

2016 年度修士学位論文

インパクト位置の再現性に関する  
野球打撃動作の検討

-大学野球打者によるティー打撃を対象として-

立命館大学大学院

スポーツ健康科学研究科

スポーツ健康科学専攻 博士課程前期課程 2 回生

6232150017-5

御前 純

# インパクト位置の再現性に関する 野球打撃動作の検討

-大学野球打者によるティー打撃を対象として-

立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科 博士課程前期課程 2回生 御前 純

## 要 旨

キーワード：運動学的変数、重回帰分析、多関節運動

### 【背景・目的】

野球打撃は、スポーツにおける運動課題の中で、遂行が極めて困難な課題として知られている。また、野球打撃において、バットとボールの衝突（インパクト）位置の再現性は、打球結果の変動性に影響を及ぼすことが明らかになっている。再現性の高い野球打撃を遂行するための運動学的要点を解明することで、大学野球打者がバットコントロール能力を向上するための指導上の着眼点を科学的に示唆できると考えられる。しかしながら、野球打撃におけるインパクト位置の再現性に関する運動学的要因について検討した報告は見られない。よって、本研究では、インパクト位置の再現性を規定する打撃動作の運動学的特徴を明らかにすることを目的とした。

### 【方法】

硬式野球部に所属する男子大学生 24 名を対象に、ティー台上に設置した硬式野球ボールを 20 球打撃させた。インパクト位置を特定するため、高速度ビデオカメラを用いてインパクト付近のボールとバットの映像を撮影した。取得した映像から、三次元 DLT 法にてバット上の 2 点およびボール中心の三次元座標を算出し、バット長軸および短軸方向のインパクト位置を算出した。また、三次元動作解析システムを用いて計 39 箇所の解剖学的標認点に貼付した反射マーカーの位置座標を記録し、骨盤セグメントの角度、体幹仮想

関節・上肢関節の角度およびそれらの標準偏差 (SD) を算出した。統計処理には、バット長軸および短軸方向のインパクト位置の再現性指標を従属変数、骨盤セグメント角度・体幹仮想関節角度・上肢関節角度の SD を独立変数とする重回帰分析を用いた。スイング中の 4 つの動作時点 (SS : スイング開始・MID : スイング中期開始・LATE : スイング後期開始・IMP : インパクト) それぞれについて、回帰式を算出した。

### 【結果】

バット長軸方向の再現性指標を従属変数とした際の SS 時点、短軸方向の再現性指標を従属変数とした際の LATE 時点を除き、各動作時点それぞれについてバット長軸・短軸方向におけるインパクト位置の再現性を説明するモデルが構築された。バット長軸方向におけるインパクト位置の再現性指標に関わる因子として、MID 時点・LATE 時点においては骨盤前後傾斜角度の SD、IMP 時点においては骨盤前後傾斜角度および引手手関節の橈尺屈角度の SD が選択された。IMP 時点における引手手関節橈尺屈角度の SD の標準化係数に比べ、骨盤前後傾斜角度の SD の標準化係数は高値を示した。また、短軸方向におけるインパクト位置の再現性指標に関わる因子として、SS 時点においては体幹仮想関節側屈角度の SD、MID 時点においては骨盤左右傾斜角度および押手肩関節の水平伸展・屈曲角度の SD、IMP 時点においては引手肩関節の拳上角度の SD が選択された。

### 【考察】

インパクト位置の再現性には、骨盤や体幹・近位の上肢関節である肩関節角度の変動が主に関係することが明らかになった。先行研究および本研究の解析結果から、これらの部位はスイング中に顕著な角度変化を示さないことが分かっている。したがって、インパクト位置の再現性が高い打者は、スイング時に上記の部位における角度変動を抑制し安定化する動作方略を有していると考えられる。

### 【結論】

長期の競技経験を有する大学野球選手において、とりわけバットコントロールに優れた打者は、骨盤の姿勢、体幹ならびに近位の上肢関節である肩関節角度の変動を抑制する方略をとることで、インパクト位置の再現性を高めていることが示唆された。

# Movements in Baseball Swing Associated with Precision of Ball-Bat Contact Location

## A Study on Tee Batting in Collegiate Baseball Hitters

6232150017-5 Jun Misaki

### Abstract

Keywords: Kinematic variables, Multiple regression analysis, Multi-joint movement

### Background & Objective:

Hitting a baseball is described as one of the most difficult tasks in any sports. For successful hitting, baseball hitters should accelerate the bat head within short duration, and lead the bat toward the appropriate location at the right timing. The previous study showed that variability of ball-bat contact location is associated with kinetic energy of batted ball. Although the biomechanical research focused on bat velocity and timing correction in baseball swing, the knowledge about kinematic factors associate with the precision of ball-bat contact location is still limited. This study aims to identify the kinematic characteristics that are associated with precision of ball-bat contact location in baseball hitters.

### Methods:

Twenty-four collegiate baseball players participated in this study. The participants were instructed to hit a ball on the baseball tee toward the target board. After sufficient warm-up and practice hitting, they completed 20 swings. Movements of the bat and ball were recorded using two high-speed video cameras. Three-dimensional coordinates of the markers that attached to 39 body landmarks were tracked by motion capture system. For each participant, standard deviations (SDs) on short and long axes of the bat coordinate system were calculated as the indices of precision of ball-bat contact location. SDs of pelvis segment angles, trunk, and upper extremities angles were computed as parameters of movement variability of baseball swing. Multiple

regression analyses were conducted at the point of swing starting (SS), beginning of mid swing (MID), beginning of late swing (LATE), and impact (IMP).

### **Results:**

SDs in pelvic anterior/posterior angle at MID, LATE, IMP and SD in lead wrist radial/ulnar deviation at IMP were identified as the significant predictors of the precision of ball-bat contact location on the long axis of the bat. It was also confirmed that SD in trunk joint lateral flexion angle at SS, SDs of pelvis lateral tilt angle and trail shoulder horizontal abduction/adduction angle at MID, and SD of lead shoulder elevation angle at IMP were selected as the significant predictors of the precision of ball-bat contact location on the short axis of the bat.

### **Discussion:**

The results indicate that variability in pelvis, trunk, and shoulder joint angles is associated with the precision of ball-bat contact location. Kinematic data retrieved from this study and the previous research demonstrated that those angles do not have large range of motion during swing. Therefore, hitters with highly precise ball-bat contact location might have the movement strategy that stabilizes pelvis posture as well as trunk and shoulder angles during swing.

### **Conclusion:**

It was concluded that collegiate baseball hitters with highly precise bat control ability have the movement strategy that stabilizes pelvis posture, trunk and shoulder angle during swing.

## 目 次

第 1 章 序論 .....	1
1-1 研究背景.....	1
1-2 文献レビュー .....	4
1-2-1 野球打撃におけるスイング速度に関する研究 .....	4
1-2-2 野球打撃におけるタイミング制御に関する研究.....	5
1-2-3 野球打撃におけるバットの位置制御に関する研究 .....	7
1-3 野球打撃におけるバットコントロール能力の指標.....	9
1-4 身体動作における「変動性」 .....	10
1-5 研究目的.....	11
第 2 章 方法 .....	12
2-1 対象者 .....	12
2-2 測定環境.....	12
2-3 測定プロトコル.....	13
2-4 データ取得 .....	14
2-5 データ解析 .....	16
2-6 統計処理.....	20
第 3 章 結果 .....	21
3-1 インパクト位置の分布および再現性 .....	21
3-2 骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度 .....	24
3-2-1 骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度波形の典型例.....	24
3-2-2 各動作時点における骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度の平均値 .....	29
3-2-3 各動作時点における骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度の標準偏差... ..	33
3-3 インパクト位置の再現性と骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度 の変動性の関係.....	39
3-3-1 インパクト位置の再現性と骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度 の標準偏差の相関関係 .....	39

3-3-2 重回帰分析の結果.....	52
<b>第4章 考察 .....</b>	<b>54</b>
4-1 インパクト位置の再現性に関する野球打撃動作の運動学的特徴 .....	54
4-2 インパクト位置の再現性および身体各部における角度の変動性 .....	57
4-3 実践への示唆 .....	58
4-4 本研究の限界と今後の展望.....	59
<b>第5章 結論 .....</b>	<b>60</b>
文献.....	61
研究報告一覧 .....	69

# 第1章 序論

## 1-1 研究背景

野球打撃は、スポーツにおける運動課題の中で、遂行が極めて困難な課題として知られている (Mihoces, 2003). 実際に、技術水準の高いプロ野球選手においても、1シーズンの打撃成功率が3割程度で優秀と評価されるほどである。このように野球打撃が困難である主な理由としては、下記の3点が挙げられる。

- 1) 約150 ms の間に、バットの先端部を約30 m/sまで加速させる必要があること
- 2) インパクト（ボールとバットが衝突する現象）のタイミングがわずかであってもずれることで、打球方向や打球速度が大きく変わること
- 3) インパクト時点のボールに対するバットの位置がわずかであってもずれることで、打球方向や打球速度が大きく変わること

球速を40 m/sと仮定した場合、投手の手からボールがリリースされてホームプレートに到達するまでの時間は425 msである。リリース後のボール軌道・回転等の視覚情報からボールの到達時間・位置を予測する時間（約275 ms）を考慮すると、スイングに用いることが可能な時間は約150 msとなる (Tresilian, 2004; 図1).

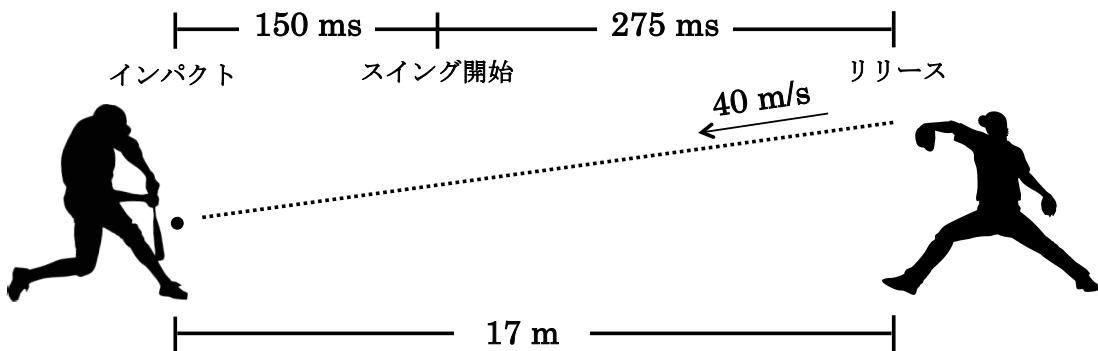


図 1 40 m/s の投球を打撃する際のボール到達時間  
およびスイング時間 (Tresilian, 2004 を参考に作図)

よって、野球打者は、このわずかな時間内でバットヘッドを加速させ、インパクトを迎えることになる。また、ヒット性の打球を放つことを仮定すると、インパクトのタイミングにおける許容誤差は、約 10 ms である (Tresilian, 2004)。40 m/s で投じられたボールをホームランにする場合には、インパクトのタイミングにおける許容誤差は 2.5 ms となる (Tresilian, 2004)。

さらに、野球場においてヒット性の打球を打つことを仮定すると、インパクト位置におけるバット短軸(上下)方向への許容誤差は、8.0 mm であるとされる (Bahill & Baldwin, 2008; 図 2)。また、インパクト位置のバット長軸方向の許容誤差は、100.0 mm である (Higuchi et al., 2013)。

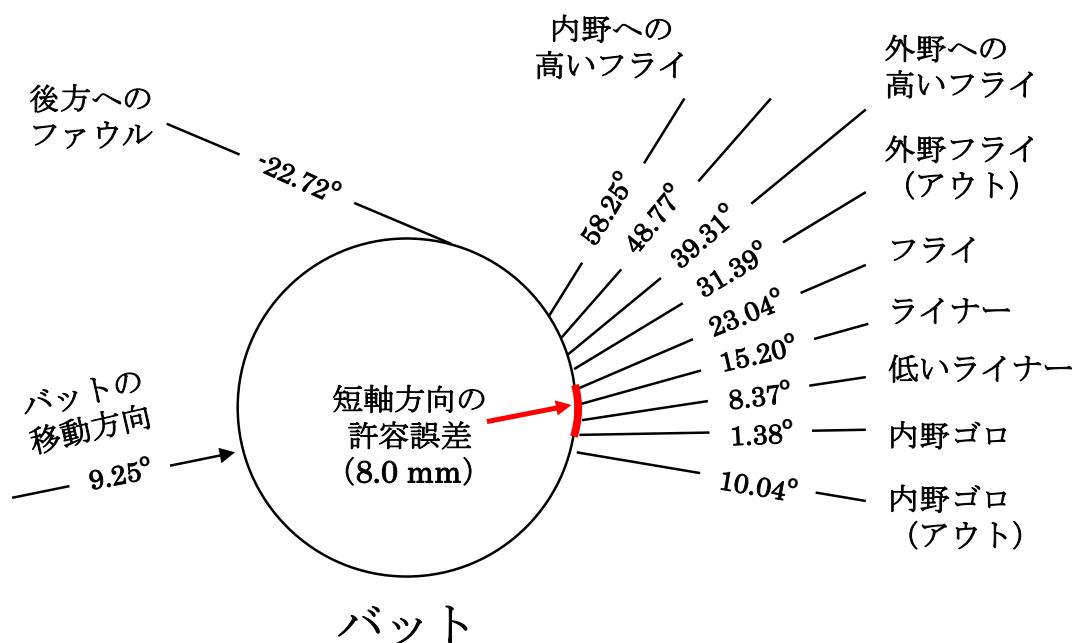


図2 バット上のインパクト位置（短軸方向）の許容誤差

(Bahill & Baldwin, 2008 を参考に作図)

このように、野球打撃で好成績を残すためには、1) スイング速度の増大、2) タイミング誤差の低減、3) バット上のインパクト位置の誤差の低減が必須である。従来の野球打撃に関するバイオメカニクス研究では、これらに関連する動作要因に関する検討がなされてきた。

次1-2節では、野球打撃における1) スイング速度、2) タイミング制御、3) バットの位置制御に関する文献のレビューを行い、従来の野球打撃研究における課題を明らかにする。

## 1-2 文献レビュー

本節では、従来の野球打撃研究における課題を明らかにするため、1) スイング速度、2) タイミング制御、3) バットの位置制御に関する先行研究のレビューを行う。なお、レビューの対象は、学術誌に掲載された和文および英文の原著論文とし、学会抄録・学位論文等は対象から除外した。

### 1-2-1 野球打撃におけるスイング速度に関する研究

野球打撃におけるスイング速度については、主にティー打撃や試合時の打撃動作を対象とした検討が行われている。川村ら（2008）は、大学野球選手・社会人野球選手 16 名を対象にティー打撃を行わせ、その際の打撃動作を運動学的に分析した。その結果、（バットヘッド速度が低い打者群と比べた）バットヘッド速度が高い打者群の特徴として、1) 規格化時間 0–10 %時・50–70 %時において押手側肩関節の内転・水平内転角度が有意に大きく、40–70 %時・90–100 %時において押手側肘関節を有意に屈曲させていること、2) インパクト時点において押手前腕の回外が有意に小さく、50–70 %時において引手前腕の回内が有意に大きく、20–30 %時において手関節の背屈が有意に大きいことが明らかになった。なお、この報告はスイング局面を解析区間としており、規格化時間 0 %がスイング開始時点、規格化時間 100 %がインパクト時点を示している。

また、荒木ら（2012）は、世界大学野球選手権大会に出場した 15 名の打者を対象に、試合時に外角球を打撃した際の動作を運動学的に分析し、バットヘッド速度を高めるための動作要因について検討した。その結果、ヘッド速度が高かった打者の特徴として、1) 踏出足（右打者の左足）接地時の身体重心位置が左右足の中心付近に位置していること、2) 引手（右打者の左手）の屈曲角度がスイング初期に小さいこと、3) スイング後期においてグリップ速度の投手方向への速度が大きいこと、4) スイング後期において軸足（右打者の右足）の底屈角度・上腕の回旋角度変位が大きいことが明らかになった。

さらに、森下ら（2013）は、スイング速度に対する体幹・上肢の運動学的貢献を定量化するべく、大学野球打者 17 名のティー打撃動作を分析した。その結果、インパクト直前のバットヘッド速度に対しては、手関節の回転運動によって生み出した速度の貢献が最も

大きく、続いて下腕関節と骨盤の回転運動、上腕関節、骨盤の並進運動の順に大きいことが示された。

上記 3 件の報告は、いずれも運動学的な検討である。一方、森下ら (2015) は、大学野球打者 17 名を対象にティー打撃を行わせ、打者の両手がバットに加えた力系の各成分がもたらすスイング速度に対する貢献度を算出した。その結果、インパクト時のヘッド速度は、打者の両手部がバット長軸に対してグリップエンド方向に加えた両手合力によって 70 %、両手トルクによって 25 %が生成されていることが明らかとなった。さらに、近年では、スイング速度生成に関わる動力学的要因について、圧力センサを内蔵したバットを用いた詳細な検討が行われている (Koike et al., 2016a, 2016b)。森下ら (2015) の報告を含む従来の研究では、バットと両上肢が連結することで形成される閉ループ問題の影響により、左右の上肢で発揮されるトルクの算出が不可能であった。しかしながら、上述の圧力センサを内蔵したバットが開発されたことにより、全身の剛体リンクモデル構築と、上肢を含めた動力学的解析が可能となった (Koike et al., 2016a, 2016b)。

このように、高いスイング速度を生み出す野球打撃動作については、運動学・動力学的な検討が数多くなされている。この理由としては、スイング速度の測定とパフォーマンス指標としての解釈が容易であること、身体の運動学・動力学的変数とスイング速度の関係性を考察しやすいと考えられる。

### 1-2-2 野球打撃におけるタイミング制御に関する研究

野球打撃のタイミング制御に関する研究としては、LED を一列に並べ順々に点灯させる投球シミュレータを用いた分析が主に行われてきた。Matsuo et al. (1993) は、この投球シミュレータを用いて 28 m/s (低速条件) および 36 m/s (高速条件) の速度の投球を疑似的に再現し、無作為に呈示される低速・高速の視標に合わせてスイングを行わせる課題を打者 10 名に対して 1 か月間行わせた。その結果、ほぼ全ての打者において、介入後に視標到達からインパクトまでの時間の減少 (タイミング誤差の減少) が確認された。また、低速条件に比べ、高速条件に対する適応が早期に見られたことから、早期にスイングを開始させ、その後に投球速度に合わせてスイングを調整する方略がタイミング誤差の低減に適していることが示唆された。また、Matsuo & Kasai (1994) は、同様の投球シミュレ

ータを用いて 5 名の大学野球打者に対して単回の測定を行い、タイミング制御に関わる方略について検討した。その結果、速度条件が異なる場合でも、スイング開始の時刻は一定であること、速度条件が同一の場合でも、スイングにかかる時間は試技間で変動することが明らかになった。

近年では、Ohta et al. (2015) が同様の投球シミュレータを用いてタイミング制御に関する野球打撃動作について検討している。Ohta et al. (2015) は、視標の速度変化・無変化条件が無作為に呈示される設定において、大学野球打者 11 名の踏出脚外側広筋の筋電図を測定した。その結果、速度無変化条件における筋電図波形が単相性（筋電図波形における振幅のピークが一度）であったのに対し、速度変化条件においては単相性・二相性（筋電図波形における振幅のピークが二度）の 2 種類の波形が観察された。また、二相性の波形が見られた試行においては、インパクト時間と筋電図振幅が最大値に達するまでの時間が有意に延長しており、単相性の波形が見られた試行に比べ、インパクトの時間誤差が有意に減少していることが明らかになった。

一方で、投球シミュレータのみならず、ピッティングマシンによる投球を用いた検討もなされている。Katsumata (2007) は、6 名の大学野球打者を対象に、異なる投球速度のボール（低速・高速条件）を打撃した際の床反力を測定し、条件間での比較を行った。その結果、踏出足の接地および前方への足圧中心移動のタイミングは、投球速度に応じて変化していることが示された。高木ら (2008) は、球速の異なるボール（21 m/s・28 m/s・35 m/s）を大学野球打者 29 名に打撃させ、その際の動作を運動学的に検討した。その結果、球速が大きい条件においては、身体重心の並進移動距離を小さくするとともに、上腕部およびバットの回転動作範囲を小さくする動作方略をとっていることが明らかになった。

また、高木ら (2010a) は、打者に球速を予告した条件（球速提示あり）と予告を行わない条件（球速提示なし）を設定し、球速の異なるボールを大学野球打者 19 名に打撃させ、その際の打撃動作の特徴を検討した。その結果、球速提示の有無に関わらず、ボール速度が大きい場合、打者は身体重心の移動距離を短縮し、体幹の捻りが最大となる時点からインパクトまでの上腕の回転動作範囲を小さくしていることが明らかになった。一方、球速提示なしでは、踏出足接地から下腕部の角速度が最大値を示す時点までの時間を調整することによって、異なる球速のボールに対するタイミング調節を図っていることが示さ

れた。

さらに、高木ら（2010b）は、球速の異なるボールに対する打撃動作における力学的要因についても検討している。この報告では、大学野球打者 29 名が異なる速度のボールを打撃した際の動作が分析されており、下肢・体幹部に作用する関節力および関節トルクが算出された。その結果、ボール速度の大きい条件では、投手方向への身体の移動に関与する力積が小さく、この要因として踏出足接地から身体重心速度が最大値に到達する時点までの動作時間が大きく影響していることが明らかになった。また、ボール速度の大きい条件においては、軸足の股関節外転トルク、踏出足側の股関節屈曲トルクが下胴回転成分に大きく作用していることも示された。

このように、タイミング制御に関する野球打撃動作の研究は、運動学・動力学的観点から行われており、スイング速度に関する研究と同様に豊富であることが明らかである。

### 1-2-3 野球打撃におけるバットの位置制御に関する研究

野球打撃におけるバットの位置制御について検討した報告は、主に 3 つの実験系に分類される。1 つ目は、投球飛翔軌道および打者の視覚状態を操作し、条件を変えた際のバット・ボールの位置関係を検討したものである。2 つ目は、異なる位置に設置したボールを打撃した際の打撃動作を分析したものである。3 つ目は、同位置に設置したボールを複数回打撃させ、バット位置や打撃動作の再現性を検討したものである。

1 つ目に該当する研究としては、Higuchi et al. (2013) ならびに Higuchi et al. (2016) の報告が挙げられる。Higuchi et al. (2013) は、ボールの回転速度が異なる速球（いずれの条件においても球速は約 37.5 m/s）を打撃させ、投球の到達位置予測と異なる投球飛翔軌道への対応について検討した。球速に応じた一般的な回転速度（約 30 s<sup>-1</sup>）付近において最もインパクト位置の正確性が高く、ボールの回転速度が一般的な範囲から逸脱するほどインパクト位置の正確性が低下するという結果を得た。また、Higuchi et al. (2016) は、投球実打時の視覚情報が打撃の正確さに及ぼす影響を明らかにするべく、ボールリリース後 150 ms 以降の視界を遮蔽する条件 (R+150)，インパクト前 150 ms 以降の視界を遮蔽する条件 (I-150)，視界遮蔽を伴わない条件 (NO) の 3 条件を無作為に呈示した際のインパクト位置の正確性について検討した。結果として、バットの短軸方向のインパクト位

