

野球の外野手における送球動作の特徴～投球と送球動作の比較～

梅野 侑¹⁾ 川村 卓²⁾ 豊田 太郎³⁾ 島田 一志⁴⁾
小林 育斗⁵⁾ 與那城 吾朗⁶⁾ 谷川 洸太⁷⁾

Susumu Umeno¹, Takashi Kawamura², Taro Toyoda³, Kazushi Shimada⁴, Yasuto Kobayashi⁵, Goro Yonashiro⁶, Kota Tanikawa⁷: Feature of the throwing mechanics in outfielder of baseball –Comparison between the pitching and the throwing in operation of passing the ball–

和文抄録：

本研究では、野球における外野手の送球動作（以下TO）とピッチング動作（以下PT）をバイオメカニクス的に比較検討することで、送球動作の特徴を明らかにして指導のための基礎的知見を得ることを目的とした。被験者はT大学硬式野球部に所属する外野手8名であり、全ての被験者が右投げであった。各被験者ともピッチング（PT）および外野送球（TO）の2種類の試技を行わせ、それらの投動作について高速度VTRカメラを用いて撮影した。DLT法によって身体およびボールの身体計測点の3次元座標を算出し、ボール、体幹、投球腕についてPTとTOをキネマティクス的に比較した。その結果を以下に示す。球速（水平、鉛直、合成）および仰角はいずれもTOが大きかった。また、TOはPTよりも低い外転位で投球しており、水平外転角度はPTよりも小さかったが、RELでの内旋角速度は大きかった。さらに、TOはPTよりもSFCでの体幹の傾斜角度、MBVおよびRELでの上脗の回転角速度、RELでの捻転角速度が大きかった。以上のことから、TOは体幹の傾斜や上脗の回転動作および捻転動作、助走の勢いを利用することでエネルギーを生成し投球腕の内旋角速度を急上昇させボール速度を獲得していたことが示唆された。

Key words: Ball velocity, Throwing and pitching, Throwing arm, Trunk

キーワード: ボール速度, 送球と投球, 投球腕, 体幹

-
- | | |
|--|---|
| 1) 高岡市立中田中学校
〒939-1275 富山県高岡市中田260 | 1. Nakada Junior High School
260 Nakada, Takaoka, Toyama 939-1275, Japan |
| 2) 筑波大学 体育系
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1丁目1-1 | 2. Institute of Health and Sport Science, University of Tsukuba
1-1-1 Tenno-dai, Tsukuba, Ibaraki 305-8574, Japan |
| 3) ベースボール&スポーツクリニック
〒211-0063 神奈川県川崎市中原区小杉町2-228-1 W4 | 3. Baseball & Sports Clinic
2-228-1W4 Kosugimachi, Nakahara, Kawasaki, Kanagawa
211-0063, Japan |
| 4) 金沢星稷大学 人間科学部スポーツ学科
〒920-8620 石川県金沢市御所町丑10番地1 | 4. Department of Sport Science, Faculty of Human Sciences,
Kanazawa Seiryu University
10-1 Gosyomachi Ushi, Kanazawa, Ishikawa 920-8620,
Japan |
| 5) 北海道教育大学岩見沢校 教育学部
〒068-0835 北海道岩見沢市緑が丘2丁目34-1 | 5. Faculty of Education, Hokkaido University of Education
Iwamizawa Campus
2-34-1 Midorigaoka, Iwamizawa, Hokkaido 068-0835, Japan |
| 6) 沖縄県立嘉手納高等学校
〒904-0202 沖縄県中頭郡嘉手納町屋良806 | 6. Kadena High School
806 Kadenamachi Yara, Nakagamigun, Okinawa 904-0202,
Japan |
| 7) 淑徳高等学校
〒174-8643 東京都板橋区前野町5丁目14-1 | 7. Shukutoku High School
5-14-1 Maenochi, Itabashi, Tokyo 174-8643, Japan |

I. 緒言

功力 (1991a) は、「野球は攻守交代型のスポーツであり、そのプレイは防御面、打撃面、走塁面の3種の構造に大別される」としており、防御面においては守備位置ごとに果たすべき役割が存在し、さらにその役割を果たすために専門的技術が要求される。その中でも投運動は投手の打者に対する投球と野手の守備機会における送球で大きく二つに大別することができる。

投手の投球(ピッチング)の場合、ワインドアップポジション(ノーワインドアップポジションを含む)もしくはセットポジションから投球することがルール上定められており(公認野球規則, 2024), 投球動作以前に捕球動作を伴わない。ここでは、定められた投球動作を用いて、打者を打ち取るためにストライクゾーンを基準に速球や変化球を意図した目標に向けて、正確に投げることを目的としている。一方、野手の送球の場合、味方野手の送球や相手の打者の打球を捕球してから送球を行うことが要求される。ここでは、走者もしくは、打者走者を進塁させないために送球することを目的としている。

また、防御面のプレイは、一個の白球を中心に展開され、すべて2人一組で行うキャッチボールの場面での応用が、守りの原型となっている(功力, 1991b)。したがって、野手においては、いろいろな体勢からの送球、すなわち、捕球して送球する、捕球してベースタッチから送球する、リレー・カットして送球するなどの多くの技能があるため、それらに習熟する必要があるといえる。

野球の指導において捕球から投球に至るまでの動作は非常に重要とされており、指導の現場でも守備の指導時における重要なポイントとして捉えられている。そのため、投手、捕手、内野手、外野手それぞれのポジションごとに指導がなされてきた。その中で外野手の送球は一試合の中で頻度は少ないものの、その成否が勝敗を左右する大事なものになり得るといわれている。(功力, 2008) その一方で、内野手の送球動作に関する研究(宮

西ほか, 2015; 櫻井ほか, 2009) は散見されるものの、外野手の送球動作に関して科学的およびバイオメカニクス的な観点から詳細な検討を行ったものは見当たらない。そして、指導書に目を向けても「外野手は捕球後ダイナミックに送球する」や「送球までの体の動きを小さくする」などの抽象的な記述が多く、外野手の送球における動きは明確に提示されていないのが現状である。

つまり、外野手の送球動作について科学的手法を用いて詳細に検討した研究はこれまで行われていない。そこで、本研究では野球における外野手の送球動作とピッチング動作を比較することで、形態の異なる投球動作(助走ありの投動作と助走なしの投動作)の特徴を明らかにして指導のための基礎的知見を得ることを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

