A9 野球投手の手指の動作-ボール回転-軌道の解析

Analysis of Finger Movement, Ball Spin, and Trajectory in Baseball Pitching

○永見 智行 (早稲田大・日本学術振興会特別研究員)

Tomoyuki Nagami (Waseda University, JSPS Research Fellow)

樋口 貴俊 (早稲田大)

Takatoshi Higuchi (Waseda University)

矢内 利政 (早稲田大)

Toshimasa Yanai (Waseda University)

諸星 潤 (早稲田大)

Jun Morohoshi (Waseda University)

彼末 一之 (早稲田大)

Kazuyuki Kanosue (Waseda University)

Key Words: Baseball, Ball Spin, Finger

Abstract

The spin of a pitched baseball affects the ball trajectory which relates to pitchers' performance. We investigated the relationship between the motion of the fingers and the spin rate of pitched baseball. Five professional and three collegiate pitchers participated in this study. The motions of ball, hand and fingers during the ball release were recorded by 3 high-speed video cameras. We defined the amount of angle that the fingers actually rotated the ball as "back spin angle". The ball spin rate was correlated to 1) the amount of extension at PIP joint of the index finger ($p<0.05$) and the middle finger ($p<0.01$) and 2) the back spin angle ($p<0.01$). These results suggest that delaying the ball release is an effective way to increase the ball spin rate, but pitchers are limited to change their timing of the ball release since the timing also determines the projection angle. We concluded that ball spin rate, ball velocity and ball spin axis angle are interrelated with each other under the restriction of throwing the ball into the strike zone.

1. 序論

野球の投手の投球を評価する際、球速 (ボール移動速度) やコントロールといった数値的表現だけでなく、「キレ」、「伸び」、「重い・軽い」といった感覚的な表現を用いることが多い。これらは投げられたボールの様子を見た相手打者や捕手、コーチが感じるものであるため、ボールの飛翔軌道の違いを表したものと推察されるが、どのような物理量によって、またどのような身体動作によって決定するのかは分かっていない。

ボールの飛翔軌道について、風洞を用いた先行研究では、4-シームのバックスピニングボール、すなわち一般的なストレートにおいては、スピンパラメータの増加に応じて揚力係数も大きくなることを示している [1]。また Jinji et al. は実際の投手の投球においては、「ストレート」と呼ばれる球種でもその回転軸は地面と平行ではなく、回転軸とボール進行方向の成す角が大きいほど揚力係数が大きくなると述べている [2]。

これらから、投球されたボールの回転軸角度、回転速度の差異により同じ球種であっても飛翔軌道が変化し、感覚的に表される投球評価に影響しているものと考えられる。またボール回転軸角度、回転速度の差異には、リリースの瞬間までボールに触れている手や指の動作が影響していることが予想できる。

本研究では特にリリース前後の手指の動作とボール回転との関係を明らかにし、飛翔軌道との関連について検討することを目的とした。

2. 方法

2-1 被験者

被験者はプロ野球投手 5 名、大学野球投手 3 名とし、正規の投球マウンドから座位の捕手に向けてスト

Fig. 1 Position of markers

レーンを 3 球投球させた。被験者には捕手のミットを目掛けて、できるだけ全力で、コントロールよく投球するよう指示を与えた。被験者の手背部計 11 点には直径 2mm の発泡スチロール製マーカーを貼付した (Fig. 1)。またボールには回転速度解析用のアルファベットのマークを塗布した。

2-2 手指、ボールの動作の撮影・3 次元座標値の算出

投球マウンド周辺に設置した 3 台の高速度ビデオカメラ (撮影速度: 1000fps, 露光時間: 1/20000s, ピクセル数: 640*480, Fastec Imaging 社製) でリリース前後約 20ms の手指、ボールの動きを撮影した。映像の較正点として、投球終了後、特製の 3 次元較正器 (格子部: 0.60 m × 0.60 m × 0.60 m, 較正点間隔: 0.10 m) を設置し撮影した。この映像をもとに、3D-DLT 法によって各マーカー、ボール中心の 3 次元座標を算出した。空間座標系はピッチャープレートの長軸中央、捕手寄りの点の直下で、ホームベースの置かれた水平面上を原点とした右手座標系で、投球方向を Y 軸 (捕手に向かって+)、左右方向を X 軸 (3 塁に向かって+)、垂直方向を Z 軸 (上方に向かって+) とした (Fig. 2)。較正点の実測 3 次元座標と推定値との平均誤差は、静止座標系の X, Y, Z 軸ともに 1 mm 以下であった。座標値の各成分

Fig. 2 Camera setting and local coordinate system orientation

はバターワース型のローパスデジタルフィルタ (200Hz) で平滑化した。

また、示指先端に貼付したマーカー位置がボール中心位置よりも下回った瞬間を「ボールリリース」と定義し、この瞬間を 0 ms、これより前の時間をマイナス、後の時間をプラスで表した。被験者毎のデータにはそれぞれの投球 3 球の平均値を用いた。

