

## 発達段階の異なる野球選手および プロ野球選手のバットスイングの特徴

蔭山 雅洋<sup>1)2)</sup> 中島 一<sup>3)</sup> 中本 浩揮<sup>4)</sup> 藤井 雅文<sup>4)</sup> 前田 明<sup>4)</sup>

Masahiro Kageyama<sup>1,2</sup>, Hajime Nakashima<sup>3</sup>, Hiroki Nakamoto<sup>4</sup>, Masafumi Fujii<sup>4</sup> and Akira Maeda<sup>4</sup>: Characteristics of baseball player bat-swing among subjects at different developmental stages and professionals.

和文抄録：

本研究の目的は、小学生から大学生のアマチュア選手 994 名およびプロ野球選手 46 名を対象に、発達段階および競技レベルの異なる野球選手におけるバットスイングの特徴を明らかにすることとした。本研究では、最大努力によるトス打撃を実施した。その際、バットスイング解析装置を用いて、バットスイングの特徴を示す 8 項目を計測した。その結果、スイング時間は小学生高学年以降において年代ごとに短縮し、スイング速度は年代ごとに増加した。プロ野球選手は、スイング速度がアマチュア野球選手よりも有意に高く ( $p < 0.01$ )、スイング時間が小学生および中学生よりも有意に短かった ( $p < 0.05$ )。その他の項目は、一貫した変化がみられなかった。本研究の結果は、バットスイングにおけるトレーニングや練習の方法を検討する上で非常に有益な情報になるため、選手の現状のバットスイングを客観的に把握することが可能になると示唆された。

**Key words:** development of batting motion, swing characteristics, toss-batting, inertial sensor, sensing data, coaching

**キーワード:** 打動作の発達, スイング特性, トス打撃, 慣性センサ, センシングデータ, コーチング

### 1. 緒言

近年では、センサ技術や IT 技術の発展により、計測装置の小型化が進み、バッティング直後に、スイングの結果を即時にフィードバックできる計測装置が開発されている (清水ほか, 2015)。平成 25 年に文部科学省が報告した運動部活動での指導のガイドラインでは、指導者が効果的な指導を行うには、自身の経験に頼るだけでなく、スポーツ医・科学の研究の成果を積極的に習得し、活用することが重要であると述べられている。しかし、我が国の野球においては、地域や学校単位の

指導がなされており、合理的な指導と非合理的な指導が混在している (金堀ほか, 2014) との指摘もある。このようなことから、野球打者の理想的なスイング (例えば、スイング軌道) の特徴を明らかにすることは、野球競技を行う選手や指導者にとって有益な情報になるといえる。

野球の打者は、投手が投じたボールを守備者に阻まれないように打ち返すことが重要となる。そのため、打者は投手からリリースされたボールに対して強く、あるいは巧みに打ち返すことが求められる。野球ではホームランはそのまま得点を意味し、長打 (二塁打や三塁打) は走者をより進塁

1) 関西大学  
〒 564-8680 大阪府吹田市山手町 3 丁目 3 番 35 号  
2) 日本スポーツ振興センター  
〒 115-0056 東京都北区西が丘 3-15-1  
3) 阿南工業高等専門学校  
〒 774-0017 徳島県阿南市見能林町青木 265  
4) 鹿屋体育大学  
〒 891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町 1 番地

1. *Kansai University*  
3-3-35 Yamate, Suita, Osaka 569-1052, Japan  
2. *Japan Sport Council*  
3-15-1 Nishigaoka, Kita-ku, Tokyo 115-0056, Japan  
3. *National Institute of Technology, Anan College*  
265 Aoki, Minobayashi, Anan, Tokushima 774-0017, Japan  
4. *National Institute of Fitness and Sports in Kanoya*  
1 Shiromizu, Kanoya, Kagoshima 891-2393, Japan

させることができる。この打球を遠くに飛ばす能力(長打力)は、得点力に結び付く重要な要素となる。事実、長打率は、1試合の平均得点と有意な関連性を持つ(データスタジアム, 2015)。さらに、2008 - 2015年の全国高等学校野球選手権全国大会全390試合、780チームの試合記録を用いて、投手力・打撃力・守備力が試合の勝敗に与える影響を統計学的手法にて検討した研究によると、チームの打撃力(OPS: On-base Plus Slugging: 出塁率と長打率を単純加算した値)が勝利に最も強く影響する(末木, 2017)。したがって、長打力のある選手を多く育成することがチームの勝利に繋がるといえる。競技レベルの高い大学生を対象に、野球の打撃動作における打球の飛距離と運動エネルギー(打球速度)を決定する打球の特性およびそれらを生み出すインパクトを含むスイングの特性を検討した研究(城所ほか, 2011)によると、フリーバッティングにおいて打球飛距離を長くするためにはスイング速度を高め、大きなスイング角度(上向きのスイング軌道)でインパクトさせることが重要であり、打球の運動エネルギーを高めるにはスイング速度とスイング角度を増大させるとともに大きなローリング(バットの長軸回りの回転)角速度を持たせたバットでインパクトを迎えることが重要であるとされている。また Sawicki et al. (2003)も打球の飛距離を最大化するには、約9°の上向きでインパクトすることが重要であるとしている。さらに、打撃成績からスイングの特徴を検討した蔭山(2017)によると、飛距離は出ないがヒットが多い選手はスイングのコンパクトさの指標であるスイング回転半径(バットヘッドがキャッチャー方向を向いた際のバットの回転中心位置)が大きく、レベルスイング(スイング軌道が0度付近。バットヘッドの速度ベクトルと水平面のなす角度)でボールインパクトを迎え、ホームランが多い選手はスイング回転半径が小さいことに加えてスイング速度が高く、アッパースイング(スイング軌道が上向きに10 - 15度)でボールインパクトを迎えていることが報告されている。これらの先行知見より、野球の打撃にはスイング速度の大きさだけでなく、大きなローリングや上

向きのスイング軌道を加えたスイング特性を評価する必要があるといえよう。

これまで発育期の野球選手を対象とした研究(Dowling and Fleisig, 2016; Escamilla et al., 2009; 勝亦・森下, 2017; 呉ほか, 2011)から、スイング速度は、発達段階によって増加することが示されている。このスイング速度は、徐脂肪体重、すなわち筋量と正の相関関係が認められている(笠原ほか, 2012)。そのため、スイング速度は、発達段階による身体の大きさによって変化する可能性が高い。また発達段階によって、身体的特徴が変化すること以外に、動作が変化する(Dowling and Fleisig, 2016; Escamilla et al., 2009)。しかしながら、発達段階の異なる野球選手あるいはプロ野球選手を対象に、これらのバットスイングの特徴について検討した例はない。そして、小学生や中学生では、上の年代に上がれば使用するボールやバットなどの道具も変わる。所属する連盟によって使用するボールが異なる場合、インパクト後の打球特性に大きな違いが生まれる(田淵・鳴尾, 2013)。このようなことから、発達段階によっては、スイング速度以外の項目として、打球特性に大きく影響を与えるスイング特性が異なる可能性が考えられる。さらに、本研究で使用するスイング計測装置(清水ほか, 2015)は、上述したスイング速度やスイング回転半径、ローリング、スイング軌道の4つの指標に、スイング時間、インパクト加速度、ヘッド角度を加えた項目の結果がバッティング直後に、即時にフィードバックされる。そのため、小学生から大学生までの発達段階の異なるアマチュア野球選手のスイング特性あるいは競技レベルの高いプロ野球に所属する野球選手のスイング特性を明らかにすることができれば、発達段階に応じた指導が可能になる。したがって、バットスイング解析装置を用いた場合の基準となる値を大量データに基づき呈示することは、発育期の選手を育成する立場の指導者にとって選手のスイングの現状を客観的かつ即時に把握することができるため、打撃におけるトレーニングや練習の方法を検討する上で非常に有益な知見になる。

そこで本研究は、小学生から大学生のアマチュ

ア選手およびプロ野球選手を対象に，発達段階および競技レベルの異なる野球選手におけるバットスイングの特徴を明らかにすることとする。

## II. 方法

### 1. 被検者

被検者は，小学生から大学生までのアマチュア野球選手 994 名およびプロ野球選手 46 名を対象とした。各年代の被検者数，被検者の身長，体重，競技年数を表 1 に示した。本研究では，各野球連盟に加盟しているチームに所属し，競技を開始してから測定日までの期間が 0.5 年以上経過している者を対象とした。なお，本研究では，小学生および中学生は軟式野球，高校生および大学生は硬式野球の競技者であった。

本研究は鹿屋体育大学倫理審査小委員会に倫理審査申請書を提出して承認を受けた。被検者には，事前に本研究の目的や測定内容，測定時の危険性について説明し，実験参加の同意を得た。また 18 歳未満の被検者については，被検者本人に加え保護者に対しても実験の説明を行った上で，実験参加の同意を得た。

### 2. 測定手順

本研究では，トスされたボール打撃（トス打撃）を採用した。測定に先立ち，被検者にはストレッチを含むウォームアップを十分に行わせた後，打撃練習を行わせた。打撃練習終了後，休息を挟み，被検者の疲労感がないことを確認した後に，最大努力によるトス打撃を実施した。本研究では，被検者に強い打球を打てたかどうかを試技毎に 5 段

階で回答させ，評価点が 3 以上の試技を最低 3 試技収集し，その平均を代表値とした。なお，すべての被検者が日頃から練習方法として，トス打撃を取り入れていることを確認した。

実験試技は，図 1 に示すように 30 度の角度からトスされるボールを打撃した。トスの高さはベルトの位置に，トスを行う場所との距離は 2 m で統一した。本研究では，センター方向に打ち返す意識で，全力で打撃を行うように各被検者に指示した。なお，ボールをインパクトする位置は，高さ以外は被検者がセンター方向へ打ちやすい任意の地点とした。バットを握る位置は，バットのグリップエンドに最も近い位置とした。

