

# 一塁への牽制の速い右投げ投手の特徴

田邊 智, 川端 浩一

Characteristics of right-handed pitchers with quick pickoff to first base

Satoru Tanabe<sup>1)</sup>, Koichi Kawabata<sup>2)</sup>

## Abstract

The purpose of this study was to clarify the characteristics of right-handed pitchers with a quick pickoff movement to first base. Ten collegiate baseball players participated in the study. The three-dimensional coordinates of reflective markers attached to the subjects and to the ball during a quick pickoff movement to first base were obtained using a motion capture system with 22 cameras (250 Hz). A significant positive correlation was found between the pickoff time and the motion time from the beginning of the pickoff movement to ball release ( $r = 0.894$ ). However, no significant correlation was found between the pickoff time and the airborne time from ball release to reaching first base. These results indicate that it is important to shorten the motion time in order to achieve a quick pickoff. There was also a significant positive correlation between the stepping time from the beginning of pickoff movement to foot contact with the ground and the pickoff time ( $r = 0.731$ ), but not between the throwing time from the foot contact with the ground to ball release. That is, it is necessary to reduce the stepping time in order to shorten the motion time. Players with short stepping times tended to exhibit a high rotational acceleration of their torso ( $r = -0.926$ ). These results suggest that it is important to reach the maximum rotational velocity of the torso in the shortest time possible, and then quickly make foot contact with the ground in order to reduce the stepping time.

**Key words** : motion time, stepping time, rotational acceleration

## 1. 緒言

野球において、投手は走者が塁へ出ている場合、打者への投球に関連する動作を起こすまでなら、いつでも走者のいる塁を守る野手へ送球（以下「牽制」と略す）することができる（日本プ

ロフェッショナル野球組織／全日本野球協会編, 2019）。牽制の目的として、相手の仕掛ける作戦を見破ること、打者の集中力を切らすこと、盗塁を防ぐため走者へ大きなリードを取らせないようにすること、そして塁を離れた走者をアウトにすることなどが挙げられる。牽制には、軸足（右投

1) 近畿大学経営学部 〒 577-8502 大阪府東大阪市小若江 3-4-1

Faculty of Business Administration, Kindai University 3-4-1 Kowakae, Higashi-Osaka, Osaka, 577-8502, Japan

2) 和歌山県立医科大学みらい医療推進センター 〒 640-8033 和歌山市本町 2-1

Institute of Sports Science and Environmental Physiology, Wakayama Medical University 2-1 Hommachi, Wakayama, 640-8033, Japan

連絡先：田邊 智 ✉ satoru@bus.kindai.ac.jp

げ投手にとっては右足のこと)を投球板から外した牽制と、軸足を投球板から外さない牽制とがある。投手は軸足を投手板の後ろへ外した場合、内野手としてみなされるため、牽制に関して野球規則上の制約はない。一方、軸足を投球板から外さない牽制では、次に上げるような制約がある。つまり、投球板に触れながら一塁または三塁に牽制するまねだけをして実際に牽制しなかったり、塁へ送球する前に牽制する塁の方向へ自由な足(右投げ投手にとっては左足のこと)を直接踏み出さなかったり、投手が実際に踏み出さないで自由な足の向きを変えたり、少し上にあげて回したり、踏み出す前に身体の向きを変えて送球したりするとボークとなる(日本プロフェッショナル野球組織/全日本野球協会編, 2019)。なお、ここで「踏み出す前に身体の向きを変えて」とは、足の動きよりも先に肩が開くことを意味し、足を踏み出すために足の動きが先行して身体が開いてもボークとはならない。軸足を投手板から外した牽制に比べ、軸足を外さない牽制の方が走者の意表を突くことができるので、走者をアウトにするには軸足を外さない牽制の方が有利だと考えられるが、走者をアウトにするためには、上述したような厳しい制約に触れないで素早く牽制しなければならない。牽制で走者をアウトにすることができれば、試合の流れを大きく変え、試合を優位に進めることができるので、投手にとって重要な技術のひとつであると考えられる。しかし、実際のコーチングの現場では、セットポジションの取り方などに指導のポイントが置かれ(石橋, 2011)、牽制の技術的な指導に時間が費やされることは少ない。

