

〔研究ノート〕

## 曲線の観点でみたバットスイング軌跡の特徴

齋藤 健治<sup>1</sup>, 佐藤 菜穂子<sup>2</sup>  
井上 伸一<sup>3</sup>

### 要 旨

本研究の目的は、野球の打撃において投球コースに対応してバットがどのように動くか、バットスイングの軌跡を曲線の観点から分析することであった。実験参加者8名に、腰の高さに設定したティー台を目標にして、センター、イン、アウトの三つのコースに対応したスイングを行わせた。バット、ティー台、参加者身体等に貼付した反射マーカの座標を、三次元動作解析装置を用いて計測した。得られた三次元座標値を補間、平滑化した後、バットトップとグリップエンドについて接線、主法線、従法線の三つのベクトル（動標構）を、さらに曲率、曲率半径、振率、縮閉線を求めた。バットトップとグリップエンドの軌跡曲線の動標構から、スイングの特徴を観察することができた。また、曲率・曲率半径や振率も振り出しからインパクトまでのバットの動きを分析する上で有用であった。曲率中心の軌跡、すなわち縮閉線は、同様にコースに対応したスイングの違いを示していたが、曲線形状が複雑でその特徴がつかみにくいため、今後のさらなる検討が必要であった。

キーワード：バット軌跡、動標構、曲率、曲率半径、振率

### はじめに

野球の打撃に関する研究は、「よい打撃」すなわち「正確で力強い打撃」を行うためにどのように力を発揮して上下肢や体幹を動かしているか、という点から多数報告されてきた [2, 3, 5, 10, 11, 17, 18, 20]。これら三次元動作解析装置やフォースプレートを用いた多くの研究により、打撃動作時の身体の動きや、上下

肢、体幹部・腰部で発生作用する関節力や関節トルクなどが推定されるようになったが [2, 18]、一方で、コンピューターシミュレーションによるボールとバットの衝突条件に関する研究 [15] やバット内蔵の力センサを併用してグリップ部に生じる力やトルクを計測する研究も行われてきた [1, 6]。このように、あらゆる側面から研究が進んできた中でも、スイング時の詳細なバット軌道を知ることへの要請は未

1 名古屋学院大学スポーツ健康学部

2 名古屋学院大学リハビリテーション学部

3 佐賀大学教育学部

Correspondence to: Kenji Saitou

E-mail: saiken@ngu.ac.jp

Received 16 August, 2018

Accepted 20 August, 2018

だ高く、知見の蓄積が望まれている [4]。例えば、バットの軌道はどのようなものであるか [9]、高いレベルの選手と未熟な選手ではそのバット軌道がどのように異なるのか [13]、投球軌道によってスイング軌道がどのように変わるのか [8, 12] などの研究や、バットのグリップエンドに装着可能な小型センサを用いて、バット軌道を計測・推定する手法の開発も進められている [16]。

このような中、本研究では、スイング時にバットがどのように動いているか、バットスイング時にバットトップとグリップエンドが描く軌跡について、曲線の観点で分析を試みた。

## 方法

### 1. 実験参加者および計測

実験参加者は、成人男子7名および成人女子1名で、うち成人男子1名と成人女子のあわせて2名が野球未経験者であった。実験参加者の身体51箇所およびバット5箇所、ティー台1箇所、ホームベース3箇所に反射マーカを貼付

し、10台のカメラに囲まれたスペース内での試技を、三次元動作解析装置 (Vicon motion systems社製, VICON, サンプル周波数200Hz) を用いて計測した。計測座標系は、右打席から左打席に向かう方向を $x$ 、投手方向を $y$ 、鉛直上向きを $z$ とし、以下では、ベースの中心線上の頂点を通る直線と実験参加者軸足 (右打者の場合右足) のつま先を通る直線の交点を $(x, y) = (0, 0)$ とし床面を $z=0$ として表した (図1)。実験室内に設置した正規のサイズのバッターボックスおよびホームベースに対して、できるだけ実際の打撃シチュエーションに近い状態で構えてもらい、ティー台に付属する目標物をボールに見立てて打撃してもらった。ティー台は腰の高さに設定し、インコース、センターコース、およびアウトコースについて3回ずつスイングしてもらった。インパクトはティー台に貼付したマークの動きからその時刻を判定することができた。実験に際して、参加者に、検査結果を含む個人情報の保護を保障すること、得られた結果は研究以外に使用しないことを口頭および書面にて説明し、同意を得た。

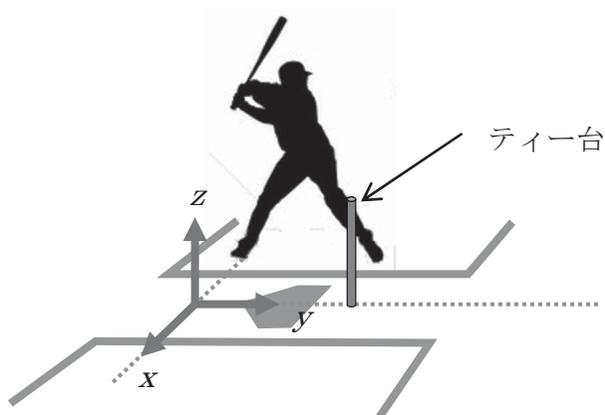


図1 バットスイング試技の模式図と座標系。座標系は、投球・打球方向を $y$ 、鉛直方向を $z$ 、それらに直交する方向を $x$ とした。ティー台は、インコースからアウトコースに移動することができる。

また、名古屋学院大学医学研究倫理委員会の承認も得た（承認番号2016-31）。

## 2. 分析

分析対象は、バットの運動を表すバットトップとグリップエンドのマーカの座標値であり、それぞれのマーカが描く軌跡を空間曲線の観点で分析した。すなわち、バットトップおよびグリップエンドが描く三次元曲線の接線、主法線、および従法線ベクトル、さらに曲率を求めて、曲線の特徴抽出を試みた [19]。また、バットトップが描く曲線を伸開線としたときの縮閉線、つまり、曲率中心が描く曲線を求めた。以下にそれらの手順を示す。