打撃するボールは，所属チームの練習および試合において使用するボールとした。つまり，小学生は軟式 C 号球（質量：127.6 ± 0.8 g，直径：68.1 ± 0.1 mm），中学生は軟式 B 号球（質量：135.0 ± 1.2 g，直径：70.2 ± 0.1 mm），高校生以上は硬式球（質量：145.7 ± 1.9 g，直径：73.9 ± 0.1 mm）を使用した。使用するバットは，小学生低学年から中学生が金属バット（小学生低学年；長さ：78 cm，質量：480 g，アシックス社製，小学生高学年；長さ：84 cm，質量：680g，ミズノ社製，中学生；長さ：84 cm，質量：800 g，ZETT 社製）を，高校生および大学生は木製バット（長さ：84 cm，質量：900 g，ミズノ社製）を使用した。プロ野球選手は，練習や試合で使用するバット（長さ：84 cm - 85 cm，質量：900.0 ± 10.8 g）を使用した。なお，本研究では事前に，小学生低学年が使用するバットに関して，指導者への調査および高学年用バットを振った場合のスイングの変化を検討した<sup>注1)</sup>。指導者への調査の結果，高学年が振るような 680g 前後のバット

表 1 被検者の身体特性

	小学生・低学年	小学生・高学年	中学生	高校生	大学生	プロ	有意差
被検者数	名 55	142	323	328	146	46	-
右打者/左打者	名 39 / 16	108 / 34	203 / 120	216 / 112	88 / 58	26 / 20	-
年齢	歳 8.7 ± 0.9	11.3 ± 0.9	13.7 ± 0.8	16.8 ± 0.7	20.3 ± 1.2	25.2 ± 4.0	*** (a-o)
身長	cm 127.3 ± 6.4	143.8 ± 8.9	159.9 ± 8.5	169.9 ± 5.8	172.3 ± 5.3	177.4 ± 5.8	*** (a-o)
体重	kg 27.3 ± 5.1	38.7 ± 9.2	51.4 ± 10.5	64.2 ± 8.4	71.3 ± 8.0	82.1 ± 7.9	*** (a-o)
競技年数	年 1.1 ± 0.7	2.5 ± 1.6	4.3 ± 2.3	8.1 ± 2.0	11.3 ± 2.1	-	*** (a-d, f-h, j-m)

(a) 小学生・低学年vs小学生高学年, (b) 小学生・低学年vs中学生, (c) 小学生・低学年vs高校生, (d) 小学生・低学年vs大学生, (e) 小学生・低学年vsプロ  
 (f) 小学生・高学年vs中学生, (g) 小学生・高学年vs高校生, (h) 小学生・高学年vs大学生, (i) 小学生・高学年vsプロ  
 (j) 中学生vs高校生, (k) 中学生vs大学生, (l) 中学生vsプロ, (m) 高校生vs大学生, (n) 高校生vsプロ, (o) 大学生vsプロ  
 \* p < 0.05, \*\* p < 0.01, \*\*\* p < 0.001

を短く持ち、打撃する選手も少なくはないと報告があった。さらに、上の年代で使用するバットは、下の年代で使用するバットよりもスイング時間が延長し、かつスイング速度が減少した。そのため、本研究では、小学生低学年は、高学年よりも長さが短く、軽いバットを使用した。

### 3. データ収集

本研究では、慣性センサユニット（セイコーエプソン社製）、アタッチメントおよびスマートフォンのアプリケーションから成るバットスイング解析装置（MIZUNO Swing Tracer）を用い、後述する8つのパラメータを計測した。

この装置は、加速度センサおよびジャイロセンサを搭載した慣性センサユニットをバットグリップエンドに装着することでスイング動作時のバット3次元挙動を算出することができる。本ユニットは、3軸加速度センサ、3軸ジャイロセンサ、3軸高レンジ加速度センサの9軸センサが搭載されていた。計測データは、サンプリング周波数1000Hzで収録された。

この計測装置から算出されるバット挙動の測定精度（信頼性）について、清水ほか（2015）は、三次元動作分析装置で計測したバットの挙動を比較した結果、バットスイング解析装置で計測されたバットの挙動は、指導や練習を行う上で実用に足

る精度を有すると主張している。しかし、バットのヘッドとグリップの変位を比較したものに過ぎず、かつ対象者1名の本計測装置を用いた場合と三次元動作分析装置を用いた場合の1試技ずつの比較では客観性が高いとは言い難い。そこで、本研究では、バットスイング解析装置による測定値の信頼性と再現性を検討した<sup>註2)</sup>。その結果、スイング速度およびスイング軌道の計測値は信頼性が、2日間に分けた場合の測定値に関しては再現性が示された。そのため、スイング速度およびスイング軌道に関しては信頼性および再現性が、その他の測定値に関しては再現性が高いと判断した。

バットスイング解析装置（MIZUNO Swing Tracer）の実施方法は、以下の手順で実施した（清水ほか，2015）。

- 1) バットの情報を入力する。本研究では、上述したバットの質量および長さを入力した。
- 2) 計測が置きティーもしくは投げティーのどちらの条件で行われたかを選択する。本研究では、上述したように、投げティーを選択した。
- 3) コース情報の選択：どの位置にあるボールを打撃したのかを入力する。本研究では、ストライクゾーンの真ん中を選択した。
- 4) 計測の開始：スマートフォンのアプリケーションの画面開始ボタンをタップし計測を開始する。

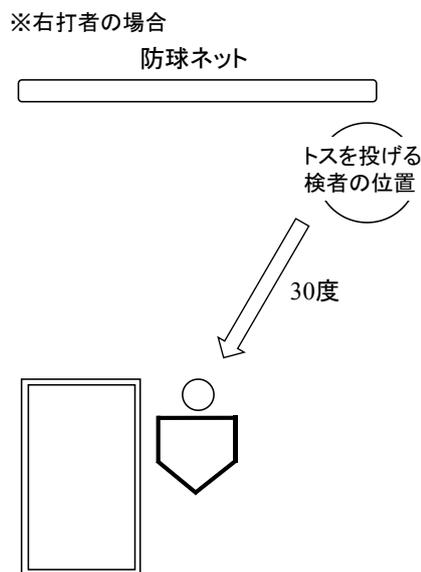


図1 実験設定

- 5) センサユニットとアプリケーションを接続する。
- 6) 静止フェーズ: 1秒間の完全な静止が確認されるまで「構えてください」の画面は継続して表示される。完全な静止が確認されれば「スイングしてください」の画面に遷移し、スイングフェーズに移行する。
- 7) スイングフェーズ: ティー台にセットされた、もしくはトスされたボールを打撃する打撃が完了するとセンサから得られたデータは解析され、画面に表示される。
- 8) スイング速度の測定値が記された画面をタップすると、8つのパラメータが表示される画面に遷移し、スイングの定量的な評価がされる。

#### 4. バットスイング解析装置から得られるバットスイングの8項目

本研究で使用した計測装置は、バットスイングの特徴を定量的に示すことが可能となっている。8つのパラメータは、「スイング時間」、「スイング速度(インパクト)」、「スイング速度(max)」、「インパクト加速度」、「ローリング」、「スイング回転半径」、「バット角度」、「スイング軌道」の名称で定義されている。詳細については以下の通りである。

##### 4.1. スイング時間

スイング開始時刻からインパクト時刻までにかかる時間をスイング時間と定義されている。なお、スイング開始時刻はグリップエンド部の速度ベクトルの合成値とバットヘッド部の速度ベクトルの合成値の平均値が5 m/sを初めて超える時刻と定義されている。打者は、スイング時間が短いほど、打者の手元に近い位置までボールを見極めることが可能となるため、スイング時間が短いことは、多様な球種に対応が可能になると予想される。したがって、スイング時間は小さな値を示すことが理想となる。

##### 4.2. スイング速度(max, インパクト時)

バットヘッド部の速度ベクトルの合成値をスイ

ング速度と定義し、インパクト時刻のスイング速度をスイングスピード(インパクト時)、スイング開始時刻からインパクト時刻までにおけるスイングスピードの最大値をスイングスピード(max)とされている。インパクト時のスイング速度の大きさは、大きな打球速度や飛距離をもたらす(Adair, 2002; 城所ほか, 2011)ため、インパクト時のヘッドスピードが最大値のヘッドスピードと一致することが打球飛距離に対して重要な指標となる。なお、インパクト時刻は、加速度センサの合成加速度が急激に変化した時点を微分値から同定されている。

##### 4.3. スイング回転半径

バットヘッド部が打球方向と逆方向(キャッチャー方向)を向いている時刻においてバットの回転中心がグリップエンドからみてどの位置にあるかを算出し、これをスイング回転半径と定義されている(図2-a)。グリップ部の位置を基準として、ヘッド部に近い方を正の値、ヘッド部の逆方向を負の値として計測する。つまり、バットの回転中心位置がヘッド部に近いほど、スイングのコンパクトさを表している。

##### 4.4. ローリング

インパクト時刻におけるバット長軸(グリップ部を始点、ヘッド部を終点とする軸ベクトル)回りの角速度をローリングと定義されている(図2-b)。城所ほか(2011)によると、打球速度を増大する上でローリング角速度の増大が一つの重要な要素であることが述べられている。よって、ローリングの大きさは、打球速度を増大するための重要な一つとなる。

##### 4.5. インパクト加速度

インパクト加速度は、インパクト直前の加速度ベクトルの合成値の大きさと定義されている。バットヘッドの加速度は、バットが動き始めた(1 m/s)時(0 %time)からボールインパクト(100 %time)までの間の85 %time時に最大(292.3 ± 53.5 m/s<sup>2</sup>)となり、インパクト直前では0に近似す

る (Horiuchi et al., 2016). そのため, インパクト加速度が正の値となる場合は, 適切なインパクト位置より手前で捉えており, インパクト直前のヘッドスピードが最大に到達していないと判定できる. 一方, スイング軌道の進行方向に対して, 逆方向に力が向いている場合は負の値となる. 負の値を取得した場合は, ヘッドスピードが減速してからボールと衝突していると判定できる. これにより, インパクト加速度が  $0 \text{ m/s}^2$  であることが理想値になるといえよう.

