

# 博士論文

野球熟練者の打撃動作における  
バット・ヘッドスピードを向上させるための  
上肢動作と指導における着眼点に関する研究

令和4年度

川 村 卓  
筑波大学

## 目次

1. 緒言 .....	1
1.1. 野球の打撃.....	1
1.2. 打撃動作の変遷 .....	2
1.3. 打撃における上肢動作.....	4
1.4. 指導現場に役立つ知見とは .....	5
2. 先行研究の検討 .....	8
2.1. 打撃動作の上肢と体幹の動作に関する研究の概観.....	8
2.1.1. 上肢および体幹のキネマティクス .....	8
2.1.2. 上肢および体幹のキネティクス .....	11
2.2. 打撃動作における下肢動作に関する研究の概観 .....	16
2.2.1. 下肢のキネマティクス .....	16
2.2.2. 下肢のキネティクス.....	17
2.3. 高低・コース，球速差の対応および打球方向に関するキネマティクス .....	20
2.4. 打球方向とそのインパクトに関する研究 .....	21
2.5. タイミング・視覚探索に関する研究.....	26
2.6. 打撃に必要な体力や指導のための研究 .....	28
3. 本研究の目的.....	33
3.1. 論文の構成.....	35
3.2. 主な用語の定義 .....	37
3.2.1. スイング局面.....	37
3.2.2. 上位群と下位群.....	37
3.2.3. トップハンドとボトムハンド .....	38
3.2.4. センサーバット .....	38
3.2.5. バット・ヘッドスピード .....	39

3.3. 研究の限界.....	39
4. 研究課題 1 優れた打者が獲得すべき打撃技術とは何か明らかにすること. さらに, 研究で用いるティー打撃を実際の飛来球打撃へつなげるための上肢動作について検討すること	40
4.1. 大学レギュラー選手と非レギュラー選手の打撃の違い .....	40
4.2. 社会人選手と大学生選手の打撃の違い .....	43
4.3. 飛来球試技とティー打撃試技の差について .....	47
4.4. まとめ .....	54
4.4.1. 優れた打者の特徴: .....	54
4.4.2. ティー打撃と飛来球打撃の違い: .....	54
5. 研究課題 2 野球の打撃熟練者におけるバット・ヘッドスピードを向上させるための上肢動作のキネマティクスの分析を行うこと .....	56
5.1. 研究目的 .....	56
5.2. 方法.....	56
5.2.1. 実験 .....	56
5.2.2. データ処理 .....	57
5.2.3. 測定項目と算出方法.....	58
5.2.4. データの規格化と群間の比較 .....	61
5.3. 結果.....	69
5.3.1. 上肢の角度変化パターン .....	69
5.3.2. 上位群と下位群の比較 .....	70
5.4. 考察.....	77
5.4.1. 上肢動作について .....	77
5.4.2. 上位群と下位群の比較と指導における言葉の検討 .....	78
5.5. まとめ .....	82
6. 研究課題 3 野球の打撃熟練者におけるバット・ヘッドスピードを向上させるために,	

打撃中の上肢動作のエネルギーフローを算出し，上肢の役割に関して明らかにすること	83
6.1. はじめに .....	83
6.2. 方法.....	84
6.2.1. 被験者およびデータ収集 .....	84
6.2.2. データ処理 .....	84
6.2.3. 算出項目および算出方法 .....	85
6.2.3.1. 上肢の関節座標系および関節角度変位の定義.....	85
6.2.3.2. 上肢関節のキネティクスの変量.....	85
6.2.4. 群間の選定 .....	86
6.2.5. 分析範囲の定義，データの規格化および統計処理 .....	86
6.3. 結果.....	89
6.3.1. 左右上肢の力学的エネルギーの流れ .....	89
6.3.1.1. 関節力パワー.....	89
6.3.1.2. セグメントトルクパワー.....	89
6.3.2. 左右上肢の関節トルクによる力学的仕事.....	90
6.4. 考察.....	95
6.4.1. 上位群と下位群に共通の力学的エネルギーの流れ .....	95
6.4.1.1. フォワードスイング前半（第1および第2局面） .....	95
6.4.1.2. フォワードスイング後半（第3および第4局面） .....	96
6.4.2. 上位群と下位群の力学的エネルギーの流れの違い .....	98
6.5. まとめ .....	102
7. 研究課題 4 野球の打撃熟練者における右投げで右打ちと左打ちである打者の上肢と 体幹の動作の相違を明らかにすること .....	103
7.1. はじめに .....	103
7.2. 方法.....	104
7.2.1. 対象者 .....	104

