

大学野球捕手の二塁送球時における下肢の動作と 動作時間および送球速度との関係

鈴木 智 晴* (鹿屋体育大学)
友 清 賢 人 (鹿屋体育大学大学院)
藤 井 雅 文 (鹿屋体育大学)
村 上 光 平 (小田原短期大学 保育学科)
前 田 明 (鹿屋体育大学)

Relationships between lower limb movements and either motion duration time or ball speed while throwing to second base in college baseball catchers.

Chiharu Suzuki¹⁾, Kento Tomokiyo²⁾, Masafumi Fujii¹⁾,
Kohei Murakami³⁾ and Akira Maeda¹⁾

Abstract

Previous studies have examined the relationship between the duration of motion time (MT) and ball speed (BS) in catchers. However, it is unknown how lower limb movements are associated with MT and BS during throws to second base. The present study aimed to elucidate this by examining 21 university baseball catchers. The participants were instructed to catch a ball thrown by a pitcher and to throw it from home plate to second base with maximum effort. The kinematics of throwing motions were recorded by using a 3D motion analysis system and force plate. The throwing motions were divided into three phases. Duration of each phase, BS, and lower limb joint angles were then analyzed. The results revealed a significant positive correlation between MT and the time from catching the ball to the pivot foot contacting the ground (PIT). Furthermore, PIT exhibited significant correlations with the flexion-extension angle of the right and left hip joints at the times which the players caught the ball and the right and left knee joints at that the pivot foot touched the ground (Pon). BS demonstrated a significant correlation with the adduction-abduction angle of the hip joint in the pivot foot at Pon and the internal and external rotation angles of the hip joint in the stride foot when the stride foot touched the ground. This study suggests that the catchers shorten MT by extending the right and left hip joints and flexing the right and left knee joints from the catching to pivot foot contact. Furthermore, they increase BS by abduction of the pivot leg hip joint, extension of the knee joint, and neutral position of the axis of internal and external rotation of the stride leg between pivot foot contact and stride foot contact.

Key words: Preventing stolen bases, Kinematics, 3D motion analysis

I. 緒 言

野球において、盗塁の中で最も多いのは、一塁から二塁に走る盗塁（以下、二盗と称す）である（川端ほか、

2013）。盗塁阻止は捕手の重要な役割の一つであり、その成否は、その後の試合の流れや結果を大きく左右する（Thomas and Jason, 2008）。二盗を阻止するためには、捕球してからリリースするまでの時間（以下、動作時間と

*：責任著者

1) *National Institute of Fitness and Sports in Kanoya*

2) *Graduate School of Physical Education, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya*

3) *Odawara Junior College, Nursery Department*

連絡先 鈴木智晴 c-suzuki@nifs-k.ac.jp

称す)と送球の滞空時間を短縮することが重要であり、先行研究の多くは、動作時間や滞空時間とその二つの合計時間との関係を検討している。竹林ほか(2014)は、動作時間の短い捕手の方が、合計時間が短いことを報告しており、他の研究では捕球から軸足が接地するまでの時間が動作時間に影響を及ぼしていること(蒲池ほか, 2015; 鈴木ほか, 2023; 竹林ほか2014)や、送球の滞空時間が合計時間に影響を及ぼすことが指摘されている(蒲池ほか, 2015; 川端ほか, 2013)。しかしながら、二塁送球時の動作と動作時間および送球速度との関係性については不明である。

指導書によると、捕手が捕球してからボールが2塁に到達するまでの時間が1.9秒以下だと一流クラスだといわれている(古田, 2009)。動作時間を短くしようとすると送球速度が低下して滞空時間が長くなり、滞空時間を短くしようとすると動作時間が長くなる(平野, 2016)。このような相反関係に対し、捕手は短い動作時間と高い送球速度を両立させようと努めていると推察される。事実、梶田ほか(2019)の研究によると、プロ野球選手はアマチュア選手よりも動作時間が短く、特に優れたプロ野球選手は動作時間を短縮しつつ、高いボール速度を可能とする送球動作を行っていることが報告されている。また、大学野球選手を対象とした鈴木ほか(2023)の研究では、動作時間の短い捕手は、捕球時あるいは捕球前から、前方への身体重心速度が大きく、送球速度の大きな捕手は、軸足接地後の左側(右打者側)への重心速度ならびに踏込足接地後の鉛直方向の速度が小さいことが示されている。しかしながら、これら捕手の動作を検討した先行研究では、身体重心や身体部位(足、膝、股関節)の並進速度、ピボット長(軸脚の移動距離)やストライド長(踏込脚の移動距離)の分析に留まっている。また、どのような下肢関節の運動が動作時間や送球速度に関係しているのかは不明である。

捕手の二塁送球動作は通常の投球動作とは異なり、座位姿勢から素早い動作で強い送球を行わなければならない。捕手特有の下肢の動作が二塁送球動作に影響を及ぼしていることが推察される。送球パフォーマンスにとって重要な役割を果たす下肢の動作に加え、動作時間および送球速度との関係を検討することは、二塁送球に要する時間を短縮するための練習方法や指導方法考案の一助となると考えられる。

そこで本研究は、大学野球捕手を対象に、二塁送球動作における下肢の動作と動作時間および送球速度との関係を明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 対象者

対象者は、日本大学野球連盟に所属し、捕手を専門とする男子大学野球選手21名(年齢: 20.4 ± 2.0 歳, 身長: 170.9 ± 4.7 cm, 体重: 73.5 ± 5.8 kg, 捕手歴: 7.3 ± 3.3 年)で全員が右投げであった。なお、本研究は鹿屋体育大学倫理審査小委員会の承認(承認番号: 第15-12号)を得た。研究の実施に際しては、対象者に、本研究の内容、目的、結果の秘匿および研究に伴うリスクについて説明し、本人より書面にて実験参加の同意を得た。

2. パフォーマンステスト

図1は、実技試技の実験設定および撮影範囲を示したものである。なお、本研究におけるパフォーマンステストの実施方法は鈴木ほか(2023)に倣った。パフォーマンステストは、投手が本塁から10m離れた位置から投球したボールを対象者が捕球し、最大努力で本塁から二塁まで(38.795m)を送球するものとした。対象者には、実技試技を開始する前に「試合と同様の送球を行うこと」という指示を与え、より実戦に近い状況で測定を実施できるよう留意してもらった。実技試技の際、投手には「可能な限り同じフォームかつ球速(対象者が試合時と同様の動作を実施出来る速度)でストライクゾーンの真中周辺に投球するように」と指示し、全ての試技で直球を投じてもらった。また、測定条件を統一するために打者を立たせずに測定を行った。対象者の試技開始位置については、各局面に要する時間に影響はないと考え、対象者の試技開始位置を定めないものとした。

