

投球動作にみられる運動連鎖における「胸の張り」の役割

井田 元樹^{*1}, 林 豊彦^{*2}, 田中 洋^{*3}, 二宮 裕樹^{*3}, 乾 浩明^{*3}, 駒井 正彦^{*3}, 信原 克哉^{*3}

A role of "the stretching of the chest" in the kinetic chain observed in baseball pitching

Motoki IDA^{*1}, Toyohiko HAYASHI, Hiroshi TANAKA, Hiroki NINOMIYA, Hiroaki INUI,

Masahiko KOMAI and Katsuya NOBUHARA

^{*1} Graduate School of Science and Technology, Niigata University
8050, Ikarashi 2-Nocho, Nishi-ku, Niigata, 950-2181, Japan

In baseball pitching, pitcher's trunk has a kinetic role for conveying the kinetic energy from the lower limb to the upper limb. In such context, a term "the stretching of the chest", one of the upper-trunk motions, is often used in coaching. Although several qualitative reports on the term have been published, its biomechanical features and functions are still unclear, due to the lack of quantitative studies. Accordingly, the term is used ambiguously in both coaching and clinic. In order to eliminate such ambiguity, we have been trying to develop a quantitative analysis of the stretching of the chest. First, Fukushima (2011) developed parameter S defined from the relative positions of the reflective markers secured to the skin surface of the thoracic vertebrae for evaluating the curvature of the vertebrae. His preliminary studies using basic motions of the upper limb revealed that the S -value is independent from most of the motion parameters of the upper limb, except its horizontal abduction and adduction affecting the stretching of the chest. In this paper, we applied the parameter to the analysis of baseball pitching in order to clarify 1) time series of S -value, 2) the relationship between S and the motion parameters of the upper limb, 3) kinetic chain during pitching. Experiments using 12 subjects revealed that parameter S could be a variable capable of evaluating the stretching of the chest, providing us with new kinetic information during pitching and the stretching of the chest could be considered a factor of the kinetic chain.

Key Words : baseball pitching, the stretching of the chest, trunk, kinetic chain

1. 緒 言

野球の投球動作は、下肢・体幹・上肢を連動させながらボールを投げる複雑かつダイナミックな全身運動である。その中で体幹の役割は、下肢からの運動エネルギーを上肢へ伝えることである⁽¹⁾。そのため、体幹をうまく使えない投手は、上肢に頼った投球となり⁽²⁾、上肢への負担が大きくなる⁽³⁾。その結果、上肢投球障害が発生しやすくなる⁽⁴⁾。伊藤らは、このような障害の予防法のひとつとして、体幹運動の効果的な利用が有効であると報告している⁽⁵⁾。

体幹運動の指導表現のひとつに「胸の張り」がある。この表現について、指導現場および臨床現場でいくつか定性的に報告されている。前者では、胸を張ることにより、1) 腕が振れるようになり球速があがる^(6,7)、2) 打者に対してボールの出所が最後まで読まれにくい⁽⁷⁾、などの効果、後者では、1) 障害が生じやすい動作のひとつ「肘下がり」を改善できる⁽⁴⁾、2) 肩関節に加わる負荷を減少できる⁽⁸⁾、などの効果があると報告されている。このように、胸の張りは、投球動作中で他の運動要素と関連しながらパフォーマンスに大きく影響すると考えられてい

^{*1} 学生員, 新潟大学大学院 自然科学研究科 (〒950-2102 新潟県新潟市西区五十嵐2の町 8050 番地)

^{*2} 新潟大学 工学部 福祉人間工学科 (〒950-2102 新潟県新潟市西区五十嵐2の町 8050 番地)

^{*3} 信原病院・バイオメカニクス研究所 (〒679-4017 兵庫県たつの市揖西町土師 720 番地)

E-mail: hayashi@eng.niigata-u.ac.jp

る。しかし、前述したように定性的な報告が多く、運動学的・動力学的な解析は少ない。

胸の張りは、肩や肘のような関節の運動ではないため、明確かつ定量的な定義が難しい。そのため、指導現場でも臨床現場でも、これまで多義的に用いられてきた。しかし、定量的に解析するためには、「胸の張り」の運動学的な分析パラメータを定義する必要がある。一義的には定義できない可能性もあるが、それとの相関関係の高いひとつのパラメータを定義し、そのパラメータを用いて実際に分析してみる必要がある。もしその結果に従来の分析からは得られない胸の張りに関する情報が得られたとすれば、そのパラメータおよび分析法は有効と考えられる。そのような立場から、著者らは胸の張りの定量分析を試みてきた。まず伊藤らは、肩峰・胸骨上切痕・剣状突起の3点からなる三角形の面積で定量化を試みた。しかし、その値は、胸の張りだけでなく、肩の上下動にも大きく依存していた⁹⁾。次に福嶋らは、胸部MR画像の分析から、胸の張りにおける胸椎の運動に着目し、ひとつの評価パラメータ S を考案した¹⁰⁾。モーションキャプチャを用いた実験の結果、 S 値と相関をもつ運動は、肩関節の水平内転および水平外転のみであることが明らかとなった。しかし、そのパラメータは、いまだ投球動作の解析には適用されていない。