#### 4.6. ヘッド角度

鉛直方向および打球方向に直行する座標軸に対し, バットがインパクト時刻においてどの程度傾いていたのかが評価されている (図 2-c). バットが地面と水平な状態でインパクトを迎えると 0 度,

バットヘッド部が下方向を向いている場合は負の値, 上方向を向いている場合は正の値をそれぞれ示す.

#### 4.7. スイング軌道

打球方向に対し, バットヘッド部の速度ベクトルがインパクト時刻にどの程度傾いていたのかを評価している (図 2-d). アップースイングの時に正の値を, 完全なレベルスイングの場合は 0 を, ダウンスイングの時に負の値をそれぞれ示す.

### 5. 統計処理

基本統計量は平均値  $\pm$  標準偏差 (SD) により示した. 各測定項目における群間の比較は, Levene の検定を用いて等分散性を確認し, 等分散性が認められた (F 値が有意であった) 場合は, 一元配置

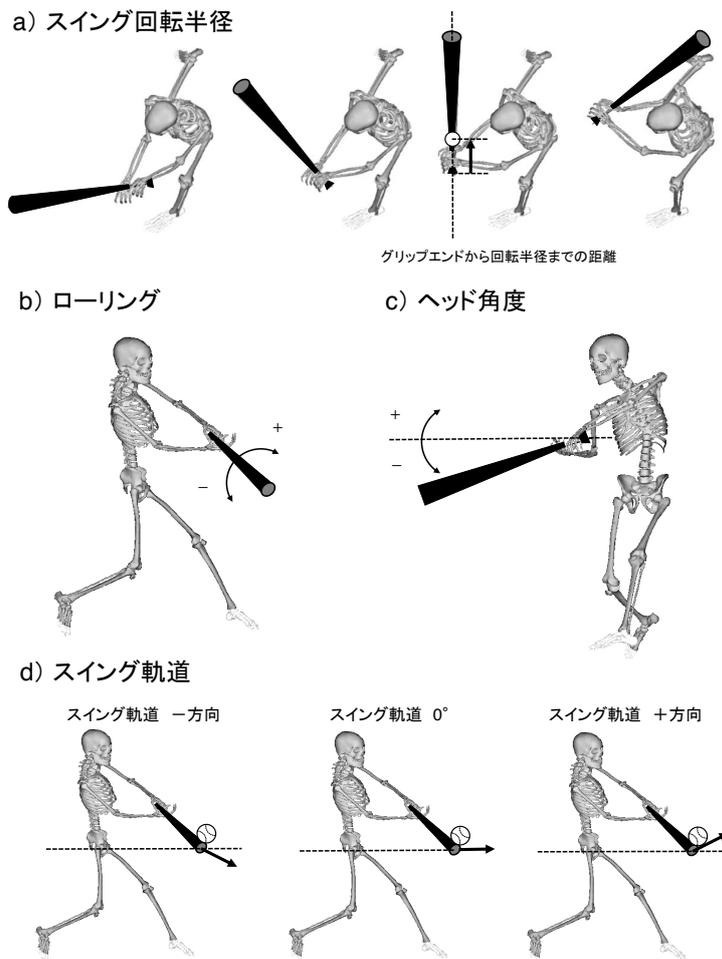


図2 スイング回転半径, ローリング, ヘッド角度とスイング軌道のイメージ

の分散分析 (対応なし) を行い, 有意性が認められた項目については, Tukey HSD 法により多重比較検定を行った. また等分散性が認められなかった (F 値が有意でなかった) 場合は, Welch の検定による有意性を確認後, 事後検定として Games-Howell 法により多重比較検定を行った.

体格とスイング時間あるいはスイング速度との関係には, ピアソンの積率相関係数を算出した.

本研究では, いずれの場合も有意水準を 5% 未満とした. なお, すべての検定は, 統計処理ソフト IBM SPSS Statistics 24 (IBM 社製) を用いた.

### III. 結果

#### 1. アマチュア野球選手における発育段階の違い

表 2 に, 発達段階および競技レベルの異なる野球選手におけるバットスイングの 8 項目を示した. スイング時間は, 小学生高学年は低学年よりも有意に長かった ( $p < 0.01$ ) が, それ以降では中学生, 高校生と発達段階によって有意に短縮した ( $p < 0.05$ ). 最大時およびインパクト時のスイング速度は, 発達段階によって有意に増大した ( $p < 0.001$ ). インパクト加速度は, 発達段階に伴い増大し, 中学生は小学生高学年よりも有意に増大した ( $p < 0.01$ ). またインパクト加速度の絶対値においても発達段階によって増大する傾向があり, 小学生高学年, 中学生, 高校生と有意に増大した ( $p < 0.05$ ). ローリングは, 高校生が最も高く, 高校生は中学生よりも有意に高かった ( $p < 0.01$ ). スイング回転

半径は, 中学生が小学生低学年および高校生よりも有意に大きく ( $p < 0.001$ ). 小学生高学年は低学年よりも有意に大きかった ( $p < 0.05$ ). スイング軌道は, 中学生が小学生高学年よりも有意に小さかった ( $p < 0.05$ ).

#### 2. プロ野球選手とアマチュア野球選手の違い

プロ野球選手のスイング速度は, すべてのアマチュア野球選手よりも有意に高かった ( $p < 0.001$ ). スイング時間は, プロ野球選手が小学生と中学生よりも有意に短かった ( $p < 0.05$ ). またインパクト加速度は, プロ野球選手が小学生および中学生よりも有意に高く ( $p < 0.05$ ), インパクト加速度 (絶対値) はプロ野球選手が小学生, 中学生, 高校生よりも有意に高かった ( $p < 0.05$ ).

#### 3. 被検者の身体特性とスイング速度との関連

表 3 に, 発達段階および競技レベルの異なる野球選手における被検者の身体特性とスイング時間およびスイング速度との関係をそれぞれ示した. 全被検者を対象とした場合, すべての項目はスイング時間では有意な負の相関関係が, スイング速度では有意な正の相関関係がそれぞれ認められた ( $p < 0.01$ ).

発達段階およびプロのそれぞれの集団で検討すると, 身長は, 小学生高学年および中学生では, スイング時間と有意な負の相関関係が認められ ( $p < 0.05$ ), 高校生ではスイング時間と有意な正の相関関係が認められた ( $p < 0.05$ ). 体重は, 中学生にお

表 2 発達レベルおよび競技レベルの異なる野球選手におけるバットスイングのデータ

	小学生・低学年	小学生・高学年	中学生	高校生	大学生	プロ	有意差	
被検者数	55	142	323	328	146	46		
スイング時間	秒	0.140 ± 0.013	0.148 ± 0.011	0.144 ± 0.011	0.141 ± 0.010	0.138 ± 0.008	0.134 ± 0.007	*** (g, h, i, k, l), ** (a, j), * (e, f)
スイング速度 (最大時)	km/h	81.7 ± 9.9	92.0 ± 11.8	102.0 ± 11.6	115.5 ± 9.9	123.4 ± 8.3	134.1 ± 8.8	*** (a-o)
スイング速度 (インパクト時)	km/h	81.7 ± 9.9	91.9 ± 11.8	101.9 ± 11.6	115.4 ± 9.9	123.3 ± 8.3	134.0 ± 8.9	*** (a-o)
インパクト加速度	m/s <sup>2</sup>	0.7 ± 67.8	18.8 ± 51.2	39.3 ± 76.1	52.8 ± 90.3	70.9 ± 89.8	111.2 ± 140.2	*** (c, d, e, h), ** (b, i), * (f, l)
インパクト加速度 (絶対値)	m/s <sup>2</sup>	52.9 ± 42.4	42.5 ± 34.1	65.8 ± 54.8	80.5 ± 66.7	86.8 ± 74.5	134.6 ± 117.4	*** (f, g, h, i), ** (c, d, e, l), * (j, k, n)
ローリング	回転/秒	1.98 ± 0.86	1.82 ± 0.92	1.99 ± 0.87	2.28 ± 1.14	2.15 ± 1.01	1.86 ± 1.00	*** (g), ** (j), * (h)
スイング回転半径	m	0.13 ± 0.04	0.15 ± 0.04	0.16 ± 0.04	0.15 ± 0.04	0.14 ± 0.03	0.14 ± 0.04	*** (b, j, k), ** (h), * (a)
ヘッド角度	°	-22.6 ± 9.5	-22.7 ± 7.4	-23.0 ± 7.1	-23.5 ± 7.6	-23.9 ± 6.3	-21.9 ± 7.7	
スイング軌道	°	3.4 ± 8.4	2.7 ± 6.6	0.5 ± 5.9	1.5 ± 7.1	3.0 ± 6.3	2.4 ± 6.1	** (k), * (f)

(a) 小学生・低学年vs小学生高学年, (b) 小学生・低学年vs中学生, (c) 小学生・低学年vs高校生, (d) 小学生・低学年vs大学生, (e) 小学生・低学年vsプロ  
 (f) 小学生・高学年vs中学生, (g) 小学生・高学年vs高校生, (h) 小学生・高学年vs大学生, (i) 小学生・高学年vsプロ  
 (j) 中学生vs高校生, (k) 中学生vs大学生, (l) 中学生vsプロ, (m) 高校生vs大学生, (n) 高校生vsプロ, (o) 大学生vsプロ  
 \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$