置の正確性は、R+150 条件に比べ I-150 条件および NO 条件では有意に高かったが、I-150 条件と NO 条件間では有意な差が見られなかった。Higuchi et al. (2016) は、この結果に対し、インパクト直前の視覚情報は打撃正確性の向上につながらないと考察している。

2 つ目に該当する研究としては、異なる打点高に対する打撃動作を比較した報告が挙げられる。異なる打点高への対応動作について最初に検討を行ったのが、田子ら (2006a) である。田子ら (2006a) は、大学野球打者 10 名を対象に、ティー台上的「低め」「真ん中」「高め」に設置したボールをそれぞれ打撃させ、その際の打撃動作を打点高間で比較した。結果として、異なる打点高に対して打撃する際には、上腕・骨盤部の回転よりも上肢・下肢の関節角度の調整が優先されていることを示した。また、打点高への対応動作については、圧力センサ内蔵バットを用いた動力学的な検討もなされており、左右上肢に関する分析 (阿江ら, 2013; 阿江ら, 2014), 体幹部に関する分析 (阿江ら, 2015) の結果が報告されている。一方、異なるコースに対する打撃動作の分析も行われている。田子ら (2006b) は、大学野球打者 10 名におけるティー打撃動作を分析し、異なるコースに対する打撃動作の差異について検討した。その結果、内外角のボールを打撃する際には、踏出足を接地する時点までに上腕および骨盤部の回転を調整した上で、上肢・下肢の運動が行われることが明らかになった。

3 つ目に該当する研究としては、前田 (2001) の報告が挙げられる。前田 (2001) は、大学野球打者 5 名・未熟練者 5 名を対象にティー打撃を 10 球ずつ行わせ、バット位置・角度等の再現性について検討を加えた。その結果、1) 打撃時におけるバットヘッド・グリップエンドの位置座標及びバット角度の標準偏差は熟練者の方が小さいこと、2) インパクト時のボール中心とバット間の距離が熟練者において小さいこと、3) 未熟練者においてはスイングの前半からバット位置にばらつきが認められ、バット軌道の再現性が低いことが明らかになった。また、野球打撃動作における変動性を扱った研究としては、Nakata et al. (2014) の報告が挙げられる。Nakata et al. (2014) は、8 名の野球経験者と 9 名の未熟練者におけるトス打撃動作を測定し、体幹部の運動に着目して分析を行った。その結果、野球経験者のスイング中における骨盤の回旋角度変位およびインパクト時の骨盤回旋角度の標準偏差が、未熟練者に比べて有意に低値を示したことを報告している。

しかしながら、上記の報告では、バット位置・角度の再現性、あるいはスイング中の身

体における運動学的変数の再現性が個別に検討されており、両者の関係性は明らかでない。また、筆者の知る限りでは、バット運動の再現性と運動学的変数の関係を検討した報告は見当たらない。この理由としては、1) 再現性の定量分析が容易でないこと、2) 多関節運動における運動学的変数の個人内変動を取り扱うため、多変量の統計解析を要することが挙げられる。以上の問題を解決し、再現性の高い野球打撃を遂行するための運動学的要点を解明することによって、野球打者が打撃能力を向上するための指導上の着眼点を科学的に示唆できると考えられる。

したがって、本研究では、野球打撃の再現性に着目することとした。次1-3節では、野球打撃における再現性を示す指標について述べることとする。

### 1-3 野球打撃におけるバットコントロール能力の指標

前節の内容から、野球打撃に関する研究においては、スイングの再現性に関連する動作要因の特定が課題であることが明らかになった。野球打撃における再現性に着目する意義としては、望ましい打球結果を安定して得るために知見の獲得が挙げられる。望ましい打球結果を打球の運動エネルギーと定義し、それに関連する要因を検討した研究としては、城所ら（2012）の報告がある。城所ら（2012）は、10名の大学野球打者に対してフリー打撃を50試技ずつ行わせ、打球の運動エネルギーに影響を及ぼすスイングおよびインパクトの特性を検討した。その結果、各打者における打球の運動エネルギーの変動の48-76%を説明する最も重要な因子は、インパクト位置と衝撃線角度（ともにインパクトに関わるパラメータ）であることが明らかになった。この結果は、意図したインパクト位置にバットを運ぶ能力、すなわちバットコントロール能力が、打球結果を大きく左右することを示している。

バットコントロール能力を定量的に評価する手段としては、ティー打撃による静止球打撃が挙げられる（Higuchi et al., 2015）。これは、静止球打撃が時間的な拘束を伴わず、認知・判断の影響を除外することが可能なためである。これらのことから、バットコントロール能力を示す指標としては、インパクト位置の再現性が適切であると考えられる。したがって、本研究では、バットコントロール能力の指標として、インパクト位置の再現性を用いることとした。次1-4節では、インパクト位置の再現性に影響を及ぼすと考えられ

る身体動作の変動性について、先行研究から示された知見について述べることとする。

#### 1-4 身体動作における「変動性」

同一個人の身体動作を複数回測定した際には、運動学的変数・動力学的変数のいずれの測定項目においても、試技間の「変動性」が観察される (Preatoni et al., 2013). このような身体動作の変動性は、ヒトの神経系における生来の特徴であることから、随意的な制御では完全に抑制できないと考えられている (Newell & Corcos, 1993).

身体動作の変動性は、歩行等の日常動作 (Hausdorff et al., 1995; Masani et al., 2002) のみならず、あらゆるスポーツ動作においても確認されている (Preatoni et al., 2013). とりわけ、野球と同じく両上肢で打具を把持するゴルフスイングにおいては、打具および身体動作の変動性を扱った報告が複数見られる。Horan et al. (2011) は、38名のアマチュアゴルフ選手を対象として動作分析を行い、ダウンスイング中の打具および上腕・骨盤部における運動学的変数の変動性について検討した。その結果、手部およびクラブヘッド軌道の変動性がインパクトに近づくにつれて減少する一方で、上腕・骨盤部の変動性は必ずしも減少しないことを示した。また、Morrison et al. (2014) は、Uncontrolled Manifold と呼ばれる理論を用いた分析を、ゴルフスイングに対して行った。結果として、熟練したゴルフ選手は関節角度の変動性を活用した動作方略をとることで、インパクト時のクラブヘッドの位置および方位の誤差を低減していることが示唆された。これらの結果は、生来ヒトの身体動作に付随する変動性を制御することで運動結果の変動性が減少するという Latash et al. (2002) の理論が、高速度で遂行される多関節運動においても生じることを示唆するものであった。これらの研究成果を踏まえると、両手で打具を把持する高速度のスイング動作において見られる運動学的変数の変動性は、必ずしも運動パフォーマンスの再現性を阻害しないと考えられる。

一方、野球打撃を対象として身体動作の変動性を扱った研究では、野球経験者のスイング中における骨盤の回旋角度変位およびインパクト時の骨盤回旋角度の標準偏差が、未熟練者に比べて有意に低値を示したことが報告されている (Nakata et al., 2014). この報告では、体幹部以外のセグメントの運動を扱っていないものの、技術水準が高い者ほど、体幹部における運動の再現性が高いことが示唆されている。

しかしながら、野球打撃におけるインパクト位置の再現性に関わる運動学的要因について検討した報告は見られない。この理由としては、1) 再現性の定量分析が容易でないこと、2) 多関節運動の個人内での変動性を取り扱うため多変量の統計解析を要することが挙げられる。以上の問題を解決し、再現性の高い野球打撃を遂行するための運動学的要点を解明することによって、野球打者がバットコントロール能力を向上するための指導上の着眼点を科学的に示唆できると考えられる。

### 1-5 研究目的

本研究の目的は、インパクト位置の再現性を規定する野球打撃動作の運動学的特徴を明らかにすることである。

## 第2章 方法

### 2-1 対象者

対象者は、硬式野球部に所属する男子大学生 24 名（年齢: 18.9 ± 0.4 歳、身長: 176.0 ± 4.7 cm、身体質量: 74.0 ± 5.7 kg、野球競技年数: 11.0 ± 2.0 年）とした。対象者には、口頭および書面にて測定に関する説明を行い、測定参加の同意を得た。なお、本研究は、「人を対象とする医学系研究倫理審査委員会」の承認を得た上で行われた（承認番号: BKC-人医-2015-018）。

### 2-2 測定環境

本研究における測定は、インテグレーションコア内の室内測定施設（スポーツパフォーマンス測定室）にて実施した。全ての測定試技は、常設のフォースプレート上で行った。対象者の踏出足が乗っているフォースプレートの前端から 4.5 m 前方・地上から 1.3 m の位置に、標的を設置した。カメラ等の機材配置は、図 3 に示す通りである。

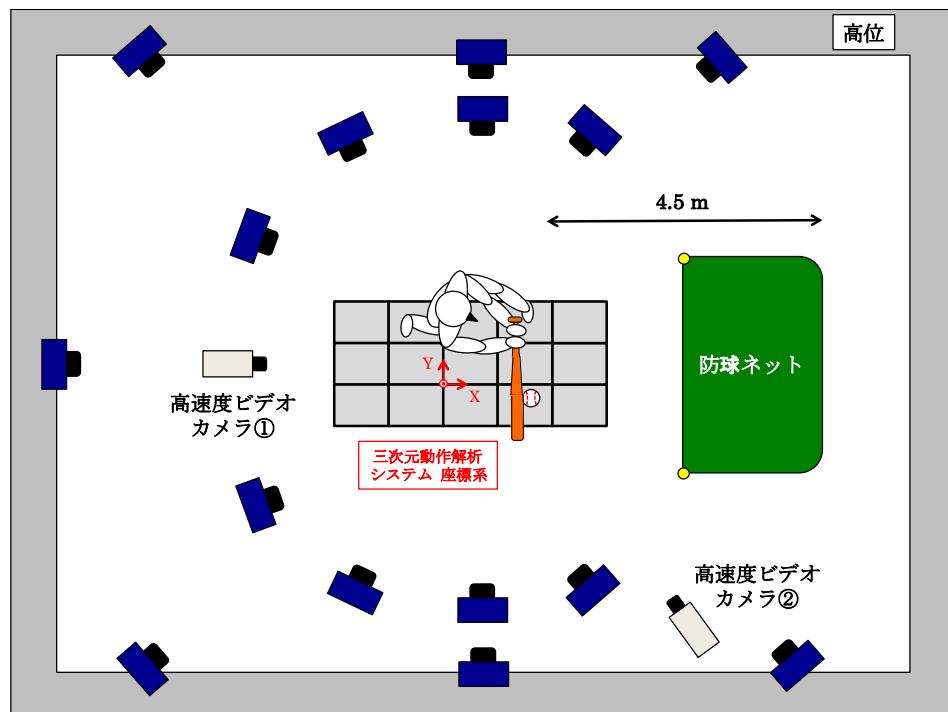


図 3 測定環境

### 2-3 測定プロトコル

本測定に先立ち、対象者には十分なウォームアップ・練習試技を行わせた。その後、ティ一台上に設置した硬式野球ボール（Official Victory Baseball; ミズノ社製）を 20 球打撃させた（図 4）。

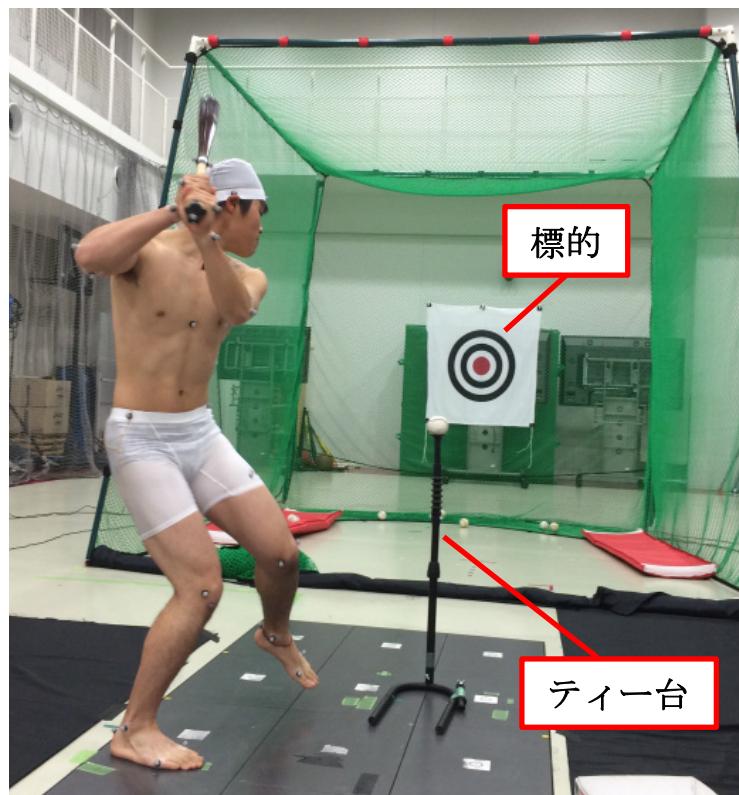


図 4 実験風景（対象者に許可を得て撮影・掲載）

対象者には、「できる限り速い打球で、標的の中心を打ち抜くように」との教示を与えた。なお、この教示は試技ごとに、ティ一台上へのボール設置を担当する検者が口頭で伝えた。各試技間の時間は 30 s 程度であり、全試技の半分にあたる 10 試技が終了した時点で 2 分程度の休息時間を設けた。

ティー台の高さは、各対象者が打撃姿勢をとった際の上前腸骨棘の位置に合わせた。また、ティー台の前後・左右位置については、練習試技を行わせた際に、標的の中心に向けて最も打ち返しやすいボール設置位置を選択されることで決定した。ティー台の高さ・位

置は、同一対象者における全試技において同一に設定した。また、対象者が打撃準備姿勢をとった際の軸足の足部位置は、養生テープにてマーキングし、試技前に足部位置が所定箇所にあるかを検者が確認した。

測定において対象者が使用したバットは、硬式野球用木製バット（Global Elite; ミズノ社製）であった。このバットは、大学野球打者が練習および公式戦にて用いる標準的な種類のものであり、使用に際して違和感を訴える対象者は見られなかった。バットの全長は 830 mm、重量は 900 g、バットヘッド部分の直径は 60 mm であった（図 5）。後述する高速度ビデオカメラの解析に用いるため、バットヘッド部分には反射マーカーを貼付した。また、バットヘッドに貼付した反射マーカーから 500 mm グリップエンド方向に移動した部位に白色のテープを巻いた。



図 5 測定に用いたバット

（高速度ビデオカメラの解析に用いたバット上の特徴点は、緑色の丸にて示した）

## 2-4 データ取得

バットとボールのインパクト位置を特定するため、高速度ビデオカメラ（サンプリング周波数: 1000 Hz, 画素数: 1280 × 960 pixel; ナックイメージテクノロジー社製）を用いてインパクト付近のボールとバットの映像を撮影した。また、三次元動作解析システム（サンプリング周波数: 500 Hz; Motion Analysis 社製）を用いて計 39 箇所の解剖学的標認点（図 6）に貼付した直径 14.0 mm の反射マーカー（Pearl Marker; B & L Engineering 社製）の位置座標を記録した。

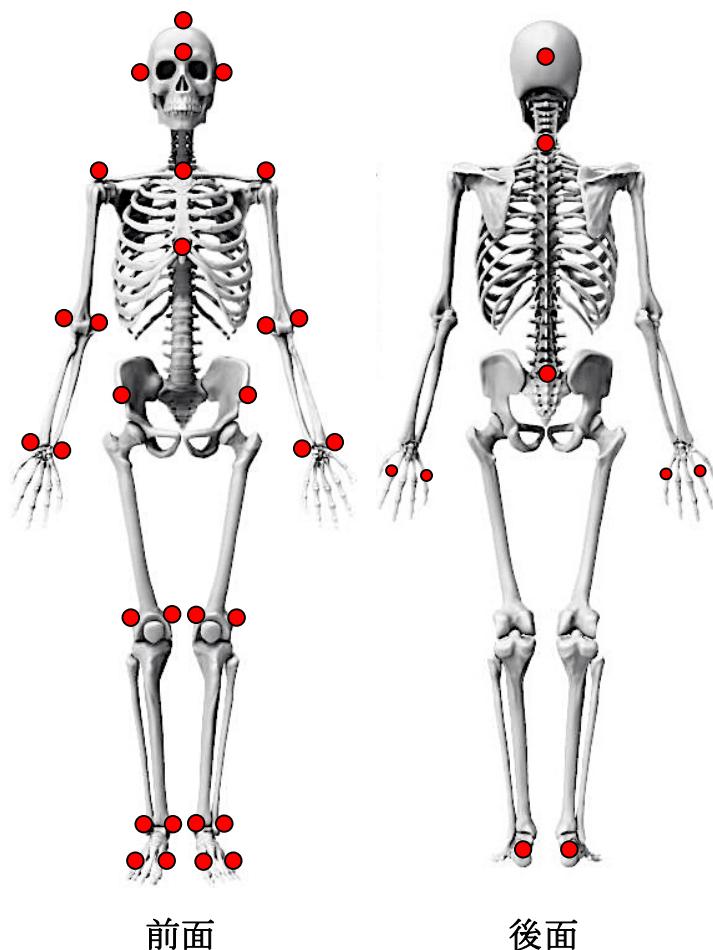


図 6 測定に用いたマーカーセット

反射マーカーの貼付は、全対象者を通じて同一の検者が行った。反射マーカーの振動が懸念される貼付箇所については、サージカルテープにて補強を行った。また、キャリブレーションによる全カメラの較正点の実測三次元座標値と算出された三次元座標値間の誤差の平均値は、 $0.73 \pm 0.24$  mm であった。

前述の高速度ビデオカメラと三次元動作解析システムのデータを同期処理するため、トリガーユニット (ATRG-100; ファステックイメージング社製) を用いた。インパクト時に発生する打球音により、トリガーユニットからアナログ信号が出力され、BNC ケーブルを介して両装置は同期された。アナログ信号の出力には一定の時間遅れがあるため、インパクト時の高速度ビデオカメラのフレーム数とアナログ信号が出力された時点の差を求ることにより、インパクトの時点を同定した。

## 2-5 データ解析

ボールの中心点、バットヘッドに貼付した反射マーカーおよび白色テープの位置に対し、動画解析ソフト（Frame DIAS V; DKH 社製）を用いて手動デジタイズを行った（図 7）。デジタイズした各特徴点の位置座標は、三次元 DLT 法を用いて三次元座標への変換を行った。なお、手動デジタイズは、全対象者の全試技を通じて同一の検者が行った。

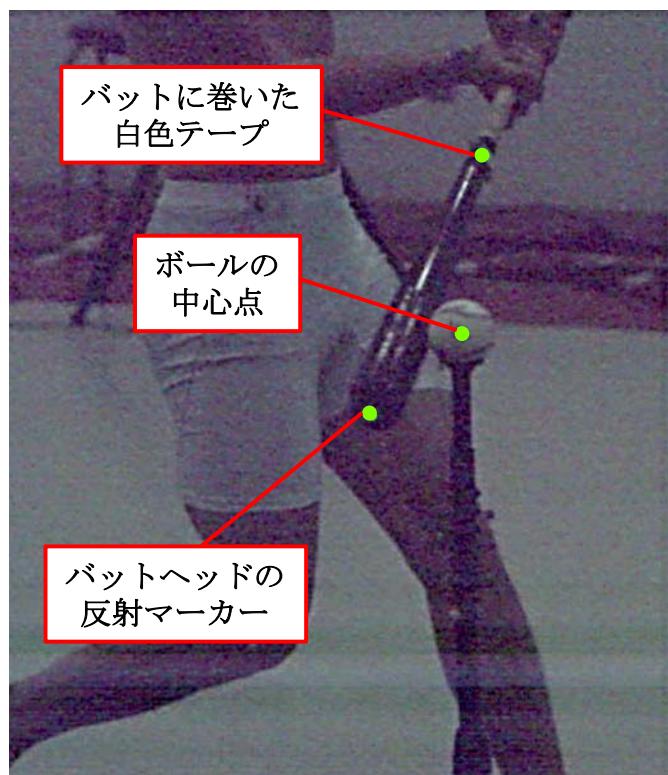
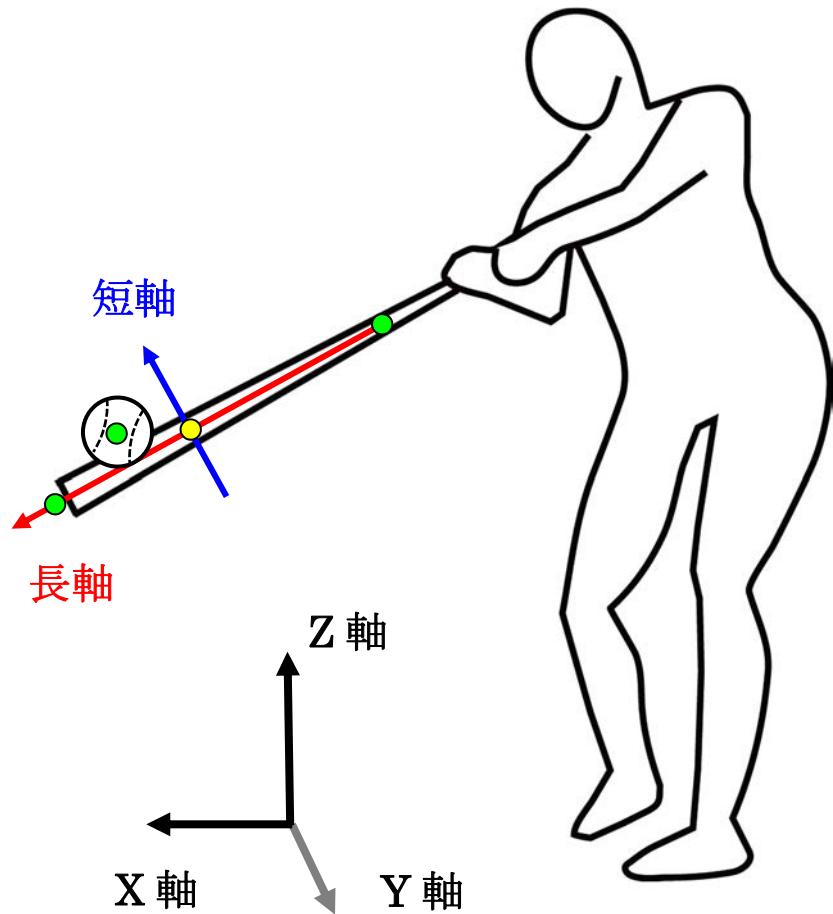