そこで本研究では、福嶋らの開発したパラメータ S を投球動作解析に適用し、その有用性および投球動作における胸の張りの役割について論じる。

2. 投球動作における「胸の張り」

2.1 評価パラメータ

胸の張りの定量評価には、福嶋らが開発した「胸の張りパラメータ S 」を用いた¹⁰⁾。このパラメータ S の定義について簡単に述べる。まず胸部の基準座標系 Σ_T は、国際バイオメカニクス学会 (ISB) に準拠して次のように設定した^{11,12)}。骨特徴点は、胸骨上切痕・剣状突起・第7頸椎棘突起・第7胸椎棘突起の4つとし、その上の皮膚面上に赤外線反射マーカを貼付した (図1, 図2)。マーカ点を以後、それぞれ SC, PX, C7, Th7 と呼ぶことにする。原点 O_T は、PX・Th7 間の midpoint とした。Y_T 軸は、 O_T から SC・C7 間の midpoint へ向かうベクトルとした。Z_T 軸は、Y_T 軸と「PX から Th7 へ向かうベクトル」との外積から求めた。X_T 軸は、Y_T 軸と Z_T 軸との外積から求めた。

次に上記の Σ_T を用いてパラメータ S を定義する。胸を張る前後での胸部MR画像を比較した結果、次の現象が見られた¹⁰⁾：1) 胸椎は、第1～第12胸椎にかけてひとつの弧を描いており、その頂点は第7胸椎棘突起付近にある、2) 胸を張った姿勢では胸椎が伸展し、第7胸椎棘突起付近が胸骨方向へ変位する。後者より、 O_T も胸骨方向へ変位することによって、第1～6、第9～12胸椎棘突起と O_T との距離は増加し、各胸椎棘突起間の距離は減少する。以上の観測結果から、福嶋らは胸の張りパラメータ S を

$$S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\frac{r_i}{r_3} \right)^2 - \frac{1}{M} \sum_{j=1}^M \left(\frac{d_j}{r_3} \right)^2 \quad (1)$$

で定義した¹⁰⁾。ここで、 r_i は胸部座標系の O_T と第 $(2i+1)$ 胸椎棘突起との距離、 d_j は第 $(2j+1)$ 胸椎棘突起と第 $(2j+3)$ 胸椎棘突起との距離、 N は r の個数 ($N=5$)、 M は d の個数 ($M=4$) を表す (図1)。胸椎棘突起間距離 r_i および各胸椎棘突起間距離 d_j は、 r_3 で規格化および無次元化を行った。式(1)のパラメータ S の値は、胸を張るほど第1項が増加し、第2項が減少するため、結果として増加する。

最後に分析時における規格化について述べる。このパラメータの絶対値は被験者の体格にも依存する¹⁰⁾。そこで被験者間で比較するために、その値を投球動作中の踏み出し脚接地時 (FP, 図3) の S 値で規格化した。

2.2 分析法

本論文では、1) 時系列、2) 肩関節の水平内外転との関係、3) 運動連鎖の3つの観点から、投球動作時の胸の張りを分析する。以下にその具体的な分析法について述べる。

まず 1) の時系列について述べる。投球動作のキネマティクスでは、特定の区間内での時系列が分析されることが多い。本論文では、胸の張りがみられる区間、すなわち踏み出し脚接地時 (FP) からボール・リリース (REL) 間⁽⁷⁾ (図 3) を 0~100% で規格化し、-40~140% 区間を分析区間とした。この区間においてパラメータ S の時系列を求め、その波形の変化パターンおよびピーク値出現時刻を分析する。

次に 2) の肩関節の水平内外転との関係について述べる。1. で述べたように、パラメータ S を考案した福嶋らは、他の運動パラメータとの従属性を調べるために、基本的な上肢・体幹運動における S 値を分析した。その結果、肩関節の水平内外転のみと相関性がみられたと報告した⁽¹⁰⁾。そのため、投球動作でも両者の関係を調べておく必要がある。本論文では、パラメータ S と水平内外転の角度の時系列を比較する。

次に 3) の運動連鎖について述べる。1. で述べたように体幹は、下肢のエネルギーを伝達する役割を担っている。体幹運動の一部である胸の張りも、それに関与している可能性が高い。このエネルギー伝達の観点から分析するために、運動連鎖に着目する。ここで運動連鎖とは、「体の中心部あるいは大きな仕事のできる下肢によって生み出された運動エネルギーが末端方向にタイミングよく順次加算・伝達され、末端の運動エネルギーを大きくする」という原則である⁽¹³⁾。運動連鎖が存在するとき、連続する身体部位間において、運動エネルギーないし速度のピークがわずかな時間差で生じることが知られている。それによって、連続する部位間で、効率よく運動エネルギーを伝達できる。投球動作では、このような連鎖が下肢・体幹・上肢間で存在し、最終的にボールにエネルギーが伝達される⁽¹³⁾。本論文では、さらに体幹部を腰部姿勢、胸部姿勢、胸の張りの 3 つに分け、腰部姿勢・胸部姿勢・胸の張り・上腕姿勢の間における運動連鎖について分析する。具体的には、まず各運動要素の変化率を算出し、投球方向に関する最大値を決定する。この最大値は、分析区間である -40~140% 区間における極値とする。次に最大値の出現時間を要素間で比較し、その出現時間の順番および時間差から胸の張りを含めた運動連鎖が生じているか否かを検証する。最後に各運動要素の分析項目について述べる。腰部では左回旋の最大角速度、胸部では左回旋の最大角速度、胸の張りではパラメータ S の胸を縮める (張らない) 方向への最大変化率、上腕では肩関節水平内転および肩関節内旋の最大角速度とした。