パフォーマンステストに先立ち、対象者にはストレッチを含むウォーミングアップを十分に行ってもらった後、実験環境下に慣れるまで送球練習を3~5回行ってから測定を開始した。実技試技は20~25球とし、試技ごとに二塁送球の満足度に関する内省を5点満点で口頭にて検者に報告してもらった。

成功試技の判断基準は、①投手の投球がストライクゾーンの真中であること、②対象者がボールを捕球し、送球されたボールを二塁の捕球者が捕球できたこと、③送球がノーバウンドであること、および④内省が3点以上であることとした。捕球位置の確認のために、捕球者前面に設置した高速度ビデオカメラ(コーチングカム, LOGICAL PRODUCT社製)を用いて、撮影速度300fpsにて撮影を行った。また、条件①の判断は捕手の後方に控えた検者(野球経験者)が行い、ホームベース中央付近および捕手の捕球姿勢時における首から顔までの高さを「ストライクゾーンの真中」とした。各対象者の成功試技

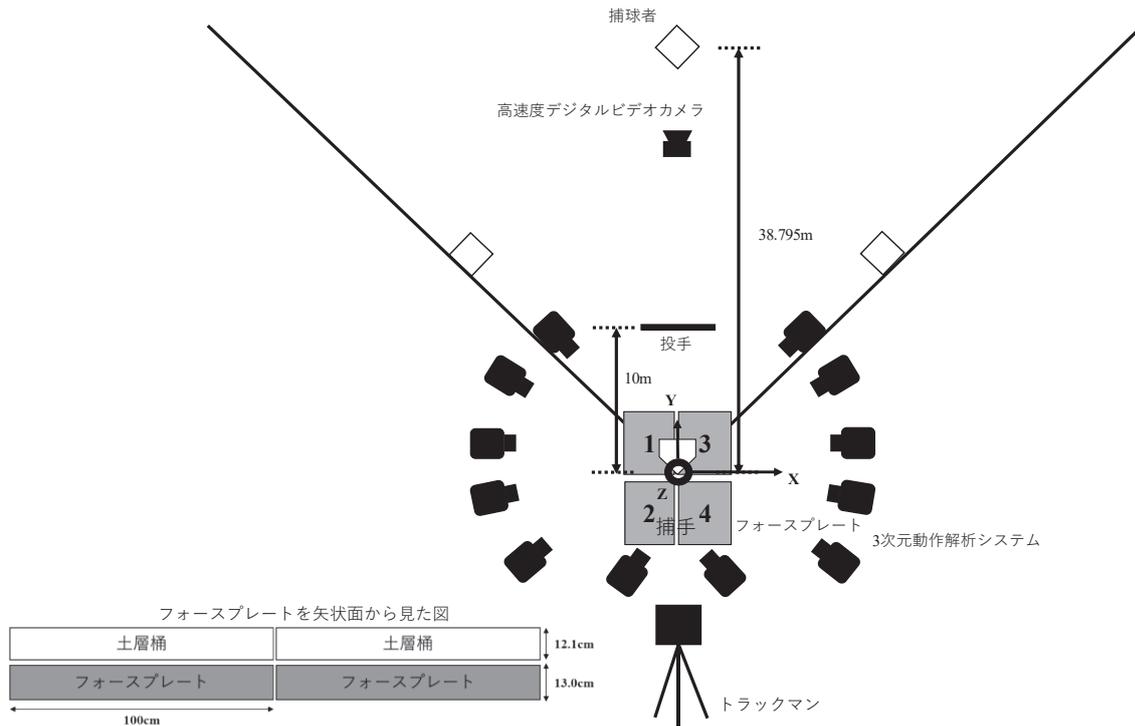


図1 実験設定および撮影範囲

において、「捕球してからボールを二塁に到達させるまでの時間が最も短かった試技」を動作分析の対象試技とした。また、各試技間で対象者自身から疲労があるという申し出があった場合には十分な休息を取った。