### (1) 動標構

弧長 $s$ をパラメータとする曲線 $c(s)$ の $s$ による微分により、単位接線ベクトル

$$\mathbf{e}_1(s) = c'(s) \quad (1)$$

が求められる。さらに、 $\mathbf{e}'_1(s) \neq 0$ という前提のもと、単位主法線ベクトル

$$\mathbf{e}_2(s) = \frac{\mathbf{e}'_1(s)}{\|\mathbf{e}'_1(s)\|} \quad (2)$$

と単位従法線ベクトル

$$\mathbf{e}_3(s) = \mathbf{e}_1(s) \times \mathbf{e}_2(s) \quad (3)$$

が求められる。

マーカ座標データから数値的に接線ベクトル、主法線ベクトルおよび従法線ベクトルを求める際には、曲線上の任意の点 $\mathbf{p}_i$ におけるそれぞれを $\mathbf{t}_i$ 、 $\mathbf{n}_i$ および $\mathbf{b}_i$ として、

$$\mathbf{t}_i = \frac{\mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{p}_{i-1}}{\|\mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{p}_{i-1}\|} \quad (4)$$

$$\mathbf{b}_i = \frac{(\mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{p}_i) \times (\mathbf{p}_{i-1} - \mathbf{p}_i)}{\|(\mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{p}_i) \times (\mathbf{p}_{i-1} - \mathbf{p}_i)\|} \quad (5)$$

$$\mathbf{n}_i = \mathbf{b}_i \times \mathbf{t}_i \quad (6)$$

という手順で行った。

### (2) 曲率, 曲率半径, 曲率中心および縮閉線 空間曲線の曲率 $\kappa(s)$ は

$$\kappa(s) = \|\mathbf{e}'_1(s)\| \geq 0 \quad (7)$$

と定義されるが、数値計算の際には以下のような方法を用いた。

曲率を求める対象となっている曲線上の点 $\mathbf{p}_i$ と、両隣の点 $\mathbf{p}_{i+1}$ 、 $\mathbf{p}_{i-1}$ とが作る半径 $R_i$ の外接円の中心を通り、外接円の円周と交わる点対称の点を $\mathbf{q}_i$ 、 $\angle \mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{q}_i - \mathbf{p}_{i-1}$ を $\theta$ とすると(図2),

$$\|\mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{q}_i\| = 2R_i = \frac{\|\mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{p}_{i-1}\|}{\sin \theta} \quad (8)$$

であり、曲率 $\kappa_i$ は、

$$\kappa_i = \frac{1}{R_i} = \frac{2 \sin \theta}{\|\mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{p}_{i-1}\|} \quad (9)$$

となる。ここで

$$\sin \theta = \frac{(\mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{p}_i) \times (\mathbf{p}_{i-1} - \mathbf{p}_i)}{\|\mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{p}_i\| \|\mathbf{p}_{i-1} - \mathbf{p}_i\|} \quad (10)$$

であることより、

$$\kappa_i = \frac{2((\mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{p}_i) \times (\mathbf{p}_{i-1} - \mathbf{p}_i))}{\|\mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{p}_{i-1}\| \|\mathbf{p}_{i+1} - \mathbf{p}_i\| \|\mathbf{p}_{i-1} - \mathbf{p}_i\|} \quad (11)$$

と表すことができる。また、対象としている点 $\mathbf{p}_i$ での曲率半径を $\rho_i (= R_i)$ とすると、

$$\rho_i = \frac{1}{\|\kappa_i\|} \quad (12)$$

となる。さらに、曲線上の対象となる点 $\mathbf{p}_i$ における曲率中心の座標 $\mathbf{x}_i$ は、

$$\mathbf{x}_i = \mathbf{p}_i + \rho_i \mathbf{n}_i \quad (13)$$

で求めた。この $\mathbf{x}_i$ の集まりが縮閉線となる。

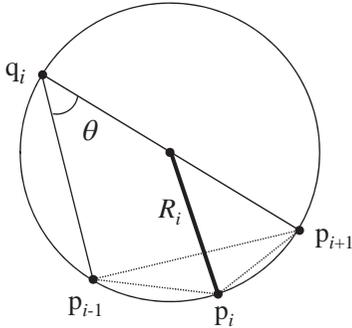


図2 軌跡上の点 $p_i$ において、曲率、曲率半径 ( $R_i = r_i$ ) を求めるための方法の説明図。

### (3) 振率

振率 $\tau(s)$ は

$$\tau(s) = \mathbf{e}'_2(s) \cdot \mathbf{e}_3(s) \quad (14)$$

と求められる。ここでは、対象となる点 $p_i$ における振率 $\tau_i$ は、

$$\tau_i = -\mathbf{b}'_i \cdot \mathbf{n}_i \quad (15)$$

で求めた。

### (4) バットの並進速度、角速度

バットの並進速度は、グリップエンドで求められる三次元速度成分の合成とした。角速度は、 $x-y$ 平面上でグリップエンドまわりの二次元角速度を求めた。

### (5) データの抽出

分析のためのデータは、ベース方向に振り出されたバットトップの $x$ 座標値が最大となる時点(図3のb点、図3では縦軸の正負を逆転させている)から400ms遡った時刻を開始時点(図3のa点)とし、バットが構えのときの背中側に振り戻されて、 $x$ 座標値が最小となる時点(図3のc点)までを抽出した。抽出時間は0.5~0.6s程度であった。

以上の数値計算に際しては、マーカーの三次元座標値を、それぞれフーリエ補間法を用いて2kHz相当に増やし、4次のパタワースフィルタにより平滑化(遮断周波数10Hz)した。なお、曲率、曲率半径および振率については、時間をパラメータとする時系列で表示した。