3. 実験方法

3.1 計測条件

被験者は男性野球競技選手 12 名とした。年齢は 17.6 ± 5.67 [歳]、身長は 174.0 ± 5.90 [cm]、体重は 70.4 ± 7.96 [kg]、競技歴は 7.91 ± 4.52 [年] であった。利き腕および投球フォームは、全被験者で右オーバースローであった。被験者には、実験の主旨と内容を書面と口頭で詳しく説明し、同意を得た。測定前に十分なウォーミングアップを行わせた後、投球動作を 3 回以上測定した。各被験者への指示は、「全力でストレートを投げる」とし、球速が最も速かった 1 データをその被験者の解析データとした。

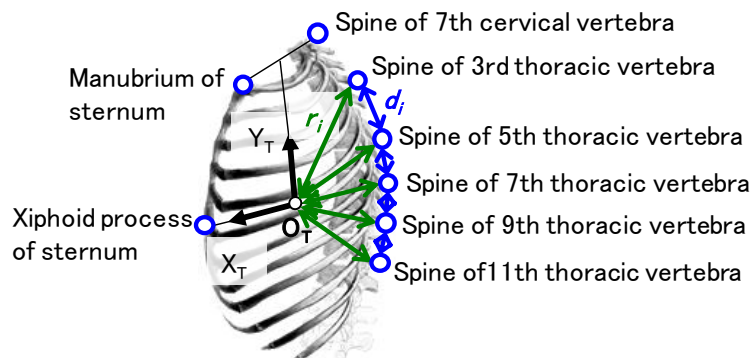


Fig.1. Bony points used to determine parameter S as an evaluation of the stretching of the chest.

3・2 測定システム

投球動作の測定には、モーションキャプチャ・システム (ProReflex™ MCU-500+, Qualisys, Sweden) を用いた (図4)。本システムは、投球マウンド周囲に設置した7台の赤外線 CCD カメラを用いて、被験者の体表に貼付した複数の赤外線反射マーカの位置を連続測定できる (サンプリングレート: 500Hz)。マーカは、図6に示す解剖学的な骨特徴点の皮膚面上に計40個貼付した。球速の記録には、超音波速度計 (Speed Max II, ミズノ, Japan) を用いた。

投球マウンドと本塁の仕様は、公式の硬式野球場と同じとした。マウンドプレートからホームプレートまでの距離は、公式規格に基づき18.44mとした。

3・3 座標系の設定

はじめに、運動パラメータを算出するための座標系について述べる。図5のように、L字型キャリブレーションキットをマウンド上に設置した。カメラ座標系 Σ_W の原点 O_W はマウンドプレート前右側の頂点とした。 X_W 軸は投球マウンドから本塁方向に向かうベクトル、 Y_W 軸は本塁に向かって右側から左側に向かうベクトル、 Z_W 軸はマウンドから垂直方向に向かうベクトルとした (図4)。

関節座標系は、胸部座標系 Σ_T (2・1を参照)、腰部座標系 Σ_P 、右上腕座標系 Σ_U を用いた (図2)。各座標系の設定は、国際バイオメカニクス学会 (ISB) に準拠した^(11,12)。 Σ_P の構築には、右上前腸骨棘・左上前腸骨棘・左右上後腸骨棘中点・剣状突起・第7胸椎棘突起に貼付した5つのマーカを用いた。これらのマーカ点を、それぞれ RASIS, LASIS, PSIS, PX, Th7 と呼ぶ。原点 O_P は、RASIS・LASIS 間の中点と PSIS とを結ぶ線分の中点とした。 Y_P 軸は、 O_P から PX・Th7 間の中点へ向かうベクトルとした。 X_P 軸は、 Y_P 軸と「RASIS・LASIS 間の中点から RASIS へ向かうベクトル」との外積から求めた。 Z_P 軸は、 X_P 軸と Y_P 軸との外積から求めた。次に Σ_U の設定法について述べる。 Σ_U の構築には、肩峰・右上腕骨の内側上顆・右上腕骨の外側上顆に貼付した3つのマーカを用いた。これらのマーカ点を、それぞれ AC, EM, EL と呼ぶ。原点 O_U は AC とした。 Y_U 軸は、EM・EL 間の中点から O_U へ向かうベクトルとした。 X_U 軸は、 Y_U 軸と「EM から EL に向かうベクトル」との外積から求めた。 Z_U 軸は、 X_U 軸と Y_U 軸との外積から求めた。