本研究においては、対象者の身体に反射マーカを貼付するため、捕手が試合時に着用するマスク、ヘルメット、プロテクターおよびレガース等の防具は着用しなかつ

た。また機材や検者の配置上の理由から、投手を務める検者の投球速度は測定しなかった。

3. データ取得および処理

選手の身体各部分40点、キャッチャーミット3点の計43点(図2)に反射マーカを貼付し、12台のカメラからなる光学式モーションキャプチャーシステム Mac 3D

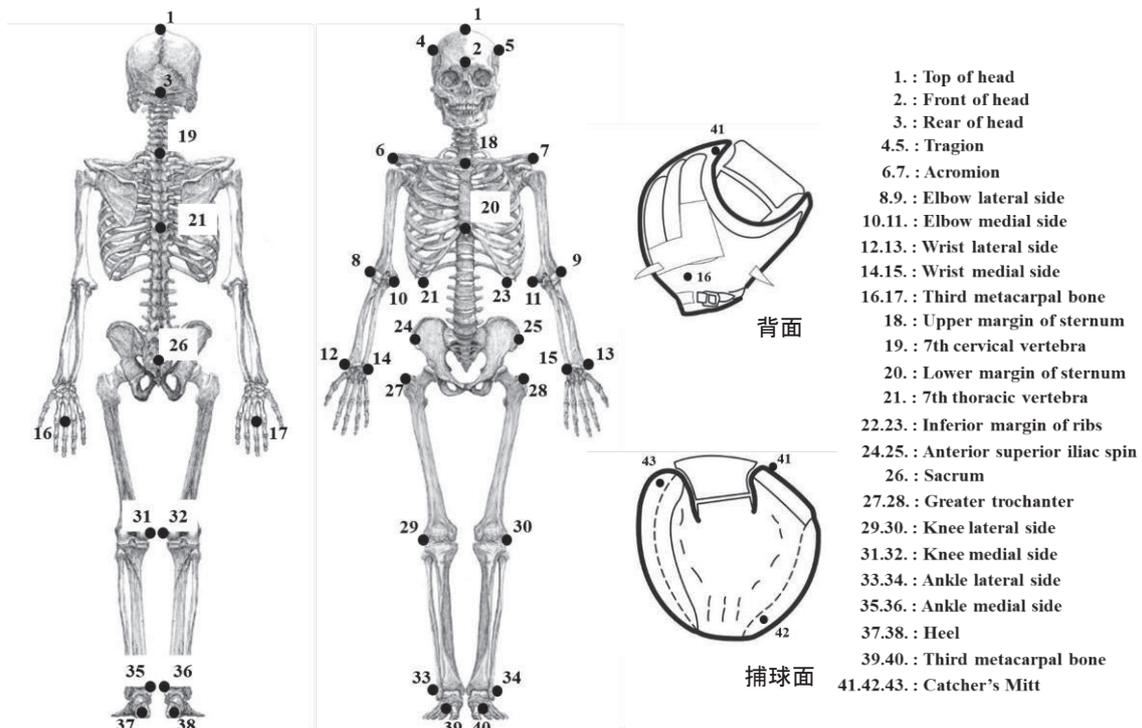


図2 反射マーカの貼付箇所

(Raptor-E, Motion Analysis 社製, サンプル周波数 500Hz) およびフォースプレート 4 枚 (TF-90100, テック技販社製, サンプル周波数 2000Hz) を用いて計測した. 各フォースプレートの上には土層桶 (25-015-301, テック技販社製) を設置し, 桶内には先行研究 (Yanai et al, 2017) と同様に, 粘土ブロック (Mount master®, Turface Athletics™, USA), 赤砂 (アンツーカネオ, 奥アンツーカ社製) および黒土 (薩摩隼土, 大隅黒土販売社製) を敷き詰めた. 粘土ブロックを敷いた後, 赤土と黒土の混合物で粘土ブロックを覆い表面層とした. また各部に水を散布し, 表面を強く叩いて土を固めた. フォースプレートのデータは A/D コンバータ (USB-6259, National Instruments 社製) を介して Mac 3D のソフトウェアである Cortex 8.0 (Motion Analysis 社製) に取り込まれた.

本測定では, 二塁送球を行う対象者から投手を見た際に, 左から右方向を X 軸, 前方向を Y 軸, 鉛直上方向を Z 軸とする静止座標系を定義した (図 1 参照). また, 計測時のキャリブレーション誤差は 1 mm 以下であった. 身体各部位の三次元座標は, Wells and Winter (1980) の方法により最的遮断周波数 (12-34Hz) を決定し, Butterworth digital Filter による平滑化を行った. なお, 加速度に基づきボール捕球を規定する方法を採用したため, キャッチャーミットの座標データについては, 平滑化を行わなかった.

4. 動作局面

本研究は, 先行研究 (川端ほか, 2013; 竹林, 2014; 梶田ほか, 2019) を参考に, ボールの捕球からボールをリリースするまでの 4 つの時点および 3 つの局面に期分けし, 各局面を下記の通り定義した (図 3). 4 つの時点は, ①ボールの捕球時 (以下 Catch と称す), ②軸足の接地時 (以下 Pon と称す), ③踏込足の接地時 (以下 S.on と称す) および④ボールリリース時 (以下「Rel」と称す) と定義した. 3 つの局面は, ① Catch から② Pon までを「Phase 1」, ② Pon から③ S.on までを「Phase 2」,

③ S.on から④ Rel までを「Phase 3」として定義した.

5. 分析項目および算出方法

(1) 動作時点

上記に示した Catch から Rel に至るまでの 4 つの動作時点の定義ならびに算出方法は以下の通りとした.

- 1) Catch: キャッチャーミット背面の上部に貼付したマーカ (図 2, 41 番) の加速度が最大となる時刻を時点と定義した (キャッチャーミットとボールが接触した直後, ミット背面上部に貼付したマーカが変動することにより生じる加速度). 加速度はモーションキャプチャーシステムから得られた三次元座標値を時間二階微分することにより算出した.
- 2) Pon: Catch 後, 図 1 に示す後方 (捕手側) のフォースプレート 2 枚から得られた地面反力の合成成分の合計値が 50N を越えた時点と定義した.
- 3) S.on: Pon 後, 図 1 に示す前方 (投手側) のフォースプレート 2 枚から得られた地面反力の合成成分の合計値が 50N を越えた時点と定義した.
- 4) Rel: 右手第三中手骨に貼付したマーカ (図 2, 17 番) の合成の速度が最大となる時刻を時点と定義した. 速度はモーションキャプチャーシステムから得られた三次元座標値を時間微分することにより算出した.

(2) 時間パラメータ

本研究では, 上記の局面分けをもとに各局面に要した時間を算出した. Phase 1 に要した時間を「Phase 1 Time (以下, P1T と称す)」, Phase 2 に要した時間を「Phase 2 Time (以下, P2T と称す)」, Phase 3 に要した時間を「Phase 3 Time (以下, P3T と称す)」, ① Catch から④ Rel までの主要動作局面に要した時間を「動作時間: Motion Time」とした.

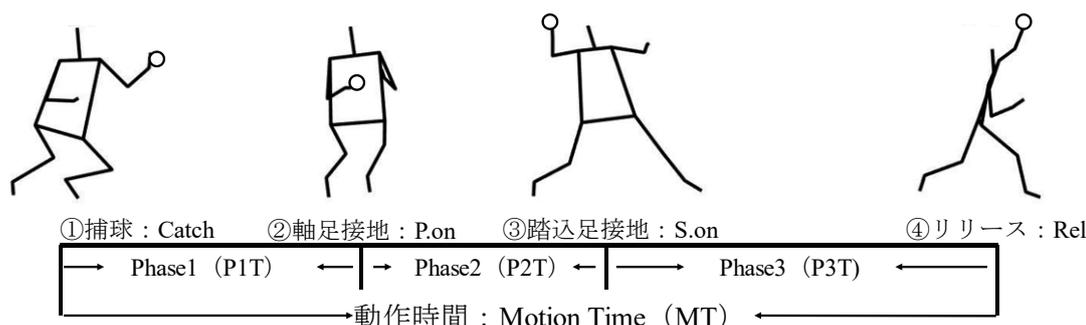


図 3 動作局面

(3) 送球速度

対象者のボールの送球速度は、トラックマンテニスレーダー (Trackman 社製, 以下トラックマンと称す) を用いて計測した (鈴木ほか, 2023). 本研究では、トラックマンが算出する初速度 (リリース速度) を送球速度とした. また本塁から二塁までの距離 (38.795 m) を算出された送球速度で除すことにより本塁から二塁に到達するまでの時間を算出した.

(4) 下肢の動作

1) セグメント座標系の定義

① 下胴部 (図 4 (a))

下胴部については、左右股関節中心 (倉林ほか, 2003) の中点 (HIPC) から左右肋骨下端の中点 (RIBC) へと向かうベクトルを z_{lt} , z_{lt} と左股関節中心から右股関節中心へと向かうベクトルの外積より得た単位ベクトルを y_{lt} , y_{lt} と z_{lt} の外積からなる単位ベクトル x_{lt} としてそれぞれ定義した.

② 大腿部 (図 4 (b))

大腿部については、右膝内側 (KneeRI) と右膝外側

(KneeRO) の中点である右膝関節中心 (KneeRC) から右股関節中心 (HipR) へと向かう単位ベクトルを z_{thigh} , z_{thigh} と右膝内側から外側に向かうベクトルとの外積より得た単位ベクトルを y_{thigh} , y_{thigh} と z_{thigh} の外積からなる単位ベクトル x_{thigh} としてそれぞれ定義した.