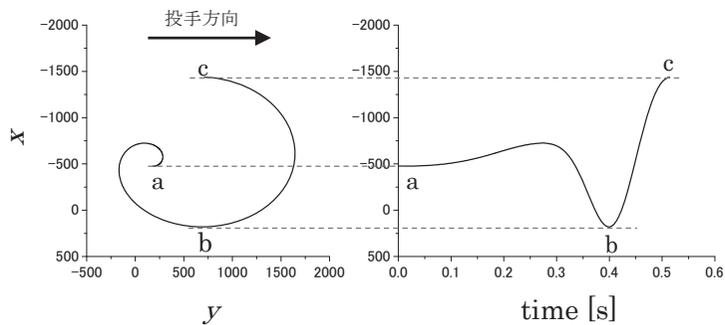


図3 分析対象データの抽出説明図。左はバットトップの軌跡を $xy$ 平面に投影した図。右はバットトップ $x$ 座標の時系列波形図。バットトップが $x$ 方向最大値をとった時刻bから400ms遡った時刻aを抽出開始点とし、 $x$ 方向に最小値となった時刻cを抽出終了点とした。概ね、0.5~0.6sの長さとなった。

## 結果

8人の実験参加者は、結果の理解のしやすさを考慮して、経験年数や実績等総合的に判断して、AからHに順位付けして、以下の結果について並べて示した。

### 1. バットトップとグリップエンドの軌跡

実験参加者A～Hが、三つのコースに対応してスイングしたときの、バットトップの軌跡を $xy$ 平面に投影した平面曲線を図4に、グリップエンドのそれを図5に示す。

全ての実験参加者にほぼ共通して螺旋状の軌跡が認められ、コースに応じてバットトップ軌跡に変化がみられた。その中で、とくに経験者の場合、インコースとセンターコースにはその軌跡に幾分近さが認められた一方で、アウトコースはその二つのコースからやや外れた軌跡

を描く傾向を示した。また、経験者は全般的に投手方向へ長い楕円的な軌跡を描いていたのに対し、未経験者G、Hはより円形に近い、あるいは横長の軌跡を描いていた。

グリップエンドの軌跡も、バットトップの傾向と同様にコースに応じた変化がみられる中で、アウトコースが他の二つからやや外れた軌跡を描く傾向はあった。インパクト後に生じるリストターンの位置 ( $y$ 方向500～800mmで描かれる小さな円あるいは尖点)は、アウトコース、センターコース、インコースという順になる点では全者共通していた。また、経験者の場合、三つのリストターンの位置の $y$ 座標が、コースに関わらず概ね同程度であることも傾向として認められた。

### 2. 曲率, 曲率半径

図6, 7に、それぞれの実験参加者が、三つ

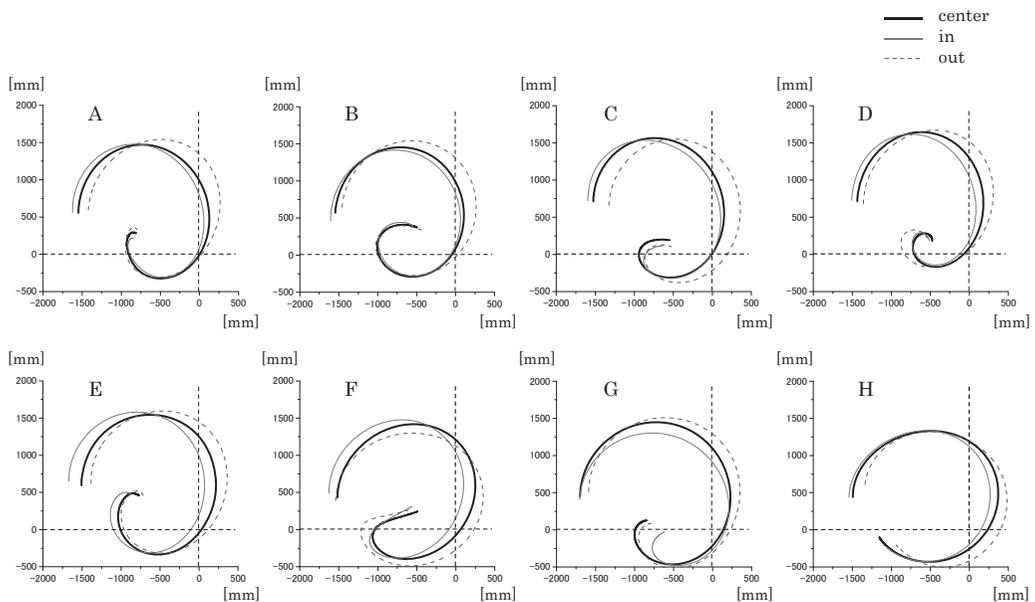


図4 センター、イン、アウトの三つのコースを振り分けたときのバットトップの軌跡を $xy$ 平面に投影した図。横軸が計測座標系の $x$ 、縦軸が計測座標系の $y$ 。 $x=0$ はベースの中心、 $y=0$ は左足（軸足）つま先の位置を示す。

