

野球におけるトラッキングシステムを活用した 投球パフォーマンスの評価

Evaluation of pitching performance using tracking systems in baseball

松波 勝・大城 卓也・森 浩昭

要旨

本研究では、トラッキングシステムを用いて速球および変化球の球質特性および知覚的評価と各投球情報との関係性について検討することを目的とした。大学硬式野球部に所属する右投げ投手1名を対象とし、トラッキングシステムを用いて球速および球質の測定を行った。また、知覚的評価として指導者による球質の評価を行った。球質を示す平均回転数は変化球の方が高く、一方で回転効率、有効回転数は速球の方が高かった。縦の変化量は速球が上向きに、変化球は下向きに変化していた。横の変化量は変化球の方が大きかった。ジャイロ角度は速球の方が角度が小さかった。知覚的評価については、速球では「伸び」や「回転」で評価を行い、変化球では「キレ」で評価を行っていた。評価の高い投球では、速球、変化球のいずれも回転数が高い傾向にあった。これらのことから、速球、変化球のいずれにおいても回転数が「伸び」や「キレ」の認識に関係していると考えられた。

キーワード：球速、回転数、回転方向、縦横の変化量、ジャイロ角度

1. 緒言

野球における投手は、勝利するために速球をはじめカーブ、スライダー、フォークなど様々な球種を駆使して打者を打ち取る。一般的に投手が投げる速球のパフォーマンスは、「○○ km/h で投げた」という「球速」により評価され、「球速が速い＝パフォーマンスが優れている」と考えられる傾向にある。しかしながら、「ボールの速度は投手のパフォーマンスを表す指標の1つに過ぎない」（柴田ほか, 2017）と示されているように、球速が速いからといって必ずしも打者を打ち取れるわけではない。

神事（2013）は、ボール速度の高いことが投手として優れた動作を獲得していると示しながらも、ボールに与えられるスピンの量も打者の判断を惑わす要因になると球質の重要性に言及している。

Nagami, et al. (2011) は、速球もバッターを打ち取るために変化させる必要があり、最も優れた速球は「ホップ」すると示し、軌道を変化させるためには、通常以上の回転率や回転軸を生み出す必要があることを示している。また、Higuchi, et al. (2013) は、ボールのバックspin率の大きいことが打者のスイング精度を低下させることを示している。このことから、バッターを打ち取るためには、球速だけでなく球の変化量を示す球質を含めて投球のパフォーマンスを評価する必要があると考えられる。

様々な投球の球質評価については、「伸び」や「キレ」などの表現で指導者や解説者による知覚的視点で評価されてきた。この点について、神事と桜井 (2008) は、ハイスピードカメラを用いて客観的に速球の球質を分析し、ボール速度、回転軸の方向、回転速度が球質の構成要素であることを示し、永見ほか (2016) は、球種によってボール速度、回転軸の方向、回転速度が異なることを示している。しかしながら、これらの研究はハイスピードカメラによる測定であり、投球情報の分析には時間を要し、指導現場において即時に投球情報を選手にフィードバックすることは困難である。近年、トラッキングシステムを用いて投球を測定する装置が開発され、球質に関する投球情報を簡便に得ることができ、情報の即時フィードバックが可能となった。

そこで本研究では、トラッキングシステムを用いて速球および変化球の球質の特性および第3者の知覚的評価と各投球情報との関係性について検討することを目的とした。

2. 方法

2.1. 被験者

大学硬式野球部に所属するオーバーハンドスローの右投げ投手1名（身長：180 cm、体重 75 kg、最大球速：144 km；2022年）を対象とした。また、対象投手を指導してきた指導者1名を球質の知覚的評価者とした。

2.2. 測定方法

測定は大学内にあるブルペンにおいて実施した。対象者は十分なウォーミングアップを行った後、ピッチャープレートから捕手に対して、ストライクゾーンに速球、変化球をそれぞれ6～10球投げるように指示した。速球における球の握りは4シームとした。ストライクの判定は捕手に行わせ、各々ストライクと判定された投球をデータとして採用した。投球の間隔については対象者に任せた。ホームベースから4.72 mの位置にトラッキングシステム (Pitching 2.0, Rapsodo 社製) を設置し、投球の測定を行った。また、第3者による知覚的評価を行うために、指導者を捕手の背後に位置させ、投球の評価を行った。

