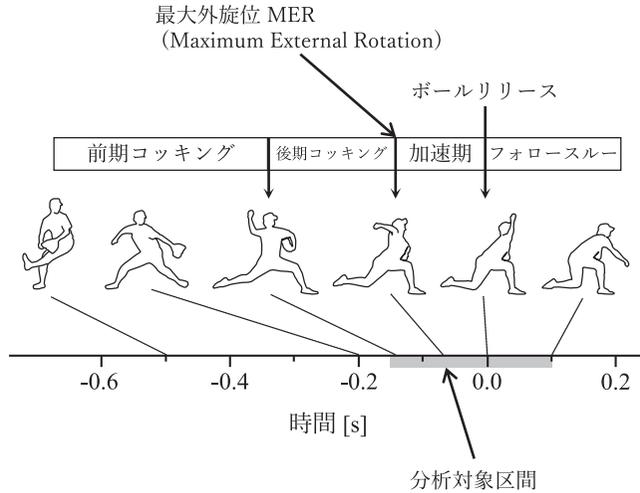


図2 投球動作の局面分け説明図。前足接地までを「前期コッキング期」、肩の最大外旋時までを「後期コッキング期」、ボールリリースまでを「加速期」、ボールリリース後を「フォロースルー期」という四期に分けられる。時間軸ゼロがボールリリース時刻。  
-0.15s ~ 1.0sを分析対象区間とした。

$$\omega_{y_{ua}} = \mathbf{x}_{ua} \cdot \frac{d\mathbf{z}_{ua}}{dt}$$

として求めた。前腕座標系は、内側上顆マーカーと外側上顆マーカーの midpoint から、尺骨茎状突起マーカーと橈骨茎状突起マーカーの midpoint に向かう単位ベクトルを  $\mathbf{y}_{fa}$  とし、 $\mathbf{y}_{fa}$  と midpoint から内側上顆マーカーに向かう補助ベクトルとの外積により得られる単位ベクトルを  $\mathbf{z}_{fa}$  とした。さらに、 $\mathbf{y}_{fa}$  と  $\mathbf{z}_{fa}$  との外積により得られる単位ベクトルを  $\mathbf{x}_{fa}$  とした。肘関節の屈曲伸展角速度は、

$$\omega_{x_{fa}} = \mathbf{z}_{fa} \cdot \frac{d\mathbf{y}_{fa}}{dt}$$

として求めた。手首座標系は、尺骨茎状突起マーカーと橈骨茎状突起マーカーの midpoint から、内側上顆マーカーと外側上顆マーカーの midpoint に向かう単位ベクトルを  $\mathbf{y}_{wr}$  とし、 $\mathbf{y}_{wr}$  と、midpoint から橈骨茎状突起に向かう補助ベクトルとの外積により得られる単位ベクトルを  $\mathbf{z}_{wr}$  とした。さらに、 $\mathbf{y}_{wr}$  と  $\mathbf{z}_{wr}$  との外積により得られる単位ベクトル

を  $\mathbf{x}_{wr}$  とした。前腕の回内外角速度は、

$$\omega_{y_{wr}} = \mathbf{x}_{wr} \cdot \frac{d\mathbf{z}_{wr}}{dt}$$

として求めた。

計算は全て、グラフィカルプログラミング言語 LabVIEW (ナショナルインスツルメンツ) を用いて行った。

分析区間は、ボールリリース時刻を 0.0s とし、-0.15s から 0.1s の間であった。概ね、ステップ足接地からフォロースルーで投球腕が下向きになるくらいであった (図2)。なお、左投げの投手 A については、投手 B と比較しやすくするため右投げに鏡映した。ボールリリース時刻はキャプチャーした三次元動画から 200Hz の精度で求めた。

### 2-3. 体力測定

両投手の筋力、パワー系体力を比較するため、立ち幅跳び、立ち五段跳び、メディシンボール

二人の投手の投球速度の違いは何に起因するか？

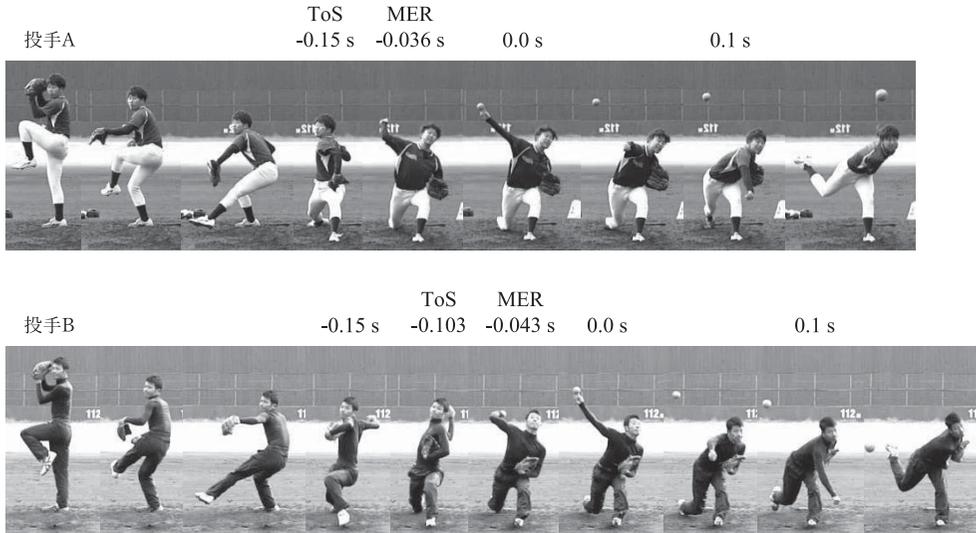


図3 投手A, Bの捕手側から撮影した投動作連続写真。左投げ投手Aは左右反転している。写真上部のToSはトップオブスイング, MERは最大外旋位を示す。時間はボールリリースを0.0sとして表している。左投げ投手Aは左右反転している。