図 7 インパクト時点における特徴点のデジタイズ（一対象者の例）

取得した三次元座標値から、バットヘッド・グリップエンドに貼付した計 2 点の反射マーカーの座標値を用いて、バットヘッドからグリップエンド方向に 150 mm の位置を原点とし、グリップエンドからバットヘッドへ向かうバット長軸を定義した。次に、グローバル座標系の X 軸と Z 軸によって形成される XZ 平面上で、バット長軸に直行するバット短軸を定義した。さらに、バット長軸と短軸で構成される平面上に投影したボール中心位置の座標を、バット上におけるインパクト位置として求めた (Higuchi et al., 2013; Higuchi et al., 2016; 図 8)。



- デジタイズに用いた点
- バット座標系の原点

図 8 バット座標系の構築

また、インパクト位置の再現性を示す指標は、インパクト位置のバット長軸および短軸方向の標準偏差とした（図9）。なお、インパクト位置の変動性を視覚的に理解しやすいよう、バット長軸・短軸方向のインパクト位置の2標準偏差がなす長方形を図中に示した。また、上記の長方形の面積を全対象者について算出し、典型的な対象者を特定するために用いた。

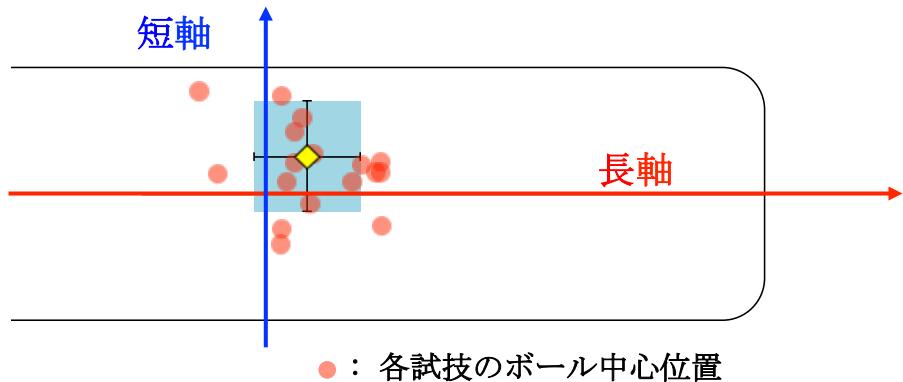


図9 インパクト位置の再現性指標（一対象者の例）

三次元動作解析システムにて取得したデータは、専用のソフトウェア上（Cortex Version2.1; Motion Analysis 社製）で各マーカー名の定義と補間作業を行った。また、編集したデータは、C3D ファイルとして出力し、動作解析用ソフトウェア（Visual 3D Version5; C-Motion 社製）を用いて分析を行った。三次元動作解析システムにて取得した反射マーカーのデータは、全て 1000 Hz にアップサンプリングした。

関節角度の算出に先立ち、胸郭・骨盤・右上腕・右前腕・右手部・左上腕・左前腕・左手部の 8 つのセグメントにより構成される剛体リンクモデルを作成した。関節座標系（図 10）ならびに座標系の回転順序は、国際バイオメカニクス学会（ISB）の推奨する方法に基づいて設定した（Wu et al., 2002; Wu et al., 2005）。その後、各対象者における骨盤セグメントのグローバル座標系に対する角度、体幹仮想関節角度（骨盤セグメントに対する胸郭セグメントの角度）、肩関節角度、肘関節角度、手関節角度を算出した。なお、本研究の対象者は、右打ち・左打ちの打者が混在していたため、解析では全ての角度データを右打者の場合に変換した上で処理を行った。また、上肢関節角度はいずれも左右両側の値を算出した。いずれのセグメント・関節についても、3 自由度を有するモデルを設定したため、本研究における剛体リンクモデルの自由度の合計は 24 自由度であった。各対象者の角度を算出した後、Yu et al. (1999) の手法を用いて最適遮断周波数（28 Hz）を決定し、各試技の角度波形に対し位相遅れのない 4 次のバタワースフィルタを用いて平滑化を行った。その後、各角度における試技間の標準偏差（SD）を、対象者ごとに算出した。

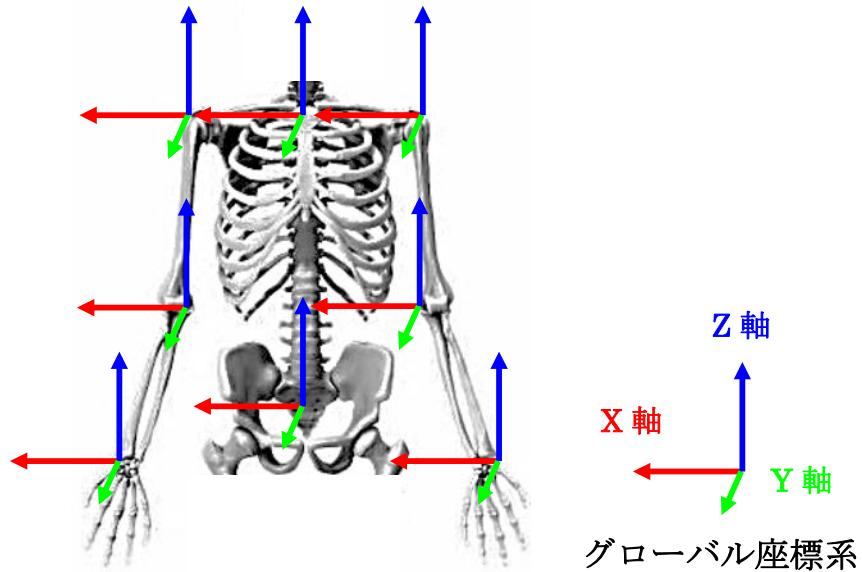


図 10 関節座標系の設定

解析に用いた動作時点は、スイングの開始時点 (SS 時点)・スイング中期開始時点 (MID 時点)・スイング後期開始時点 (LATE 時点)・インパクト時点 (IMP 時点) の 4 時点とした (Shaffer et al., 1993; 図 11). SS 時点は、グリップエンドに貼付した反射マーカーの投手方向への移動速度が  $1 \text{ m/s}$  を超えた時点と定義した. また, MID 時点はバットが地面に対して垂直となった時点, LATE 時点はバットが地面と平行になった時点と定義した (Shaffer et al., 1993). IMP 時点は、高速度ビデオカメラで撮影した映像において、ティーボールが動き出す直前の時点とした.

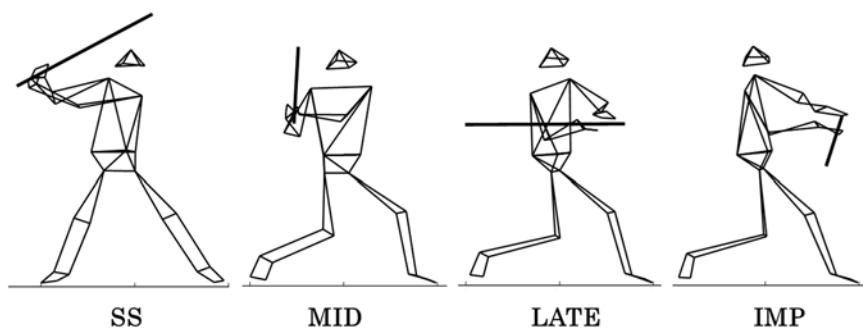


図 11 解析に用いた動作時点

なお、本研究では、右打者の右手を「押手」、左手を「引手」と表記した（図12）。左打者の場合では、左手が「押手」、右手が「引手」となる。

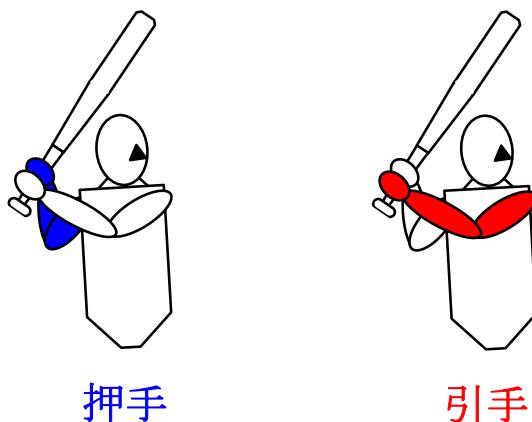


図12 「押手」および「引手」の定義（右打者の場合）

## 2-6 統計処理

本研究では、インパクト位置の再現性に関わる野球打撃動作の運動学的要因を特定するため、近年のバイオメカニクス研究で用いられている、パフォーマンス変数を従属変数、運動学的変数を独立変数とする重回帰分析を用いた（Bradshaw et al., 2009; Chu et al., 2010; Michaud-Paquette et al., 2011）。

まず、インパクト位置の再現性と各動作時点における骨盤セグメント角度・体幹仮想関節角度・上肢関節角度の標準偏差の関係について、ピアソンの積率相関係数を算出した。次に、相関係数が有意であった変数を用いて重回帰分析（ステップワイズ法）を行い、4つの時点それぞれについて回帰式を算出した。なお、本研究における有意水準は、全て5%未満とした。統計処理には、統計解析ソフト（SPSS Statistics Version 23; IBM 社製）を用いた。

## 第3章 結果

### 3-1 インパクト位置の分布および再現性

図13および図14には、各対象者におけるバット上のインパクト位置の分布を示した。図中の赤丸は、各試技におけるインパクト位置を示す。なお、インパクト位置の再現性を示すバット長軸・短軸方向の2標準偏差がなす面積を、水色の長方形にて示した。

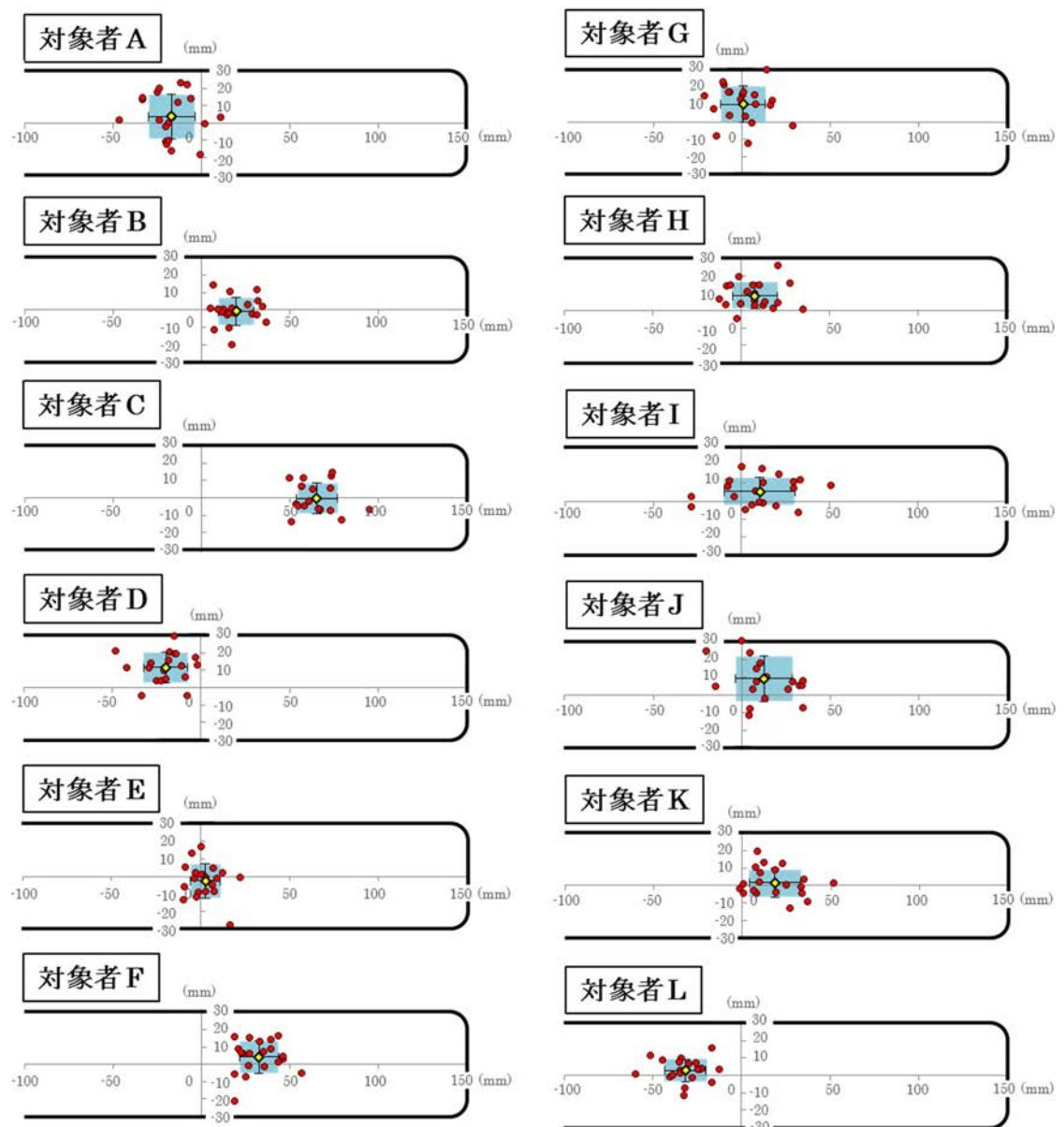


図13 対象者A-Lにおけるインパクト位置の分布

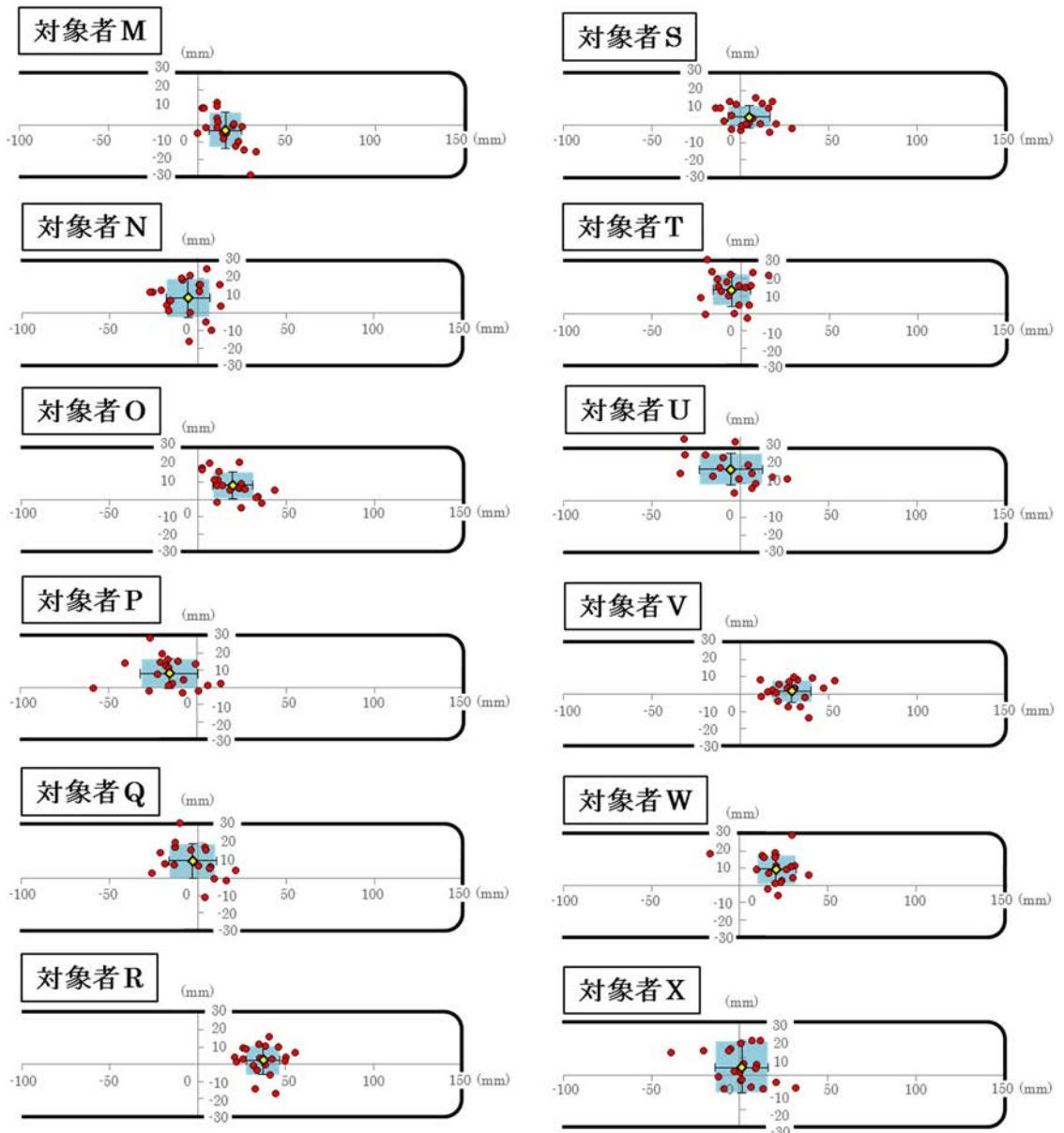


図 14 対象者 M-X におけるインパクト位置の分布

図 13 および図 14 から、平均値周辺にインパクト位置が収束している打者（例：対象者 V）、バット長軸方向にインパクト位置の大きなばらつきが見られる打者（例：対象者 I）、バット短軸および長軸方向にインパクト位置の大きなばらつきが見られる打者（例：対象者 J）が観察された。

また、表1には、バット座標系の原点からインパクト位置までの距離の平均値および標準偏差を、対象者ごとに示した。インパクト位置の再現性を長軸・短軸方向の距離の2標準偏差がなす面積として評価した際、対象者Jが最も低い再現性を示し、対象者Vが最も高い再現性を示した。

表1 各対象者におけるバット座標系の原点からインパクト位置までの距離の平均値および標準偏差（対象者Jおよび対象者Vは、青色で示した）

対象者	長軸方向の距離 (mm)			短軸方向の距離 (mm)			長軸・短軸方向の距離の2標準偏差がなす面積 (mm <sup>2</sup> )
	平均値	± 標準偏差		平均値	± 標準偏差		
A	-16.9	± 13.1		3.8	± 13.0		678.5
B	19.5	± 10.0		-0.8	± 8.0		320.9
C	65.2	± 11.5		-0.3	± 8.8		405.6
D	-19.9	± 12.2		11.5	± 8.8		430.9
E	2.6	± 8.5		-2.6	± 9.8		331.6
F	32.4	± 11.1		4.2	± 9.4		419.0
G	0.6	± 12.6		10.3	± 10.6		534.1
H	7.8	± 12.7		8.6	± 7.6		383.8
I	10.4	± 20.0		5.5	± 7.8		620.2
J	12.4	± 16.0		9.2	± 13.0		836.1
K	18.4	± 14.4		1.6	± 8.2		471.3
L	-31.6	± 11.6		2.9	± 6.4		298.7
M	15.6	± 9.2		-3.2	± 10.3		380.2
N	-5.5	± 12.2		8.8	± 11.2		546.4
O	19.7	± 11.5		8.3	± 7.6		350.1
P	-15.9	± 16.2		8.1	± 8.8		568.5
Q	-2.8	± 13.3		9.6	± 9.9		525.7
R	37.2	± 9.5		2.5	± 8.3		316.9
S	5.2	± 11.7		4.8	± 6.5		304.8
T	-5.2	± 10.5		13.7	± 9.3		391.2
U	-5.5	± 17.8		18.0	± 9.1		645.2
V	29.1	± 11.1		1.7	± 6.4		283.9
W	20.5	± 11.2		9.5	± 8.4		376.1
X	1.1	± 14.9		4.3	± 9.8		582.6
平均値	8.1		12.6	5.8		9.0	458.4
標準偏差	21.0		2.8	5.2		1.8	143.3

### 3-2 骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度

#### 3-2-1 骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度波形の典型例

骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度波形の典型例を、図 15—図 19 に示す。図中には、対象者が行った全試技分の角度波形を重畠したグラフを記載した。図中左列の対象者 J は最もインパクト位置の再現性が低い打者、図中右列の対象者 V は最も再現性が高い打者を指す（インパクト位置の再現性を長軸・短軸方向の距離の 2 標準偏差がなす面積として評価した場合）。骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度波形における試技間の変動幅は、対象者 V に比べ、対象者 J のほうが大きい傾向が見られた。

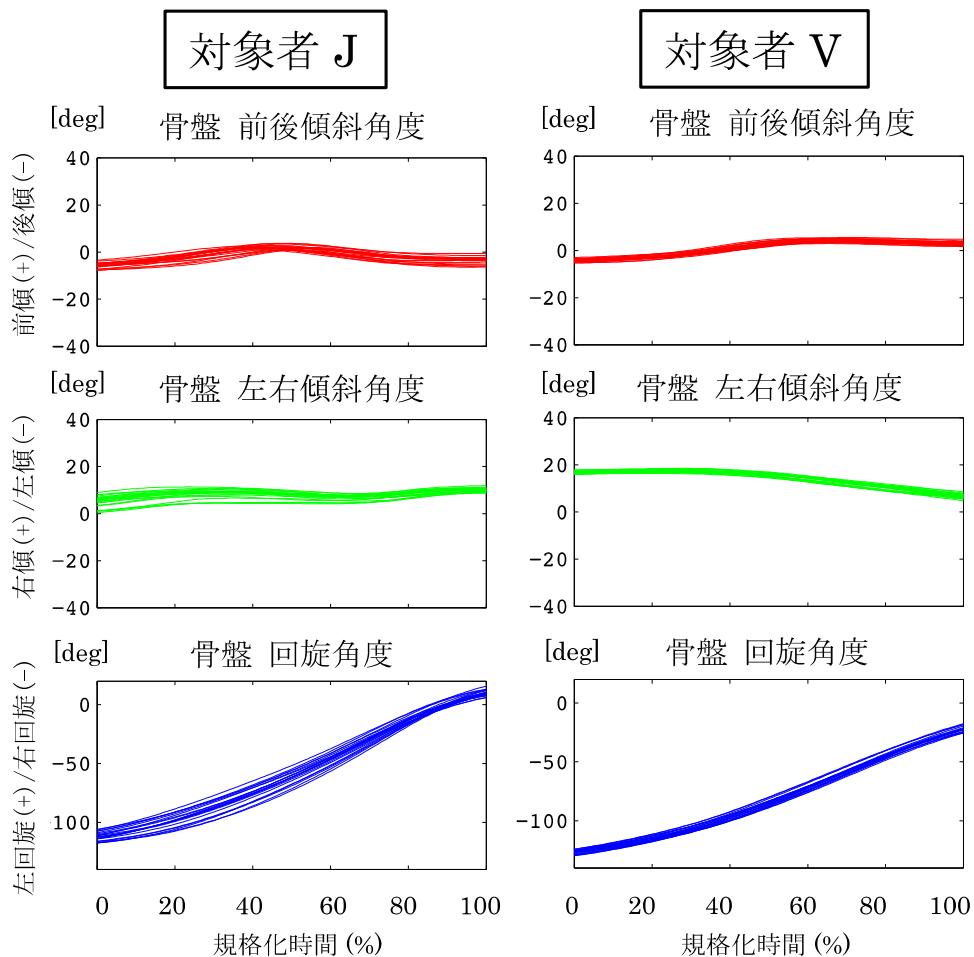
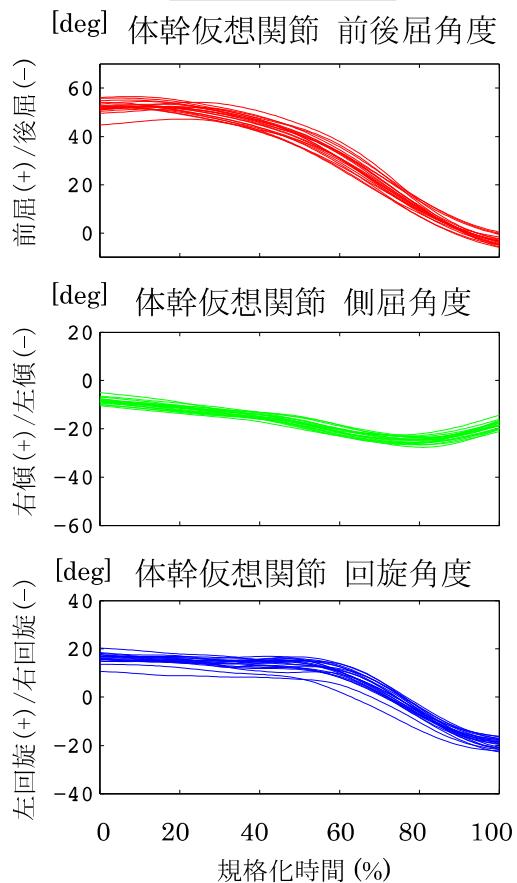


