

中学生野球選手における硬式球および軟式球を用いたスローイング動作間の相違に関するバイオメカニクス的研究

島田一志
金沢星稜大学

The purpose of this study was to compare kinematic and kinetic aspects of the throwing with baseball (BB) and rubber baseball (RB). Throwing motions of eighteen junior high school baseball player were recorded by two high speed video cameras at 250 fps and analyzed. Release parameters, timing of events in throwing motion, joint angles, joint torques, and joint forces were computed using three-dimensional motion analysis technique.

Between throwing with BB and RB, there were no differences in basic motion pattern and timing of each event in throwing motion, although there were some differences in release parameters. Compressive force at the elbow of the throwing with RB was larger than with BB, and the load related to the internal rotation muscles of the shoulder of the throwing with BB was larger than with RB. On the other hand, there were no differences in kinematic and kinetic parameters that were indicated as critical points related to the shoulder and elbow injuries by previous study. These results may suggest that the play with BB and RB at the same time is not cause of injuries on the throwing arm, and the load on the throwing arm by BB is not necessarily larger than that of RB.

1 緒言

野球における指導の現場では「軟式野球および硬式野球の同時期のプレイは投球腕各肘関節の障害の要因となるため、回避すべきである」との見解が存在しており、特にこのような状況が最も生じやすい少年野球の指導現場においては強く認識されている。

しかし、軟式球および硬式球をそれぞれ用いた場合のスローイング動作間の相違について科学的な検討が加えられた研究はこれまでに行われていない。したがって、これらのボールを用いたスローイング動作を三次元画像解析法を用いて分析し、両者の相違についてバイオメカニクスの観点から検討を加えることは、従来現場で言われてきた知見を裏付ける、あるいは検証することにつながり、現場においてスローイング動作を指導する際の基礎的知見を示唆する点で有益であると考えられる。

本研究の目的は、中学生野球選手における軟式球および硬式球を用いたスローイング動作を三次元画像解析法を用いて分析し、両動作の相違についてバイオメカニクスの観点から検討を加えることで、投球腕の障害防止をはじめとする指導のための基礎的資料を得ることである。

2 方法

Table 1 Characteristics of the subjects

Subject	Length (m)	Body mass (kg)	Experience (years)	Dominant	Position
A	1.77	68	7	Right	SS, P
B	1.67	51	7	Right	RF
C	1.74	70	8	Right	RF
D	1.68	51	8	Right	2B
E	1.74	65	7	Right	1B
F	1.76	75	7	Right	RF
G	1.65	56	7	Right	SS
H	1.74	60	7	Left	1B, OF
I	1.67	60	8	Right	2B
J	1.7	58	6	Right	LF
K	1.67	62	8	Right	C
L	1.67	53	7	Right	3B
M	1.71	58	6	Left	P
N	1.7	58	9	Right	3B
O	1.71	64	7	Right	LF
P	1.77	67	0.25	Right	P
Q	1.67	53	6	Right	CF
R	1.73	55	5	Left	1B
mean	1.708	60.2	6.7		
sd	0.039	6.8	1.9		

2.1 実験

2.1.1 被験者の身体的特性およびポジション

Table 1に本研究における被験者を示す。被験者はS中学校野球部に所属する3年生の軟式野球選手18名（競技歴 6.7 ± 1.9 年，身長 1.708 ± 0.039 m，体重 60.2 ± 6.8 kg）で右投げの被験者が15名，左投げの被験者が3名であった。

被験者の所属する中学校の学校長，被験者の保護者および被験者には事前に実験の目的や内容などを説明し，実験への協力の同意を得た。なお，いずれの被験者も実験を遂行した時点で数週間程度の硬式球を用いた練習の経験があった。

2.1.2 実験試技

本研究における実験試技では，塁間（27.4m，以下DBB）および45m（以下L）の2種類の距離を設定した。いずれの距離においても立位で静止した受け手を目標として公認軟式球B号（以下RB）および公認硬式球（以下BB）の両者を用いたスローイング動作を行った。以下では，DBBおよびLの各条件下で行われた試技をそれぞれ「DBBの試技」「Lの試技」とし，RBおよびBBの各条件下で行われた試技をそれぞれ「RBの試技」「BBの試技」と記述することがある。また，DBBの試技においてRBおよびBBを用いる試技をそれぞれDBB-RBおよびDBB-BB，Lの試技においてRBおよびBBを用いる試技をそれぞれL-RBおよびL-BBと記述する。

被験者は十分なウォーミングアップを行った後に試技に入った。試技は「通常のフォームを崩さない範囲でできるだけ速いボールを投げるように」という指示のもと1試技について3回行わせた。ボールが受け手に到達する前にバウンドした場合および受け手から大きく外れた場合は試技をやり直した。なお，本研究では，試技の順列によるパフォーマンスへの影響を除去するため，被験者をRBの試技から行うグループとBBの試技から行うグループに分割し，さらに各グループ内をDBBの試技から行う被験者とLの試技から行う被験者に分割した。

2.1.3 測定方法

Fig. 1 は本実験におけるカメラ設置，撮影範囲を示したものである。試技の撮

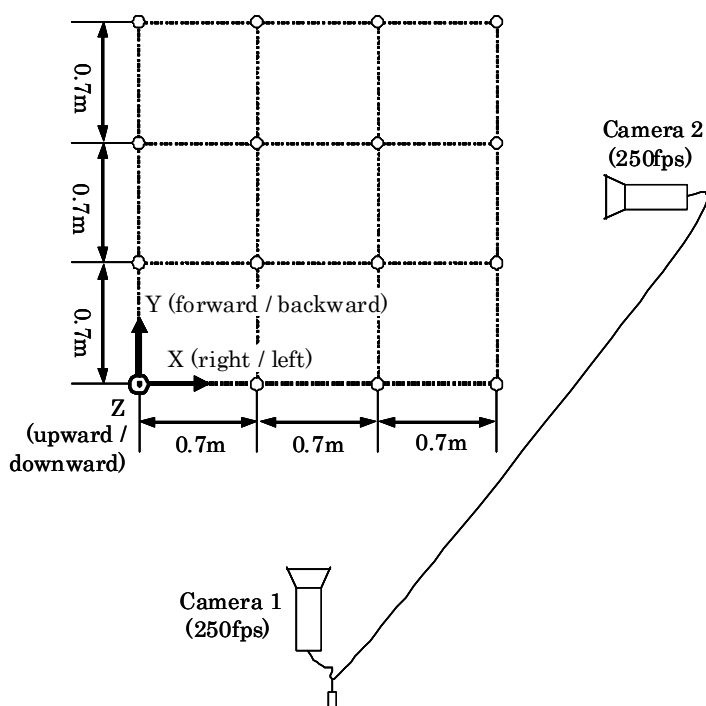


Figure 1 Experimental set up.