次に上腕、胸部および腰部の姿勢算出について述べる。上腕の姿勢は、 Σ_T から Σ_U への座標変換から求めたオイラー角で表現した。胸部の姿勢は、 Σ_P から Σ_T への座標変換から求めたロール・ピッチ・ヨー角で表現した。腰部の姿勢は、 Σ_W から Σ_P への座標変換から求めたロール・ピッチ・ヨー角で表現した。

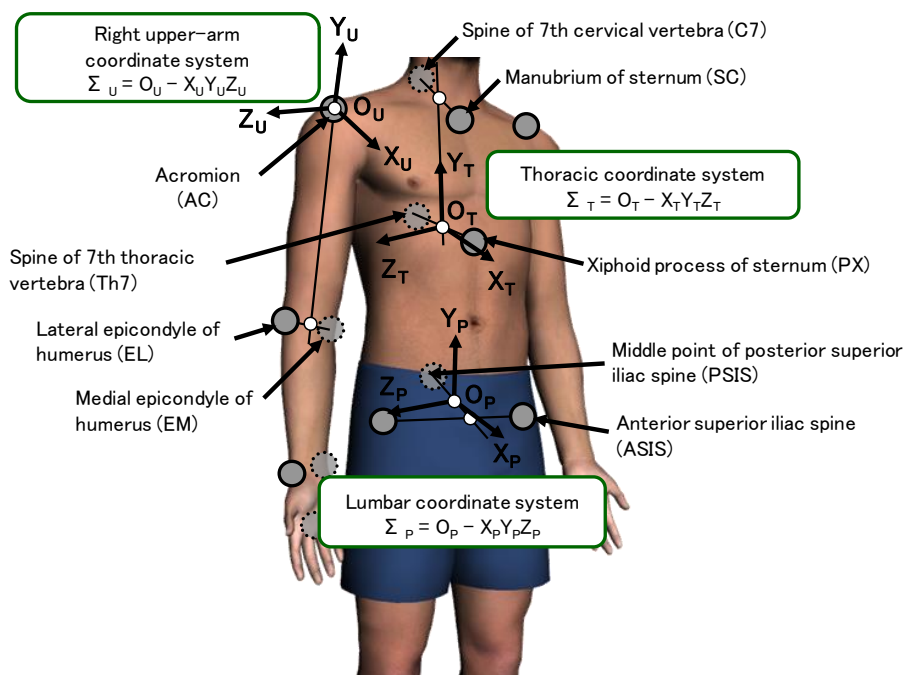


Fig.2. Joint coordinate systems defined on the lumbar, thoracic and right upper-arm.

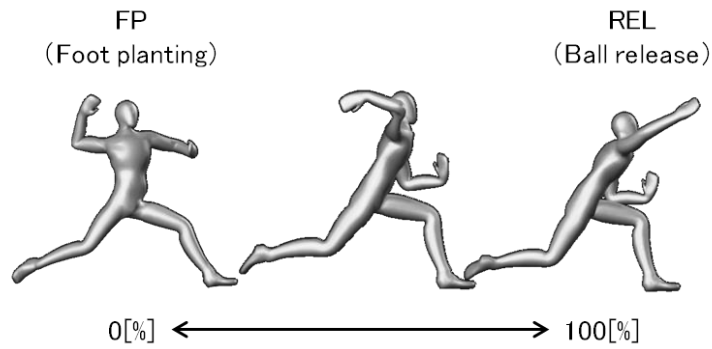


Fig.3. Normalization of time using a period of time from foot planting to ball release.



Fig.4. Motion capture systems (ProReflexTM MCU-500⁺, Qualisys, Sweden).

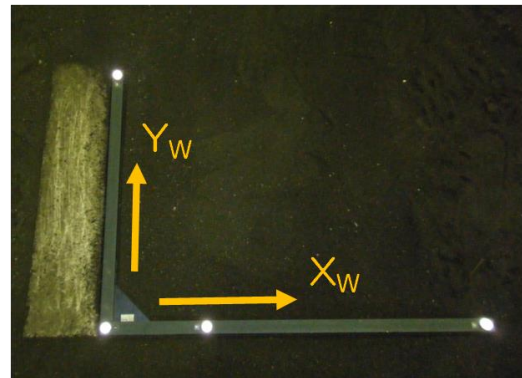


Fig.5. The location of a set of calibration markers used to determine camera coordinate system Σ_w for motion capture.