図 15 骨盤角度波形の典型例

対象者 J



対象者 V

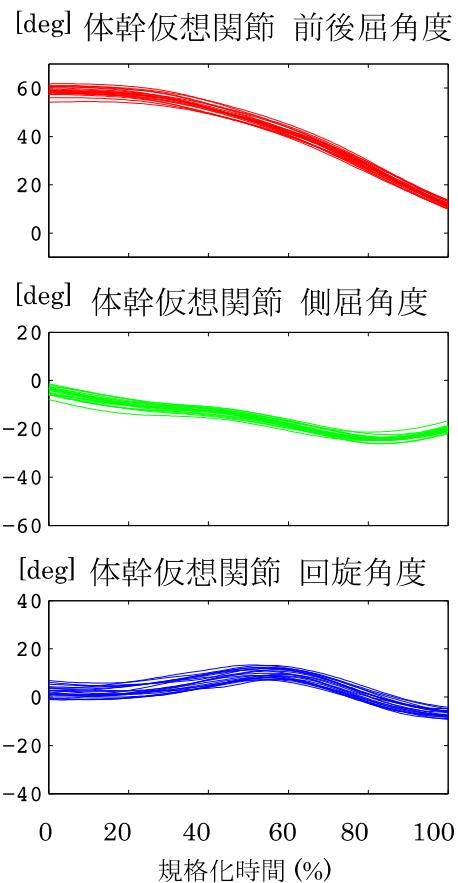


図 16 体幹仮想関節角度波形の典型例

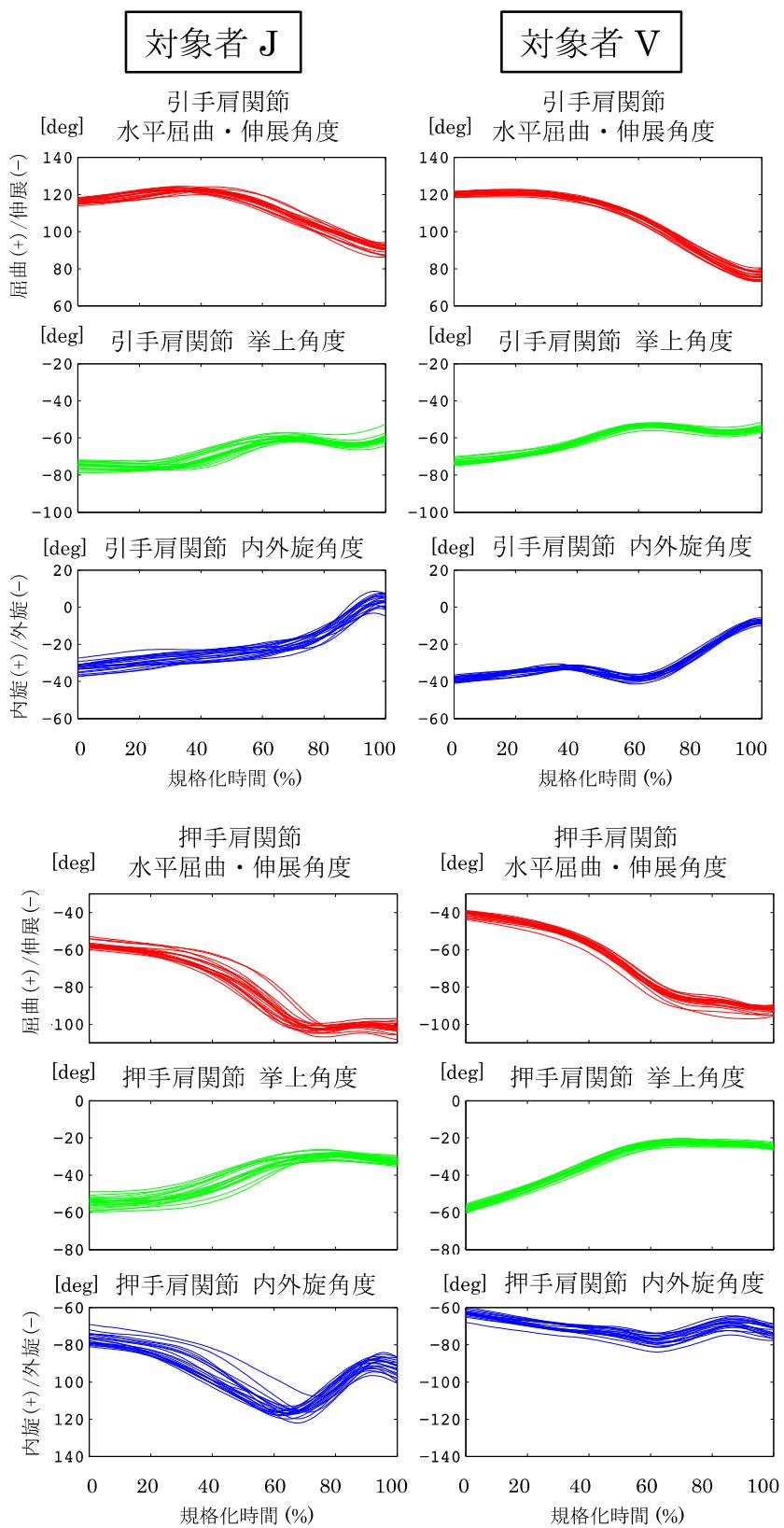


図 17 引手・押手肩関節角度波形の典型例

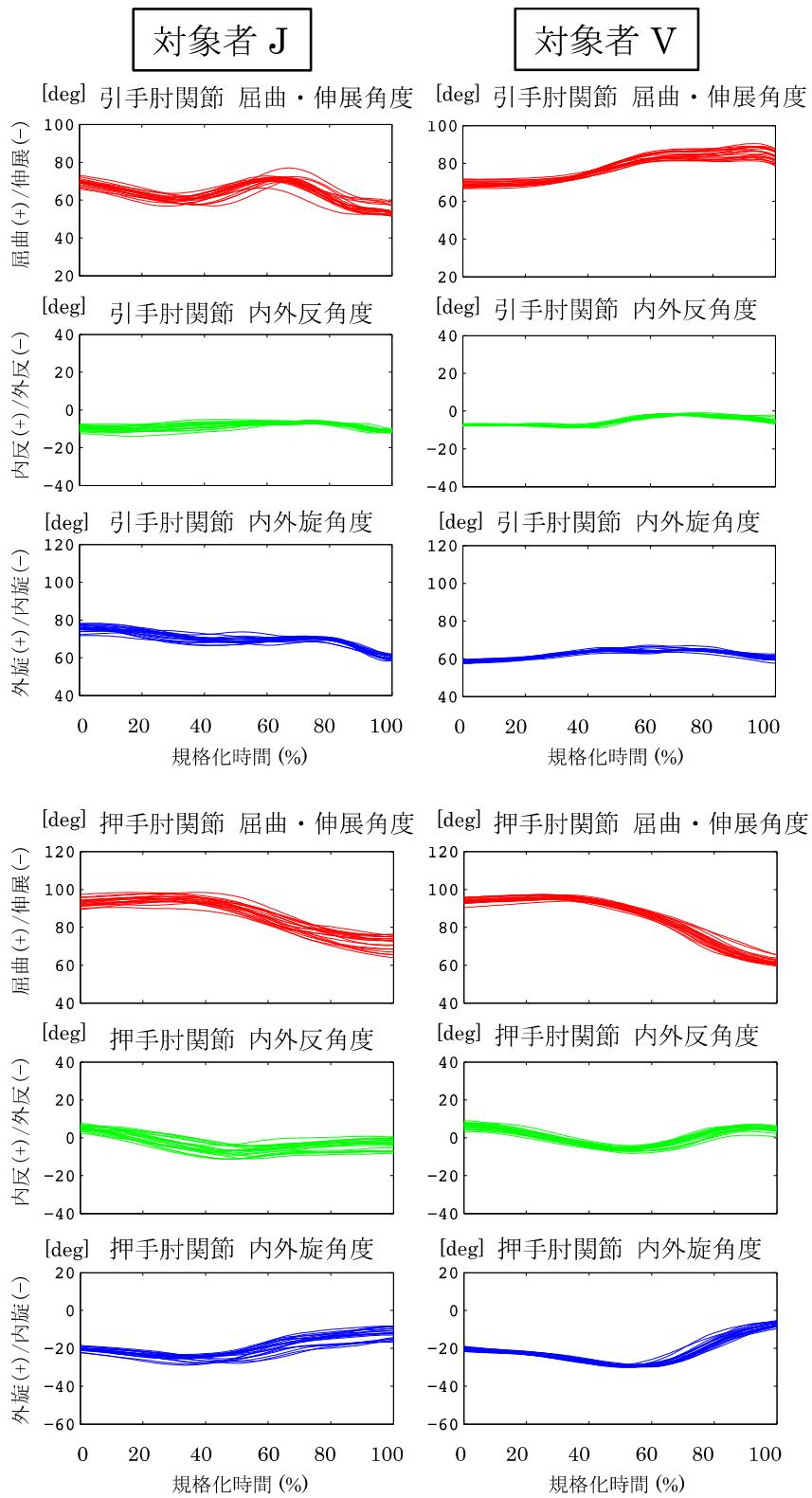


図 18 引手・押手肘関節角度波形の典型例

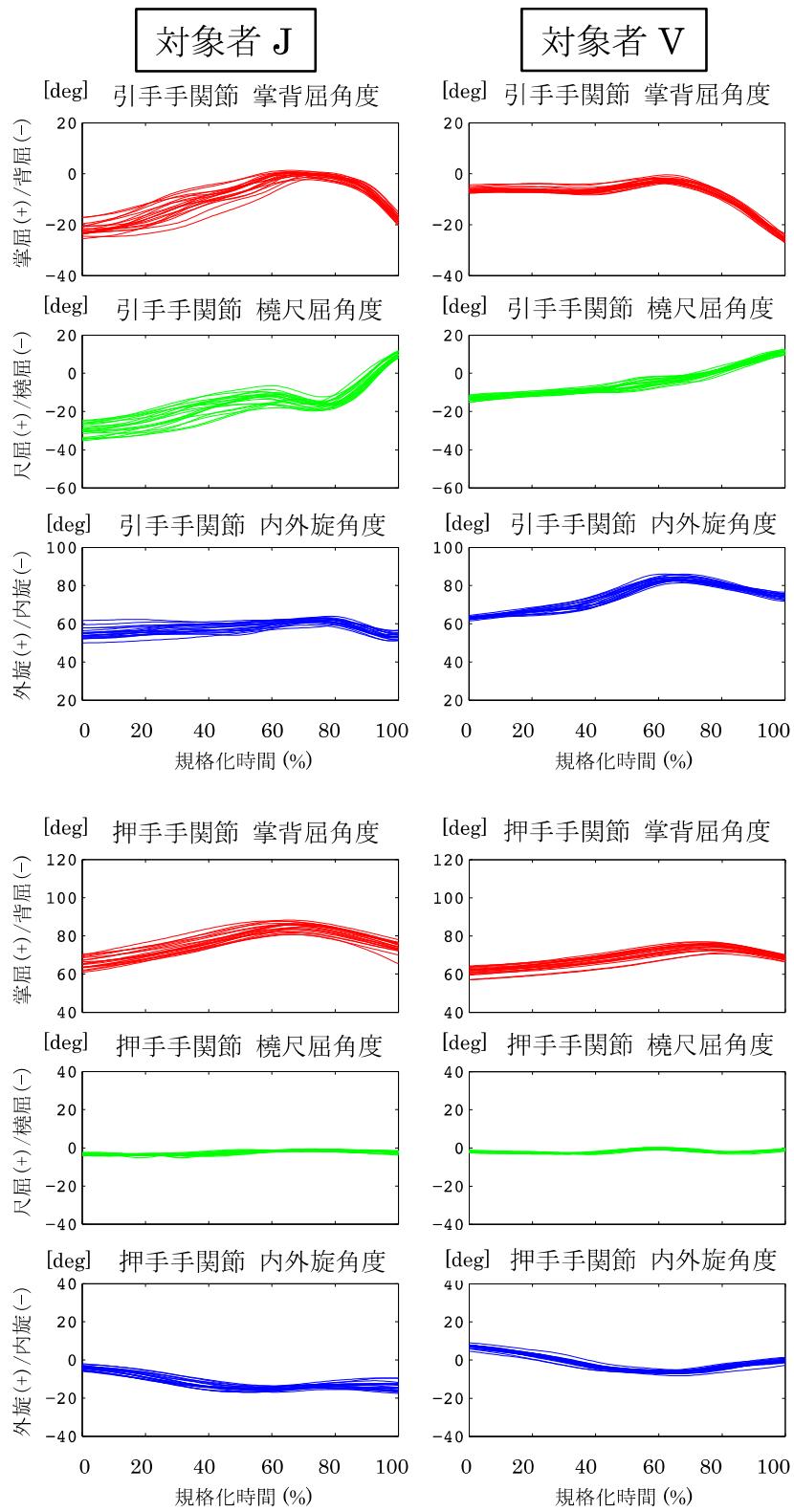


図 19 引手・押手手関節角度波形の典型例

### 3-2-2 各動作時点における骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度の平均値

表2-表4には、各動作時点における骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度の全対象者における平均値（± 標準偏差）を示した。

表2 SS・MID 時点における骨盤角度ならびに体幹・肩関節角度の平均値

関節	運動方向	角度 (deg)						
		SS			MID			
		平均値	±	標準偏差	平均値	±	標準偏差	
		( 最小値 - 最大値 )			( 最小値 - 最大値 )			
		-3.0	±	5.2	0.1	±	2.6	
		( -11.5	-	6.3 )	( -4.7	-	4.8 )	
骨盤	左右傾斜	6.1	±	5.5	5.2	±	5.1	
		( -4.2	-	17.3 )	( -3.0	-	16.7 )	
		-115.5	±	8.7	-72.8	±	11.9	
	回旋	( -130.8	-	-98.7 )	( -99.3	-	-48.7 )	
		3.1	±	11.1	2.8	±	9.6	
		( -16.2	-	20.6 )	( -14.6	-	15.8 )	
体幹	側屈	-4.8	±	5.3	8.3	±	3.6	
		( -15.7	-	5.0 )	( -0.1	-	13.9 )	
		-18.0	±	4.9	-19.6	±	5.9	
	回旋	( -27.7	-	-10.6 )	( -34.7	-	-9.3 )	
		116.9	±	6.7	111.8	±	8.0	
		( 107.4	-	130.4 )	( 95.3	-	125.8 )	
引手 肩関節	挙上	-72.5	±	5.5	-59.2	±	6.4	
		( -83.5	-	-62.1 )	( -73.7	-	-46.0 )	
		-42.7	±	10.8	-33.9	±	10.6	
	内外旋	( -60.9	-	-19.7 )	( -49.8	-	-4.7 )	
		水平	-44.1	±	11.6	-61.3	±	10.0
		伸展・屈曲	( -66.6	-	-16.4 )	( -77.4	-	-43.7 )
押手 肩関節	挙上	-60.2	±	9.4	-35.7	±	8.2	
		( -85.6	-	-44.0 )	( -48.8	-	-16.4 )	
		-53.4	±	12.3	-67.5	±	14.6	
	内外旋	( -81.4	-	-35.8 )	( -101.1	-	-44.2 )	

表3 LATE・IMP 時点における骨盤角度ならびに体幹・肩関節角度の平均値

関節	運動方向	角度 (deg)					
		LATE			IMP		
		平均値	± 標準偏差	( 最小値 - 最大値 )	平均値	± 標準偏差	( 最小値 - 最大値 )
骨盤	前後傾斜	-2.3	± 3.7	( -8.7 - 3.8 )	-1.1	± 6.7	( -10.9 - 11.2 )
	左右傾斜	3.4	± 4.0	( -5.0 - 10.4 )	3.9	± 3.5	( -5.2 - 10.0 )
	回旋	-33.8	± 10.3	( -58.0 - 13.5 )	-15.9	± 9.8	( -38.3 - 10.0 )
体幹 仮想関節	前後屈	4.6	± 5.0	( -5.8 - 14.9 )	-0.5	± 4.8	( -9.6 - 11.0 )
	側屈	13.1	± 3.1	( 6.9 - 17.9 )	13.9	± 3.1	( 7.5 - 19.3 )
	回旋	-7.7	± 5.4	( -19.0 - 0.7 )	2.0	± 5.1	( -7.0 - 13.9 )
引手 肩関節	水平 伸展・屈曲	86.6	± 8.7	( 72.5 - 101.8 )	77.4	± 8.5	( 60.4 - 90.7 )
	挙上	-54.7	± 4.8	( -63.6 - 44.3 )	-53.0	± 5.6	( -63.1 - 40.9 )
	内外旋	-14.9	± 11.1	( -40.2 - 11.6 )	0.6	± 12.2	( -38.0 - 23.8 )
押手 肩関節	水平 伸展・屈曲	-90.8	± 11.5	( -109.2 - 65.5 )	-93.3	± 11.2	( -116.5 - 69.6 )
	挙上	-24.2	± 4.9	( -37.9 - 16.4 )	-24.9	± 5.4	( -41.2 - 14.9 )
	内外旋	-74.5	± 18.0	( -107.7 - 37.9 )	-72.3	± 17.8	( -105.1 - 37.4 )

表4 SS・MID 時点における上肢関節角度の平均値（肘関節・手関節）

関節	運動方向	角度 (deg)					
		SS			MID		
		平均値	± 標準偏差	( 最小値 - 最大値 )	平均値	± 標準偏差	( 最小値 - 最大値 )
引手 肘関節	屈曲伸展	75.0	± 11.8	( 47.8 - 93.9 )	77.6	± 11.8	( 53.6 - 97.2 )
	内外反	-5.8	± 5.6	( -17.4 - 5.5 )	-5.1	± 5.4	( -15.8 - 7.7 )
	内外旋	68.7	± 6.2	( 53.1 - 79.5 )	72.8	± 5.5	( 60.1 - 80.9 )
押手 肘関節	屈曲伸展	119.8	± 10.1	( 98.5 - 135.0 )	119.4	± 9.2	( 95.2 - 130.3 )
	内外反	-6.6	± 5.1	( -14.2 - 6.4 )	-6.8	± 4.4	( -17.3 - 2.5 )
	内外旋	52.0	± 7.3	( 34.6 - 63.6 )	53.6	± 8.2	( 34.0 - 64.8 )
引手 手関節	掌背屈	-20.6	± 10.6	( -41.4 - 0.2 )	-11.3	± 10.3	( -36.6 - 8.9 )
	橈尺屈	-31.7	± 11.9	( -68.9 - 13.3 )	-26.6	± 11.6	( -61.9 - 8.4 )
	内外旋	48.9	± 11.0	( 30.6 - 70.6 )	57.9	± 11.4	( 37.6 - 77.5 )
押手 手関節	掌背屈	-36.9	± 10.6	( -51.2 - 13.9 )	-47.6	± 12.5	( -71.8 - 21.6 )
	橈尺屈	-25.3	± 8.7	( -43.9 - 12.4 )	-39.1	± 9.6	( -58.0 - 14.7 )
	内外旋	28.3	± 8.6	( 15.2 - 49.9 )	19.6	± 8.9	( 1.1 - 40.0 )

表 5 LATE・IMP 時点における上肢関節角度の平均値（肘関節・手関節）

関節	運動方向	角度 (deg)					
		LATE			IMP		
		平均値	± 標準偏差	( 最小値 - 最大値 )	平均値	± 標準偏差	( 最小値 - 最大値 )
引手 肘関節	屈曲伸展	75.7	± 10.4		68.3	± 9.4	
		( 47.8	- 92.8 )	( 41.2	- 83.6 )		
		-5.9	± 5.2		-8.7	± 4.8	
	内外反	( -17.6	- 5.7 )	( -18.2	- 0.1 )		
		71.5	± 7.0		63.9	± 8.9	
		( 56.2	- 81.4 )	( 43.9	- 79.4 )		
押手 肘関節	屈曲伸展	100.9	± 8.2		78.3	± 9.1	
		( 82.7	- 113.4 )	( 59.9	- 98.6 )		
		-9.9	± 4.8		-13.6	± 5.3	
	内外反	( -17.4	- -0.7 )	( -22.6	- -2.2 )		
		44.8	± 7.9		20.5	± 5.8	
		( 33.4	- 59.2 )	( 6.2	- 30.5 )		
引手 手関節	掌背屈	-7.9	± 8.6		-18.6	± 4.2	
		( -27.8	- 6.4 )	( -25.6	- -10.7 )		
		-10.1	± 9.9		16.5	± 6.2	
	橈尺屈	( -36.1	- 10.3 )	( -0.8	- 27.6 )		
		62.2	± 9.7		57.4	± 8.5	
		( 47.4	- 80.6 )	( 42.1	- 74.4 )		
押手 手関節	掌背屈	-66.8	± 10.1		-48.9	± 11.4	
		( -83.7	- -44.5 )	( -73.5	- -31.8 )		
		-31.7	± 6.1		-2.0	± 6.0	
	内外旋	( -41.3	- -16.6 )	( -11.5	- 16.1 )		
		-6.2	± 6.6		0.6	± 7.5	
		( -17.5	- 4.6 )	( -12.6	- 18.3 )		

### 3-2-3 各動作時点における骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度の標準偏差

表6には、各対象者の骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度に対して求めた標準偏差を、全対象者で平均した値（± 標準偏差）を示した。なお、各値は4つの動作時点ごとに示した。

