

野球のティー打撃における打球方向とスイング特性の関係 簡易型スイング特性分析器による検討

光川 眞壽¹⁾ 河村 剛光²⁾ 佐賀 典生³⁾ 澁谷 智久¹⁾

Naotoshi Mitsukawa¹, Yoshimitsu Kohmura², Norio Saga³, Tomohisa Shibuya¹: The relationship between the directions of the struck ball and the bat swing kinematic parameters in baseball tee-batting.

和文抄録：

本研究は、簡易型スイング特性分析器を用いてティー打撃における打球方向とスイング特性（ヘッドスピード、スイング時間、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）の関係を明らかにすることを目的とした。17名の大学野球選手が簡易型スイング特性分析器を装着したバットにて異なる打球方向（引っ張り方向、センター方向、流し打ち方向）へのティー打撃を実施した。各指標を打球方向間で比較した結果、流し打ち時に、他の2つの方向と比較して、ヘッドスピードが有意に小さかった。一方、引っ張り方向へ狙って打球を放つ際には、流し打ち時よりもヘッド角度の下がる程度が有意に小さかった。これらの結果から、引っ張り方向に打撃する程ヘッド角度が上がってくることで、簡易型スイング特性分析器から算出されるヘッド角度は、ティー打撃を用いて狙った方向へ打球を放つ技術を習得する練習に活用できる可能性が示された。

Key words: same-filed hitting center-field batting, opposite-field batting, swing plane angle

キーワード: 引っ張り, センター返し, 流し打ち, ヘッド角度

1. 緒言

野球の試合において、打者は攻撃場面や守備隊形に応じて狙った方向へ打球を放つことが要求される。例えば、無死あるいは1死2塁の場合、監督は打者にライト方向に打球を放つように指示して、走者を3塁へ進塁させる戦術を選択する場合がある。その他にも、無死1塁に走者がいる場合には、三遊間が広く空いていれば打者はその間を狙って打撃することがある。あるいは無死・1死1塁の際に、監督は1塁走者を走らせて打者にはライト方向に狙い撃ちさせ、安打になった場合には1塁走者を一気に3塁まで進塁させる戦術を仕掛けることもある。そのため、選手が狙った方向

へ打球を放つ技術を身につけることは、チームの得点力を向上させるために重要なことであると考えられる。

野球の指導現場において、打球方向に関する打撃の指導では、センター方向に打撃すること（センター返し）が基本とされ、右打者がライト方向に、左打者がレフト方向に打つことを流し打ちといい、これとは逆に打者側の方向へ打球を放つことを引っ張りという。これまでに、ティー打撃やフリー打撃を対象に、流し打ちや引っ張りの打撃動作（荒木ほか、2012；田子ほか、2006；McIntyre & Pfautsch, 1982）やインパクト時のバットの動き（城所、2014；城所・矢内、2015；森下ほか、2012）に関する研究がなされている。例

1) 東洋学園大学 人間科学部
〒113-0033 東京都文京区本郷 1-26-3

2) 順天堂大学 スポーツ健康科学部
〒270-1695 千葉県印西市平賀学園台 1-1

3) 帝京大学 スポーツ医科学センター
〒192-0395 東京都八王子市大塚 359

1. Faculty of Human Sciences, Toyo Gakuen University
1-26-3 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-0033, Japan

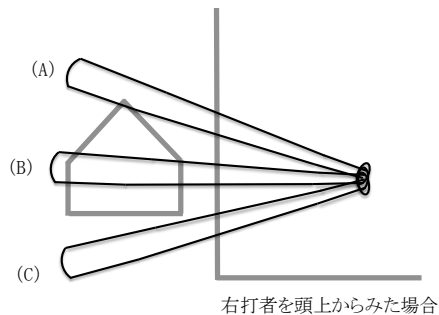
2. Faculty of Health and Sports Science, Juntendo University
1-1 Hiragagakuendai, Inzai, Chiba, 270-1695, Japan

3. Institute of Sports Science and Medicine, Teikyo University
359 Ohtsuka, Hachioji, Tokyo, 192-0395, Japan

えば、打球方向とバットの動きの関係について、McIntyre and Pfautsch (1982) は、インパクト直前における水平面上のバットの向き（図1）の観察を通じて、インパクト時の打撃面の向きが引っ張りあるいは流し打ち方向へ打球を放つための主要因であることを報告している。また、城所 (2014) および城所・矢内 (2015) は、McIntyre and Pfautsch (1982) の知見に加えて、打球方向を規定する因子として、ヘッド角度（バットの鉛直方向への傾き：図2）やボールがバットの鉛直横断面上に当たった位置から算出される角度（衝撃線角度：図3）が影響することをフリー打撃時の実測データから証明した。また、打球方向によって、スイング軌道が異なることも示されている（城所, 2014；森下, 2016）。しかし、これらの先行研究で示されている指標の具体的な数値を選手や指導者に伝えたとしても、実際にそのような打撃動作やバットの動きになっているかをグラウンドにて確認するためには、複数の高速度カメラを用いて動作やバットの動きを撮影し、撮影後に別途、画像を解析する必要がある。そのため、動作解析

の結果をその場で選手へフィードバックしながら動作を修正することは困難であった。

近年、スイング直後にバットの動きに関する情報を即時にフィードバックできる簡易型スイング特性分析器が開発された（清水ほか, 2015a, 2015b）。この分析器からは、バットのヘッドスピード（インパクト時、最大値）、スイング時間、ローリング、インパクト加速度、スイング回転半径、ヘッド角度およびスイング軌道の計8つのスイング特性が算出される。この装置によって、指導者や選手はこれまで練習現場で容易に計測できなかったスイング特性を練習現場で瞬時に確認することができるようになった。先行研究の知見（城所, 2014；城所・矢内, 2015；森下, 2016）より、狙った方向に打球を放つために重要な指標となるのは、ヘッド角度およびスイング軌道であると考えられる。したがって、指導者や選手は狙った方向に打球を放つ練習をする際に、これらの数値をその場で確認しながら動作を修正するなどの活用を考えることができる。しかし、これまでに打球方向とこの分析器から得られるスイング特性との



- (A) バットの打撃面が流し打ち（ライト）方向に向いた状態
 (B) バットの打撃面がセンター返し方向に向いた状態
 (C) バットの打撃面が引っ張り（レフト）方向に向いた状態

図1 水平面上のバットの打撃面の向き

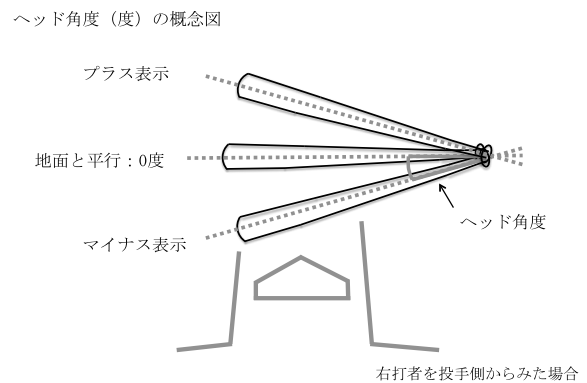


図2 ヘッド角度の概念図

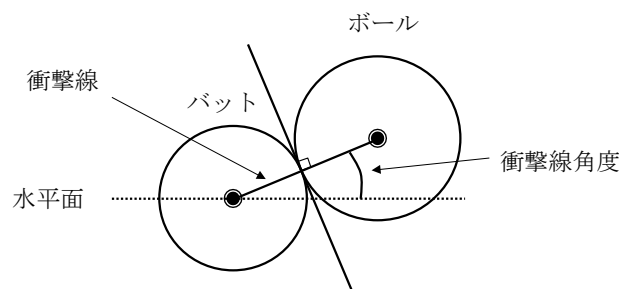


図3 バットとボールの鉛直横断面上の位置から算出される角度（衝撃線角度）の概念図

関係については詳細な検証は行われておらず、3次元動作解析を用いた先行研究において観察された打球方向別のスイング特性が、簡易型スイング特性からも同様に得られるかは確認されていない。また、この分析器はスイング時間、インパクト加速度、スイング回転半径というこれまでの先行研究で検討されていなかった指標が算出されるが、これらが打球方向とどのような関係があるかについても不明である。これらの関係を明らかにするために、狙った方向に打球を放つ技術を向上させるために簡易型スイング特性分析器から算出される指標をどのように活用することができるかについての方策を提案できると考えられる。そこで本研究は、簡易型スイング特性分析器を用いて、打球方向別のスイング特性を明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