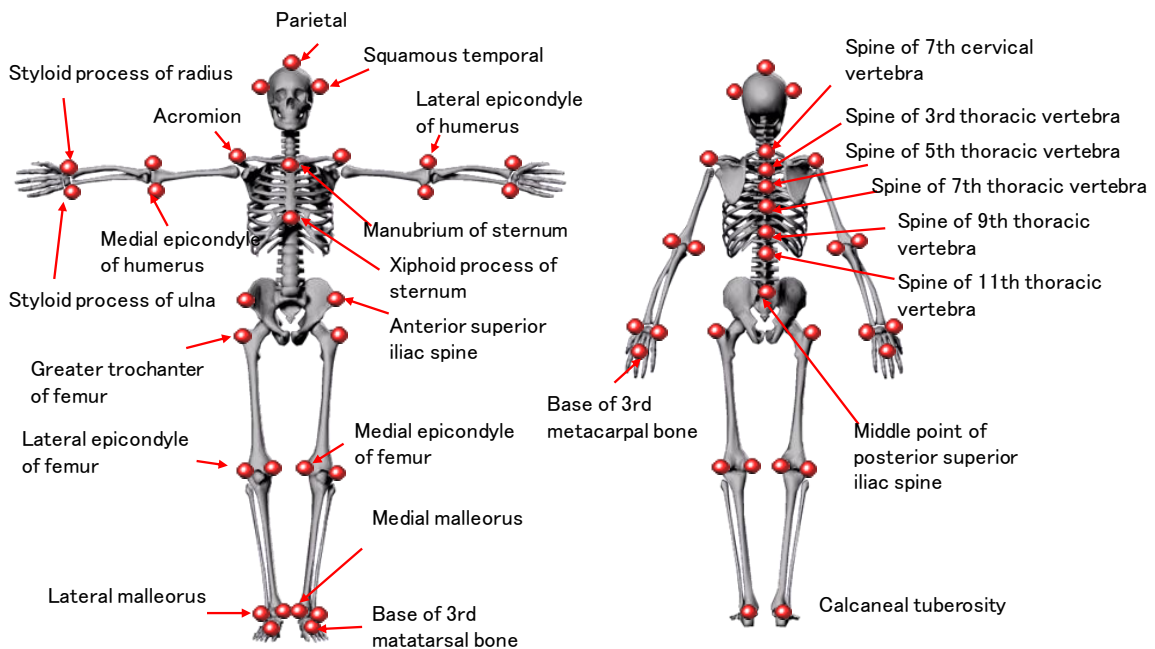


Fig. 6. The location of infrared reflective markers secured to subject's body for motion capture.

4. 結 果

まず時系列に関する結果を示す。図7はパラメータ S の時系列データを示す。この図の太い実線は、被験者12名の平均波形を表し、その上下の縦線は各時点における標準偏差を表す。パラメータ S の最大値は、70%時に出現していた。平均波形は、70%時の最大値に向かって-40%時からほぼ直線的に増加し、その後、また直線的に減少した。ただし、減少率の方が増加率よりも高かった。同じく、胸の張りに関係する可能性のある肩関節の水平内外転の結果を図8に示す。その表示法は、図7と同様である。平均波形は、-40%時から水平内転方向に増加していき、89%時に極大となった。その後、減少し、111%時に極小となった後、再び増加に転じた。

最後に運動連鎖特性に関する結果を示す。図9~図13は、それぞれ S の変化率、腰部回旋角速度、胸部回旋角速度、肩関節水平内外転角速度、肩関節内外旋角速度の平均波形を、図7と同じ方法で表示したものである。パラメータ S の胸を縮める方向の最大変化率は87%時に(図9)、腰部左回旋の最大角速度は24%時に(図10)、胸部左回旋の最大角速度は、60%時に(図11)、肩関節水平内転の最大角速度は62%時に(図12)、肩関節内旋の最大角速度は109%時に出現していた(図13)。以上の時間関係をわかりやすくするために、表1に最大変化率の出現時間順に5パラメータを並べ、かつ出現時間[%]も記した。

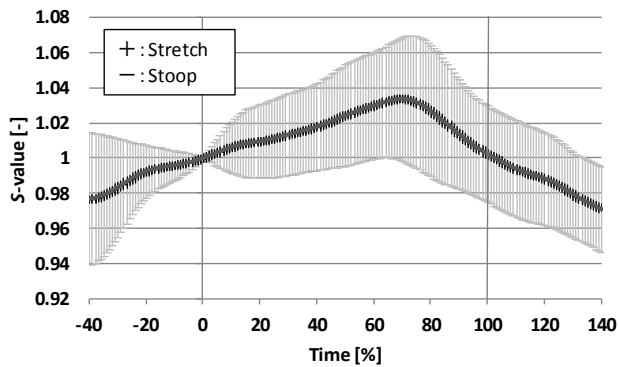


Fig.7. Time series of S -value (+stretch, -stoop): Time was normalized between foot planting (0%) and ball release (100%).

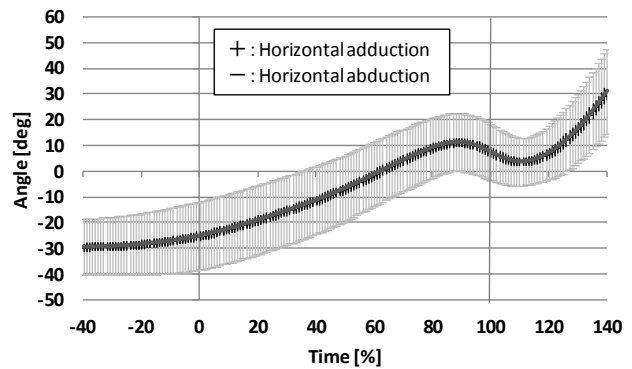


Fig.8. Time series of the angle of the shoulder joint (+horizontal adduction, -horizontal abduction): Time was normalized between foot planting (0%) and ball release (100%).

