

野球のティー打撃における打球飛距離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⁾

抄録：

本研究は、簡易型スイング特性分析器を用いてロングティー打撃における打球飛距離とスイング特性（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）の関係を明らかにし、スイング特性を簡易的に定量化できるか検討した。15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ロングティー打撃を実施した。打球飛距離と各スイング特性との関係を検討した結果、打球飛距離とヘッドスピードおよびスイング軌道との間に有意な正の相関関係がみられた ($p < 0.05$)。一方、その他の5つの指標は打球飛距離と有意な相関関係がみられなかった。本研究の結果は、ロングティー打撃において、遠くへ打球を放つためには、速いヘッドスピードと上向きのスイング軌道にてインパクトすることが重要であり、これらの指標は簡易型スイング特性分析器から評価できることを示している。

Key words: bat swing velocity, swing pass, collegiate baseball players, tee-batting

キーワード: スイング速度, スイング軌道, 大学野球選手, ロングティー

1. 緒言

野球という競技は、1点でも多く得点したチームが勝者となる。そのため、チームの打撃力が勝敗を決める重要な要素となる。末木 (2017) は、全国高等学校野球選手権全国大会の公式記録を用いて、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、チームの打撃力が勝利に最も強く影響していることを報告している。

打撃において、ホームランはそのまま得点を意味し、二塁打や三塁打は走者をより多く進塁させることができる。そのため、打球を遠くに飛ばす能力（長打力）は、得点力に直結する重要な要素となる。事実、1試合の平均得点と長打率の間には有意な正の相関関係がある（データスタジアム、

2015）。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。

野球の指導現場において、長打力を高めるために用いられる練習法の1つに、より遠くへ打球を放つことを目的としたティー打撃がある（荒川・吉村, 2004）。このようなティー打撃はロングティー打撃と称して実施されており、打球が遠くへ飛ばない選手に共通する問題点として、バットスイングのヘッドスピードが遅いこと、ダウンスイングでボールを捉えていることなどが挙げられるが、これらはいくまでも指導者の主観的な尺度であり、実測に基づく客観的な数値は示されていない。城所ほか (2011) は、フリー打撃時のバットのスイング特性（ヘッドスピード、スイング軌道、ローリングなど）を超高速度カメラや3軸加速度センサを用いて計測し、遠くへ打球を

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 Hiragakuendai, Inzai, Chiba, 270-1695, Japan

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

放つためには、速いヘッドスピードにてスイングの軌道がアッパースイングでインパクトすることが重要であることを明らかにした。しかし、城所ほか（2011）のデータ取得方法は、超高速カメラを使用するため、通常の練習時に測定し、その場で結果をフィードバックすることは困難であった。ティー打撃においても、遠くへ打球を放つためには同様のスイング特性が必要であると推察されるが、この点についてはまだ実証されていない。

近年、スイング直後にスイング特性の結果を即時にフィードバックできる分析器が開発された（清水ほか，2015a，2015b）。この分析器から算出されるスイング特性に関する指標は8つあり、城所ほか（2011）が検討したヘッドスピード（インパクト時）、ローリング、スイング軌道の3つの指標に加えて、スイング時間、ヘッドスピード（最大値）、スイング回転半径、インパクト加速度、ヘッド角度が即時にフィードバックされる。しかし、簡易型装置を用いたスイング特性の各指標と打球飛距離との関係については検討されておらず、城所ほか（2011）で得られた知見と同様な結果が得られるかは不明である。また、ロングティー打撃時のスイング特性の値や個人内変動に関する知見は筆者らの知る限り存在しない。これらを本研究で明らかにすることができれば、選手が打球飛距離を伸ばすために必要なスイング特性を習得する際に、選手及び指導者によって客観的なデータに基づいた打撃動作を修正する方法の1つとして活用できると考えられる。本研究は、簡易型スイング特性分析器を用いて、ロングティー打撃における打球飛距離とスイング特性の関係を明らかにし、打球飛距離に関連するスイング特性を簡易的に定量化できるか検討した。

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15名であった（年齢：20.6 ± 0.7歳，身長：1.68 ± 0.04 m，体重：72.5 ± 14.2 kg，体脂肪率：14.1 ± 5.3%，

平均±標準偏差）。そのうち、実験実施直前の公式戦においてレギュラー選手として出場した者が8名（右打者6名，左打者2名），レギュラー選手以外が7名（右打者4名，左打者3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

本実験に先立ち、被験者の身長、体重および体脂肪率を計測した。身長は身長計（YG-200，YAGAMI社製）を用いて、体重および体脂肪率はインピーダンス式の体組成計（BC-612，TANITA社製）を用いて計測した。計測された体重および体脂肪率から次の計算式〔体重(kg) - (体重 × 体脂肪率)〕を用いて除脂肪体重を推定した。