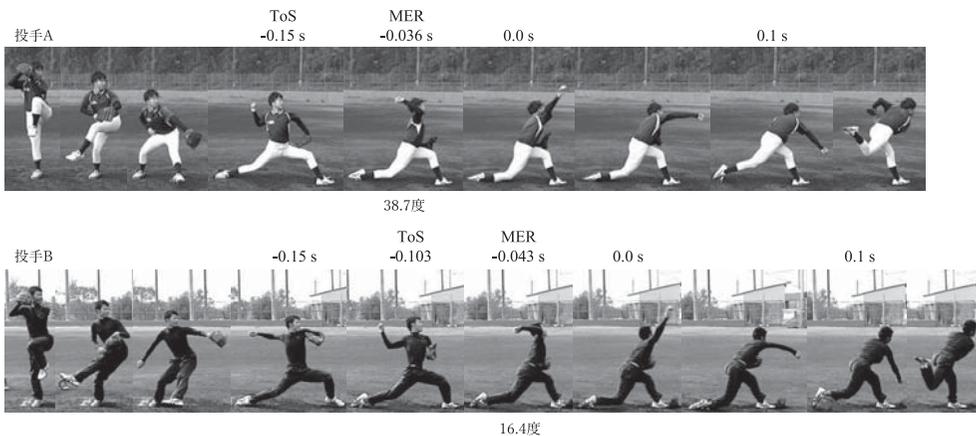


図4 投手A, Bの三塁側から撮影した投動作連続写真。左投げ投手Aは左右反転している。最大外旋(MER)角度は、肘関節外側上顆一尺骨茎状突起を通る線(前腕)が水平面となす角度。

3kgの前後投げ, ハイクリーン, ベンチプレス, スクワット, 背筋力を測定した。

## 結果

### 1. 動画による二人の投球動作の比較

捕手方向と三塁方向から撮影した, 投手A(右

投げに鏡映した写真)と投手Bの正規の場所, 距離での投球動作の連続写真を示す(図3, 4)。概ね, 同様のスリークォーターピッチング, 投球動作であると判断できるが, 細かい点で次のような違いも認められた。投手Aは投手Bに比して, 前期コッキング期のバックスイングにおける肘関節の屈曲度が大きく, 前期コッキン

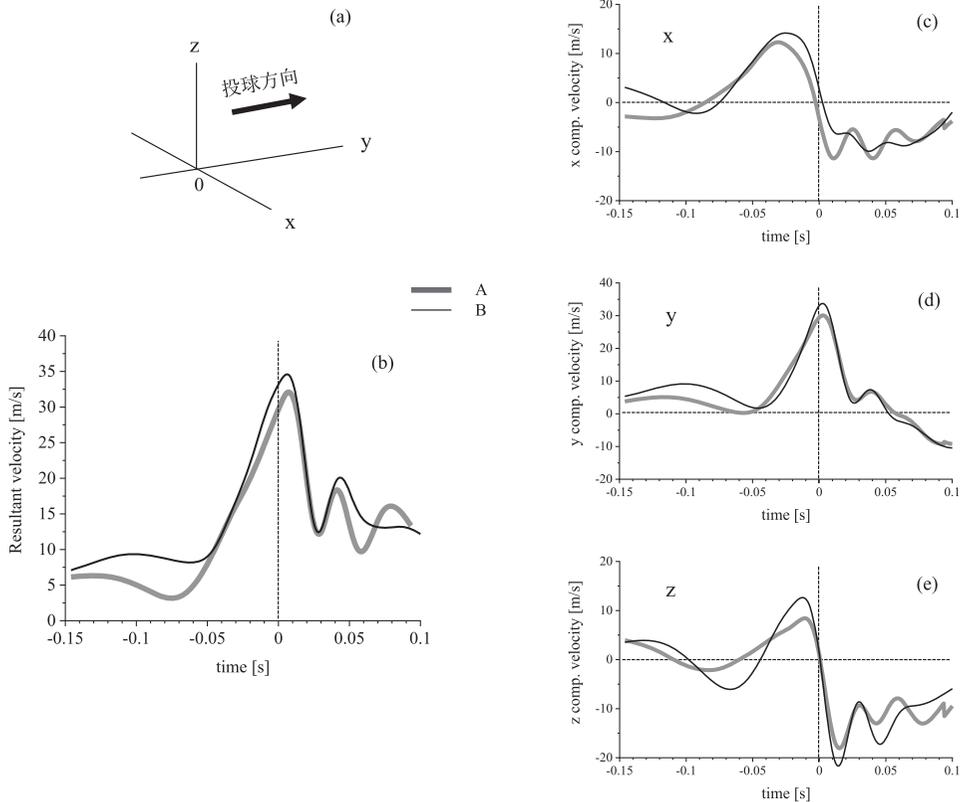


図5 (a) 静止座標系と、投手Aと投手Bの (b) 投球側指先の合成速度, (c) x方向, (d) y方向, (e) z方向の速度成分。時刻0.00はボールリリース。

グ期からフォロースルー期にかけて、上半身の振りの動きが大きかった。また、投手Aは、ステップ脚の挙上や、前期コッキング期の動作から股関節の柔軟性をより感じさせる動作であった。トップオブスイングからボールリリースまでの時間は投手Aが長く（投手Aが0.15s、投手Bが0.103s）、最大外旋（MER）からボールリリースまでの時間は投手Bが長かった（それぞれ0.036sと0.043s）。したがって、トップオブスイングからMERまでの時間は投手Aが長かった（それぞれ0.114sと0.06s）。

## 2. 投球側指先の速度成分と合成速度

図5aに、静止座標系の定義を示す。図5bに

二人の投球側指先の合成速度、図5c, d, eにそのx, y, z成分を示す。投球速度の大きい投手Bにおいて、リリース近辺の合成速度が大きく、また、 $-0.15 \sim -0.05$ sの速度も大きかった。投球速度に大きく影響するのはy方向の速度成分といえるが、リリース直前、あるいは近辺での速度の大きさはx, z成分も影響しているといえる。 $-0.15 \sim -0.05$ sの投手BのAより大きい合成速度は主としてy成分が貢献しているといえる。