2.3. 測定項目

測定項目はトラッキングシステムから得られた情報のうち、(1) 球速、(2) 回転数 (回転速度)、(3) 回転効率、(4) 有効回転数 (回転数×回転効率)、(5) 回転方向 (ボールを「後ろ」から見たときの回転軸の傾き。Rapsodo では時計板に見立てて表示。12:00 が完全なバックスピン、6:00 が完全なトップスピンとなる)、(6) 縦の変化量 (重力のみで変化すると仮定した時の位置 (0 基準) から回転等で上下に変化した量)、(7) 横の変化量 (重力のみで変化すると仮定した時の位置 (0 基準) から回転等で左右に変化した量)、(8) ジャイロ角度 (ボールを「上」から見た時の回転軸の傾き) とした。また、指導者の投球評価は 4 段階尺度で行い、併せて投球に関するコメントを記録した。回転方向、回転軸、ジャイロ角度に関する概要は図 1 に示した。

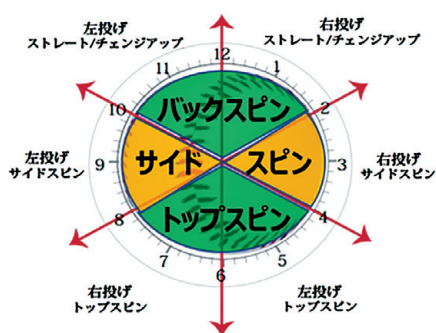


図 1A. 回転方向



図 1B. ジャイロ角度

(株式会社 Rapsodo Japan より提供)

2.4. 統計処理

得られた全ての測定値は、平均±標準偏差で示した。また、各投球のばらつきを検討するために変動係数 (CV) を求めた。

3. 結果

3.1. 投球の球速および球質情報

投球された速球と変化球の球速および球質情報を表 1 に示した。変化球の球種は、カーブが 5 球、スライダーが 1 球であった。平均球速は速球が 138.6 ± 2.1 km/h、変化球は 121.3 ± 1.5 km/h であった。平均回転数は、変化球の方が速球と比較して高かった。球の回転をどのくらいの効率で変化量に反映できているかを示す平均回転効率は、速球の方が高かった。回転数が実際どれくらい変化量に関与しているかを示す平均有効回転数は、回転数とは異なり速球の方が高かった。回転軸に対して 90° 傾いた方向を示す平均回転方向は、速球がバックスピンの方向に回転していた。投球した球の縦の変化量は速球が縦方向に、変化球は下方向に大きく変化した。横の変化量が速球は右

方向に、変化球は左方向に速変化した。ジャイロ角度は速球が $27.9 \pm 3.0^\circ$ 、変化球が $55.1 \pm 2.6^\circ$ であり、ジャイロ角度から算出した回転軸角度は、速球が 62.7° 、変化球が 34.9° であった。データのばらつきを示す変動係数については、速球では横の変化量、変化球では回転角度、横の変化量が他の測定項目と比較して大きかった。

表 1 各投球の球速および球質情報

速球	球速 (km/h)	回転数 (rpm)	回転効率 (%)	有効回転数 (rpm)	回転方向 (°)	縦の変化量 (cm)	横の変化量 (cm)	ジャイロ 角度(°)
AVE	138.6	2059.3	88.3	1818.0	193.3	44.4	19.4	27.9
SD	2.1	48.9	2.4	61.7	5.8	1.3	9.9	3.0
CV	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	0.03	0.51	0.03
変化球	球速 (km/h)	回転数 (rpm)	回転効率 (%)	有効回転数 (rpm)	回転方向 (°)	縦の変化量 (cm)	横の変化量 (cm)	ジャイロ 角度(°)
AVE	121.3	2292.7	57.2	1313.0	19.1	-30.4	-30.3	55.1
SD	1.5	39.5	3.6	101.8	7.2	2.7	7.4	2.6
CV	0.01	0.02	0.06	0.08	0.38	-0.09	-0.24	0.05