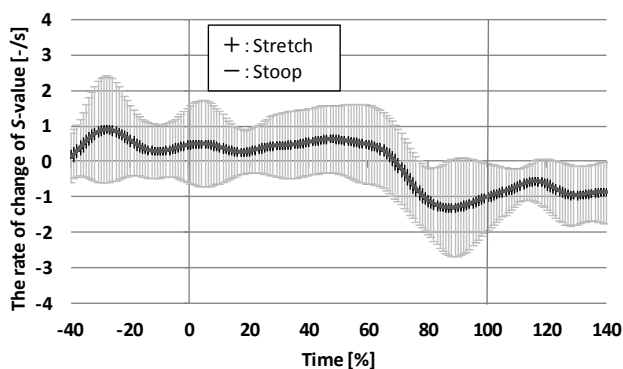


Fig.9. Time series of the rate of change of S -value (+stretch, -stoop): Time was normalized between foot planting (0%) and ball release (100%).

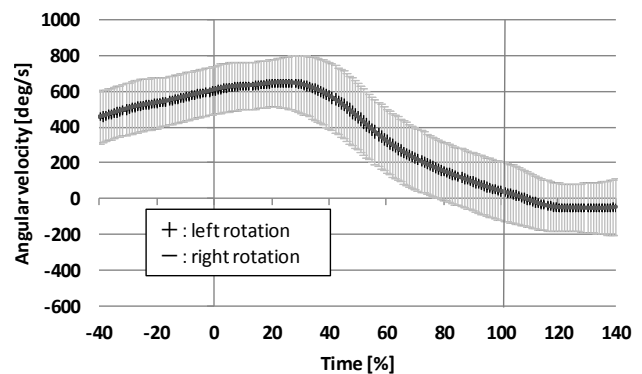


Fig.10. Time series of the angular velocity of the lumbar (+left rotation, -right rotation): Time was normalized between foot planting (0%) and ball release (100%).

5. 考 察

まずパラメータ S の測定・分析における可能性について論じる。パラメータ S を定義した福嶋らは、他の運動パラメータとの従属性を調べるために、基本的な上肢・体幹運動におけるパラメータ S の値を分析した⁽¹⁰⁾。その結果、胸を張る動作に関係する肩関節の水平内外転のみと相関性がみられ、それ以外の運動とは無相関であった。それに対して、本研究で測定した投球動作は、上記の基本的な運動よりもダイナミックかつ素早い動作である。そのため、測定の際に、皮膚上マーカの動揺およびカメラの空間分解能・時間分解能の制約が無視できなくなる。特に、胸椎に貼付したマーカは、互いの間隔が狭いため、これらの影響を受けやすい。しかし、そのような測定上の制約があるにもかかわらず、図 7 のように、 S 値は平均的に分析区間内で直線的に増加および減少した。したがって、投球動作においても測定・分析が可能であると考えられる。

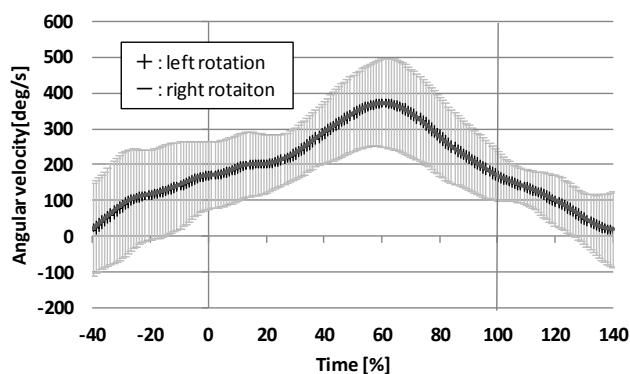


Fig.11. Time series of the angular velocity of the thoracic (+left rotation, -right rotation): Time was normalized between foot planting (0%) and ball release (100%).

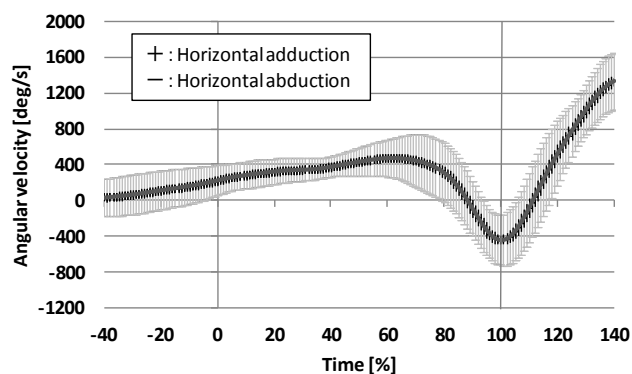


Fig.12. Time series of the angular velocity of the shoulder joint (+horizontal adduction, -horizontal abduction): Time was normalized between foot planting (0%) and ball release (100%).