いて、スイング時間と有意な負の相関関係が認められた ( $p < 0.05$ )。またスイング速度は、すべての集団において、身長および体重とそれぞれ有意な正の相関関係が認められた ( $p < 0.05$ )。

年齢は、小学生高学年と中学生において、スイング時間と有意な負の相関関係が認められた ( $p < 0.01$ )。また、すべての発達段階において、スイング速度と有意な正の相関関係が認められた ( $p < 0.01$ )。競技年数は、小学生と中学生において、スイング時間と有意な負の相関関係が認められた ( $p < 0.05$ )。そして、大学生を除く発達段階において、スイング速度と有意な正の相関関係が認められた ( $p < 0.05$ )。

#### IV. 考察

##### 1. 本スイング計測装置の測定値における信頼性と妥当性

本研究では、スイング速度およびスイング軌道を三次元動作解析装置との比較から、測定値の信頼性(精度)を検証した結果、バットスイング解析装置による測定値は、スイング速度およびスイング軌道に関しては信頼性と再現性が、その他の測定値に関しては再現性が示された。本研究のスイング速度の平均値は、先行研究で示されているユース(Dowling and Fleisig, 2016)、中学生(呉ほか、

2011)、高校生(Dowling and Fleisig, 2016; 勝亦・森下, 2017)、大学生(Dowling and Fleisig, 2016; 川村ほか, 2008; 城所ほか, 2011; Horiuchi and Sakurai, 2016; 阿江ほか, 2013, 2017 田内ほか, 2005; 森下ほか, 2013; Inkster et al., 2011) およびプロ野球選手(谷中ほか, 2017)と類似していた。またローリングの平均値は、先行研究で示されている大学生(谷中ほか, 2014) およびプロ選手(谷中ほか, 2017)と類似していた。ヘッド角度の平均値は、フリー打撃や実際の試合場面によって示されている先行研究(城所・矢内, 2015; 森下ほか, 2012)と類似していた。このことから、バットスイング解析装置による測定値は、スイング速度、ローリングおよびヘッド角度に関しては妥当性が高いと判断した。

さらに、上記以外の項目(スイング時間、インパクト加速度、スイング回転半径、スイング軌道)は先行研究と比較できないため、バットスイング解析装置を用いた研究(谷中・矢内, 2018)と比較した。その結果、本研究と同様な教示で実施された場合の大学生の測定値は、本研究の結果と類似していた。

よって、バットスイング解析装置による測定値は先行知見と類似していたため、妥当性が高いと判断した。

以下では、このことを考慮し、発達段階の異なる

表3 被検者特性とスイング時間およびスイング速度との関係

	年齢	身長	体重	競技年数	スイング時間	
スイング時間	全体	-0.274 **	-0.236 **	-0.272 **	-0.252 **	
	小学生・低学年	-0.069	-0.097	-0.138	-0.328 *	
	小学生・高学年	-0.256 **	-0.186 *	-0.157	-0.176 *	
	中学生	-0.363 **	-0.356 **	-0.319 **	-0.184 **	
	高校生	-0.032	0.123 *	0.049	-0.043	
	大学生	-0.117	0.080	-0.040	-0.147	
	プロ	0.152	0.206	0.133	-	
	全体	0.775 **	0.813 **	0.853 **	0.716 **	-0.313 **
スイング速度	小学生・低学年	0.435 *	0.637 **	0.606 **	0.342 *	-0.033
	小学生・高学年	0.594 **	0.751 **	0.694 **	0.291 **	-0.284 **
	中学生	0.561 **	0.653 **	0.707 **	0.381 **	-0.396 **
	高校生	0.346 **	0.413 **	0.519 **	0.244 **	-0.006
	大学生	0.253 *	0.209 **	0.394 **	0.129	-0.075
	プロ	-0.233	0.313 *	0.398 **	-	-0.102

\*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$

るアマチュア野球選手におけるバットスイングの特徴について考察する。

## 2. 発達段階および競技レベルの異なる野球選手におけるバットスイングの特徴

スイング時間は小学生高学年以降において中学生、高校生と発達段階により有意に短縮し、スイング速度は発達段階によって有意に増加した(表2)。上述したように、本研究のスイング速度の平均値は、これまで示されている先行研究と類似していた。スイング特性は、小学生高学年から中学生ではインパクト加速度が増加するとともにスイング軌道が地面と平行になり、中学生から高校生ではローリングが増加し、高校生以降では一貫した変化がみられなかった(表2)。またプロ野球選手は、スイング速度がアマチュア野球選手よりも有意に高く、スイング時間が小学生および中学生よりも有意に短かった(表2)。このように、発達段階および競技レベルの異なる野球選手のバットスイングでは、スイング時間およびスイング速度は規則的に変化し、その他のスイング特性は発達段階によって異なることが考えられる。

以下では、1) 発達段階の異なるアマチュア野球選手におけるバットスイングの変化、2) プロ野球とアマチュア野球の競技レベルによるスイングの違いについて議論する。

### 2.1. 発達段階の異なるアマチュア野球選手におけるバットスイングの特徴

#### 1) 発達段階によるバットスイングの変化

スイング速度は、小学生・低学年、高学年、中学生、高校生、大学生の順に高く、発達段階によって有意に増加した(表2)。このスイング速度の大きさは、大きな打球速度や飛距離をもたらす(Adair, 2002)。大きな打球速度や飛距離であれば、守備者が打球に反応する時間やボールを追いかける時間が短くなるため、打球が守備者の間を抜けやすくなることに加え、捕球が難しくなることが予想される。したがって、発達段階によるスイング速度の変化は、大きな打球速度や飛距離をもたらすことが考えられる。

またスイング時間は、小学生高学年は低学年よりも有意に長かったが、それ以降は発達段階によって短縮した(表2)。このようなスイング時間の短縮は、打者が発達段階に伴って変化する打撃環境に適応した結果と思われる。野球の投手が放つストレートのボール速度は、発達段階に伴い増加する(Fleisig et al., 1999; Kageyama et al., 2014, 2015; Matsuo et al., 2001; 高橋ほか, 2005; 永見ほか, 2016)。さらに、競技レベルが上がるにつれて、対応すべき球種の数が増加し、その質(ボールの回転数、軸)(Jinji et al., 2011, Nagami et al., 2011)や変化量も高くなる(Jinji and Sakurai, 2006; 永見ほか, 2016)。このような厳しい時間的な制約および複雑な環境変動を含む状況では、打者はボール軌跡初期までの限られた情報に基づいて球種・コース・到達時間を予測してスイングを開始する必要がある(Takeuchi and Inomata, 2009; 田中ほか, 2010; 中本ほか, 2005)。そのため、打者は、できる限りスイング時間を短くし、スイング開始前に得られる情報量を増大させることが正確な打撃に必要となる(Schmidt et al., 2017)。よって、野球の打者は、投手の発達段階や技術レベルの向上によって増加する投球速度や質の高いボールに対応するために、極めて短い時間でボールをインパクトしていると考えられる。

身体の大きさ(身長、体重)においても、小学生・低学年、高学年、中学生、高校生、大学生の順に高く、発達段階によって有意に増加した(表2)。すべての集団において、身体の大きさはスイング速度と正の相関関係が認められ、それらの関係性は小中学生の集団において高かった(表3)。またすべての選手を対象に、身体の高さとスイング時間との関係を検討すると、両者には負の相関関係が認められ、各集団でみると、それらの関係性は中学生の集団において最も高かった(表3)。一般に、発育に伴い、身体の高さおよび骨格筋量は増加する。その中でも発育期の男子は、思春期に身体形態(福永, 1969, 1978, 福永ほか, 1989; Kanehisa et al., 1995; 金久ほか, 1989a, 1989b; 金子, 1988; Tanner et al., 1981)や運動能力(勝亦ほか, 2008; 手島・角田, 2010)が著しく変化するこ

とが知られている。この身体の大きさの年間変化量は、12歳前後で最大になるものの、体重は14歳前後においても大きくなる(藤井, 2007)。また四肢の筋断面積および筋力(Kanehisa et al., 1995)やパワー(金子, 1988)においても発育に伴い増加するが、特に13-15歳において著しく(金子, 1988; Kanehisa et al., 1995)、これは男性ホルモンの分泌量が増大することに依存する(Rutenfranz et al., 1981)とされている。そして、筋断面積や筋力の変化は、19-20歳でほぼ一定となり30代まで維持される(Kanehisa et al., 1994)。これらの先行知見より、身体の大きさは発達段階において増加するものの、小中学生は身体の大きさの変化が著しいため、高校生や大学生よりもスイング速度およびスイング時間と身体の大きさとの関連性が大きくなったと考えられる。

さらに、それらの関連性は小学生では体重よりも身長が、中学生から大学生では身長よりも体重が大きかった(表3)。上述した先行研究(笠原ほか, 2012)によると、スイング速度の大きさには、徐脂肪体重と正の相関関係が認められている。この徐脂肪体重の増加は、20歳までは体重の増加と並行して起こる(Forbes et al., 1961; Flynn et al., 1972)。発育期の男子は、14歳前後の中学生期において、四肢の筋断面積および筋力やパワーが著しく変化するため、スイング速度は、第二次性徴期を境に、身長よりも徐脂肪体重を反映した体重と関連性が大きくなったと考えられる。よって、発達段階によるスイング速度の増加には身体の大きさが影響しており、発達段階によってそれらの関係性が異なることが示唆される。

一方で、インパクト加速度は、小学生・低学年、高学年、中学生、高校生、大学生の順に高かった(表2)。このことは、バットが加速しながらボールと衝突していることを意味する。バットヘッドの加速度は、バットが動き始めた(1 m/s)時(0%time)からボールインパクト(100%time)までの間の85%time時に最大( $292.3 \pm 53.5 \text{ m/s}^2$ )となり、インパクト直前では0に近似する(Horiuchi et al., 2016)ため、インパクト加速度が0 m/s<sup>2</sup>であることが理想となる。しかしながら、本研究では、