2-3 ボール移動速度の算出

ある時刻 t (ms) のボール移動速度は、 $t-1$ (ms) から $t+1$ (ms) 間でのボール中心座標の移動距離をその時間 (2 ms) で除すことで算出した。また特にボールリリース時の移動速度をボール移動初速度とした。

2-4 ボール回転速度の算出

特製の回転速度測定器 (Fig. 3) の中央に実際に使用したボールをはめこみ、測定器上方に設置したカメラの画像と実験時にカメラ 2 (Fig. 2 中) で撮影したボール回転映像が一致するよう、測定器の軸とボールの向きを調節する (Fig. 4)。ボールリリース (0 ms) から 10、10~20、20~30 ms 間でのそれぞれのボール回転角度を読み取り、その平均から 1 秒間あたりのボール回転数を算出し、ボール回転速度とした。

Fig. 3
Special apparatus to analyze ball spin axis and spin rate

2-5 示指・中指の各関節角度と伸展角度変化量の定義

得られた手背部のマーカーの座標値から、示指、中指の MP, PIP, DIP 関節角度 (Fig. 5) を算出した。それぞれの関節におけるボール把持姿勢での最大屈曲位からリリース直前での最大伸展位までの角度変化量を「伸展角度変化量」と定義した。

Fig. 5 Joint angles of Index finger (IF) and Middle finger (MF)

2-6 バックスピン角度の定義

指がボールを回転させた角度の指標として、「バックスピン角度」を定義した。バックスピン角度は、ボール中心位置を原点とし空間座標系を平行移動した座標系 (ボール座標系) において、両指先端に貼付した 2 つのマーカーの中心 C のバックスピン開始時位置 (Fig. 6 中、点 A) と、バックスピン終了時位置 (Fig. 6 中、点 B)、ボール中心 (ボール座標系原点, Fig. 6 中、点 O) の成す角 AOB とした (Fig. 6)。

なおバックスピン開始はボール座標系における示指、中指先端座標中点の Z 軸成分が最大となった瞬間とした。また示指、中指先端座標をボール座標系 XZ 平面に投影し、両点を結んだ直線の Z 軸切片が 0 を下回った瞬間をバックスピン終了とした。

Fig. 4 Comparison of ball rotation in the captured images (top) and in its replication with the special apparatus (bottom)

Fig. 6 Definition of "Back Spin Angle"

Fig. 7 Relationship between ball spin rate and initial velocity

Fig. 8 Changes in angles of index finger joints in Sub.T.D

3. 結果

3-1 ボール移動速度と回転速度

全被験者の平均ボール移動初速度は 36.6 ± 2.2 m/s (131.6 ± 7.9 km/h) で、平均ボール回転速度は 33.5 ± 3.4 rpm であった。各被験者のボール移動初速度と回転速度の間には正の相関関係が認められた (Fig. 7)。

3-2 示指・中指の各関節角度と伸展角度変化量

Sub. T. D のリリース前後 16ms での各関節角度変化を Fig. 8 に示した。他の被験者も Sub. T. D と同様に、MP, DIP 関節には大きな角度変化は見られなかった。一方 PIP 関節は示指、中指共にボール把持姿勢から大きく伸展し、その後屈曲する動作が見られた。PIP 関節における伸展角度変化量 (示指: $38 \pm 10^\circ$, 中指: $36 \pm 5^\circ$) は他の 2 関節の伸展角度変化量 (MP 示指: $4 \pm 2^\circ$, 中指: $3 \pm 2^\circ$, DIP 示指: $13 \pm 6^\circ$, 中指: $8 \pm 5^\circ$) よりも大きく、有意差が認められた。

PIP 関節伸展角度変化量とボール回転速度との間には示指、中指ともに高い正の相関関係が認められ、角度変化量の大きい投手ほどボール回転速度が速かった (Fig. 9, 10)。

3-3 バックスピン角度

全被験者の平均バックスピン角度は $41 \pm 10^\circ$ であった。バックスピン角度とボール回転速度との間には高い正の相関関係が認められ、バックスピン角度の大きい投手ほどボール回転速度が速いことが分かった (Fig. 11)。

また、指がボールを回転させることのできた平均時間 (バックスピン角度にかかる平均時間) は 7.1 ± 0.9 ms で、バックスピン角度との相関関係は認められなかった。

バックスピン角度と示指、中指の PIP 関節伸展角度変化量の間にも相関関係が認められた (示指、中指ともに $p < 0.01$)。

4. 考察

4-1 ボール移動速度と回転速度の相関関係

ストレートにおけるボール移動初速度とボール回転速度の相関関係は先行研究でも報告されている[3]。本研究でもこれと同様の結果を得た。この相関関係の理由について先行研究では、ボール初速度が大きな投手はボールへ加えられる力が大きい[4]ことから、ボールを回転させるトルクも大きくなった、と述べている[3]。