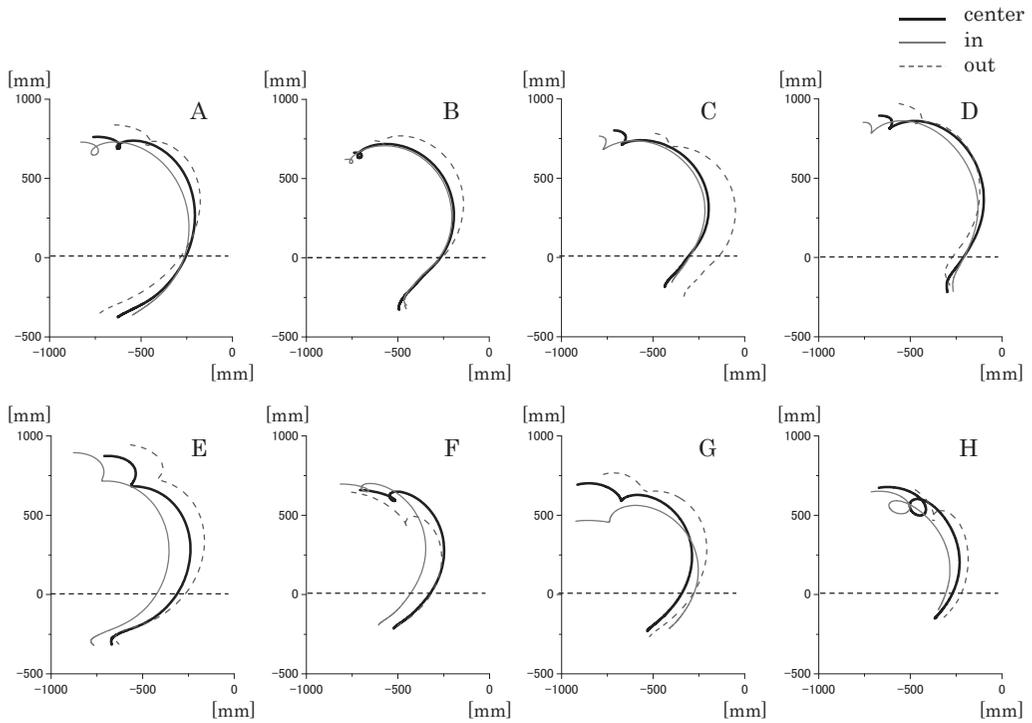


図5 センター、イン、アウトの三つのコースを振り分けたときのグリッPEndの軌跡を $xy$ 平面に投影した図。横軸が計測座標系の $x$ 、縦軸が計測座標系の $y$ 。 $x=0$ はベースの中心、 $y=0$ は左足(軸足)つま先の位置を示す。

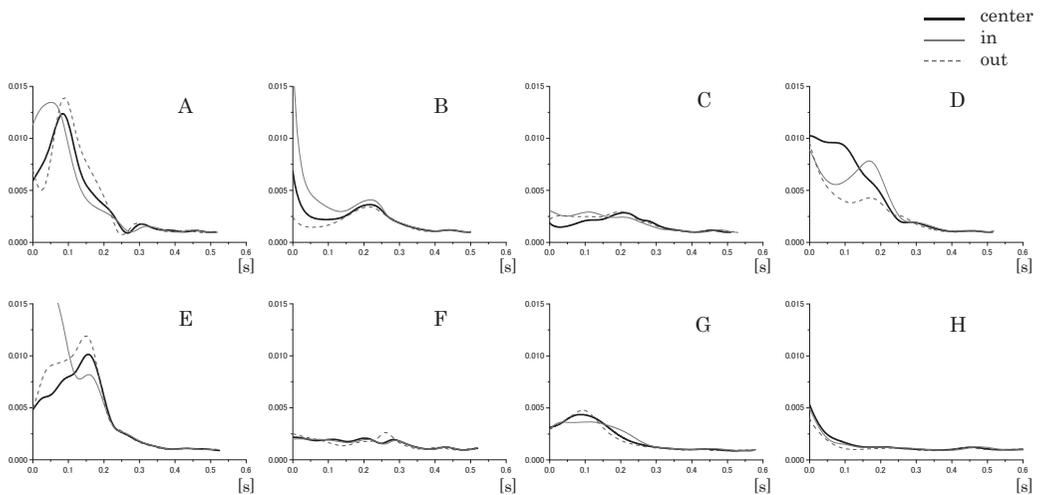


図6 センター、イン、アウトの三つのコースを振り分けたときのバットトップの曲率の時系列波形。

## 曲線の観点でみたバットスイング軌跡の特徴

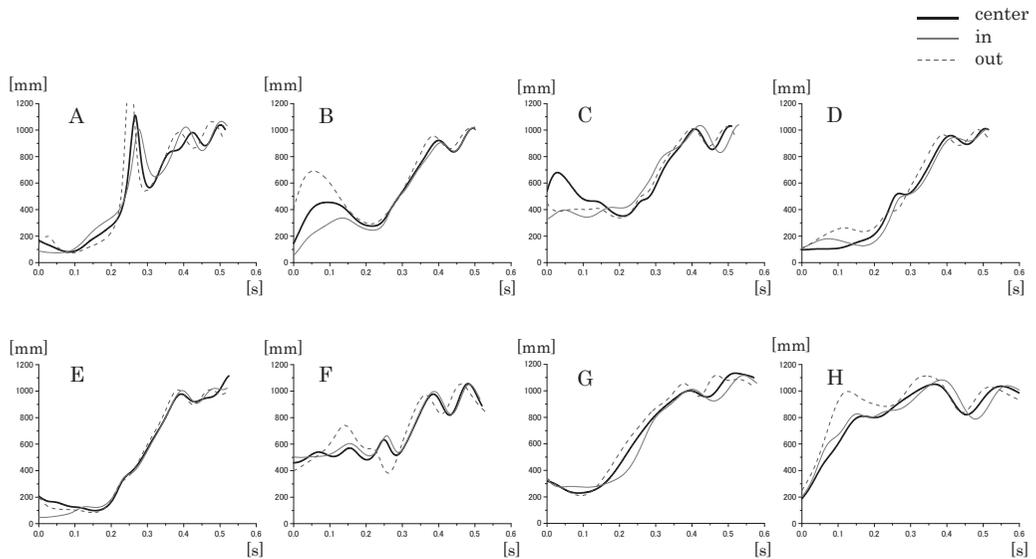


図7 センター、イン、アウトの三つのコースを振り分けたときのバットトップの曲率半径の時系列波形。

のコースに対応してスイングしたときのバットトップ軌跡の曲率と曲率半径の時系列を示す。概ね、経験者は、スイング前半（～0.3s）での曲率が大きく、すなわち曲率半径が小さく、スイング後半に向けて曲率半径が増大する傾向にあるのに対し、未経験者はスイング前半から比較的曲率半径が大きめのスイングとなっていた。曲率、曲率半径の観点からみたコース別の傾向は明確に認められなかった。

図8、9に、それぞれの実験参加者が、三つのコースに対応してスイングしたときのグリップエンド軌跡の曲率と曲率半径の時系列を示す。全参加者に、リストターンが起こる0.4s以降に大きな曲率、あるいは曲率半径の極小値が認められた。一方、経験者において、スイング前半（0.1～0.4s）に1000mmを超える顕著な曲率半径のピークが認められた。それに対し未経験者では、この局面での曲率半径の顕著なピークは認められなかった。