3.2. 投球に対する第3者の知覚的評価と球質情報

投球に対する指導者の知覚的評価については、速球の評価が、7球中4球を「4」、3球を「3」と評価した。評価「4」の投球では、「伸びよし」や「回転よし」と評価した。一方で、評価「3」の投球では、「伸び不足」、「回転不足」を指摘していた。平均球速は、評価「4」、評価「3」ともに 138.6 km/h であり、平均回転数は、評価「4」が 2076.0 rpm、評価「3」が 2037.0 rpm と、評価「4」の方が高い傾向にあった。平均回転効率は、評価「4」が 87.0%、評価「3」が 89.9%、平均有効回転数は、評価「4」が 1807 rpm、評価「3」が 1832.6 rpm であった。平均回転方向は、評価「4」が 192° 、評価「3」が 195° であった。縦の変化量は、評価「4」が 44.2 cm、評価「3」が 44.8 cm であり、横の変化量は、評価「4」が 20.5 cm、評価「3」が 17.9 cm であった。ジャイロ角度については、評価「4」が 29.4° 、評価「3」が 25.9° であった。

変化球の評価は、6球中4球を「4」、3球を「2」と評価した。評価「4」の投球では、「キレよし」や「コースよし」と評価した。一方で、評価「3」の投球では、「キレ不足」を指摘していた。平均球速は、評価「4」が 121.6 km/h、評価「3」が 120.6 km/h であった。平均回転数は、評価「4」が 2313.3 rpm、評価「3」が 2037 rpm であり、評価「4」の方が高い傾向にあった。平均回転効率は、評価「4」が 59.2%、評価「3」が 53.4%、平均有効回転数は、評価「4」が 1368.5 rpm、評価「3」が 1202.0 rpm であった。平均回転方向は、評価「4」が 21.0° 、評価「3」が 15.3° であった。縦の変化量は、評価「4」が -31.5 cm、評価「3」が -29.5 cm であり、横の変化量は、評価「4」が -29.5 cm、評価「3」が -31.9 cm であった。ジャイロ角度については、評価「4」が 53.7° 、評価「3」が 57.8° であった。

4. 考 察

4.1. 速球の球質特性

球質とは球の変化量であり、回転数、回転軸、球速が大きく影響するとされ（神事と桜井, 2008）、また縫い目も影響することが示されている（Hiro's, 2023）。速球の回転数は変化球よりも低い傾向にあった。一方で、回転効率および有効回転数は変化球よりも高かった。有効回転数は回転数と回転効率の積で表され、また、回転効率は進行方向に対する回転軸のジャイロ角度の影響を受ける（Hiro's, 2023）。速球の回転軸のジャイロ角度は変化球に比べて小さかったことから、回転効率が高くなったと考えられる。神事（2013）は、競技レベルが上がるほど速球の回転軸角度が高くなり、回転軸角度が90°に近づくほどバックスピンの近い投球であることを示している。本研究の対象者のジャイロ角度から算出した回転軸角度は62.1°であり、神事（2013）が報告した大学生投手の回転軸角度（65.5°）とはほぼ同様の角度を示した。縦方向への変化量は、 44.3 ± 1.3 cm であり、大学生を対象とした先行研究（ 27.3 ± 4.3 cm；神事, 2013）や大学、社会人、プロ選手を対象とした先行研究（ 29.1 ± 11.3 cm；永見ほか, 2016）よりも縦方向に大きく変化した。進行方向に対して投球の変化に作用する力としてマグナス効果があり、効果の大きさはボールの移動スピードに対して回転数が大きいほど大きくなることが示されている（永見ほか, 2016）。本研究の対象者の回転数は、先行研究の対象者の回転数（1872 rpm；神事, 2013、2022 rpm；永見ほか, 2016）よりも大きかったことから、マグナス効果の影響で揚力が発生し、縦方向の変化量が大きくなったと考えられた。横方向への変化量については、右方向への変化を示していた。右投手が投げる平均的な直球はシュートの変化をし（神事と桜井, 2004）、右打者の方向へ変位することが示されている（永見ほか, 2016）。これは、回転軸の傾きが関係していることが示されており（永見ほか, 2016）、本研究の速球においても回転方向が右方向に傾いていたことから、回転方向が右に傾くことで、シュート気味の投球になったと考えられた。これらのことから速球は、マグナス効果における上向きへの揚力を十分に作用させるために、ジャイロ角度を小さく、回転数を大きくさせることが必要であると考えられた。また、その評価指標として縦の変化量が有効であると考えられた。