はじめに、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、素振りと置きティー台（2ZA577，ミズノ社製）を用いたティー打撃を行った。本実験は7日間に分けて実施した。実験実施日の風速はデジタル風量計測器（GM816，Benetech社製）にて計測した。0.5 m/s以下であった日が4日間，1.5 m/s以下であった日が1日，2.0 m/s以下であった日が2日間であった。Sawickiほか（2003）の数値シミュレーションによると、風速2 m/sの追い風が打球飛距離に及ぼす影響は4.2 mと報告されている。そのため、本研究の打球飛距離には最大で4 m程度の誤差が生じていた可能性がある。

本実験において、被験者は「センター方向にできる限り遠くへ飛ばすように」という教示のもとにティー打撃を実施した（ロングティー打撃）。ロングティー打撃には置きティー台を使用し、打撃する硬式球の位置を打者のベルト位置（高さ0.75-0.8 m），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, 84 cm, 平均 0.9 kg）を使用し, 被験者の立ち位置は自由とした。打球がセンター方向範囲内（30 度範囲：インフィールドを 3 分割した真ん中の領域）に落下し, 被験者が芯で捉えたと判断した試行が 5 試行得られるまで実施した。そのうち, 打球飛距離が長い上位 3 試行の平均値を代表値として使用した。打球飛距離は置きティー台の中心位置からボールの落下地点までの直線距離として, 100 m のメジャーを用いて計測した。計測単位は 0.1 m 刻みとして, 0.01 m の単位は四捨五入した。

スイング特性のデータは光川ほか（2018）と同様の分析器を用いて取得し, 同様の方法にて分析した。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）にて示されている。また, 本研究で測定した指標およびその解釈は光川ほか（2018）と同様であり（表 1）, 次のとおりである。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。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を, インパクト加速度はインパクト時のバットヘッドがどれだけ加速していたかを表している。ローリングはインパクト時にバットがバットの長軸周りにどれだけ回転していたか, スイング回転半径はバットヘッドがインパクトから -90 度に向けた際のグリップエンドから回転中心までの距離を示している。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から算出されている。ヘッド角度はインパクト時におけるバットの垂直面上の傾きを表しており, ここでの垂直面とは打球方向に対する垂直面である。一方, スイング軌道は, インパクト時における打球方向に対するバットヘッドの傾きを表している。

本研究では, 個人の打球飛距離およびスイング特性を正確に抽出するために, 打撃課題 5 試行における成功上位 3 試行の平均値を代表値とした。この代表値を用いることによって, 打球飛距離と個人値の関係, および個人間でのスイング特性を比較・検討できると考えた。しかし, 本研究で用いた測定器から算出されたスイング特性の絶対値と先行研究の絶対値と直接比較することが妥当であるかについては本研究および清水ほか（2015a, 2015b）の知見からは判断できなかったため, 本論文において他の先行研究におけるスイング特性の絶対値との比較をする場合においては, 絶対値の精度に関する限界点を含めて議論した。

また, 被験者内における打球飛距離およびスイング特性のばらつきを検討するために, 被験者内の 3 試行における変動係数 [(標準偏差 ÷ 平均値) × 100] を算出した。

3. 統計処理

打球飛距離とスイング特性の各指標の関係を分析するために, ピアソンの相関係数を用いて統計学的検定を行った。有意水準は危険率 5% 未満とした。打球飛距離の長い打球を放ったスイング特性の特長を抽出するために, 平均値よりも打球飛距離が長かった上位 9 名（上位群）と飛距離が短かった下位 6 名（下位群）に群分けし, 対応のない t 検定を行った。有意水準は危険率 5% 未満と

表 1 スイング特性の指標とその内容（光川ほか, 2018 をもとに作成）

指標	単位	内容
ヘッドスピード(最大値)	m/s	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
スイング時間	s	スイング開始からインパクトまでにかかった時間
インパクト加速度	m/s ²	インパクト時のバットヘッドの加速度
ローリング	rad/s	インパクト時のバットの長軸まわりの角速度, 打球にバックスピンをかける回転方向が正の値となる
スイング回転半径	m	インパクトから 90 度マイナスの時点におけるグリップエンドからバットの回転中心までの距離, 値が大きい程コンパクトなスイングと解釈する
ヘッド角度	°	インパクト時の打球方向に対する垂直面上におけるバットの傾き, バットヘッドが下方向を向いている場合は負の値となる
スイング軌道	°	インパクト時における打球方向に対するバットヘッドの傾き, アッパースイングは正の値となる

した。

Ⅲ. 結果

1. 打球飛距離とスイング特性の関係

表2に打球飛距離とスイング特性の相関係数を示した。打球飛距離と有意な正の相関がみられたのは、ヘッドスピード(図1)およびスイング軌道(図2)であった(表2, $p < 0.05$)。一方、打球飛距離とスイング時間, インパクト加速度, ローリング, スイング回転半径およびヘッド角度との