しかし本研究の結果から、ボール移動速度を考慮せずとも、PIP 関節伸展角度変化量及びバックスピン角度の大小によってボール回転速度が決定されることが分かった。これらを踏まえてボール回転速度を決定する要因について検討する。

投球時、手及びボールは肩関節最大外旋位からリリースに向け概ね弧を描くように移動していく (Fig. 6 上)。この最中に大きなバックスピン角度を獲得するためには、手指がボール中心に対して上方まで覆いかぶさるようにする、すなわちできる限り弧の後半までボールを把持している必要がある。野球の投手には大前提としてストライクゾーンに投球することが求められる。速い移動速度を獲得できる投手であれば、投射角度を低くしなければストライクゾーンに到達させることができず、反対に移動速度が遅い場合は上向きの投射角度が必要になる。つまり速い移動速度の投球では投射角度をより下向きにする必要がある。これによってバックスピン角度が大きくなり、ボール回転速度は増加する。このことがボール移動速度と回転速度の高い相関関係につながったものと考えられる。

4-2 指伸展角度変化量とボール回転速度

示指、中指の PIP 関節はリリース前に大きく伸展し、その後屈曲する。このときの伸展角度変化量はボール回転速度 (Fig. 9, 10), バックスピン角度とそれぞれ高い相関関係にあった。これはバックスピン角度が大きくなった結果、指先がボールから力を受ける時間が長くなったためと考え

Fig. 9 Relationship between ball spin rate and amount of extension at PIP joint of index finger

Fig. 10 Relationship between ball spin rate and amount of extension at PIP joint of middle finger

Fig. 11 Relationship between ball spin rate and ball spin angle

られる。

また示指、中指屈筋の筋腱バネ特性により、伸展角度変化が大きくなることでその後に生じる屈曲角速度が増加した可能性がある。本研究ではカメラ配置の都合上、リリース直前の PIP 関節屈曲角速度を正確に計測できなかった。そのため屈曲動作がボール回転速度に与える影響を検討できていないが、伸展角度変化の増大にはこのような効果があることも予想できる。

4-3 ボール回転速度の個人差

ボール移動速度と回転速度に相関関係が見られた一方で、同じくらいの移動速度にも関わらず他の投手に比べて回転速度の速い者も存在した。このことは「キレ」、「伸び」といった感覚的表現につながっている可能性がある。

投射角度との関連を考えると、最大外旋位からリリースまでのボール軌道が弧ではなく直線に近い場合、できる限り軌道の後半までボールを把持して大きなバックスピン角度を獲得しても、投射角度を必要以上に下げずに済む。最大外旋位からのボール軌道の違いは上肢・体幹の動きに依るところが大きいと考えられ、これがボール回転速度の個人差に間接的に影響していると推察できる。

また、示指、中指の関節の固さや可動域制限のために、指を素早く、大きく伸展することができない投手は、バックスピン角度の小さいうちにリリース動作を開始せざるを得なくなる。このように投手の身体特性に応じて、ボール回転速度は必然的に決定する可能性もある。

5. 結論

ストレート投球においてボール回転速度を高めるためには、できるだけボールを長く把持し、大きなバックスピン角度を得る必要があることが示唆された。またそのためには、示指、中指の PIP 関節を大きく伸展できるような身体特性が必要である。

一方で投手にはストライクゾーンに投球することが求められる。そのためボール回転速度、移動速度、投射角度、回転軸角度、縫目の向き等といった飛翔軌道に関するパラメータはそれぞれ独立に存在するわけではなく、相互に関わり合っている。ボール回転速度を高めようとすることは他のパラメータにも何らかの影響を与えることが予想でき、容易には行えないことも示唆された。

6. 参考文献

- [1] 溝田武人, 錦織大介, 小西和明 (2007), 硬式野球ボールの縦スライダに関する流体力測定と飛しょう軌道解析, 日本機械学会論文集 (B 編), 73 巻, 734 号, pp.1987-1992
- [2] T. Jinji, S. Sakurai (2006), Direction of spin axis and spin rate of the pitched baseball. Sports Biomechanics, 5(2), pp. 197-214
- [3] 神事努, 桜井伸二, 清水卓也, 鈴木康博 (2008), 発育期の野球投手におけるボールスピンの特徴, 中京大学体育学論叢, 49-1, pp. 21-27
- [4] 高橋佳三, 阿江通良, 藤井範久, 島田一志, 尾碕哲郎 (2000), 野球のピッチングにおける手および指の動きとボール速度増加の関係, バイオメカニクス研究, 4(2), pp. 116-124