

# 打点高および体重のかけ方が野球のバッティング時のバット速度と バット法線パワーへ与える影響

田邊 智

Effect of swing height and body weight distribution on bat speed  
and normal power during baseball batting

Satoru Tanabe

## Abstract

The purpose of this study was to examine the effect of swing height and body weight distribution on bat speed and normal power during baseball batting. Thirty collegiate baseball players participated in this study. The three-dimensional coordinates of reflective markers attached to the subjects and to the bat during baseball batting were obtained using a motion capture system with 22 cameras (250 fps). We instructed participants to swing a bat with four trial conditions i.e., with swing at high and low hitting-point, each with regular form and with weight consciously kept back. The findings of this study were summarized as follows.

- 1) Baseball players developed normal power by pulling the grip to the normal direction, thus causing the bat head to accelerate.
- 2) The bat speed at impact was significantly greater at the low hitting-point than at high hitting-point. The reason for this was that the grip was pulled in the normal direction by the down-swing motion, producing a large bat normal power when swinging at the low hitting-point.
- 3) Baseball players who could increase normal power by keeping their body weight back were able to increase bat speed, effectively.

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

## 1. 緒言

野球における打撃動作の目的として、速いボールを打つこと、ボールを遠くへ飛ばすこと、そして狙ったところへ正確に打つことなどが挙げられる。この中でも、速いボールを打ったり、ボール

を遠くへ飛ばしたりするためには、バットを使ってボールに大きな運動量を与える必要がある。そのため打者にとって、いかにしてバット速度を高めるかが重要な課題と言える。

これまで野球のバッティング動作に関する先行研究では、バット速度を増大させる要因を動作学



## 2. 方法

### 2.1 被験者

被験者は男子大学野球選手 30 名（身長：1.72 ± 0.06 m，体質量：70.4 ± 10.5 kg，年齢：20.3 ± 0.84 歳，競技歴：11.9 ± 2.3 年）で，その内，右打ちが 16 名，左打ちが 14 名であった。被験者には実験の開始前に，本研究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，ティースタンド上に置いたボールをセンター方向へできるだけ強く打撃するよう指示した。本研究では，試技ごとにティースタンドの高さを被験者のストライクゾーンぎりぎり高い位置（以下「高い打点」と略す）と，ぎりぎり低い位置（以下「低い打点」と略す）にセットし，それぞれの打点において通常のバットスイングと，意図的に体重を後ろにかけたバットスイングを行わせた（以下，高い打点の通常のバットスイングを「HNS」，高い打点の体重を後ろにかけたバットスイングを「HBS」，低い打点の通常のバットスイングを「LNS」，低い打点の体重を後ろにかけたバットスイングを「LBS」と略す）。そして，野球技術に精通した検者と被験者本人の両方が全力でスイングできたと納得できた試技を成功とし，十分な休憩を挟みながら成功試技が得られるまで続けさせた。なお，実験で使用したバットは硬式野球用の木製バットで，長さは 0.84 m，質量は 870 g であった。また，試技の順番による差を生み出さないよう，打点の高さ，スイング方法は検者側でランダムに選択して実験を行った。

実験試技の直前に，被験者の身体各部位とバットに計 36 個の反射マーカーを貼付し，スイング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。

### 2.3 分析方法

#### 2.3.1 座標の反転

本研究では，左打ちの被験者の分析において，データ処理の前に左右の座標を反転させ，全員が右打ちの打者として，以下のデータ処理を行った。

#### 2.3.2 平滑方法

3 次元動作分析システムによって得られた 3 次元座標をもとに，Yu et al.(1999) の残差分析法を用いて，各部位の 3 軸方向の最適遮断周波数を求め，4 次の Butterworth Digital Filter (Winter, 2009) を用いて平滑した。