## 3. 合成速度でみた運動連鎖（Proximal to Distal連鎖）

図6a, bに投球側の指先（第三指末節骨）、

二人の投手の投球速度の違いは何に起因するか？

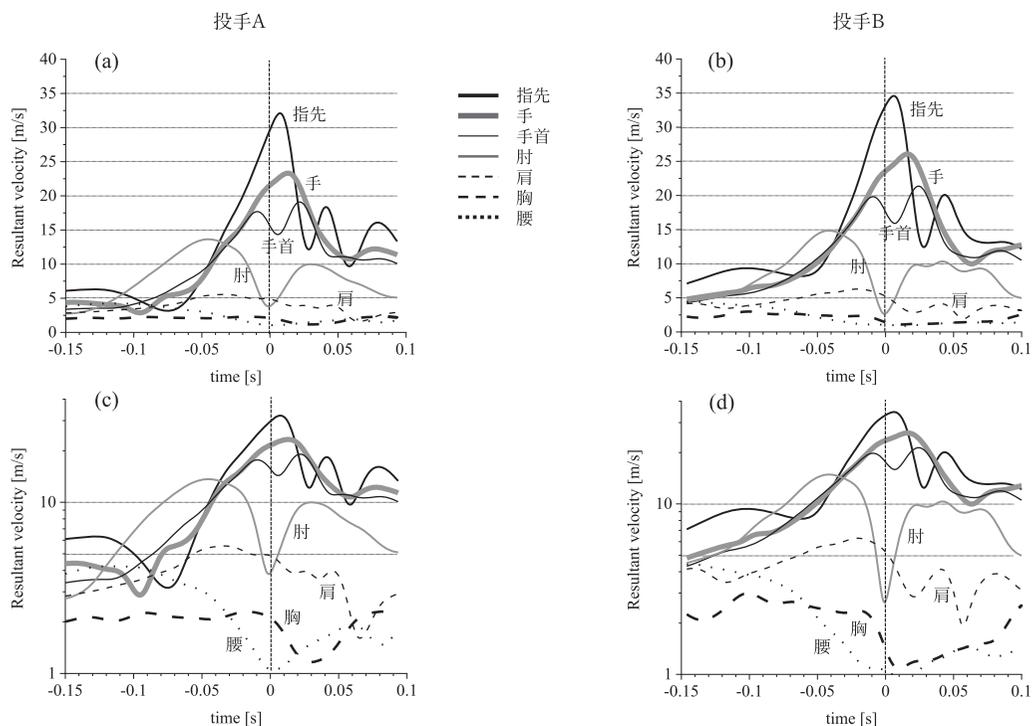


図6 指先、手、手首、肘、肩、胸および腰の合成速度でみた (a) (c) 投手Aと、(b) (d) 投手Bの運動連鎖パターン。下段は上段の対数表示。

手(第三指中手骨遠位端), 手首(尺骨茎状突起), 肘(外側上顆), 肩(肩峰), 胸(第10胸椎棘突起), 腰(上前腸骨棘)の合成速度を示す。二人とも, 肘に続いて手首・手・指先の速度が増大し, さらにボールリリース近辺では肘と手首が減速しながら, 手, 指先の速度が増大するPD連鎖が認められた。一方, 対数表示の図6c, dをみると, リリース近辺での, 肘, 肩, 胸の減速傾向が投手Bにおいて強く, 上肢にみられない両者の部位間運動の違いが認められた。

#### 4. 左右の肩 (肩峰点), 左右の腰 (上前腸骨棘) の動き

図7に, (a) 両投手の左右肩の動きを水平面に投影した軌跡, (b) 両投手の左右腰の動きを水平面に投影した軌跡を示す。-0.15s時点で

の右肩, 右腰の座標を  $(x, y) = (0.0, 0.0)$  として0.1sまでの軌跡を示している。投手Aの肩の動きはx座標の負方向への動きが大きく, 投手Bはy座標の正方向への動きが大きかった。腰の動きでは, 投手Aの方が, y座標の正方向への動きが大きかった。

#### 5. 両肩と体幹の速度

図8に二人の投球側の肩, 非投球側の肩および胸部体幹の合成速度を示す。投手Bの方が, ボールリリース以前で三つの部位の最大速度が大きいのに加え, ボールリリース近辺での投球側肩と体幹の減速度が大きかった。合成速度のボールリリース近辺での時間変化を数値化するために時間微分を求めた (以下, 加速度)。ボールリリースでの投手Aの投球側肩の

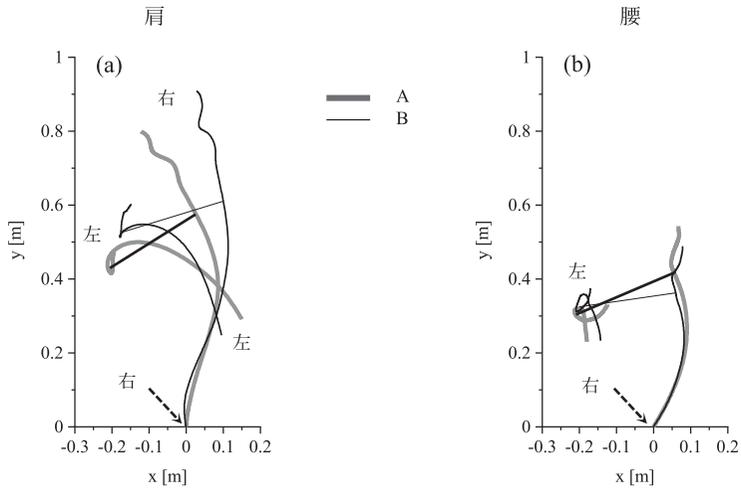


図7 -0.15s～0.1s間の、投手Aと投手Bの、(a)右肩(肩峰)と左肩の移動軌跡、および(b)右腰(上前腸骨棘)と左腰の移動軌跡。左投げの投手Aについては、右投げに変換している。-0.15s時点での右肩、右腰の座標を(0.0,0.0)としている。左右の肩、腰を結んだ直線はボールリリース時を表す。