③ 下腿部 (図 4 (c))

下腿部については、右内顆 (AnkleRI) と右外顆 (AnkleRO) の中点である右足関節中心 (AnkleRC) から右膝関節中心へと向かう単位ベクトルを z_{shank} , z_{shank} と右内顆から右外顆へと向かうベクトルとの外積より得た単位ベクトルを y_{shank} , y_{shank} と z_{shank} の外積からなる単位ベクトル x_{shank} としてそれぞれ定義した.

④ 足部 (図 4 (d))

足部については、右第三中足骨頭 (ToeR) から右踵 (HeelR) へと向かう単位ベクトルを z_{foot} , z_{foot} と右内顆と右外顆へと向かうベクトルとの外積より得た単位ベクトルを y_{foot} , y_{foot} と z_{foot} の外積からなる単位ベクトル x_{foot} としてそれぞれ定義した.

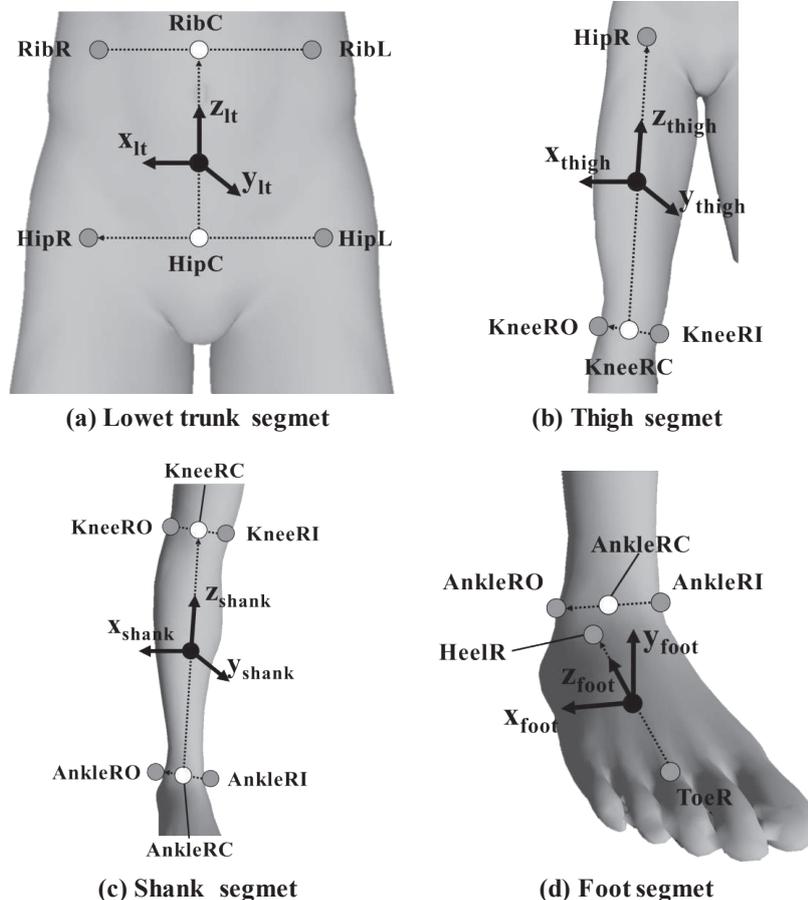


図 4 (a-d) 下肢のセグメント座標系の定義

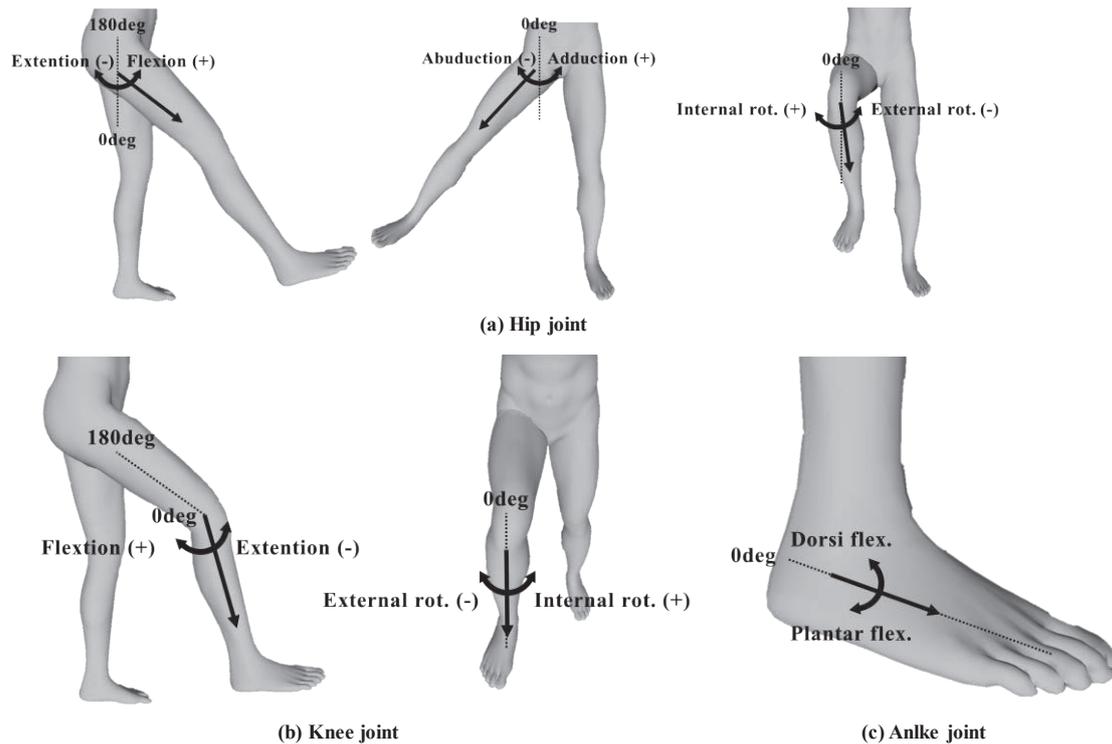


図5 (a-c) 下肢関節角度の定義

2) 関節角度

関節角度については、上述した各局所座標系を用いて遠位部の近位部に対する姿勢変換行列から記述子を、先行研究(阿江ほか, 2019; Cappozzo et al., 2005; Grood and Suntay, 1983)を参考にカルダン順序(x-y-z)により算出した。各下肢関節角度は解剖学的な可動域制限と本研究におけるマーカー貼付箇所を考慮し、股関節は、屈曲伸展(屈曲:正, 伸展:負), 内外転(内転:正, 外転:負), および内外旋(内旋:正, 外旋:負)の3自由度(図5(a)), 膝関節は、屈曲伸展(屈曲:正, 伸展:負), および内外旋(内旋:正, 外旋:負)の2自由度(図5(b)), 足関節は、底背屈(背屈:正, 底屈:負)の1自由度とした(図5(c))。また、CatchからRelで要した時間を100%とし、3次のスプライン関数を用いて、各下肢関節角度を規格化し算出した。