#### 2.3.3 グリップ法線速度、バット法線加速度、バット法線パワーの算出

本研究では，田邊 (2018) の方法を参考にバットヘッドの法線方向へのパワーを算出した。つまり，まずバットヘッドの 3 次元座標を時間微分して，静止座標系上のバットヘッド速度および加速度を算出した。次に， $i-1$  フレーム目と  $i+1$  フレーム目の合成バットヘッド速度ベクトルを外積し，2 つのベクトルで作られる面に垂直なベクトルを計算した。そして，そのベクトルと  $i$  フレーム目の合成バットヘッド速度ベクトル（接線方向に相当する）を外積することで得られたベクトルの方向を， $i$  フレーム目の法線方向と定義し，この 3 つのベクトルでできる運動座標系を法線方向の速度および加速度を求めるために用いた。つまり，バットのグリップエンドに貼付したマーカーの静止座標系上における速度ベクトルを，フレームごとに先ほど定義した運動座標系へ座標変換行列（和達，1983）を使って座標変換し，法線方向への速度（以下「グリップ法線速度」と略す）を算出した。また，同じく座標変換行列を用いて，バットのヘッドに貼付したマーカーの静止座標系上における加速度ベクトルをフレームごとに座標変換し，法線方向へのバットヘッド加速度（以下「バット法線加速度」と略す）を算出した。Miura (2001) はゴルフのスイング動作では，法線方向へのクラブヘッドの力（クラブの質量と

クラブヘッドの法線方向への加速度との積で決まる)と、同じく法線方向へのグリップ速度との積によって求められるパワーによって、クラブヘッドの運動エネルギーが増大すると述べている。そこで、本研究においても、バットの質量にバット法線加速度を乗じて求めた法線方向の力に、グリップ法線速度を乗じることで法線方向へのバットのパワー(以下「バット法線パワー」と略す)を算出した。

### 2.3.4 分析区間とスイング距離

本研究では、下胴の左回旋が始まった瞬間をスイング開始点と定義し、そこからボールインパクトまでを分析区間とした。そして、平滑座標を用いてスイング開始からインパクトまでのバットヘッドの移動距離(以下「スイング距離」と略す)を求めた。

### 2.3.5 データ標準化、標準動作の算出

本研究では、スイング開始からインパクトまでの区間の時間を100%となるよう、3次のスプライン関数を用いた内挿補間によって平滑座標と合成バットヘッド速度(以下「バット速度」と略す)、グリップ法線速度、バット法線加速度、そしてバット法線パワーを規格化した。また、Ae et. al.(2007)の方法を参考に、各試技条件の標準動作を計算した。つまり、規格化した平滑座標値から被験者の両大転子中点に対する相対座標を算出し、それを被験者の身長で除した後、それらを試技条件ごとに平均化することで、HNS, HBS, LNS, LBS時の標準動作を求めた。

### 2.3.6 統計方法

本研究では、インパクト時のバット速度と最大バット法線パワーとの関係を調べるため、ピアソンの積率相関係数を求めた。また、打点の高さおよび体重のかけ方を独立変数に、各分析項目を従属変数とした二要因の分散分析を行い、特に、バット速度、グリップ法線速度、バット法線加速度、そしてバット法線パワーについては、規格化時間の1%ごとに分析を行った。なお、統計処理

には統計ソフトjs-STAR(version 9.8.6j)を用い、統計的有意水準は5%とした。また、規格化時間の1%ごとに検定を行った分析項目については、結果の描写が煩雑になることから、F値や有意確率、効果量の記述は行わないこととした。

## 3. 結果

### 3.1 バット速度、スイング距離

図2に各条件(HNS, HBS, LNS, LBS)での平均バット速度の経時変化を示した。図の青い直線はHNSを、赤い直線はHBSを、緑の直線はLNSを、そして黄色の直線はLBSを表している。また、高い打点よりも低い打点の方が有意に高い時点には青い△を、低い打点よりも高い打点の方が有意に高い時点には赤い△を、そして通常のスイングよりも体重を後ろにかけたスイングの方が有意に高い時点には緑の▽を示した。なお、図のスティックピクチャはHNS時の標準動作である。いずれの条件においても、スイング開始からバット速度は増加し続け、ボールインパクト時に最大値を迎えた。インパクト時のバット速度の平均値はHNSで $32.9 \pm 2.5$  m/s(28.7~38.7 m/s)、HBSでは $33.2 \pm 2.2$  m/s(29.5~38.4 m/s)、LNSにおいては $33.7 \pm 2.8$  m/s(29.4~40.2 m/s)、LBSでは $33.7 \pm 2.6$  m/s(29.1~40.3 m/s)であった。二要因分散分析の結果、規格化時間のすべてにおいて有意な交互作用は見られず、打点の高さではスイング開始から30%までは低い打点よりも高い打点の方がバット速度は有意に大きく、58%からボールインパクトまでは高い打点よりも低い打点の方が有意に高かった。また、体重のかけ方については18%から82%までは通常のスイングよりも体重を後ろにかけたバットスイングの方がバット速度は有意に大きかった。