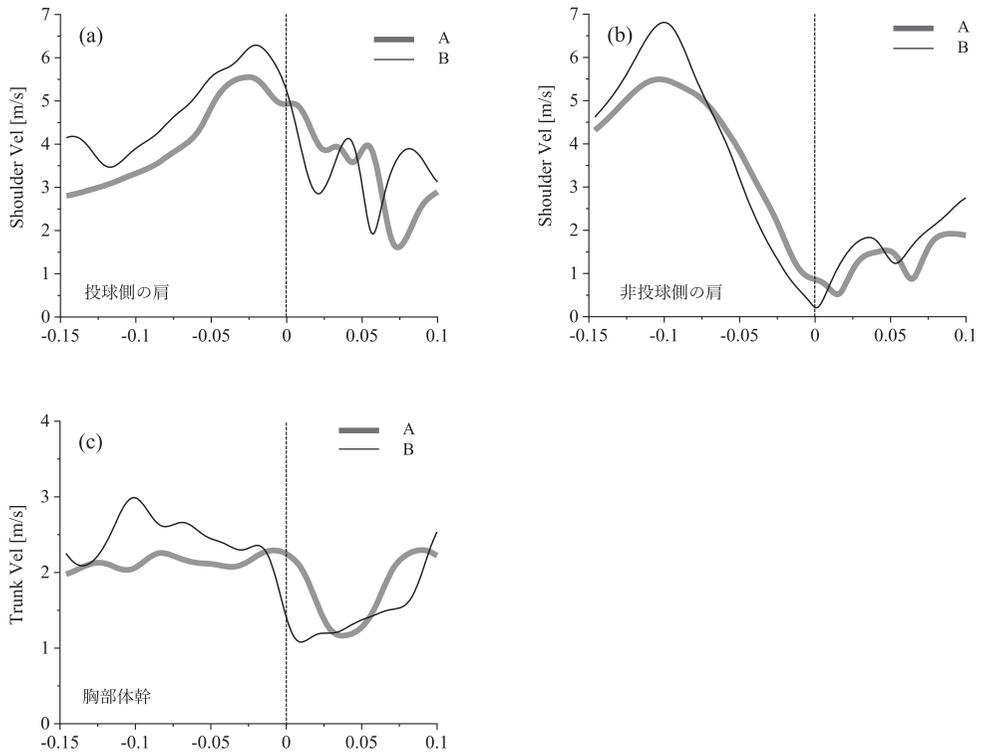


図8 投手Aと投手Bの、(a)投球側の肩、(b)非投球側の肩、および(c)胸部体幹の合成速度

二人の投手の投球速度の違いは何に起因するか？

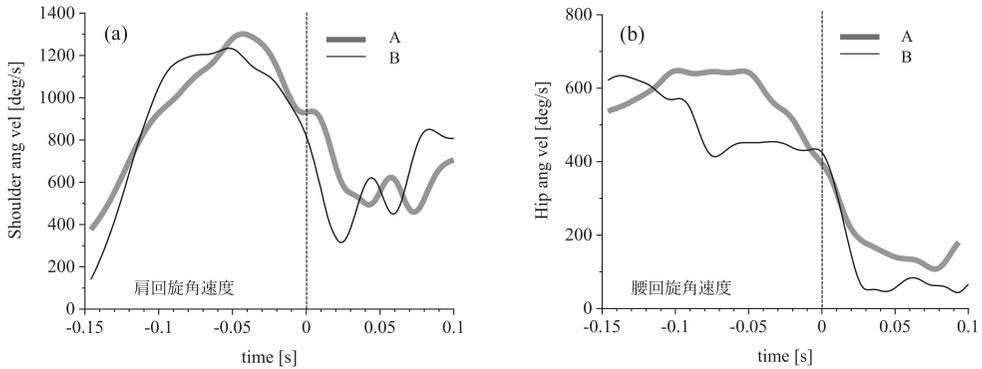


図9 投手Aと投手Bの、(a) 肩の回旋角速度と (b) 腰の回旋角速度

加速度は $-34\text{m/s}^2$ 、体幹の加速度は $-26\text{m/s}^2$ 、非投球側肩の加速度は $-34\text{m/s}^2$ 、投手Bはそれぞれ、 $-107\text{m/s}^2$ 、 $-67\text{m/s}^2$ 、 $-18\text{m/s}^2$ であった。ボールリリースでの投手Aの投球側肩の速度は $4.87\text{m/s}$ 、非投球側肩の速度は $0.71\text{m/s}$ 、体幹の速度は $2.11\text{m/s}$ で、投手Bはそれぞれ、 $5.23\text{m/s}$ 、 $0.22\text{m/s}$ 、 $1.41\text{m/s}$ であった。

## 6. 肩と腰部の回旋角速度

図9に水平面に投影した (a) 肩部と (b) 腰部の回旋角速度を示す。肩部と腰部の回旋角速度は、ボールリリース前において投手Aの方が大きな値を示していたが、ボールリリース近辺では近い値を示した。ただし肩部のボールリリース時の角加速度は投手Aが $-8,769\text{deg/s}^2$ 、投手Bが $-18,882\text{deg/s}^2$ で投手Bの減速度が大きかった。腰部のそれは投手Aが $-5,011\text{deg/s}^2$ 、投手Bが $-4,548\text{deg/s}^2$ であり差はなかった。

## 7. 肩関節の内外旋、肘関節の屈曲伸展および前腕の回内回外の角速度

図10に二人の (a) 投球側肩関節の内外旋角速度、(b) 肘関節の屈曲伸展角速度および (c) 前腕の回内外角速度を示す。全ての関節運動の

角速度最大値において、投手Aの方が小さかった。投手Aは加速期に入る ( $-0.036\text{s}$ ) より前に肘関節伸展の角速度が生じており、一方で肩関節の内旋および前腕の回内の角速度が生じるタイミングが投手Bより遅かった。ほぼボールリリース後に (投手Bより $0.01 \sim 0.015\text{s}$ 遅れて)、内旋および回内の上肢長軸まわりの運動が生じていた。投手Bは、外旋、内旋ともに最大値が大きく、内旋運動途中でボールリリースを迎えていた。また、投手Aは最大外旋における外旋角度が小さく (水平面との角度が $40$ 度弱、投手Bは約 $16$ 度、図2)、コッキング期の外旋角速度も小さかった。