間には有意な相関関係はみられなかった(表2)。

2. 打球飛距離上位群と下位群のスイング特性

表3に各被験者($n=15$)の打球飛距離とスイング特性を, 表4に上位群($n=9$)と下位群($n=6$)の体格および身体組成を示した。打球飛距離上位群の打球飛距離の平均値および標準偏差は 84.9 ± 5.6 m, 下位群は 64.0 ± 5.9 m であり, 下位群よりも上位群において有意に高値を示した(表3)。

スイングのヘッドスピードは, 上位群が 36.6 ± 2.4 m/s (131.7 ± 8.5 km/h), 下位群は 32.9 ± 1.7 m/

表2 打球飛距離とスイング特性の相関係数

	ヘッドスピード m/s	スイング時間 秒	インパクト加速度 m/s ²	ローリング rad/s	スイング回転半径 m	ヘッド角度 °	スイング軌道 °
打球飛距離(m)	0.803 *	0.136	0.107	0.073	0.044	0.349	0.541 *

*: $p < 0.05$

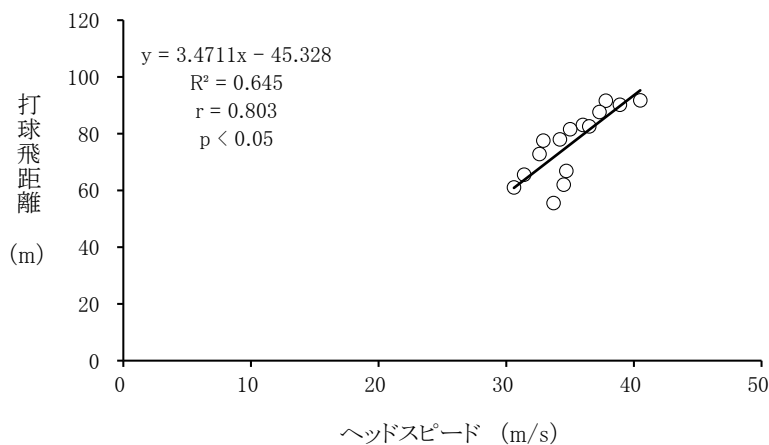


図1 打球飛距離とヘッドスピードの関係

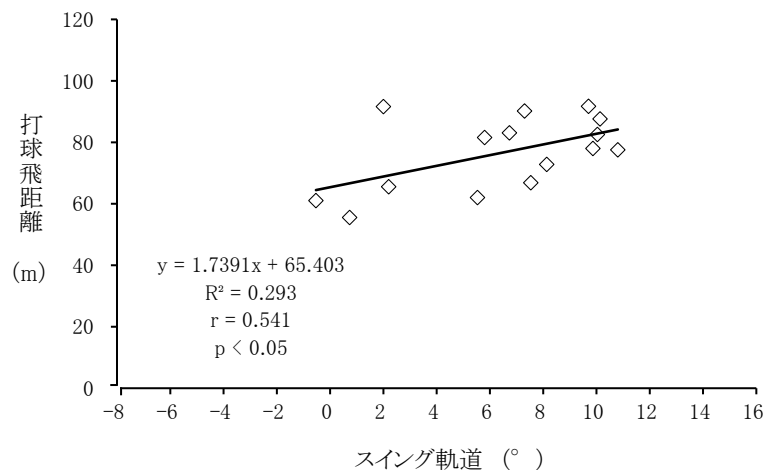


図2 打球飛距離とスイング軌道の関係

s (118.5 ± 6.0 km/h) であり、上位群の方が 3.7 m/s (13.2 km/h) 有意に速かった (表 3, p < 0.05). スイング軌道は、上位群が 8.0 ± 3.3°, 下位群は 3.9 ± 3.6° であり、上位群が下位群よりも有意に高かった (表 3, p < 0.05). ローリング、ヘッド角度、スイング時間およびスイング回転半径においては、両群間に有意な差は認められなかった (表 3).

上位群および下位群の体格および身体組成を比較すると、体重、体脂肪率、推定除脂肪体重において、下位群よりも上位群の方が有意に高い値であった (表 4).

3. スイング特性の被験者内変動

被験者内における打球飛距離およびスイング特性のばらつきを検討するために、被験者内の 3 試行における変動係数を算出した結果、全被験者の平均値は打球飛距離で 4.5%, ヘッドスピードは 3.3%, スイング時間は 2.9%, インパクト加速度は 70.1%, ローリングは 45.3%, スイング回転半径は 14.9%, ヘッド角度は 20.0%, スイング軌道

は 55.9% であった.

IV. 考察

1. 打球飛距離とスイング特性の関係

ロングティー打撃における打球飛距離とスイング特性の各指標との相関関係を検討した結果、打球飛距離とヘッドスピードおよびスイング軌道との間に有意な正の相関関係がみられた (表 2). これらの結果から、打球を遠くに放つためには、速いヘッドスピードで上向きのバット軌道でインパクトすることが重要であると示された.