これまで投手の投動作に関するバイオメカニクスの研究は数多くなされてきたが、そのほとんどはホームベースへのピッチング動作を分析したものである(Escamilla et al., 1998; Fleisig et al., 1999; 蔭山ほか, 2016; Matsuo et al., 2001; 宮西ほか, 1996; 島田ほか, 2000; 高橋ほか, 2005)。一方、塁を守る野手への牽制動作を分析した研究はひとつしかない(Fortenbaugh and Butcher-Mokha, 2007)。Fortenbaugh and Butcher-Mokha(2007)

はホームベースへのピッチング動作と一塁への牽制動作を分析しているが、その2つの動作を比較しているだけで、走者をアウトにするための素早い牽制動作について調べていない。また、Fortenbaugh and Butcher-Mokha(2007)の研究では左投げ投手を対象に分析しており、いまだ右投げ投手の一塁への牽制動作について調べた研究はない。

そこで本研究では、右投げの大学野球投手に一塁の走者をアウトにするための牽制動作を行わせ、牽制動作の速い投手の特徴を明らかにすることを目的とした。

## 2. 方法

### 2.1 被験者

被験者は大学硬式野球部に所属する男子10名(身長:  $1.77 \pm 0.07$  m, 体質量:  $75.4 \pm 6.3$  kg, 経験年数:  $10.6 \pm 1.6$  年)で、全員が右投げの投手であった。被験者には事前に、実験の目的と内容を十分に説明し、実験参加への同意を得た。

### 2.2 実験方法

被験者に十分なウォーミングアップをさせた後、ピッチャーマウンド上でグラブを胸の前で構えるセットポジションを取らせ、軸足を投手板から外さない一塁への牽制をできるだけ素早く行うよう指示した。なお、送球距離に差が出ないように、被験者全員に投手板の同じ位置から、一塁ベース上に設置したネットへ牽制させた。本研究では、セットポジションで静止しなかったり、一塁方向へ左足を直接踏み出さなかったり、足の動きよりも先に肩が開いたり、動作が一挙動でなかったりするなど、野球技術および野球規則に精通したアマチュア野球公認審判員の資格を持つ検者がボークと判定した試技や、ボークでなくても牽制したボールがネット中央から大きくそれた試技は失敗とした。そして、検者および被験者本人の両方が素早い牽制動作であったと認めたものを成功とし、十分な休憩を挟みながら3つの成功試技が得られるまで続けさせた。なお、アマチュア

野球公認審判員の資格を持つ検者がボークと判定した試技はひとつもなかった。

本研究では、実験の開始前に被験者の身体各部位に34個と、マーカーを結んだ線分の中点がボールの中心になるようボールの両サイドに2個の反射マーカーを貼付し、牽制動作中のマーカーの3次元座標を、3次元動作分析システムVENUS3D(Nobby Tech社製、カメラ22台)を用いて250 Hzで測定した。また、一塁ベース上のネットの側方に3次元動作分析システムと同期したハイスピードカメラMiro4(Vision Research社製)を1台設置し、ボールがネットに接触する映像を250 Hzで撮影した。