6. 統計処理

基本統計量は平均値 ± 標準偏差(SD)により示した。2変数間の関係を調べるためにPearsonの積率相関係数を用いた。なお本研究の統計的有意水準は5%とし、有意であった相関係数の大きさは、0.90~1.00を非常に高い相関関係, 0.70~0.90を高い相関関係, 0.40~0.70を中程度の相関関係, 0.20~0.40を低い相関関係であると判断した(長澤と南, 2013)。統計処理は、統計処理ソフト(IBM SPSS Statistics 26, IBM社製)を用いて行った。

Ⅲ. 結果

1. 時間パラメータと送球速度との関係

表1に時間パラメータと送球速度との相関係数をまとめた。動作時間とP1TおよびP2TとP3Tとの間に中程度の有意な相関関係が認められた。動作時間と有意かつ

表1 時間パラメータおよび送球速度との関係

	Mean ± SD	r				
		MT	P1T	P2T	P3T	Bs
MT (s)	0.68 ± 0.06	—				
P1T (s)	0.25 ± 0.06	0.69**	—			
P2T (s)	0.23 ± 0.05	0.27	-0.27	—		
P3T (s)	0.20 ± 0.04	0.17	-0.04	-0.52*	—	
Bs (km/h)	119.5 ± 5.3	-0.12	-0.17	0.03	0.03	—

r: Correlation coefficient

MT: Motion Time Bs: Ball speed

** : $p < 0.01$

* : $p < 0.05$

最も高い相関関係を示した時間パラメータはP1Tであったことから、以降では下肢の動作と動作時間ならびにP1Tおよび下肢の動作と送球速度との関係を示す。

2. 下肢の動作と動作時間との関係

表2に各動作時点における下肢関節角度の基本統計量を、表3に各動作時点での下肢関節角度と動作時間、表4に各動作時点での下肢関節角度とP1Tとの相関係数をまとめた。また図6に軸脚、図7に踏込脚のCatchからRelまでの股関節 (a, b, c), 膝関節 (d, e), 足関節

(f) の角度変位を示した。なお、本研究の対象者は、すべて右利きであったことから、軸脚が右脚、踏込脚が左脚となる。

Catch時の左右の股関節屈曲伸展位および軸脚股関節内旋外旋角度とP1Tとの間に中程度の有意な正の相関関係が認められた(表4)。また、Pon時の左右の膝関節屈曲伸展位と動作時間およびP1Tとの間に中程度の有意な負の相関関係が認められた(表3.4)。さらに、Rel時の踏込脚の膝関節屈曲伸展位とP1Tとの間に中程度の有意な負の相関関係が認められた(表4)。

表2 各動作時点における下肢関節角度

		Catch		P.on		S.on		Rel	
		PL	SL	PL	SL	PL	SL	PL	SL
Hip	F/E	116.8±11.9	111.5±17.9	87.4±13.9	78.0±16.2	62.7±19.0	64.5±16.2	29.6±13.6	93.6±13.3
	A/A	-20.1±7.9	-24.6±6.9	-11.0±5.8	-10.6±9.0	-32.2±5.9	-29.5±6.3	7.3±2.6	5.2±5.7
	IR/ER	-29.4±10.0	8.1±13.0	-23.5±12.0	-9.0±10.8	-39.7±12.0	-1.3±12.7	15.6±10.2	28.6±12.3
Knee	F/E	102.2±17.5	126.7±9.3	94.2±10.6	108.1±10.7	60.5±6.5	58.9±8.1	61.5±8.4	35.3±14.7
	IR/ER	-2.4±12.6	11.9±10.8	-7.0±11.2	4.9±14.6	-26.6±10.8	18.6±12.1	-11.3±12.1	-11.4±12.7
Ankle	PF/DF	112.0±13.3	127.9±5.8	105.6±6.5	99.2±7.7	96.4±17.7	85.3±10.7	57.8±8.0	81.7±9.8

PL: Pivot Leg SL: Stride Leg (deg)
F/E: Flexion/Extention IR/ER: Internal/External rot.
A/A: Adduction/Abduction PF/DF: Plantar/Dorsi flex.

表3 各動作時点における下肢関節角度と動作時間との関係

		Catch		P.on		S.on		Rel	
		r (vs PL)	r (vs SL)						
Hip	F/E	0.12	0.26	-0.30	-0.14	-0.11	0.00	0.20	-0.09
	A/A	0.25	0.32	0.19	0.11	0.01	0.27	-0.33	0.13
	IR/ER	0.27	0.32	0.33	-0.18	0.35	-0.06	0.25	-0.25
Knee	F/E	0.37	0.10	-0.63**	-0.63**	-0.25	-0.36	0.20	-0.26
	IR/ER	-0.16	-0.04	-0.09	0.17	0.20	-0.06	-0.11	0.03
Ankle	PF/DF	0.21	0.04	0.13	-0.06	0.02	-0.19	-0.08	-0.22

r: Correlation coefficient ** : p < 0.01
PL: Pivot Leg SL: Stride Leg * : p < 0.05
F/E: Flexion/Extention IR/ER: Internal/External rot.
A/A: Adduction/Abduction PF/DF: Plantar/Dorsi flex.

表4 各動作時点における下肢関節角度とP1Tとの関係

		Catch		P.on		S.on		Rel	
		r (vs PL)	r (vs SL)						
Hip	F/E	0.57**	0.66**	-0.11	-0.04	0.11	0.01	0.31	-0.09
	A/A	-0.16	-0.08	0.06	-0.04	0.07	0.17	-0.23	0.02
	IR/ER	-0.04	0.45*	-0.07	-0.05	0.10	-0.31	0.11	-0.01
Knee	F/E	0.39	-0.06	-0.64**	-0.64**	-0.09	-0.10	0.12	-0.54*
	IR/ER	0.12	-0.13	0.15	-0.01	0.13	-0.20	-0.20	-0.13
Ankle	PF/DF	0.45	0.32	-0.03	0.34	0.29	0.21	0.18	-0.15

r: Correlation coefficient ** : p < 0.01
PL: Pivot Leg SL: Stride Leg * : p < 0.05
F/E: Flexion/Extention IR/ER: Internal/External rot.
A/A: Adduction/Abduction PF/DF: Plantar/Dorsi flex.