## 8. 投球腕指先弧長、指先曲率半径

図11に、(a) 両投手の投球側指先の軌跡弧長と両者の差、(b) 指先軌跡の曲率半径を示す。弧長はボールリリース前 $0.15\text{s}$ をゼロとしている。両者の差は $-0.1\text{s}$ あたり、概ねトップオブスイング後の後期コッキング期 (図4) の途中から大きくなり、リリース後 $0.015\text{s}$ 辺りまでその差は広がった。フォロースルーでは差が広がっていないため、両者の差はボールリリースに向けてのスイングアークの大きさに原因があったといえる。指先軌跡の曲率半径でみると、

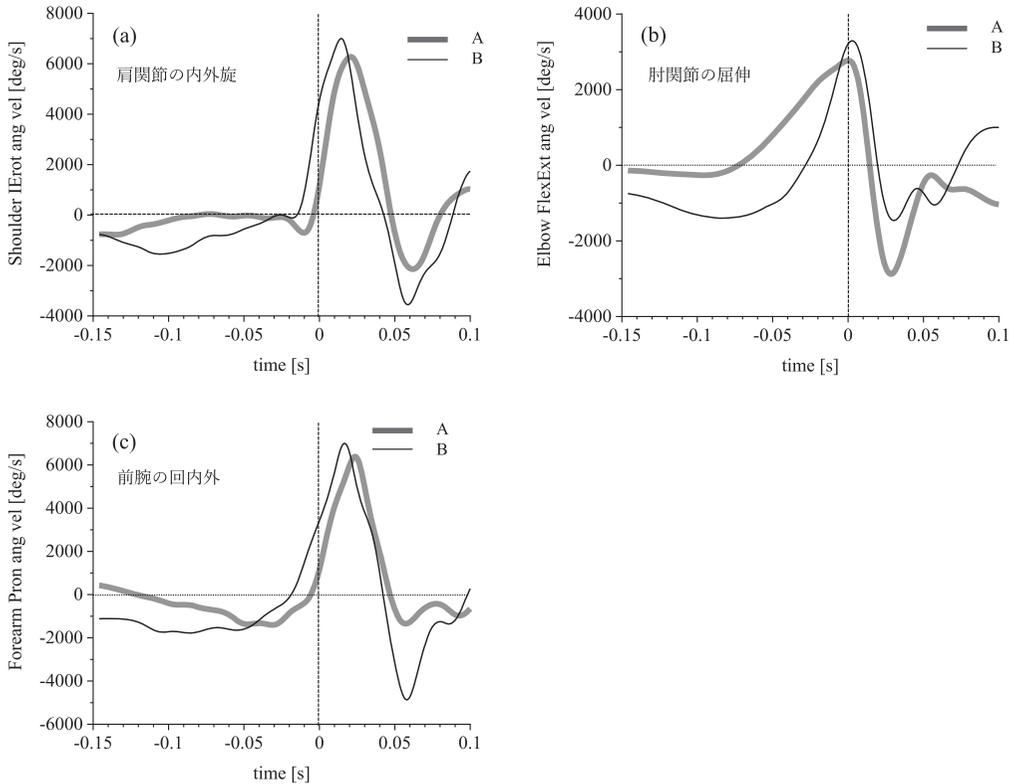


図10 投手Aと投手Bの (a) 肩関節の内外旋 (+内旋, -外旋) (b) 肘関節の屈伸角速度 (+伸展, -屈伸) と (c) 前腕の回内回外角速度 (+回内, -回外)。

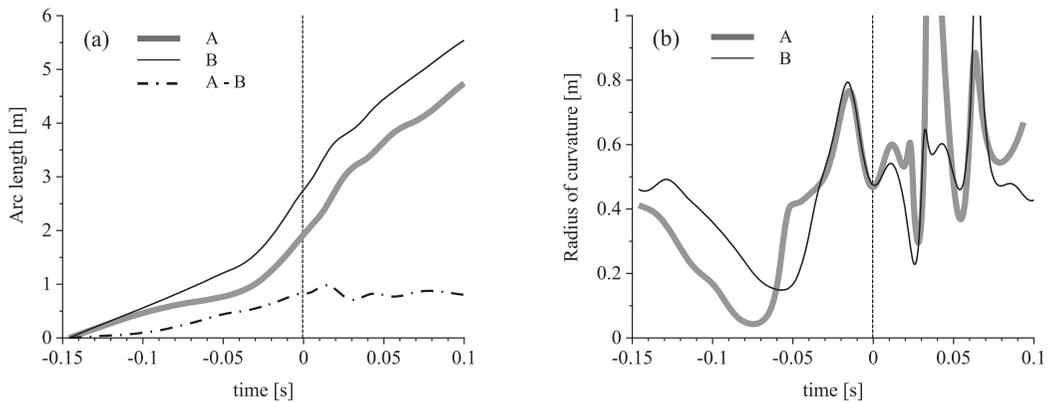


図11 投手Aと投手Bの, (a) 投球側指先の軌跡弧長と両者の差, および (b) 指先軌跡の曲率半径

-0.05s時点ですでに投手Bの方が約0.15m大きく、-0.06sで大小関係が逆転するまで、投手Bの方が大きいままであった。その後は加速

期(図4)の-0.02s辺りで投手Bがやや大きな値を示す以外は、概ね両者は同様な曲率半径の軌跡を描いた。

二人の投手の投球速度の違いは何に起因するか？

表2 2名の投手のコントロールテスト結果

	投手A	投手B
立ち幅跳び [m]	2.25	2.60
立ち五段跳び [m]	11.78	13.10
メディシンボール前投[m]	9.15	9.75
メディシンボール後投[m]	9.30	11.45
ハイクリーン [kg]	52.5	57.5
ベンチプレス [kg]	50.0	57.5
スクワット [kg]	120.0	120.0
背筋力 [kg]	126.5	173.5