## 2.3 分析方法

### 2.3.1 分析区間と局面分け

すべての被験者が左踵離地から牽制動作を開始させていたので、本研究では、左踵離地からボールがネットに接触(一塁へ到達)するまでを分析区間とした。そして、3次元動作分析システムから得られた座標とハイスピードカメラの映像をもとに、牽制動作を次に定義する局面に分け、それぞれの局面に要した時間を求めた(図1)。つまり、まず左踵離地からボールが一塁へ到達するまでの時間を「牽制時間」とした。次に、牽制時間を左踵離地からボールリリースまでの時間である「動作時間」と、ボールリリースからボールが一塁へ到達するまでの「空輪時間」に分けた。最後に、動作時間を左踵離地から左足を一塁方向へ踏み出し、左拇指が接地するまでの「踏出時間」と、左拇指接地からボールリリースまでの「投球時間」に分けた。なお、各被験者の3つの成功試技の中から最も牽制時間の短い試技を、その被験者の代表試技として分析の対象とした。

### 2.3.2 平滑方法

Yu et al.(1999)の残差分析法を用いて、3次元動作分析システムによって得られたマーカーの3次元座標の最適遮断周波数を求め、4次のButterworth Digital Filterを使って平滑座標を算出した(Winter, 2009)。

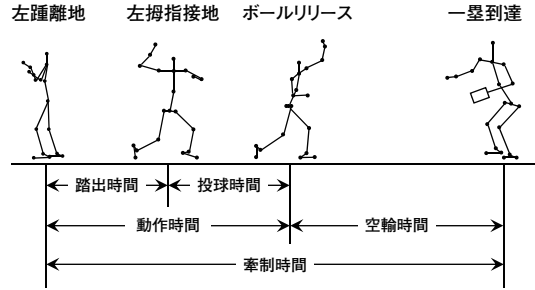


図1. 牽制動作の局面分けの定義

### 2.3.3 ボール初速度の算出

本研究では、ボールの両サイドに貼付したマーカーの3次元座標からその中点(以下「ボール中心」と略す)を求め、ボール中心座標を時間微分することでボール速度を算出した。そして、ボールリリース後0.04秒間の平均合成速度を「ボール初速度」と定義した。

### 2.3.4 ステップ距離の算出

牽制動作開始後、左拇指が接地した瞬間の左拇指から右拇指までの直線距離を計算し、それを「ステップ距離」とした。

### 2.3.5 下胴座標系の定義

図2は下胴に定義した右手系の部分座標系を示している。下胴の長軸を表すRHIPとLHIPの中点からRRIBとLRIBの中点へ向かう単位ベクトルを $Z_{lt}$ とし、LHIPからRHIPへ向かうベクトルを $X'_{lt}$ とした。そして $Z_{lt}$ と $X'_{lt}$ との外積によって得られる方向の単位ベクトルを $Y_{lt}$ とし、 $Y_{lt}$ と $Z_{lt}$ との外積によって得られる方向の単位ベクトルを $X_{lt}$ とした。

### 2.3.6 回旋速度と回旋加速度の算出

本研究では、下胴の分節角速度ベクトル $\omega_{lt}$ の各軸周りの成分( $\omega_{ltx}$ ,  $\omega_{lty}$ ,  $\omega_{ltz}$ )を下胴座標系の各軸方向の単位ベクトルを使って、次式から求めた(和達, 1983)。

$$\omega_{ltx} = Z_{lt} \cdot \frac{dY_{lt}}{dt}, \quad \omega_{lty} = X_{lt} \cdot \frac{dZ_{lt}}{dt}, \quad \omega_{ltz} = Y_{lt} \cdot \frac{dX_{lt}}{dt}$$

なお、 $\omega_{ltz}$ は下胴長軸周りの運動(以下「下胴

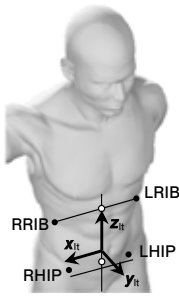


図2. 下胴座標系の定義

回旋角速度」と略す)を示しており、下胴回旋角速度を時間微分することで下胴回旋角加速度を算出した。図3は牽制動作中における下胴回旋角速度の経時の変化の模式図である。この図のようにすべての被験者で二峰性の波形が見られたが、1回目のピークは左足を一塁方向へ踏み出す際に出たもので、2回目のピークはボールを投げるために身体を回旋させた時に出たものである。本研究では、この1回目のピークが現れる波形に着目し、牽制動作開始から左拇指接地までの間の最大下胴回旋角速度(以下「最大回旋速度」と略す)と、牽制動作開始から最大回旋速度が出現するまでの時間(以下「最大回旋到達時間」と略す)、そして牽制動作開始から最大回旋速度が出現するまでの下胴回旋角速度の傾きである平均下胴回旋角加速度(以下、「回旋加速度」と略す)を求めた。