4.2. 変化球の球質特性

回転数については速球よりも高い傾向にあった。これはマグナス効果により球を大きく変化させるために、速球よりも回転数が大きくなったと考えられた。一方で、回転効率、有効回転数については、速球よりも低かった。回転効率は進行方向に対するジャイロ角度に影響を受ける。永見ほか（2016）は、変化球の運動学的特徴としてスライダー、カーブは、回転数が速球と同程度のまま、移動速度を小さくし、回転軸が異なることを示している。また、神事と桜井（2004）は、回転軸が変化した場合、ボールに働く空気抵抗は通常の直球よりも大きくなる可能性を示唆している。変化球のジャイロ角度は速

球に比べて大きかったことから、回転軸が進行方向に向き、回転効率が低下し、有効回転数が速球よりも低くなったと考えられた。縦への変化量は、速球とは異なり下向きに変化した。永見ほか（2016）は、回転軸の向きを示す方位角が90°から180°に向かうに従い、揚力の下向きへの成分が大きくなることを示している。本研究で用いた測定装置では、回転軸の方位角がボールの回転数する方向である回転方向で示されている。従って、本研究の19.1°という回転方向はトップスピンに近い回転となり、下向きへの変化を示した。横への変化量は、速球と異なり左側へと変化した。永見ほか（2016）はカーブの球質特性として、仰俯角がスライダーよりも大きく、左打者方向への揚力が大きくなることを示している。本研究では仰俯角と同様に考えられる回転方向が速球とは反対に左側に傾いていたことが影響していると考えられた。

4.3. 知覚的評価と球質情報

速球における知覚的評価については、球質を「伸び」や「回転」で評価していた。速球の「伸び」は初速と終速との差がほとんどないボールのことを指し、運動学的特徴としてはバックスピンの回転数と回転角度が関係することが示されている（カズコーチの科学的野球ブログ, 2016）。また、Nagami, et al. (2011) は、最も優れた速球は「ホップ」すると示し、速球を「ホップ」させるためには、通常以上の回転率や回転軸を生み出す必要があることを示している。このことから「伸び」の評価は、回転数、回転角度、縦への変化量の大きさが関係していると考えられた。しかし、評価「4」、「3」の縦の変化量は変わらなかった。一方で「回転」に関する「平均回転数」については、評価「4」の方が評価「3」よりも回転数が高い傾向にあった。このことから、回転数の大きさが「伸び」の知覚的評価に関係していると考えられた。また、評価「4」、「3」の球速が変わらないことから、同じ球速でも回転数の大きい投球の方が、打者は「伸び」を強く認識する可能性が考えられた。このことは、必ずしも球速が速くなくても、打者を打ち取れることができると考えられ、球の回転数を高めることが投球パフォーマンスの向上につながると考えられた。

変化球における知覚的評価については、球質を「キレ」で評価していた。変化球のキレは、打者の予想以上に変化し、そして変化量を高める要素として「回転数」が多いことが示されている（蕃茄の野球考察ブログ, 2021）。すなわち、回転数を高めることでマグヌス効果を高め、投球を変化させることが重要となる。評価「4」、「3」の平均球速は変わらないものの、平均回転数については、評価「4」の方が高い傾向にあった。従って、変化球においても回転数の大きさが「キレ」の知覚的評価に関係していると考えられた。変化球の球質特性として、左打者方向への揚力が大きくなること（永見ほか, 2016）から、左方向へ変化すると考えられる。しかし、「キレ」が良いと評価された評価「4」の投球は縦への変化量が大きく、横への変化量は評価「3」よりも小さかった。このことから、「キレ」のある変化球の影響が、球種によって縦あるいは横の変化量のいずれに関係するのか、その特徴を明らか

