

広角に大きな飛距離の打球を放つための打球特性

中島 大貴¹⁾ 堀内 元²⁾ 山口 瑞生³⁾ 桜井 伸二⁴⁾

Nakashima Hiroataka¹, Horiuchi Gen², Yamaguchi Mizuki³, Sakurai Shinji⁴: Batted ball characteristics for hitting a long fly ball toward various directions

和文抄録：

本研究の目的は、引っ張り方向、センター方向、流し打ち方向の各方向へ飛距離の大きな打球を放つための打球特性を明らかにすることであった。大学野球選手6名にピッチングマシンから投射されるボールを打撃させた。3台の高速度ビデオカメラを用いて打球を撮影し、打球特性（速度、発射角度、回転）を求めた。また、巻き尺で飛距離を計測し、打球特性と飛距離との関係を調べた。その結果、打球方向別にサイドスピン成分が異なるため、同一の飛距離の打球を放つために必要な打球速度も打球方向ごとに異なることが明らかになった。例えば、100mの飛距離の打球を放つためには、引っ張り方向には37.3m/s、センター方向には38.0m/s、流し打ち方向には39.8m/sの打球速度が最低限必要であることが明らかになった。また、最低限の打球速度で最大の飛距離を獲得するためには、約20-40°の発射角度、かつ、少なくとも20rpsのバックスピン成分を打球に加える必要があることも示唆された。

Key words: exit velocity, launch angle, backspin, same field, center field, opposite field

キーワード: 打球速度, 発射角度, バックスピン, 引っ張り, センター返し, 流し打ち

1. 緒言

野球では、相手チームよりも多くの得点を記録して試合に勝利するための打撃力が求められる。鳥越（2014）は、長打率とチームの総得点との間に非常に強い正の相関関係があることを報告しており、打撃力の中でも特に長打、一般に、飛距離の大きな打球を放つ技術が重要である。

打球の飛距離は、風などの自然環境的な要因を無視すれば、打球の速度、発射角度、回転、打点高といった物理的な要因によって決定される。実

際に打撃されたボールを調べた及川（1995）は、発射角度が水平面から上向きに30-50°で放たれた打球では、打球速度と飛距離との間に強い相関関係（ $r = 0.86$, $p < 0.01$ ）が認められたことを報告しており、打球速度は飛距離に特に大きく影響する要因であると言える。また、発射角度についてAdair（2002）は、数値シミュレーションを用いて35°の発射角度で打球が放たれた場合に飛距離が最大となるが、30°や40°の発射角度で放たれた場合でも同程度の飛距離が期待できると報告している。さらに、打球の回転についてNathan

1) 中京大学大学院体育学研究科

〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立101

2) 関西大学人間健康学部

〒590-8515 大阪府堺市堺区香ヶ丘町1-11-1

3) 中京大学大学院体育学研究科

〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立101

4) 中京大学スポーツ科学部

〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立101

1. Graduate School of Health and Sport Sciences, Chukyo University

101 Tokodachi, Kaizu-cho, Toyota, Aichi, 470-0393

2. Faculty of Health and Well-being, Kansai University

1-11-1 Kaorigaoka-cho, Sakai-ku, Sakai, Osaka 590-8515

3. Graduate School of Health and Sport Sciences, Chukyo University

101 Tokodachi, Kaizu-cho, Toyota, Aichi, 470-0393

4. School of Health and Sport Sciences, Chukyo University

101 Tokodachi, Kaizu-cho, Toyota, Aichi, 470-0393

(2008)は、同一の速度・発射角度で打球が放たれた場合、打球のバックスピンの多いほど飛距離が大きかったことを報告している。一方で、城所ほか(2011)は、打球の速度と回転数はトレードオフの関係にあると報告しており、打球速度が大きく低下しない程度の適度なバックスピンをボールに加える必要があると考えられる。これらの先行研究をまとめると、打球に可能な限り大きな速度と適度なバックスピンを加え、 $30-40^\circ$ の発射角度で打ち出すことにより、飛距離を最大化できると期待される。

Adair(2002)は、発射角度が 35° 、かつ、バックスピンを有する打球において、打球速度を基に飛距離を推定している。しかしながら、この推定に用いた計算では、ボールにサイドスピンの加わることにより、横向きに飛翔軌道が変化することまでは想定されていない。Nakashima, et al.(2018)は、打球のサイドスピンの多いほど、飛翔軌道が横向きに変化するため、飛距離が短くなることを報告している。さらに、打球のサイドスピンと打球の左右の飛翔方向との間には強い相関関係があり($r = 0.87, p < 0.01$)、特に流し打ち方向(右打者の場合、ライト方向)へ放たれた打球は、引っ張り方向(右打者の場合、レフト方向)やセンター方向へ放たれた打球に比べ、サイドスピンが多く、飛距離が短くなると報告している。このように打球の飛翔する方向によってサイドスピンが異なるため、インパクト後の打球速度から推定する飛距離は方向毎に分けて求めなければならない。しかしながら、打球の速度や発射角度、回転などの打球特性と飛距離の関係について、打球の飛翔方向別に検討した研究はない。