影は 2 台の高速 VTR カメラ（株式会社ディケイエイチ社製，PH-1414C）を用い，撮影速度毎秒 250 コマで撮影した．撮影範囲はスローイング方向にむかって前後，左右および上下のいずれの方向も 2.1m とし，静止座標系を左右方向を X 軸，前後方向を Y 軸，鉛直方向を Z 軸の右手系に定義した．試技に先立ち，DLT 法によって各計測点の三次元座標を算出するために，コントロールポイントのついたキャリブレーションポールを鉛直に順次立てて撮影した．

2.2 データ処理

2.2.1 分析試技の選定

本研究では全試技のボール初速度を求め，各被験者の DBB-RB 試技，DBB-BB 試技，L-RB 試技および L-BB についてリリース速度が最も大きかった試技をそれぞれ選定し，これを分析試技とした．

2.2.2 身体計測点および三次元座標の算出

Fig. 2 に本研究における身体計測点を示した．計測点は身体各セグメント端点 23 点およびボール中心 1 点の計 24 点であった．体幹の動きをより詳細にとらえるために左右の肋骨弓下端を境に上胴と下胴を区別した．なお，以下ではスローイング動作においてボールを投球する側の upper arm を投球腕，グローブを装着する側の upper arm をグローブ腕，投球腕と同側の lower arm をピボット脚，そしてスローイングの方向に踏み出す側の lower arm をストライド脚と呼ぶことにする．

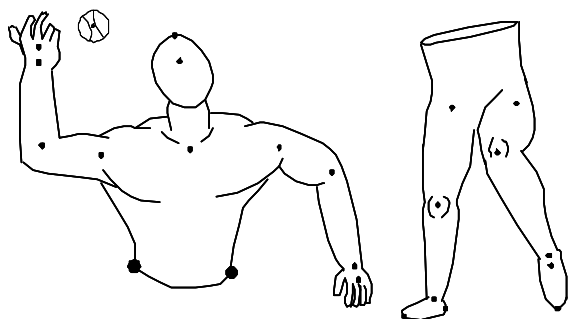


Fig. 2 Digitizing points of the body.

デジタイズは市販のソフト（Frame-Dias IV, Version 1.25R2）を用いて行い，各カメラで撮影された計測点の二次元座標をコンピュータに取り込んだ．上肢およびボールの計測点は 250hz，下肢および体幹の計測点は 125hz でそれぞれデジタイズを行い，下肢および体幹の計測点についてはデジ

タイズした二次元座標をスプライン関数を用いて 250hz に補間した．各カメラで算出した 11 個の DLT パラメータを用いて DLT 法によって計測点の三次元座標を算出した．DLT パラメータ算出時の平均誤差は，X 軸方向が 0.4 cm，Y 軸方向が 0.3 cm，Z 軸方向が 0.3 cm であった．

算出された三次元座標を，Winter (1990) の方法により最適遮断周波数を決定し (4-22 Hz)，バターースデジタルフィルタを用いて平滑化した．さらに，左投げの被験者の三次元座標を鏡像変換して右投げの被験者と運動の方向を一致させた．

2.3 身体各部分および関節の移動座標系の決定

2.3.1 身体各部分の移動座標系の定義

本研究では，Fig. 3に示すように投球腕の前腕，上腕および上腕の身体各部分に

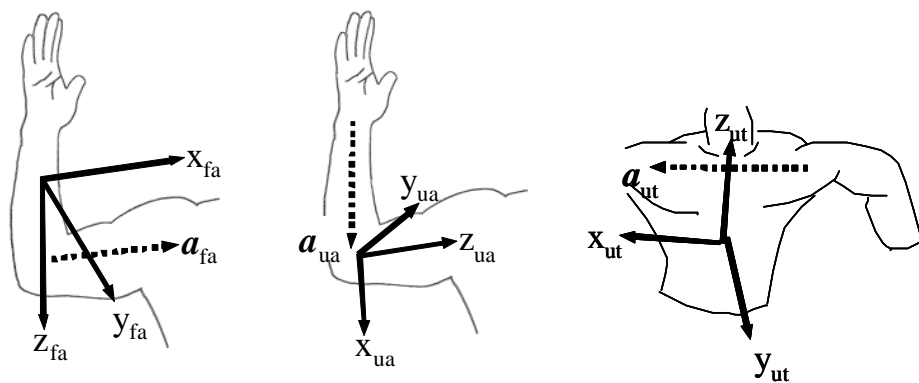


Fig. 3 Definition of the moving coordinates.