被験者は全日本大学野球連盟（東京新大学野球連盟・2部）に所属する硬式野球部員の野手17名であった（年齢： 20.9 ± 0.8 歳，身長： 1.71 ± 0.06 m，体重： 74.5 ± 14.0 kg，体脂肪率： $14.2 \pm 5.4\%$ ，平均±標準偏差）。そのうち、公式戦に先発メンバーとして試合に出場した選手は9名（右打者6名，左打者3名），レギュラー選手以外（ベンチ入りおよびベンチ外含む）が8名（右打者4名，左打者4名）であった。いずれの被験者も専門的な競技歴は10年以上であった。

本研究は、東洋学園大学研究倫理委員会（人を対象とする研究）の承認を得て実施した。実験に際し、被験者には実験の目的、内容、実験参加に伴う危険性等について十分に説明し、本人から実験参加の同意を得た。

2. 実験手順および測定項目

被験者はウォーミングアップとして、軽度なランニング、静的および動的なストレッチングを実施した。その後、被験者が全力でのスイングにて打撃ができる状態になるまで、素振りとティー台

（2ZA577，ミズノ社製）を用いた打撃（以下、ティー打撃と略す）を行った。

次に本試行として、被験者は打撃方向を指定されたティー打撃を実施した。被験者は「強いライナー性の打球が的となるネットに当たるように狙って打つ」という教示のもと、打席位置と同様の方向（右打者はレフト方向，左打者はライト方向）に打ち返す課題（引っ張り課題），センター方向に打球を打ち返す課題（センター返し課題），打席位置とは反対方向（右打者はライト方向，左打者はレフト方向）に打ち返す課題（流し打ち課題）の計3課題を実施した。3つの課題は、被験者毎にランダムに実施した。打撃する硬式球の高さは打撃姿勢における打者のベルト位置（高さ75–80cm），左右のコースはホームベースの真ん中に設定した。バットは木製バット（YCM-152，ヤナセ社製，84cm，平均900g）を使用した。

打者の立ち位置は、打者の左右方向（投手あるいは捕手方向）の移動は課題毎に自由に移動可としたが、ボールのコース（内外角）位置を課題間で同一にするため、打者の前後方向（ホームベース寄りあるいは離れる方向）への移動は不可とした。1つの課題に対して、強いライナー性（ノーバウンド）の打球がネットに当たる試行が5試行に到達する、あるいは30試行を終えるまでティー打撃を繰り返した。成功試行をライナー性の打球に絞った理由として、打球方向を決定する因子の1つである衝撃線角度（図3）の変動を小さくする狙いがあった。ゴロやフライを含めると衝撃線角度が試行毎に大きく変化することになる。本研究では衝撃線角度は計測できないため、衝撃線角度の変動をある一定の範囲内に保つことで、打球方向と他のスイング特性の関係を精度よく抽出することができると考えた。なお、全被験者における各課題の平均試行数は、引っ張り課題において 22.2 ± 6.9 回，センター返し課題では 22.2 ± 6.2 回，流し打ち課題は 19.6 ± 7.3 回であった。

各課題の軸足位置（ $n=17$ ）およびステップ幅（ $n=15$ ）を布製メジャーにて計測した。軸足の計測は、各課題実施前のスパイクの最先端（人差し指付近）の位置に目印をつけ、センター返し課題

の位置を基準（ゼロ）として、流し打ち課題および引っ張り課題時の軸足の位置までの距離を計測した。軸足の捕手側への移動をマイナス、投手側への移動をプラスとした。また、ステップ幅に関しては、各課題前に目印を付けた軸足のスパイクの最先端位置から課題終了後の踏み込み足のスパイク最先端位置までの距離を計測した。なお、2名の被験者においてステップ幅を計測することができなかったため、15名のデータにて分析を行った。

狙い打つ的として、移動式の防球ネット（幅4m×高さ3m：SSK社製）を設置した。引っ張り課題時のネット位置は、右打者の場合、2塁ベースと3塁ベースを結ぶ塁線上、流し打ち課題時のネット位置は1塁ベースと2塁ベースを結ぶ塁線上とし、1塁あるいは3塁ベースから6.7m離れた位置にネットの1塁あるいは3塁側に近い端が位置するように設置した（図4）。また、センター返し課題はネットの中心位置（2m）が2塁ベース上になるように調整し、マウンドの投球板の長軸方向と平行になるように設置した（図4）。これらのネットは、内野手の各ポジションの間に位置しており、この的にライナーで当たった場合は、安

打になる確率が高いと考えられる。

分析対象とした試行は、打球が的にノーバウンドにて当たった成功試行が5試行に達しなかった被験者が複数名いたため、成功試行のうちはじめに成功した3試行として、これらの値の平均値を代表値として採用した。しかし、成功試行が3試行に満たなかった被験者が7名いたため、検者の目視にて打球が的に約1m幅範囲内で通過したと明確に判断できる試行を成功認定試行として成功試行に含めて分析した。なお、成功認定試行を含めても3試行に満たなかった課題があった被験者は4名おり、その場合は、2試行の平均値あるいは1試行の値を代表値とした。

スイング特性のデータは簡易型スイング特性分析器（1GJMC00100, Swing Tracer, ミズノ社製）を用いて取得した（図5）。この装置は、バットのグリップエンドに専用のアタッチメント（GJMC00200, ミズノ社製）にて装着する。得られたデータはスマートフォン（TorqueG01, Kyocera社）にインストールされた専用のアプリケーション（Mizuno Swing Tracer (Coach), ミズノ社製）に保存される。保存されたデータは、後日パーソナルコンピュータへ記録し、その後の分析