表6 各動作時点における骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度の標準偏差

関節	運動方向	角度の標準偏差 (deg)											
		SS			MID			LATE			IMP		
		平均値	±	標準偏差		平均値	±	標準偏差		平均値	±	標準偏差	
骨盤	前後傾斜	1.00	±	0.40	0.95	±	0.36	0.93	±	0.45	1.05	±	0.45
	左右傾斜	1.12	±	0.49	1.02	±	0.42	0.92	±	0.27	0.88	±	0.24
	回旋	2.80	±	1.05	2.76	±	0.79	2.29	±	0.63	2.28	±	0.56
体幹 仮想関節	前後屈	1.35	±	0.55	1.12	±	0.47	1.15	±	0.34	1.23	±	0.39
	側屈	1.14	±	0.53	0.93	±	0.31	0.78	±	0.30	0.80	±	0.31
	回旋	1.48	±	0.67	1.16	±	0.44	1.06	±	0.35	1.06	±	0.35
引手 肩関節	水平 伸展・屈曲	1.39	±	0.34	1.40	±	0.37	1.86	±	0.52	2.50	±	0.84
	拳上	1.65	±	0.65	1.23	±	0.39	1.33	±	0.41	1.51	±	0.57
	内外旋	1.79	±	0.88	2.10	±	0.92	2.07	±	1.11	2.17	±	1.27
押手 肩関節	水平 伸展・屈曲	2.00	±	0.96	2.75	±	0.99	2.59	±	0.72	2.63	±	0.85
	拳上	2.08	±	1.01	1.65	±	0.59	1.41	±	0.45	1.45	±	0.42
	内外旋	2.24	±	0.92	2.85	±	1.15	3.81	±	1.35	4.26	±	1.52
引手 肘関節	屈曲伸展	1.54	±	0.55	1.60	±	0.56	2.03	±	0.53	2.71	±	0.89
	内外反	0.44	±	0.28	0.82	±	0.47	0.48	±	0.17	0.63	±	0.18
	内外旋	1.02	±	0.37	1.11	±	0.40	0.88	±	0.28	1.69	±	0.76
押手 肘関節	屈曲伸展	1.29	±	0.69	1.31	±	0.43	1.61	±	0.41	2.35	±	0.47
	内外反	0.44	±	0.20	0.53	±	0.31	1.56	±	1.41	1.25	±	1.39
	内外旋	0.92	±	0.37	1.02	±	0.42	1.72	±	0.95	1.64	±	0.70
引手 手関節	掌背屈	1.85	±	1.00	2.11	±	1.19	1.28	±	0.43	1.36	±	0.40
	橈尺屈	1.84	±	0.79	1.94	±	0.59	2.28	±	0.57	1.60	±	0.53
	内外旋	2.02	±	1.13	1.84	±	1.01	1.27	±	0.47	1.71	±	0.62
押手 手関節	掌背屈	2.00	±	0.96	2.56	±	0.92	1.94	±	0.68	2.96	±	0.74
	橈尺屈	1.82	±	0.70	1.68	±	0.56	1.86	±	0.85	1.92	±	0.57
	内外旋	1.83	±	0.81	2.17	±	0.75	1.48	±	0.53	1.77	±	0.46

また、図 20-図 27 には、各対象者の骨盤角度、体幹・上肢関節角度に対して求めた標準偏差を、全対象者で平均した値（ $\pm$  標準偏差）を棒グラフとして示した。各値は、4つの動作時点ごとで示した。同一の関節においても、運動方向ごとで異なる値および時系列推移の傾向を示す部位が見られた。また、IMP 時点における押手肩関節内外旋角度の標準偏差は、全変数の中で最も高値を示したが、6 deg の範囲には収まっていた（図 23）。

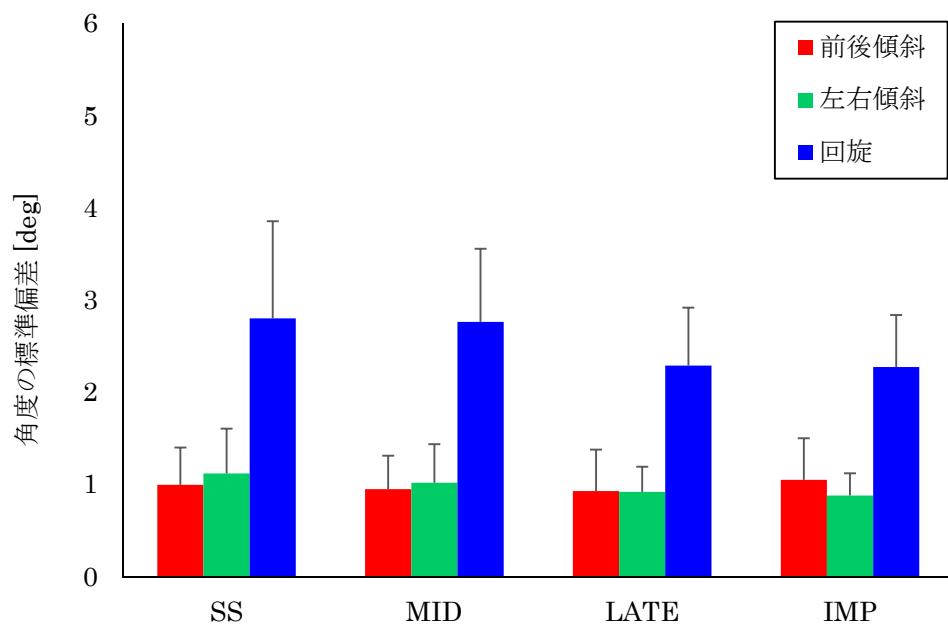


図 20 各動作時点における骨盤角度の標準偏差

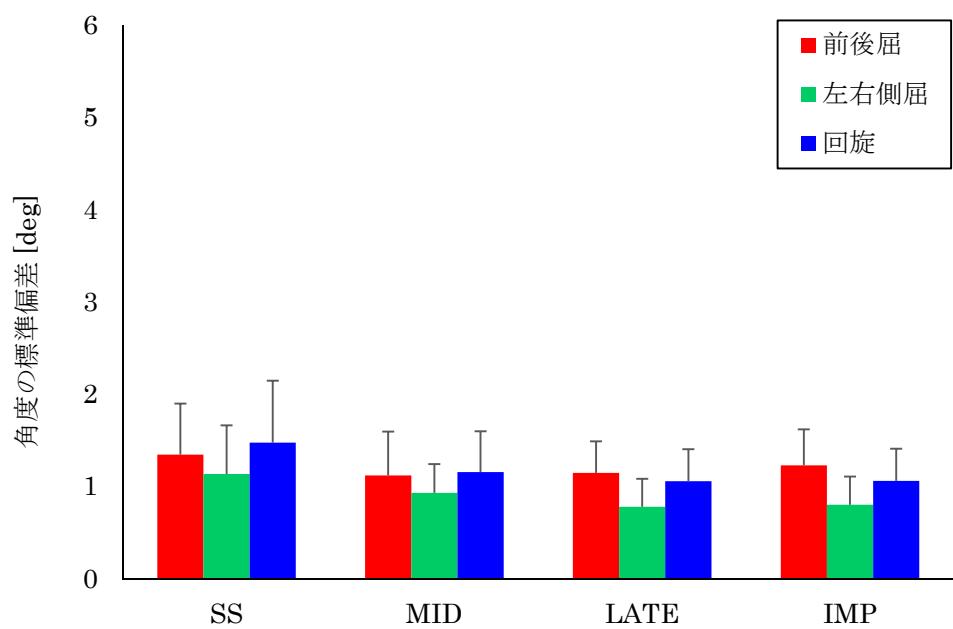


図 21 各動作時点における体幹仮想関節角度の標準偏差

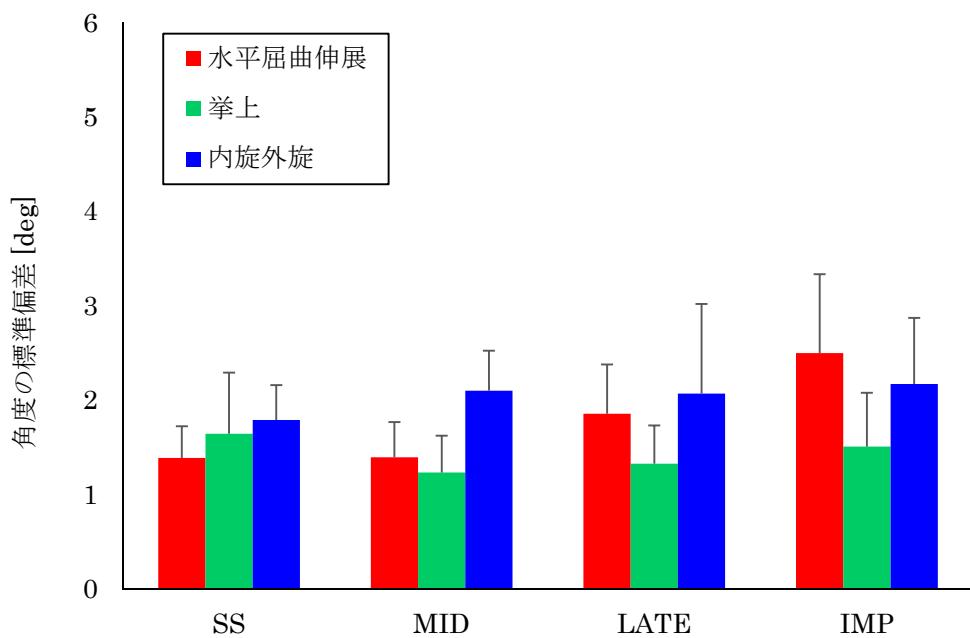


図 22 各動作時点における引手肩関節角度の標準偏差

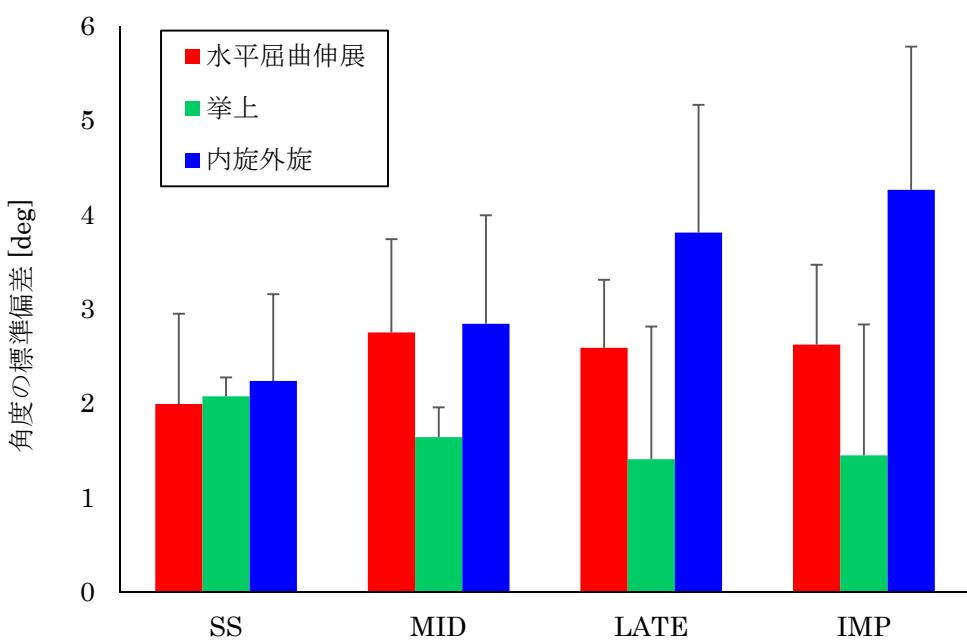


図 23 各動作時点における押手肩関節角度の標準偏差

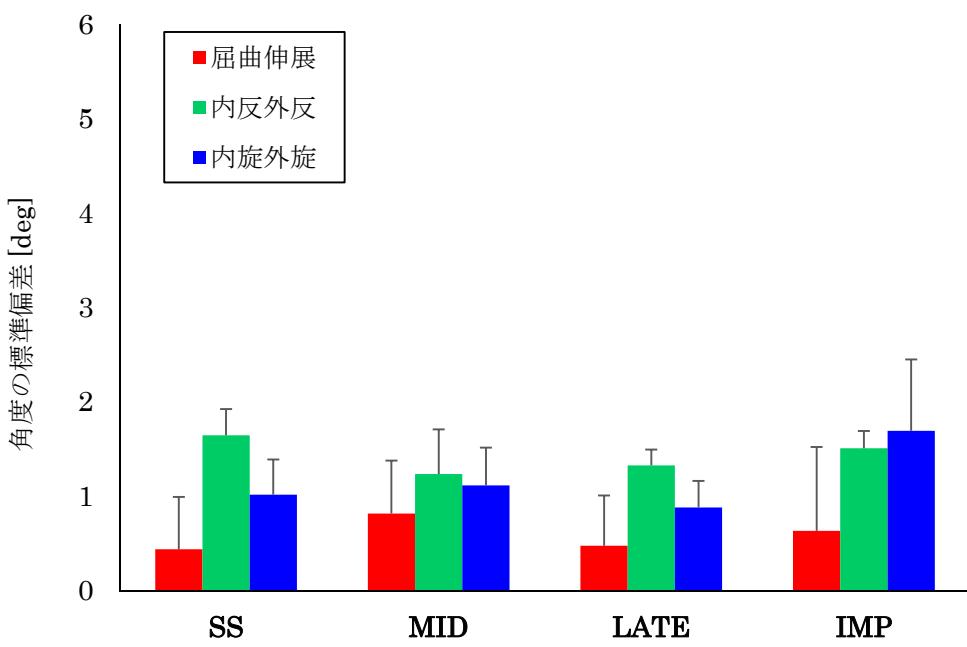


図 24 各動作時点における引手肘関節角度の標準偏差

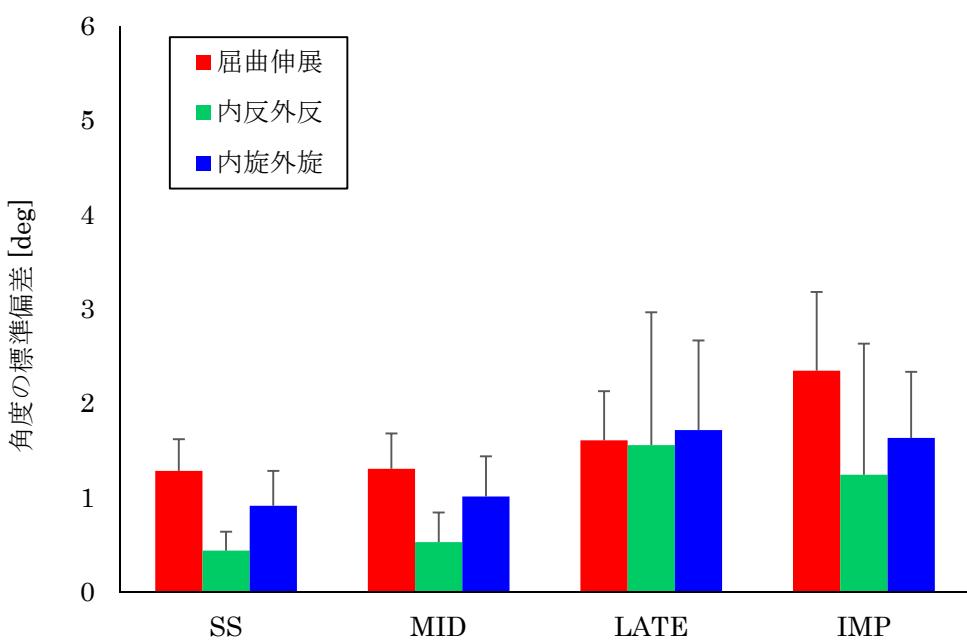


図 25 各動作時点における押手肘関節角度の標準偏差

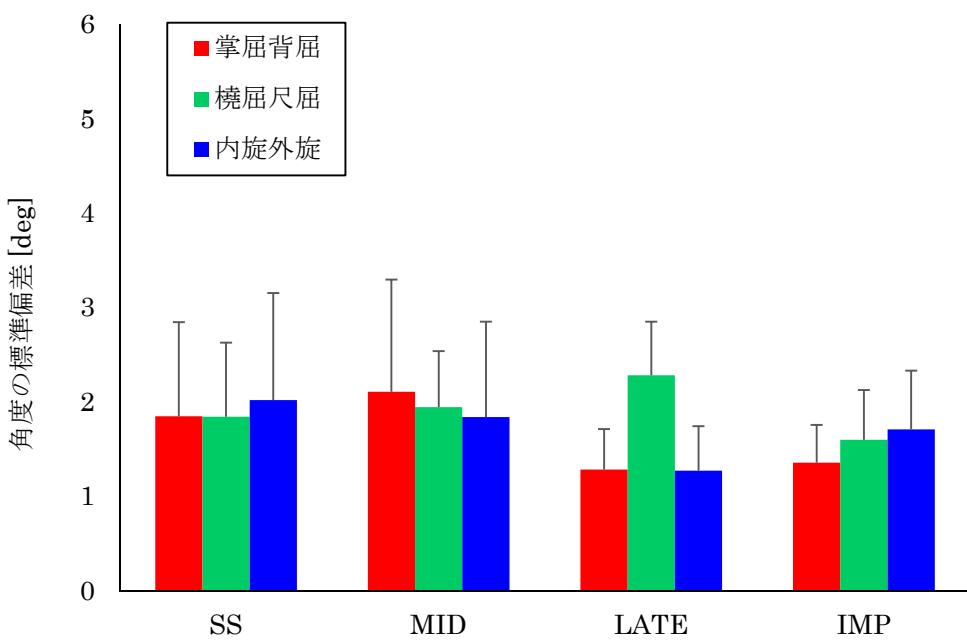


図 26 各動作時点における引手手関節角度の標準偏差

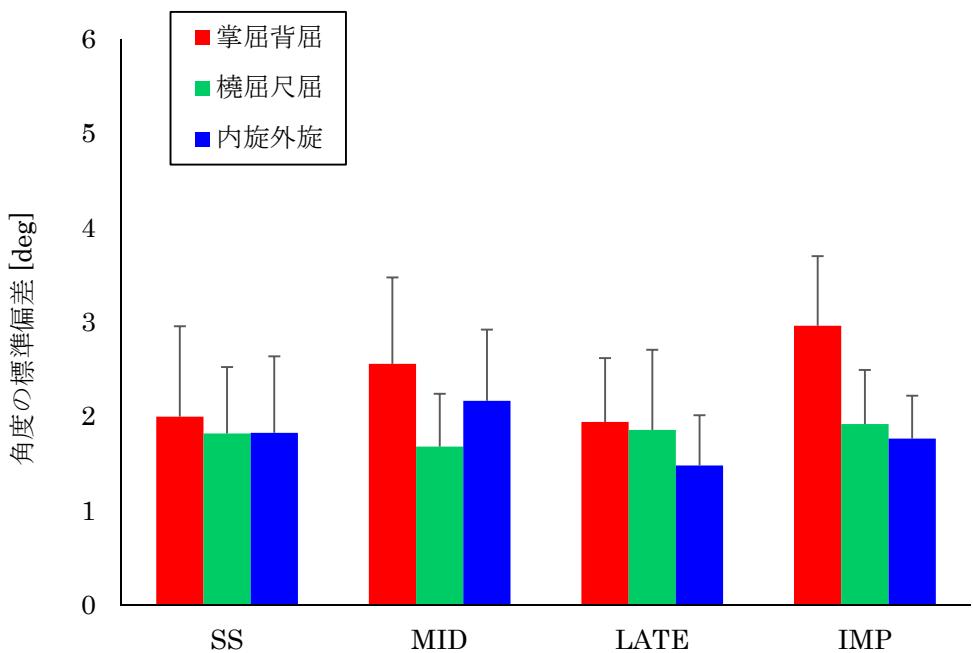


図 27 各動作時点における押手手関節角度の標準偏差

### 3-3 インパクト位置の再現性と骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度の変動性の関係

#### 3-3-1 インパクト位置の再現性と骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度の標準偏差の相関関係

図 28—図 35 には、骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度の標準偏差とバット長軸方向におけるインパクト位置の再現性指標に関する相関係数の時系列推移をグラフとして示した。なお、図中には、 $p$  値が 0.05 以上となる相関係数の範囲 ( $|r| < 0.406$ ) を、灰色にて示した。骨盤および上肢・体幹関節の各自由度において、相関係数の値は時間経過とともに増減しており、局面によっては有意な正の相関関係を示す自由度が見られた。一方、スイングの全局面を通じて、バット長軸方向におけるインパクト位置の再現性指標との相関係数が負値を示す自由度は見られなかった。