右手系の移動座標系を設定した．前腕では手関節から肘関節へ向かうベクトルを z_{fa} 軸，肘関節から肩関節へ向かう

ベクトルを補助ベクトル a_{fa} とし， z_{fa} 軸と補助ベクトル a_{fa} の外積により y_{fa} 軸ベクトルを，さらに y_{fa} 軸と z_{fa} 軸の外積により x_{fa} 軸を定めた．上腕では肘関節から肩関節へ向かうベクトルを z_{ua} 軸，手関節から肘関節へ向かうベクトルを補助ベクトル a_{ua} とし， z_{ua} 軸と補助ベクトル a_{ua} の外積により y_{ua} 軸ベクトルを，さらに y_{ua} 軸と z_{ua} 軸の外積により x_{ua} 軸を定めた．上腕では，体幹結合部から胸骨上縁へ向かうベクトルを z_{ut} 軸，左肩関節から右肩関節へ向かうベクトルを補助ベクトル a_{ut} と定め， z_{ut} 軸と補助ベクトル a_{ut} の外積から y_{ut} 軸ベクトルを， y_{ut} 軸と z_{ut} 軸の外積から x_{ut} 軸ベクトルを定めた．

2.3.2 関節座標系の定義

本研究では，Fig. 4に示すように投球腕の肩関節および肘関節に右手系の移動座標系を定義した．

肘関節では，先に定義した手および前腕の移動座標系を利用した．並進運動については z_e 軸が圧縮 (+) および牽引 (-) を，回転運動については x_e 軸が内反 (+) および外反 (-)， y_e 軸が伸展 (+) および屈曲 (-)， z_e 軸が回内 (+) および回外 (-) をそれぞれ示す．肩関節では，肘から肩へ向かうベクトルを z_s 軸とし，投球腕側の

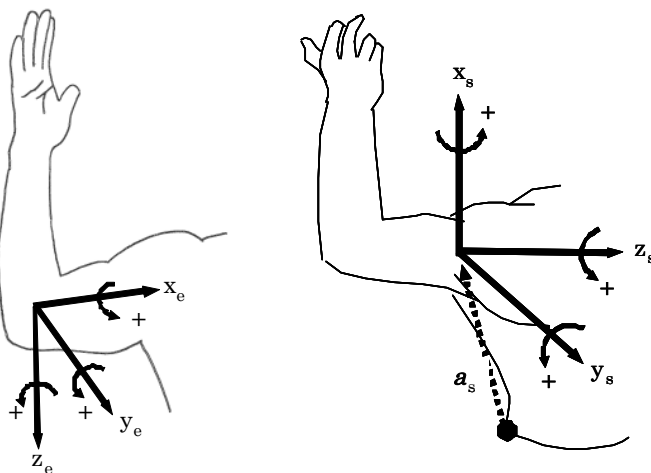


Fig. 4 Definition of the joint coordinates.

および外旋 (-) をそれぞれ示す.

2. 4 算出項目

2. 4. 1 時点の出現時間

Fig. 5に本研究で用いたスローイング動作中の時点の定義を示した. 本研究では, ストライド脚の接地 (SFC), ボール速度最小 (MBV), 投球腕の肩関節の最大外旋 (MER), リリース (REL), 投球腕の肩関節から肘関節へ向かうベクトルが静止座標系のYZ平面においてY軸となす俯角が 45° となる時点 (UA45) の各時点を定義し, SFCから各時点までの時間を求めた.

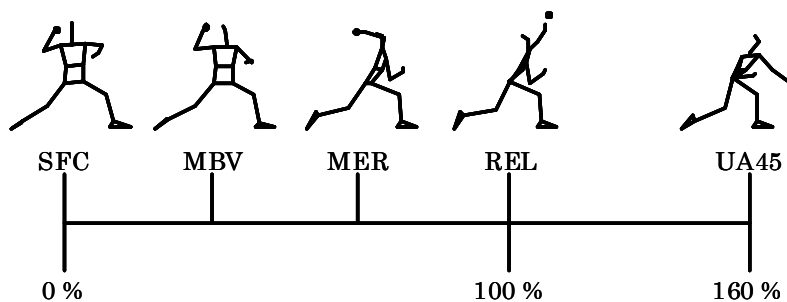


Fig. 5 Events in a throwing motion.

2. 4. 2 リリースパラメータ

RELにおけるストライド脚足関節に対するボールの位置, ボールの並進速度, ボールの並進速度ベクトルが静止座標系のXY平面においてY軸となす角度 (方位角), ボールの並進速度が静止座標系のXY平面となす角度 (仰角) をそれぞれ算出し, リリースパラメータとした.

2. 4. 3 関節角度および部分角度

本研究では投球腕における肘関節角度, 肩関節の外転角度, 水平内外転角度および内外旋角度を島田 (2004) の定義によって算出した.

上腕および下腕の回転角度は, 静止座標系のXY平面において静止座標系の-Y軸

肋骨弓下端から肩へ向かうベクトルを補助ベクトル a_s とし, z_s 軸と補助ベクトルの外積により y_s 軸ベクトルを, さらに y_s 軸と z_s 軸の外積により x_s 軸を定めた. 並進運動については, z_s 軸が圧縮 (+) および牽引 (-) を, 回転運動については x_s 軸が水平内転 (+) および水平外転 (-), y_s 軸が内転 (+) および外転 (-), z_s 軸が内旋 (+)

に対して非投球腕側の肩関節から投球腕側の肩関節へ向かうベクトルおよび非投球腕側の股関節から投球腕側の股関節へ向かうベクトルがそれぞれなす角度と定義した。静止座標系のZ軸について反時計方向の回転を正，時計方向の回転を負とした。

2.4.4 関節角速度，関節力および関節トルクの算出

本研究では湯（1995）の方法により手の角速度を，和達（1983）の方法により前腕，上腕および上腕の角速度をそれぞれ求めた。また，阿江（1996）の身体部分係数を用いてこれらの部分の質量，重心位置および主慣性モーメントを求め，これらの角速度と慣性モーメントにより部分の角運動量を求めた。そして，島田（2004）の用いた運動方程式に基づき投球腕各関節の関節力，関節トルクおよび関節角速度を算出し，さらに2.3.2で定義した関節座標系へ変換した。

2.4.5 データの規格化および統計処理

各被験者の投球腕各関節角度，上腕および下腕の回転角度について SFC から REL までの区間を 100%，REL から UA45 までの区間を 60%としてそれぞれ規格化し，1%ごとに全被験者について平均した。そして，DBB・RB と DBB・BB の間，L・RB および L・BB の間でそれぞれ t 検定により差異を比較した。有意水準は 5% 未満とした。

Table 2 Comparison of the times from SFC to each event

Trial Type	Ball Type		MBV		MER		REL		UA45	
			mean	sd	ns	ns	ns	ns	ns	ns
DBB	RB	mean	0.051	ns	0.130	ns	0.169	ns	0.264	ns
		sd	0.024		0.040		0.044		0.054	
	BB	mean	0.068	0.129	0.165	0.263				
		sd	0.030	0.026	0.025	0.039				
L	RB	mean	0.067	ns	0.133	ns	0.171	ns	0.267	ns
		sd	0.036		0.029		0.031		0.037	
	BB	mean	0.074	0.135	0.172	0.268				
		sd	0.030	0.027	0.027	0.037				

ns: no significant.