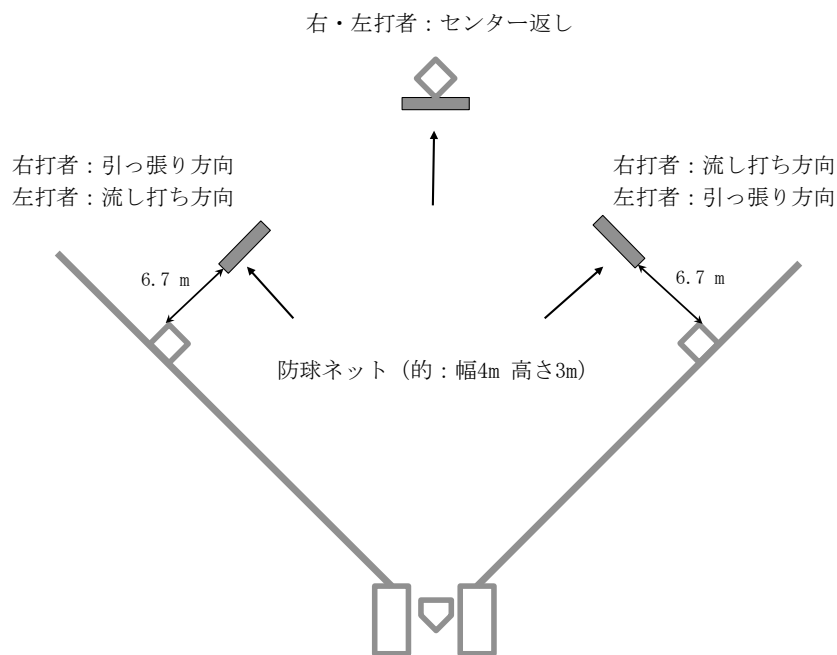


図4 実験設定概略図

に用いた。

この分析器は、3軸加速度センサ、3軸ジャイロセンサ、3軸の広レンジ加速度センサを搭載した9軸の慣性ユニットであり、データ取得のサンプリング周波数は1000 Hzであった（清水ほか、2015a, 2015b）。分析器の大きさは縦0.05 m、横幅0.027 m、高さ0.016 mであり、質量は0.015 kgであった。

分析器から得られるスイング特性の指標は、ヘッドスピード（インパクト時、最大値）、スイング時間、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、スイング軌道である（清水ほか、2015a, 2015b）。これらの指標の詳細は清水ほか（2015a）に記載されている。

ヘッドスピードはインパクト時および最大値の2つの指標が提示される。ヘッドスピード（インパクト時）は、インパクト時のバットヘッドのスイング速度を示しており、ヘッドスピード（最大値）は、スイング開始時からインパクト時までのヘッドスピードの最大値を示している。本研究においては、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よりも打球に対して重要な指標であると判断し、インパクト時のヘッドスピー

ドを分析対象として採用した（以後のヘッドスピードはインパクト時のヘッドスピードを示している）。

スイング時間は、スイング開始からインパクトまでにかかった時間である。スイング開始の判断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はじめて5 m/sを初めて超える時刻である。これは、打撃動作の中でグリップエンドを投手方向へ動かし始めた時刻に相当すると考えられる。

インパクト加速度は、インパクト時のバットヘッドの加速度を示している。インパクト加速度が正の場合、バットが加速している局面でインパクトしたことを示し、負の値の場合はバットが減速している局面においてインパクトしたことを表している。

ローリングは、インパクト時のバット長軸周りの角速度を示している（図6）。通常、ボールに対してバックスピンをかけるような回転をしながらバットがインパクトする。その回転方向の角速度を正の値にて示している（図6）。通常は正の値となり、この回転が大きい程打球に強いバックスピがかかると考えられている。



図5 簡易型スイング特性分析器
(左：分析器本体, 中央：専用アタッチメント装着時, 右：バット装着時)



右打者を一塁側からみた場合

ローリングは、インパクト時のバット長軸周りの角速度である。右回りを正の値、左回りを負の値にした場合、通常は正の値となり、この回転が大きい程打球に強いバックスピがかかると考えられている。

図6 ローリングの概念図

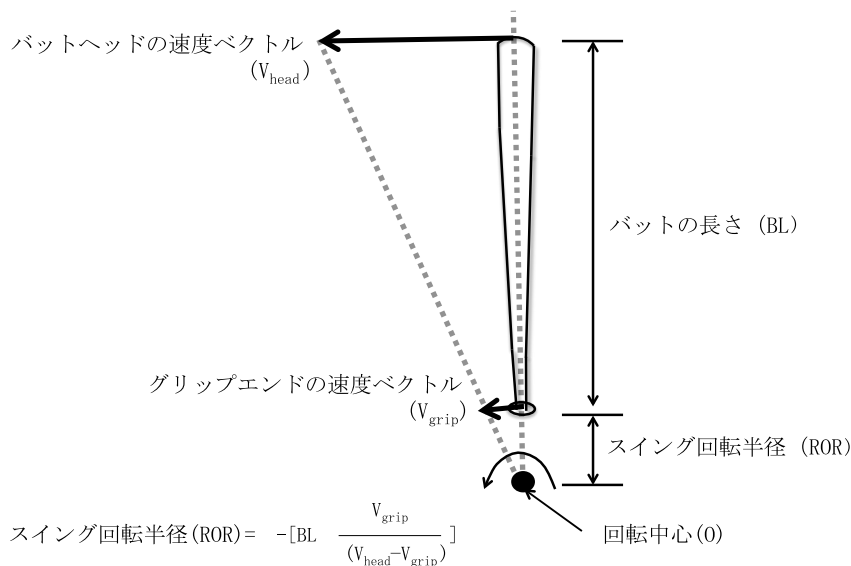


図7 スイング回転半径の概念図

スイング回転半径は、バットヘッドが打球方向とは逆方向（捕手方向）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見てどの位置にあるかを表している（図7）。バットの回転中心はバットのグリップエンドとバットヘッドの速度ベクトルを用いて算出されており、その位置はバット内にあるものとして計算されている（概念図ではバットの外に示した）。通常、ヘッド速度に対してグリップエンドの速度が小さくなる程、回転半径（回転中心からバットヘッドまでの距離）は小さな値を示し、ヘッド速度に対するグリップエンドの速度が大きくなる程、回転半径は大きくなる。清水ほか（2015a）は、回転半径

の値が小さい程コンパクトなスイングであると記述している。このコンパクトという用語の定義は論文中に記載されていないが、回転半径の値が小さい、つまり回転中心がよりヘッド側に位置した状態でのスイングをコンパクトなスイングと評価していると解釈できる。一方で、現行の簡易型スイング特性分析器で表示されるスイング回転半径は、値が大きくなる程、回転半径が小さくなるように表示される。したがって、本研究では、現場の使用者の混乱を最小限に抑えるために、この表示方法に則ってスイング回転半径が大きい方がコンパクトなスイング（回転半径が小さいこと）を意味するものとして、以降の記述を統一する。

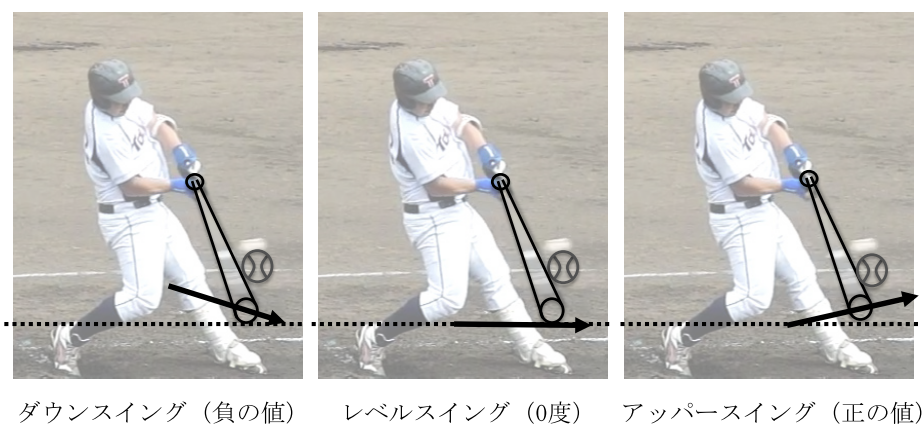
ヘッド角度は、打球方向に直交する垂直面に対し、バットがインパクト時においてどの程度地面方向に傾いていたかを評価している。バットと地面が水平な状態でインパクトを迎えると0度、バットヘッドが下方方向を向いている場合は負の値、上方方向の場合は正の値をそれぞれ示す(図2)。なお、本研究で用いる「ヘッド角度」は他の先行研究において使用されている「鉛直バット角」と同義であるため、先行研究で用いられている「鉛直バット角」は本研究では「ヘッド角度」として表記する。