### 3. 振率

図10に、バットトップの三次元軌跡から求めた振率の時系列を示す。概して、インパクト近辺といえる0.4sの直前に振率の負の極小値を迎え、0.4s近辺では振率がゼロに向かって単調に増加する傾向が認められた。また、0.3s以前の準備、スイング前半では、コースに対応したばらつきが認められるが、インパクト近辺に向けて、コース毎のばらつきが減少する傾向にあった。

### 4. 縮閉線

図11に、バットトップの二次元軌跡（図4）から求めた縮閉線（曲率中心の軌跡）を示す。コース別スイングに応じた曲率中心の軌跡の違いが現れているものの、図4に示されるバットトップ軌跡よりさらに個人差が大きかった。

### 5. その他のスイングパラメータ

表1に、バットヘッドスピード、並進速度お

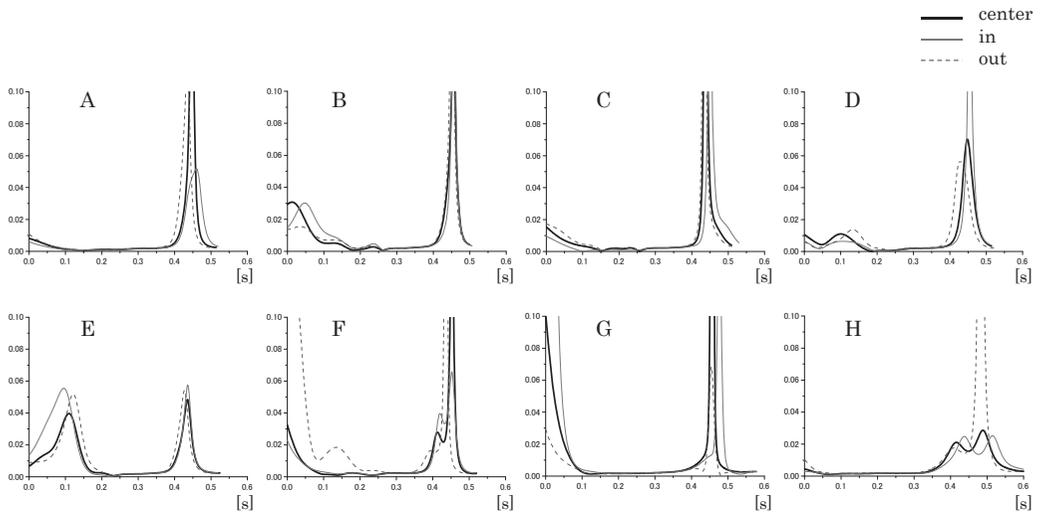


図8 センター、イン、アウトの三つのコースを振り分けたときのグリップエンドの曲率の時系列波形。

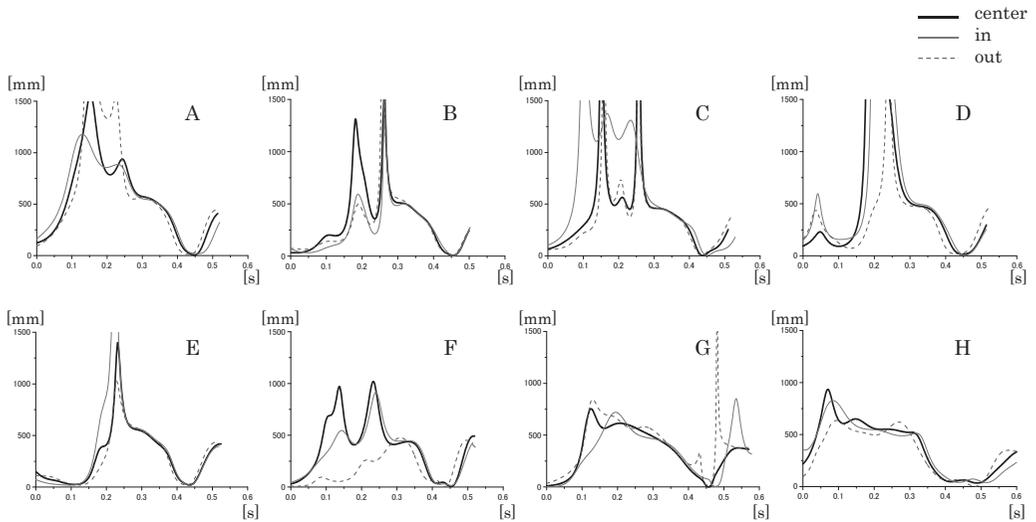


図9 センター、イン、アウトの三つのコースを振り分けたときのグリップエンドの曲率半径の時系列波形。

曲線の観点でみたバットスイング軌跡の特徴

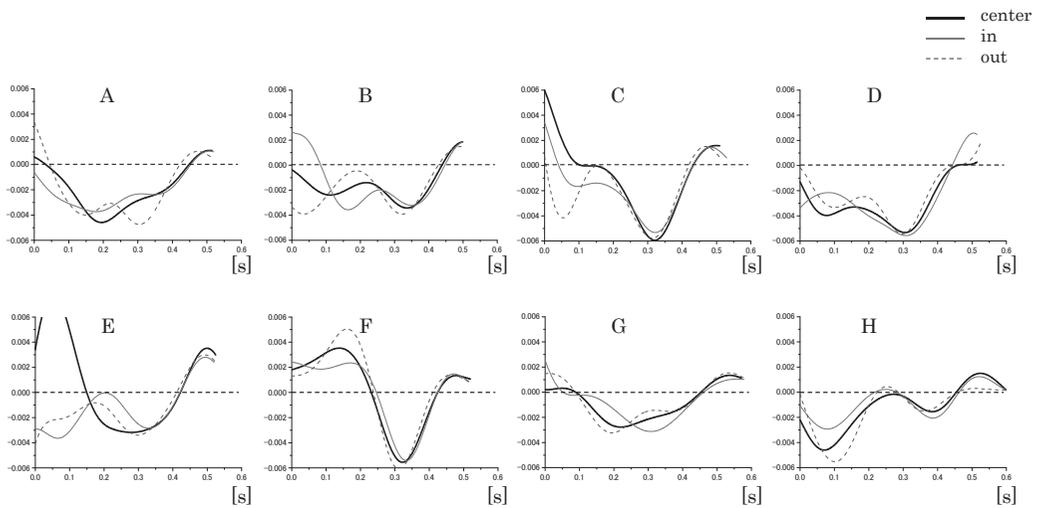


図10 センター、イン、アウトの三つのコースを振り分けたときのバットトップの振率の時系列波形。

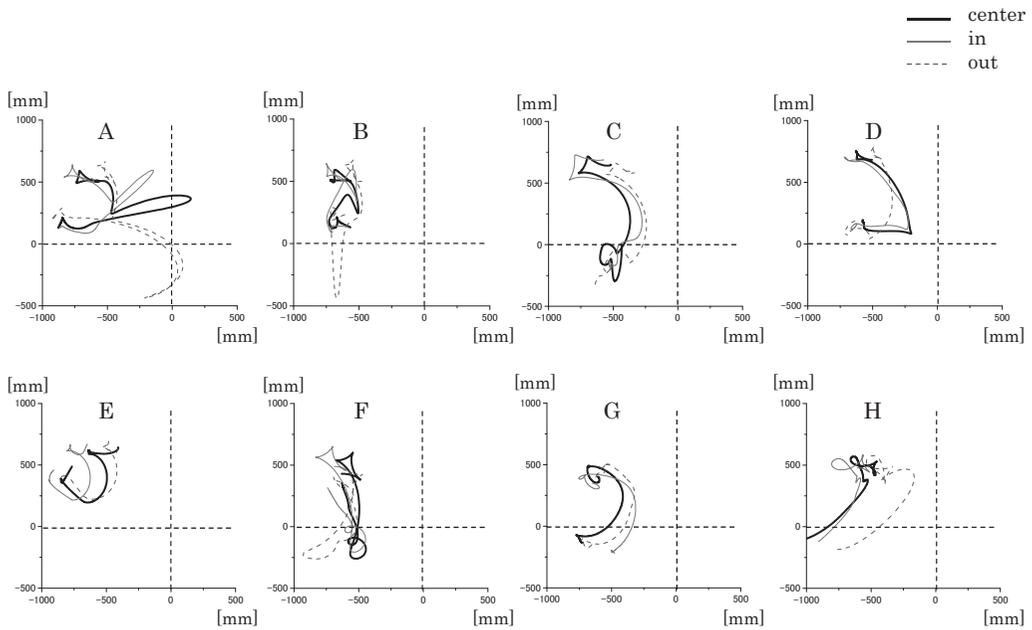


図11 センター、イン、アウトの三つのコースを振り分けたときのバットトップが描く曲線（図4）の縮閉線。横軸が計測座標系の $x$ 、縦軸が計測座標系の $y$ 。 $x=0$ はベースの中心、 $y=0$ は左足（軸足）つま先の位置を示す。

よび角速度の最大値と、インパクト時刻近辺におけるバットトップの接線ベクトル $x$ ,  $y$ 成分およびグリップエンドの接線ベクトル $x$ ,  $y$ 成分について、経験者6名の平均、未経験者1名、未経験女子1名の値を示す。ヘッドスピードや並進速度、角速度の最大値は経験者が明らかに大きな値を示した。バットトップの接線ベクトル $x$ ,  $y$ 成分から、経験者はコースに関わらず、インパクト近辺でバットトップが $y$ の正方向に動く傾向が強かったのに対し、未経験者は相対的に弱く、 $x$ の負方向に動かす傾向が強かった。さらに、グリップエンドが $y$ の負方向に動く傾向は、未経験者の方が強かった。コース別にみると、バットトップを投球方向に動かしながら、グリップエンドを投球方向に直交する方向に引く動きは、経験者、未経験者ともにアウトコースにおいて強かった。