本研究の打撃課題とは異なるフリー打撃を対象に、城所ほか (2011) は打球飛距離とスイング特性 (ヘッドスピード, ローリング角速度, スイング軌道) の関係を検討し、打球飛距離とヘッドスピードの間のみ有意な正の相関関係 (r=0.65, p < 0.01) があることを報告している. また、彼らは、打球飛距離を従属変数、ヘッドスピード, ローリング角速度, スイング軌道を独立変数として重回帰分析をした結果、ヘッドスピードとスイング軌道

表 3 各被験者の打球飛距離とスイング特性

被験者	レギュラー	打球飛距離		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	
		m	m/s	km/h	s	m/s ²	rad/s	回転/秒	m	°	°						
1	A	○	91.7 ± 2.4	40.5 ± 0.9	146.0 ± 3.4	0.137 ± 0.002	180.3 ± 201.7	12.3 ± 5.6	2.0 ± 0.9	5.6 ± 2.0	2.0 ± 0.9	0.11 ± 0.02	-17.0 ± 5.4	9.7 ± 5.6			
2	B	○	91.6 ± 3.6	37.8 ± 0.6	136.0 ± 2.1	0.145 ± 0.007	-59.7 ± 307.1	12.9 ± 5.9	2.1 ± 0.9	0.17 ± 0.02	-16.7 ± 1.9	2.0 ± 11.8					
3	C	○	90.2 ± 4.3	38.9 ± 2.7	140.1 ± 9.9	0.137 ± 0.006	274.0 ± 172.4	17.2 ± 5.1	2.7 ± 0.8	0.16 ± 0.04	-23.2 ± 5.2	7.3 ± 2.7					
4	D		87.6 ± 2.3	37.3 ± 1.2	134.4 ± 4.2	0.137 ± 0.002	72.3 ± 318.4	2.4 ± 5.1	0.4 ± 0.8	0.13 ± 0.01	-3.3 ± 3.6	10.1 ± 5.3					
5	E	○	83.1 ± 3.8	36.0 ± 0.9	129.8 ± 3.4	0.124 ± 0.002	50.0 ± 29.0	9.9 ± 2.4	1.6 ± 0.4	0.17 ± 0.03	-19.2 ± 2.8	6.7 ± 3.8					
6	F	○	82.6 ± 2.8	36.5 ± 0.7	131.6 ± 2.4	0.132 ± 0.003	-23.3 ± 32.2	-9.2 ± 0.1	-1.5 ± 0.0	0.17 ± 0.01	-14.7 ± 5.6	10.0 ± 1.0					
7	G	○	81.6 ± 1.4	35.0 ± 1.1	126.0 ± 4.1	0.143 ± 0.002	39.3 ± 107.1	3.7 ± 2.1	0.6 ± 0.3	0.14 ± 0.01	-17.2 ± 1.5	5.8 ± 1.4					
8	H		78.0 ± 1.2	34.2 ± 0.3	123.3 ± 1.1	0.132 ± 0.002	75.7 ± 60.7	12.4 ± 1.1	2.0 ± 0.2	0.15 ± 0.02	-19.2 ± 1.1	9.9 ± 1.8					
9	I	○	77.6 ± 0.1	32.9 ± 0.6	118.6 ± 2.2	0.145 ± 0.005	12.0 ± 102.1	16.3 ± 2.9	2.6 ± 0.5	0.13 ± 0.02	-20.1 ± 0.6	10.8 ± 3.3					
10	J		72.8 ± 3.4	32.6 ± 1.9	117.3 ± 6.8	0.140 ± 0.001	243.3 ± 437.1	20.4 ± 2.6	3.2 ± 0.4	0.10 ± 0.02	-28.2 ± 2.7	8.1 ± 3.2					
11	K		66.9 ± 3.4	34.7 ± 0.8	125.0 ± 2.8	0.138 ± 0.003	191.0 ± 100.0	4.5 ± 3.5	0.7 ± 0.6	0.16 ± 0.02	-18.2 ± 1.8	7.5 ± 2.3					
12	L		65.6 ± 1.7	31.4 ± 0.2	113.0 ± 0.6	0.135 ± 0.005	-93.3 ± 249.0	3.3 ± 3.3	0.5 ± 0.5	0.20 ± 0.02	-24.5 ± 0.9	2.2 ± 5.5					
13	M		62.0 ± 9.0	34.5 ± 1.7	124.2 ± 6.1	0.133 ± 0.004	170.7 ± 33.3	16.8 ± 0.8	2.7 ± 0.1	0.08 ± 0.01	-23.4 ± 0.3	5.5 ± 2.8					
14	N	○	61.1 ± 3.6	30.6 ± 2.1	110.3 ± 7.4	0.130 ± 0.009	72.0 ± 81.7	5.3 ± 1.4	0.8 ± 0.2	0.18 ± 0.03	-10.2 ± 1.3	-0.5 ± 6.5					
15	O		55.6 ± 5.6	33.7 ± 1.4	121.4 ± 5.0	0.154 ± 0.009	-19.0 ± 51.5	15.3 ± 2.9	2.4 ± 0.5	0.13 ± 0.06	-25.5 ± 4.9	0.7 ± 6.0					
全体			76.5 ± 11.9	35.1 ± 2.8	126.5 ± 10.0	0.137 ± 0.007	79.0 ± 110.9	9.6 ± 7.8	1.5 ± 1.2	0.15 ± 0.03	-18.7 ± 6.3	6.4 ± 3.7					
上位群 (9名)			84.9 ± 5.6	36.6 ± 2.4	131.7 ± 8.5	0.137 ± 0.007	69.0 ± 102.5	8.7 ± 8.4	1.4 ± 1.3	0.15 ± 0.02	-16.7 ± 5.6	8.0 ± 2.9					
下位群 (6名)			64.0 ± 5.9	32.9 ± 1.7	118.5 ± 6.0	0.138 ± 0.008	94.1 ± 131.1	10.9 ± 7.4	1.7 ± 1.2	0.14 ± 0.05	-21.7 ± 6.5	3.9 ± 3.6					
上位群 vs. 下位群			*	*	*	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	ns	*			