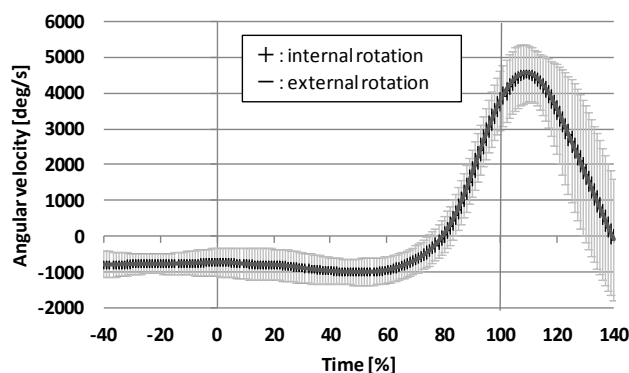


Fig.13. Time series of the angular velocity of the shoulder joint (+internal rotation, -external rotation): Time was normalized between foot planting (0%) and ball release (100%).

Table.1. Time [%] when the rate of change of the motion parameters related to the kinetic chain in pitching was maximized on average.

Motion parameters	Left rotation of lumber	Left rotation of thoracic	Horizontal adduction of shoulder	Stoop of S -value	Internal rotation of shoulder
Time [%]	24	60	62	87	109

次にパラメータ S の時系列について論じる。 S 値は40%時からほぼ直線的に増加し、REL 直前となる 70%時でピークを迎え、その後、また直線的に減少した (図 7)。 すなわち、FP 以前から徐々に胸を張っていき、REL 直前で最大となった後、こんどは逆に徐々に胸を縮めていることがわかる。 この結果は、投球動作の観察結果とよく一致する。 そのため、 S 値の時系列は観察結果と特に矛盾しない。 指導書では、「バッターに正対したときに、しっかりと胸を張る」という表現がある⁽⁷⁾。 これは、REL 直前に大きく胸を張ることを教示したものと考えられる。 このことから、70%時に S 値が最大化している本研究結果は妥当ではないかと考えられる。 以上から、パラメータ S は、胸の張りを評価できるパラメータのひとつと考えられる。

次にパラメータ S 以外の運動パラメータ、すなわち腰部の回旋角速度、胸部の回旋角速度、肩関節の水平内外転角速度、肩関節の内外旋角速度について論じる。 これらのパラメータは、投球動作の運動学的分析において頻繁に用いられている。 その妥当性を検証するために、高橋らおよび Escamilla らによる代表的な先行研究^(14,15)と比較・検討する。 両先行研究では、腰部および胸部の回旋角速度は、FP 以前から左回旋方向に増加していき、最大となった後、減少していた。 最大値の出現時刻は、腰部が 30%前後、胸部が 60%前後であった。 肩関節の水平内外転角速度は、FP 以前から水平内転方向に増加していき、60%前後で極大となった。 その後、減少していき、100%前後で極小となった後、再び増加に転じた。 肩関節の内外旋角速度は、FP 以前からしばらくは大きな変化はみられないが、70%前後から急激に内旋方向に増加した。 100%前後で最大となった後、減少に転じた。 ここで、時間の単位[%]は、本研究結果と比較できるように、著者が換算したものである。 以上の先行研究結果は、本研究結果 (図 10~13) とほぼ同様であり、顕著な違いはみられなかった。 このように、本研究結果は先行研究の結果を支持していた。

次にパラメータ S と肩関節の水平内外転の関係性について論じる。 福嶋らは、両者に相関性がみられ、水平外転に伴って S 値が増加、水平内転に伴い S 値が減少したと報告した⁽¹⁰⁾。 そのため、両パラメータの値が投球動作でも相関関係をもつ可能性、すなわち S 値が新しい情報を与えない可能性がある。 しかし、図 7 と図 8 を比較すると、両者の時系列は大きく異なっていた。 -40%~70%の区間で S 値は増加した、すなわち胸を張っていたのに対して、逆に肩関節は水平内転運動した。 さらに、70%~140%の区間で S 値は単調減少した、すなわち胸を縮めていたに対して、肩関節は水平内転および水平外転の 2 つの運動がみられた。 このように、投球動作では、パラメータ S は肩関節の水平内外転から予測される変化を示さなかったため、両者は異なる運動情報を与えていると考えられる。

最後に運動連鎖について論じる。 5 つのパラメータの最大変化率は、腰部左回旋、胸部左回旋、肩関節水平内転、パラメータ S の胸を縮める方向、肩関節の内旋の順に出現していた (表 1)。 出現時刻は、それぞれ 24%、60%、62%、87%、109%であった (表 1)。 時間順は、腰部、胸部、肩 (水平内転)、胸の張り、肩 (内旋) の順であったが、胸部と肩 (水平内転) はほぼ同時であった。 そのため、胸部から肩 (水平内転) の順に運動連鎖が生じているとは考えにくい。 図 11 と図 12 を比較すると、胸部は 60%時まで左回旋方向にほぼ直線的に増加し、肩関節も 62%時まで水平内転方向にほぼ直線的に増加していた。 すなわち、両者は 60%付近までは連動していたと考えられる。 運動連鎖は連続する身体部位間で生じることから、腰部と胸部間に運動連鎖が生じ、肩関節の水平内転は胸部と連動していたと考えられる。 以上まとめれば、運動連鎖は、腰部、胸部、胸の張り、肩 (内旋) の順に生じていたと考えられる。 これらの隣り合う要素はすべて連続する身体部位である。 以上から、胸の張りは、運動連鎖の 1 要素となっている可能性が高い。 従来は、腰部、胸部、肩の順に運動連鎖すると報告されていたが⁽¹⁶⁾、 S 値の導入により、胸部をさらに、運動連鎖する胸下部と胸の張りの 2 つに分離できる可能性が示唆された。