### 2.3.7 統計方法

牽制の速い投手の特徴を明らかにしようと、各分析項目間の関係を調べるため、ピアソンの積率相関係数を求めた。なお、本研究の統計的有意水準は5%とした。

## 3. 結果

ボール初速度の平均値は  $105.1 \pm 7.5$  km/h であった。また、牽制時間、動作時間、空輪時間、踏出時間、そして投球時間の平均値はそれぞれ  $1.30 \pm 0.08$  s,  $0.66 \pm 0.08$  s,  $0.64 \pm 0.04$  s,  $0.51 \pm$

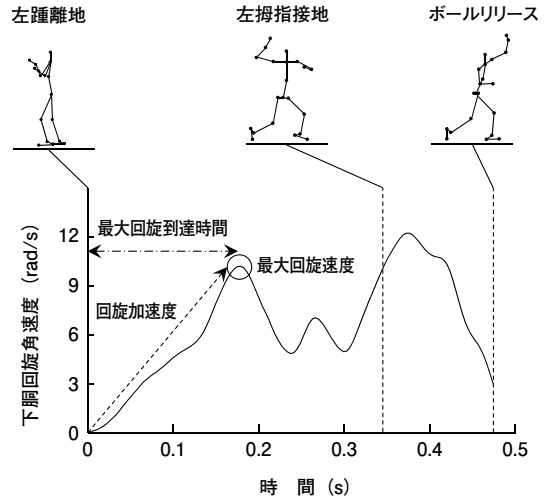


図3. 最大回旋速度、最大回旋到達時間、回旋加速度の定義

$0.08$  s,  $0.15 \pm 0.03$  s で、ステップ距離の平均値は  $1.00 \pm 0.26$  m であった。図4に牽制時間と動作時間および空輪時間との関係を示した。牽制時間と動作時間との間に有意な高い正の相関関係 ( $r = 0.894$ ) が見られたが、牽制時間と空輪時間との間には有意な相関関係は認められなかった。また、図5は牽制時間と踏出時間および投球時間との関係を表している。牽制時間と踏出時間との間に有意な高い正の相関関係 ( $r = 0.731$ ) が見られたものの、牽制時間と投球時間との間には有意な相関関係は認められなかった。さらに、踏出時間とステップ距離との関係について調べたところ、両者の間に有意な相関関係は認められなかった(図6)。

最大回旋速度、最大回旋到達時間、そして回旋加速度の平均値はそれぞれ  $8.46 \pm 1.35$  rad/s,  $0.22 \pm 0.06$  s,  $36.8 \pm 9.1$  rad/s<sup>2</sup> であった。図7は踏出時間と最大回旋速度、最大回旋到達時間、そして回旋加速度との関係を指している。踏出時間と最大回旋速度との間には有意な相関関係は見られなかったものの、踏出時間と最大回旋到達時間との間に有意な正の相関関係 ( $r = 0.662$ ) が、また踏出時間と回旋加速度との間には有意な高い正の相関関係 ( $r = 0.926$ ) が認められた。