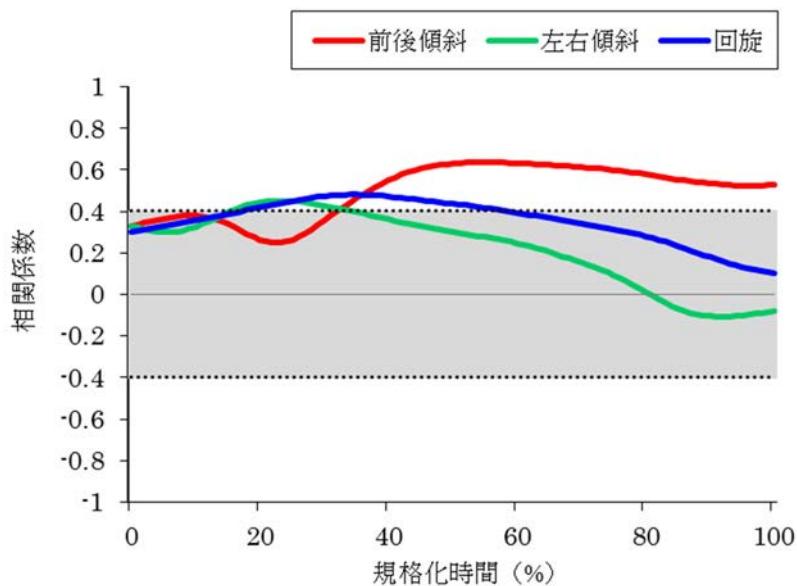


図 28 骨盤角度の標準偏差とバット長軸方向における  
インパクト位置の再現性指標に関する相関係数の時系列推移

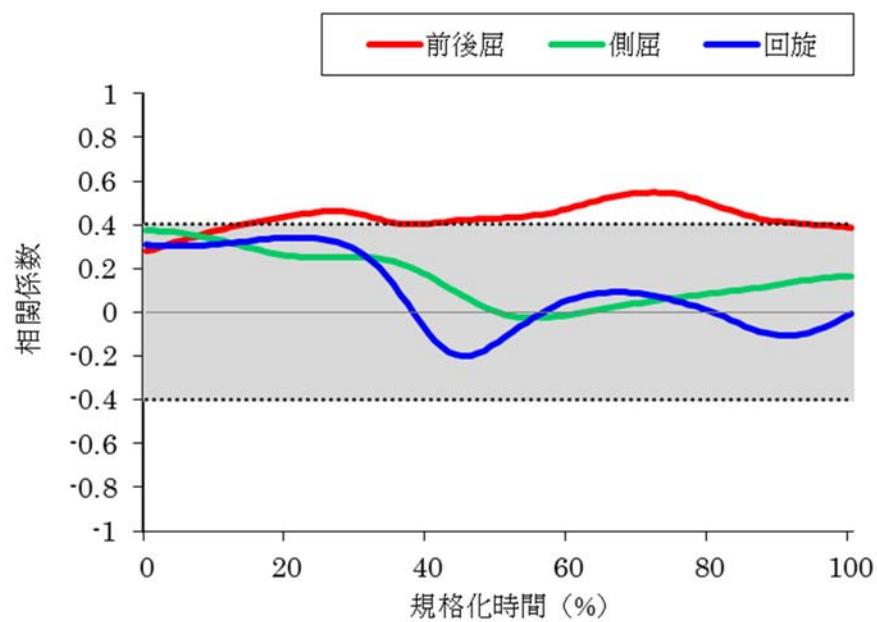


図 29 体幹仮想関節角度の標準偏差とバット長軸方向におけるインパクト位置の再現性指標に関する相関係数の時系列推移

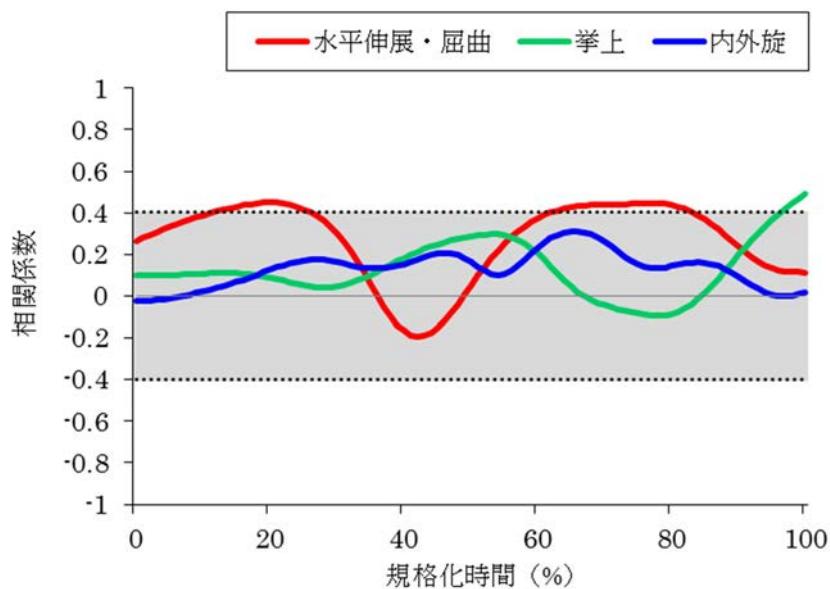


図 30 引手肩関節角度の標準偏差とバット長軸方向におけるインパクト位置の再現性指標に関する相関係数の時系列推移

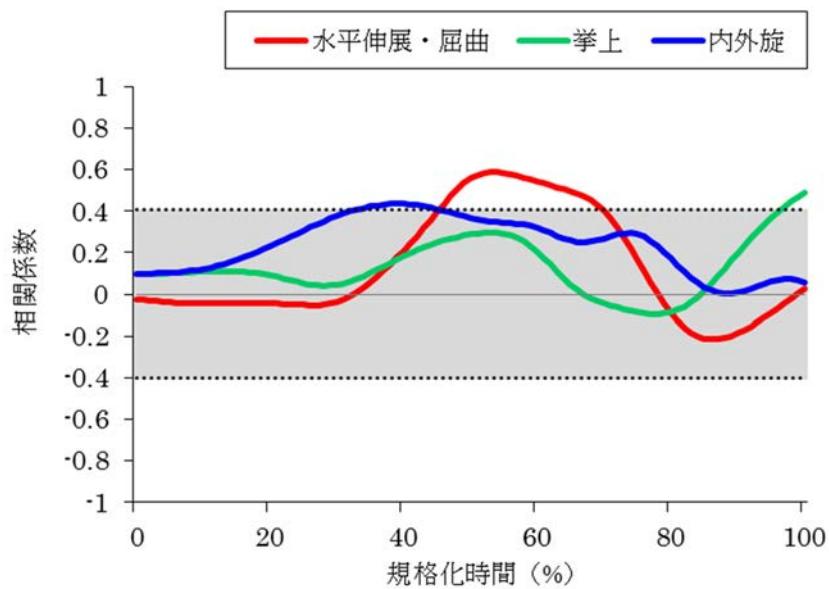


図 31 押手肩関節角度の標準偏差とバット長軸方向におけるインパクト位置の再現性指標に関する相関係数の時系列推移

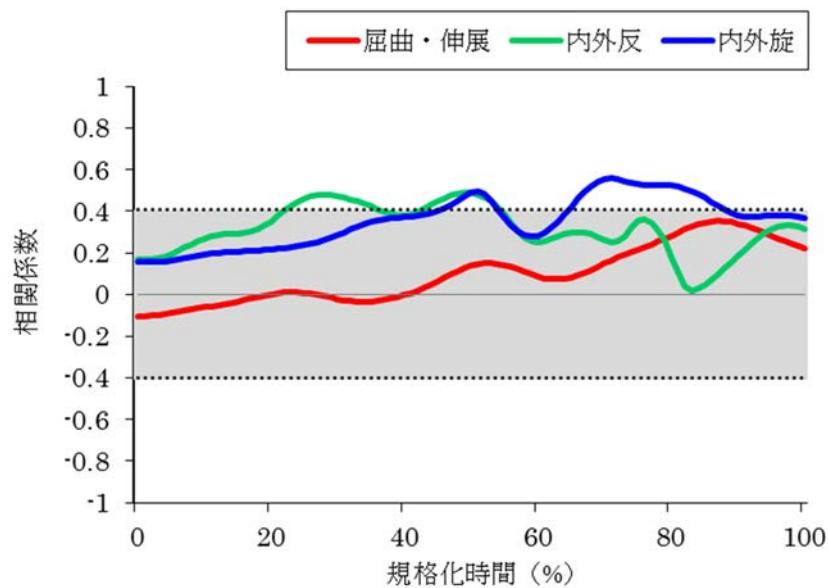


図 32 引手肘関節角度の標準偏差とバット長軸方向におけるインパクト位置の再現性指標に関する相関係数の時系列推移

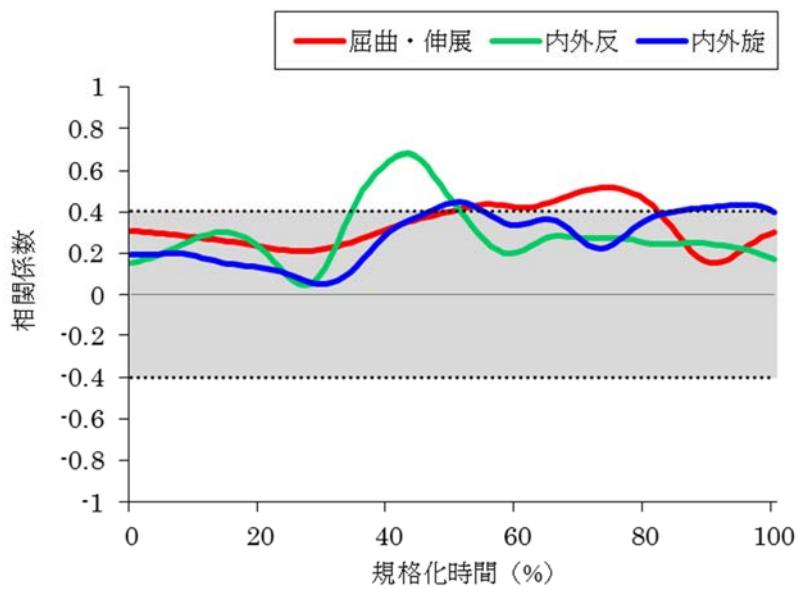


図 33 押手肘関節角度の標準偏差とバット長軸方向における  
インパクト位置の再現性指標に関する相関係数の時系列推移

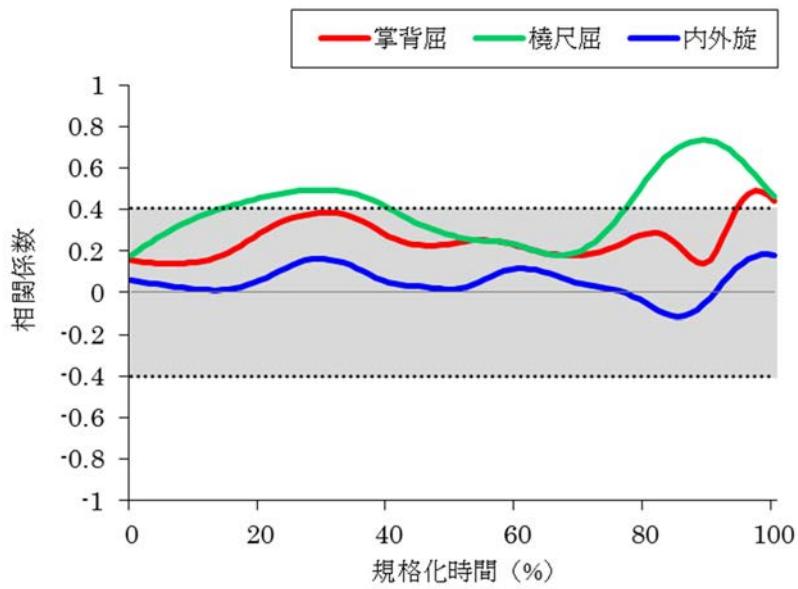


図 34 引手手関節角度の標準偏差とバット長軸方向における  
インパクト位置の再現性指標に関する相関係数の時系列推移

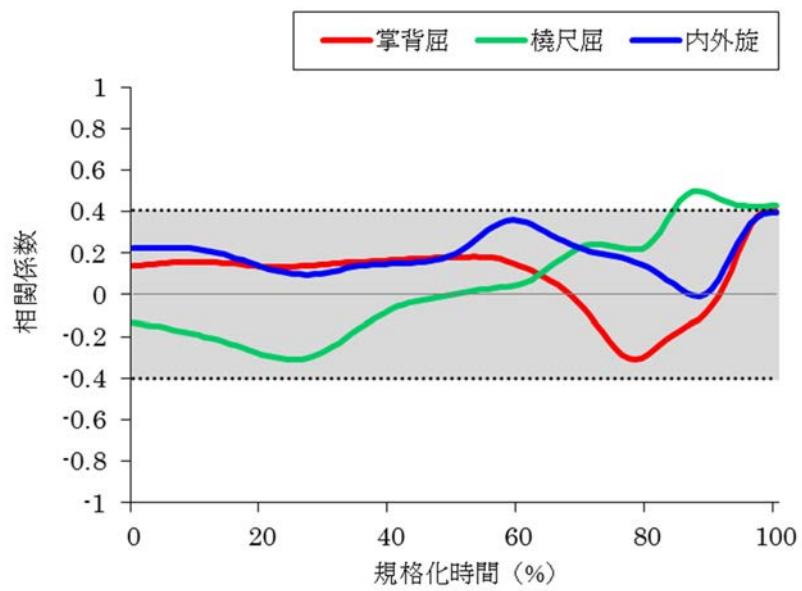


図 35 押手手関節角度の標準偏差とバット長軸方向におけるインパクト位置の再現性指標に関する相関係数の時系列推移

また、図36-図43には、骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度の標準偏差とインパクト位置の短軸方向の再現性に関する相関係数の時系列推移をグラフとして示した。なお、図中には、 $p$ 値が0.05以上となる相関係数の範囲 ( $|r| < 0.406$ ) を、灰色にて示した。

骨盤および上肢・体幹関節の各自由度において、相関係数の値は時間経過とともに増減しており、局面によっては有意な正の相関関係を示す自由度が見られた。一方、スイングの全局面を通じて、バット長軸方向におけるインパクト位置の再現性指標との相関係数が負値を示す自由度は見られなかった。

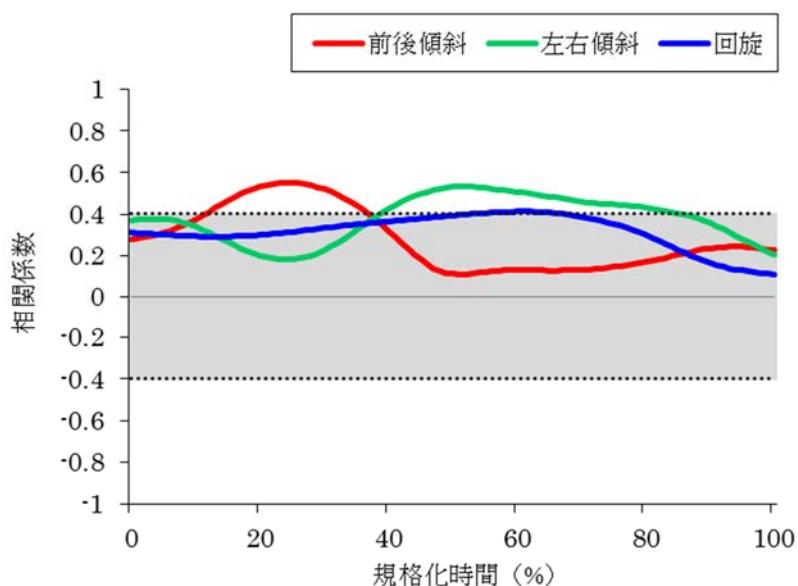


図36 骨盤角度の標準偏差とバット短軸方向における  
インパクト位置の再現性指標に関する相関係数の時系列推移

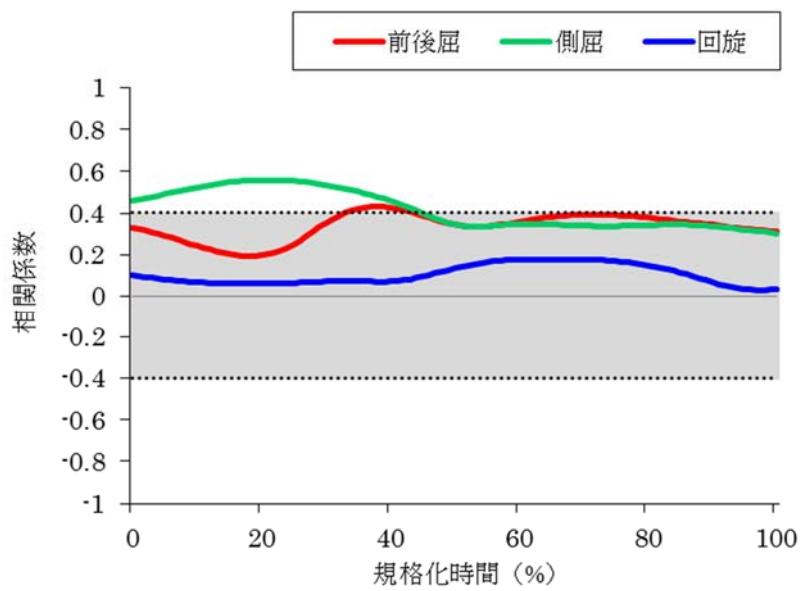


図 37 体幹仮想関節角度の標準偏差とバット短軸方向におけるインパクト位置の再現性指標に関する相関係数の時系列推移

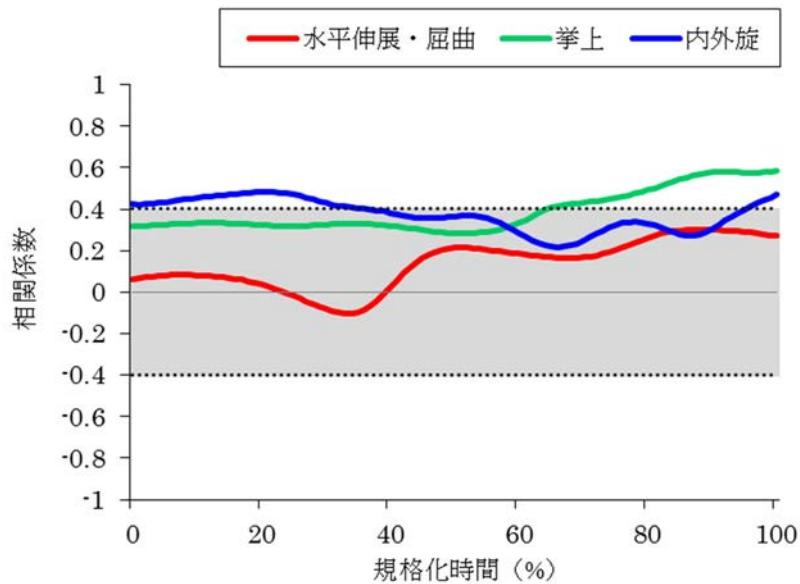


図 38 引手肩関節角度の標準偏差とバット短軸方向におけるインパクト位置の再現性指標に関する相関係数の時系列推移

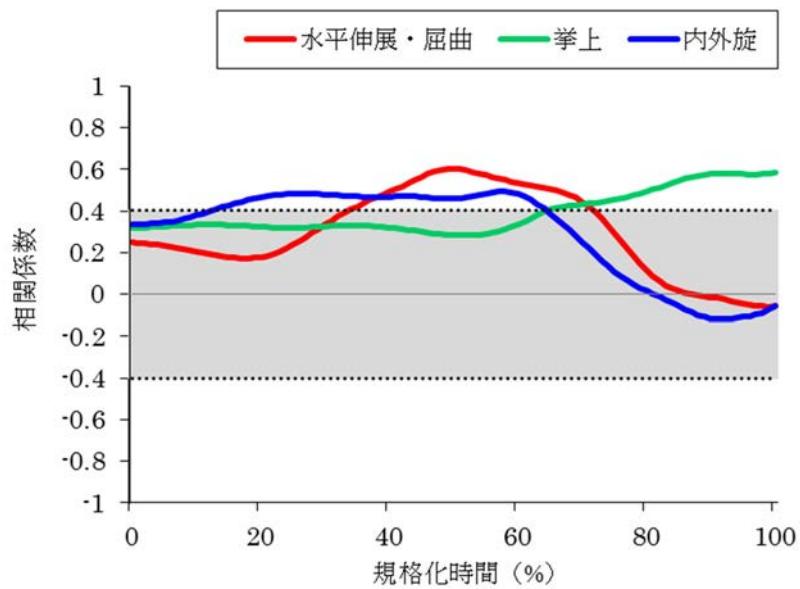


図 39 押手肩関節角度の標準偏差とバット短軸方向におけるインパクト位置の再現性指標に関する相関係数の時系列推移

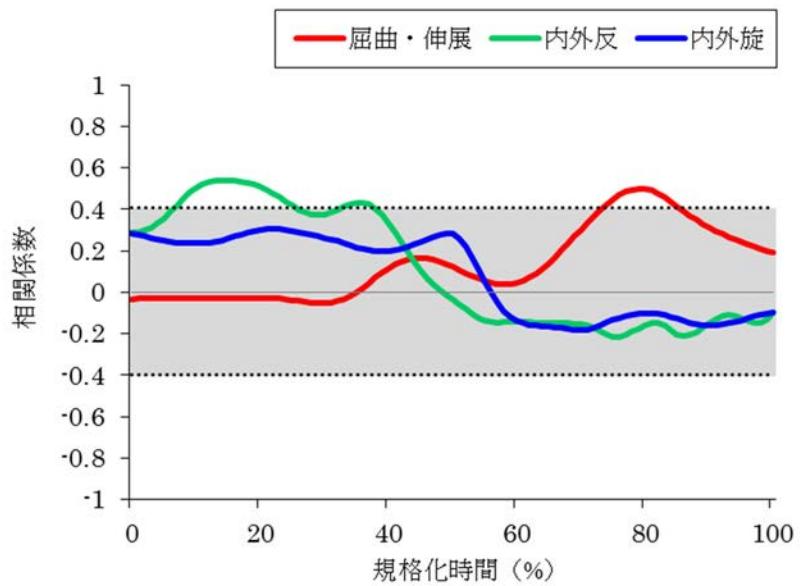


図 40 引手肘関節角度の標準偏差とバット短軸方向におけるインパクト位置の再現性指標に関する相関係数の時系列推移

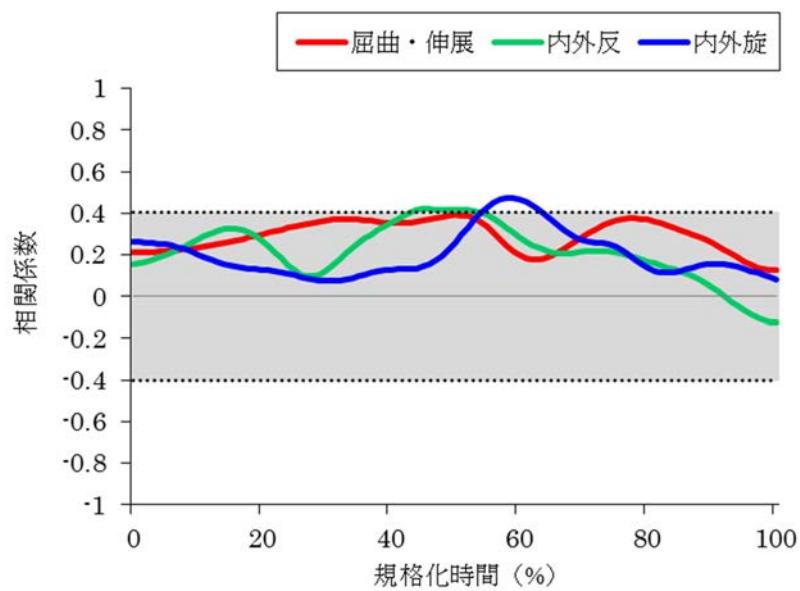


図 41 押手肘関節角度の標準偏差とバット短軸方向におけるインパクト位置の再現性指標に関する相関係数の時系列推移

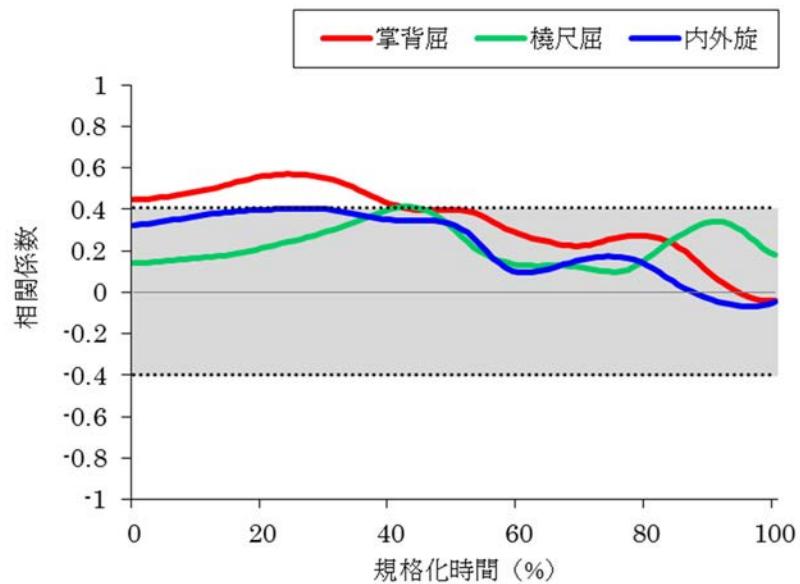


図 42 引手手関節角度の標準偏差とバット短軸方向におけるインパクト位置の再現性指標に関する相関係数の時系列推移

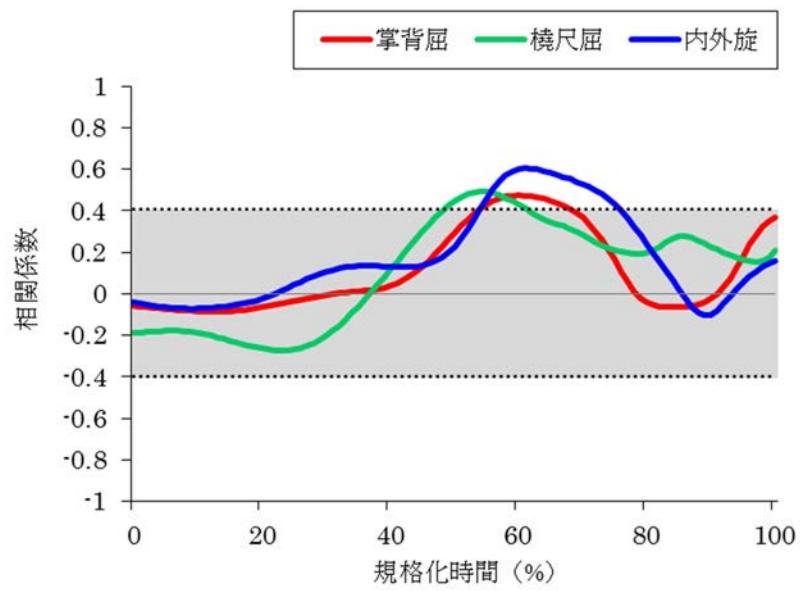


図 43 押手手関節角度の標準偏差とバット短軸方向におけるインパクト位置の再現性指標に関する相関係数の時系列推移

表 7 には、各動作時点における骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度の標準偏差とバット長軸方向の再現性指標の相関係数を示した。SS 時点においては、バット長軸方向の再現性指標と有意な関係を持つ変数は見られなかった。MID 時点においては、骨盤の前後傾斜角度、押手肩関節の挙上角度、引手肘関節の内外反ならびに内外旋角度、押手肘関節の内外反角度の標準偏差と、バット長軸方向の再現性指標の間に有意な相関関係が認められた。LATE 時点においては、骨盤の前後傾斜角度、体幹仮想関節の前後屈角度、引手肘関節の内外旋角度の標準偏差と、バット長軸方向の再現性指標の間に有意な相関関係が認められた。IMP 時点においては、骨盤の前後傾斜角度、引手肩関節の挙上角度、押手肩関節の挙上角度、引手手関節の掌背屈ならびに橈尺屈角度、押手手関節の橈尺屈角度の標準偏差と、バット長軸方向の再現性指標の間に有意な相関関係が認められた。