## 考察

本研究では、スイング時のバットの動きを分

析するために、バットトップとグリップエンドが描く軌跡を空間曲線の視点で分析し、その特徴の抽出を試みた。

バットトップの軌跡は、概ねコース別スイングの違いを示す螺旋を描き、経験者の方が投手方向へ長軸をもつ楕円様の螺旋を描く傾向が認められた。その一方で、経験、未経験に関わらず、アウトコースにおいて他の二つのコースに対するスイングから外れた軌跡を描く傾向が認められた。とくに参加者D, Fは、アウトコースのスイング前半（概ね $\sim 0.3s$ ）において（図12）、その軌跡が他のコースのスイング軌跡から外れており、アウトコースのためのスイングの特異性が感じられるが、これは、一方であらかじめスイングすべきコースが決まっていることによる影響もあるといえる。このようなバットトップの動きは、当然ながらグリップの動きに影響を受けるはずであり、グリップエンドの軌跡もバットトップと同様、経験者の方が投手方向に長い曲線を描いている。しかしながら、コース別にみても、参加者D, Fは、バツ

表1 経験者（6名平均）、未経験者（1名）、未経験女子（1名）のインパクト時のスイングパラメータ。「トップ接 $x$ 」は、インパクト時のバットトップ接線ベクトルの $x$ 成分を表す。

コース	ヘッドスピード [m/s]	バット並進速度 [m/s]	バット角速度 [deg/s]	トップ接 $x$	トップ接 $y$	エンド接 $x$	エンド接 $y$	
経験者	center	31.1	9.52	2288.4	-0.350	0.914	-0.777	-0.351
	in	31.1	9.37	2248.6	-0.546	0.811	-0.646	-0.547
	out	31.4	9.50	2233.9	-0.023	<b>0.984</b>	-0.926	-0.075
未経験者	center	22.7	5.66	1568.4	-0.614	0.778	-0.797	-0.502
	in	20.9	5.83	1467.2	<b>-0.810</b>	0.585	-0.394	-0.902
	out	23.5	5.50	1543.7	-0.313	0.934	<b>-0.969</b>	0.072
未経験女子	center	14.7	3.47	1099.0	-0.536	0.810	-0.243	-0.950
	in	14.6	3.32	1067.0	-0.720	0.644	-0.709	-0.693
	out	14.5	3.26	996.6	-0.151	0.949	-0.714	-0.521