被験者はT大学硬式野球部に所属する外野手8名(競技歴 14 ± 1.8 年, 身長 173.3 ± 4.6 cm, 体重 69.8 ± 4.9 kg)で、全ての被験者が右投げであった。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、本研究は筑波大学大学院人間総合科学研究科研究倫理委員会の承認(課題番号21-233)を得たものである。

2. 実験手順および撮影

実験試技はピッチング動作(PT)、外野手の送球動作(TO)とした。PTおよびTOとも硬式野球ボールを用い、PT、TOの順でそれぞれ各5試技を行った。

①PTでは被験者に18.44mの距離をワインドアップモーションで投球するように指示をした。

②TOでは実験補助者が外野の安打に見立てて、正面から転がしたボールを被験者が捕球し、その後外野からのバックホーム送球のように60m離れたホームベースまでワンバウンドで送球した。

いずれの被験者も目標に対して正確な送球を行

うようにという指示のもと、試技を行った。なお、本研究ではPT, TOのいずれの試技においても被験者の内省報告が最もよかったものを分析した。

撮影は2台の高速VTRカメラ(NAC社製, HSV500-C3)を用いて毎秒250コマ, シャッター速度1/2000秒で行った。

3. 時点の定義

本研究では、前脚(右投げの被験者の左脚)が接地する時点(SFC), ボール合成速度最小(MBV), 肩関節最大外旋(MER), リリース(REL)の各時点を定義し、SFCからRELまでをピッチング局面として分析の対象とした。

4. データ処理および測定項目

撮影した画像から、市販のソフト(株式会社ディケイエイチ社製Frame-DIAS Ver. 3)を用いて計測点の二次元座標をコンピュータに取り込んだ。そして各カメラで算出した26個のDLTパラメータ(図1)を用い、DLT法によって計測点の

三次元座標を算出し、さらにバタワースデジタルフィルタを用いて平滑化した。

本研究では、リリースパラメータ(リリース高, 仰角, 方位角, ボール初速度), 体幹傾斜角度および捻転角度, 角速度, 上胴および下胴の回転角度, 角速度, 投球腕の関節角度, 角速度を算出した。

それぞれの測定方法を以下に示す。

リリースパラメータにおけるリリース高はRELにおけるボールの位置ベクトルの鉛直方向の成分をリリース高とした。仰角および方位角はボール初速度のベクトルが静止座標系のXY平面においてY軸となす角を方位角, 初速度ベクトルがXY平面となす角度を仰角とした。初速度(水平速度, 鉛直速度, 合成速度)はリリース直後のボールの位置ベクトルを時間微分することにより, ボールの初速度を算出した。

肩関節の関節角度を算出するために, 図2に示すような上胴および下胴の移動座標系を設定した。

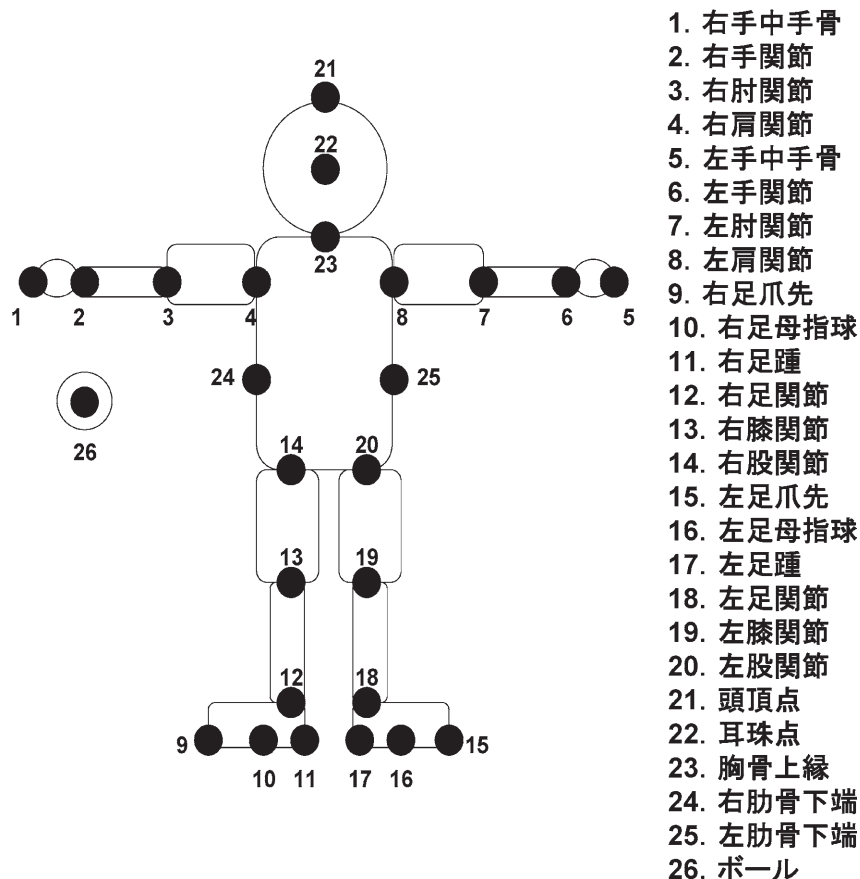


図1 身体およびボールの分析点

図2-1に示すように左右両肋骨下端の midpoint から胸骨上縁に向かうベクトルを z_{ut} とし、左右肩関節 midpoint から右肩関節に向かうベクトルを x'_{it} とした。 z_{ut} と x'_{it} との外積により y_{ut} を、さらに y_{ut} と z_{ut} の外積により x_{ut} をそれぞれ算出した。

図2-2に示すように左右両股関節 midpoint から左右両肋骨下端の midpoint に向かうベクトルを z_{it} とし、左右股関節 midpoint から右股関節に向かうベクトルを x'_{it} とした。 z_{it} と x'_{it} との外積により y_{it} を、さらに z_{it} と y_{it} との外積により x_{it} をそれぞれ算出した。

図3-1に示すように上胴座標系の zx 平面において、左肩関節から右肩関節へ向かうベクトルに対して右肩関節から右肘関節に向かうベクトルがなす角度を右肩関節内外転角度とした。内転位を