Unit is second.

3 結果

3.1 時点の出現時間

Table 2 は，DBB および L におけるスローイング動作中の各時点の出現時間を RB および BB の間で比較したものである。DBB および L のいずれにおいても各時点の出現時間に RB および BB の両ボール間で有意な差はみられなかった。

3.2 リリースパラメータ

Table 3 は DBB および L におけるリリースパラメータを RB および BB の間で比較したものである。DBB においてはいずれのパラメータについても両ボール間で有意な差はみられなかった。L においては，上下方向のリリース位置が RB および BB でそれぞれ $1.547 \pm 0.083\text{m}$ および $1.570 \pm 0.091\text{m}$ であり，BB のリリース位置が有意に高かった ($p < 0.05$)。左右方向および上下方向のボール初速度にも有意な差がみられ，左右方向では RB が $-1.1 \pm 0.9\text{m/s}$ であったのに対し BB では $-0.7 \pm 0.7\text{m/s}$ ($p < 0.05$)，上下方向では RB が $6.3 \pm 1.4\text{m/s}$ であったのに対し BB では $7.4 \pm 1.0\text{m/s}$ であった ($p < 0.01$)。ボール初速度の仰角にも有意な差がみられ，

RB が $12.1 \pm 3.7^\circ$ であったのに対し BB では $14.3 \pm 2.7^\circ$ ($p < 0.01$) であり, BB は RB にくらべボール初速度が上方を向く傾向にあった.

Table 3 Comparison of the release parameters

Trial Type	Ball Type		Position (m)						Velocity (m/s)						Angle (deg)		
			X		Y		Z		X		Y		Z		Reslutant	Azimuth	Altura
DBB	RB	mean	0.454		0.223		1.466		-0.9		28.8		3.7		29.1	1.7	7.6
		sd	0.136	ns	0.082	ns	0.104	ns	0.7	ns	2.7	ns	0.9	ns	2.6	1.3	2.6
	BB	mean	0.448		0.216		1.479		-0.9		28.6		4.1		28.9	1.8	8.3
		sd	0.146		0.095		0.105		0.7		2.3		0.8		2.2	1.4	2.2
L	RB	mean	0.451		0.150		1.547		-1.1		30.2		6.3		30.9	2.0	12.1
		sd	0.163	ns	0.126	ns	0.083	*	0.9	*	2.7	ns	1.4	**	2.3	1.7	3.7
	BB	mean	0.449		0.149		1.570		-0.7		29.4		7.4		30.4	1.4	14.3
		sd	0.167		0.075		0.091		0.7		2.1		1.0		1.8	1.3	2.7

ns: no significant, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

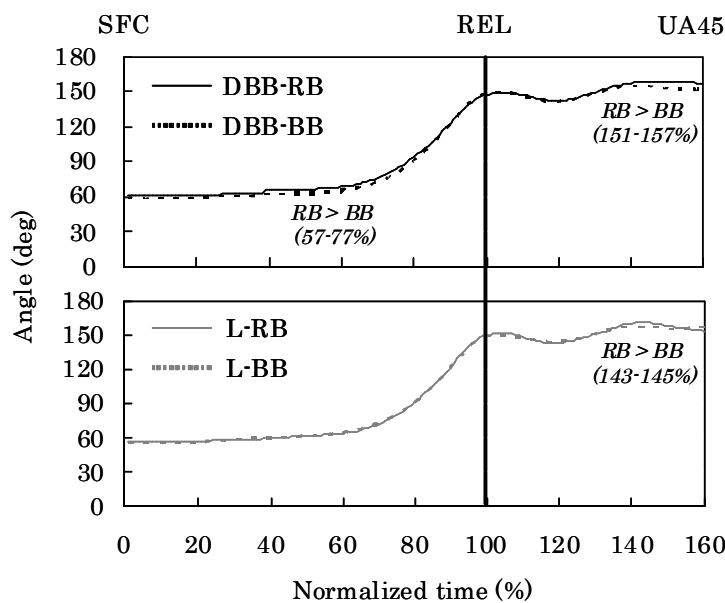


Figure 6 Comparisons of the averaged angle of the elbow.

いても SFC から 60%にかけてはほぼ 60° を維持し,その後は REL にかけて大きく伸展していた. REL 後は 120%付近でいったんわずかに減少するものの 150° 程度の角度を維持して UA45 に至った. DBB (上のグラフ)においては, 57%から 77%までの区間および 151%から 157%までの区間で DBB-RB が DBB-BB よりも有意に大きな伸展を示した (57%~59%で $p < 0.05$, 60%~63%で $p < 0.001$, 64%~68%で $p < 0.001$, 69%~72%で $p < 0.01$, 73%~77%で $p < 0.05$, 151%~157%で $p < 0.05$). また, L (下のグラフ)においては 143%から 145%までの区間で L-RB が L-BB よりも有意に大きな伸展を示した ($p < 0.05$).

3. 3. 2 肩関節の外転, 水平内外転および内外旋角度

Fig. 7は分析局面における肩関節の外転角度をDBB-RB, DBB-BB, L-RBおよび L-BBの各試技でそれぞれ平均したものである. 上のグラフがDBB, 下のグラフが

3. 3 関節角度および部分角度

3. 3. 1 肘関節角度

Fig. 6は分析局面における肘関節角度を DBB-RB, DBB-BB, L-RB および L-BB の各試技でそれぞれ平均したものである. 上のグラフが DBB, 下のグラフが L の試技を示し, いずれのグラフも増加が伸展方向を, 減少が屈曲方向をそれぞれ示す. また, 黒の実線が DBB-RB を, 黒の点線が DBB-BB を, グレーの実線が L-RB を, グレーの点線が L-BB をそれぞれ示す.