軸脚の各下肢関節の変位について、股関節の屈曲伸展軸では動作終盤にかけて伸展角が大きくなること（図6 (a)）、内外転軸では動作中のほとんどの時間が外転位で、75%時点で外転角が最も大きくなり、内外旋軸も同様の変位を示すことが明らかとなった（図6 (b,c)）。膝関節の屈曲伸展軸では、0~30%時点にかけて屈曲と伸展を繰り返すが、30%時点以降は動作終盤にかけて伸展角が大きくなり（図6 (d)）、内外旋軸では動作中のほとんどの時間が外旋位で、80%時点で外転角が最も大きくなること示された（図6 (e)）。足関節の底背屈軸では動作終盤にかけて底屈角が大きくなった（図6 (f)）。

踏込脚の各下肢関節の変位について、股関節の屈曲伸展軸ではS.on時にかけて伸展角が大きくなり、その後は屈曲角が大きくなった（図7 (a)）。内外転軸では軸脚と同様、動作中のほとんどの時間が外転位で、60%時点で外転角が最も大きくなった（図7 (b)）。内外旋軸では15~40%時点で外旋位、50~60%時点で内旋位、65~80%で中立位、以降は内旋角が大きくなり内旋位であった（図7 (c)）。膝関節の屈曲伸展軸では動作終盤にかけて伸展角が大きくなること（図7 (d)）、内外旋軸では、動作中のほとんどの時間が内旋位で、60%時点で内旋角が最も大きくなること示された（図7 (e)）。足関節の底

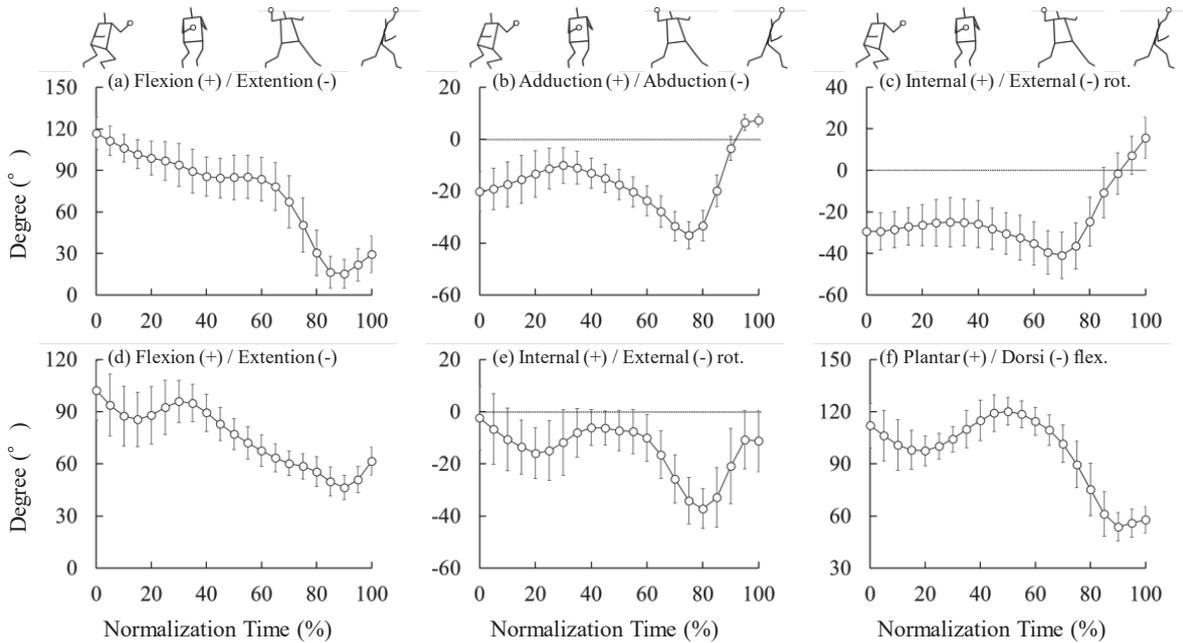


図6 軸脚の角度変位 (a), (b), (c) : 股関節 ; (d), (e) : 膝関節 ; (f) : 足関節

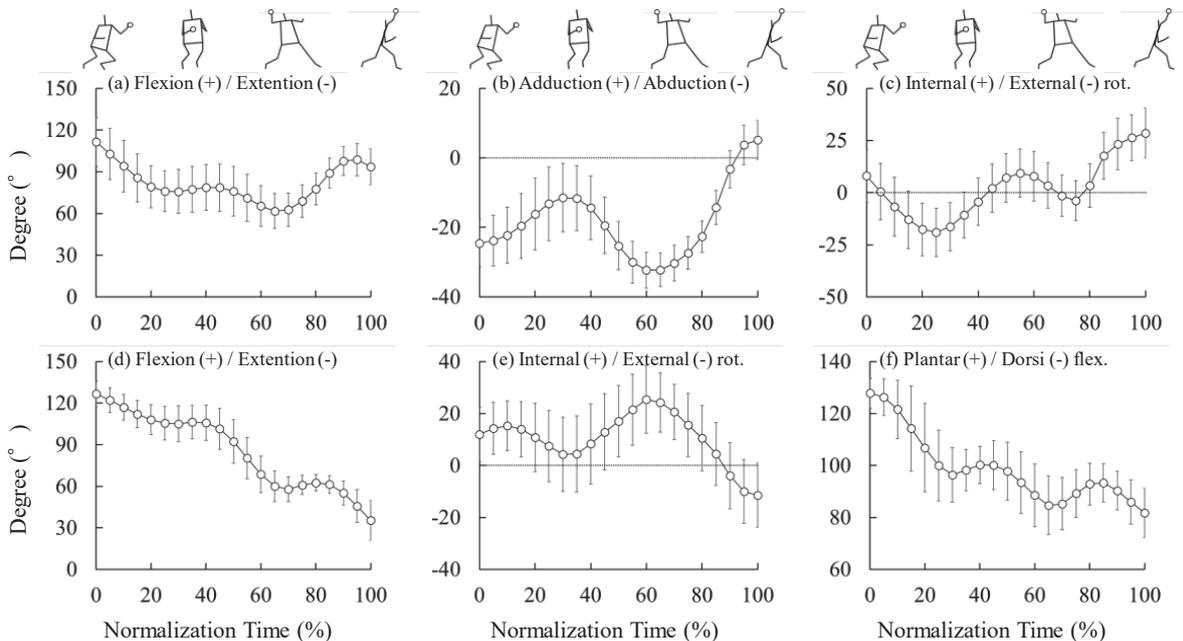


図7 踏込脚の角度変位 (a), (b), (c) : 股関節 ; (d), (e) : 膝関節 ; (f) : 足関節

表5 各動作時点における下肢関節角度と送球速度との関係

		Catch		P.on		S.on		Rel	
		<i>r</i> (vs PL)	<i>r</i> (vs SL)						
Hip	F/E	-0.10	-0.23	-0.12	-0.17	-0.45*	-0.13	0.23	0.40
	A/A	0.25	0.00	-0.48*	0.07	-0.26	0.37	0.16	0.23
	IR/ER	0.25	0.10	-0.14	0.32	0.15	0.46*	0.12	0.12
Knee	F/E	0.14	0.05	-0.16	-0.14	-0.52*	0.08	-0.18	0.21
	IR/ER	-0.18	-0.04	-0.26	0.12	-0.43	-0.01	-0.01	0.17
Ankle	PF/DF	0.16	-0.33	-0.03	-0.18	-0.30	-0.07	0.05	-0.12

r: Correlation coefficient

*: $p < 0.05$

PL: Pivot Leg

SL: Stride Leg

F/E: Flexion/Extention

IR/ER: Internal/External rot.