図2 上胴および下胴座標系

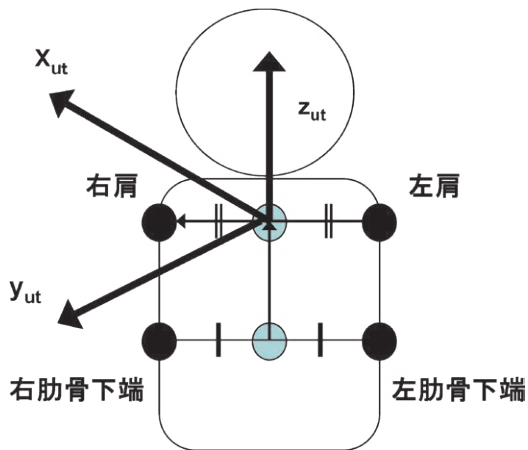


図2-1 上胴座標系

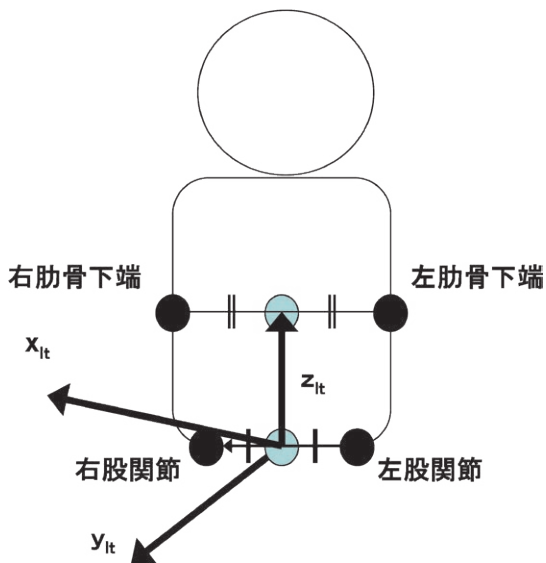


図2-2 下胴座標系

正、外転位を負とした。

図3-2に示すように上胴座標系の xy 平面において、左肩関節から右肩関節へ向かうベクトルに対し右肩関節から右肘関節に向かうベクトルがなす角度を肩関節水平内外転角度とした。水平内転位を正、水平外転位を負とした。

図3 肩関節の関節角度

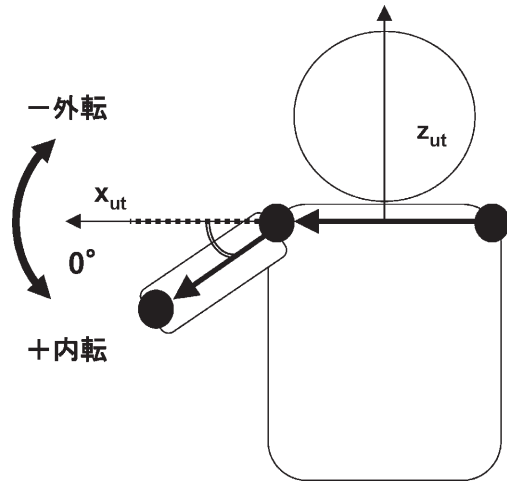


図3-1 右肩内外転角度

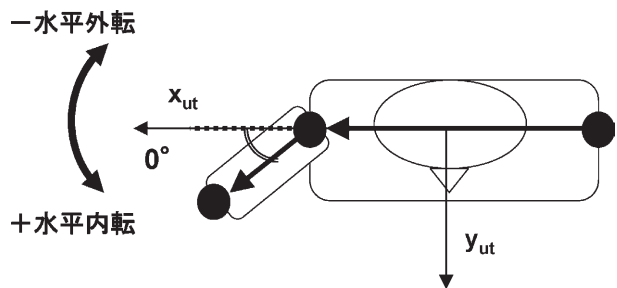


図3-2 右肩水平内外転角度

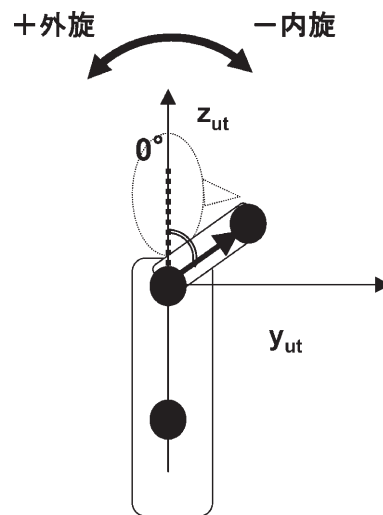


図3-3 右肩内外旋角度

図3-3に示すように上胴座標系のyz平面において左右肋骨下端中点から胸骨上縁に向かうベクトルに対し右肘から右手関節へ向かうベクトルがなす角を右肩関節内外旋角度とした。z_上軸を基準に内旋位を負、外旋位を正とした。

図4に示すように、肘関節の関節角度を算出するために、右肘関節から右肩関節へ向かうベクトルと、右肘関節から右手関節へ向かうベクトルのなす角を右肘関節角度とした。

図5に示すように左肩関節から右肩関節へ向かうベクトルと、左股関節から右股関節へ向かうベクトルをそれぞれ静止座標系のXY平面に投影し、Y軸となす角を上胴および下胴の回転角度とした。算出した上胴の回転角度から下胴の回転速度を減じて差を求め、体幹の捻転角度とした。

図6に示すようにyz平面において左右肋骨下端の中点から両肩関節の中点へ向かうベクトルとY軸がなす角度を体幹の傾斜角とした。



図4 肘関節の関節角度

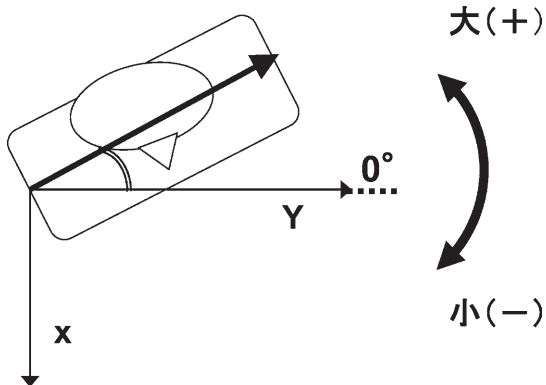


図5 上胴および下胴の回転角度

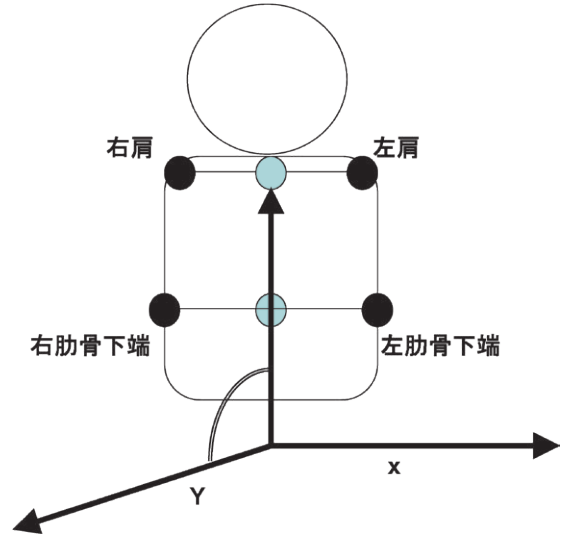


図6 体幹の傾斜角度

図2から図6で得られた角度を時間微分することにより角速度を算出した。

本研究では、算出されたデータについて本研究では、算出されたデータについて統計ソフトSPSSを用い各時点ごとに両試技間で対応のあるt検定を用い比較検討した。有意水準は5%未満とした。