スイング距離の平均値はHNSで $2.83 \pm 0.23$  m(2.35~3.26 m)、HBSでは $2.84 \pm 0.20$  m(2.48~3.16 m)。LNSにおいては $2.83 \pm 0.23$  m(2.36~3.17 m)。LBSでは $2.84 \pm 0.19$  m(2.47~3.20 m)であった。統計処理の結果、有意な交互作用は見

### 打点高および体重のかけ方がバット速度へ与える影響

られず、打点および体重のかけ方の両方においても有意な差は認められなかった、

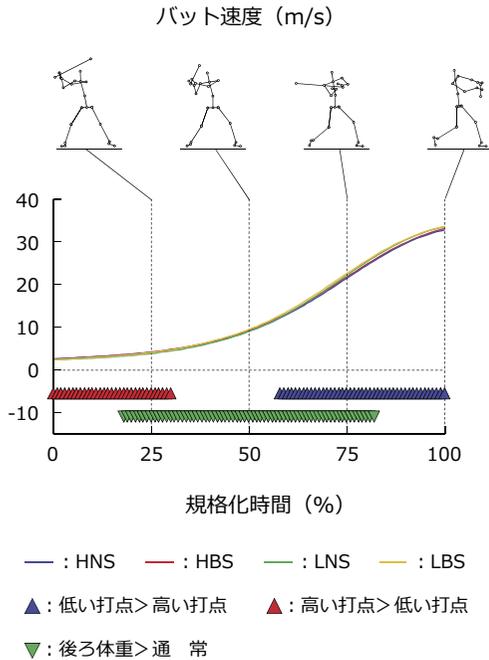


図2. 各条件における平均バット速度の経時的変化

### 3.2 グリップ法線速度、バット法線加速度、バット法線パワー

図3は各条件 (HNS, HBS, LNS, LBS) における平均グリップ法線速度の経時的変化を表している。なお、図の線および記号等の仕様は図2と同様で、図のスティックピクチャはHBS時の標準動作である。いずれの条件でも、スイング開始からグリップ法線速度は増加し、75%付近で最大値に達した後、減速しながらインパクトを迎えた。最大グリップ法線速度の平均値はHNSで  $9.3 \pm 0.8$  m/s (7.9~10.8 m/s), HBSでは  $9.2 \pm 0.8$  m/s (7.9~10.6 m/s), LNSにおいては  $9.5 \pm 0.8$  m/s (8.0~11.1 m/s), LBSでは  $9.5 \pm 0.8$  m/s (8.1~10.9 m/s) であった。統計の結果、規格化時間のすべてにおいて有意な交互作用は見られず、打点の高さではスイング開始から77%までは高い打点よりも低い打点の方がグリップ法線速度は有意に大きく、その後、84%からインパクトまでは低い打点よりも高い打点の方が有意に高かった。

た。また、体重のかけ方についてはスイング開始から38%までは通常のスイングよりも体重を後ろにかけたバットスイングの方がグリップ法線速度は有意に大きかった。

図4に各条件 (HNS, HBS, LNS, LBS) での平均バット法線加速度の経時的変化を示した。なお、図の線および記号等の仕様は図2と同様で、図のスティックピクチャはLNS時の標準動作である。いずれの条件においてもスイング開始後約25%からインパクトへ向かってバット法線加速度は上昇し、ボールインパクト付近で最大値を迎えた。最大バット法線加速度の平均値はHNSで  $1079.6 \pm 140.9$  m/s<sup>2</sup> (847.2~1375.8 m/s<sup>2</sup>), HBSでは  $1093.6 \pm 129.5$  m/s<sup>2</sup> (851.6~1372.8 m/s<sup>2</sup>), LNSにおいては  $1133.5 \pm 160.6$  m/s<sup>2</sup> (880.0~1508.0 m/s<sup>2</sup>), LBSでは  $1150.1 \pm 158.4$  m/s<sup>2</sup> (879.2~1504.8 m/s<sup>2</sup>) であった。二要因分散分析を行った結果、規格化時間のすべてにおいて有意な交互作用は見られず、打点の高さでは23%から55%までは低い打点よりも高い打点の方がバット法線加速度は有意に高く、76%からボールインパクトまでは高い打点よりも低い打点の方が有意に大きかった。一方、体重のかけ方に関しては73%からインパクトまでは通常のスイングよりも体重を後ろにかけたバットスイングの方がバット法線加速度は有意に高かった。