DBB および L のいずれにお

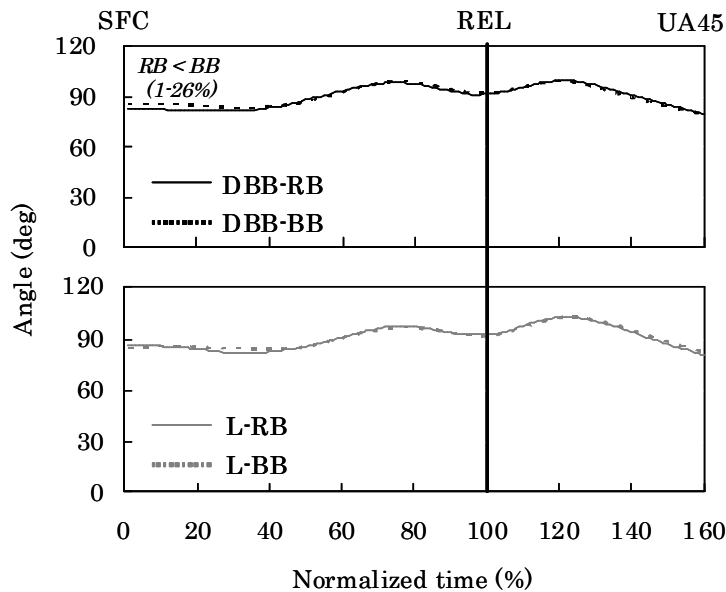


Figure 7 Comparisons of the averaged angle of the shoulder abduction.

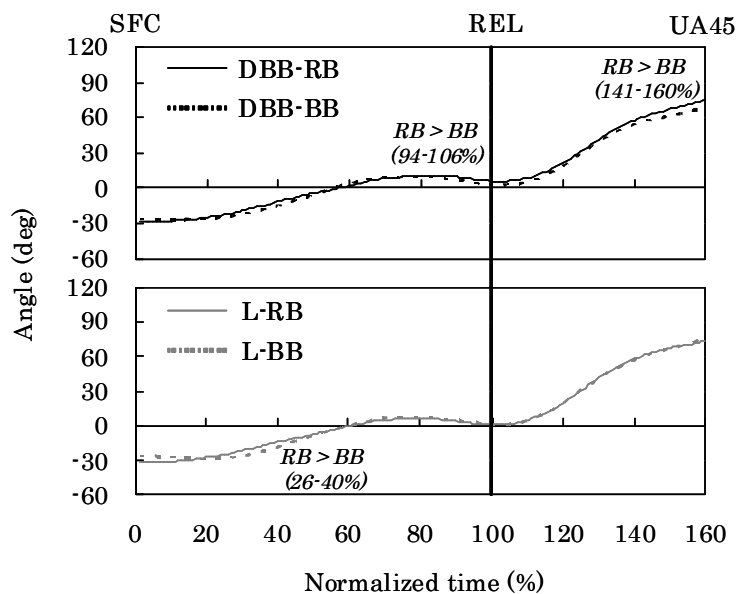


Figure 8 Comparisons of the averaged angle of the shoulder horizontal adduction (+) / abduction (-).

も有意に大きな水平内転を示した（94%～106%で $p < 0.05$ ，141%～149%で $p < 0.05$ ，150%～158%で $p < 0.01$ ，159%～160%で $p < 0.05$ ）。また，L（下のグラフ）においては26%から40%までの区間でL-BBがL-RBよりも有意に大きな水平外転を示した（ $p < 0.05$ ）。

Fig. 9は肩関節の内外旋角度を示したものである。正が外旋，負が内旋の角度をそれぞれ示す。SFCでは内旋の角度を示したが30%付近で外旋に転じ，以後はMERまで大きく外旋方向に変化を続けた。MERからRELにかけては急速に内旋方向に変化した。DBB（上のグラフ）においては81%から82%までの区間でDBB-BBが

Lを示し，いずれのグラフも増加が外転方向，減少が内転方向をそれぞれ示す。DBBおよびLのいずれも，SFCからUA45まで外転角度はほぼ90°に保たれていた。60%からRELにかけてやや内転し，RELから120%ではわずかに外転する傾向がみられた。DBB（上のグラフ）において1%から26%までの区間でDBB-BBがDBB-RBよりも有意に大きな外転を示した（1%～17%で $p < 0.01$ ，18%～26%で $p < 0.05$ ）。

Fig. 8は分析局面における肩関節の水平内外転角度を示したものである。正が水平内転，負が水平外転の角度をそれぞれ示す。いずれの試技もSFCでは水平外転の角度を示したが，水平内転の方向に変化し60%で水平内転の角度に転じた。以後もRELまで水平内転の方向に変化を続け，110%以後は水平内転の角度が大きく増加した。DBB（上のグラフ）においては94%から106%までの区間および141%から160%までの区間でDBB-RBがDBB-BBより

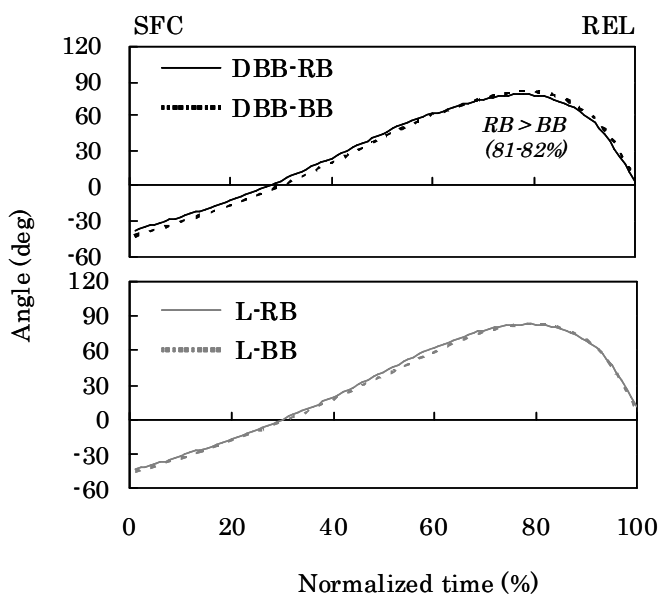


Figure 9 Comparisons of the averaged angle of the shoulder external (+) rotation.