7.2.2.	実験試技.....	105
7.2.3.	データ収集および処理.....	105
7.2.4.	算出項目について.....	106
7.2.4.1.	バット・ヘッドスピード, バットと体幹の水平面角度および角速度.....	106
7.2.4.2.	身体各関節の角度および角速度.....	107
7.2.5.	統計処理.....	108
7.3.	結果.....	115
7.3.1.	バットおよび体幹の水平面回転角度および角速度変化.....	115
7.3.2.	上肢の角度変化.....	115
7.3.3.	上肢の角速度変化.....	116
7.4.	考察.....	123
7.4.1.	フォワードスイング局面前半および中盤の動きに関して.....	123
7.4.2.	フォワードスイング局面終盤の動きに関して.....	124
7.5.	まとめ.....	128
8.	研究課題 5 これまでの研究から野球の打撃熟練者の上肢動作をコーチングに活かすための着眼点を明らかにすること.....	130
8.1.	フォワードスイング局面前半から中盤の上肢動作指導の着眼点.....	130
8.2.	フォワードスイング局面後半における上肢動作指導の着眼点.....	131
8.3.	打撃動作全体における上肢動作の役割とトレーニング方法.....	133
9.	総括.....	135
9.1.	結論.....	135
9.2.	今後の課題.....	141
	文献.....	143
	謝辞.....	155

## 図表一覧

### 図

- 図 1-1 身体からバットへのメカニクスからみた上肢動作の位置づけ
- 図 2-1 センサーバットの構造（小池，2004）
- 図 3-1 研究課題の概念図
- 図 4-1 社会人選手と大学生選手の打球位置スピードと打球スピード（川村ほか，2000）
- 図 4-2 インパクト角の定義（川村ほか，2000）
- 図 4-3 インパクト角と打球スピードの変換指数の相関関係（川村ほか，2000）
- 図 4-4 打球角とインパクト角の定義（金堀ほか，2017）
- 図 4-5 バットの傾斜角度および水平面角度
- 図 4-6 ティー打撃試技とマシン打撃試技における TH 側上肢の角度
- 図 4-7 ティー打撃試技とマシン打撃試技における BH 側上肢の角度
- 図 4-8 上胴の前後・傾斜角度および水平面角度
- 図 4-9 ティー打撃（上）とマシン打撃（下）における標準動作のスティックピクチャ
- 図 5-1 カメラの配置と撮影範囲
- 図 5-2 身体，バットおよびボールのデジタイズポイント
- 図 5-3 体幹移動座標系および肩関節角度の定義
- 図 5-4 上肢移動座標系，肩関節内外旋角度および肘関節角度の定義
- 図 5-5 前腕関節移動座標系と前腕関節回内外角度の定義
- 図 5-6 手関節移動座標系と手関節角度の定義
- 図 5-7 両上肢の肩関節角度変化
- 図 5-8 両上肢の肘関節，前腕関節および手関節角度変化
- 図 5-9 両上肢の肩関節角度変化の上位群と下位群の比較
- 図 5-10 両上肢の肘関節，前腕関節および手関節角度変化の上位群と下位群の比較
- 図 5-11 上位群と下位群のスティックピクチャ
- 図 5-12 上胴および下胴の水平面上の角度変化における上位群と下位群の比較

- 図 6-1 フォワードスイング局面の定義
- 図 6-2 フォワードスイング局面の両上肢の関節力パワーによるエネルギーフロー：バット・ヘッドスピード上位群と下位群の比較
- 図 6-3 フォワードスイング局面の両上肢のセグメントトルクパワーによるエネルギーフロー：バット・ヘッドスピード上位群と下位群の比較
- 図 6-4 フォワードスイング局面の両上肢の関節トルクによる力学的仕事：バット・ヘッドスピード上位群と下位群の比較
- 図 6-5 フォワードスイング局面の両上肢の関節トルクパワーと関節力パワーによるエネルギーフロー
- 図 7-1 4つのカメラの配置図
- 図 7-2 身体関節およびバット、ボールの各分析点
- 図 7-3 上胴、下胴およびバットにおける水平回転角度の定義
- 図 7-4 肩関節の移動座標系角度の定義
- 図 7-5 肘関節、前腕関節および手関節の移動座標系角度の定義
- 図 7-6 バット、上胴、および下胴における水平回転角度および角速度の変化
- 図 7-7 肩関節の角度変化
- 図 7-8 肘関節、前腕関節および手関節の角度変化
- 図 7-9 肩関節の角速度変化
- 図 7-10 肘関節、前腕関節および手関節の角速度変化
- 図 7-11 静止座標系 YZ 平面上の左右打者のスティックピクチャ（典型例）
- 図 8-1 本研究の打撃における上肢動作のまとめ