III. 結果

1. リリースパラメータ, ボール速度の比較

表1はPTおよびTOにおけるリリースパラメータを示したものである。

リリースパラメータについてみると、ボールのリリース高はPTが $1.67 \pm 0.11\text{m}$ 、TOが $1.79 \pm 0.09\text{m}$ であり試技間に有意な差がみられた ($p < 0.05$)。また、仰角は、PTが $4.8 \pm 2.16\text{deg}$ 、TOが $12.9 \pm 1.64\text{deg}$ であり試技間に有意な差がみられた ($p < 0.05$)。一方、方位角では両試技間で差がみられなかった。

ボール初速度についてボールの水平速度は、PTが $30.6 \pm 3.02\text{m/s}$ 、TOが $34.5 \pm 1.31\text{m/s}$ であり、鉛直速度はPTが $1.54 \pm 2.91\text{m/s}$ 、TOが $6.89 \pm 1.74\text{m/s}$ であり、合成速度はPTが $31.5 \pm 0.90\text{m/s}$ 、TOが $35.5 \pm 0.88\text{m/s}$ であった。すべての項目においてTOが有意に大きかった ($p < 0.05$)。

表1 リリースパラメータ

		Mean	S.D.	difference
リリース高 (m)	PT	1.67	0.11	*
	TO	1.79	0.09	
仰角 (deg)	PT	4.8	2.16	*
	TO	12.9	1.64	
方位角 (deg)	PT	-0.99	2.35	ns
	TO	-0.06	1.53	
ボール初速度 (m/s)				
水平方向	PT	30.6	3.02	*
	TO	34.5	1.31	
鉛直方向	PT	1.54	2.91	*
	TO	6.89	1.74	
合成速度	PT	31.5	0.90	*
	TO	35.5	0.88	

no significant: ns

*: p < 0.05

2. 体幹および投球腕の比較

表2は上胴と下胴の回転角度、角速度、上胴下胴の捻転角度、角速度、体幹の傾斜角度、角速度を示したものである。

上胴の回転角度はSFCではPTは -189.0 ± 11.8 deg, TOは -194.3 ± 9.6 deg, MBVではPTは -149.5 ± 7.4 deg, TOは -139.9 ± 11.1 deg, MERではPTは -101.6 ± 13.6 deg, TOは -98.2 ± 16.7 deg, RELではPTは -60.8 ± 13.1 deg, TOは -65.2 ± 10.7 degであった。すべての試技間に有意な差はなかった。

上胴の回転角速度はSFCではPTは 218.7 ± 205.0 deg/s, TOは 327.8 ± 232.7 deg/sで試技間に有意な差はなかった。MBVではPTは 769.9 ± 140.0 deg/s, TOは 905.1 ± 171.1 deg/sで試技間に有意な差がみられた ($p < 0.05$)。MERではPTは 948.6 ± 265.7 deg/s, TOは 843.6 ± 228.0 deg/sで試技間に有意な差はなかった。RELではPTは 647.3 ± 125.4 deg/s, TOは 942.7 ± 225.0 deg/sで試技間に有意な差がみられた ($p < 0.01$)。

下胴の回転角度はSFCではPTは -159.7 ± 8.8 deg, TOは -165.0 ± 7.5 deg, MBVではPTは -126.1 ± 11.4 deg, TOは -115.7 ± 10.0 deg, MERで

はPTは -96.5 ± 14.0 deg, TOは -90.5 ± 6.3 deg, RELではPTは -78.8 ± 5.3 deg, TOは -82.1 ± 5.9 degであった。すべての試技間に有意な差はなかった。

下胴の回転角速度はSFCではPTは 330.7 ± 123.5 deg/s, TOは 403.7 ± 166.1 deg/s, MBVではPTは 513.3 ± 201.6 deg/s, TOは 679.2 ± 124.6 deg/s, MERではPTは 481.5 ± 319.4 deg/s, TOは 328.1 ± 79.1 deg/s, RELではPTは 231.2 ± 154.8 deg/s, TOは 145.9 ± 168.9 deg/sであった。すべての試技間に有意な差はなかった。

上胴下胴の捻転角度はSFCではPTは -29.4 ± 14.8 deg, TOは -29.3 ± 5.0 deg, MBVではPTは -23.5 ± 14.2 deg, TOは -24.2 ± 13.3 deg, MERではPTは -5.1 ± 15.5 deg, TOは -7.7 ± 18.9 deg, RELではPTは 18.1 ± 15.0 deg, TOは 16.9 ± 14.4 degであった。すべての試技間に有意な差はなかった。

上胴下胴の捻転角速度はSFCではPTは -113.8 ± 207.6 deg/s, TOは -83.2 ± 174.9 deg/sで試技間に有意な差はなかった。MBVではPTは 256.6 ± 260.0 deg/s, TOは 225.9 ± 221.6 deg/sで試技間に有意な差はなかった。MERではPTは 467.1 ± 416.3 deg/s, TOは 445.4 ± 271.4 deg/sで試技間に