図5は各条件 (HNS, HBS, LNS, LBS) における平均バット法線パワーの経時的変化を指している。なお、図の線および記号等の仕様は図2と同様で、図のスティックピクチャはLBS時の標準動作である。いずれの条件でも、バット法線パワーはスイング開始後約20%から増加し、85%付近で最大値を迎えた後、減少しながらインパクトを迎えていた。最大バット法線パワーの平均値はHNSで  $6252.4 \pm 1388.2$  W (4033.2~9566.1 W), HBSでは  $6344.1 \pm 1302.9$  W (4154.1~9554.7 W), LNSについては  $6402.1 \pm 1563.8$  W (4102.3~9491.1 W), LBSでは  $6439.1 \pm 1477.2$  W (4128.8~9764.5 W) であった。統計分析の結果、規格化時間のすべてで有意な交互作用は観察されず、打点の高さではスイング開始直後と、65%

から83%までは高い打点よりも低い打点の方がバット法線パワーは有意に高く、92%からボールインパクトまでは低い打点よりも高い打点の方が有意に大きかった。また、体重のかけ方においてはスイング開始から33%までと、インパクト時で通常のバットスイングよりも体重を後ろにかけたバットスイングの方がバット法線パワーは有意に高かった。

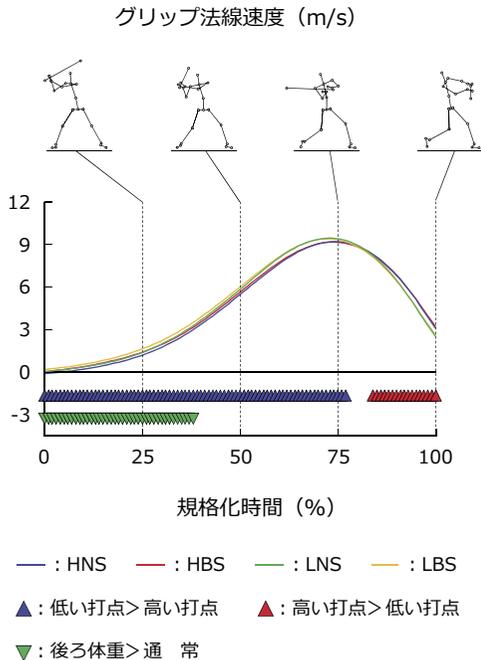


図3. 各条件における平均グリップ法線速度の経時的变化

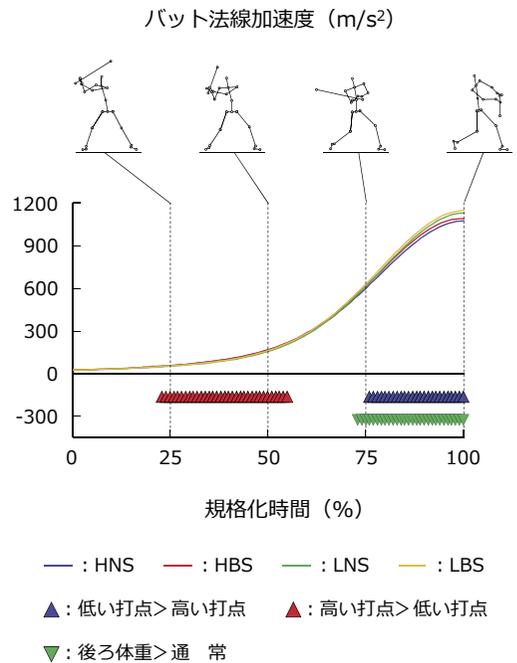


図4. 各条件における平均バット法線加速度の経時的变化

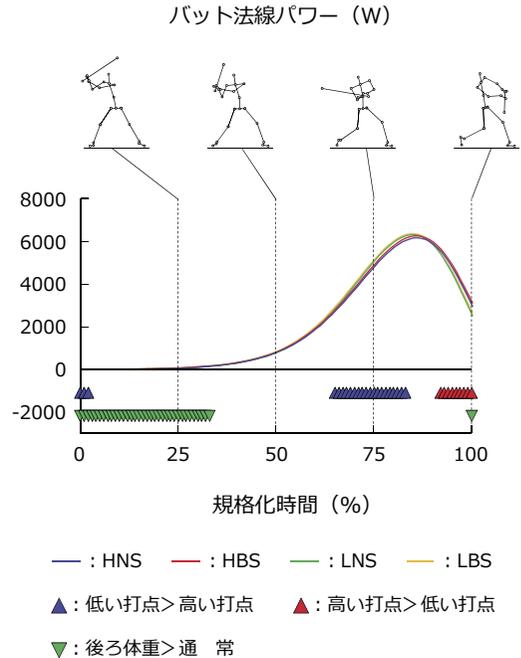


図5. 各条件における平均バット法線パワーの経時的变化

打点高および体重のかけ方がバット速度へ与える影響

### 3.3 インパクト時のバット速度と最大バット法線パワーとの関係

図6はインパクト時のバット速度と最大バット法線パワーとの関係を指している。各条件(HNS, HBS, LNS, LBS)ともインパクト時のバット速度と最大バット法線パワーとの間に高い有意な正の相関関係が認められた(HNS:  $r = 0.934$ , HBS:  $r = 0.928$ , LNS:  $r = 0.963$ , LBS:  $r = 0.951$ )。