トトップのようなアウトコース特有の軌跡は認められず、むしろ、参加者A, Cにおいてアウトコースのスイング開始時にグリップの軌跡の違いが認められる。これらは、スイング初期(概ね、 $\sim 0.3s$ )においてアウトコースに対応するために、バットの倒し方を変えた結果、バットトップの軌道が変化したか、逆に、グリップの位置・動きを変化させてコースに対応したと考えられる。いずれにしても、あらかじめスイングすべきコースが決まっていることによる影響であると考えられるが、一方で、アウトコースへの対応が、インコース、センターコースに比して身体から遠くなる分、やや特異になる(特異にならざるを得ない)と考えられる。プロ野球選手を対象にして、コースに対応したスイングを計測した研究では、上肢の動き以外にほとんど変化がなかったが、コースに対応してバットの動き(角加速度)がかなり異なることが明らかにになっている [8]。本研究にみられたコー

ス別の差異や、アウトコースの特異性との関係を今後検討する必要がある。

バットトップの曲率の時系列波形をみると、概して経験者のスイング初期( $\sim 0.2s$ )においてコースによるばらつきがみられるが、 $0.4s$ 近辺のインパクト近辺ではそのばらつきが収束するのが特徴的である。曲率半径は、スイング終盤に向けて単調的に増加する点では共通しているが、未経験者の曲率半径は経験者より早い段階で大きくなる傾向にある。これはいわゆる、バットヘッドを遅らせる(後述の、グリップの引っ張り)、あるいはタメるといった操作がなく、図4のG, Hにおいて軌跡が $(x, y) = (0, 0)$ 近辺を通らない、俗にいう「遠回り」したスイングに原因があると考えられる。グリップエンドの曲率もスイング初期( $\sim 0.2s$ )の個人差はあるものの、 $0.2 \sim 0.3s$ の曲率が小さい局面を経て、 $0.4 \sim 0.5s$ に起こるいわゆる「リストターン」で曲率がピークを迎える点は全参加者に共通している。 $0.2 \sim 0.3s$ の曲率が小さい局面では、経験者の曲率半径は $1500mm$ 近く、あるいはそれを超える大きさを示しているのに対し、未経験者は $1000mm$ 以下の相対的に小さな曲率半径である。この局面は、バットを投手方向に「引っ張る」動作局面であり、経験者の場合、右脇(右打ち)を締めながらグリップを投手方向に向かって、ある程度まっすぐ動かす(引っ張る)結果として曲率半径が大きくなると考えられる。一方で、スイング開始以前に予備動作として上半身の捕手側への回旋(いわゆる肩を入れる動作)が起こると、スイング時に上半身は投手側へのひねり戻されるため、グリップは上半身のまわりを回り必然的に曲率半径の小さな軌跡を示す。この傾向は未経験者だけでなく、経験者のE, Fにも認められる。

振率は水平面からの傾きを表すため、バット

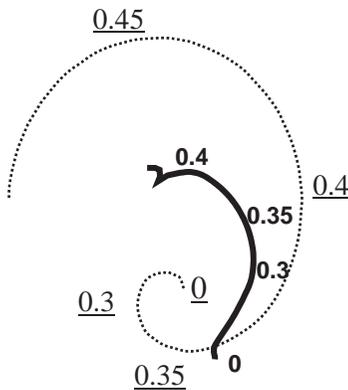


図12 バットトップとグリップエンドの軌跡と時間[s]との平均的関係を表した概略図。細い破線がバットトップ軌跡、太い実線がグリップエンド軌跡。明朝体下線付きの時刻がバットトップ軌跡、ゴシック体の時刻がグリップエンド軌跡に対応している。

トップが上向き（アッパー）に、あるいは下向き（ダウン）にスイングされているのかが分かる。全般的に、スイング初期（～0.3s）においてコース対応のためのばらつきはみられるが、インパクト近辺に向けてダウンスイングとなり、インパクト後のアッパースイングへと変化する様子は全参加者で共通している。打撃目標の高さが腰の高さであるため、必然的にこのような軌跡になるといえるが、未経験者は、相対的にダウンとアッパーの変化が少ない、より水平に近いスイング軌道を示している。つまり、スイング前にバットの位置を高くしておいて、その位置エネルギーを利用するようなスイングは、目標物を正確に打撃する上で未経験者にとっては簡単ではないバット操作であるといえる。

縮閉線は原曲線の曲率中心の軌跡であり、原曲線である伸開線に対して唯一決まる軌跡である。逆に一つの縮閉線に対して伸開線は無数に存在する。ここでの縮閉線は、伸開線であるバットトップの軌跡の曲線に対する曲率中心の軌跡であり、バットトップの軌跡の特徴を別の視点でとらえるということになる。しかしながら、ここで求めた縮閉線はコースに対応した変化はみて取れるが、バットの動きの特徴との関連を見いだすにはサンプルが不足している。今後、サンプル数を増やすことによって、何らかの傾向を明らかになるかもしれない。

一方、バットトップとグリップエンドの接線ベクトルからは、コースに対応したスイングの違い、経験者と未経験者の違いが明らかになった。及川他 [13]、大沼・及川 [14] は、高いレベルの選手のバットスイングでは、インパクト直前に、ヘッドが投球方向に平行に、グリップが投球方向に垂直に動いていると述べている。本研究では、表1に示したように、経験者

においてこの傾向が強かった。しかしながら、アウトコースのスイング時には経験者、未経験者に限らず他のコースに比べこの傾向が強くなった。及川他 [13] が述べているように、本研究における未経験者もセンター、インコースにおいて、経験者に比してインパクト近辺でバットトップが投手方向に対して垂直な方向に横ずれする傾向のスイングであったといえる。