スイング軌道は、インパクト時において、打球方向に平行な垂直面内の水平軸とバットヘッドの速度ベクトルが成す角度を表している(図8)。俗にいう、アップースイングの時は正の値、レベルスイングの場合は0、ダウンスイングの時は負の値となる。なお、スイング軌道はインパクトの直前の局面におけるスイング軌道を示している。つまり、スイング始動時からインパクトに至るまでの局面、あるいはインパクト後のフォロースルー局面におけるスイングの軌道ではない。

清水ほか(2015a, 2015b)は、この分析器の測定精度(妥当性)について三次元動作分析装置で計測したバットの挙動との比較を通じて検証している。彼らはこの分析器で計測されたバットの挙

動のデータは、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(清水ほか, 2015a, 2015b)。一方、水平面におけるスイングの向きを厳密に計測できるまでには至っておらず、正確な分析を目指す上で制約となっていると言及している(清水ほか, 2015a)。この水平面におけるスイングの向きとは、インパクト時にバットがどの方向(レフト方向, センター方向, ライト方向)に向いているのかを指している。つまり、簡易型スイング特性分析器はインパクト時の水平面上のバットの向きを計測できないことを意味している。そのため、インパクト時の水平面上のバットの向きをセンター方向(投手板に対してバットの長軸方向が水平となる向き)と仮定して各指標を算出している(清水ほか, 2015a)。この仮定によって、スイング特性の算出精度に影響がでる指標としてスイング回転半径が挙げられる。その理由として、スイング回転半径はバットが捕手方向に向いた時刻を同定しているが、インパクト時のバットの向きがセンター方向ではなかった場合、簡易型スイング分析器上でスイング回転半径を算出する時刻と実際にバットが最も捕手方向に向いている時刻と一致しないという問題点が生じる。この問題点が本研究の結果に与える影響については考察において議論した。

スイング軌道(度)の概念図



右打者を一塁側からみた場合

図8 スイング軌道の概念図

3. 統計処理

打球方向別のスイング特性を分析するために、全被験者の各課題の試行数およびスイング特性の値を平均値±標準偏差にて示した。打球方向、スイング特性、軸足位置およびステップ幅の違いを検討するために、対応のある要因による一元配置の分散分析を用いてスイング特性の各指標を3つの課題間で比較した。多重比較には Bonferroni の方法を用いた。なお、有意水準は危険率 5% 未満とした。

III. 結果

表 1 にスイング特性の平均値±標準偏差 (n=17) を課題毎に示した。ヘッドスピードは、流し打ち課題の値が、引っ張り課題およびセンター返し課題のそれよりも有意に小さかった (表 1, $p < 0.05$)。

スイング時間は、流し打ち課題が最も短く、次いでセンター返し課題、引っ張り課題の順番であった。これら全ての課題間に有意差がみられた (表 1, $p < 0.05$)。インパクト加速度は、いずれの試行間に有意な差はみられなかった (表 1)。ローリングは、引っ張り課題の値がセンター返し課題と比較して有意に大きかった (表 1, $p < 0.05$)。スイング回転半径は、流し打ち課題の値が、センター返し課題および引っ張り課題のそれよりも有

意に大きかった (表 1, $p < 0.05$)。ヘッド角度は、流し打ち課題の値が引っ張り課題のそれよりも有意に小さかった (表 1, $p < 0.05$)。スイング軌道は、値が高かった順序に並べると引っ張り課題、センター返し課題、流し打ち課題であったが、いずれの間にも有意な差はみられなかった (表 1)。

打者の軸足 (捕手側の足) 位置は、センター返し課題の位置を基準 (ゼロ) とした場合、流し打ち時には投手側に 0.37 ± 0.12 m, 引っ張り時には捕手側に 0.17 ± 0.12 m の位置でスイングを実施した。軸足位置は、センター返し時と比較して、引っ張り時で有意に捕手側方向へ、流し打ち時では有意に投手側方向へ移動していた (表 1, $p < 0.05$)。ステップ幅は、センター返し時は 0.94 ± 0.11 m, 流し打ち時は 0.94 ± 0.13 m, 引っ張り時は 0.89 ± 0.9 m であり、いずれの課題間においても有意な差はみられなかった (表 1)。

IV. 考察

本研究では、ティー打撃における引っ張り時、センター返し時および流し打ち時のスイング特性についてのデータを取得した。その結果、打球方向間に有意な差がみられた指標は、ヘッドスピード、スイング時間、ローリング、スイング回転半径、ヘッド角度であった。本論文では、打球方向別に

表 1 打球方向とスイング特性

		引っ張り課題	センター返し課題	流し打ち課題	p < 0.05
試行数	回	22.2 ± 6.9	22.2 ± 6.2	19.6 ± 7.3	-
ヘッドスピード	m/s	34.2 ± 2.9	34.1 ± 2.7	32.9 ± 2.7	*, **
スイング時間	s	0.139 ± 0.008	0.132 ± 0.006	0.127 ± 0.007	***, ****
インパクト加速度	m/s ²	120.3 ± 166.4	111.6 ± 98.7	148.6 ± 130.1	ns
ローリング	rad/s	16.3 ± 8.2	10.7 ± 6.9	10.7 ± 7.5	***
スイング回転半径	m	0.15 ± 0.05	0.16 ± 0.03	0.20 ± 0.04	*, **
ヘッド角度	°	-14.5 ± 4.3	-17.5 ± 5.8	-19.2 ± 4.3	**
スイング軌道	°	0.2 ± 6.3	-1.1 ± 2.9	-3.9 ± 4.9	ns
軸足位置	m	-0.17 ± 0.12	0 ± 0	0.37 ± 0.12	***, ****
ステップ幅	m	0.89 ± 0.9	0.94 ± 0.11	0.94 ± 0.13	ns

*: 流し打ち課題とセンター返し課題との間に有意差

** : 流し打ち課題と引っ張り課題との間に有意差

***: 引っ張り課題とセンター返し課題との間に有意差

ns: 有意差なし

軸足位置のマイナスは捕手方向への移動、プラスは投手方向への移動

平均値±標準偏差

スイング特性の特徴をまとめ、さらに、選手や指導者が本研究で得られたデータをどのように解釈し、練習に活用することができるかについて以下に考察する。

1. 引っ張り時のスイング特性

これまでに引っ張り方向に打球を放つための重要な条件の1つに、水平面上のバットの向き、つまりバットの打撃面を引っ張り方向へ向けてインパクトすることが挙げられている(図1c参照, McIntyre and Pfautsch, 1982; 城所, 2014)。本研究で用いた簡易型スイング特性分析器は水平面上のバットの向きを計測することができないため(Ⅱ. 方法, p7参照)、本研究の試行において水平面上のバットの向きが引っ張り方向へどの程度向いてインパクトしていたかを数値として示すことはできない。しかし、引っ張り時の軸足の立ち位置はセンター返しよりも捕手側に 0.17 ± 0.12 m 移動して打撃を行っていた ($P < 0.05$)。また、引っ張り時とセンター返し時のステップ幅との間には有意な差はみられなかった。このようにステップ幅を変えずに捕手側への軸足を移動させたことによって、被験者は身体に対するインパクト位置を投手側へ移動させ、引っ張り方向にバットの打撃面が向くように調整していたと考えられる(図9c)。このような調整が行われたことを支持する