発達段階によって増加する結果となった。インパクト加速度が正の値となる場合、適切なインパクト位置より手前で捉えており、インパクト直前のヘッドスピードが最大に到達していないと判定できる。野球の打者は、一連の動作の中で、バットとボールとのインパクトのタイミングを合わせることができれば、強い打球を飛ばすことができる。野球の指導では、ボールをインパクトまでしっかり呼び込んで打つ、いわゆるボールを身体の近くまで呼び込んで打つことが行われる(若林ほか, 2006)。このことから、野球の打者は、投手の発達段階や技術レベルの向上によって増加する投球速度や質の高いボールに対応するために、ボールを身体の近くまで呼び込みインパクトしたため、発育段階によってインパクト加速度が増加した可能性が考えられる。

したがって、本研究の結果は、投手の発達段階や技術レベルの向上によって増加する投球速度や質の高いボールに対応するために、極めて短い時間の中でスイング速度を増加させ、ボールを強く打撃することを反映していると示唆される。

## 2) 小学生・低学年から高学年への変化

小学生高学年は、低学年よりもスイング時間が有意に長くなった(表2)。5, 6歳から8歳にかけては、「プレ・ゴールデンエイジ」、9歳から12歳にかけては、「ゴールデンエイジ」と呼ばれ、スポーツのための基礎作りから様々な技術を獲得する最も重要な時期である(石塚, 2005)。そのため、動作の習得が進む時期である小学生低学年に適切な打撃動作を身に着ける必要がある(平野, 2016)。小学2-4年生の少年野球選手に通常の練習に加えて軽い(通常の60-80%程度の質量)バットで6週間素振りを行った研究(平野, 2006)では、バットヘッド速度に対する体幹の貢献は小さくなるものの、腕の貢献は大きくなることが報告されている。そのため、腕がうまく使えない少年野球選手に対しては、軽いバットで練習することも改善するための一つである(平野, 2016)。このようなことから、小学生は実際の体格や技術レベルよりも重いバットを使用しているかもしれない。本研究では事前に、バットに関して小学生の指導者に調

査した結果、小学生低学年の測定では 480g のバットを用いたが、高学年が振るような 680g 前後のバットを短く持ち、打撃する選手が多いと報告があった。バットを短くして振ることはバットヘッドの速度が低下するものの、バットの芯でボールを正確に捉えることが可能となる (川端・伊藤, 2012) ため、小学生においてもボールを正確に捉えることができない選手はボールに対応するためにバットを短く持ち打撃を行っている と推察される。したがって、小学生低学年と高学年のスイング時間の差は、バットの質量あるいは長さが大きく影響した可能性が考えられる。本研究で使用した小学生低学年用あるいは高学年用のバットが体格や技術レベルに対して適正であったかは、推論の域を出ない。小学生の時期は、技術を獲得する最も重要な時期であるため、今後は 680g のバットを基準に検討することで、体格や技術レベルに合ったバットの適正質量やスイング特性が明確になるだろう。

### 3) 小学生・高学年から中学生への変化

中学生は小学生高学年よりもスイング軌道が有意に小さかった (表 2)。このことは、小学生高学年では 2.7° 上向きなスイングであったのに対し、中学生では地面と平行 (0.5°) になっていることを示している。本研究の小学生および中学生は、すべて軟式野球の競技者であった。中学生期は、今までにできていた動きができなくなる、あるいはこの前の段階で起きていた「即座の習得」が現れなくなるため、技術や戦術を学ぶ上で重要な時期となる (石塚, 2005)。野球の攻撃場面では、試合の状況に応じてバントやバスター、エンドランといった戦術がある (江藤 監, 2008; 野球指導書編集委員会 編, 2002)。特に、軟式野球では、ゴロの打球によってバウンドが高くなるため、中学生期は小学生期よりもバスターやエンドランなどの戦術の比重が大きくなることが予想される。つまり、小学生高学年から中学生にかけて、スイング軌道が 0° に近づいたことは、バスターやエンドランなどの状況下で、比較的低い弾道のボールを打撃することが増えたことが影響した可能性が考えられる。

また中学生は、小学生高学年よりもインパクト加速度が有意に増大した (表 2)。先述したように、インパクト加速度の増加は、野球の打者が、投手の発達段階や技術レベルの向上によって増加する投球速度や質の高いボールに対応するために、ボールを身体の近くまで呼び込みインパクトしたことが影響した可能性が示唆された。この時期の男子は、四肢の筋断面積および筋力 (Kanehisa et al., 1995) やパワー (金子, 1988) が増加するが、特に 13-15 歳において著しい (金子, 1988; Kanehisa et al., 1995)。そのため、インパクト加速度が小学生高学年から中学生にかけて増大した要因には、第二次性徴による四肢の力・パワー発揮能力の著しい変化によって、ボールを身体の近くまで呼び込みインパクトすることが可能になったと推察される。

### 4) 中学生から高校生への変化。

ローリングは高校生が最も高く、高校生は中学生よりも有意に高かった (表 2)。数値シミュレーションを用いてバットとボールのインパクト条件を統制し、ローリング角速度の大きさのみを変化させた際の効果を検証した研究 (Sawicki et al., 2003; 志村ほか, 2012) によると、ローリング角速度が大きい打撃ほど打球の回転数がバックスピン方向へ多くなり、結果として打球の飛距離が伸びることや同じ飛距離の打球を低い弾道で放つことが可能になる (志村ほか, 2012)。そして、大きなローリング角速度を獲得するためには、スイング開始からインパクトの 50 ms 前まではバットヘッドを急激に倒す (つまり、バットヘッドを急激に下げる) ように章動の角速度 (インパクトへ向けてバットヘッドが下がる方向への回転) を高め、インパクトの 50 ms 前からインパクトまでの間に急激に章動の角速度を減速させるべく関節トルク (とりわけ、引手の前腕回外トルク) を発揮することが重要である (谷中ほか, 2017)。これらの先行知見を踏まえると、中学生から高校生にかけてローリングが増大した要因には、上肢の動きが関係しているかもしれない。

上述した先行知見 (志村ほか, 2012) ではローリング角速度が 0 deg/s のバットで打撃された打球

に比べ、1000 deg/s (2.78 回転 /s) のバットで打撃されたボールの回転数は 1.8 回転 /s 増加し、飛距離が 0.2 m 伸びるとされている。本研究の中学生と高校生の差である 0.3 回転 /s (108 deg/s) を考えると、2.2 cm (= 108 deg/s ÷ 1000 deg/s × 20 cm) 伸びることになる。一方で、城所ほか (2011) の研究によると、ローリングはスイングの被検者間差を顕著に表す変数であることに加えて、打球の運動エネルギーの獲得には貢献するものの、打球の飛距離には貢献が小さいことが報告されている。またバットのローリングによる飛距離の伸びは非常に小さく、ローリングを高めようとするスイングそのものが崩れる可能性があるため、飛距離を伸ばすための方略として適さないこと (Sawicki et al., 2003) も指摘されている。このようなことから、過剰にローリング角速度の数値を向上させよう意識しないことが必要であると考えられる。したがって、中学生から高校生にかけてローリングが増大した要因には上肢の動きが影響している可能性が考えられるものの、ローリングを意図して増大させる必要はないといえよう。

## 2.2. プロ野球選手とアマチュア野球選手の違い

プロ野球選手は、スイング速度がアマチュア野球選手よりも有意に高く、スイング時間が小学生および中学生よりも有意に短かった (表 2)。この結果は、プロ野球選手は、アマチュア野球選手よりも極めて短い時間の中でスイング速度を増加させ、ボールを強く打撃していることを意味する。スイング速度やスイング時間以外の項目において、打撃成績からスイングの特徴を検討した蔭山 (2017) の研究によると、飛距離は出ないがヒットが多い選手はスイング回転半径が大きく、レベルスイング (スイング軌道が 0 付近) でボールインパクトを迎え、ホームランが多い選手はスイング回転半径が小さいことに加えてスイング速度が高く、アッパースイング (スイング軌道が 10 - 15 度) でボールインパクトを迎えていることが報告されている。そして、ローリングに関しては、プロ野球選手の方が個人間でのばらつきが大学野球選手よりも大きく、競技レベルが高いとされるプロ野球

には様々なタイプの打者 (様々なスイングの特徴を有する打者) が存在する (谷中ほか, 2017) との報告もある。これらのことから、各群内において、様々なタイプの打者が存在するため、スイング時間およびスイング速度を除くスイング特性には大きな差がなかったと考えられる。今後は、打撃成績から打者のタイプを分けることによって、競技レベル間でのスイング特性が明確になると言えよう。

## 3. 現場への示唆

近年では、科学的な知見に基づく指導方法の必要性が高まっている。そのため、本研究で使用したバットスイング解析装置を用いることによって、指導者はその場でスイングデータを確認することができ、これまで行ってきた主観的な指導に加えて客観的なデータに基づいた練習あるいは指導が可能になると思われる。上述した、清水ほか (2015) によると、バットスイング解析装置で計測されたバットの挙動におけるデータの精度 (信頼性) は、三次元動作分析装置で計測したバットの挙動と比較すると、指導や練習を行う上で実用に足る精度を有すると主張している。実際、2 日間に分けた計測値に差はない (表 5)。このことから、実践的な指導現場においては、本スイング計測装置の活用は有効であると考えられる。したがって、本研究の結果を用いることで、バットスイングのパフォーマンスの改善につながる指導の内容として、以下のようなことが提言できる。