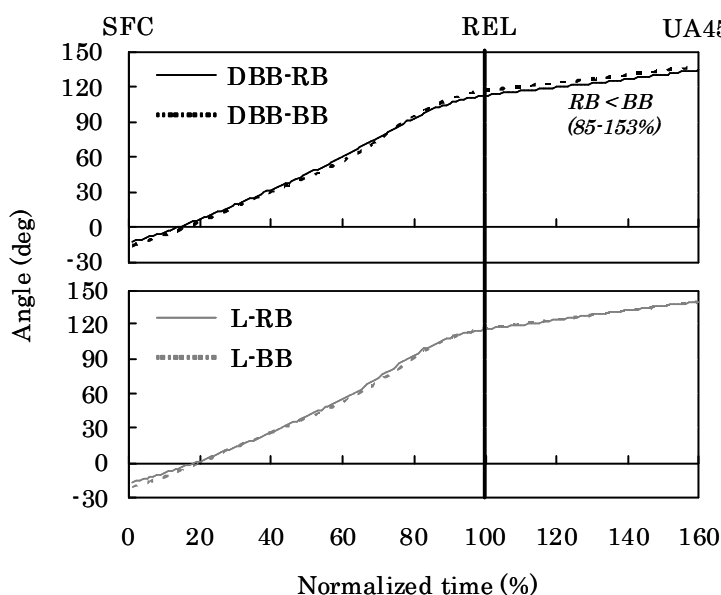


Figure 10 Comparisons of the averaged angle of the upper torso rotation.

ラフ)においては96%から157%までの区間でL-BBはL-RBよりも有意に大きな前回転を示した(93%~108%で $p < 0.05$, 109%~112%で $p < 0.01$, 113%~157%で $p < 0.05$).

3.4 関節角速度, 関節力および関節トルクの最大値

Table 4はDBBおよびLにおける肩関節のキネマティクスおよびキネティクスのパラメータの最大値をRBおよびBBの間で比較したものである。DBBにおい

DBB-RBよりも有意に大きな外旋を示した($p < 0.05$).

3.3.3 上胴および下胴の回転角度

Fig. 10およびFig. 11は上胴および下胴の回転角度をそれぞれ示したものである。いずれの角度も正の方向が前回転,負の方向が後回転を示す。上胴(Fig. 10)についてみると,SFCから80%付近まで急激に前回転し,その後もゆるやかに前回転を続けた。DBB(上のグラフ)においては,85%から153%までの区間でDBB-BBはDBB-RBよりも有意に大きな前回転を示した(85%~89%で $p < 0.05$, 90%~121%で $p < 0.01$, 122%~153%で $p < 0.05$).

下胴(Fig. 11)についてみると,SFCから80%付近まで急激に前回転方向に変化し以後もゆるやかに前回転の変化を保っていた。DBB(上のグラフ)においては,73%から160%までの区間でDBB-BBはDBB-RBよりも有意に大きな前回転を示した(73%~79%で $p < 0.05$, 80%~148%で $p < 0.01$, 149%~160%で $p < 0.001$)。また,L(下のグ

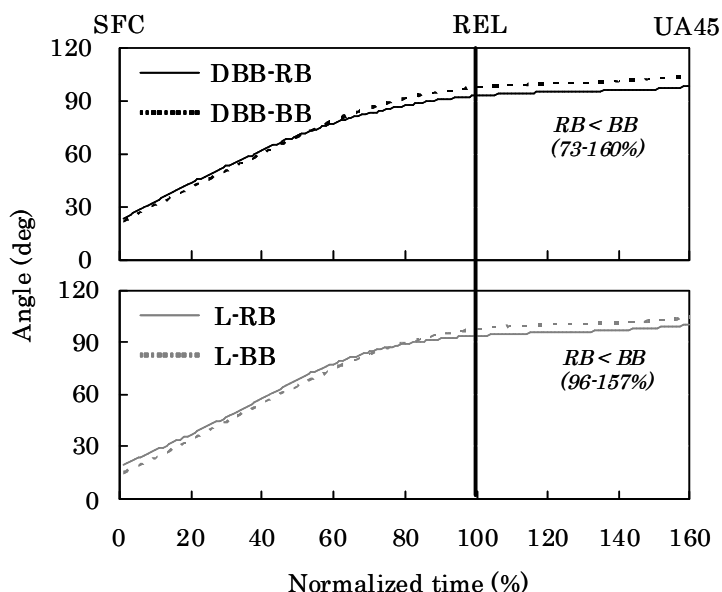


Figure 11 Comparisons of the averaged angle of the lower torso rotation.

ては、肘関節の圧縮方向の関節力および内反トルク，肩関節の最大外旋角度，圧縮方向の関節力および内旋トルクのいずれにおいても RB および BB の間に有意な差はみられなかった．L においては，肘関節の圧縮方向の関節力の有意な差がみられ，RB および BB でそれぞれ $595.0 \pm 115.1 \text{ Nm}$ および $560.7 \pm 103.7 \text{ Nm}$ と，RB の方が大きかった ($p < 0.01$)．

4 考察

4.1 動作パターンについて

Table 3 より，DBB-RB および DBB-BB の間でリリースパラメータに有意な差はみられなかったことがわかる．一方，L-BB は L-RB よりもリリース位置が高く，またボール初速度の仰角が大きかった．