実際の試合では、打者は投球されたボールのコースや試合の状況に応じて、ボールを左右に打ち分けることが求められる(アメリカ野球指導者協会, 2011)。そこで、各方向へ飛距離の大きな打球を放つために必要な打球特性を定量化できれば、打者は明確な目標を持って練習やトレーニングに励むことが可能になると考えられる。

そこで本研究の目的は、引っ張り方向、センター方向、流し打ち方向の打球方向別に、打球特

性と飛距離との関係を明らかにし、各方向へ飛距離の大きな打球を放つために必要な打球特性を定量化することとした。

II. 方法

1. 分析対象者

分析対象者は、大学硬式野球部に所属する右打者6名(年齢: 20.5 ± 0.3 歳, 身長: 1.78 ± 0.02 m, 体重: 75.7 ± 3.7 kg)とした。実験の実施にあたり、中京大学倫理審査委員会の承認を得た。また、実験の実施前に、分析対象者には本研究の趣旨を詳細に説明し、本研究への参加について書面による同意を得た。

2. 実験試技

実験は4日間にわたり、屋外の野球場(両翼:91.4m, 中堅:120m)にて行った。なお、野球場の標高は97.9mであり、4日間の平均気温は $25.7 \pm 7.0^\circ\text{C}$ 、平均湿度は $38.3 \pm 5.9\%$ 、平均推定気圧は 1005.1 ± 7.6 hPaであった。分析対象者には十分なウォーミングアップを行わせた後、ピッチングマシンから投射される硬式野球ボールを硬式用木製バット(長さ:0.84m, 質量:900g)で打撃させた。その際、できる限り遠くへ打球を飛ばすように指示を与えた。全ての試技のうち、打球の飛距離が60m以上、かつ、フェア地域内に落下した試技を成功試技とした。また、フェア地域を、3塁側ファウルラインからフェア地域側へ 30° の範囲(引っ張り方向)、センターラインを中心に左右各 15° の範囲(センター方向)、1塁側ファウルラインからフェア地域側へ 30° の範囲(流し打ち方向)の3方向に分割し(図1)、各方向に5試技ずつ成功試技が得られるまで実験を継続した。なお、ピッチングマシンはマウンドの投手板の約1.5m前方に設置し、ボールがストライクゾーンの中央付近に投射されるように調整した。実験時の(打者がボールをインパクトする直前の)打球速度の平均値と標準偏差は 24.0 ± 1.5 m/sであった。

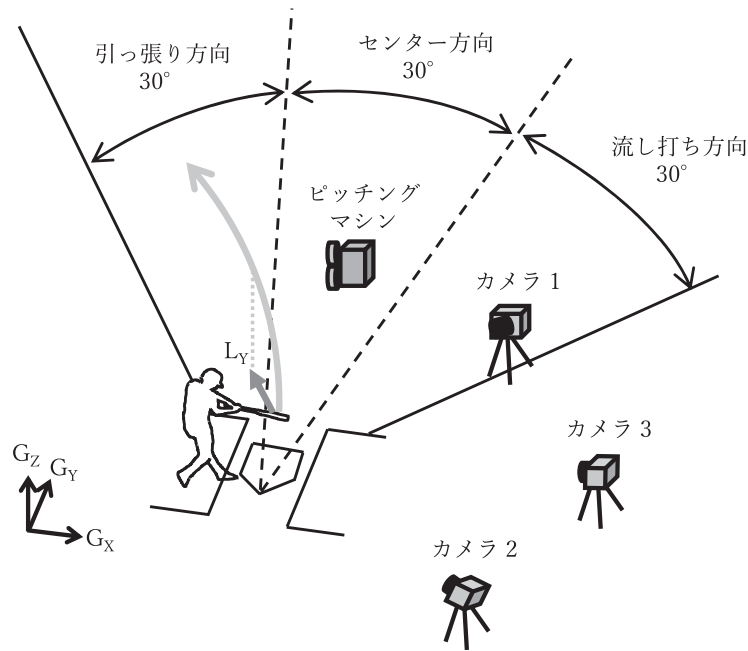


図1 実験設定と座標系の定義

左下の座標系は、グローバル座標系である。右バッタースボックス—左バッタースボックス方向を G_x 軸、捕手—投手方向を G_y 軸、鉛直上方向を G_z 軸と定義した。また、灰色で示したバットから引っ張り方向へ向かう曲線はある打球の飛翔軌道を示している。その打球のインパクト直後の速度ベクトルを水平面に投影したベクトルが短い矢印であり、 L_y 軸と定義した。