## 表

表 4-1 試技結果別インパクトパラメーター

## 関連論文

本論文は、以下の学術論文をもとにまとめられたものである。

川村卓・島田一志・高橋佳三・森本吉謙・小池関也・阿江通良（2008）：野球の打撃における上肢の動作に関するキネマティクスの研究：ヘッドスピード上位群と下位群のスイング局面の比較．体育学研究 53（2）：423-438.

川村卓・小池関也・阿江通良（2019）：野球の打撃における上肢のエネルギーフロー：バット・ヘッドスピードの上位群と下位群のスイング局面の比較．体育学研究, 64：37-48.

川村卓・小池関也・島田一志・阿江数通・森本吉謙・磯和純一郎（2022）：野球のティー打撃における左右打者の体幹および上肢動作の比較－右投げ選手を対象にして－．トレーニング科学, 34（1）：35-48.

阿江数通・小池関也・藤井範久・阿江通良・川村卓・金堀哲也（2017）：野球の打撃動作における打撃条件の違いが上肢のキネマティクスに及ぼす影響：ティーおよび飛来球打撃条件による比較．体育学研究, 62（2）：559-574.

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－マシン打撃における試技結果および投射コースの比較から－．コーチング学研究, 30（2）：167-178.



## 1. 緒言

### 1.1. 野球の打撃

野球における打撃とは、攻撃における始まりである。投手が投じた球を打ち返すことによって、野手は動き、走者は走り出す。そのため、打者の目的は投球に対応して、野手がいないうちに打ち返すことである。その打球の条件として、より速度の大きい打球で野手が届きにくいところへ打つことが有利である。加えて、角度の大きな打球で場外にホームランとすることも望ましい。つまり、野球の打撃の課題は速い打球を打つこと、飛距離を出すこと、狙いとする方向へ正確に打つことに大別されると考えられる。

しかし、成人投手が投げる速度の大きな投球や様々な方向に変化する変化球を打ち返すことは容易ではない。安打を打つ確率、いわゆる打率が 3 割を超えることが強打者の証といわれるように、非常に確率が低いものであり、野球の打撃はスポーツの中でも難しい技術であるとの認識がある。

そのため、打者が行う力学的課題は第一に、いかにボールとの衝突時にバット・ヘッドスピードを大きくするかであると考えられる。バット・ヘッドスピードを大きくすれば、速度の大きい投球に対して大きな衝撃力と打球の大きな初速度を得ることができるからである。

野球の打撃動作に関する科学研究は投手の投球動作に比べると少ない傾向がある。これには投手の投球（変化球、コース・高さの異なる投球）を打つという相対的な要因が大きいことや、打者の特性によって、「長距離打者」、「短距離打者」に区分されることなど、単に力学量による評価ができないことが、研究課題の設定を複雑にしている。さらに、野球の盛んなアメリカや日本では、早くにプロ化がなされたため、指導法を含めた打撃に関する知見がコーチ各々の秘密裏の財産になり、公開されにくかったことなどの要因も大きい。それでも、打撃動作の科学研究は 2000 年代以降に増えてきた。また、指導方法の公開も多くなってはきたが、いまだ体系的な知見となっていないのが現状である。

## 1.2. 打撃動作の変遷

川村 (2006) が述べているように、1880 年までの初期の野球では打者は投手に対して打球コースを要求できた。この時の投手の投球は下から投げるトスであり、打者は自分の打ちやすいボールを打てばよかったのである。その後、1880 年に投手一本塁間が 45 フィート (13.716m) から 50 フィート (15.24m) に変更となり、1884 年には投手の上手投げ (オーバースロー) が認められる。さらには、1887 年には、打者が投手にコースを要求できなくなり、1893 年には投手一本塁間が現行の 60 フィート 6 インチ (18.44m) となった。