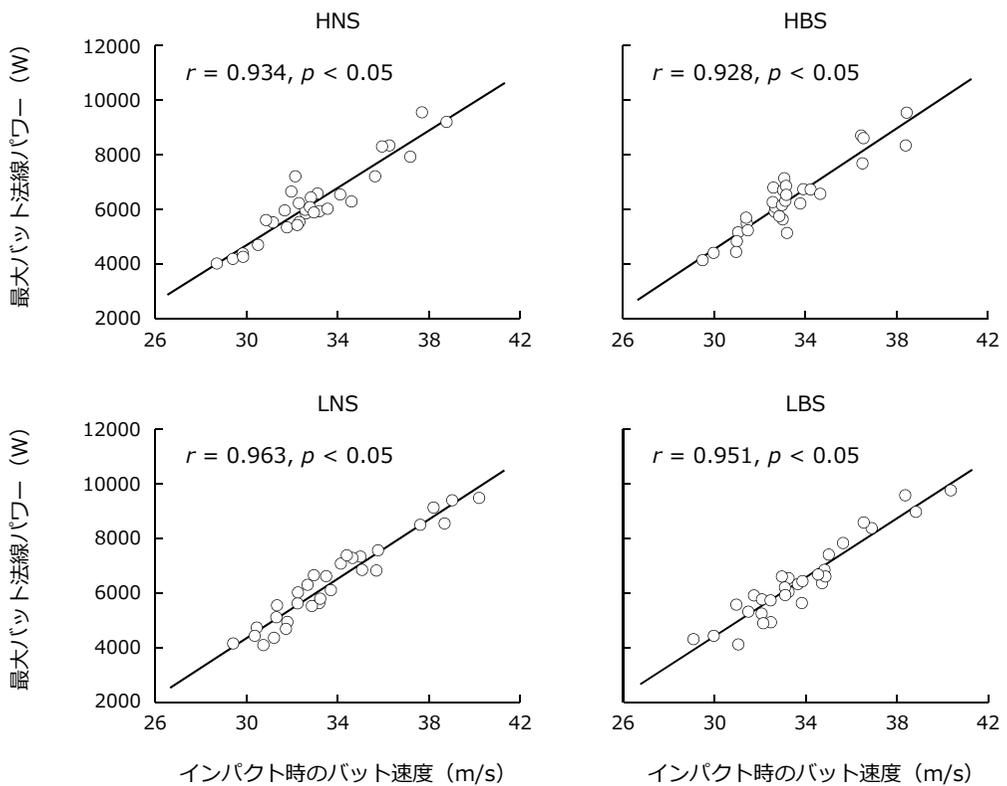


図6. 各条件におけるインパクト時のバット速度と最大バット法線パワーとの関係

#### 4. 考察

Miura(2001)は、従来ゴルフのスイング動作をモデリングする際に用いられてきた二重振子モデル(Williams, 1967)に、グリップを法線方向へ引き上げる要素を付け加えたダブルリンク+1アクチュエータモデルを考案し、このモデルを用いるとクラブヘッドが加速するかシミュレーションした。その結果、インパクト直前にグリップを法線方向へ引くと、グリップを法線方向へ引かなかった時に比べてクラブヘッド速度が増加したと報告している。Miura(2001)は、その原因として、クラブヘッドの法線方向への力とグリップを法線方向へ引く速度との積によって求められる法線パワーがクラブヘッドの運動エネルギーを変化させるため、法線パワーが増大することによってクラブヘッドが加速したからだと考察している。また、田邊(2018)は大学ゴルフ選手を対象に、実際のゴルフのスイング動作においても同様のメカニズムでクラブヘッドが加速しているのかを確認したところ、クラブヘッド速度の高いゴルフ選手ほどダウンスイング直後からより積極的にグリップを法線方向へ引き、法線パワーを高めることでクラブヘッドを加速させていたと述べている。野球選手のバッティング動作において、長距離バッターと呼ばれている選手が体重を後ろにかけながらバットをスイングする姿がしばしば見かけられるが、本研究では、この体重を後ろにかけ動作がバット法線パワーを高め、バット速度を加速させているのではないかと仮説を立てた。そこで、本研究では大学野球選手を対象に、通常のバットスイング時と、意図的に体重を後ろにかけたバットスイング時のバット速度とバット法線パワーの変化を調べた。なお、投手が投げるボールの速度やコースによってバット速度やバット法線パワーが変わる可能性があるため、本研究では投手が投げたボールを打つのではなく、ティースタンドを用いて被験者のストライクゾーンぎりぎり高い打点と、ストライクゾーンぎりぎり低い打点に置いたボールを打った時のデータを採取した。その結果、グリップ法線速度、バット法線加