3. データ収集

撮影には3台の高速度ビデオカメラ（Phantom Miro, Vision Research社製）を用いた。そのうち2台のカメラ（図1;カメラ1, カメラ2）は、ホームベースから投手方向を見て右斜め前方および右斜め後方に設置し、撮影速度500fps, 露光時間1/20000sでバットとインパクトする前後のボールの動きを撮影した。2台のカメラの映像は、バットとボールがインパクトする瞬間を基準に、時間的に同期した。なお、試技の撮影の前に、3次元空間を構築するためキャリブレーションを行った。撮影範囲の6か所（右バッタースボックスの4つの角および左バッタースボックスのホームベース側の長辺の両端）に0.2mごとに色の異なる長さ2.4mのキャリブレーションボールを順に立て、較正用の撮影を行った。本研究では、右バッタースボックスから左バッタースボックスの方向を G_x 軸、捕手から投手の方向を G_y 軸、鉛直上方向を G_z 軸とするグローバル座標系を定義した（図1）。

他の1台のカメラ（図1;カメラ3）を、ホームベースから投手方向を見て右方向に8m離れた地点に設置し、撮影速度1000fps, 露光時間1/20000sでバットとのインパクト直後のボールの回転を撮影した。このとき、カメラの光軸とバッタースボックスの投手側のラインが平行になるようにカメラの位置を調節し、ボールが画面上に大きく映るように設定した。

また、打球の落下地点の特定には、巻き尺と測量用機器のトランシットを用いた。さらに、風が打球の飛距離に及ぼす影響を考慮するため、2塁ベース上の高さ0.5mの地点の風速を試技ごとに計測し、風速が1.5m/s以上を記録した試技は分析対象から除外した。

4. データ処理

撮影した全116試技のうち、風速が1.5m/s以上を記録した試技、打球がカメラの画角内に収まらなかった、あるいはデジタイズ点が明瞭に確認できなかった試技、打球が外野フェンスを越えて落

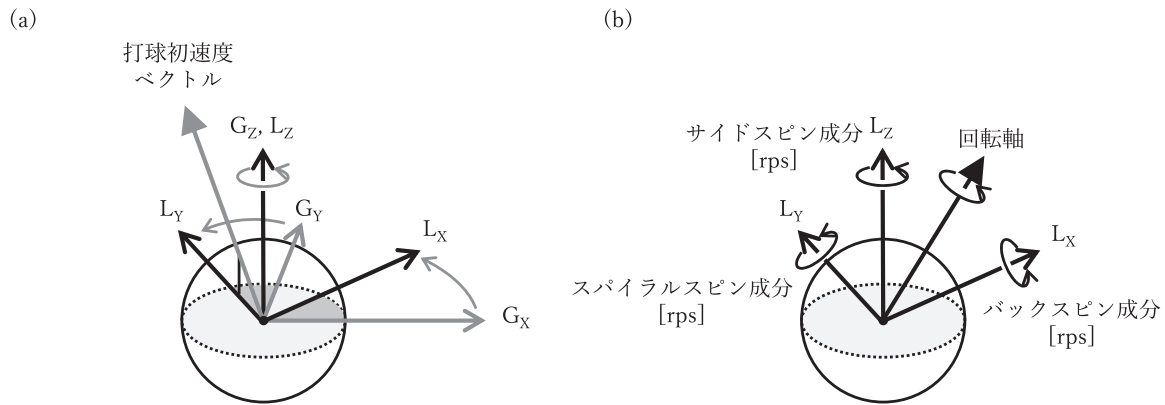


図2 (a) ローカル座標系への変換, (b) 回転成分の定義

- (a) グローバル座標系からローカル座標系への変換方法を示している。打球の初速度ベクトルを水平面に投影したベクトルを L_x 軸とし、 G_y 軸が L_x 軸に一致するように G_z 軸を回転させた。
- (b) 各回転成分について示している。 L_x 軸周りの回転はバックスピン成分、 L_y 軸周りの回転はスパイラルスピン成分、 L_z 軸周りの回転はサイドスピン成分である。なお、これらの単位は rps (rotations per second: 1 秒間当たりの回転数) とした。