データの1つとして、引っ張り時のスイング時間が長かったことが挙げられる。つまり、流し打ち時よりも引っ張り時において、打撃動作開始位置からインパクト位置までのバットヘッドの移動する距離が長くなり(図9)、スイング時間が長くなったと考えられる。この結果から、引っ張り方向へ打球を放つためには、引っ張り方向へバットの打撃面を向けてインパクトすることが重要であることが再確認された。

引っ張り時は他の課題よりもバットを加速させる距離が長いため、その分バットが加速し、他の課題よりもヘッドスピードが大きくなる可能性が考えられた。本研究では、引っ張り時のヘッドスピードが流し打ち時と比較して有意に大きかった。城所・矢内(2017)は、フリー打撃時の引っ張り方向、センター返し方向、流し打ち方向へ打球を放った際のヘッドスピードは、本研究と同様に引っ張り方向およびセンター返し方向のヘッドスピードが流し打ち方向と比較して有意に大きいことを報告している。また、森下・矢内(2018)においては、スイング中の各局面におけるヘッドスピードは、引っ張り方向の方が流し打ち方向時よりも有意に大きくなる結果を報告している。この要因として、森下・矢内(2018)は、バットヘッドの加速距離が長くなったことに起因すると考察している。本研究においても、軸足位置の変

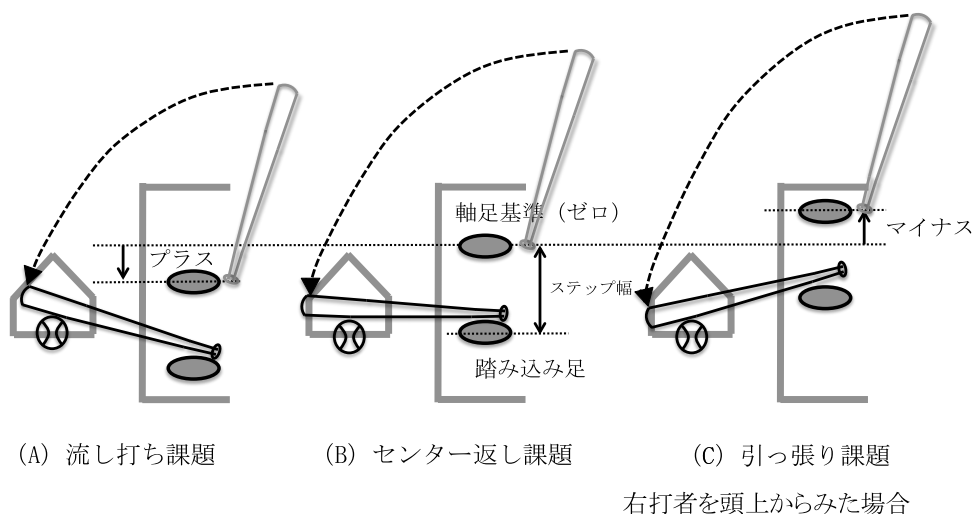


図9 課題毎の立ち位置と水平面上のバットの打撃面の向き

化により引っ張り時およびセンター返し時のインパクト位置が流し打ち時と比較して投手側へ移動し、バットヘッドの移動距離が長くなっていたと考えられる(図9)。それにより引っ張り時のヘッドスピードが流し打ち時よりも大きくなったと考えられる。一方、本研究と同じティー打撃を対象とした田子ほか(2006)は、引っ張り課題のインパクトのポイントが他の課題と比較して投手側へ移動したが、打球速度に有意な差はみられていない。田子ほか(2006)と本研究の打撃課題の違いとして、成功試技の的の大きさ、打撃するボールのコースの違いなどあり、これらが結果の相違に影響した可能性があるが、本研究のデータから特定することは難しい。いずれにしても、本研究における打球方向間のヘッドスピードの違いは、打撃開始位置からインパクト位置までのバットヘッドの移動距離が主要因となったと考えられる。

水平面上のバットの打撃面の向きの他に、打球方向を決定する重要な要因の1つとして、ヘッド角度(バットヘッドが地面方向にどれだけ下がっていたか)が挙げられている(城所, 2014; 城所・矢内, 2016; 森下, 2016)。森下(2016)はフリー打撃を対象とした研究において、引っ張り時のヘッド角度、つまりヘッドが地面方向へ下がる程度は、流し打ち時よりも小さかったと述べている(引っ張り時 vs. 流し打ち時, $-21.0 \pm 5.0^\circ$ vs. $-26.9 \pm 6.3^\circ$)。本研究も同様に、引っ張り時のヘッドの下がる程度は、流し打ち時よりも有意に小さかった(引っ張り時 vs. 流し打ち時, $-14.5 \pm 4.3^\circ$ vs. $-19.2 \pm 4.3^\circ$, $p < 0.05$)。したがって、引っ張り方向へ打球を放つ場合には、選手は流し打ち時よりもバットヘッドを地面方向に下げないようにインパクトすることを意識することが重要であると考えられる。このような意識を持ってスイングをした際に、意識どおりにヘッド角度の値が変化しているかを簡易型スイング特性分析器で確認しながら動作を修正することが有効であろう。

次に、スイング軌道について考察する。本研究は、課題間で統計的に有意な差はみられなかったが、引っ張り時のスイング軌道($0.2 \pm 6.3^\circ$)は流し打ち時($-3.9 \pm 4.9^\circ$)よりもレベルスイング

に近かった。先行研究において、引っ張り方向へ打球を放った際のスイング軌道はアップスイングの軌道にて、流し打ち時にはレベルあるいはダウンスイングにてインパクトしていたことが報告されている(城所, 2014; 森下, 2016; 城所・矢内, 2017; 森下・矢内, 2018)。例えば、森下(2016)のフリー打撃を対象とした報告では、引っ張り時のスイング軌道が $9.7 \pm 3.8^\circ$ 、流し打ち時が $1.9 \pm 5.0^\circ$ であり、両者に有意な差が観察されている。また、城所・矢内(2017)は、フリー打撃時のスイング軌道と打球方向の関係をみたところ、流し打ちから引っ張りへと打球方向が変化するとともにスイング軌道はダウンスイングからアップスイングへと変化することを報告している。この結果に対して城所・矢内(2017)は、ダウンスイングから始まる一連のスイング軌道において、打撃ポイントが捕手側であったか投手側であったかの影響を受けていたものと考え、投手側でインパクトしていた引っ張り試技ほどアップスイングであったものと推察している。これらの先行研究(城所, 2014; 森下, 2016; 城所・矢内, 2017; 森下・矢内, 2018)の結果から考えると、打球方向間におけるスイング軌道の違いについて、本研究は先行研究と同様の結果を示したことから、引っ張り時のインパクト位置が流し打ち時よりも投手側へ移動し(図9)、引っ張り時には流し打ち時よりもレベルスイングからアップスイングの軌道にてインパクトしていたと推測される。本研究においても簡易型スイング特性分析器を用いて、先行研究と同様の打球方向間のスイング軌道の違いが示されたことから、簡易型スイング特性分析器は流し打ち時と引っ張り時のスイング軌道の違いを捉えることができたといえよう。