また、表 8 には、各動作時点における骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度の標準偏差とバット短軸方向の再現性指標の相関係数を示した。SS 時点においては、体幹仮想関節の側屈角度、引手肩関節の内外旋角度、引手手関節の掌背屈角度の標準偏差と、バット短軸方向の再現性指標の間に有意な相関関係が認められた。MID 時点においては、骨盤の左右傾斜ならびに回旋角度、押手肩関節の水平伸展・屈曲角度、押手肘関節の内外反角度、引手手関節の橈尺屈角度の標準偏差と、バット短軸方向の再現性指標の間に有意な相関関係が認められた。LATE 時点においては、引手肩関節の挙上角度の標準偏差と、バット短軸方向の再現性指標の間に有意な相関関係が認められた。IMP 時点においては、引手肩関節の挙上角度ならびに内外旋角度の標準偏差と、バット短軸方向の再現性指標の間に有意な相関関係が認められた。

表7 各動作時点における骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度の標準偏差と  
バット長軸方向の再現性指標の相関係数 (\*: p<0.05)

関節	運動方向	SS		MID		LATE		IMP	
		r	p	r	p	r	p	r	p
骨盤	前後傾斜	0.331	0.115	0.555 *	0.005	0.535 *	0.007	0.527 *	0.008
	左右傾斜	0.331	0.115	0.388	0.061	0.043	0.842	-0.076	0.725
	回旋	0.300	0.154	0.138	0.520	0.058	0.788	0.104	0.630
体幹 仮想関節	前後屈	0.279	0.187	0.353	0.090	0.527 *	0.008	0.388	0.061
	側屈	0.374	0.072	0.290	0.169	0.145	0.500	0.166	0.438
	回旋	0.306	0.146	-0.118	0.582	0.111	0.605	-0.007	0.973
引手 肩関節	水平 伸展・屈曲	0.265	0.211	-0.111	0.606	0.287	0.173	0.115	0.592
	拳上	0.098	0.649	0.273	0.196	0.038	0.862	0.490 *	0.015
	内外旋	-0.024	0.912	0.043	0.841	0.068	0.752	0.015	0.944
押手 肩関節	水平 伸展・屈曲	-0.025	0.909	0.261	0.218	-0.046	0.831	0.031	0.887
	拳上	0.045	0.834	0.451 *	0.027	0.301	0.152	0.522 *	0.009
	内外旋	0.103	0.633	0.215	0.312	0.042	0.844	0.060	0.781
引手 肘関節	屈曲伸展	-0.107	0.619	0.131	0.542	0.219	0.303	0.224	0.294
	内外反	0.174	0.416	0.492 *	0.015	0.174	0.416	0.315	0.133
	内外旋	0.158	0.461	0.429 *	0.036	0.452 *	0.026	0.366	0.078
押手 肘関節	屈曲伸展	0.308	0.143	0.352	0.091	0.049	0.820	0.306	0.145
	内外反	0.156	0.467	0.552 *	0.005	0.222	0.297	0.170	0.426
	内外旋	0.197	0.357	0.368	0.077	0.087	0.687	0.399	0.053
引手 手関節	掌背屈	0.153	0.475	0.188	0.380	0.241	0.256	0.438 *	0.032
	橈尺屈	0.182	0.395	0.344	0.100	0.305	0.147	0.463 *	0.023
	内外旋	0.057	0.791	0.023	0.916	-0.069	0.750	0.182	0.394
押手 手関節	掌背屈	0.139	0.516	-0.068	0.753	-0.321	0.126	0.403	0.051
	橈尺屈	-0.133	0.536	-0.083	0.699	0.053	0.806	0.430 *	0.036
	内外旋	0.222	0.296	0.179	0.402	0.014	0.949	0.395	0.056

表8 各動作時点における骨盤角度ならびに体幹・上肢関節角度の標準偏差と  
バット短軸方向の再現性指標の相関係数 (\*: p<0.05)

関節	運動方向	SS		MID		LATE		IMP	
		r	p	r	p	r	p	r	p
骨盤	前後傾斜	0.275	0.194	0.082	0.705	0.190	0.374	0.220	0.301
	左右傾斜	0.367	0.078	0.525 *	0.008	0.391	0.059	0.199	0.351
	回旋	0.306	0.146	0.420 *	0.041	0.239	0.260	0.102	0.635
体幹 仮想関節	前後屈	0.328	0.118	0.295	0.162	0.333	0.112	0.304	0.148
	側屈	0.458 *	0.024	0.325	0.122	0.335	0.109	0.296	0.160
	回旋	0.099	0.647	0.116	0.591	0.155	0.470	0.026	0.905
引手 肩関節	水平 伸展・屈曲	0.059	0.783	-0.074	0.732	0.306	0.146	0.267	0.206
	拳上	0.319	0.128	0.270	0.202	0.442 *	0.030	0.581 *	0.003
	内外旋	0.420 *	0.041	0.266	0.209	0.251	0.237	0.469 *	0.021
押手 肩関節	水平 伸展・屈曲	0.248	0.242	0.430 *	0.036	0.161	0.453	-0.057	0.791
	拳上	0.265	0.210	0.216	0.311	0.227	0.287	0.260	0.220
	内外旋	0.336	0.108	0.371	0.074	-0.028	0.897	-0.059	0.784
引手 肘関節	屈曲伸展	-0.034	0.874	0.027	0.902	0.295	0.162	0.186	0.383
	内外反	0.290	0.169	0.095	0.660	-0.135	0.531	-0.100	0.643
	内外旋	0.283	0.181	0.262	0.216	-0.196	0.359	-0.104	0.630
押手 肘関節	屈曲伸展	0.210	0.325	0.306	0.145	0.169	0.429	0.120	0.576
	内外反	0.157	0.464	0.418 *	0.042	0.099	0.645	-0.127	0.553
	内外旋	0.262	0.217	0.150	0.483	0.088	0.682	0.074	0.731
引手 手関節	掌背屈	0.441 *	0.031	0.376	0.070	0.102	0.636	-0.045	0.835
	橈尺屈	0.140	0.515	0.438 *	0.032	0.062	0.775	0.176	0.410
	内外旋	0.321	0.126	0.277	0.190	0.040	0.853	-0.050	0.816
押手 手関節	掌背屈	-0.061	0.778	-0.041	0.847	-0.040	0.854	0.361	0.083
	橈尺屈	-0.188	0.378	0.090	0.675	0.139	0.516	0.205	0.337
	内外旋	-0.041	0.848	0.123	0.566	0.109	0.611	0.154	0.473

### 3-3-2 重回帰分析の結果

表9には、バット長軸方向の再現性指標を従属変数とした場合の重回帰分析の結果を示した。また、図44には、重回帰分析により選択された各動作時点における部位を図示した。バット長軸方向の再現性指標を説明する有意な変数として、MID・LATE・IMP時点における骨盤の前後傾角度の標準偏差、IMP時点における引手手関節橈尺屈角度の標準偏差が選択された。SS時点については、有意な変数は選択されなかった。

表9 バット長軸方向の再現性指標を従属変数とした場合の重回帰分析の結果

(\*:  $p<0.05$ , 太字は各動作時点における標準化係数  $\beta$  が最大の変数を示す)

角度の標準偏差 [deg]	SS	MID	LATE	IMP
	標準化係数 $\beta$			
引手 手関節橈尺屈				0.410 *
骨盤 前後傾斜		<b>0.555 *</b>	<b>0.535 *</b>	<b>0.483 *</b>
R <sup>2</sup>	-	0.276	0.254	0.392

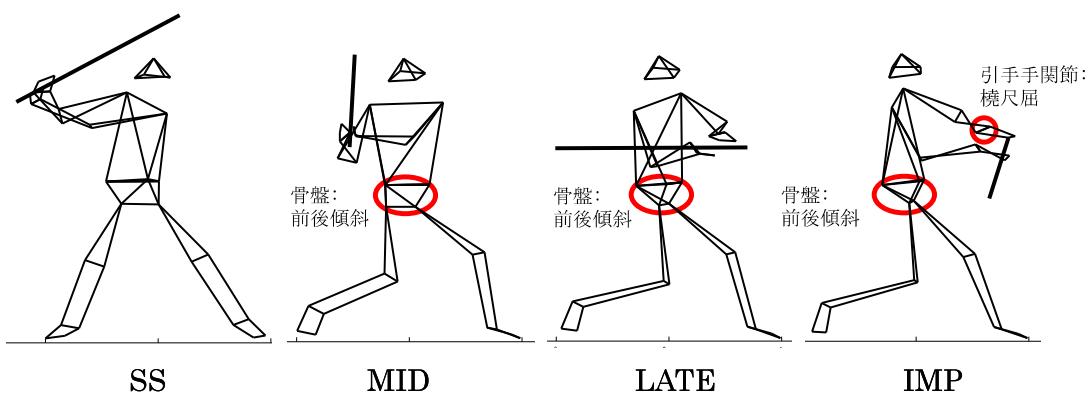


図44 インパクト位置の再現性指標と関連が見られた部位

(バット長軸方向の再現性指標を従属変数とした場合)

表 10 には、バット短軸方向の再現性指標を従属変数とした場合の重回帰分析の結果を示した。また、図 45 には、重回帰分析により選択された各動作時点における部位を図示した。バット短軸方向の再現性指標を説明する有意な変数として、SS 時点における体幹仮想関節の側屈角度の標準偏差、MID 時点における骨盤の左右傾斜角度および押手肩関節の水平伸展・屈曲角度の標準偏差、IMP 時点における引手肩関節挙上角度の標準偏差が選択された。LATE 時点については、有意な変数は選択されなかった。

表 10 バット短軸方向の再現性指標を従属変数とした場合の重回帰分析の結果

(\*:  $p < 0.05$ , 太字は各動作時点における標準化係数  $\beta$  が最大の変数を示す)

角度の標準偏差 [deg]	SS	MID	LATE	IMP
	標準化係数 $\beta$			
引手 肩関節挙上				<b>0.581 *</b>
押手 肩関節水平伸展・屈曲		0.466 *		
体幹仮想関節 側屈	<b>0.458 *</b>			
骨盤 左右傾斜		<b>0.555 *</b>		
R <sup>2</sup>	0.174	0.444	-	0.308

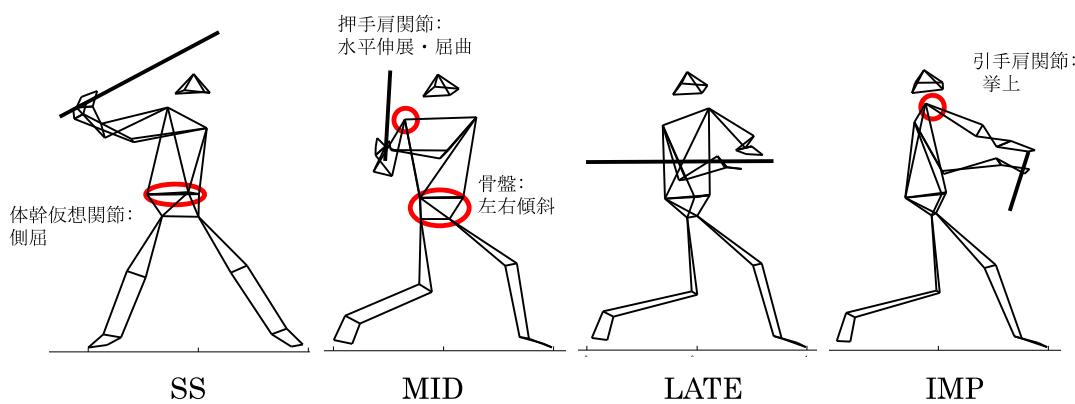


図 45 インパクト位置の再現性指標と関連が見られた部位

(バット短軸方向の再現性指標を従属変数とした場合)

## 第4章 考察

### 4-1 インパクト位置の再現性に関わる野球打撃動作の運動学的特徴

本研究の目的は、インパクト位置の再現性を規定する野球打撃動作の運動学的特徴を明らかにすることであった。24名の大学野球打者に対し、ティー台上的ボール20球を打撃させ、骨盤角度の標準偏差ならびに体幹・上肢における関節角度の標準偏差とインパクト位置の再現性指標の関係を重回帰分析により検討した。その結果、SS, MID, LATE, IMP の動作時点それぞれについて、バット長軸・短軸方向のインパクト位置の再現性を17.4–44.4%説明するモデルが構築された（表9・表10）。バット長軸方向の再現性指標を従属変数とした場合のSS時点、およびバット短軸方向の再現性指標を従属変数とした場合のLATE時点については、重回帰モデルは構築されなかった（表9・表10）。

バット長軸方向におけるインパクト位置の再現性に関わる因子として、MID時点・LATE時点においては骨盤の前後傾斜角度、IMP時点においては骨盤の前後傾斜角度および引手手関節の橈尺屈角度の標準偏差が選択された（表9）。これらの結果から、MID時点からIMP時点にかけての骨盤の前後傾斜角度、およびIMP時点の引手手関節の橈尺屈角度の変動が、バット長軸方向におけるインパクト位置の再現性に関連する因子であることが示唆された。なお、IMP時点においては2つの変数が選択されたが、引手手関節の橈尺屈角度の標準化係数（ $\beta = 0.410$ ）に比べ、骨盤前後傾斜角度の標準化係数（ $\beta = 0.483$ ）が高値を示した（表9）。よって、これら2変数のインパクト位置の再現性に対する重要度は、骨盤前後傾斜角度のほうが高いことが明らかである。

また、短軸方向におけるインパクト位置の再現性に関わる因子として、SS時点においては体幹仮想関節の側屈角度、MID時点においては骨盤の左右傾斜角度および押手肩関節の水平伸展・屈曲角度、IMP時点においては引手肩関節の挙上角度の標準偏差が選択された（表10）。このことから、SS時点の体幹仮想関節の側屈角度、MID時点の骨盤の左右傾斜角度および押手肩関節水平伸展・屈曲角度、IMP時点における引手肩関節の挙上角度の変動が、バット長軸方向におけるインパクト位置の再現性に関連する因子であることが示された。なお、MID時点においては2つの変数が選択されたが、押手肩関節における水平伸展・屈曲の標準化係数（ $\beta = 0.466$ ）に比べ、骨盤左右傾斜角度の標準化係数（ $\beta$

$= 0.555$ ) が高値を示した (表 10). したがって, これら 2 変数のインパクト位置の再現性に対する重要度は, 骨盤左右傾斜角度のほうが高いことが分かる.

以上のことから, 長期の競技経験を有する大学野球選手において, とりわけバットコントロールに優れた打者は, 骨盤の姿勢, 体幹ならびに近位の上肢関節である肩関節の変動性を抑制する方略をとることで, インパクト位置の再現性を高めていることが示唆された. 下記では, 本研究で得られた上記の結果に関して, 先行研究による知見と対応させた考察を述べることとする.

前述の通り, バット長軸方向におけるインパクト位置の再現性を説明する有意な変数として, MID 時点から IMP 時点にかけての骨盤の前後傾斜角度が選択された (表 9). アイスホッケー選手におけるリストショットの正確性に関わる運動学的変数を検討した Michaud-Paquette et al. (2011) は, 体幹の側屈角度および骨盤の前傾角度がショットの正確性に関係することを報告している. また, 特徴的な 2 名の選手に対する定性的観察を通じて, ショットの正確性が高い選手においては, 体幹セグメントにおける姿勢を安定化させる方略をとっていると述べている. アイスホッケーのリストショットと同じく, 両上肢で打具を把持する打撃動作である野球打撃においても, スイング時に上肢へのエネルギー伝達を担う体幹部の姿勢を安定化することは重要であると考えられる. とりわけ, 骨盤前後傾斜角度の平均値が, SS 時点で  $-3.0 \text{ deg}$ , MID 時点で  $0.1 \text{ deg}$ , LATE 時点で  $-2.3 \text{ deg}$ , IMP 時点で  $-1.1 \text{ deg}$  と, スイング局面を通じて大きな角度変化を示さなかったことからも (表 2・表 3), SS 時点で  $-115.5 \text{ deg}$ , MID 時点で  $-72.8 \text{ deg}$ , LATE 時点で  $-33.8 \text{ deg}$ , IMP 時点で  $-15.9 \text{ deg}$  とスイング局面を通じて約  $100 \text{ deg}$  の大きな角度変化を示す回旋方向の自由度に比べ (表 2・表 3), 骨盤の前後傾斜はスイング時の体幹部の安定化を担っていることが推察される. 従来の野球打撃に関するバイオメカニクス研究においては, 骨盤の回旋角度に着目された検討が数多くなされているものの, 骨盤の前後傾および左右傾斜角度について言及した報告は見られない. 本研究において, バット長軸方向におけるインパクト位置の再現性に関わる変数として骨盤前傾角度が選択されたことから, 回旋角度のみならず前傾角度にも着眼して分析を行う必要性があると考えられる.