下地点を特定できなかった試技を除いた79試技(引っぱり方向:24試技, センター方向:29試技, 流し打ち方向:26試技)を分析した。

撮影した映像をPCに取り込み、デジタイズソフト(Frame DIAS V, ディケイエイチ社製)を用いて分析した。カメラ1およびカメラ2より得られた映像から、バットとボールのインパクト前後5コマのボール中心をデジタイズし、3次元DLT法により3次元座標を取得した。得られたボールの3次元座標から、投球および打球の速度、ならびに発射角度を求めた。発射角度は、打球の初速度ベクトルと水平面のなす角度とし、水平面から上向きの場合を正の値とした。

カメラ3より得られた映像から、バットとのインパクト直後のボールの上下左右の端およびボール表面上のマークをデジタイズし、Jinji & Sakurai (2006)の方法を用いて、打球の回転数及び回転軸を求め、各回転成分(バックスピン成分、スパイラルスピン成分、サイドスピン成分)を算出した。しかしながら、ここで算出された回転成分はグローバル座標系においての値であるため、ローカル座標系に変換することで打球の飛翔方向に則した回転成分を算出した(図2a, Winter, 2009)。ローカル座標系はボールの中心を原点とし、打球の初速度ベクトルを水平面に投影したベクトルを L_x 軸(図1)、鉛直上向きを L_z 軸、 L_x 軸と L_z 軸の

両方に直交し、かつ、打球方向を見て右向きのベクトルを L_x 軸と定義した。なお、バックスピン成分は L_x 軸周り、スパイラルスピン成分は L_y 軸周り、サイドスピン成分は L_z 軸周りの1秒間あたりの回転数(rotations per second: rps)とした(図2b)。

続いて、打球方向別に、打球速度と飛距離の関係を調べた(図3)。打球速度を説明変数、飛距離を目的変数とした一般的な回帰直線の場合、ある打球速度から推定される飛距離が実際の飛距離よりも、過大あるいは過小評価される場合が生じる。そこで、本研究では、1) 飛距離の推定値が実測値を下回らないこと、2) 推定値と実測値の差分の二乗和が最小化されることの2つの条件を満たす回帰直線を求めた。この直線上の値は、ある打球速度で生み出すことのできる飛距離の上限値、すなわち期待できる最大の飛距離を示している。得られた回帰直線から、各方向へ60m, 70m, 80m, 90m, 100m, 110m, 120mの距離まで打球を飛ばすために必要な最小限度の打球速度を定量化した(表1)。

次に、打球の発射角度およびバックスピン成分と飛距離の関係を調べた。まず、飛距離の実測値から、実測された打球速度(図3で示す回帰直線)から推定される飛距離の上限値を減じた値を算出し、飛距離差と定義した。そして、発射角度を説

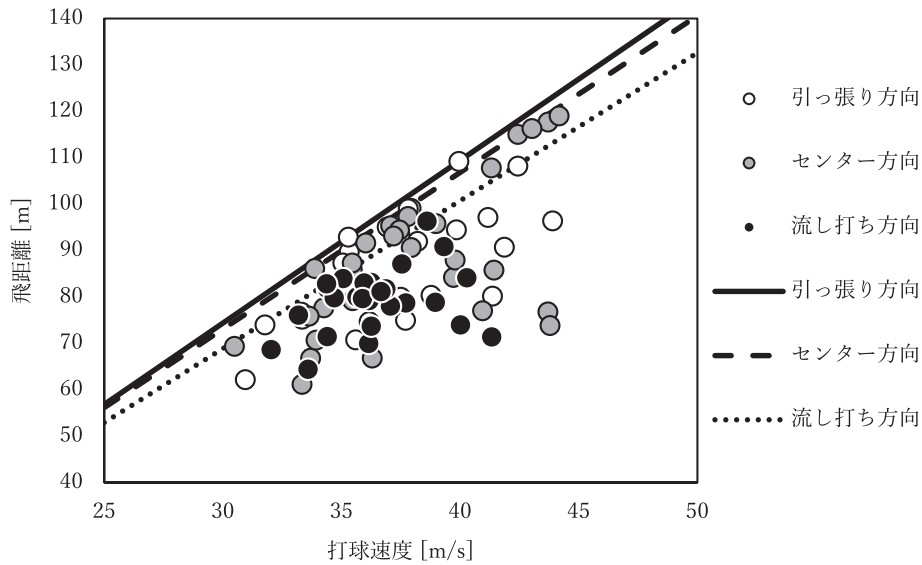


図3 打球速度と飛距離の関係

各直線はある打球速度から期待できる最大の飛距離を示している。

表1 各方向・各距離まで打球を飛ばすために必要な最小限の打球速度

	引っ張り方向	センター方向	流し打ち方向
60m	25.9 m/s	26.1 m/s	27.2 m/s
70m	28.8 m/s	29.1 m/s	30.4 m/s
80m	31.6 m/s	32.1 m/s	33.5 m/s
90m	34.5 m/s	35.0 m/s	36.6 m/s
100m	37.3 m/s	38.0 m/s	39.8 m/s
110m	40.2 m/s	40.9 m/s	42.9 m/s
120m	43.0 m/s	43.9 m/s	46.0 m/s