Table 4 Comparison of averaged peak values of the kinematics and kinetics data

Trial Type	Ball Type	Elbow				Shoulder			
		mean	Compression force (N)	Varus Toruque (Nm)	sd	External rotation angle (deg)	Compression force (N)	Internal rotation torque (Nm)	sd
DBB	RB	mean	560.2	56.7	80.8	546.5	56.7	ns	
		sd	120.7	15.4	9.1	143.7	15.3		
	BB	mean	562.1	57.1	82.7	531.1	57.3		
		sd	119.1	16.2	7.0	134.7	15.6		
L	RB	mean	595.0	62.8	84.6	578.1	62.7	ns	
		sd	115.1	17.4	9.0	139.6	17.3		
	BB	mean	560.7	64.3	84.2	571.5	64.4		
		sd	103.7	17.3	8.5	136.4	17.3		

ns: no significant, **: $p < 0.01$

しかし，L-BB および L-RB のいずれも受け手にボールが到達しており，野球のローイング動作における運動課題を達成していたことから，DBB および L のいずれにおいても RB および BB の間にパフォーマンスの相違はないと考えられる．

次に，ローイング動作中の各時点の出現時間について検討すると，DBB および L のいずれにおいても RB および BB の間で有意な差はみられなかったことが Table 2 よりみてとれる．また，BB および L のいずれにおいても投球腕各関節角度および体幹の回転角度の変化パターンは RB および BB でほぼ同様であったことが Fig. 6～Fig. 11 よりわかる．

本研究における被験者はいずれも成熟したローイングの動作パターンを示していた．また，2.1.2 で述べたように，本研究における試技は「通常のフォーム

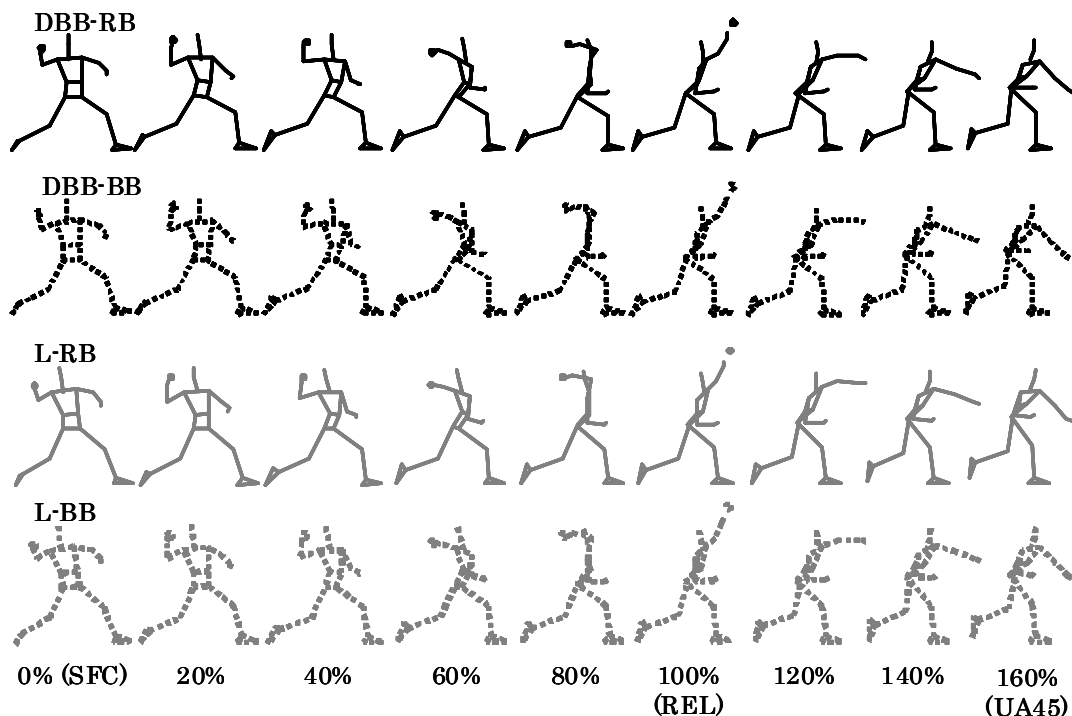


Figure 12 Throwing motions of each trial.

を崩さない範囲でできるだけ速いボールを投げるように」という指示のもとに行われたものであり、いずれの試技も動作の協調性を維持できる努力度であった判断できる。これらのことをあわせて考えると、成熟した投動作パターンを獲得した中学生野球選手においては、動作の協調性が低下しない強度のスローイング動作であれば、軟式球および硬式球のいずれを用いてもパフォーマンスおよび動作パターンに相違は生じないといえよう。

4.2 軟式球および硬式球を用いたスローイング動作の相違について

Fig. 7 より、スローイング動作の 1%から 26%までの区間、すなわち SFC から MBV 後までの局面において DBB-BB は DBB-RB よりも大きな肩関節の外転角度を維持していたことがわかる。また、Fig. 10 および Fig. 11 より DBB-BB は DBB-RB にくらべ 85%から 153%までの区間（MER 後から REL 後までの局面に相当）で上胴、73%から 160%までの区間において下胴で、それぞれ大きな前回転の角度を示していることがみてとれる。

投球腕の関節角度について検討すると、DBB-BB は DBB-RB にくらべ 55%から 77%までの区間および 151%から 157%までの区間において肘関節の伸展が小さく（Fig. 6）、また 94%から 106%までの区間および 141%から 160%までの区間で肩関節の水平内転が小さかった（Fig. 8）。スローイング動作における肘関節の伸展および肩関節の水平内転は、いわゆる「腕の振り抜き」に伴って生じるものであることを考えると、BB は RB にくらべ「腕の振り」が抑制されていたといえよう。

少年野球における指導の現場では、硬式球を用いたスローイングは軟式球を用

いる場合よりも身体への負担が増加するという認識があり、「リトルリーグおよびシニアリーグの選手が硬式球を用いる場合、小さな体で硬球を握るので肩や肘などに負担がかかる（山内，2001）」、「軟式の場合は体にかかる負担が少ないので毎日でも練習できる（新井，1994）」などの指導に関する記述がある。これらの記述と本研究の結果をあわせて考えると、硬式球を用いたスローイング動作においては障害防止のために重要な動作であるとされる肩関節の外転および体幹の回転が強調され、また軟式球を用いたスローイングにくらべ腕の振りが抑制されていたと考えられる。