速度、バット法線パワーはいずれもすべての条件で同様の変化パターンを示した。つまり、グリップ法線速度はスイング開始から増加し、75%付近で最大値を迎えた後、減速しながらインパクトを迎えていた(図3)。また、バット法線加速度はスイング開始後約25%から上昇し、インパクト付近で最大値を迎えた(図4)。さらに、バット法線パワーはスイング開始後約20%から増加し、85%付近で最大値に達した後、減少しながらインパクトを迎えた(図5)。バットもスイング開始直後から加速して、ボールインパクト時に最大バット速度を迎えていた(図2)。森下ほか(2015)は打者が両手でバットに加えた力がバットの速度増加にどれぐらい貢献しているのかを調べ、インパクト時のバット速度の70%が、打者がバットの長軸方向、つまりバットヘッドからグリップの方向へ加えた力によって生み出されていたと述べている。これらのことから、野球のバッティング動作において、野球選手はバットの長軸方向へ力を加えることでグリップを法線方向へ引き、それによってバット法線パワーを高めることで、バットを加速させていたと考えられた。

本研究では、規格化時間の1%ごとに打点の高さおよび体重のかけ方によって、バット速度、グリップ法線速度、バット法線加速度、そしてバット法線パワーが変化するかを、二要因分散分析を用いて検定した。まず打点の高さについて、バット速度ではバットが加速し、最大速度に達するスイング後半において有意差が認められた(図2)。つまり、スイング後半では、高い打点でスイングするよりも低い打点でバットをスイングした時の方がバット速度は有意に高かったのである。田子ほか(2006)は大学野球選手を対象に、打点の高さが野球のバッティング動作に及ぼす影響を調べ、低い打点でボールを打った時の方が真ん中の打点および高い打点で打った時に比べ、打球速度が有意に高かったと報告している。田子ほか(2006)は、この結果について、打点が低いとテイクバックの位置から打点までのバット加速距離を長くとることができるので、バット速度を大きくできるからだとして考察している。そこで本研究に