表2 体幹 角度・角速度

		SFC			MBV			MER			REL		
		Mean	S.D.	difference	Mean	S.D.	difference	Mean	S.D.	difference	Mean	S.D.	difference
上胴回転角度 (deg)	PT	-189.0	11.8	ns	-149.5	7.4	ns	-101.6	13.6	ns	-60.8	13.1	ns
	TO	-194.3	9.6		-139.9	11.1		-98.2	16.7		-65.2	10.7	
上胴回転角速度 (deg/s)	PT	218.7	205.0	ns	769.9	140.0	*	948.6	265.7	ns	647.3	125.4	**
	TO	327.8	232.7		905.1	171.1		843.6	228.0		942.7	225.0	
下胴回転角度 (deg)	PT	-159.7	8.8	ns	-126.1	11.4	ns	-96.5	14.0	ns	-78.8	5.3	ns
	TO	-165.0	7.5		-115.7	10.0		-90.5	6.3		-82.1	5.9	
下胴回転角速度 (deg/s)	PT	330.7	123.5	ns	513.3	201.6	ns	481.5	319.4	ns	231.2	154.8	ns
	TO	403.7	166.1		679.2	124.6		328.1	79.1		145.9	168.9	
上胴下胴捻転 (deg)	PT	-29.4	14.8	ns	-23.5	14.2	ns	-5.1	15.5	ns	18.1	15.0	ns
	TO	-29.3	5.0		-24.2	13.3		-7.7	18.9		16.9	14.4	
上胴下胴捻転角速度 (deg/s)	PT	-113.8	207.6	ns	256.6	260.0	ns	467.1	416.3	ns	416.1	237.4	**
	TO	-83.2	174.9		225.9	221.6		445.4	271.4		796.9	328.6	
傾斜角度 (deg)	PT	93.9	5.3	*	81.0	5.0	ns	69.4	5.5	ns	63.2	7.23	ns
	TO	99.6	6.7		82.6	5.4		67.9	6.5		62.4	5.46	
傾斜角速度 (deg/s)	PT	-124.5	64.7	ns	-124.4	64.8	ns	-219.1	41.7	*	-90.1	54.2	ns
	TO	-105.9	32.8		-90.0	64.0		-311.7	76.7		-94.5	54.5	

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

有意な差はなかった。RELではPTは416.1±237.4deg/s, TOは796.9±328.6deg/sで試技間に有意な差がみられた (p<0.01)。

体幹の傾斜角度はSFCではPTは93.9±5.3deg, TOは99.6±6.7degで試技間に有意な差がみられた (p<0.05)。MBVではPTは81.0±5.0deg, TOは82.6±5.4degで試技間に有意な差はなかった。MERではPTは69.4±5.5deg, TOは67.9±6.5degで試技間に有意な差はなかった。RELではPTは63.2±7.23deg, TOは62.4±5.46degで試技間に有意な差はなかった。

体幹の傾斜角速度はSFCではPTは-124.5±64.7deg/s, TOは-105.9±32.8deg/sで試技間に有意な差はなかった。MBVではPTは-124.4±64.8deg/s, TOは-90.0±64.0deg/sで試技間に有意な差はなかった。MERではPTは-219.1±41.7deg/s, TOは-311.7±76.7deg/sで試技間に有意な差がみられた (p<0.05)。RELではPTは63.2±7.23deg/s, TOは62.4±5.46deg/sで試技間に有意な差はなかった。

図7はSFCからRELまでの典型例における体幹の傾斜角度の変化を典型例について示したものである。

体幹傾斜角度についてSFCにおいてはTOのほうが大きな角度を示し、-0.04以降は両試技ともほぼ同じ角度の大きさを示し、RELにおいては表

2にあるとおりの有意な差はなかった。

表3は投球腕(右肩関節)の関節角度, 角速度を示したものである。

右肩関節の内外転角度はSFCではPTは-2.5±19.5deg, TOは2.6±16.3degで試技間に有意な差はなかった。MBVではPTは-4.0±17.1deg, TOは2.70±10.1degで試技間に有意な差はなかった。MERではPTは-19.2±10.1deg, TOは-10.5±8.5degで試技間に有意な差がみられた (p<0.01)。RELではPTは-9.3±7.2deg, TOは-2.70±7.0degで試技間に有意な差はなかった。

右肩関節の内外転角速度はSFCではPTは205.8±269.0deg/s, TOは-29.5±182.1deg/s, MBVではPTは-462.0±354.9deg/s, TOは-266.5±290.5deg/s, MERではPTは82.2±173.5deg/s, TOは13.4±105.9deg/s, RELではPTは70.5±116.8deg/s, TOは290.2±285.6deg/sであった。すべての試技間に有意な差はなかった。

右肩関節の水平内外転角度はSFCではPTは-46.8±16.3deg, TOは-33.2±10.1degで試技間に有意な差がみられた (p<0.05)。MBVではPTは-21.8±13.4deg, TOは-28.9±7.7degで試技間に有意な差はなかった。MERではPTは-0.3±15.6deg, TOは-4.8±8.3degで試技間に有意な差はなかった。RELではPTは13.6±10.7deg, TOは7.8±9.8degで試技間に有意な差はなかった。