A/A: Adduction/Abduction PF/DF: Plantar/Dorsi flex.

背屈軸では軸脚と同様、動作終盤にかけて底屈角が大きくなった (図7 (f)).

3. 下肢の動作と送球速度との関係

表5に各動作時点での下肢関節角度と送球速度との相関係数をまとめた。P.on時では、軸脚の股関節内転外転角度と送球速度との間に中程度の有意な負の相関関係が認められた。S.on時では、軸脚の股関節および膝関節屈曲伸角度度、踏込脚の股関節内旋外旋角度と送球速度との間に中程度の有意な相関関係が認められた。

IV. 考 察

P1Tは動作時間、Catch時の左右の股関節およびP.on時の膝関節の屈曲伸角度と有意な相関関係を示した (表1. 4)。一方、送球速度は、P.on時の軸脚股関節の内転外転角度、S.on時の軸脚股関節および膝関節の屈曲伸角度と踏込脚股関節の内旋外旋角度と有意な相関関係を示した (表5)。これらの結果は、動作時間が左右の股関節および膝関節の屈曲伸運動に、送球速度が軸脚股関節の内転外転運動および踏込脚股関節の内旋外旋運動に関係していることを示している。以下、下肢の動作と動作時間および送球速度との関係についてそれぞれ考察する。

1. 下肢の動作と動作時間との関係

動作時間とP1Tとの間に中程度の有意な正の相関関係が認められた (表1)。梶田ほか (2019) は、捕手の二塁送球動作の巧拙を決定する時間的要因として始動局面時間 (本研究におけるPIT) を挙げており、その時間が短い方が巧みであるとしている。また、大学野球捕手を上位群と下位群に分けて比較した竹林ほか (2014) は、動作時間および1st局面の動作時間 (本研究におけるPIT) において、上位群は下位群よりも有意に小さな値を示したことを報告している。さらに、捕球から軸足接

地までの時間 (本研究におけるPIT) と動作時間の間に有意な正の相関関係が認められている (蒲池ほか, 2015; 鈴木ほか, 2023)。本研究の結果は、これら先行研究の知見を支持する結果であり、動作時間の短縮にはPITの短縮が重要であることを改めて示唆するものである。

P1Tは、Catch時における左右の股関節屈曲伸角度および軸脚の股関節内旋外旋角度、P.on時における左右の膝関節屈曲伸角度およびRel時における踏込脚の膝関節屈曲伸角度と中程度の有意な相関関係であった (表3. 4, 図6. 7)。これらの結果は、P1Tの短い捕手ほど、Catch時の左右の股関節の伸角度および軸脚股関節の外旋角、P.on時の左右膝関節の屈曲角およびRel時の踏込脚膝関節の屈曲角が大きいことを示している。鈴木ほか (2023) は、動作時間は捕球時における投球方向の身体重心速度と有意な負の相関関係、鉛直方向の身体重心速度と有意な正の相関関係であったことを述べている。また同報告によれば、投球方向の身体重心速度は捕球から踏込足接地まで大きくなること、鉛直方向の身体重心速度は捕球から軸足接地にかけて小さくなり、軸足接地後は速度が0、踏込足接地後からボールリリースまでに僅かに増大することが示されている。これら一連の知見と本研究の結果を鑑みると、動作時間の短い捕手はCatch時に左右の股関節の伸運動により投球方向の身体重心速度を増大させ、Catch後に膝関節の屈曲角の増加により鉛直方向の身体重心速度の増大を抑えることで、P1Tを短縮しているといえる。

また、捕手の二塁送球動作において、Catch時に捕手は、投手に対して正面を向く体勢であるが、P.on後に投手に対して横を向く体勢になる (野口, 2016)。このような動作上の変化と本研究の結果を考え合わせると、動作時間の短い捕手は、Catch時に軸脚股関節の外旋角を大きくすることにより、体勢の変更と軸足の接地を素早く

行なうことでPITを短縮していることが推測される。またこの身体の向きの変更は、投手の投球動作とは異なる下肢の動作であり、股関節の外旋と膝関節の屈曲は、素早く身体の向きを変えること、そして鉛直方向への身体重心速度の増大を抑制する役割を果たしているといえる。

2. 下肢の動作と送球速度との関係

送球速度は、Pon時における軸脚の股関節内転外転角度とS.on時における軸脚の股関節および膝関節の屈曲伸展角度と中程度の有意な負の相関関係であった(表5, 図6)。このような結果は、送球速度の大きな捕手ほどPon時の軸脚股関節の外転角が大きく、S.on時の軸脚股関節および膝関節の伸展角が大きいことを示唆する。蔭山ほか(2015)は、投手の投球動作において、軸脚は股関節の外転および膝関節の伸展による力発揮によって、投球方向への「体重移動」を行っているとしている。このような指摘と本研究の結果を考え合わせると、送球速度の大きな捕手はPon時における軸脚股関節の外転角が大きく、S.on時における股関節および膝関節の伸展角を大きくすることで、股関節および膝関節による力発揮によって、投球方向への「体重移動」を行っているといえる。換言すれば、本研究の知見は、投手と同様に捕手の二塁送球動作においても、大きな送球速度を達成するためには、軸脚股関節の外転および膝関節の伸展による投球方向への「体重移動」が重要であることを改めて示唆するものといえる。

一方、送球速度はS.on時における踏込脚の股関節内旋外旋角度と中程度の有意な正の相関関係であった(表5, 図7)。またS.on時での踏込脚の股関節内旋外旋角度はほぼ0で中立位であることから(図7)、相関関係に関する本研究の結果は、送球速度の大きな捕手ほどS.on時の踏込脚股関節の外旋角が小さいことを意味する。投球動作中の踏込脚の役割は、軸脚によって得られた体重移動を支えるために重要である(高橋, 2006)。また加速局面(本研究におけるPhase 3)における踏込脚の内側広筋の高い筋活動は、膝関節の位置を制御・固定する一方で、踏込脚股関節は体幹を力強く回転させるために重要な役割を持つ(Campbell et al., 2010)。これらの先行知見は、踏込脚は身体の制御、固定を行い遠位のセグメントを加速させる重要な役割を果たしていることを意味する。しかしながら、投手は股関節の伸展位および内転、膝関節の伸展位により大きな送球速度を獲得している(蔭山ほか, 2015; 島田ほか2000)のに対し、本研究の捕手では、股関節の内外旋動作が送球速度と関係していた。その要因として、動作中の左前方への軸足の移動と