明変数，飛距離差を目的変数として2次の回帰曲線を求めた（図4）．さらに，バックspin成分を説明変数，飛距離差を目的変数として2次の回帰曲線を求めた（図5）．これらの関係について，2次曲線を求めた理由は，先行研究において35°の発射角度の場合に飛距離が最大となること（Adair, 2002），バックspin成分は打球速度とトレードオフの関係にあること（城所ほか, 2011）が報告されており，発射角度とバックspin成分には飛距離に対する最適値が存在すると考えられたためである．これを基に，飛距離の大きな打球を放つために必要な発射角度およびバックspin成分を求めた．なお，これらを求める際には，全ての打球方向の試技を含めて検討した．

III. 結果

収集した打球の飛距離の範囲は，引っ張り方向：62.2-109.2m，センター方向：61.2-119.0m，流し打ち方向：64.4-96.3mであった．各方向への打球のサイドspin成分の平均値と標準偏差は，引っ張り方向：5.3±11.3rps，センター方向：-10.4±9.0rps，流し打ち方向：-31.7±6.4rpsであった．図3には，打球速度と飛距離の関係を示した．ある打球速度（x）で生み出すことのできる飛距離の上限値（y）は，以下の式で示された（引っ張り方向： $y = 3.51x - 30.89$ ，センター方向： $y = 3.38x - 28.32$ ，流し打ち方向： $y = 3.19x - 26.78$ ）．表1には各打球方向に60m，70m，80m，90m，

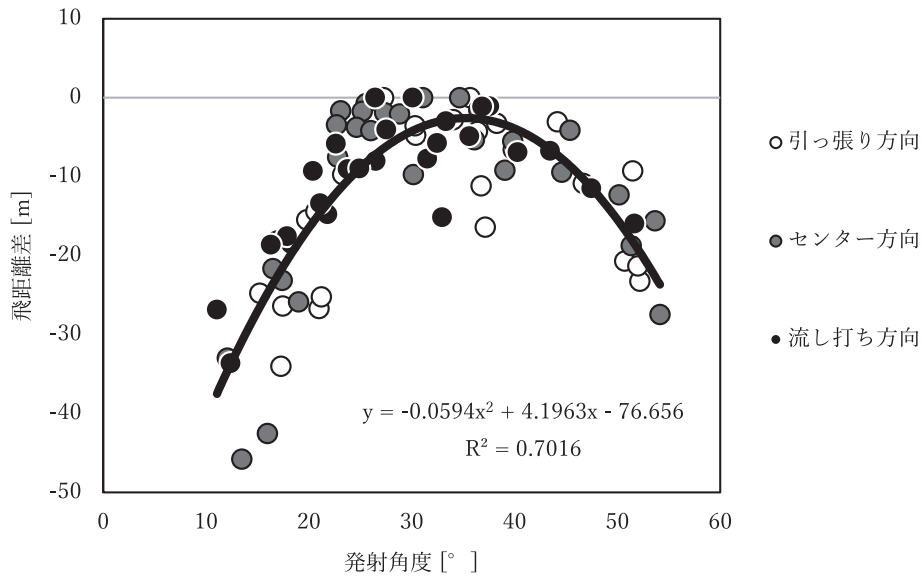


図4 発射角度と飛距離差の関係

飛距離差は実際の飛距離から、打球速度から期待される最大の飛距離を減じた値である。つまり、この図では、飛距離差が0mに近い打球ほど、適切な発射角度で打球が放たれていたことを意味している。