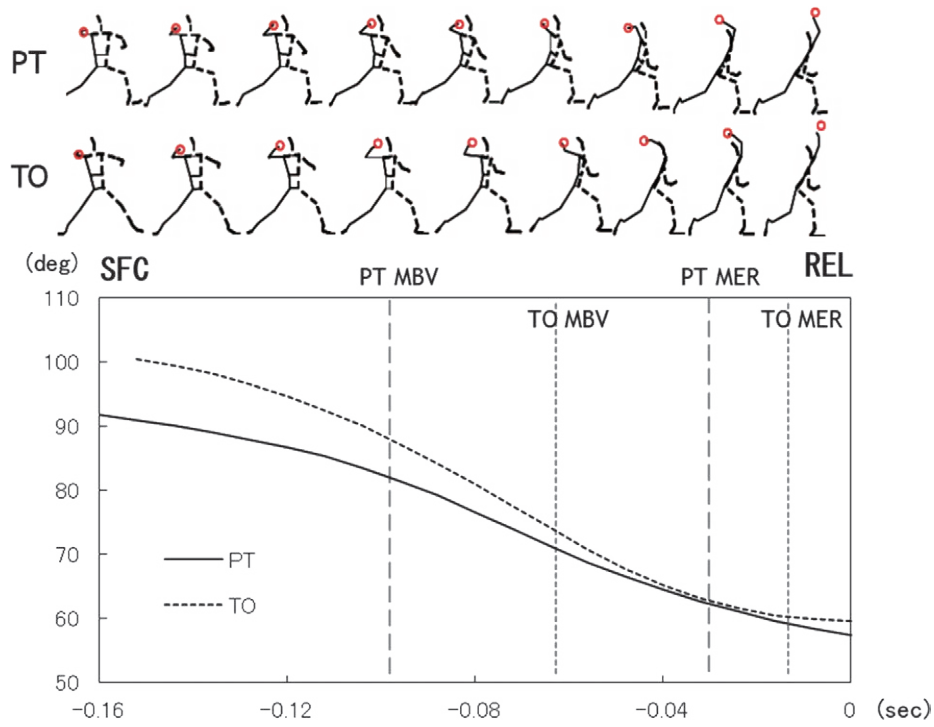


図7. 典型例における体幹 傾斜角度

表3 投球腕 角度・角速度

		SFC			MBV			MER			REL		
		Mean	S.D.	difference	Mean	S.D.	difference	Mean	S.D.	difference	Mean	S.D.	difference
右肩関節 内外転角度 (deg)	PT	-2.5	19.5	ns	-4.0	17.1	ns	-19.2	10.0	**	-9.3	7.2	ns
	TO	2.6	16.3		2.70	10.1		-10.5	8.5		-2.7	7.0	
右肩関節 内外転角速度 (deg/s)	PT	205.8	269.0	ns	-462.0	354.9	ns	82.2	173.5	ns	70.5	116.8	ns
	TO	-29.5	182.1		-266.5	290.5		13.4	105.9		290.2	285.6	
右肩関節 水平内外転角度 (deg)	PT	-46.8	16.3	*	-21.8	13.4	ns	-0.3	15.6	ns	13.6	10.7	ns
	TO	-33.2	10.1		-28.9	7.7		-4.8	8.3		7.8	9.8	
右肩関節 水平内外転角速度 (deg/s)	PT	117.8	239.5	ns	128.2	245.2	ns	445.2	351.0	ns	294.2	257.5	ns
	TO	-1.1	129.3		-16.6	145.2		199.0	232.5		179.4	338.3	
右肩関節 内外旋角度 (deg)	PT	-37.7	34.6	ns	19.4	13.6	ns	84.8	14.0	ns	-4.2	27.4	ns
	TO	-33.2	23.9		37.6	16.0		84.6	9.0		-1.9	17.8	
右肩関節 内外旋角速度 (deg/s)	PT	532.3	440.9	ns	1355.4	765.2	ns	30.9	327.6	ns	-2709.0	370.1	*
	TO	488.3	512.6		1376.0	360.7		-104.8	249.5		-3495.0	304.0	
右肘関節 屈曲伸展角度 (deg)	PT	77.1	18.8	ns	79.4	13.9	ns	89.5	11.6	**	161.7	8.4	ns
	TO	82.3	25.6		85.0	13.7		99.7	8.6		160.5	5.3	
右肘関節 屈曲伸展角速度 (deg/s)	PT	-207.0	273.1	ns	-225.9	295.8	ns	183.3	271.8	ns	782.6	349.9	*
	TO	-173.0	433.9		-197.8	425.3		383.7	318.7		473.8	472.4	

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

右肩関節の水平内外転角速度はSFCではPTは117.8±239.5deg/s, TOは-1.1±129.3deg/s, MBVではPTは128.2±245.2deg/s, TOは-16.6±145.2deg/s, MERではPTは445.2±351.0deg/s, TOは199.0±232.5deg/s, RELではPTは294.2±257.5deg/s, TOは179.4±338.3deg/sであった。すべての試技間に有意な差はなかった。

右肩関節の内外旋角度はSFCではPTは-37.7±34.6deg, TOは-33.2±23.9deg, MBVではPTは

19.4±13.6deg, TOは37.6±16.0deg, MERではPTは84.8±14.0deg, TOは84.6±9.0deg, RELではPTは-4.2±27.4deg, TOは-1.9±17.8degであった。すべての試技間に有意な差はなかった。

右肩関節の内外旋角速度はSFCではPTは532.3±440.9deg/s, TOは488.3±512.6deg/sで試技間に有意な差はなかった。MBVではPTは1355.4±765.2deg/s, TOは1376.0±360.7deg/sで試技間に有意な差はなかった。MERではPTは30.9±

327.6deg/s, TOは-104.8±249.5deg/sで試技間に有意な差はなかった. RELではPTは-2709.0±370.1deg/s, TOは-3495.0±304.0deg/sで試技間に有意な差がみられた ($p < 0.05$).

図8はSFCからRELまでの右肩関節の内外旋角度の変化を, 図9はSFCからRELまでの右肩関節の内外旋角速度の変化を, 典型例について示したものである.

図8, 図9のグラフに着目するとPTはMERに向けて外旋角度がTOよりも早く上昇し, -0.04secより早く最大外旋のピーク値をむかえ緩やかに内旋していた.

右肘関節の屈曲伸展角度はSFCではPTは77.1±18.8deg, TOは82.3±25.6degで試技間に有意な差はなかった. MBVではPTは79.4±13.9deg,

TOは85.0±13.7degで試技間に有意な差はなかった. MERではPTは89.5±11.6deg, TOは99.7±8.6degで試技間に有意な差がみられた ($p < 0.05$). RELではPTは161.7±8.4deg, TOは160.5±5.3degで試技間に有意な差はなかった.

右肘関節の屈曲伸展角速度はSFCではPTは-207.0±273.1deg/s, TOは-173.0±433.9deg/sで試技間に有意な差はなかった. MBVではPTは-225.9±295.8deg/s, TOは-197.8±425.3deg/sで試技間に有意な差はなかった. MERではPTは183.3±271.8deg/s, TOは383.7±318.7deg/sで試技間に有意な差はなかった. RELではPTは782.6±349.9deg/s, TOは473.8±472.4deg/sで試技間に有意な差がみられた ($p < 0.05$).