マウンドの有無が挙げられる。梶田ほか(2019)は、捕手の送球動作中の軸足の移動(捕球から軸足接地までの移動)は左前方であることを述べている。本研究においても同様に軸足の移動を求めてみると、左方向に $0.40 \pm 0.17\text{m}$ 、前方向に $0.35 \pm 0.15\text{m}$ 移動していた。また、捕球から踏込足接地時にかけて左方向の身体重心速度を有していることが示されている(鈴木ほか, 2023)。さらに蔭山ほか(2016)は、平地における投球動作はマウンドと比較して、踏込脚接地直後の加速局面では位置エネルギーが得られないため、投手は踏込脚に作用する左方向への地面反力の大きさと割合を大きくして投球を行っている結論づけている。これら一連の先行研究の結果と本研究のそれとを考え合わせると、踏込足接地時において、捕手は左前方への軸足のステップにて左方向の速度を有している身体を固定するために、踏込脚股関節の内外旋軸を中立位にすることで大きな左方向の地面反力を獲得し送球速度を向上させていると考えられる。

V. まとめ

本研究は、大学野球捕手を対象に、二塁送球動作における下肢の動作と動作時間および送球速度との関係を明らかにすることを目的とした。その結果、動作時間とPITとの間には中程度の有意な正の相関関係が認められた。また、PITに関係している下肢の動作は主に、Catch時の左右の股関節およびPon時の膝関節の屈曲伸展運動であった。一方、送球速度に関係している下肢の動作は、主にPon時の軸脚股関節の内転外転運動、S.on時の軸脚膝関節の屈曲伸展運動と踏込脚股関節の内旋外旋運動であった。以上の結果から捕手は、1) 捕球から軸足接地にかけて、左右の股関節を伸展、左右の膝関節を屈曲させることで動作時間を短くし、2) 軸足接地から踏込足接地にかけて、軸脚股関節の外転と膝関節の伸展、踏込脚股関節の内外旋軸を中立位にすることにより送球速度を大きくしていることが示唆された。

VI. 謝辞

本論文の作成にあたり、多大なるご指導と助言を賜りました金久博昭先生に心より感謝申し上げます。

文献

- 1) 阿江教通・小池関也・川村卓・中島亮一(2019) 野球打撃における身体の回転運動に対する下肢のキネマティクスについて：地面反力によるモーメントの上位群と下位群の比較。体育学研究, 64(1): 135-149.
- 2) Campbell, B. M., Stodden, D. F. and Nixon, M. K. (2010) Lower extremity muscle activation during baseball pitch-

- ing. J. Strength. Cond. Res., 24 (4): 964-971.
- 3) Cappelzozzo, A., Della Croce, U., Leardini, A. and Chiari, L. (2005) Human movement analysis using stereophotogrammetry. Part I: Theoretical background. *Gait Posture*, 21 (2): 186-196.
 - 4) 古田敦也 (2009) フルタの方程式. 朝日新聞出版, pp. 52-63.
 - 5) Groot, E. S. and Suntay, W. J. (1983) A Joint Coordinate System for the Clinical Description of ThreeDimensional Motions: Application to the Knee. *J. Biomech. Eng.*, 105 (2): 136-144.
 - 6) 平野裕一 (2016) 科学する野球 ピッチング&フィールドディング. 株式会社ベースボールマガジン社, pp. 180-181.
 - 7) 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 (1) : 87-102.
 - 8) 蔭山雅洋・鈴木智晴・藤井雅文・中本浩揮・和田智仁・前田明 (2016) 野球投手におけるマウンドと平地からの投球のバイオメカニクスの比較: 投球速度および投球動作中の下肢および体幹の動作に着目して. *体育学研究*, 61 (2) : 517-535.
 - 9) 梶田和宏・川村卓・島田一志・金堀哲也・八木快 (2019) 我が国のプロ野球捕手における二塁送球動作の特徴分析. *コーチング学研究*, 32 (2) : 171-187.
 - 10) 蒲池政人・鈴木淳・山本裕太郎・市丸直人 (2015) 捕手の二塁送球動作の運動学的研究. *福岡教育大学紀要*, 第5分冊, 芸術・保健体育・家政科編, 福岡教育大学編, 64 : 129-133.
 - 11) 川端浩一・浦田達也・伊藤章 (2013) 捕手の二塁送球動作における時間分析. *コーチング学研究*, 26 (2) : 197-202.
 - 12) 倉林準・持丸正明・河内まき子 (2003) 股関節中心推定方法の比較・検討. *バイオメカニズム学会誌*, 27 (1) : 29-36.
 - 13) 長澤吉則・南雅樹 (2013) 関連の分析. 出村慎一監・佐藤進・山次俊介・長澤吉則編. *健康・スポーツ科学のためのSPSSによる統計解析入門* 第3版. 杏林書院, pp. 64.
 - 14) 野口寿浩 (2016) 投手の力を引き出せ! キャッチャー完全マスター. 株式会社ベースボールマガジン社, pp. 48-87.
 - 15) 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の研究. *バイオメカニクス研究*, 4 : 47-60.
 - 16) 鈴木智晴・藤井雅文・前田明 (2023) 大学野球捕手の二塁送球時における身体重心速度の経時的変化と動作時間ならびに送球速度との関係. *トレーニング科学*, 35 (1) : 53-62.
 - 17) 高橋佳三 (2006) 投動作を助ける脚のはたらき. *体育の科学*, 56 (3) : 174-180.
 - 18) 竹林和史・升 佑二郎・田中重陽・手島貴範・高橋佑輔・宮崎光次・角田直也 (2014) 野球捕手の素早いスローイング動作を導く体幹と下肢に関する運動学的要因. *東京体育学研究*, 5 : 1-8.
 - 19) Tomas M. L. and Jason L. B. (2008) Assessing pitcher and catcher influences on base stealing in Major League Baseball. *J. Sports Sci.*, 26 (1): 15-20.
 - 20) Yanai T., Matsuo A., Maeda A., Nakamoto H., Mizutani M., Kanehisa H. and Fukunaga T. (2017) Reliability and validity of kinetic and kinematic parameters determined with force plates embedded under a soil-filled baseball mound. *J. Appl. Biomech.*, 33 (4): 305-310.
 - 21) Wells, R.P. and Winter, D.A. (1980) Assessment of signal noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. *Human locomotion.*, I: 92-93.

(令和5年6月5日受付)
(令和5年11月17日受理)