## 一塁への牽制の速い投手の特徴

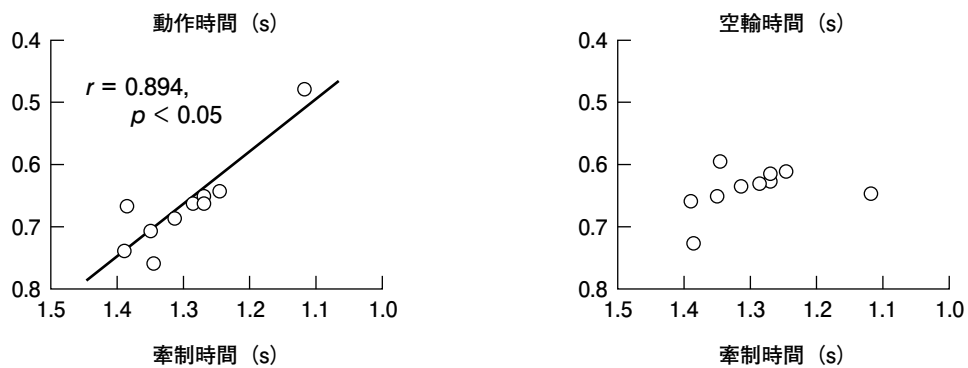


図4. 牽制時間と動作時間および空輸時間との関係

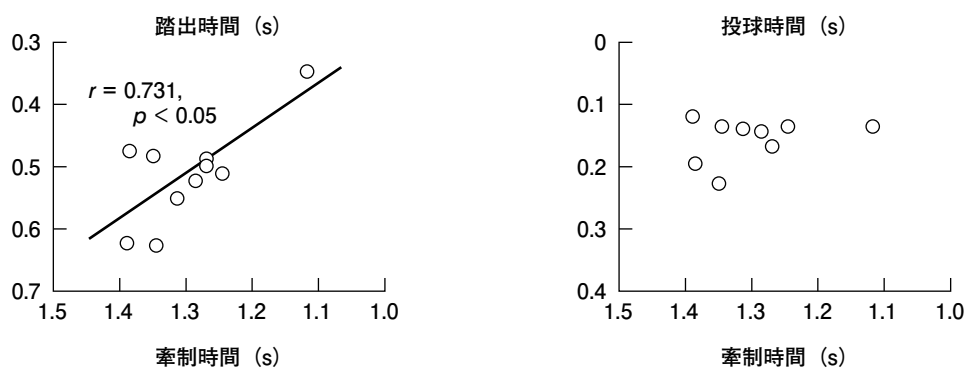


図5. 牽制時間と踏出時間および投球時間との関係

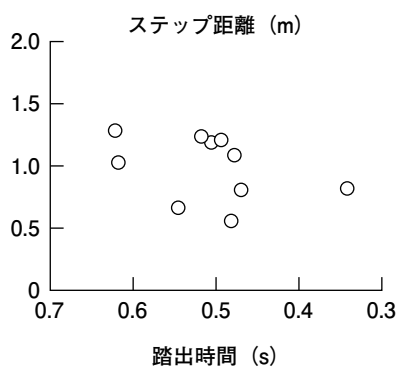


図6. 踏出時間とステップ距離との関係

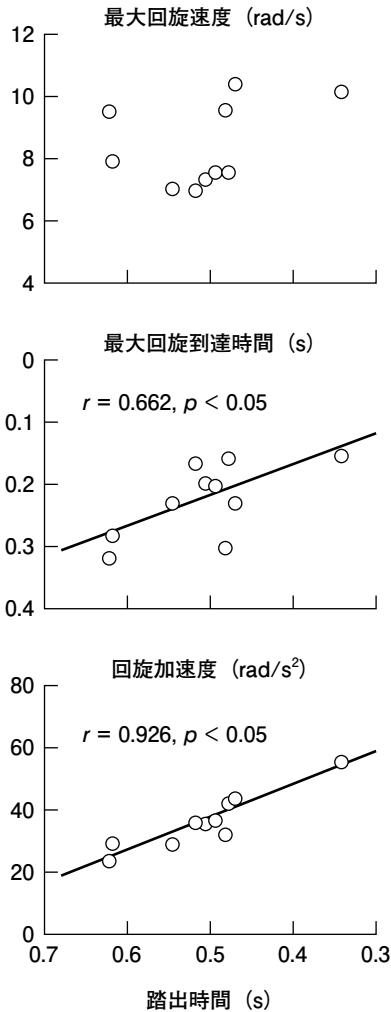


図7. 踏出時間と最大回旋速度、最大回旋到達時間、そして回旋加速度との関係

#### 4. 考察

これまで野球の投手の牽制動作をバイオメカニクス的に分析した研究はFortenbaugh and Butcher-Mokha(2007)の研究ひとつしかない。Fortenbaugh and Butcher-Mokha(2007)は左投げ投手を対象にホームベースへのピッチング動作と一塁への牽制動作を分析し、その2つの動作を比較しているが、どのタイミングから2つの動作に差異が生じるのかを調べているだけで、どうす

れば素早く牽制することができるのか調べていない。そこで、本研究では大学硬式野球部に所属する右投げ投手に一塁走者をアウトにするための軸足を投手板から外さない素早い牽制を行わせ、その時の動作を詳しく調べることで、一塁への牽制動作の速い投手の特徴を明らかにしようとした。

牽制時のボール初速度は平均で  $105.1 \pm 7.5$  km/h であった。一方、高校野球部と大学野球部に所属する投手を対象に、ホームベースへのピッチング動作を分析した蔭山ほか(2016)の研究によると、ピッチング時の平均ボール初速度は  $118.7 \pm 4.1$  km/h と、牽制時のボール初速度よりも大きかった。牽制では、一塁へ素早くボールを投げる必要があるため、動作に多くの時間をかけることができず、ボールに加えられる力積が小さくなるので、ボール初速度はピッチング時よりも小さくなったと考えられた。また、川端ほか(2013)は捕手の2塁への送球動作と遠投時の投球動作との関係について調べ、高い遠投能力を有する選手、つまり全力投球の速い選手ほど空輪時間が短かったと報告している。本研究ではピッチング時のボール速度について調べていないが、川端ほか(2013)の研究と同様に、ピッチング時のボール速度が大きかった選手ほど牽制時のボール速度も大きく、空輪時間が短かった可能性が考えられた。