*: 上位群と下位群 (p < 0.05)

ns: 有意差なし

平均値 ± 標準偏差

表 4 上位群および下位群の体格および身体組成

	年齢	身長	体重	体脂肪率	推定除脂肪体重
	歳	m	kg	%	kg
上位群 (9名)	20.7 ± 0.8	1.72 ± 0.45	86.2 ± 14.6	19.2 ± 5.5	69.2 ± 8.1
下位群 (6名)	20.2 ± 0.4	1.662 ± 0.40	62.6 ± 5.6 *	10.5 ± 1.7 *	56.0 ± 4.3 *

*: 上位群と下位群 (p < 0.05)

平均値 ± 標準偏差

道の2変数の有意な回帰式(寄与率52%)が得られることを報告している。彼らはこれらの結果から、打球飛距離の長い打球を打つためには、ヘッドスピードを高めアッパースイングによりインパクトを迎えることが重要であると報告している。また、シミュレーションを用いた Sawicki et al. (2003) の報告においても、打球飛距離に対してスイング軌道が重要な因子であることが示されている。本研究では、打球飛距離とヘッドスピードおよびスイング軌道との間に有意な相関がみられた。本研究において打球飛距離に関連する因子としてヘッドスピードおよびスイング軌道が選択されていることから、本研究の結果は城所ほか(2011)の知見を支持していると考えられる。これらの結果から、簡易型スイング特性分析器を用いて打球飛距離に関連するスイング特性を評価することができることが示された。

一方、ヘッドスピードおよびスイング軌道の結果とは異なり、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、ヘッド角度は打球飛距離との間に有意な関係性がみられなかった。したがって、スイング時間、ローリング、インパクト加速度、スイング回転半径およびヘッド角度がロングティー打撃の打球飛距離に与える影響はヘッドスピードやスイング軌道ほど強くないといえる。それゆえ、打球飛距離の向上を目的としてロングティー打撃をする際には、スイング時間、ローリング、インパクト加速度、スイング回転半径およびヘッド角度よりもヘッドスピードやスイング軌道を優先して修正した方がよいといえる。

さらに、本研究で得られた結果を基に、1) 打球飛距離とヘッドスピードの関係、2) 打球飛距離とスイング軌道の関係、3) 打球飛距離とその他の指標の関係、4) 簡易型スイング特性分析器の測定値について以下に考察する。

1) 打球飛距離とヘッドスピードの関係

本研究の上位群9名の打球飛距離は 84.9 ± 5.6 m (平均値 \pm 標準偏差)、ヘッドスピードは 36.6 ± 2.4 m/s (131.7 ± 8.5 km/h) であった。一方、下位

群の打球飛距離は 64.0 ± 5.9 m、ヘッドスピードは 32.9 ± 1.7 m/s (118.5 ± 6.0 km/h) であった。また、被験者全体の打球飛距離は 76.5 ± 11.9 m、ヘッドスピードは 35.1 ± 2.8 m/s (126.5 ± 10 km/h) であった。これらの値は簡易的なスイング特性分析器を用いてロングティー打撃をする際の参考値として活用することができるだろう。例えば、大学野球選手のロングティー打撃において85 m程度の打球を放つためには、 36.4 m/s (131 km/h) 程度のヘッドスピードでインパクトする必要があることを示していると解釈できる。また、上位群9名のみにおいて、打球飛距離とヘッドスピードの相関関係を検討すると、有意な正の相関関係がみられた ($r = 0.936, p < 0.05$)。この結果は、上位群においても打球飛距離を向上させるためにはヘッドスピードの向上が重要であることを示している。