### 9. 筋力・パワー系体力テスト

表2に、両投手の体力測定の結果を示す。これら筋力、パワー系体力テストにおいて、投手Bが投手A以上の成績であった。とくに、背筋力、メディシンボール後ろ投げ、立ち五段跳びで差が大きかった。

### 考察

四肢の末端を加速する必要がある運動は、運動連鎖あるいはPD (Proximal to Distal) 連鎖という視点で分析されることが多い [13, 14, 19, 21, 23, 36]。投動作についても「ムチ動作」と表現され [20, 25, 48]、その動作における関節の動きやエネルギーの流れ、モーメントの詳細、さらにはそれらをもとにしたスポーツ障害を防ぐ医学的な見地から知見が蓄積されてきた [10, 26, 27, 39]。しかしながら、キネマティクスの見地からの運動連鎖あるいはPD連鎖は、二次元分析が主流だった時期の概念であり、三次元動作解析が主流となった昨今では、三次元動作パターンとして必ずしも観察されるものではない、という考えが大勢を占めているといえる [4, 6, 16, 18, 20, 46]。

本研究の投球スピードが異なる二人の投手の投動作の運動連鎖を合成速度の点でみてみると、肘から遠位の手首、手、指先の間、および

腰と肩の間に速度加算的な連鎖が認められたが、全体としては必ずしもPD連鎖が成り立ってはいなかった。また、両投手の間で連鎖パターンの違いは認められなかったが、遠位部位(手、肩)の加速に貢献する近位部位(肘、腰)の急激な減速 [32] で違いが認められ、とくに投球スピードの大きい投手Bにおいてその減速が比較的明瞭であった。体幹上部(肩、胸)においても同様な傾向が認められた。投手Bにおいては、ボールリリース近辺において、投球側の肩および胸部の減速が投手Aに比べて大きく、非投球側の肩はその速度がよりゼロに近かった。つまり、近位部位(といってもよい)にあたる非投球側の肩が先に減速し、遠位部位である投球側の肩は加速を促された。ボールリリースでは投球側肩も減速して、さらに遠位部位の加速に貢献するパターンとみることができ [32]、これら遠位と近位の相互作用が投手Bにおいてより顕著であったといえる。

肩と腰の回旋運動をみると、角速度では両者に差はあまり認められないものの、とくに肩回旋の角加速度から分かるように、ボールリリース時の減速度が投手Bにおいて2倍程度認められた。投球スピードと腰部・体幹の運動との関係を調べた Stodden et al. [41] によると、最大外旋時やボールリリース時の腰部・体幹の回旋角度の大きさや、コッキング期、加速期の腰

部体幹の平均速度が投球スピードと有意な相関があると認められた。本研究の投手Aと投手Bを比較すると、ボールリリース時を含めて、投球スピードが小さい投手Aの方が、肩部も腰部も回旋角度が大きく、回旋角速度も同程度かむしろ投手Aの方が大きかった。それよりも、上記のように投手Bにおいて、ボールリリースに向けての減速度が大きい一方で、全体的に肩部の移動量（並進運動量）が大きく、移動方向が投球方向に近いことが投球スピードに貢献していると考えられる [33, 38]。

一方で、肩部と腰部の移動軌跡から読み取れる体幹の倒れ込みは、明らかに投手Aが大きく、投球スピードを増大させるための動作戦略としては優れている [31] と考えることができる。しかしながら、これも上記同様、遠位部である上肢に対する近位部の動きとしてみると、遠位末端部の速度増大にはマイナス効果であり、良好な動きであるとはいいがたい。むしろ、上肢関節への負荷が増大する動きでもあるという点で、注意が必要である [31, 40]。

上肢の運動、ここでは肩の内外旋、肘の屈曲伸展および前腕の回内外の角速度は、投球スピードの大きい投手Bにおいて、いずれも最大値が大きかった。加えて、投手Aに比して投手Bは、よりボールリリース近辺で角速度が生じていた。つまり、加速期において急激な肘関節の伸展および肩関節の内旋が生じており、このことがボールへのエネルギー伝達に必要なこと [39] や、実際に投球スピードと相関があること [5] から、投手Bの投球スピードの大きさの原因の一つであったと考えることができる。また、前腕の回内運動は、筋トルクに依存する肩関節の内旋角速度、遠心力による肘伸展やそれによるジャイロモーメントによるため [29]、トータルとしての上肢運動の善し悪し

の指標になるといえる。そのような視点でも、投手AはBに比して劣っていたといえる。

投球スピードを上げるためには、端的にはボールへの仕事量を増やすことが必要になるが、指先が描く軌跡の弧長がその一つの指標であるといえる。投手AとBでは、 $-0.1s$ あたりからボールリリースに向けてその差が拡大していたが、これは概ねトップオブスイング以降の後期コッキング期と加速期のスイングアークの違いといえる。軌跡の曲率半径でみると、後期コッキングの途中まで、投手Bが大きく、主としてこの期間の上肢の運動が弧長の大きさにつながっているといえる（両者の指極の差が2cmであることから、単純に腕振り半径の違いは1cm程度とすることができる。また、ボールリリース時の軌跡の曲率半径は、投手Aは0.499m、投手Bが0.489mでほとんど差がないか、むしろ投手Aの方が大きかった）。

投球のキネマティクスの視点に加えて体力要素にもフォーカスをあてたが、いずれの筋力、パワー要素も同程度か投手Bが大きかった。比留間・尾懸 [9] は、メディシンボールのバック投げ、オーバーヘッド投げおよび立ち三段跳びというテスト項目と投手の投球スピードの間に有意な相関を見いだしている。それらは本研究では、メディシンボールの前・後投げ、立ち五段跳びにあたりと考えられ、つまり、体力要素も投球スピードの差の原因の一つであったといえる。

以上のように、本研究で対象とした投手二人の投球スピードの差が各種関節運動の巧拙にあるのか、あるいは体力にあるのかについては明確に結論を出せないが、ともに原因であるとして次のように考えることができる。筋力・パワーが不足していれば、動きのスピードが不足することになりやすく、それを補おうとすると、悪