牽制時間と動作時間および空輪時間との関係を調べたところ、牽制時間と空輪時間との間に有意な相関関係は見られなかったものの、牽制時間の短い投手ほど動作時間が有意に短かった(図4)。このことから、牽制動作では一塁への空輪時間を短縮する(ボール速度を高める)ことよりも、牽制動作開始からボールリリースまでの動作時間を短くすることの方が重要であると考えられた。また、動作時間を短縮させる原因を調べるため、動作時間を踏出時間と投球時間に分け、牽制時間との関係を調べた。その結果、牽制時間の短い投手ほど踏出時間が有意に短かったが、牽制時間と投球時間との間に有意な相関関係は見られなかった(図5)。櫻井・宮西(2009)は普段から専門的なトレーニングを積んでいる内野手の一塁へのクイックスロー動作について分析し、捕球後、軸足接地から踏み出し足接地までの時間を小さくす

## 一塁への牽制の速い投手の特徴

ることが、クイックスローにかかる時間を短縮するために重要であると述べている。また、川端ほか(2012)は大学硬式野球部に所属する捕手に対し、動作時間を短くすることを意識させた送球動作(以下「QT」と略す)と、ボール速度を高めることを意識させた送球動作(以下「VT」と略す)を行わせ、二盗阻止に要する時間の比較検討を行った。その結果、捕球から二塁にボールが到達するまでの時間はVTよりもQTの方が有意に短く、QTはVTよりも捕球からリリースまでの時間が短かったと報告している。投手のホームベースへのピッチング動作では、球速の増加が主たる課題であるため、動作時間の短縮はあまり重要でないが、野手の送球動作においては、打者や走者との時間的かね合いから球速の増加や正確性の向上に加えて、捕球してから投球するまでの動作時間の短縮が重要と考えられる(櫻井・宮西, 2009)。すなわち、投手の牽制動作も野手の投球動作のひとつとして考えられるため、右投げ投手が一塁への牽制動作時間を短くするには、内野手の一塁への送球動作や捕手の二塁への送球動作と同様に、牽制動作開始から左拇指接地までの踏出時間を短くする必要があると考えられた。