打球を遠くに飛ばす能力 (長打力) は、得点力に結び付く重要な要素となるため、長打力のある選手を多く育成することがチームの勝利に繋がる。本研究では、すべての集団において、スイング速度と正の相関関係が認められたことから、発達段階あるいは競技レベルによるスイング速度の増加は、第二次性徴やレジスタンストレーニングによる体重の増加がもたらしていることが示唆された。このことから、すべての集団において、筋量の増加を目的としたレジスタンストレーニングの導入がより有効になると考えられる。しかしながら、小中学生のような未発達な筋に対し、無理な負荷

を与えることは、発育を阻害し、機能障害を引き起こすことにもなりかねない。また高校生以降の野球選手は、競技レベルの高い大学生あるいはプロ野球選手の体格あるいはバットスイングの基準値と比較しながら、専門的なトレーニングの導入が必要になるだろう。したがって、発達段階の異なる野球選手のトレーニング・技術指導には、トレーニング負荷などを十分に配慮し、本研究の結果の基準値を確認しながら、選手の将来を見越した指導を心がけることが必要であろう。

さらに、長打力にはスイング速度以外に、ボールインパクト時の(上向きの)スイング軌道も重要となる(城所ほか, 2011; Sawicki et al., 2003)。Sawicki et al. (2003)によると、スイング軌道が約 $9^{\circ}$ の上向きでインパクトすることで、飛距離が最大化されるとの報告がある。これにより、飛距離を伸ばすには、スイング軌道を $9^{\circ}$ に近づけることが重要であろう。しかしながら、野球では理想的なスイング軌道でインパクトした場合に外野フライになる場合もある。そのため、スイング速度が小さい場合は、スイング軌道を小さくする(地面と平行に近づける)ことで外野手の前に打球を放つことが可能となり、打率の向上につながるだろう。本研究では、センター方向に打ち返す意識で、全力で打撃を行わせたため、スイング軌道が上向きに $3^{\circ}$ 前後であったが、選手や指導者は、スイング速度とスイング軌道の項目を確認することで最適なバットスイングを体得することが可能になると考えられる。

インパクト加速度は、理想とは反して、小学生・低学年、高学年、中学生、高校生、大学生、プロ野球の順に高かったことから、インパクト加速度の増加は、野球の打者が、投手の発達段階や技術レベルの向上によって増加する投球速度や質の高いボールに対応するために、ボールを身体の近くまで呼び込みインパクトしたことが影響した可能性が示唆された。インパクト加速度が正の値となる場合は、適切なインパクト位置より手前で捉えており、インパクト直前のヘッドスピードが最大に到達していないと判定できる。一方、負の値となる場合は、ヘッドスピードが減速してからボール

と衝突していると判定できる。上述したように、インパクト加速度が $0 \text{ m/s}^2$ であることが理想値になるものの、選手や指導者は、各年代の基準値よりも大幅に大きくならないように確認することが必要であろう。

小学生や中学生では、上の年代に上がれば使用する道具が変わる場合がある。バットの長さあるいは質量が変わる9歳である小学3年生あるいは4年生11名、12歳である小学生あるいは中学生26名、15歳である中学生あるいは高校生35名を対象に、使用するバットによって8つの項目がどのように影響するかを検討した結果<sup>註1)</sup>、上の年代で使用するバットは、下の年代で使用するバットよりもスイング時間が延長し、かつスイング速度が減少した。つまり、上の年代に上がった際に、適切なバットスイングができていない(各項目の平均値に達していない)選手は、対策が必要になる。指導者への調査では、体格が小さく、スイング速度が小さい選手は、バットを短く持ち、打撃する選手も少なくはないと回答を得た。バットを短くして振ることはバットの速度が低下するものの、バットの芯でボールを正確に捉えていることが可能となる(川端・伊藤, 2012)。また動作の習得が進む小学生低学年の時期には、適切な打撃動作を身に着ける必要があり、腕がうまく使えない少年野球選手に対しては、軽いバットで練習することも改善するための一つであるとされている(平野, 2016)。このことから、上の年代に上がった場合には、体格あるいはスイング速度が小さいため、バットの質量や長さの選定に注意し、適切なバットを選択する必要があるだろう。そして、バットの芯で正確にボールを打撃したい場合は、バットを短くして振ることも一つの選択肢であろう。

以上のことから、本研究の結果は、バットスイングにおけるトレーニングや練習の方法を検討する上で非常に有益な情報になるため、指導者あるいは選手は本研究の結果を用いることによって、選手の現状のバットスイングを客観的に把握することが可能になるだろう。

#### 4. 本研究のリミテーション

上述したように、バットスイング解析装置による測定値は先行知見と類似していたため、妥当性が高いと判断した。しかし、本研究では、スイング速度およびスイング軌道以外の測定値に関して、信頼性を得られたわけではない。したがって、スイング速度とスイング軌道以外の測定値に関しては、今後検討の余地が残された。

本研究では、センター方向に打ち返す意識で、全力で打撃を行わせたため、本研究の結果が大きな飛距離を放つためのバットスイングになっていない可能性が高い。また本研究では、発育段階および競技レベルによるインパクト加速度的増加は、ボールを身体の近くまで呼び込みインパクトしたことが影響した可能性が示唆されたため、発育段階あるいは競技レベルによる最適なインパクト位置を把握する必要がある。そのため、今後は、インパクト位置を考慮し、打球飛距離を最大にした場合あるいは左右方向など打ち分けた場合などの条件を変えた際のスイング特性を明らかにする必要があると言えよう。

また今回の実験条件は、投球（飛来）されたボールを打撃していないため、試合時のような動作を反映したものとは言い難い。プロ野球選手27名を対象に、ティー打撃とピッチングマシンから投げられるボールを打撃するフリー打撃を行わせ、両試技におけるバットのスイングパラメータを比較した森下(2016)の研究によると、ティー打撃時におけるインパクト時のスイング速度はフリー打撃よりも高いことが報告されている。また、このような結果は、阿江ほか(2017)の研究でも報告されている。これらのことから、ティー打撃や本研究で実施したトス打撃では、フリー打撃とは異なり、自らのタイミングで打撃できるため、実践場面のスイングと異なる可能性が考えられる。したがって、ピッチングマシンや投手から放たれたボールのコース別や緩急差での条件で実打することによって、より実践的な打撃場面を想定したスイング特性が明確になり、更なるトレーニングや練習の方法の検討につながるといえよう。

日本の野球競技においては、硬式野球と軟式野

球の両者が盛んに行われている。硬式野球と軟式野球で使用する用具の性質（バットやボール）が異なることは言うまでもないが、高校生や大学生のアマチュア選手やプロ野球では硬式野球が盛んである。また小学生や中学生においても硬式野球が行われているが、軟式野球を経験する者が多い。バットスイングロボットを用いたボール打ち出し実験において、軟式球は硬式球に比べて、オフセット量の増大が鉛直方向の打ち出し角度の増大、打球速度の低下に与える影響が大きい（田淵・鳴尾, 2013）。事実、野球競技では所属する連盟によって使用するボールが異なるため、インパクト後の打球特性に大きな違いが生まれることが予想される。さらに、バットの素材や質量が異なるため、使用する用具によって、スイングの特性が変わることも考慮する必要がある。そのため、小中学生が硬式野球競技者の場合、あるいは高校生、大学生が軟式野球競技者の場合は、スイング特性が異なる可能性が考えられる。本研究では、バットの質量やボールを統制することができなかったが、ボールやバットの違いにより最適なスイング特性が異なる可能性が考えられるため、今後はボールの違いによる最適なスイング特性を解明することも必要であろう。

#### V. まとめ

本研究は、小学生から大学生のアマチュア選手およびプロ野球選手を対象に、発達段階および競技レベルの異なる野球選手におけるバットスイングの特徴を明らかにすることとした。本研究の結果により、発達段階および競技レベルによってスイングの違いが示された。本研究によって得られた知見は以下の通りである。

- スイング時間は、小学生高学年以降において、中学生、高校生と年代ごとに有意に短縮し、スイング速度は年代ごとに有意に増加した。
- スイング特性は、小学生高学年から中学生ではインパクト加速度が増加するとともにスイング

軌道が地面と平行になり、中学生から高校生ではローリングが増加し、高校生以降では変化はみられなかった。

- プロ野球選手は、スイング速度がアマチュア野球選手よりも有意に高く、スイング時間が小学生および中学生よりも有意に短かった。
- スイング速度は、すべての集団において、身体の大きさと正の相関関係が認められた。また、それらの関係性は小中学生の集団において大きく、小学生では体重よりも身長が、中学生から大学生では身長よりも体重が大きかった。

発達段階および競技レベルによるスイング速度およびスイング時間の変化は、投手の発達段階や技術レベルの向上によって増加する投球速度や質の高いボールに対応するために、極めて短い時間の中でスイング速度を増加させ、ボールを強く打撃することを反映していると示唆された。またスイング特性に関しては、打球特性、ボールやバットの違いあるいは打者のタイプを考慮することで明確になる可能性が示された。

以上のことから、本研究の結果は、バットスイングにおけるトレーニングや練習の方法を検討す

る上で非常に有益な情報になるため、指導者あるいは選手は本研究の結果を用いることによって、選手の現状のバットスイングを客観的に把握することが可能になるだろう。

### 注記

注1) 事前に、バットに関して小学生の指導者に調査した結果、高学年が振るような680g前後のバットを短く持ち、打撃する選手も少なくはないと報告があった。バットを短くして振ることはバットヘッドの速度が低下するものの、バットの芯でボールを正確に捉えることが可能となる(川端・伊藤, 2012)ため、振り遅れや空振りを避けたい選手はボールに対応するためにバットを短く持ち打撃していると推察される。