本研究の結果、引っ張り時のローリングは、センター返し時よりも有意に大きかった(表1, $p < 0.05$)。この結果は、引っ張り方向へ打球を放つ際にはローリングが大きくなることを示している。谷中ほか(2017)はローリングの大きい打者のバット運動における動力学的な特徴について、センター方向へのフリー打撃を対象とした実験から、ローリングの大きい選手は、スイング開始からイ

ンパクト直前までバットヘッドを急激に倒すことにより、予めバットヘッドを下げる角速度（章動）を高め、さらにインパクト直前に大きくなったバットヘッドを下げる角速度を急激に減速させることで大きなローリングを実現していると考察している。そして、このようなバット運動を実現するためには、バットヘッド側の手（押し手）の手関節と前腕の動きによって、バット長軸と肘関節屈伸軸を平行にさせ、肘関節を加速的に伸展させること、グリップエンド側の手（引き手）の回内方向への関節トルクを減少させバットヘッドを下げないようにスイングする必要があると述べている。本研究の引っ張り時と流し打ち時の押し手の違いを考えると、引っ張り時の方が流し打ち時よりもインパクト位置が投手側に移動するため（図9）、押し手の肘関節がより伸展した状態でインパクトした可能性が考えられる。川村ほか（2008）によると、インパクト直前の押し手の肘関節はインパクトに近づくにつれて伸展することが確認されている。したがって、流し打ち時よりも引っ張り時の方が押し手の肘関節が伸展しローリングが大きかったことが考えられる。

2. 流し打ち時のスイング特性

流し打ち方向に打球を放つ方法は2つ存在し、1つは水平面上の打撃面を流し打ち方向に向けてインパクトする方法であり、もう1つは打撃面をセンターあるいは引っ張り方向に向けた状態においてもヘッド角度と衝撃線角度を大きくしてインパクトする方法がある（城所，2014；城所・矢内，2015）。はじめに、本研究においてバットの打撃面の向きがどのようになっていたかについて軸足位置、ステップ幅、スイング時間およびヘッドスピードの結果から考察する。流し打ち時において、本研究の被験者の立ち位置は、センター返し時よりも投手側に 0.37 ± 0.12 m 移動していた ($p < 0.05$)。また、ステップ幅はセンター返し時と同程度の 0.94 ± 0.13 m であった（表1）。この軸足の移動と同一のステップ幅によって、インパクト位置を相対的に捕手側へ移動させ、バットの向きも流し打ち方向へ向けてインパクトさせてい

たと推察される（図9）。また、流し打ち時のスイング時間が他の課題よりも短く、ヘッドスピードが小さかったことは、インパクト位置がセンター返し時よりも捕手側に移動していたことを支持する結果であったと考えられる。これらのことから、本研究の被験者は、打撃面を流し打ち方向に向けて打撃する方法を用いていたと考えられる。

次に、ヘッド角度の影響について考察する。本研究の結果、流し打ち時のヘッド角度 ($-19.2 \pm 4.3^\circ$) は、引っ張り時 ($-14.5 \pm 4.3^\circ$) よりもヘッドが地面方向に下がった状態でインパクトしていた。森下（2016）は、フリー打撃を対象とした研究において、流し打ち時のヘッド角度 ($-26.9 \pm 6.3^\circ$) は、引っ張り時 ($-21.0 \pm 5.0^\circ$) よりもヘッドが地面方向へ下がった状態でインパクトしていることを報告している。また、城所・矢内（2015）は、フリー打撃時のスイング特性のデータから、水平面上の打撃面の向きが一定の場合、打球はヘッド角度と衝撃線角度が両者ともに大きなインパクトほど流し打ち方向に放たれると述べている。本研究の結果はこれらの先行研究の結果を支持するものであり、簡易型スイング特性分析器は打球方向の変化に関連するヘッド角度の変化を精度よく抽出できることを示したといえる。したがって、簡易型スイング特性分析器から算出されるヘッド角度を参考にバットの動きや動作を修正するなど、狙った方向へ打球を放つ技術を改善する練習にこの分析器を活用できると考えられる。

次に、流し打ち方向のスイング軌道について考察する。本研究のスイング軌道は課題間で有意な差はみられなかったが、流し打ち時のスイング軌道は負の値、つまりダウンスイングの軌道になっていた ($-3.9 \pm 4.9^\circ$)。森下（2016）はフリー打撃を対象とした結果ではあるが、引っ張り時と流し打ち時のスイング軌道を比較すると、流し打ち時の値が小さい、つまりレベルスイングの軌道に近い角度であることを報告している（流し打ち時 vs. 引っ張り時, $1.9 \pm 5.0^\circ$ vs. $9.7 \pm 3.8^\circ$)。本研究と森下（2016）の結果を合わせて考えると、流し打ち時には、アッパースイングではなく、レベルからダウンスイングの軌道にてインパクトする

ことが求められると考えられる。したがって、流し打ち方向へ打球を放つためのスイング軌道は、レベルからダウンスイングの軌道にてインパクトすることが有効であるだろう。

ヘッド角度およびスイング軌道以外の指標のうち、流し打ち時に特徴的な値を示した指標は、ヘッドスピード、スイング時間およびスイング回転半径であった。流し打ち課題のヘッドスピードは、引っ張り時およびセンター返し時のそれよりも有意に小さかった（表1）。本研究と同様のティー打撃を対象とした田子ほか（2006）の報告では、打撃高を変えて内角（引っ張り）、真ん中（センター返し）、外角（流し打ち）の打撃時の打球速度と打撃動作のキネマティクスを検討している。その結果、どの高さにおいても打球方向間で打球速度に有意な差はみられていない。また、森下（2016）は大学野球選手を対象として、フリー打撃時の引っ張りと流し打ち時のスイング特性を検討し、両課題におけるヘッドスピードに有意な差はみられないことを報告している。一方、本研究の打撃課題とは異なるが、大学野球世界大会における実打の打撃動作を分析とした森下ほか（2012）の報告では、センター方向への単打を放った時のヘッドスピード（約130 km/h）を100%とした場合、流し打ち方向の値は約94%（約122 km/h）であり、センター方向よりも小さい値が示されている（本文の図から推定）。本研究のセンター返し時を100%（123.5 km/h）とした場合、流し打ち時は96.3%（118.9 km/h）であり、森下ほか（2012）の報告の方が流し打ち方向のヘッドスピードの低下率が大きい。森下ほか（2012）の結果に統計的な差はみられていないが、流し打ちをする際にヘッドスピードが低下するという点は共通している。本研究において流し打ち時にヘッドスピードが低下した要因として、インパクトのポイントが他の課題よりも捕手側であったため加速時間が短く、バットヘッドが十分に加速せずにインパクトしたことが影響した可能性がある。しかし、田子ほか（2006）および森下（2016）においても本研究と同様に流し打ち課題のインパクトのポイントが他の課題よりも捕手側であったが、打球速度や

ヘッドスピードに差は見られていない。したがって、バットの加速時間が短かったという要因のみでは本研究の結果を十分に説明できないと考えられる。その他の要因として、本研究の流し打ち課題の難易度が高かったことが関係している可能性がある。本研究で設定したコースは真ん中であり、田子ほか（2006）および森下（2016）のコースは外角であった。また、本研究で流し打ち方向の的とした範囲は他の研究よりも狭い範囲であった。そのため、本研究の課題の方が引っ張り課題およびセンター返し課題と比較して流し打ち方向に打撃することが技術的に難しかったと考えられる。このような技術的な難しさが、ヘッドスピードの低下に影響していたかもしれない。