本研究では、踏出時間を短縮するための動作要因を明らかにするため、まず踏出時間とステップ距離との関係を調べた。つまり、牽制動作の速い選手はステップ距離を短くすることで踏出時間を短縮させていたのではないかと考えたのである。しかし、踏出時間とステップ距離との間に有意な相関関係は見られなかった(図6)。図8は牽制の一番速かった投手と牽制の一番遅かった選手の牽制動作開始から左拇指接地までの所要時間を100%で規格化し、その時のスティックピクチャを25%ごとに示したものである。本研究では被験者全員にグラブを胸の前で構えるセットポジションを取らせていたが、牽制の遅かった選手は一度、胸の高さよりボールを下げた後、再びボールを振り上げながら左足を一塁方向へ踏み出す傾向を見せた(図8下段)。一方、牽制の速かった選手は、セットポジションで構えた姿勢からすぐにボールを顔の高さにセットし、一塁方向へ左

足を踏み出していた(図8上段)。牽制時間の遅かった選手はボールを一度下げて反動をつけることで力積を大きくし、ボール速度を高めようとしていたのかもしれないが、そうするとボールを振り上げるまでに時間がかかってしまう。実際、空輪時間の一番短かった選手、つまりボール速度が一番大きかった選手はボールを振り上げるまでの時間が長かったため踏出時間が一番遅かった。以上のことから、踏出時間を短縮するためには、ステップ距離を短くするのではなく、牽制動作開始後、すぐにボールを顔の高さにセットすることが重要であることが示唆された。

また、右投げ投手の一塁への牽制動作では、一塁方向へ左足を踏み出すためにいかに素早く身体を回旋させるかが重要であると考えられる。そこで本研究では、踏出時間と最大回旋速度、最大回旋到達時間、そして回旋加速度との関係を調べた。その結果、踏出時間と最大回旋速度との間に有意な相関関係は認められなかったものの、踏出時間の短かった投手ほど最大回旋到達時間が有意に短く、また回旋加速度も有意に大きかった(図7)。図8下段の牽制の一番遅かった選手の動きについて見てみると、牽制動作中に軸足を一度も地面から離さず、その場で軸足をピボットさせていた。一方、牽制の速かった投手は牽制動作開始直後に軽く三塁方向へジャンプして、軸足を踏みかえていた。野球規則によると、「投手が投手板を外さずに一塁へ送球する場合、投手板上で軸足が踏みかわっても、その動作が一挙動であればさしつかえない」とある(日本プロフェッショナル野球組織/全日本野球協会編, 2019)。この軸足の踏みかえを行っていた投手の場合、動作を一挙動で行っていたため、規則上、ボークとはならない。牽制の速かった選手が軸足を踏みかえていた理由として、次のことが考えられた。つまり、軸足を踏みかえてつま先をホームベースへ向けることで回旋しやすくなり、回旋加速度を高めることができるようになると考えられる。また、その他に、三塁方向へ踏みかえると軸足よりも身体重心が一塁方向へ寄るため、より素早く左足を一塁方向へ踏み出しやすくなるとも考えられた。これら

の結果から、左足をより素早く一塁方向へ踏み出すためには、最大回旋速度を高めるのではなく、いかに短い時間で最大回旋速度を迎える（回旋加速度を高めて）かが重要で、そのために牽制の速かった選手は三塁方向へ軽くジャンプして軸足を踏みかえていたと考えられた。