い意味で動きが大きくなる、つまり動きを止められない（減速できない）可能性も出てくる。投球スピードに劣る投手Aは、投動作中に的確に加減速するための遠位と近位部位の相互作用の動きを身につける必要があり、そのためにパワー系のトレーニングを適切に取り入れることが不可欠であると考えられる。

## 参考文献

- [1] Aquinaldo, A. L., Buttermore, J. and Chambers, H. G. (2007) Effects of upper trunk rotation on shoulder joint torque among baseball pitchers of various levels, *J. Appl. Biomech.*, 23, 42-51.
- [2] Atwater, A. E. (1979) Biomechanics of overarm throwing movements and of throwing injuries, *Exer. Sport Sci. Rev.*, 7: 43-85.
- [3] Elliott, B., Grove, J. R., Gibson, B. and Thurston, B. (1986) A three-dimensional cinematographic analysis of the fastball and curveball pitches in baseball, *Int. J. Sport Biomech.*, 2, 20-28.
- [4] Feltner, M. and Dapena, J. (1986) Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch, *Int. J. Sport Biomech.*, 2: 235-259.
- [5] Fleisig, 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: 1371-1375.
- [6] Fradet L., Botcazou M., Durocher C., Cretual A., Multon F., Prioux J. and Delamarche P. (2004) Do handball throws always exhibit a proximal-to-distal segmental sequence?, *J. Sports Sci.*, 22: 439-447.
- [7] Gray S., Watt S., Debicki D., and Hore J. (2006) Comparison of kinematics in skilled and unskilled arms of the same recreational baseball players, *J. Sports Sci.*, 24(11): 1183-1194.
- [8] Hirashima M., Kudo K., Watarai K., and Ohtsuki T. (2007) Control of 3D limb dynamics in unconstrained overarm throws of different speeds performed by skilled baseball players, *J. Neurophysiol.*, 97: 680-691.
- [9] 比留間浩介・尾縣 貢 (2011) 各種パワー発揮能力からみた野球選手における投手と野手の体力特性：フィールドテストのデータをもとに, *体育学研究*, 56 : 201-213.
- [10] 岩迫基樹, 林 豊彦, 田中 洋, 乾 浩明, 信原克哉 (2016) 投球動作の運動連鎖における「胸の張り」および関節運動の機能分析, *バイオメカニズム*, 23 : 141-150.
- [11] Kageyama, M., Sugiyama, T., Kanehisa, H., and Maeda, A. (2015) Difference between adolescent and collegiate baseball pitchers in the kinematics and kinetics of the lower limbs and trunk during pitching motion, *J. Sports Sci. Med.*, 14: 246-255.
- [12] 蔭山雅洋, 鈴木智晴, 杉山 敬, 和田智仁, 前田 明 (2015) 大学野球投手における下肢関節の力学的仕事量と投球速度との関係, *体育学研究*, 60 : 87-102.
- [13] 小池関也・石川達也 (2011) テニスサーブのムチ動作, *体育の科学*, 61 (7) : 491-496.
- [14] 黒川貞生・森田恭光・亀ヶ谷純一・加藤浩人・松井泰二・鈴木陽一・矢島忠明 (2008) 世界トップレベル・バレーボール選手のスパイク動作特性, *明治学院大学教養教育センター紀要*, 2 (1) : 23-30.
- [15] 小池関也・鶴澤大樹 (2016) 野球投動作の動力学的分析 (系のモデル化および貢献式の導出), *シンポジウム：スポーツ工学・ヒューマンドYNAMIX2016講演論文集*, B-10.
- [16] Liu H., Leigh S. and Yu B. (2010) Sequences of upper and lower extremity motions in

- javelin throwing, *J. Sports Sci.*, 28(13): 1459-1467.
- [17] Lorson, K. M., Stodden, D. F., Langendorfer, S. J., and Goodway, J. D. (2013) Age and gender differences in adolescent and adult overarm throwing, *Res. Quart. Exer. Sports*, 84: 239-244.
- [18] Marshall R. N. and Elliott B. C. (2000) Long-axis rotation: The missing link in proximal-to-distal segmental sequencing, *J. Sports Sci.*, 18: 247-254.
- [19] 増村雅尚・阿江通良 (2007) 空中でボールを強く打つためのからだの動き—バレーボールにおける打動作の分析—, *バイオメカニクス研究*, 11 (3) : 213-219.
- [20] 松尾知之 (2011) ムチ動作の意義—キネマティクスからエナジェティクス—, *体育の科学*, 61 (7) : 477-483.
- [21] 道上静香 (2014) 世界一龍男子テニス選手のファーストサービス動作のキネマティクスの分析, *彦根論叢*, 399 : 114-131.
- [22] Milewski, M. D., Öunpuu, S., Solomito, M., Westwell, M., and Nissen, C. W. (2012) Adolescent baseball pitching technique: lower extremity biomechanical analysis, *J. App. Biomech.*, 28: 491-501.
- [23] 三浦 健・三浦修史・松岡俊恵 (2001) バスケケットボールにおけるジャンプシュートの動作分析—2ポイント・シュートと3ポイント・シュートの比較—, *鹿屋体育大学学術研究紀要*, 25 : 1-8.
- [24] 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.
- [25] 宮西智久 (2012) オーバーハンド投げのバイオメカニクス—“ムチ投げ”の野球の投球動作研究—, *体育の科学*, 62 (5) : 361-367.
- [26] 宮下浩二 (2014) 運動連鎖からみた投球障害と理学療法, *理学療法*, 31 (8) : 798-806.
- [27] 内藤耕三, 丸山剛生 (2006) 野球の投球腕速度を生成する運動依存トルク解析のための3次元上肢動力学モデル, *バイオメカニクス研究*, 10 (3) : 146-158.
- [28] 内藤耕三, 丸山剛生 (2007) 野球の投動作における上肢関節トルクおよび運動依存モーメントの手先速度に対する貢献度, *バイオメカニクス研究*, 11 (4) : 264-275.
- [29] Naito, K., Takagi, H., Yamada, N., Hashimoto, S. and Maruyama, T. (2014) Intersegmental dynamics of 3D upper arm and forearm longitude axis rotations during baseball pitching, *Human Mov. Sci.*, 38: 116-132.
- [30] Nissen C. W., Westwell M., Öunpuu S., Patel M., Tate J. P. Pierz K., Burns J. P., and Bicos J. (2007) Adolescent baseball pitching technique: A detailed three-dimensional biomechanical analysis, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 39(8): 1347-1357.
- [31] Oyama, S., Yu, B., Blackburn, T., Padua, D. A., Li Li, A.T.C. and Myers, J. B. (2013) Effect of excessive contralateral trunk tilt on pitching biomechanics and performance in high school baseball pitchers, *Am. J. Sports Med.*, 41(10): 2430-2438.
- [32] Putnam C. A. (1993) Sequential motions of body segments in striking and throwing skills: Descriptions and explanations, *J. Biomech.*, 26, Suppl. 1: 125-135.
- [33] Ramsey D. K., Crotin, R. L., and White, S. (2014) Effect of stride length on overarm throwing delivery: A linear momentum response, *Human Mov. Sci.*, 38: 185-196.
- [34] Ramsey D. K., and Crotin, R. L. (2016) Effect of stride length on overarm throwing delivery: Part II: An angular momentum response, *Human Mov. Sci.*, 46: 30-38.
- [35] Saitou, K., Inoue, S., Hosoya, S., Yukawa, H. and Maeda, H. (2014) Contact state between fingertip and ball before ball-release observed through strain of nails