また本研究では、9歳である小学3年生あるいは4年生11名、12歳である小学生あるいは中学生26名、15歳である中学生あるいは高校生15歳35名を対象に、使用するバットによって8つの項目がどのように影響するか検討した。その結果(表4)、すべての年齢において、質量の大きいバットは、小さいバットよりもスイング時間が延長し、スイング速度が有意に小さくなった(p < 0.05)。また9歳のみ、質量の大きいバットは、小さいバットよりもスイング回転半

表4 異なる質量のバットを振った場合のスイングの変化

9歳		被検者数	11	スイング時間	秒	小学生低学年用バット	小学生高学年用バット	変化量
年齢	歳		9.5 ± 0.3	スイング速度(最大時)	km/h	89.2 ± 9.9	79.4 ± 9.7	* -9.8
身長	cm		132.4 ± 6.1	スイング速度(インパクト時)	km/h	89.2 ± 9.9	79.4 ± 9.7	* -9.8
体重	kg		29.7 ± 5.9	インパクト加速度	m/s <sup>2</sup>	27.1 ± 69.3	20.7 ± 48.9	-6.4
競技年数	年		1.5 ± 0.8	ローリング	回転/秒	1.96 ± 0.86	1.73 ± 0.87	-0.23
				スイング回転半径	m	0.14 ± 0.03	0.18 ± 0.03	* 0.04
				ヘッド角度	°	-26.0 ± 8.4	-25.6 ± 6.6	0.4
				スイング軌道	°	2.5 ± 8.9	0.1 ± 9.1	-2.4
12歳		被検者数	26	スイング時間	秒	小学生高学年用バット	中学生用バット	変化量
年齢	歳		12.6 ± 0.4	スイング速度(最大時)	km/h	102.7 ± 9.5	94.2 ± 9.6	* -8.5
身長	cm		154.3 ± 9.9	スイング速度(インパクト時)	km/h	102.6 ± 9.5	94.1 ± 9.6	* -8.5
体重	kg		45.5 ± 9.5	インパクト加速度	m/s <sup>2</sup>	36.1 ± 65.4	29.0 ± 68.2	-7.1
競技年数	年		2.8 ± 2.1	ローリング	回転/秒	1.67 ± 0.87	1.62 ± 0.99	-0.05
				スイング回転半径	m	0.15 ± 0.04	0.15 ± 0.04	0.00
				ヘッド角度	°	-22.8 ± 15.7	-22.1 ± 6.5	0.7
				スイング軌道	°	0.7 ± 7.0	1.1 ± 5.9	0.4
15歳		被検者数	35	スイング時間	秒	中学生用バット	高校生・大学生用バット	変化量
年齢	歳		15.4 ± 0.3	スイング速度(最大時)	km/h	115.0 ± 8.9	107.5 ± 9.8	* -7.5
身長	cm		167.6 ± 4.4	スイング速度(インパクト時)	km/h	114.7 ± 9.1	107.1 ± 10.0	* -7.5
体重	kg		61.9 ± 9.7	インパクト加速度	m/s <sup>2</sup>	41.8 ± 73.9	19.5 ± 50.3	-22.3
競技年数	年		6.9 ± 2.0	ローリング	回転/秒	2.10 ± 0.87	1.90 ± 0.85	-0.20
				スイング回転半径	m	0.15 ± 0.03	0.15 ± 0.03	0.00
				ヘッド角度	°	-27.9 ± 6.1	-28.6 ± 6.1	-0.8
				スイング軌道	°	0.4 ± 5.4	1.1 ± 6.7	0.7

\* p < 0.01: 重量バット vs. 軽量バット

径が有意に大きくなった ( $p < 0.05$ ). 小学生高学年が使用したバットは、低学年よりもバットの長さが短い。よって、9歳の野球選手が高学年用バットで打撃した場合は、低学年用バットよりもスイング回転半径が大きくなるものの、使用するバットの質量が増加した場合のスイングは、スイング時間の延長とスイング速度の減少が起きると考えられる。そのため、本研究では、小学生低学年は、質量 480g、長さ 78cm のバットを使用した。

注2) 本研究では、バットスイング解析装置による測定値の信頼性と再現性を検討した。先ず、これまで示されたスイング速度およびスイング軌道の測定値と比較するために、光学式三次元動作解析装置を用いて、バットスイング解析装置による測定値の信頼性を検討した。光学式三次元動作解析装置 (Mac3D, Motion Analysis 社製) による測定では、バットヘッド、グリップエンドに反射マーカ (直径 13 mm) を貼付し、撮影速度毎秒 500 コマ、シャッタースピード 1/2000 秒で 2 点の三次元座標を計測した。スイング速度の算出方法は、川村ほか (2008) の手法にならない、ボールインパクト直前の 5 コマ間の合成速度における平均をスイング速度とした。またスイング軌道は、バットヘッドの速度ベクトルと水平線とのなす角度とし、インパクト直前 5 コマ (0.01 秒間) におけるバットヘッドの変位から算出した。光学式三次元動作解析装置とバットスイング解析装置の測定値の一致度を検討するため、2 元配置型変数効果モデルの級内相関係数 (Intraclass correlation coefficient: 以下, ICC) を算出した。高校生 25 名と大学生 13 名の合計 38 名を対象に、ティー台に設置された硬式球を全力で打撃させた。評価点が 3 以上の試技を最低 3 試技収集し、その平均を代表値とした。その結果、両者ともに測定値に有意な差はなく、絶対誤差はスイング速度が  $1.6 \pm 1.2$  km/h、スイング軌道が  $1.4 \pm 1.0^\circ$

であった。また ICC は、スイング速度が 0.988、スイング軌道が 0.972 と高かった。また ICC の 95% 信頼区間をみると、スイング速度 0.978 - 0.994、スイング軌道が 0.945 - 0.985 といずれも幅は狭かった。そして、Bland-Altman 分析によって、系統誤差 (比例誤差、加算誤差) の有無を確認した結果、いずれも認められなかった。このことから、スイング計測装置によるスイング速度およびスイング軌道の測定値は、信頼性が高いと判断した。

次に、その他の計測値に関しては、高校生 12 名と大学生 24 名を対象に、日を変えて 2 回測定し、測定値の再現性を検討した。スイング計測装置による測定値の再現性を検討するために、1 元配置型変数効果モデルの ICC を算出した。その結果 (表 5)、すべての項目において、2 回の測定値に有意な差はなく、ICC は高かった。このことから、スイング計測装置による測定値は、再現性が高いと判断した。

以上のことから、本研究において使用したバットスイング解析装置による測定値は、スイング速度およびスイング軌道に関しては妥当性および再現性が、その他の測定値に関しては再現性が高いと判断した。

## 文献

- Adair, R.K. (2002) The physics of baseball (3rd ed.). New York: HarperCollins.
- 阿江数通・小池関也・藤井範久・阿江通良・川村卓・金堀哲也 (2017) 野球の打撃動作における打撃条件の違いが上肢のキネマティクスに及ぼす影響: ティーおよび飛来球打撃条件による比較. 体育学研究, 62 (2): 559-574.
- 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マティクスの分析. バイオメカニクス研究, 17 (1):

表 5. スイング計測装置による測定値の再現性

	スイング時間	スイング速度 (最大時)	スイング速度 (インパクト時)	インパクト 加速度	ローリング	スイング 回転半径	ヘッド角度	スイング軌道
級内相関係数	0.923	0.981	0.981	0.827	0.815	0.863	0.908	0.904
95%信頼区間								
下限	0.850	0.963	0.962	0.664	0.639	0.734	0.820	0.813
上限	0.961	0.990	0.990	0.912	0.905	0.930	0.953	0.951

- 2-14.  
データスタジアム株式会社 (2015) 野球×統計は最強のバッテリーである. 中公新書ラクレ: 東京, pp. 64-71.
- Dowling, B. & Fleisig, G.S. (2016) Kinematic comparison of baseball batting off of a tee among various competition levels. *Sports Biomech.*, 15(3): 255-269.
- 江藤省三 (監) (2008). 考える力を身につける 野球練習メニュー 200 個人技術・組織プレー. 池田書店: 東京.
- Escamilla, R.F., Fleisig, G.S., DeRenne, C., Taylor, M.K., Moorman, C.T., Imamura, R., Barakatt, E. & Andrews, J.R. (2009) A comparison of age level on baseball hitting kinematics. *J.Appl. Biomech.*, 25 (3): 210-218.
- Fleisig, G.S., Barrentine, S.W., Zheng, N., Escamilla, R.F. & Andrews, J.R. (1999) Kinematic and kinetic comparison of baseball pitching among various levels of development. *J. Biomech.*, 32 (12): 1371-1375.
- Flynn, M.A., Woodruff, C., Clark, J. & Chase, G. (1972) Total body potassium in normal children. *Pediatr Res.*, 6(4): 239-245.
- Forbes, G.B., Gallup, J. & Hursh, J.B. (1961) Estimation of total body fat from potassium-40 content, *Science*, 133: 101-102.
- 福永哲夫 (1969) 超音波測定法による筋の単位面積あたりの筋力の算出. *体育学研究*, 14: 28-32.
- 福永哲夫 (1978) ヒトの絶対筋力—超音波による体肢組成・筋力の分布—初版. 杏林書院: 東京, pp. 190-195.
- 福永哲夫・金久博昭・角田直也・池上繁樹 (1989) 発育期青少年の体肢組成. *人類学雑誌*, 97: 51-62.
- 藤井勝紀 (2007) 発育・発達への科学的アプローチ—発育・発達と健康の身体情報科学—. 三恵社: 愛知, pp.42-111
- 平野裕一 (2006) 少年野球選手の打動作の習得～その3～. 第19回日本バイオメカニクス学会論集, p. 56.
- 平野裕一 (2016) 科学する野球 バッティング&ベースランニング. *ベースボールマガジン*: 東京, p. 71.
- Horiuchi, G. & Sakurai, S. (2016) Kinetic Analyses on Increase of Bat Head Speed in Baseball Batting. *Int. J. Sport Health Sci.*, 14, 94-101.
- Inkster, B., Murphy, A., Bower, R. & Watsford, M. (2011) Differences in the kinematics of the baseball swing between hitters of varying skill. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 43(6): 1050-1054.
- 石塚浩 (2005) 発育発達期のプログラム. 公認スポーツ指導者養成テキスト 共通科目 I, pp.136-142.
- Jinji, T. & Sakurai S. (2006) Direction of spin axis and spin rate of the pitched baseball. *Sports Biomech.*, 5(2): 197-214.
- Jinji, T., Sakurai, S. & Hirano, Y. (2011) Factors determining the spin axis of a pitched fastball in baseball. *J Sport Sci.*, 29(7): 761-767.
- 蔭山雅洋 (2017) バットスイング動作の指導およびトレーニング方法開発のための評価システムの検討～センシングデータを活用した野球教室およびアスリートサポートの取り組みを基に～. *鹿屋体育大学学術研究紀要*, 55: 5-7.
- Kageyama, M., Sugiyama, T., Kanehisa, H. & Maeda, A. (2015) Difference between adolescent and collegiate baseball pitchers in the kinematics and kinetics of the lower limbs and trunk during pitching motion. *J. Sports Sci. Med.*, 14: 246-255.
- Kageyama, M., Sugiyama, T., Takai, Y., Kanehisa, H. & Maeda, A. (2014) Kinematic and kinetic profiles of the lower limbs during baseball pitching in collegiate baseball pitchers. *J. Sports Sci. Med.*, 13: 742-750.
- Kanehisa, H., Ikegawa, S., Tsunoda, N. & Fukunaga, T. (1994) Cross-Sectional Areas of Fat and Muscle in Limbs During Growth and Middle Age. *Int. J. Sports Med.*, 15(7): 420-425.
- Kanehisa, H., Ikegawa, S., Tsunoda, N. & Fukunaga, T. (1995) Strength and cross-sectional areas of reciprocal muscle groups in the upper arm and thigh