本研究において、バットトップとグリップエンドの軌跡、その曲率や振率は、「よい打撃」すなわち「正確で力強い打撃」をするためにはどのようにバットを動かすべきか、結果としてそれらの軌跡はどのような曲線を描くのか、という観点から求められた。上述したようにインパクト近辺のバットの動きについては、接線ベクトル（速度ベクトル）での特徴抽出の可能性が示唆された。曲率および曲率半径、振率に目を向けることで、バット振り出しからインパクトまでのバットの動きの特徴を抽出できる可能性も示唆された。

## 参考文献

- [1] 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.
- [2] 阿江数通, 小池関也, 川村卓 (2014) 打点高の異なる野球ティー打撃動作における左右上肢のキネティクスの分析, 体育学研究, 59: 431-452.
- [3] 平野裕一 (1979) バットスイングの分析, 体育の科学, 29(8): 543-545.
- [4] 金堀哲也, 谷川聡, 島田一志, 内藤景, 川村卓 (2017) 大学野球におけるレギュラー打者と非レギュラー打者のインパクトパラメーターに関する事例的研究—マシン打撃におけ

曲線の観点でみたバットスイング軌跡の特徴

- る試技結果および投射コースの比較から一、  
コーチング学研究, 30(2): 167-178.
- [5] 川村卓, 島田一志, 下山優, 奈良隆章, 小池  
関也 (2012) 野球のトス打撃における投球角  
度の違いがスイング動作に及ぼす影響—肩・  
腰およびバットの回転角度に着目して—, 筑  
波大学体育科学系紀要, 35: 59-66.
- [6] 小池関也 (2007) センサーバットによる投球  
打撃動作のバイオメカニクス的研究, 筑波大  
学体育科学系紀要, 30: 131-136.
- [7] 小池関也, 見邨康平 (2015) 関節トルクの発  
揮様式を考慮した野球打撃動作の動力学的分  
析, シンポジウム: スポーツ・アンド・ヒュー  
マン・ダイナミクス2015講演論文集, A-24.
- [8] 前田正登 (2009) 投球軌道の違いがバットス  
イングに及ぼす影響—プロ野球選手1名によ  
る事例的研究, 体育・スポーツ科学, (18): 39-  
45.
- [9] 峯村昭三, 服部茂人 (1995) ベースボールに  
おけるバットスイングの研究, 静岡大学教育  
学部研究報告 (教科教育学篇), 26: 157-164.
- [10] 宮西智久 (2006) 打動作と体幹・四肢の角運  
動量—野球のバッティングの場合—, 体育の  
科学, 56(3): 181-186.
- [11] 森下義隆, 平野裕一, 矢内利政 (2011) 野球  
のバッティングにおけるスイング速度に対す  
る体幹および上肢の回転運動の貢献, シンポ  
ジウム: スポーツ・アンド・ヒューマン・ダ  
イナミクス2011講演論文集: 169-174.
- [12] 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: 237-250.
- [13] 及川研, 大沼徹, 平野裕一 (1996) 野球のバッ  
トの軌道及びそれに影響する打撃動作の類型  
化の試み, スポーツ方法学研究, 9(1): 127-  
139.
- [14] 大沼徹, 及川研 (1996) 野球の打撃における  
バット軌跡の差異とスイング様式, 千葉経済  
大学短期大学部初等教育科研究紀要, 19: 3-  
55.
- [15] Sawicki, G. S. and Hubbard, M. (2003)  
How to hit home runs: Optimum baseball  
bat swing parameters for maximum range  
trajectories, Am. J. Phys., 71(11): 1152-  
1162.
- [16] 柴田翔平, 廣瀬圭, 鳴尾丈司, 清水雄一 (2016)  
速度補正型カルマンフィルタを併用した野  
球・素振り動作におけるバットの軌道推定法  
に関する研究, シンポジウム: スポーツ工学・  
ヒューマンダイナミクス2016講演論文集, A-  
29.
- [17] 高木斗希夫, 藤井範久, 小池関也, 阿江通良  
(2008) 異なる投球速度に対する野球の打撃  
動作に関するキネマティクス的研究, バイオ  
メカニクス学会誌, 32(3): 158-166.
- [18] 高木斗希夫, 藤井範久, 小池関也, 阿江通良  
(2010) 異なる投球速度に対する野球の打撃  
動作に関する下肢および体幹部のキネティク  
スの研究, バイオメカニクス学会誌, 34(3):  
216-224.
- [19] 田澤義彦 (1999) 曲線論・曲面論—  
Mathematicaで探索する古典微分幾何学—,  
pp. 21-158, ピアソン・エデュケーション.
- [20] 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.

[Research Note]

## Characteristics of bat swing trajectory as seen from the viewpoint of curve

Kenji SAITOU<sup>1</sup>, Nahoko SATOH<sup>2</sup>  
Shin-ichi INOUE<sup>3</sup>

### Abstract

The purpose of this study was to analyze the trajectory of the bat swung from the viewpoint of curves as to how the bat moves in correspondence with the pitching course in the batting of baseball. Eight participants made the bat swing corresponding to three courses such as the center, the in and the out with the aim of tee stand set to the waist height. In order to obtain three-dimensional coordinates of the reflective marker affixed to the bat, tee stand and body of participants etc, the marker was measured using a VICON system. After interpolating and smoothing the three-dimensional coordinate values, the tangent vector, the principal normal vector, and the binormal vector were calculated, and then the curvature, the radius of curvature, the torsion, and the evolute were also calculated. From the trajectory of the bat tip and the grip end, it was possible to observe the difference of the swing corresponding to the course. In addition, the curvature, the radius of curvature and the torsion were also useful for analyzing the movement of bat from start to impact. The trajectory of the center of curvature, that is, the evolute showed the difference of the swing corresponding to the course, but further investigation in the future was necessary by increasing sample since the shape of the curve is complicated and its characteristics are difficult to clarify.

**Keywords:** trajectory of bat, moving frame, curvature, radius of curvature, torsion

---

1 Faculty of Health and Sports, Nagoya Gakuin University

2 Faculty of Rehabilitation Sciences, Nagoya Gakuin University

3 Faculty of Education, Saga University