バット短軸方向におけるインパクト位置の再現性を説明する有意な変数として、SS 時点においては体幹仮想関節の側屈角度、MID 時点においては骨盤の左右傾斜角度および押手肩関節の水平伸展・屈曲角度の標準偏差が選択された（表 10）。阿江ら（2015）は、打点高の異なるティー打撃動作を動力学的に検討した報告において、スイング中の体幹仮想関節における角度変位についても記述している。同研究では、スイング開始から規格化時間の 15 % 時点にかけて、打点高間で体幹仮想関節の側屈角度が有意に異なる値を示したと報告されている。この報告結果を踏まえると、SS 時点における体幹仮想関節の側屈角度が試技間で変動することにより、上肢と連結しているセグメントである体幹部の姿勢が変動し、結果として短軸方向のインパクト位置の再現性が低下すると考えられる。また、野球打撃における骨盤の側屈角度を検討した報告が見られなかったため推測の域を出ないが、体幹部と連結したセグメントである骨盤の変動性がスイング中に生じることで、体幹部の姿勢の変動が生じ、短軸方向のインパクト位置の再現性に低下をもたらすと考えられる。

また、バット短軸方向におけるインパクト位置の再現性に関わる IMP 時点の変数としては、引手肩関節挙上角度の標準偏差が選択された（表 10）。川村ら（2008）は、大学野球打者が同一位置に設置されたボールに対するティー打撃を行った際、スイング局面における左右肩関節の角度変化の範囲が、体幹部における角度の変化範囲と比較して顕著に低値を示したと報告している。また、田子ら（2006a）が打点高の異なるティー打撃を分析した報告では、IMP 時点における肩関節の角度が打点高間で有意に異なる値を示したとされている。本研究において、各動作時点における肩関節挙上角度の平均値は、SS 時点で -72.5 deg、MID 時点で -59.2 deg、LATE 時点で -54.7 deg、IMP 時点で -53.0 deg であり、スイング局面を通じて 20 deg 程度の角度変化にとどまっていた（表 2・表 3）。本研究で得られた測定値と上述の先行研究を踏まえると、同一の打点高に設置されたボールを打撃する際に、肩関節における角度の変動性が生じる打者では、肩関節角度の変動に伴うスイング軌道の変動が生じ、結果として短軸方向のインパクト位置の再現性が低下したと推察される。

Horan et al. (2011) は、ゴルフ選手を対象とした運動学的分析において、熟練したゴルフ選手が上肢関節によるクラブヘッド軌道の調整をダウンスイング中に行っている可能性を示した。このような、スイング中の動作調整については、Uncontrolled Manifold 解析を用いてゴルフスイングを分析した Morrison et al. (2016) も報告している。したがつ

て、両手で打具を把持する高速度の運動という点でゴルフスイングと共通する野球打撃動作においても、インパクトに向けたバットの軌道調整を上肢関節が担っていると予想された。しかしながら、相関分析の結果、インパクト位置の再現性と有意な負の相関関係を示す変数は、上肢関節を含む全ての角度において見られなかつた（図 28—図 43）。このことから、野球打者によるティー打撃においては、インパクト位置に対するバットの軌道調整は行われていないことが示唆された。先行研究と異なる結果が得られた理由としては、スイングにかかる時間が両競技間で異なることが考えられる。Horan et al. (2010) が示した測定データによれば、男性ゴルフ選手におけるダウنسイング時間の平均値は 310 ms であり、野球打撃におけるスイング時間（約 150 ms）の 2 倍近い値を示している。Tresilian (2004) は、野球打撃のスイング時間内では視覚情報に基づいた動作調節を行うことは困難であるとしており、スイング開始以降は既にプログラム化された動作を表出していると述べている。したがって、先行研究でゴルフ選手に見られたスイング中の動作調整は、野球打撃においてなされなかつたと考えられる。

#### 4-2 インパクト位置の再現性および身体各部における角度の変動性

本研究において、全対象者におけるバット長軸方向のインパクト位置の標準偏差を平均した値は、12.6 mm であった（表 1）。また、全対象者のうち最大の値を示した対象者の同値は、20.0 mm であった（表 1）。先行研究から、バット長軸方向の許容誤差が約 100.0 mm とされていることを踏まえると（Higuchi et al., 2013），大学野球レベルの打者は、極めて誤差の少ないバット長軸上の範囲で静止球を打撃していることが示された。

全対象者におけるバット短軸方向のインパクト位置の標準偏差を平均した値は、9.0 mm であった（表 1）。また、全対象者のうち最大の値を示した対象者の同値は 13.0 mm、最小の値を示した対象者の値は 6.4 mm であった（表 1）。上述の平均値については、Bahill & Baldwin (2008) の示したバット短軸上の許容誤差（8.0 mm）をわずかに上回る結果となった。しかしながら、短軸方向のインパクト位置の標準偏差が 8.0 mm 未満の値を示した対象者は計 6 名確認された（表 1）。このことから、大学野球レベルにおいて、特に優れたバットコントロール能力を有する打者においては、許容誤差の範囲内で静止球を繰り返し打撃することが可能であることが示された。

各動作時点における骨盤角度および体幹・上肢関節角度の標準偏差の値は、最も大きい場合でも 6 deg の範囲に納まっていた（表 6）。したがって、長期の競技経験を有する大学野球打者においては、骨盤角度および体幹・上肢関節角度における角度は顕著に変動しないことが示された。また、インパクト時における骨盤回旋角度の標準偏差に関しては、Nakata et al. (2014) が報告した野球経験者における値 ( $4.90 \pm 1.80$  deg) に比べ、 $2.80 \pm 1.05$  deg と低値を示した（表 6）。本研究と Nakata et al. (2014) では角度算出の方法が異なるため断定はできないものの、測定された数値にこのような差異が見られた理由としては、本研究と先行研究における対象者（大学野球打者・野球経験者）および測定課題（ティー打撃・トス打撃）が異なっていたことが考えられる。

#### 4-3 実践への示唆

本節では、本研究の結果を実践へ活用する際の、適用範囲および具体的方法について述べる。

野球打撃は、外部環境からの刺激（ボール）に応じて動作を調節する「オープンスキル型」の運動に分類される（Schmidt, 1994）。しかしながら、野球打撃の遂行時間は極めて短く、特にスイングに用いることのできる約 150 ms の間で視覚情報に基づいた動作調節を行うことは極めて困難であるとされている（Tresilian, 2004）。そのため、動作遂行の全範囲で対象物に合わせた反射性の動作調節を行うのではなく、特定の時点以降は既にプログラム化された動作を表出していると考えられる（Tresilian, 2004）。本研究では、投球の内容に応じて動作の変更が求められる打撃準備局面ではなく、スイング局面を解析対象としている。そのため、本研究から得られた知見は、ティー打撃のみならず、実打におけるスイング局面にも活用できると考えられる。

また、本研究の知見を活用した練習方法としては、複数試技のティー打撃におけるスイング動作をビデオカメラにて撮影し、その映像を用いて行うフィードバックが挙げられる。近年では、高性能なビデオカメラや、複数回行った動作の映像の重畠・関節角度の算出を容易に行えるソフトウェアが一般向けに販売されている。そのため、角度やその変動性のフィードバックを容易かつ視覚的に行うことができる。本研究で重回帰分析により選択された変数のうち、特に重要度が高かった骨盤の前後・左右傾斜角度、体幹仮想関節の側屈

角度、および引手肩関節の挙上角度における変動を抑えるよう意識し、スイングを自動化できるまでティー打撃練習を繰り返し行うことで、インパクト位置の再現性を向上させることができると考えられる。

#### 4-4 本研究の限界と今後の展望

本研究では、インパクト位置の再現性に関する運動学的要因に着目して分析を行った。そのため、同一位置に設置した静止球を打撃させるティー打撃を測定課題として採用した。一方、実際の試合において、打者は投手によって無作為に投じられた多様な軌道のボールを打撃するため、ティー打撃に比して認知・判断的な要因が多く含まれる可能性がある。よって今後は、本研究で明らかになった静止球に対する打撃動作の変動性と、多様な軌道を描く飛来球に対する打撃動作との整合性を検討する必要があると考えられる。

飛来球打撃時の動作を測定するまでの技術上の課題としては、ボールの到達位置および到達時間の制御の困難性が挙げられる。要因を統制することが求められる科学実験の性質上、ボール到達位置および到達時間は、同じ条件内では同一であることが前提となる。すなわち、視覚刺激そのものの再現性が担保されている必要がある。タイミング制御に関する研究では、LEDを並べた投球シミュレータを用いることで、視覚刺激の再現性に関する問題の克服を可能としていた (Matsuo et al., 1993; Matsuo & Kasai, 1994; Ohta et al., 2015)。一方、ピッティングマシンを用いる場合、ボールの到達位置および時間には、微小ではあるが一定の誤差が含まれる。よって、飛来球を用いた測定では、視覚刺激の再現性の問題が懸念される。

バーチャル・リアリティ (VR) 技術は、この課題の解決策となる可能性がある。近年では、VR 技術をスポーツの動作分析へ応用する試みがなされている (Bideau et al., 2010; Miles et al., 2012)。VR 技術を用いた実験系の利点としては、同一の視覚刺激を精度よく再現できることが挙げられる。今後は、VR 技術を用いて多様な投球軌道を再現し、その際の打撃動作における運動学的変数の変動性を検討することが期待される。

## 第5章 結論

本研究では、バット上のインパクト位置の再現性を規定する運動学的要因を特定することを目的とした。大学野球打者 24 名に対してティー打撃を行わせ、インパクト位置の再現性指標を従属変数、骨盤および体幹・上肢関節における角度の標準偏差を独立変数とする重回帰分析を実施した結果、下記の結果が得られた。

- 1) バット長軸方向におけるインパクト位置の再現性に関わる因子として、MID 時点・LATE 時点においては骨盤の前後傾斜角度、IMP 時点においては骨盤の前後傾斜角度および引手手関節の橈尺屈角度の標準偏差が選択された。IMP 時点における骨盤前後傾斜角度の標準偏差の標準化係数は、引手手関節橈尺屈角度の標準偏差の標準化係数に比べ、高値を示した。
- 2) バット短軸方向におけるインパクト位置の再現性に関わる因子として、SS 時点においては体幹仮想関節の側屈角度、MID 時点においては骨盤の左右傾斜角度および押手肩関節の水平伸展・屈曲角度、IMP 時点においては引手肩関節の挙上角度の標準偏差が選択された。

以上のことから、長期の競技経験を有する大学野球選手において、とりわけバットコントロールに優れた打者は、スイング中の骨盤角度、体幹ならびに近位の上肢関節である肩関節における角度の変動を抑制する方略をとることで、インパクト位置の再現性を高めていることが示唆された。

## 文献

- 阿江数通, 小池闇也, 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的分析. *バイオメカニクス研究*, 17(1), 2-14.
- 阿江数通, 小池闇也, 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的分析. *体育学研究*, 59(2), 431-452.
- 阿江数通, 小池闇也, 川村卓. (2015). 打点高の異なる野球ティー打撃動作における体幹のキネティクス的分析. *体育学研究*, 60(2), 635-649.
- Bahill, A. T., & Baldwin, D. G. (2008). Mechanics of baseball pitching and batting. In: Ghista, D. N. *Applied biomedical engineering mechanics*. CRC Press/Taylor and Francis Asia Pacific; p. 445-488.
- Bideau, B., Kulpa, R., Vignais, N., Brault, S., Multon, F., & Craig, C. (2010). Using virtual reality to analyze sports performance. *IEEE Computer Graphics Applications*, 30(2), 14-21.
- Chu, Y., Sell, T. C., & Lephart, S. M. (2010). The relationship between biomechanical variables and driving performance during the golf swing. *Journal of Sports Science*, 28(11), 1251-1259.
- Davids, K., Bennett, S., & Newell, K. M. (2006). *Movement system variability*. Human Kinetics.
- Dowling, B., & Fleisig, G. S. (2016). Kinematic comparison of baseball batting off of a tee among various competition levels. *Sports Biomechanics*, 15(3), 255-269.
- Elliott, D., Binsted, G., & Heath, M. (1999). The control of goal-directed limb movements: Correcting errors in the trajectory. *Human Movement Science*, 18(2), 121-136.
- Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., DeRenne, C., Taylor, M. K., Moorman III, C. T.,

Imamura, R., Barakatt, E., & Andrews, J. R. (2009). A comparison of age level on baseball hitting kinematics. *Journal of Applied Biomechanics*, 25(3), 210-218.

Fitts, P. M. (1954). The information capacity of the human motor system in controlling the amplitude of movement. *Journal of Experimental Psychology*, 47(6), 381-391.

Glazier, P. (2011). Movement variability in the golf swing: Theoretical, methodological, and practical issues. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 82(2), 157-161.

Gray, R. (2002). Behavior of college baseball players in a virtual batting task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28(5), 1131-1148.

Hausdorff, J. M., Peng, C., Ladin, Z., Wei, J. Y., & Goldberger, A. L. (1995). Is walking a random walk? Evidence for long-range correlations in stride interval of human gait. *Journal of Applied Physiology*, 78(1), 349-358.

Higuchi, T., Nagami, T., Morohoshi, J., Nakata, H., & Kanosue, K. (2013). Disturbance in hitting accuracy by professional and collegiate baseball players due to intentional change of target position. *Perceptual and Motor Skills: Exercise and Sport*, 116(2), 627-639.

Higuchi, T., Nagami, T., & Kanosue, K. (2015). Baseball hitting accuracy and contributing factors. In: Kanosue, K., Nagami, T., Tsuchiya, J., editors. *Sports Performance*. Springer Japan, p. 335-351.

Higuchi, T., Nagami, T., Nakata, H., Watanabe, M., Isaka, T., & Kanosue, K. (2016). Contribution of visual information about ball trajectory to baseball hitting accuracy. *PLoS One*, 11(2), e0148498.

Horan, S. A., Evans, K., Morris, N. R., & Kavanagh, J. J. (2010). Thorax and pelvis kinematics during the downswing of male and female skilled golfers. *Journal of*

*Biomechanics*, 43(8), 1456-1462.

Horan, S. A., Evans, K., & Kavanagh, J. J. (2011). Movement variability in the golf swing of male and female skilled golfers. *Medicine and science in sports and exercise*, 43(8), 1474-1483.

井尻哲也. (2015). 野球の打撃におけるタイミング制御. *バイオメカニクス研究*, 19(3), 165-171.

Inkster, B., Murphy, A., Bower, R., & Watsford, M. (2011). Differences in the kinematics of the baseball swing between hitters of varying skill. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43(6), 1050-1054.

Katsumata, H. (2007). A functional modulation for timing a movement: A coordinative structure in baseball hitting. *Human Movement Science*, 26(1), 27-47.

川村卓, 島田一志, 高橋佳三, 森本吉謙, 小池闇也, 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.

川村卓. (2016). バッティングの科学: 理想のスイングを極める (決定版): 洋泉社.

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, 若原卓, 矢内利政. (2012). 野球のバッティングにおける打球の運動エネルギーを決定するスイングとインパクト. *バイオメカニクス研究*, 16(4), 220-230.

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.

Kitzman, E. W. (1964). Baseball: Electromyographic study of batting swing. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 35(2), 166-178.

Kobayashi, Y., Hobara, H., Matsushita, S., & Mochimaru, M. (2014). Key joint kinematic characteristics of the gait of fallers identified by principal component analysis. *Journal of Biomechanics*, 47(10), 2424-2429.

Lajoie, J., & Franks, I. (1997). Response programming as a function of accuracy and complexity: Evidence from latency and kinematic measures. *Human Movement Science*, 16(4), 485-505.

Langdown, B. L., Bridge, M., & Li, F. X. (2012). Movement variability in the golf swing. *Sports Biomechanics*, 11(2), 273-287.

Latash, M. L., Scholz, J. P., & Schöner, G. (2002). Motor control strategies revealed in the structure of motor variability. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 30(1), 26-31.

Laughlin, W. A., Fleisig, G. S., Aune, K. T., & Diffendaffer, A. Z. (2016). The effects of baseball bat mass properties on swing mechanics, ground reaction forces, and swing timing. *Sports Biomechanics*, 15(1), 1-12.

前田正登. (2001). 野球におけるバットスイングの再現性に関する研究. *スポーツ方法学研究*, 14(1), 1-11.

Masani, K., Kouzaki, M., & Fukunaga, T. (2002). Variability of ground reaction forces during treadmill walking. *Journal of Applied Physiology*, 92(5), 1885-1890.

Matsuo, T., Kasai, T., & Asami, T. (1993). The improvement of coincidence anticipation timing task with bat-swing. *Journal of Human Movement Studies*, 25(3), 99-119.

Matsuo, T., & Kasai, T. (1994). Timing strategy of baseball-batting. *Journal of Human Movement Studies*, 27(6), 253-269.

Michaud-Paquette, Y., Magee, P., Pearsall, D., & Turcotte, R. (2011). Whole-body predictors of wrist shot accuracy in ice hockey: A kinematic analysis. *Sports*

*Biomechanics*, 10(1), 12-21.

Mihoces, G. (2003). 10 hardest things to do in sports: Part III. *USA Today*.

Miles, H. C., Pop, S. R., Watt, S. J., Lawrence, G. P., & John, N. W. (2012). A review of virtual environments for training in ball sports. *Computers and Graphics*, 36(6), 714-726.

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的貢献. *バイオメカニクス研究*, 17(4), 170-180.

森下義隆, 平野裕一, 矢内利政. (2015). 野球打撃におけるインパクト時のバットのヘッドスピードと方位を決定する力学的要因. *バイオメカニクス研究*, 19(4), 201-215.

Morrison, A., McGrath, D., & Wallace, E. (2016). Motor abundance and control structure in the golf swing. *Human Movement Science*, 46, 129-147.

中本浩揮, 森司朗. (2008). 速度変化状況での一致タイミング課題における野球の熟達と運動修正との関係. *体育学研究*, 53(1), 39-50.

Nakamoto, H., Ishii, Y., Ikudome, S., & Ohta, Y. (2012). Kinesthetic aftereffects induced by a weighted tool on movement correction in baseball batting. *Human Movement Science*, 31(6), 1529-1540.

Nakata, H., Miura, A., Yoshie, M., Higuchi, T., & Kudo, K. (2014). Differences in trunk rotation during baseball batting between skilled players and unskilled novices. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 3(4), 457-466.

Nakata, H., Miura, A., Yoshie, M., Kanosue, K., & Kudo, K. (2013). Electromyographic analysis of lower limbs during baseball batting. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(5), 1179-1187.

Nathan, A. M. (2000). Dynamics of the baseball–bat collision. *American Journal of Physics*, 68(11), 979-990.

- Nathan, A. M. (2003). Characterizing the performance of baseball bats. *American Journal of Physics*, 71(2), 134.
- Nathan, A. M., Crisco, J. J., Greenwald, R. M., Russell, D. A., & Smith, L. V. (2011). A comparative study of baseball bat performance. *Sports Engineering*, 13(4), 153-162.
- Newell, K. M., & Corcos, D. M. (1993). *Variability and Motor Control*. Champaign (IL): Human Kinetics; p. 1-12.
- Nicholls, R. L., Miller, K., & Elliott, B. C. (2006). Numerical analysis of maximal bat performance in baseball. *Journal of Biomechanics*, 39(6), 1001-1009.
- Ohta, Y., Ishii, Y., Ikudome, S., & Nakamoto, H. (2014). Warm-up with weighted bat and adjustment of upper limb muscle activity in bat swinging under movement correction conditions. *Perceptual and Motor Skills: Exercise and Sport*, 118(1), 96-113.
- Petuskey, K., Bagley, A., Abdala, E., James, M. A., & Rab, G. (2007). Upper extremity kinematics during functional activities: Three-dimensional studies in a normal pediatric population. *Gait and Posture*, 25(4), 573-579.
- Phillips, S. (1985). Invariance of elite kicking performance. In: Winter, D. A. *Biomechanics IX-B*, Human Kinetics Publishers. p. 539-542.
- Poston, B., Van Gemmert, A. W., Sharma, S., Chakrabarti, S., Zavaremi, S. H., & Stelmach, G. (2013). Movement trajectory smoothness is not associated with the endpoint accuracy of rapid multi-joint arm movements in young and older adults. *Acta Psychologica*, 143(2), 157-167.
- Preatoni, E., Hamill, J., Harrison, A. J., Hayes, K., Van Emmerik, R. E., Wilson, C., & Rodano, R. (2013). Movement variability and skills monitoring in sports. *Sports Biomechanics*, 12(2), 69-92.

- Rab, G., Petuskey, K., & Bagley, A. (2002). A method for determination of upper extremity kinematics. *Gait and Posture*, 15(2), 113-119.
- Sawicki, G. S., Hubbard, M., & Stronge, W. J. (2003). How to hit home runs: Optimum baseball bat swing parameters for maximum range trajectories. *American Journal of Physics*, 71(11), 1152.
- Schmidt, R. A. (1994). 運動学習とパフォーマンス: 理論から実践へ. 大修館書店; p. 7.
- Sevrez, V., Creveaux, T., Dumas, R., Chèze, L., Macé, P., & Rogowski, I. (2014). Influence of racket on the variability of humerothoracic joint kinematics during tennis serve: A preliminary study. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering*, 17(sup1), 152-153.
- Shaffer, B., Jobe, F. W., Pink, M., & Perry, J. (1993). Baseball batting: An electromyographic study. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 292, 285-293.
- Sidaway, B., Sekiya, H., & Fairweather, M. (1995). Movement variability as a function of accuracy demand in programmed serial aiming responses. *Journal of Motor Behavior*, 27(1), 67-76.
- Szymanski, D. J., DeRenne, C., & Spaniol, F. J. (2009). Contributing factors for increased bat swing velocity. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4), 1338-1352.
- Tabuchi, N., Matsuo, T., & Hashizume, K. (2007). Bat speed, trajectory, and timing for collegiate baseball batters hitting a stationary ball. *Sports Biomechanics*, 6(1), 17-30.
- Tresilian, J. R. (2004). The accuracy of interceptive action in time and space. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 32(4), 167-173.
- 田子孝仁, 阿江通良, 藤井範久. (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. (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.

高木斗希夫, 藤井範久, 小池闇也, 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. バイオメカニズム学会誌, 32(3), 158-166.

高木斗希夫, 藤井範久, 小池闇也, 阿江通良. (2010). 無作為投球速度変化状況での野球の打撃動作に関する キネマティクス的研究. バイオメカニズム学会誌, 34(1), 53-62.

高木斗希夫, 藤井範久, 小池闇也, 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マティクス的研究. バイオメカニズム学会誌, 34(3), 216-224.

Welch, C. M., Banks, S. A., Cook, F. F., & Draovitch, P. (1995). Hitting a baseball: A biomechanical description. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 22(5), 193-201.

Wu, G., Siegler, S., Allard, P., Kirtley, C., Leardini, A., Rosenbaum, D., Whittle, M., D'Lima, D. D., Cristofolini, L., Witte, H., Schmid, O., & Stokes, I. (2002). ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion—part I: Ankle, hip, and spine. *Journal of Biomechanics*, 35(4), 543-548.

Wu, G., Van der Helm, F. C., Veeger, H. D., Makhsous, M., Van Roy, P., Anglin, C., Nagels, J., Karduna, A. R., McQuade, K., Wang, X., Werner, F. W., & Buchholz, B. (2005). ISB recommendation on definitions of joint coordinate systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: Shoulder, elbow, wrist and hand. *Journal of Biomechanics*, 38(5), 981-992.

Yu, B., Gabriel, D., Noble, L., & An, K.N. (1999). Estimate of the optimum cutoff frequency for the Butterworth low-pass digital filter. *Journal of Applied Biomechanics*, 15, 318-329.

## 研究報告一覧

- 京都滋賀体育学会 第 144 会大会 口頭発表 若手研究奨励賞 受賞  
「バーチャル・リアリティー・システムを用いた野球打者のスイング停止動作の解析」
- 第 70 回 日本体力医学会大会 口頭発表  
「大学野球選手におけるバットスイング停止能力と筋厚の関係」
- 第 24 回 日本バイオメカニクス学会大会 口頭発表  
「空間的再現性の高いインパクトを生み出す野球打撃動作の検討」
- The 4<sup>th</sup> International Congress on Sport Sciences Research and Technology Support 口頭発表 (英語)  
「Hitting Kinematics for Precise Ball-Bat Contact in Collegiate Baseball Hitters」
- 日本野球科学研究会 第 4 回大会 口頭・ポスター発表 若手研究奨励賞 受賞  
「野球打撃におけるインパクト位置の空間的再現性と関節角度の変動の関係：  
大学野球選手によるティー打撃を対象とした検討」

## 謝辞

本研究の立案・遂行ならびに修士論文の執筆にあたり、日頃から熱心にご指導いただき、時に厳しいお言葉で激励していただきました、指導教員の伊坂忠夫教授に心より感謝申し上げます。

また、副査をお引き受けいただき、数々の貴重なご意見をくださいました、長野明紀教授・小沢道紀准教授に、厚く御礼申し上げます。

データの取得・解析に際しては、多くの方々からご協力・ご助言をいただきました。野球打撃研究の測定方法に関してご指導いただきました樋口貴俊助教（現 福岡工業大学）、Matlabによるプログラミングに関してご教示いただきました本城豊之助教（現 防衛大学校）、本研究における論理展開について有益なご意見をいただきました藤本雅大助教、測定データの解析方法についてご指導いただきました佐藤隆彦特任助教、多変量解析・データの可視化についてご教授いただきました正田悠研究員、運動制御理論について多数の貴重なご意見をいただきました那須大毅研究員（現 NTT 基礎科学研究所）、備品調達等の事務処理においてお世話になりました奥村悦子氏に、厚く御礼申し上げます。また、全ての測定に際し、検者としてご協力いただきましたスポーツ健康科学研究科博士課程前期課程1回生の土金諒くん、スポーツ健康科学部4回生の佐伯紘道くんに、深く感謝致します。

さらに、本研究の測定にご協力いただきました立命館大学硬式野球部員の皆様、測定協力をご快諾いただきました後藤昇監督に、心より御礼申し上げます。

最後に、互いに切磋琢磨し合い、研究に関する多くの時間を共有したスポーツ健康科学研究科の皆様、いつも筆者を暖かく出迎え、経済的・精神的に支えてくれた家族に感謝の意を表し、本論文の締めくくりと致します。