4.3 異なるボールによる投球腕の負荷に及ぼす影響の相違

Fleisig et al.(1995)は、野球のピッチング動作における投球腕に障害を発生させる可能性の高い要因として、コッキング局面（本研究のMER前に相当）の肩関節内旋トルクのピーク、減速局面（本研究のREL直後に相当）の肩関節圧縮力のピーク、そしてコッキング局面の肘関節内反トルクのピークを挙げている。Table 3-3に示したように、本研究においてはDBBおよびLのいずれの距離のスローイングにおいてもFleisig et al.(1995)が提唱するこれらのパラメータについて、RBおよびBBの間で有意な差はみられなかった。

一方、肘関節の圧縮方向の関節力はLにおいてBBよりもRBが大きかった（Table 4）。このことは、目標までの距離が増加した場合に軟式球は硬式球にくらべ肘に作用する負荷が大きくなることを示唆するものといえよう。

また、肩関節における外旋角度の最大値はDBBおよびLのいずれにおいてもRBとBBの間に有意な差はみられなかった（Table 4）。一方、動作中の81%から82%までの区間（MER後に相当する局面）において、DBB-BBはDBB-RBよりも外旋角度が大きいことがFig. 9よりみてとれる。この局面における外旋角度は肩関節の通常の可動範囲を大きく逸脱していること、またこのタイミングで肩関節内旋トルクが発揮されること（Feltner and Dapena, 1986; Fleisig et al., 1995）をあわせて考えると、硬式球を用いたスローイング動作においては軟式球を用いる場合よりも肩関節内旋筋群に作用する負荷が大きいことが考えられる。

これらのことから、軟式球および硬式球を用いたスローイング動作を比較した場合、障害を発生させる要因とされるパラメータに相違はないものの、軟式球では肘関節、硬式球では肩関節に作用する負荷が大きい傾向にあるといえよう。

4.4 指導への示唆

4.1および4.2で検討したように、選手の動作の協調性を維持できる努力度で行われるスローイングにおいては、軟式球を用いた場合には投球腕の振り、硬式球を用いた場合には肩関節の外転および体幹の回転が強調された動作となるものの、両ボールを用いたスローイング動作間にはパフォーマンスおよび動作の変化パターンに相違は生じない。

また、4.3で検討したように、肩関節および肘関節の障害の要因とされるキネティクスのパラメータについて、軟式球および硬式球を用いた両スローイング動作

間には有意な差がみられなかった。

これらのことから、成熟した投動作のパターンを獲得した中学生野球選手では、動作の協調性を維持できる努力度でスローイングを行うかぎりには、軟式球および硬式球を併用してプレイすることが障害の直接的な要因とはならないと結論づけることができよう。ただし、軟式球を用いた場合には肘関節、硬式球を用いた場合には肩関節内旋筋群に作用する負荷が増加することに留意すべきであるといえよう。

5 結論

5.1 本研究で得られた知見

本研究では中学生野球選手の軟式球および硬式球を用いたスローイング動作を三次元画像解析法によって分析し、両者の相違についてバイオメカニクスの観点から検討を加えた。

その結果、以下のことがわかった。

- ① 成熟した投動作パターンを獲得している選手は、動作の協調性が維持できる努力度の場合には両ボールを用いた動作間でパフォーマンスおよび動作パターンについての相違は生じない。
- ② 軟式球を用いたスローイング動作では腕の振り抜きが、硬式球を用いたスローイング動作では肩関節の外転の維持および体幹の回転が強調される。
- ③ 投球腕に障害を発生させる要因とされるパラメータの大きさに軟式球および硬式球の間で相違は生じない。
- ④ 軟式球では肘関節、硬式球では肩関節内旋筋群に作用する負荷が増加する。

また、指導への示唆として以下の結論が導き出された。

- ① 成熟した投動作のパターンを獲得している選手の場合、軟式球および硬式球の両者を用いてプレイしたとしても、このことが障害の要因とはならない。
- ② 硬式球は軟式球にくらべ **kanara** 投球腕に障害が発生しやすいわけではない。

5.2 今後の課題

- ① 本研究でスローイング動作に用いたボールは公認軟式球 B号(質量:約 0.135kg, 直径:約 7.0cm) および公認硬式球(質量:約 0.145kg, 直径:約 7.4cm) であり、質量および大きさがほぼ同じであった。一方、小学生に用いられる軟式球 C号は質量が約 0.128kg, 直径が約 6.8cm であり、硬式球との相違が軟式球 B号よりも大きい。本研究においては硬式球と軟式 C号を用いたスローイング動作間の比較は行っておらず、今後検討を加える必要があると考えられる。
- ② 軟式野球および硬式野球を同時期に並行して行う場合、練習およびゲームの機会が増えるため、必然的にスローイング動作を行う機会も増加する。このような状況下ではオーバーユースが出現しやすくなることが推測されるが、本研究ではこれについて検討を加えておらず、今後の実態調査等が必要であろう。

引用文献

- 1) 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. *Japanese Journal of Sports Sciences* 15 : 155-162.
- 2) 新井勇治 (1994) 最新少年野球指導論. *ベースボールクリニック* 5 (9) 18-21
- 3) Feltner, M. and Dapena, J. (1986) Dynamics of the shoulder and elbow joints of the throwing arm during a baseball pitch. *International Journal of Sports Biomechanics* 2: 235-259.
- 4) Fleisig, G. S., Andrews, J. R., Dillman, C. J., Escamilla, R. F. (1995) Kinetics of baseball pitching with implications about injury mechanics. *American Journal of Sports Medicine* 23: 233-239
- 5) 島田一志 (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. 平成 15 年度筑波大学大学院人間総合科学研究科博士論文, 37
- 6) 湯海鵬 (1995) 3 次元的身体角運動量の算出法. *体育学研究* 40 (3) 161-169
- 7) 和達三樹 (1983) 物理のための数学. 岩波書店, 110
- 8) Winter, D. A. (1990) *Biomechanics and motor control of human movement*. Wiley, 41-43
- 9) 山内弘巳 (2001) 中学生へのコーチング. *ベースボールクリニック* (12) 18-21