流し打ち時のスイング回転半径は、センター返し時および引っ張り時のそれよりも有意に大きな値であった（表1）。スイング回転半径はバット自体の動きを評価したものであり、バットヘッドとグリップエンドの速度ベクトルの差分を用いて算出している（図7）。現行の簡易型スイング特性分析器で表示されるスイング回転半径は、ヘッド速度に対してグリップエンドの速度が小さくなる程大きな値を示し、コンパクトなスイングと評価される。そのため、本研究の流し打ち課題の際、ヘッド速度に対するグリップエンドの速度が小さくコンパクトなスイングであったといえる。荒木ほか（2012）は、大学野球選手の世界大会時の流し打ち方向の打撃動作を分析し、流し打ち時のヘッドスピードが大きな選手は小さな選手に比べて、バットヘッドが最も捕手側に向いた局面におけるグリップの投手方向への速度が大きいことを報告しており、流し打ち時にはグリップエンドを投手側に速く動かすことが重要であることを示唆している。しかし、本研究で用いた分析器はインパクト時の水平面上のバットの向きを計測できないため、インパクト時にバットがセンター方向に正対している状態であると仮定してスイング回転半径を算出している。そのため、本研究の打撃課題のように打球方向が引っ張り方向の場合、水平面上のバットの向きが引っ張り方向に、流し打ち方向の場合は流し打ち方向に向いていた場合は、スイ

ング回転半径の算出する時刻に誤差が生じる可能性がある。つまり、引っ張り方向に打撃した際、センター方向に正対している場合よりもスイング回転半径位置を算出する位置はバットが捕手方向に向いた時刻よりもインパクトに近い時刻に変化している可能性がある。したがって、本研究で打球方向によってスイング回転半径が異なった背景には、算出時刻が異なったことによる回転半径の変化が影響していた可能性がある。

3. 現場への応用

狙った方向へ打球を放つ技術を身につけるために、本研究で用いた簡易型スイング特性分析器を有効に活用するためにはどのような方法があるのか、またどのような限界点があるのかについて以下に考察する。

本研究ではティー台を用いることでインパクト位置を一定に保ち、被験者は各課題内で水平面上の打撃面の向きが常に打球方向を向いた状態でインパクトできるように立ち位置を設定していた。一方、フリー打撃はタイミングの要素が加わるため、打球方向が同じ場合においても試行間でインパクト位置が変化し、バットの打撃面が常に打球方向を向いていない可能性がある（城所，2014；城所・矢内，2016）。そのため、本研究で得られた結果がフリー打撃時に同様に観察されると仮定することはできない。したがって、本論文で得られた結果や議論は、ティー台を用いた打撃練習時のみに応用することができると考えられる。

本研究の結果、流し打ち時のヘッド角度は引っ張り時よりも有意に下がっていた。この結果は、打球を意図した方向へ打ち分けるためには、打球方向に応じてインパクト時のヘッド角度を調整する技術が必要であることを示している。したがって、選手や指導者は打球方向別のスイングを習得するためには、上記のようなヘッド角度になるように打撃動作やバットの動きを修正することが必要となるであろう。また、その際に簡易的なスイング特性分析器を用いることで、ヘッド角度を適宜確認しながら動作やバットの動きを効率よく修正することができると考えられる。但し、引っ張

りおよびセンター返し課題では水平面上のバットの向きが打球方向を決める主要な要素であることが示されていることから（城所，2014），これらの打球方向の練習時にはティー台を用いて水平面上の打撃面の向きを打球方向に向いた状態でインパクトできるように立ち位置を調整する必要がある。一方、流し打ち時には、ヘッド角度と衝撃線角度の相互作用によって流し打ち方向へ打球が放たれる場合も多いことから（城所，2014；城所・矢内，2015），水平面上のバットの向きが流し打ち方向に向いていないインパクト位置になるように立ち位置とティー台の位置を設定して、ヘッド角度を調整することで流し打ち方向へ打球を放つ練習も必要であると考えられる。このような条件下でどのようなヘッド角度でインパクトすると流し打ち方向へ打球が放たれるのかを選手の感覚とスイング特性分析器で算出されるヘッド角度の数値を組み合わせながら練習することも流し打ちの技術を高める練習方法として有効であるかもしれない。

本研究のスイング軌道は課題間で統計的な差は認められなかったが、平均値をみると引っ張り時のスイング軌道はレベルスイング軌道にてインパクトしており、流し打ち時のスイング軌道はダウンスイングの軌道にてインパクトしていた。前述のように、本研究の結果から簡易型スイング特性分析器を用いて打球方向間のスイング軌道の違いを評価できることが示された。引っ張り方向への打撃に関して、城所（2014）は、フリー打撃時のスイング特性の検討から、引っ張り方向への打撃時にはスイング軌道をアップスイングの軌道にすることによって、衝撃線とスイング軌道を一致するようなスイングにし、大きな打球速度を獲得していたことを示唆している。城所・矢内（2017）では、流し打ち方向に飛距離の長い打球を放つためにはアップスイングにてインパクトする重要性を示唆している。これらの知見と本研究の結果を踏まえて簡易型スイング特性分析器の活用法を考えると、引っ張り方向へ打球速度の大きな打球を放つ、あるいは流し打ち方向へ飛距離の長い打球を放つために、スイング軌道がアップスイ

ングにてインパクトしているかを簡易的に評価しながら動作やスイングを修正する方法が考えられる。

ローリングに関しては、本研究では引っ張り時の値が他の課題よりも有意に大きかった。ローリングは打球をバックสปินさせる（図6、反時計回り方向）作用があり、志村ほか（2012）のシミュレーション研究によると、ローリングが約35 rad/s 増加した場合、打球飛距離が0.5m長くなることが示されている。本研究では、打球方向間で5 rad/s 程度の違いであることから、打球方向間のローリングの違いは打球飛距離に全く影響していないと考えられる。また、前述のように、本研究で観察された引っ張り時にローリングが大きかったことはインパクト位置の違いに起因する上肢の動作の違いが影響していると考えられ、打球方向を決定する直接的な因子ではないといえる。そのため、狙った方向にライナー性の打球を放つためには、ローリングの値の大小を意識することよりも、前述の水平面のバットの向き、ヘッド角度、スイング軌道を意識した方がよいと考えられる。また、本研究の結果、インパクト加速度には課題間で差がみられなかった。この指標はあくまでインパクト直前のバット加速度を表しているため、打球方向との関連はなく、ローリング同様に打球方向を決定するスイング特性としては重要視する指標ではないと考えられる。

簡易型スイング特性分析器を用いて計測した本研究のローリングは、引っ張り時で 16.3 ± 8.2 rad/s (2.6 ± 1.3 回転/s)、センター返し時で 10.7 ± 6.9 rad/s (1.7 ± 1.1 回転/s)、流し打ち時において 10.7 ± 7.5 rad/s (1.7 ± 1.2 回転/s) であった。一方、大学野球選手を対象に、3軸加速度センサを用いてフリー打撃時（センター方向）のローリングを計測した城所ほか（2011）の結果は 17.6 ± 8.2 rad/s (2.8 ± 1.3 回転/s)、電磁ゴニオメータを用いた谷中ほか（2014）は 13.2 ± 2.5 rad/s (2.1 ± 0.4 回転/s) と報告している。また、プロ野球選手のフリー打撃時の値については谷中ほか（2017）が 11.9 ± 6.3 rad/s (1.9 ± 1.0 回転/s) と報告している。これらの値は、本研究と被験者の競技レベル、打