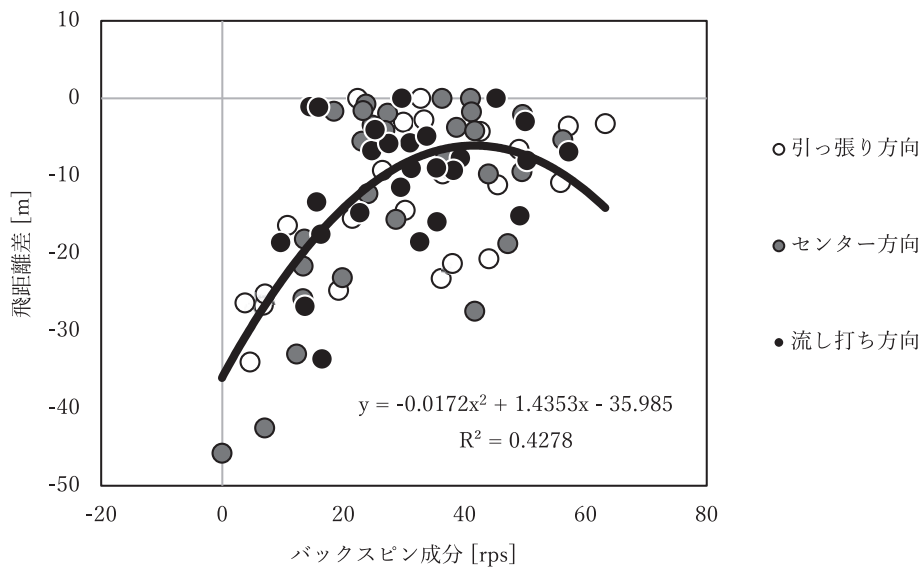


図5 バックスピン成分と飛距離差の関係

飛距離差は実際の飛距離から、打球速度から期待される最大の飛距離を減じた値である。つまり、この図では、飛距離差が0mに近い打球ほど、適切なバックスピン成分を含む打球が放たれていたことを意味している。

100m, 110m, 120mの飛距離を放つために必要な打球速度を示した。図4には、発射角度と飛距離差との関係 ($R^2 = 0.70$, $y = -0.0594x^2 + 4.1963x - 76.656$) を示した。図5には、バックスピン成分と飛距離差の関係 ($R^2 = 0.43$, $y = -0.0172x^2 + 1.4353x - 35.985$) を示した。

IV. 考察

1. 各方向に飛距離の大きな打球を放つために必要な打球特性

はじめに、打球方向別のサイドスピン成分について比較した。その結果、サイドスピン成分の平

均値と標準偏差は、引っ張り方向： 5.3 ± 11.3 rps、センター方向： -10.4 ± 9.0 rps、流し打ち方向： -31.7 ± 6.4 rpsであり、打球方向別に異なるサイドスピン成分を有していた。このことから、打球特性と飛距離との関係について、打球方向ごとに分けて検討する必要性が再確認された。

図3に打球速度と飛距離の関係を示した。本研究では、推定値が実測値を下回らないという条件の下で、ある打球速度で生み出すことのできる推定の飛距離の上限値を打球方向別に求めた。その結果、打球速度を説明変数 (x)、飛距離を目的変数 (y) とする1次関数で、ある打球速度から期待される最大の飛距離が示された(引っ張り方向： $y = 3.51x - 30.89$ 、センター方向： $y = 3.38x - 28.32$ 、流し打ち方向： $y = 3.19x - 26.78$)。これらの式の目的変数 (y) に飛距離を代入することにより、その飛距離まで打球を飛ばすために必要な最小限の打球速度を求めることができる。表1には、各方向に60-120m放つために必要な最小限の打球速度を示した。多くの野球場において、引っ張り方向あるいは流し打ち方向へホームランを放つためには、100m以上の飛距離の打球を放つ必要がある。100mの飛距離の打球を放つためには、引っ張り方向へは37.3m/s、流し打ち方向へは39.8m/sが最低限必要であり、流し打ち方向へは引っ張り方向に比べ約2.5m/s大きな速度が必要であることが明らかになった。このように打球の飛翔する方向によって同一飛距離の打球を放つために必要な速度が異なるのは、Nakashima, et al. (2018) が報告している通り、サイドスピン成分の違いに起因すると考えられる。流し打ち方向への打球はサイドスピン成分が多く、横向きに大きくスライスするため、大きな打球速度が必要になったと考えられる。一般には、打球のサイドスピン成分は、インパクト時のバットの上下方向の傾斜角(バットのヘッドが立っているか否か)の影響を受けると考えられており(古田, 2010)、流し打ち方向への打球でもサイドスピン成分を減らし飛距離を増大させることが可能であると考えられている。しかしながら、中島ほか(2020)は、水平に固定したバットとヘッドを下方に傾斜させ

て固定したバットにボールを衝突させ、衝突後の打球について調べた結果、バットの傾斜の有無に関わらず、打球のサイドスピン成分は打球の飛翔する方向によって概ね決まることを明らかにしている。バットの傾斜以外のスイング特性が打球のサイドスピン成分に及ぼす影響については明らかにされていないものの、打者が(打球の飛翔する方向に対する)サイドスピン成分を減らし飛距離を増大させることは困難であると言える。そのため、流し打ち方向へ飛距離の大きな打球を放つためには、打球のサイドスピン成分を減らそうとするのではなく、表1に示した速度を打球に加えるためにバットスイング速度を高めることが重要である。