## 打点高および体重のかけ方がバット速度へ与える影響

においても、スイング開始からインパクトまでのスイング距離を求めたが、打点の高さによってスイング距離に有意な違いは認められなかった。バットを加速させる要因となるバット法線パワーについて見てみると、65%から83%までは高い打点よりも低い打点の方がバット法線パワーは有意に高かった(図5)。前述したとおり、バット法線パワーはバットの法線方向の力とグリップ法線速度との積で計算される。そこで、バット法線加速度を確認すると、バット法線加速度は76%からボールインパクトまで高い打点よりも低い打点の方が有意に大きく(図4)、またグリップ法線速度はスイング開始から77%まで高い打点よりも低い打点の方が有意に高かった(図3)。低い打点でボールを打とうとすると、スイング開始位置からバットを振り下ろしてスイングが行われるため、野球選手は高い打点で打つ時よりも脇を閉めてグリップを先行させながらスイングを行う。川村ほか(2008)は、ボールインパクト時のバット速度が大きかった選手ほど「脇を閉める」ようにグリップ側を握る上肢の肩関節を内転および水平内転させることでバット速度を高めていたと述べている。また、阿江ほか(2013)はセンサー・バットを使って、打点高を変化させた時の左右各手がバットに加えた力およびモーメントがなした仕事を算出し、打点が低いほど、グリップ側を握る手が加えたバットの長軸方向への力と、バット長軸力の鉛直成分による仕事が大きかったと報告している。以上の結果から、低い打点でスイングした時の方が高い打点でスイングした時よりもバット速度が高くなる原因は、低い打点でスイングした時の方がバットを加速させる距離を長くとれるからではなく、脇を閉めてバットを振り下ろす動作によってバットの長軸方向へより大きな力を加えることができ、それがグリップを法線方向へ引くこととなって、より大きなバット法線パワーを生み出していたからだと考えられた。

体重のかけ方では、バット速度は18%から82%までは通常のスイングよりも体重を後ろにかけたバットスイングの方が有意に高かったが、バット速度が増大して最大値を迎えるス

イング終盤においては有意な差は認められなかった。また、バット法線パワーについても、スイング開始から33%までと、ボールインパクト時で有意な差は認められたものの、スイング終盤のほとんどで有意な差は見られなかった。このことは本研究の仮説に反し、意図的に体重を後ろにかけてもバットは加速しないことを示唆している。そこで本研究では、高い打点と低い打点のそれぞれで、体重を後ろにかけるとバット速度およびバット法線パワーがどう変化したかを調べた。すなわち、HBSおよびLBS時の最大バット速度からHNSおよびLNS時の最大バット速度の差分と、HBSおよびLBS時の最大バット法線パワーからHNSおよびLNS時の最大バット法線パワーの差分を計算した。そして、それぞれの相関関係を求めたところ、高い打点および低い打点のいずれにおいても最大バット法線パワーの変化量と最大バット速度の変化量との間に有意な正の相関関係(高い打点: $r = 0.483$ , 低い打点: $r = 0.641$ )が認められた(図7)。つまり、バット法線パワーの変化量が高かった選手ほどバット速度の変化量も大きかったのである。以上の結果から、意図的に体重を後ろにかけるとグリップを法線方向へ引くことができなかった選手もいる一方、意図的に体重を後ろにかけるとグリップを法線方向へ引くことのできた選手は、バット法線パワーを効果的に高めることができ、その結果、バット速度を増大することができたと考えられた。「体重を後ろにかける」というコーチングによって、一朝一夕ではバット法線パワーを高めることは難しいが、体重を後ろにかけると意識しながら、長期間トレーニングすると、バット法線パワーを効果的に高めることができるようになり、バット速度を増大させることのできる可能性が示唆される。