本研究の上位群の9名中7名は、レギュラー選手として公式戦に出場していた(表3)。なかでも打球飛距離の高かった上位3名(A, B, C)は監督やコーチから長打力を評価されて試合に出場していた選手であり、過去の公式戦において本塁打を放ったことのある選手であった。一方、下位群の選手は、レギュラー選手が1名であり、彼は守備や走塁面の技術が高くレギュラーとして出場していた選手である。それ以外の選手の中にはベンチ入りしたことがある選手が2名いたが、2名とも代走あるいは守備固め要員としてベンチ入りした選手ではなかった。したがって、本研究の上位群は打撃力が高いと評価されてレギュラーであった選手が含まれており、下位群は打撃力が高いと評価されている選手は含まれていなかった。

ヘッドスピードの再現性を考えると、本研究の被験者内のヘッドスピードの変動係数は3.3%であったことから、成功試行5試行の上位3試行内においてはヘッドスピードの再現性が高かったといえる。ヘッドスピードにおける上位群の変動係数は2.7%、下位群は4.1%であり、両群の間に大きな違いはみられなかったことから、両群ともにヘッドスピードの再現性は高かったと考えられる。

2) 打球飛距離とスイング軌道の関係

センター方向へのロングティー打撃における、打球飛距離とインパクト時のスイング軌道の関係について以下に考察する。

本研究では、全被験者の打球飛距離とスイング軌道に有意な相関関係がみられた ($r=0.541$, $p < 0.05$)。また、下位群と比較して上位群のスイング軌道の方が有意に高い値を示した ($p < 0.05$)。これらの結果から、インパクト局面においてアッパースイングでの軌道にてインパクトすることがより遠くへ打球を放つために重要な因子であることが示された。

一方、先行研究において、過度なアッパースイングは飛距離にマイナスの影響を与えることが報告されている (城所, 2014)。本研究では、被験者全員の打球飛距離とスイング軌道の間に有意な相関関係がみられたが、上位群9名のみにおいて同様に検討すると、有意な相関関係はみられなかった ($r = -0.431$, ns)。この結果は上位群の被験者においては、アッパースイングの程度が大きい程、打球飛距離が長くなるという関係性がみられないことを示している。城所 (2014) の報告と本研究の結果を合わせて考えると、単にアッパースイングの程度が大きいほど打球飛距離が伸びるということではなく、適切な範囲があると考えられる。

本研究の上位群9名のスイング軌道の最小値は2.0度、最大値は10.8度であり、アッパースイングの個人差は最大約9度であった。また、被験者内の変動係数は、スイング軌道は55.9%であり、ヘッドスピードの値(3.3%)よりも高かった。本研究とは異なるフリー打撃ではあるが、城所ほか (2011) の報告も同様に変動係数は、スイング軌道(34.3%)の方が、ヘッドスピード(7.7%)よりも高い。したがって、スイング軌道は、ヘッドスピードよりも個人間、個人内で大きなばらつきがあるといえる。以上のことを考慮すると、センター方向への打球をより遠くへ放つためのスイング軌道は、本研究で得られた平均値(8.0度)付近を基準とするのではなく、本研究の上位群の個人値の範囲(2度から11度)でのアッパースイン

グであればよいという判断基準が妥当であると考えられる。

3) 打球飛距離とその他の指標との関係

本研究の結果、スイング時間、インパクト加速度、ローリング、ヘッド角度およびスイング回転半径と打球飛距離の間には有意な相関関係はみられなかった(表2)。これらの結果は、本研究にて実施したロングティー打撃においては、スイング時間、インパクト加速度、ローリング、スイング回転半径およびヘッド角度は打球飛距離へ影響しない可能性を示唆している。

ローリングに関して、城所 (2014) の報告では、打球飛距離に与える影響は少ないと結論づけている。また、Sawicki ほか (2003) のシミュレーションにおいても、同様の結論が報告されている。ロングティーで行った本研究の結果も、これらの知見を支持する結果であった。

簡易型スイング特性分析器から計測される指標以外にも、打球飛距離に影響する因子として、バットとボールの当たる位置(バットの長軸上、短軸長の位置)がある(Sawicki ほか, 2003, 城所, 2014)。これらの因子については本研究では計測していないが、本研究では打球飛距離の長かった3試行を分析対象としていることから、個人内においてバットとボールの当たる位置が芯を大きく外れていた試行が含まれていた可能性は低い。ただし、個人間においてバットとボールの当たる位置に違いがあり、その違いが打球飛距離の個人差に関係していた可能性はある。この点については、今後詳細に検討する必要があるだろう。

4) 簡易型スイング特性分析器のヘッドスピードの測定値

本研究以外にも、大学、社会人およびプロ野球選手のティー打撃時のヘッドスピードに関する知見がいくつか報告されている(川村ほか, 2008; 阿江ほか, 2013; 森下, 2016)。いずれの報告も高速度カメラ等で取得した画像から3次元動作解析を行い、バットのヘッドスピードを算出している。川村ほか (2008) は、一部リーグに所属する