表1で示した打球速度は、各距離まで打球を飛ばすために必要な最小限の打球速度である。ここで示した打球速度で、最大の飛距離を獲得するためには、適切な発射角度とバックスピン成分で打球を放つ必要もある。発射角度と飛距離差の間には、2次の曲線回帰の関係が認められ($R^2 = 0.70$, 図4)、発射角度が 35.3° の場合に、打球速度から期待される最大の飛距離に最も近づくことが明らかになった。一方で、図4の分布をみると、発射角度が約 $20-40^\circ$ の打球は、打球速度から期待される最大の飛距離に近かった。Adair (2002) は、発射角度が 35° の場合に飛距離は最大となるが、 30° や 40° で打ち出された場合でも、同程度の飛距離が期待できると報告しており、本研究の結果はAdair (2002) の結果を支持するものであった。このように、発射角度は一定の範囲内であれば、同程度の飛距離が期待できることが示唆された。

図5には、バックスピン成分と飛距離差の関係を示した。0-20rpsの範囲では、Nathan (2008) が報告している通り、バックスピン成分が増えるほど、打球速度から期待される最大の飛距離に近くなった。しかしながら、およそ20rps以上ではバックスピン成分が増加しても、飛距離差はほとんど変わらなかった。城所ほか(2011)は、打球速度と回転数はトレードオフの関係にあることを報告している。本研究においても、打球速度と

バックspin成分の間には負の相関関係が認められた ($R^2 = -0.25, p < 0.01$). このことから、図5において、上に凸の2次曲線の頂点よりも右側に分布する(最適なバックspin成分を超える領域の)試技は打球速度が小さく、期待される飛距離も小さかったことが考えられる。

以上のことから、各方向の各距離へ飛距離の大きな打球を放つためには、表1で示した速度を最低限ボールに与えることに加え、 $20-40^\circ$ 程度の発射角度をつけ、ボールに少なくとも20rps程度のバックspin成分を与える必要があることが明らかになった。

2. 現場への示唆

打球の飛距離を向上させるためのトレーニングを行う場合、具体的に飛距離をどれくらい増大させたいのか明確な目標を立て、トレーニング計画を立案し(Plan)、その目標に向かってトレーニングを実施し(Do)、その効果を検証し(Check)、改善していく(Action)というPDCAサイクルを繰り返すことが重要である。近年では、(飛距離に影響を及ぼす)バットスイング速度や打球速度などを簡便に計測できる機器が開発され、各選手は普段から自身の能力を把握できる環境が整ってきている(清水ほか, 2015)。さらに、先行研究において、バットスイング速度や打球速度を高めるための動作要因の検討やトレーニング効果の検証も行われている(Szymanski, et al., 2009; 勝亦・森下, 2017)。このように、現在では、科学的知見に基づいたトレーニング方法の選択やトレーニング効果の検証(Do・Check・Action)を実践現場に取り入れることが可能になってきた。一方で、ある距離まで打球を飛ばすために必要な打球の特性はこれまで明らかにされていなかった。本研究において、飛距離の大きな打球を放つために必要な打球特性を定量化したことは、具体的な目標やトレーニング計画を立案(Plan)する上で有用な指標となると考えられる。

3. 本研究の限界と今後の課題

本研究の限界として、打球が外野フェンスを越

えて落下地点を特定できなかった2試技を除外したことが挙げられる。そのため、打球速度から推定される飛距離の最大値が低く見積もられている可能性が考えられるが、これらの試技はいずれも同一方向内の試技の中で、最も打球速度が大きかった。このことから、これらの試技は図3の各直線の延長線上付近に分布すると考えられるため、結果に大きく影響することはなかったと考えられる。

また、本研究では屋外の野球場にて実験を行ったため、風が飛距離に影響を及ぼしている可能性が考えられる。Sawicki, et al. (2003)は、数値シミュレーションを用いて風が飛距離に与える影響について、追い風方向に1.0m/s風速が増加すると飛距離は約2.1m増加し、向かい風方向に1.0m/s増加すると約2.1m減少すると報告している。本研究では、計測地点(高さ0.5m)とボールが飛行する上空の風速が同じであると仮定して、 $\pm 1.5\text{m/s}$ 以上の風速を記録した試技を分析対象から除外したが、風による飛距離への影響が最大でおおよそ3m含まれている可能性が考えられる。