二人の投手の投球速度の違いは何に起因するか？

- during baseball pitch, *Procedia Engineering*, 72, 62-67.
- [36] 齋藤健治, 松田克彦, 佐藤菜穂子, 井上伸一 (2020) 四種の運動に関する運動連鎖の視点から見た熟練者と未熟練者の動きの比較, 名古屋学院大学論集 医学・健康科学・スポーツ科学篇, 9 (1) : 1-10.
- [37] Sakurai, S., Ikegami, Y., Okamoto, A., Yabe, K. and Toyoshima, S. (1993) A three-dimensional cinematographic analysis of upper limb movement during fastball and curveball baseball pitches, *J. Appl. Biomech.*, 9, 47-65.
- [38] 島田一志, 阿江通良, 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 (1) : 47-60.
- [39] 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 (1) : 12-26.
- [40] Solomito, M. J., Garibay, E. J., Jessica, M. S., Woods, J. R., Öunpuu, S., and Nissen, C. W. (2015) Lateral trunk lean in pitchers affects both ball velocity and upper extremity joint moments, *Am. J. Sports Med.*, 43(5): 1235-1240.
- [41] Stodden, D. F., Fleisig, G. S., McLean, S. P., Lyman, S. L. and Andrews, J. R. (2001) Relationship of pelvis and upper torso kinematics to pitched baseball velocity, *J. Appl. Biomech.*, 17(2): 164-172.
- [42] Stodden, D. F., Fleisig, G. S., McLean, S. P. and Andrews, J. R. (2005) Relationship of biomechanical factors to baseball pitching velocity: within pitcher variation, *J. Appl. Biomech.*, 21(1), 44-56.
- [43] Stodden, D. F., Langendorfer, S. J., Fleisig, G. S. and Andrews, J. R. (2006a) Kinematic constraints associated with the acquisition of overarm throwing part I: Step and trunk actions, *Res. Quart. Ex. Sport*, 77(4), 417-427.
- [44] Stodden, D. F., Fleisig, G. S., Langendorfer, S. J. and Andrews, J. R. (2006b) Kinematic constraints in overarm throwing: part II: upper extremity actions, *Res. Quart. Ex. Sport*, 77(4), 428-436.
- [45] 鶴澤大樹・小池閑也 (2017) 野球投動作のボール速度および角速度生成に対する関節トルクの動力学的な貢献, シンポジウム: スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス2017講演論文集, B-2.
- [46] van den Tillaar, R. and Ettema, G. (2009) Is there a proximal-to-distal sequence in overarm throwing in team handball?, *J. Sports Sci.*, 27(9): 949-955.
- [47] Whiteley, R. (2007) Baseball throwing mechanics as they relate to pathology and performance-A review, *J. Sports Sci. Med.*, 6: 1-20.
- [48] 矢内利政 (2011) 投球動作における体幹(骨盤・胸郭・肩甲骨)の3次元ムチ運動, *体育の科学*, 61 (7) : 484-490.

[Original Article]

## What are the causes of the difference in ball speed between two baseball pitchers?

Kenji Saitou<sup>1</sup>, Masakazu Watanabe<sup>2</sup>  
Nahoko Satoh<sup>3</sup>, Shin-ichi Inoue<sup>4</sup>

### Abstract

Purpose of this study was to clarify the cause of the differences between two collegiate baseball pitchers with different ball-speed by measuring and analyzing the movement of pitching and the physical fitness concerning the muscle strength and power output ability. Two pitchers as participants of this study had no difference about their physique and had the difference of their ball-speed with ten to twenty km/h. Three-dimensional motion analysis system was used for quantitative analysis of their pitching movements and high-speed video cameras were used for qualitative analysis of their pitching movements. From the coordinates values obtained with 3D motion analysis system, the velocities of their finger-tips, elbows, shoulders, trunks and hips during pitching were calculated in order to evaluate their kinetic chain. And, the angular velocities of the joint motions about elbow and shoulder, and the angular velocities of the rotation of their shoulders and hips were also calculated. From the results of these motion analyses and physical fitness tests, the following differences between two pitchers were clarified. They were the direction of their trunk during pitching, the motion-dependent interaction between proximal and distal segments, the movements of upper limb during cocking and acceleration phase, and the power output ability such as standing long jump, standing five step jump and medicine ball throw.

**Key words:** kinematics, kinetic chain, joint movement, motion-dependent interaction, power output ability

- 
- 1 Faculty of Health and Sports, Nagoya Gakuin University
  - 2 Faculty of Sport Science, Fukuoka University
  - 3 Faculty of Rehabilitation Sciences, Nagoya Gakuin University
  - 4 Faculty of Education, Saga University