にすることが、今後の検討課題であると考えられた。

5. まとめ

トラッキングシステムを用いて投球を評価した結果、速球および変化球の球質特性を明らかにすることができた。また、第3者の知覚的評価において、速球については、「伸び」や「回転数」で評価し、変化球については、「キレ」で評価していた。知覚的評価と球質データとの関係から、速球、変化球のいずれにおいても知覚的評価には「回転数」が関係していると考えられた。従って、打者を打ち取るためには、回転数が球質要素として重要であると考えられた。

謝辞

本研究の実施にご協力いただきました窪田寛之氏、ならびに執筆に際し、ご助言いただきました株式会社 Rapsodo Japan の花城健太氏に深謝いたします。

なお、本研究は令和4年度聖カタリナ大学学長裁量事業の助成を受けて実施した。また、本研究の一部は令和4年度四国・体育スポーツ学会において報告した。

文献

蕃茄の野球考察ブログ（2021）“キレ”のある変化球とは。

<https://tml-3412.hatenablog.com/entry/2021/02/20/201427>

Higuchi, T., Morohoshi, J., Nagami, T., Nakata, H., and Kanosue, K. (2013) The Effect of Fastball Backspin Rate on Baseball Hitting Accuracy. *Journal of Applied Biomechanics*, 29 (3) : 297-284.

Hiro's LAB（2023）回転効率（spin efficiency）／解説やMLB平均などについて。

https://hiros-lab.com/spin_direction/

神事 努, 桜井伸二（2004）硬式野球ボールの投球軌跡—ジャイロボールに着目して—。日本体育学会第55大会：339.

神事 努, 桜井伸二（2008）投球されたボールの球質はどのような動作によって決定されるのか？。バイオメカニクス研究, 12（4）：267-277.

神事 努（2013）プロ野球投手のボールスピンの特徴。日本野球科学研究会報告書：24-26.

カズコーチの科学的野球ブログ（2016）ストレートの伸びは球速が上がるほど低下するという真実。

<https://littlerockheart.com/column/201605291641.html>

NAGAMI, T., MOROHOSHI, JUN., HIGUCHI, T., NAKATA, H., NAITO, SHIGETO., and KANOSUE, K. (2011) Spin on fastballs thrown by elite baseball pitchers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43 (12) : 2321-2327.

永見智行, 木村康宏, 彼末一之, 矢内利政（2016）野球投手が投じる様々な球種の運動学的特徴。体育学研究, 61（2）, 589-605.

柴田翔平, 鳴尾丈司, 加瀬悠人, 山本道治, 森 正樹, 浦川一雄, 廣瀬 圭, 神事 努（2017）硬式野球ボール型センサを用いた投球解析システムの開発。日本機械学会シンポジウム：スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス講演論文集（CD-ROM）。

Evaluation of pitching performance using tracking systems in baseball

Masaru MATSUNAMI, Takuya OHSHIRO, Hiroaki MORI

Abstract

The purpose of this study was to examine the characteristics of fast ball and breaking ball using a tracking system and the relationship between perceptual evaluation and information obtained from each pitch. One right-handed pitcher who belongs to a university hardball team was included in the study. A tracking system was used to measure pitch velocity and qualitative information of the pitches. In addition, pitch quality was evaluated by the instructor as a perceptual assessment. The average spin rate was higher for the breaking ball, while the spin efficiency and effective spin rate were higher for the fastball. The vertical change was upward for the fastball and downward for the breaking ball. The horizontal change was greater for the breaking ball. The gyro angle of the fastball was smaller and the rotation was closer to backspin. Regarding perceptual evaluation, fastballs were evaluated in terms of “NOBI” and “rotation,” and pitches with higher evaluation tended to have higher rotation. Breaking ball were evaluated in terms of “KIRE,” and pitches with higher ratings tended to have higher rotation. In conclusion, it was suggested that the rotation rate was related to the perception of “NOBI” and “KIRE” for both fastballs and breaking ball.

Keywords: Pitch velocity, rotation rate, direction of rotation, amount of change in vertical and horizontal directions, gyro angle