さらに、本研究の分析試技数は79試技と少なかったため、打球特性と飛距離との関係について統計的な分析ができなかった。また、発射角度およびバックspin成分と飛距離差の関係については打球方向別に調査していない。近年は、メジャーリーグやプロ野球などで、試合全体を通してボールや選手の動きを数値化するトラッキングシステムが導入されてきている。今後は、そのような膨大なデータを用いて、さらに詳細に分析を行うことも可能だろう。加えて、バットスイング速度と打球速度や飛距離の関係についても検討し、飛距離の大きな打球を放つためのバットスイング速度を定量化することができれば、選手にとってさらにわかりやすく有用な指標ができると考えられる。

V. 結論

本研究では、引っ張り方向、センター方向、流し打ち方向の各方向へ飛距離の大きな打球を放つ

ために必要な打球特性について検討した。その結果、以下のことが明らかになった。

- ① 100mの距離まで打球を飛ばすためには、引っ張り方向には37.3m/s、センター方向には38.0m/s、流し打ち方向には39.8m/sの打球速度が最低限必要である。
- ② 最低限の打球速度で最大の飛距離を獲得するためには、約20-40°の発射角度で打球を打ち、かつ、少なくとも20rpsのバックスピン成分をボールに加える必要がある。

これらの知見は、選手が飛距離の大きな打球を放つための練習やトレーニングをする上で有用な指標になると考えられる。

謝辞および付記等

本論文は、The 13th conference on the Engineering of Sport (ISEA2020)にて発表したもの(Proceedingsにも掲載済み^{*})を基に、さらに内容を充実させたものである。

※Nakashima, H., Horiuchi, G. & Sakurai, S. (2020) Standard of the Initial Ball Velocity for a Fly Ball in Baseball Hitting. Proceedings 2020, 49, 137.
<https://doi.org/10.3390/proceedings2020049137>

文献

- Adair, R.K. (2002) The physics of baseball (3rd ed.). HarperCollins Publishers: New York. pp. 16-22.
- アメリカ野球指導者協会：平野裕一訳(2011) 野球一勝つための戦術・戦略。大修館書店：東京，pp. 27-29.
- 古田敦也(2010) フルタの方程式 バッターズ・バイブル。朝日新聞出版：東京，pp. 90-91.
- Jinji, T. & Sakurai, S. (2006) Direction of spin axis and spin rate of the pitched baseball. Sports Biomechanics, 5(2): 197-214.
- 勝亦陽一・森下義隆(2017) 高校野球選手における打球スピード向上を目的としたトレーニングの効果～PDCAサイクルに基づいた実践報告～。スポーツパフォーマンス研究, 9: 369-385.
- 城所収二・若原卓・矢内利政(2011) 野球のバッティングにおける打球飛距離と打球の運動エネルギーに影響を及ぼすスイング特性。バイオメカニクス研究, 15(3): 78-86.
- Nakashima, H., Horiuchi, G. & Sakurai, S. (2018) Three-dimensional batted ball in baseball: effect of ball spin on the flight distance. Sports Engineering, 21. 493-499.
- 中島大貴・森下義隆・八木賢太郎・桜井伸二(2020) 野球の打撃におけるインパクト時のバットの上下方向の傾斜が打球の回転に及ぼす影響。バイオメカニクス研究, 24: 8-18.
- Nathan, A.M. (2008) The effect of spin on the flight of a baseball. American Journal of Physics, 76(2): 119-124.
- 及川研(1995) 野球の打球の初速度・方向とその飛距離との関係について。東京学芸大学紀要第5部門 芸術・健康・スポーツ科学, 47: 193-201.
- Sawicki, G.S., Hubbard, M. & Stronge, W.J. (2003) How to hit home runs: Optimum baseball bat swing parameters for maximum range trajectories. American Journal of Physics, 71(11): 1152-1162.
- 清水雄一・鳴尾丈司・柴田翔平・矢内利政(2015) 慣性センサを用いた野球スイングにおけるバット挙動の計測。スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス講演論文集, No15-21: A-21.
- Szymanski, D.J., DeRenne, C. & Spaniol, F. (2009) Contributing factors for increased bat swing velocity. Journal of Strength and Conditioning Research, 23(4): 1338-1352.
- 鳥越規央(2014) 勝てる野球の統計学—セイバームトリクス。岩波書店：東京。pp. 21-42.
- Winter, D.A. (2009) Biomechanics and Motor Control of Human Movement (4th ed.). John Wiley & Sons: New Jersey. pp. 176-199.

(2020年 8月24日受付)
 (2020年 10月26日受理)