撃課題および計測器が異なるため、直接比較することはできないが、簡易型スイング特性分析器を用いたティー打撃においては、本研究の値を参考値として活用できるだろう。

本研究では、スイング回転半径も打球方向によって有意な差が観察された。すでに考察したように、この結果には計測されている時刻が打球方向間で異なることが影響しているため、スイング回転半径を打球方向間で比較することはできない。また、スイング回転半径を修正しようとする際には、インパクト位置を一定にした状態で比較検討することが妥当であると考えられる。一方、ヘッドスピード、スイング時間、ローリングおよびヘッド角度においては、計測されている時刻は打球方向間で異ならないため、値を打球方向間で比較検討することが可能である。しかし、これらの指標もインパクト位置の影響を受けるため、個人内や個人間の変動を比較検討する際には、インパクト位置を統一した条件で評価することが適切であろう。

これまでにティー打撃時の大学野球選手のヘッドスピードを報告した研究がいくつかある（阿江ほか、2013；川村ほか、2008；田子ほか、2006）。これらの報告の打球方向はセンター方向への打球が多く、高速度カメラや光学式3次元自動動作分析装置を用いてヘッドスピードを算出している。また、打球方向に設置されている防球ネット（的）は打席位置から4m以下の距離に設置されている（田子ほか、2006；阿江ほか、2013）、あるいは的が設置されていない条件であった（川村ほか、2008）。これに対して、本研究は簡易型スイング特性分析器を用いてヘッドスピードを算出しており、打球方向の的は約39m先（センター返し課題）にある条件であった。また、被験者の競技レベルも先行研究と異なっていた可能性もある。以上のような条件の違いがあるため、先行研究（阿江ほか、2013；川村ほか、2008；田子ほか、2006；森下、2016）のヘッドスピードと本研究の数値を直接比較することはできないが、本研究で得られた各課題のヘッドスピードは、簡易型スイング特性分析器を用いた大学野球選手におけるティー打撃時の

ヘッドスピードの値として参考にできるであろう
(表2).

表2 ティー打撃におけるヘッドスピードの研究間比較

打球方向	著者(年)	対象者	人数	競技レベル	測定方法	ヘッドスピード	
						m/s	km/h
センター方向	本研究	大学生	17	東京新大学野球連盟2部	簡易型スイング特性分析器	34.1 ± 2.7	123.5 ± 9.6
	田子ほか(2006)	大学生	10	大学1部リーグ	光学式3次元自動動作分析	33.8 ± 3.1 ※	121.7 ± 11.2
	阿江ほか(2013)	大学生	23	大学1部リーグ	光学式3次元自動動作分析	35.8 ± 1.4	128.9 ± 5.0
	川村ほか(2008)	大学生	12	首都大学野球連盟1部 (全国大会出場経験有6名)	高速度カメラ3次元動作解析	34.7 ± 1.6	124.9 ± 5.8
		社会人	4	都市対抗野球大会出場経験有		30.7 ± 1.8	110.5 ± 6.5
	森下(2016)	プロ野球	27	プロ野球選手	高速度カメラ3次元動作解析	35.5 ± 2.0	127.8 ± 7.2
引っ張り方向	本研究	大学生	17	東京新大学野球連盟2部	簡易型スイング特性分析器	34.2 ± 2.9	123.8 ± 10.8
	田子ほか(2006)	大学生	10	大学1部リーグ	光学式3次元自動動作分析	34.3 ± 2.2 ※	123.5 ± 7.9
流し打ち方向	本研究	大学生	17	東京新大学野球連盟2部	簡易型スイング特性分析器	32.9 ± 2.7	118.9 ± 9.9
	田子ほか(2006)	大学生	10	大学1部リーグ	光学式3次元自動動作分析	33.5 ± 2.5 ※	120.6 ± 9.0

平均値±標準偏差
※は打球速度のデータ

V. 結論

本研究の結果、ティー打撃において流し打ち方向へ狙って打撃した場合、引っ張り方向への打撃時よりもヘッドスピードが小さくヘッド角度が大きかった。一方、引っ張り方向へ狙って打球を放つ際には、流し打ち時よりもヘッド角度を下げずにインパクトしていた。これらの結果から、引っ張り方向に打撃するほど、ヘッド角度が上がってくることを示された。また、簡易型スイング特性分析器から算出されるヘッド角度の数値は、狙った方向へ打球を放つ技術を習得する練習に活用できる可能性も示された。

謝辞

本研究は平成27年度東洋学園大学特別研究費の助成を受けたものである。

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ック的分析. バイオメカニクス研究, 17 (1) : 2-14.

荒木理行・川村卓・島田一志・平野裕一・松尾知之・那須大毅・森下義隆(2012) ヘッド速度を大きくするための動作要因について～流し打ち方向への打撃動作の分析～. バイオメカニクス研究, 16 (1) : 47-51.

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ック的研究: 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.

城所収二・若原卓・矢内利政(2011) 野球のバットイ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(2014) 野球の打撃に求められるインパクト技術. 早稲田大学スポーツ科学研究科博士論文.

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.

- 城所収二・矢内利政 (2017)：野球打撃における左右への打ち分けに寄与する2つのインパクトメカニズム：打球速度と各メカニズムの貢献. 体育学研究, 62 (2)：475-490.
- McIntyre DR, Pfausch EW (1982) A kinematic analysis of the baseball batting swings involved in opposite-field and same-field hitting. Research Quarterly for Exercise and Sport 53：206-213.
- 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.
- 森下義隆 (2016) 野球打撃におけるバットを加速させるスイング技術. 早稲田大学スポーツ科学研究科博士論文.
- 森下義隆・矢内利政 (2018)：バットスイング軌道からみた左右方向への打球の打ち分け技術. 体育学研究, 63 (1)：237-250.
- 清水雄一・鳴尾丈司・柴田翔平・矢内利政 (2015a) 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 2015 講演論文集, A-21：1-9
- 清水雄一・鳴尾丈司・柴田翔平・矢内利政 (2015b) 慣性センサを用いたバットスイング計測システムの開発. 野球科学研究会第3回大会報告集：78-79.
- 田子孝仁・阿江通良・藤井範久・小池関也・川村卓 (2006) 野球における内外角の打撃ポイントが打撃動作に及ぼす影響. バイオメカニクス研究, 10 (4)：222-234.
- 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撃特性に及ぼす影響(野球のインパクトシミュレーション). バイオメカニクス研究, 16 (3)：138-147.
- 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, 62：33-48.
- (平成29年8月15日受付)
(平成30年9月28日受理)

英文抄録 (Abstract):

The purpose of this study was to investigate the relationship between three directions of the struck ball (the same-field, center-field, and opposite-field hitting) and the bat swing kinematic parameters in baseball tee-batting. Seventeen collegiate male baseball players performed the tee-batting trials in which hitting direction was determined in advance. The bat swing kinematic parameters bat swing velocity, swing time, impact acceleration, rolling angular velocity, bat radius of rotation, swing plane angle, swing pass were recorded using a portable inertial sensor attached to the grip knob of a baseball bat. There were significant differences in the bat swing kinematic parameters among three directions of the struck ball. In the opposite-field hitting, there were the significant decreases in the velocity of the bat-head and in the swing time compared with the values of the same and center-field hitting trials. The swing plane angle of the bat in the opposite-field hitting was lower than the values of the same-field hitting trials. These findings suggest that the bat swing kinematics changed in relation to the direction of the struck ball, and that the adjustment of the swing plane angle is important to hit the ball to the same-field or the opposite-field. It appears that the swing plane angle which is measured the portable inertial sensor is useful parameter when players practice hitting the ball to the same-field or the opposite-field.