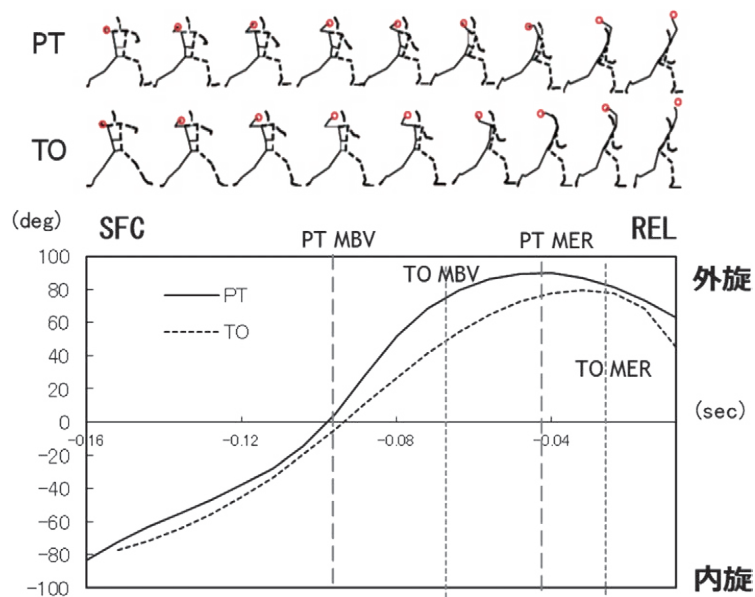


図8. 典型例における右肩 内旋・外旋角度

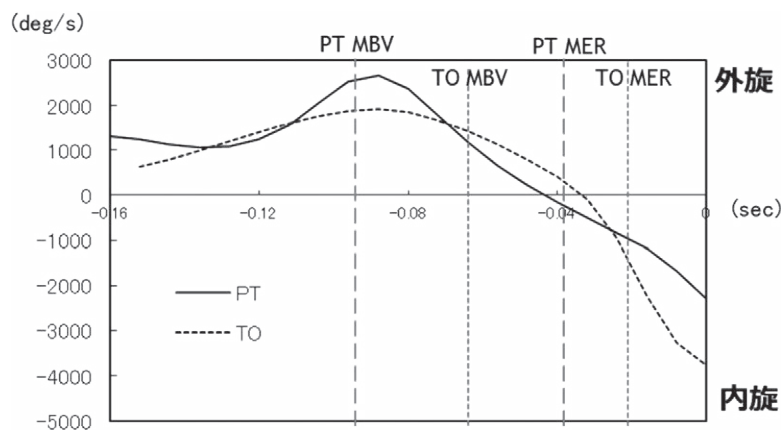


図9. 典型例における右肩 内旋・外旋角速度

IV. 考察

1. リリースパラメータ, ボール速度について

本研究の被験者は全てが外野手であり助走をつけた遠距離の送球に関する習熟度は高いと考えられるもののPTの合成速度に関しては同じ世代の大学生投手の先行研究における値(宮西ら, 2007; 桜井ら, 1990)と比較すると低いものであった。ただし, 宮西ら(2017b)の送球の値と比較して大きな差はみられなかったためPTを投球データ, TOを送球データとして用いることは妥当であると考えられる。

リリース高について検討すると(表1), TOのほうが有意に大きかった。RELにおける体幹の傾斜角度および投球腕における肩の外転角度や肘の伸展角度に有意な差はみられなかった(表2および3)。そのため, 今回測定していない踏み出し脚の影響が考えられる。

次に仰角について検討すると(表1), TOのほうが約3倍の値を示しており, PTは遠投(宮西ら, 1995b)やTOよりも仰角を抑えた投球動作であるといえる。

ボール速度について検討すると, 表1から水平方向および鉛直方向へのボール速度と合成速度はTOのほうが大きいことが分かった。本研究のTOはRELでの鉛直速度がPTの約4倍の値であった。TOはPTよりも鉛直方向に対してボール速度を獲得しているといえる。一方で, 遠投時の仰角は $30.3 \pm 32 \text{deg}$ であったと報告されており(宮西ら, 1995b), 本研究の結果よりTOの仰角はPTより高値であるものの, 遠投より低値であった。また, 水平速度や合成速度はTOのほうが大きく, 助走や投距離の違い, および投球動作の違いによる影響がうかがえる。

試技の条件と本研究の結果をあわせて検討するとTOは助走を生かし, 水平方向と鉛直方向の両方に対してPTよりもボールスピードが高い状態でRELをむかえている。

つまり, TOとPTは助走の有無と投距離の違いから, リリース高および仰角, ボール速度の獲得の過程が異なった投球動作であるといえよう。

以下では, 両試技間の動作の違いについて検討することとする。

2. 体幹の動きについて

図7および表2からSFCではTOのほうが体幹の傾斜角度が有意に大きく, MERでの体幹の傾斜角速度がPTよりも有意に大きかったことがわかる。

上脛および下脛の捻転角度について両試技間に有意な相違はみられなかった。一方でMBVとRELでの上脛の回転角速度とRELにおける捻転角速度はTOのほうがPTよりも有意に大きかったため, TOは上脛の回転および捻転動作を強調した投球動作を行っているといえる。

つまりTOは, PTよりもSFCにおいて体幹の傾斜が大きくRELに向けて捻転動作と上脛の回転動作が強調されたダイナミックな投球動作になっていることが示唆された。

3. 投球腕の動きについて

表3から右肩関節の内外転角度は, MERではPTのほうがTOよりも有意に外転していた。さらに表3からSFC~RELまでの内外転角度はMER以外の時点では有意な差はみられなかったものの, TOはPTよりも低い外転位を示しており, PTよりも肘が低い状態で投球動作を行っているといえる。

宮西ほか(1995c)の報告では速投に比べて遠投は肘が低い状態でリリースをむかえることで鉛直方向へのボール速度を獲得していると述べている。これは, 本研究のTOの動きと類似しており鉛直方向へボール速度を獲得した要因の一つといえよう。

表3から右肩関節の水平内外転角度について着目するとSFCではPTのほうが大きな水平外転位を示していた。右肩の外転角度の変化とあわせて検討するとPTはTOよりも投球側肩関節を大きく使った投球動作であることがうかがえる。一方で, TOはPTよりも投球側肩関節の動きが小さい投球動作であることが示唆された。

表3から右肩関節の内外旋速度についてはSFC

～RELの時点において有意な差はみられなかったが、角速度に関してはRELではTOのほうがPTよりも有意に大きい値を示した。図8の典型例から角度の変化について検討するとTOはMER以降、内旋に向かう時間がPTより短いことが特徴であり、図9の典型例にあるように内旋角速度が上昇しRELをむかえている。

表3から右肘関節の屈曲伸展角度についてみると、MERではTOがPTと比較して有意に伸展位であった。SFC～MERまでの変化について着目してもTOはPTよりもやや右肘を伸展させている状態であり、ボールの加速距離を確保した可能性が示唆された。

宮西ほか(1996)の報告によるとボール速度の獲得には投球側肩関節の内旋動作が貢献しているとあるが、今回の結果を踏まえるとTOは助走から得られたエネルギーを体幹の回転動作の強調と肩関節および肘関節の動きにより、ボール速度を獲得していることが示唆された。

投球側肩関節の動きについてこれまでの考察をまとめるとTOはPTと比べて肩関節の外転およびSFCでの水平外転の動きが小さく上肢をコンパクトに使用して投球動作を行っていることが推察された。これまで検討してきたように、TOは助走と体幹の傾斜および回転の強調により投球動作を行っているとして述べてきた。また、それに合わせてPTよりも慣性モーメントが小さい投球腕の動きによりエネルギーを効率よくボールに伝え、ボールの水平速度や合成速度を獲得していることがうかがえる。