大学野球選手および社会人野球選手（計 16 名）のティー打撃時のヘッドスピードを計測し、ヘッドスピードが速かった上位群（8 名）の平均値±標準偏差が 34.7 ± 1.6 m/s (124.9 ± 5.8 km/h)、下位群（8 名）は 30.7 ± 1.8 m/s (110.5 ± 6.5 km/h) であったと報告している。また、阿江ほか（2013）は、一部リーグに所属する大学野球選手のヘッドスピード（高さおよびコースは真ん中）は、 35.8 ± 1.4 m/s (128.8 ± 5.0 km/h) と報告している。本研究における被験者のヘッドスピードは 35.1 ± 2.8 m/s (126.5 ± 10 km/h) であり、川村ほか（2008）の上位群と阿江ほか（2013）の結果の範囲内であった。したがって、本研究で用いた簡易型スイング特性分析器で得られたヘッドスピードは先行研究と比較しても同程度の範囲であり、妥当な値であると考えられる。

2. 現場への応用

本研究の結果から、ロングティーを用いた打撃練習において、センター方向への打球飛距離を向上させるためには、1) ヘッドスピード、2) スイング軌道という 2 つの指標を用いた打撃指導が有効であることが明らかとなった。

本研究の被験者に対して、これらの知見を活用して、打球飛距離を伸ばすことを第一の目的として練習する場合、ヘッドスピードが 30.6 m/s (110 km/h) 台の選手は、まずはヘッドスピードを少しでも向上させることに専念すべきである。ヘッドスピードを向上させるためには、技術的あるいは体力的な側面からのアプローチが必要であると考えられる。例えば、技術的および体力的な要因の両側面からのアプローチとして、異なる重さのバットでスイングする練習（DeRenne et al., 1995; Sergio et al., 1993）がある。一方、体力的な側面から一般的な筋力トレーニング（Schwendel & Thorland, 1992）、打撃動作に類似した筋力トレーニング（Higuchi et al, 2013）やメディシンボールを使用したトレーニング（Szymanski et al., 2007a, 2007b）によって全身あるいは局所の筋力を向上させてヘッドスピードを向上させる方法がある。本研究の下位群は体力的要因と技術的要因の両要

因が低かった、あるいはどちらかが低かったと推察されるが、これらの要因の検討については、筋力等の指標との関連から検討する必要があるため、本研究の結果からは結論づけることができないが、本研究の被験者の推定除脂肪体重は、下位群（ 56.0 ± 4.3 kg）よりも上位群において有意に高かった（ 69.2 ± 8.1 kg）。先行研究において除脂肪体重と最大筋力には有意な相関関係がみられていることから（加藤ほか, 1991）、本研究の上位群の被験者は下位群に比べて最大筋力が高く、下位群は上位群よりも筋力が劣っていたと推察される。今後は、下位群および上位群の体力的な要因（最大筋力や最大パワー等）を実測することによって、ヘッドスピードを高めるために体力的あるいは技術的な要因のどちらのトレーニングが必要であるかについても明らかにすることができるだろう。

その他に、スイング軌道がインパクト局面において 2 度から 11 度の範囲のアップースイングではない被験者についてはスイング軌道も修正する必要がある。また、ヘッドスピードが 34.7 m/s (125 km/h) 程度ありインパクト局面におけるスイング軌道もアップースイングではあるが、飛距離が短い被験者は、芯で捉えられていない可能性がある。これらの選手に対しては、まずはボールを芯に当てて強い打球を飛ばす練習が必要であると考えられる。以上のように、簡易的なスイング測定値をその場でフィードバックされた値を基に、本研究で得られた基準値を用いることで、ヘッドスピードとスイング軌道という指標を軸に、打球飛距離を向上させるためのスイング特性を指導することが可能になる。

被験者内の成功上位 3 試行における変動係数を検討した結果、打球飛距離の変動係数が 4.5% であっても、インパクト加速度（70.1%）、ローリング（45.3%）、ヘッド角度（20.0%）、スイング軌道（55.9%）の変動係数は大きく、再現性の高い値は得られなかった。これらの結果は、打球飛距離が同程度であっても、インパクト加速度、ローリング、ヘッド角度、スイング軌道は個人内においてばらつきが大きかったことを示している。選手お