本研究では被験者が10名と少なく、また牽制時間が1.2秒付近の被験者がいなかった。そのため、今後は被験者をさらに増やし、より詳しく牽制動作の速い選手の動作メカニズムを明らかにする必要があることが考えられた。

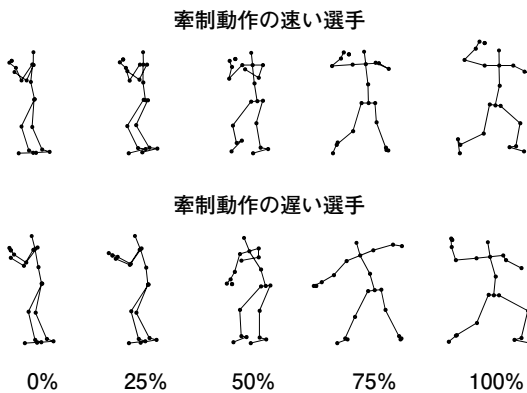


図8. 牽制の速い投手(図上)と牽制の遅い選手(図下)の牽制動作開始から左拇指接地までの動作

## 5. まとめ

本研究では大学硬式野球部に所属する右投げ投手10名を対象に、一塁走者をアウトにするための牽制動作を行わせ、一塁への牽制動作の速い投手の特徴を明らかにしようとし、次のような結果が得られた。

- 1) 牽制動作ではボールリリースから一塁ベース到達までの空輪時間を短縮することよりも、牽制動作開始時からボールリリースまでの動作時間を短くすることの方が重要である。
- 2) 動作時間を短縮するためには、牽制動作開始から左拇指接地までの踏出時間を短くする必要がある。
- 3) 踏出時間を短縮するためには、より短い時間

で最大回旋速度を迎え、左足を素早く一塁方向へ踏み出すことが重要である。

## 6. 文献

- Escamilla, R.F., Fleisig, G.S., Barrentine, S.W., Zheng, N., and Andrews, J.R. (1998) Kinematic comparisons of throwing different types of baseball pitches. *Journal of Applied Biomechanics*, 14: 1-23.
- 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. *Journal of Biomechanics*, 32(12): 1371-1375.
- Fortenbaugh, D., and Butcher-Mokha, M. (2007) The biomechanics of situational baseball: Execution and perception of left-handed pitchers' simulated pick-off moves to first base. *Sports Biomechanics*, 6(1): 2-16.
- 藤山雅洋・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.
- 川端浩一・浦田達也・秋山真信・伊藤章 (2012) 盗塁時における捕手の二塁送球時間に関する分析：3種類の送球動作の比較. *日本体育学会大会予稿集*, 63: 229.
- 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.
- 石橋秀幸 (2011) レベルアップする！野球 科学・技術・練習. 西東社, pp128-131.
- Matsuo, T., Escamilla R.F., Fleisig, G.S., Barrentine S.W., and Andrews, J.R. (2001) Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups. *Journal of Applied Biomechanics*, 17: 1-13.



- 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投球腕の貢献度に関する3次元的研究. 体育学研究, 41: 23-37.
- 日本プロフェッショナル野球組織・全日本野球協会編（2019）公認野球規則. ベースボール・マガジン社, pp46-47, 98-99.
- 櫻井直樹・宮西智久（2009）野球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, 10: 79-86.
- 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.
- 高橋佳三・阿江通良・藤井範久・川村卓・小池関也・島田一志（2005）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, 9: 36-53.
- 和達三樹（1983）物理のための数学. 岩波書店, pp.98-110.
- Winter, D. A. (2009). Biomechanics and motor control of human movement (4th ed.). John Wiley and Sons, pp68-70.
- Yu B., Gabriel D., Noble L. and An K. (1999) Estimate of the Optimum Cutoff Frequency for the Butterworth Low-Pass Digital Filter. Journal of Applied Biomechanics, 15(3): 318-329.

令和元年9月30日受付  
令和元年12月18日受理