川村・島田(2006)の報告によるとボール速度を上昇させるには2つ方法があり、①ボールを加速させる距離を長くすること②ボールに伝える力を大きくするとある。この知見をもとに検討するとTOは助走と体幹の傾斜および回転運動の強調により、運動エネルギーを生成し、投球側肩関節内旋角速度を増大させたことで球速がPTと比較して大きかった可能性がある。

なお、本研究からは両試技間のボールの鉛直方向への初速度や仰角の差異と体幹や投球側肩関節の動きとの関連について示唆を得ることはできな

かった。そのため今後は投球腕の指の動きなども詳細に検討していく必要があるといえる。

V. 指導への示唆

これまで、野球の指導の現場では球速を向上させるために投本間もしくは塁間よりも大きな距離をとった2名の選手間でキャッチボールをする練習(遠投)が頻繁に行われてきた。野球の指導書においても遠投に関する多くの記述がみられ、「ボールを遠くへ投球することで全身を使うようになり、その結果として速いボールを投げるのが可能となる」(石井ほか, 1984)とあるように遠投を超最大スピードの発揮および獲得を目的としたスピード・トレーニングとして位置づける記述が多い。

これらの報告を本研究の結果と合わせて検討するとTOはPTのような水平投とは異なる動作であり助走が加わったなかで体幹の傾斜と回転動作および捻転動作が強調されており、投球腕の動きに相違がみられる。

ただし、いずれも投球側肩関節の内旋動作や体幹の非投球方向への傾斜、上腕の回転動作が強調されるため、障害リスクだけでなく投球フォームの崩れといった技術面でのリスクを考慮したうえで慎重に実施すべきである。

さらに育成年代の指導現場では、投球動作における熟練度が低いことが想定されるためボールスピードと送球の正確性が両立できない場合もあると考えられる。よってTOのような送球動作を実施するには回数、頻度、投球距離に注意する必要があるといえよう。

VI. 結論

TOの送球動作としての特徴を以下のように示す。

- ① TOは水平方向、鉛直方向へのボール速度および合成速度がPTよりも大きかった。
- ② TOはPTよりも低い外転位で投球しており、SFCでの水平外転位はPTよりも小さかった

ことから、上肢はコンパクトな動作を示していた。

- ③ TOはPTよりもSFCでの体幹の傾斜角度、MBVおよびRELでの上腕の回転角速度、RELでの捻転角速度が大きかった。

本研究の結果から、TOは体幹の傾斜、上腕の回転および捻転動作の強調、助走の勢いを利用することでエネルギーを生成し投球腕の内旋角速度を急上昇させボールの速度を増加させていたことが示唆された。

謝辞

本論文の執筆にあたり、多くの方々にご指導、ご協力を頂き心より感謝申し上げます。

まず、本論文の執筆にあたり多大なご指導を賜りました筑波大学・川村卓教授、ならびにお忙しい中、懇切丁寧なご指導そして、多くの助言を賜りました金沢星稜大学・島田一志教授に心より御礼申し上げます。また、多大なご協力と暖かい励ましをいただきましたベースボール&スポーツクリニック・豊田太郎氏に深く感謝いたします。

また、快く実験に参加、協力していただきました北海道教育大学岩見沢校・小林育斗准教授に深く御礼申し上げます。

今後も野球が多くのの人々から愛され受け継がれていくために、これからも探求心を忘れず野球界の発展に貢献していく所存です。

文献

- 1) 石井藤吉郎・佐藤千春・西大立目永 (1984) 実戦ベースボール. 大修館書店, p. 14-19
- 2) 川村卓・島田一志 (2006) エースナンバーを

つける科学的練習法. 恒文社, p. 23-30

- 3) 功力靖雄 (1991) アマチュア野球教本—練習のマニュアル—. ベースボールマガジン社, p. 18
- 4) 功力靖雄 (2008) 失敗から学ぶ実戦上達法. ベースボールマガジン社, p. 151
- 5) 宮西智久・藤井範久・阿江通良・功力靖雄・岡田守彦 (1995) 大学野球選手における速投および遠投球動作の3次元比較研究. 体育学研究40, p. 89-103
- 6) 宮西智久・藤井範久・阿江通良・功力靖雄・岡田守彦 (1996) 野球の投球動作におけるボール速度に対する体幹および投球腕の貢献度に関する3次元的研究. 体育学研究41(1), p. 23-37
- 7) 宮西智久・森本吉謙 (2007) 大学野球選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, p. 361-381
- 8) 宮西智久・櫻井直樹・遠藤壮 (2015) 発達レベルの異なる野球内野手の送球動作のキネマティクスの比較: 体幹と上肢の動作に着目して. 体育学研究60, p. 53-69.
- 9) 日本プロフェッショナル野球組織 (2024) 公認野球規則, p. 148
- 10) 桜井伸二・池上康男・矢部京之助・岡本敦・豊島進太郎 (1990) 野球の投手の投動作の3次元動作解析. 体育学研究35, p. 143-156
- 11) 櫻井直樹・宮西智久 (2009) 野球の内野手のクイックスローに関するバイオメカニクス研究—中学・高校・大学生の動作の特徴—. 仙台大学大学院スポーツ科学研究科修士論文集 Vol.10, p. 79-86

(2024年5月24日受付)
(2025年1月16日受理)

英文抄録 (Abstract):

This study aims to elucidate the characteristics of outfielders' throwing motions (referred hereafter as TO) compared biomechanically with pitching motions (referred hereafter as PT) to provide foundational insights for coaching purposes. The results are summarized as follows:

- Focusing on changes in ball velocity (composite, horizontal, vertical) and launch angle. TO may involve a different motion pattern than PT.
- TO exhibits less variation in shoulder abduction angle, maintains a lower abduction position when releasing the ball, and horizontal abduction at SFC was smaller in TO than in PT.
- The trunk inclination angle at SFC is greater in TO, showing an increase in angular velocity towards release.
- The internal rotation angular velocity of the shoulder joint at REL is greater in TO, whereas the elbow extension angular velocity is greater in PT.

These findings suggest that TO may use a more compact arm action towards release compared to PT, and that the run-up and trunk inclination movements could contribute to the increase in shoulder internal rotation angular velocity and ball velocity.