6. 結 語

本研究は、福嶋らが開発した胸の張りパラメータ S を投球動作解析に適用し、その有用性および投球動作における胸の張りの役割について検証した。 その結果、1) パラメータ S は投球動作における胸の張りを評価できる、2) 胸の張りは、腰部から上腕までの運動連鎖の 1 要素となっており、胸下部と肩をつなぐ新たな運動情報である、の 2 つが示唆された。 今後の課題は、全身の運動連鎖における胸の張りについて分析することである。

文 献

- (1) 島田一志, 阿江通良, 藤井範久, 結城匡啓, 川村卓, “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, Vol. 4, No. 1 (2000), pp. 47-60.
- (2) 橋本祐之, 建道寿教, 金谷整亮, 塚西茂昭, 信原克哉, “投球動作における骨盤と肩の振れについて (3次元解析による検討)”, 肩関節, Vol. 20, No. 2 (1996), pp. 411-414.
- (3) 井尻朋人, 宮下浩二, 浦辺幸夫, 藤川博樹, 武本有紀子, “体幹アライメントが投球時の肩関節運動に与える影響”, 体力科学, Vol. 58 (2009), pp. 73-80.
- (4) Glenn S. Fleisig, James R. Andrews, Charles J. Dillman, and Rafael F. Escamilla, “Kinetics of Baseball Pitching with Implication About Injury Mechanisms”, The American Journal of Sports Medicine, Vol. 23, no. 2 (1995), pp. 223-239.
- (5) 伊藤博一, 中里浩一, 渡會公治, 中嶋寛之, “投球動作における体幹運動の役割—体幹運動と上肢投球障害—”, 日本臨床スポーツ医学会誌, Vol. 9, No. 3 (2001), pp. 332-339.
- (6) 土橋恵秀, 小山田良治, 小田伸午, 野球選手なら知っておきたい「からだ」のこと 【投球・送球編】, 第5版 (2010), pp. 62-63, 大修館書店.
- (7) 川口和久, 深見悦司, DVD 上達レッスン 野球ピッチング, (2009), pp. 28-29, 58-61, 成美堂出版.
- (8) 宮下浩二, 浦辺幸夫, 小林寛和, 横江清司, “投球動作の肩最大外旋位における肩甲上腕関節と肩甲胸郭関節および胸椎の角度”, 日本臨床スポーツ医学会誌, Vol. 16, No. 3 (2008), pp. 386-394.
- (9) 伊藤涼, 林豊彦, 前田義信, 渡辺哲也, 中村康雄, 田中洋, 二宮裕樹, 駒井正彦, 信原克哉, “投球動作における「胸の張り」の定量評価法”, 電気情報通信学会技術研究報告 MBE, Vol. 110, No. 52 (2010), pp. 19-24.
- (10) 福嶋祐一, 林豊彦, 前田義信, 渡辺哲也, 田中洋, 二宮裕樹, 駒井正彦, 信原克哉, “投球動作における「胸の張り」の定量評価法に関する基礎的検討”, 電気情報通信学会技術研究報告 MBE, Vol. 111, No. 217 (2011), pp. 27-32.
- (11) Ge Wu, Frans C.T. van der Helm, H.E.J. (DirkJan) Veeger, Mohsen Makhsous, Peter Van Roy, Carolyn Anglin, Jochem Nagels, Andrew R. Karduna, Kevin McQuade, Xuguang Wang, Frederick W. Werner, Bryan Buchholz, “ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—PartII : shoulder, elbow, wrist and hand”, Journal of Biomechanics, Vol. 38 (2005), pp. 981-992.
- (12) Ge Wu, Sorin Siegler, Paul Allard, Chris Kirtley, Alberto Leardini, Dieter Rosenbaum, Mike Whittle, Darryl D. D'Lima, Luca Cristofolini, Hartmut Witte, Oskar Schmid, Ian Stokes, “ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion—PartI : ankle, hip, and spine”, Journal of Biomechanics, Vol. 35 (2002), pp. 543-548.
- (13) 阿江通良, 藤井範久, スポーツバイオメカニクス 20 講, 第6版 (2007), pp.119-130, 朝倉書店.
- (14) Rafael F. Escamilla, Glenn S. Fleisig, Steven W. Barrentine, Naiquan Zheng, and James R. Andrews, “Kinematic Comparisons of Throwing Different Types of Baseball Pitches”, Journal of Applied Biomechanics, Vol. 14 (1998), pp. 1-23.
- (15) 高橋佳三, 阿江通良, 藤井範久, 島田一志, 川村卓, 小池関也, “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, Vol. 9, No. 2 (2005), pp. 36-52.
- (16) 島田一志, 阿江通良, 藤井範久, 川村卓, 高橋佳三, “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, Vol. 8, No. 1 (2004), pp. 12-26.