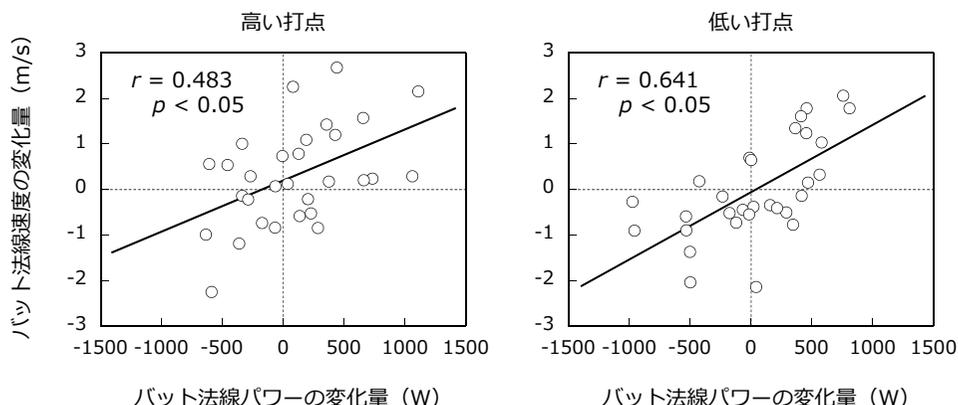


図7. 高い打点および低い打点における最大バット法線パワーの変化量と最大バット速度の変化量との関係

## 5. まとめ

本研究では大学野球選手 30 名を対象に打点の高いスイング動作と打点の低いスイング動作を行わせ、通常のバットをスイングした時と、意図的に体重を後ろにかけてバットをスイングした時でバット速度とバット法線パワーに違いがあるのかを調べ、次のような結果を得た。

- 1) 野球選手はバットスイング時にグリップを法線方向へ引くことでバット法線パワーを高め、バットを加速させている。
- 2) 高い打点でスイングするよりも低い打点でスイングした時の方がバット速度は高くなるが、その原因は低い打点でスイングした時の方が振り下ろし動作によってグリップを法線方向へ引くとともに、バット法線加速度を高めることで大きなバット法線パワーを生み出していたからである。
- 3) 意図的に体重を後ろにかけることでグリップを法線方向へ引くことのできた選手はバット法線パワーを効果的に高めることができたので、バット速度が増大した。

## 6. 文献

阿江数通・小池関也・川村卓 (2013) 打点高の異なる野球ティー打撃動作における左右各手のキネティクスの分析. バイオメカニクス研究,

17(1) : 2-14.

Ae, M., Muraki, Y., Koyama, H., and Fujii, N. (2007) A biomechanical method to establish a standard motion and identify critical motion by motion variability: With examples of high jump and sprint running. Bulletin of institute of health and sport sciences, University of Tsukuba, 30 : 5-12.

川村卓・島田一・高橋佳三・森本吉謙・小池関也・阿江通良 (2008) 野球の打撃における上肢の動作に関するキネマティクスの研究：ヘッドスピード上位群と下位群のスイング局面の比較. 体育学研究, 53(2) : 423-438.

小池関也・川村卓・阿江通良 (2009) バットヘッドコントロールに関する上肢の順動力学的分析. ジョイント・シンポジウム：スポーツ工学シンポジウム・シンポジウム：ヒューマン・ダイナミクス講演論文集, 2009 : 234-239.

Miura K. (2001) Parametric acceleration – the effect of inward pull of the golf club at impact stage. Sports Engineering, 4 : 75-86.

森下義隆・平野裕一・矢内利政 (2013) 野球のバッティングにおけるバットヘッド速度に対する体幹および上肢のキネマティクスの貢献. バイオメカニクス研究, 17(4) : 170-180.

森下義隆・平野裕一・矢内利政 (2015) 野球打撃におけるインパクト時のバットのヘッドスピードと方位を決定する力学的要因. バイオメカニ

## 打点高および体重のかけ方がバット速度へ与える影響

- クス研究, 19(4): 201-215.
- 田子孝仁・阿江通良・藤井範久・小池関也・高橋佳三・川村卓 (2006) 野球における打撃ポイントの高さが打撃動作に及ぼす影響. バイオメカニクス研究, 10(1): 2-13.
- 田邊智 (2018) ゴルフスイング時のクラブヘッド速度と法線方向へのグリップ速度との関係について. 大阪体育学研究, 56: 39-49.
- 田内健二・南形和明・川村卓・高松薫 (2005) 野球のティーバッティングにおける体幹の捻転動作がバットスピードに及ぼす影響. スポーツ方法学研究, 18(1): 1-9.
- 和達三樹 (1983) 物理のための数学. 岩波書店, pp.98-110.
- Williams, D.(1967) The dynamics of the golf swing. Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics, 20: 247-264.
- 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2年9月30日受付

令和3年1月28日受理