- during adolescence. *Int. J. Sports Med.*, 16(1): 54-60.
- 金久博昭・角田直也・池川繁樹・福永哲夫 (1989a) 相対発育からみた日本人青少年の筋断面積. *人類学雑誌*, 97: 63-70.
- 金久博昭・角田直也・池川繁樹・福永哲夫 (1989b) 相対発育からみた日本人青少年の筋力. *人類学雑誌*, 97: 71-80.
- 金子公宥 (1988) *パワーアップの科学*. 朝日書店: 東京, pp125-139.
- 勝又宏・川合武司 (1996) 地面反力からみた異なる投球速度に対する野球の打撃動作の特性. *体育学研究*, 40 (6): 381-398.
- 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.
- 金堀哲也・川村卓・松尾知之・朝岡正雄・山田幸雄・會田 宏 (2012) 我が国の指導書からみた野球の打撃指導における指導者の着眼点 - 動作局面における指導対象部位に着目して -. *コーチング学研究*, 25 (2): 149-156.
- 笠原政志・山本利春・岩井美樹・百武憲一・森実由樹 (2012) 大学野球選手のバットスイングスピードに影響を及ぼす因子. *Strength & conditioning journal*, 19 (6): 14-18.
- 川村卓・島田一志・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.
- 川端浩一・伊藤章 (2012) グリップ位置と投球速度の違いが野球のバットスイングに及ぼす影響. *体育学研究*, 57 (2): 557-565.
- 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
- 城所収二・矢内利政 (2015) 野球における『流し打ち』を可能にするもう一つのインパクトメカニズム. *体育学研究*, 60 (1): 103-115.
- Matsuo, T., Escamilla R. F., Fleisig, G. S., Barrentine, S. W. & Andrews, J. R. (2001) Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups. *J. Appl. Biomech.*, 17: 1-13.
- 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・那須大毅・神事努・平野裕一 (2012) 広角に長打を放つためのバットの動き. *バイオメカニクス研究*, 16 (1): 52-59.
- 呉泰雄・傳田友樹・仲立貴 (2011) 中学野球選手における Yo-Yo テストの結果と運動能力テストの結果との関係. *日本体育大学紀要*, 41 (1): 87-91.
- 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 (2): 36-53.
- 文部科学省 (2013) 運動部活動での指導のガイドライン. [http://www.mext.go.jp/sports/b\\_menu/sports/mcatetop04/list/\\_icsFiles/afieldfile/2016/07/01/1372445\\_1.pdf](http://www.mext.go.jp/sports/b_menu/sports/mcatetop04/list/_icsFiles/afieldfile/2016/07/01/1372445_1.pdf), (参照日 2018年3月21日).
- 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.
- Nagami, T., Higuchi, T., Nakata, H., Yanai, T. & Kanosue, K. (2016) Relation between lift force and ball spin for different baseball pitches. *J. Appl. Biomech.*, 32(2): 196-204.
- Nagami, T., Morohoshi, J., Higuchi, T., Nakata, H., Naito, S. & Kanosue, K. (2011) The spin on fastballs thrown by elite baseball pitchers. *Med Sci., Sports Exerc.*, 43(12): 2321-2327.
- 中本浩揮・杉原隆・及川研 (2005) 知覚トレーニングが初級打者の予測とパフォーマンスに与える効果. *体育学研究*, 50 (5): 581-591.
- Schmidt, R.A., Lee, T., Winstein, C., Wulf, G., & Zelaznik, H. (2017) *Motor Control and Learning, A Behavioral Emphasis 6th Edition*, Champaign, IL:

- Human Kinetics. p. 236.
- Sawicki, G. S., Hubbard, M. & Stronge, W. J. (2003) How to hit home runs: Optimum baseball bat swing parameters for maximum range trajectories. *Am. J. Phys.*, 71(11): 1152-1162.
- 志村芽衣・宮澤隆・矢内利政 (2012) スイング角度およびローリング角速度が打球特性に及ぼす影響. *バイオメカニクス研究*, 16 (3): 138-147.
- 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・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集*, A-21.
- 末木新 (2017) 高校野球における試合の勝敗に影響を与える要因: 投手力・打撃力・守備力の比較. *体育学研究*, 62 (1) : 289-295.
- Rutenfranz, J., Andersen, K.L., Seliger, V., Klimmer, F., Berndt, I. & Ruppel, M. (1981) Maximum aerobic power and body composition during the puberty growth period: similarities and differences between children of two European countries. *Eur. J. Pediatr.*, 136 (2), 123-133.
- Szymanski, D.J., DeRenne, C. & Spaniol, F.J. (2009) Contributing factor for increased bat swing velocity. *J. Strength Cond. Res.*, 23 (4): 1338-1352.
- 田淵規之・鳴尾丈司 (2013) 硬式野球用ボールと軟式野球用ボールの打ち出し特性の比較. *スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス講演論文集*, 230.
- Takeuchi, T. & Inomata, K (2009) Visual search strategies and decision making in baseball batting. *Percept. Mot. Skills*, 108 (3) : 971-980
- 田中ゆふ・関矢寛史 (2010) 投球予測における顕在的・潜在的知覚トレーニングの効果. *体育学研究*, 55 (2) : 499-511.
- Tanner, J.M., Hughes, P.C., & Whitehouse, R.H. (1981) Radiographically determined widths of bone muscle and fat in the upper arm and calf from age 3-18 years. *Ann. Hum. Biol.*, 8: 495-517.
- 手島貴範・角田直也 (2010) 発育期男子サッカー選手における下肢スイング速度がボールキック能力に及ぼす影響. *発育発達研究*, 47: 1-9.
- 若林憲一・篠田秀美・佐伯勉・川端理香 (2006) 150 キロのボールを打つ!. ナツメ社, 東京, pp.16-87.
- 野球指導書編集委員会 (編) (2002) 野球の教科書. データハウス: 東京.
- 谷中拓哉・城所収二・近田彰治・矢内利政 (2014) 野球のバッティングにおけるバットのローリング発生メカニズム. *バイオメカニクス研究*, 18 (2) : 53-62.
- 谷中拓哉・近田彰治・矢内利政 (2017) 野球の打撃におけるローリングの速さを決定する力学的要因. *体育学研究*, 62(1): 33 - 48.
- 谷中拓哉・矢内利政 (2018) 野球の打撃におけるバットのローリングを高めるスイング. *体育学研究*, 63 (2) :799-810

(平成30年6月27日受付)  
(平成31年1月31日受理)

**英文抄録 (Abstract):**

The purpose of this study was to clarify characteristics related to the bat swing of baseball players among different developmental stages compared to professionals.

The subjects included 994 amateur baseball players: lower grade elementary school students ( $n = 55$ ), upper grade elementary school students (UES) ( $n = 142$ ), junior high school students ( $n = 323$ ), high school students ( $n = 328$ ), and collegiate students ( $n = 146$ ); as well as 46 professional baseball players. All subjects performed toss batting with maximal effort. Eight parameters were measured to define bat swing characteristics using a swing measurement system (an inertial sensor attached to the end of the bat grip).

The results show that swing time decreased with age after UES, while bat swing velocity at ball impact increased with age. The bat swing velocity at ball impact was significantly higher in professional baseball players compared to all amateur players ( $p < 0.01$ ), and swing time was significantly shorter in professional players compared to all amateur players ( $p < 0.05$ ). Moreover, there was no consistent changes in swing characteristics.

This indicates that swing velocity and swing time change with age in order to respond to faster ball velocity and/or a higher quality of pitches, as well as to hit with higher ball velocity. These results provide useful information on assessing bat swing training methods and exercises and can aid baseball coaches and/or players in analyzing a player's bat swing objectively.