よび指導者が、ある一日の練習時間内で打撃動作の修正を試み、その成果を簡易型スイング特性分析器から評価しようとした場合、同一打撃課題を実施した際に、スイング特性の各パラメータが個人内でどの程度ばらつくか（個人内変動）を事前に理解しておく必要がある。本研究の結果を用いて具体化すると、より遠くへ飛ばすことを意識して実施したロングティー打撃時において、成功3試行の打球飛距離の平均値が75 mであった場合、打球飛距離は70 mから80 mの範囲でばらつき、スイング軌道の平均値が5°であれば、0°から10°程度の範囲でばらつくことが示された。そのため、数回試技を行ったうち、打球飛距離が最も良かった試技のスイング特性を、その被験者の代表値として扱うことは本研究で得られた個人内変動の値を考慮すると避けるべきだと考えられる。特に、比較的変動係数の高かったインパクト加速度、ローリング、ヘッド角度、スイング軌道については、複数回の平均値を算出した上で、比較検討することが妥当であると考えられる。本研究では日を変えての再現性については検討していないため、日間でどの程度変動するかについては不明である。数日から数週間の練習によって動作がどの程度変化したかを評価する際には、日間変動についても考慮した上でスイング特性を評価する必要があるだろう。

V. 結論

本研究の結果、ロングティー打撃において、より遠くへ打球を放つためには、速いヘッドスピードとアップースイングでインパクトすることが打球飛距離の向上に繋がることを示され、簡易的なスイング特性分析器を用いて打球飛距離を伸ばすためのスイング特性を評価できることが明らかとなった。一方、打球飛距離とスイング時間、ローリング、インパクト加速度、ヘッド角度との間には有意な相関関係がみられなかったことから、これらの指標よりもヘッドスピードの向上とスイング軌道の修正を優先的に練習することが打球飛距離を向上させるために重要であることが示された。

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。

付記

本論文は日本野球科学研究会第3回大会（中京大学名古屋キャンパス、2015年）での発表データの一部を使用している。

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クスの分析. バイオメカニクス研究, 17(1) : 2-14.
- 荒川博・吉村正（2004）勝つための野球術 生まれ変わるバッティング. 新星出版社：東京, pp128.
- 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.
- DeRenne C, Buxton BP, Hetzler RK, Ho KW. (1995) Effects of weighted bat implement training on bat swing velocity. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 9 : 247-250.
- Higuchi T, Nagami T, Mizuguchi N, Anderson T. (2013) The acute and chronic effects of isometric contraction conditioning on baseball bat velocity. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(1):216-22.
- 加藤令子・船渡和男・近藤正勝・池川繁樹・川上泰雄・矢田秀昭・岸田謙二・関口脩・福永哲夫（1991）女子ウェイトリフターにおける身体組成と競技成績について. *トレーニング科学*, 3:13-19.
- 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.
- 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 (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.
- 光川真壽・河村剛光・佐賀典生・澁谷智久 (2018) 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. 野球科学研究, 1: 13-29.
- Sawicki GS, Hubbard M, Stronge WJ. (2003) How to hit home runs: Optimum baseball bat swing parameters for maximum range trajectories. American Journal of Physics, 71: 1152-1162.
- Schwendel P and Thorland W. (1992) Effect of traditional vs. power resistance training on improvement of baseball batting velocity. Medicine and Science in Sports and Exercise, 24: s137.
- Sergo C and Boatwright D. (1993) Training methods using various weighted bats and effects on bat velocity. The Journal of Strength & Conditioning Research, 7: 115-117.
- 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.
- 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.
- Szymanski DJ, McIntyre JS, Szymanski JM, Bradford TJ, Schade RL, Madsen NH, Pascoe DD. (2007a) Effect of torso rotational strength on angular hip, angular shoulder, and linear bat velocities of high school baseball players. The Journal of Strength & Conditioning Research, 21:1117-25.
- Szymanski DJ, Szymanski JM, Bradford TJ, Schade RL, Pascoe DD. (2007b) Effect of twelve weeks of medicine ball training on high school baseball players. The Journal of Strength & Conditioning Research, 21:894-901.
- 田子孝仁・阿江通良・藤井範久・小池関也・高橋佳三・川村卓 (2006a) 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.
- 田子孝仁・阿江通良・藤井範久・小池関也・川村卓 (2006b) 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.
- 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.

(平成 29 年 5 月 30 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 investigate the relationship between the flight distance of the ball and the bat swing kinematics parameters in baseball tee-batting using an inertial sensor. In addition, we tested whether the inertial sensor is useful to measure the bat swing kinematics. Fifteen collegiate male baseball players performed the tee-batting trial by hitting a ball at maximum strength in the direction of center field. The bat swing kinematics parameters (bat swing velocity, swing time, impact acceleration, rolling angular velocity, bat radius of rotation, bat angle, swing pass) were recorded using an inertial sensor attached to the grip knob of the baseball bat. There were significant positive correlations between the flight distance and the bat swing velocity (the velocity of the bat head) ($r = 0.803$, $p < 0.05$), and also a positive correlation between the flight distance and the swing pass (the angle from horizontal of the direction of the swing) ($r = 0.541$, $p < 0.05$). These results indicate that the high velocity of the bat head and the positive angle of swing pass play an important roles in hitting a ball further in baseball tee-batting, and that the inertial sensor can accurately measure the bat swing kinematics.