このルール改正後当初の打撃動作は「Early Weight Shift System」(Schmidt & Ellis, 1994) と呼ばれ、20 世紀初頭にメジャーリーグで活躍したタイ・カップ、フランク“ホームラン”ベーカーといった選手がバッターボックス内で大きく体重を移動させることによってバットを加速させていた。こうした打撃の背景として、当時はヒッコリー材などによる重いバット (1kg 以上) を使用していたため、スイング弧を大きくして、加速時間を長くしなければならなかった。また、投手は今ほど球速が大きくなく、変化球も少なかったことから、打者はバットを加速する時間が長くても、タイミングを大きく崩されることがなく、打撃への影響が少なかったと考えられる。さらに、当時は「Dead Ball」と呼ばれる“飛ばないボール”だったことで、より重たいバットをボールにぶつけ、衝撃力を大きくしていたことも考慮する必要がある (川村, 2006)。

野球の打撃は短時間でバットの急激な加速を行う必要がある。ゆえに打撃の最も難しい点の一つとして、バットを加速するための「きっかけ」作りをいかに行うかがあり、当時は大きなステップをすることでスイング始動の「きっかけ」を行っていたと考えられる。

現代の野球の打撃では投手の投球時間、140km/h ならば約 0.44 秒の間にいかに判断とスイングを行うかという大きな課題がある。投球を判断してからのスイング時間は約 0.2 秒と言われ、スポーツの打具として、重い部類に入るバット (0.8~0.9kg) を静止した状態から加速させることは慣性の法則から考えても非常に困難な課題である。なぜなら、バットの加速を増加させようと加速に時間を要すれば、投球への判断が遅れてしまい、判断を長くし

ようとスイング時間を短くすれば、加速するのに十分な時間と距離がなくなってしまうからである。

そこで、重いバットを短時間で効率的に加速するには脚・体幹から両腕、バットへの運動量の伝達が必要となる。宮西（2006）は野球の打撃中のバット、身体およびシステム（身体＋バット）の角運動量成分の変動パターンを表し、鉛直軸回りの身体の角運動量の増加がバットの角運動量を増加させ、バット・ヘッドスピードを大きくすることにつながっていると述べている。このことから、身体全体の巧みな動作が必要と考えられる。通常、打者は最初に脚のステップにより投手側への並進運動を行い、次いで、腰部などの回転運動によって運動量を増加させている。そこで問題となるのは身体の並進と回転をどの程度行うかにあると考えられる。

1941年のシーズンに最後の4割打者となった「打撃の神様」と呼ばれるテッド・ウィリアムズは引退後の1971年に自分の打撃理論をまとめた『The Science of Hitting（日本では「バッティングの科学」）』を著し、現在も多くのメジャーリーガーに影響を与えている。打撃の理論を展開した。「回転型」の打撃と呼ばれる彼の理論の特徴は、1) 体重移動を抑えて、腰部を鋭く回転させ、体幹に沿った小さいバットの弧と大きなバット・ヘッドスピードで爆発的にボールをミートする。2) 引っ張る打撃になりやすい。3) 筋力に恵まれた長距離打者向きなどが挙げられる。それまでの時代と違い、投手の球速が増大し、スライダーやシュートなど球速のある変化球が増えてきたため、打者はより長く投球を見て短時間でスイングする技能が必要となる（Schmidt & Ellis, 1994）。この時代になると、ヒッコリー材に変わって軽量で硬いトネリコ属のホワイトアッシュ材のバットが作られるようになったことも大きい。より軽量になったことでバットをコントロールしやすくなり、少ない動きでバットを始動させることができるようになったと考えられる。ちなみに、日本でもこの時代からトネリコ属のヤチダモ、青ダモ材が主流となる。因みに現在はアオダモが少なくなり、木製バットは日米ともにメープル材が主流である（川村，2006）。

その後、ウィリアムズの4割に、最も近づいた打者の一人にジョージ・ブレット（1980

年、打率.390)がいる。彼は当時コーチだったチャーリー・ローから『ロー・スタイル』と言われる独特の打法を指導される。ブレットがこの打法で成果を出すとメジャーリーグの中で瞬く間に広がった。その打法は1980年に『The Art of Hitting.300（日本では「3割バッターへの挑戦」）』という本にまとめられた。その打法の特徴として、1) 後ろ脚から前脚への体重移動を行い、前脚を着地しながら体重移動を前脚で止め、回転運動に移行する。2) 水平面に大きくバットを動かして、ミート（当てる）することを重視する。3) ヒット狙いで、いわゆるアベレージ・ヒッター向きであることなどを挙げている（Schmidt & Ellis, 1994）。この体重移動から回転運動への移行に関して、吉福ほか（1987）は身体の並進運動を前脚で止めると、身体の重心を外れた力が地面から脚に働き、その力の作用としては、重心を減速させ、モーメントの作用としては上肢を回転加速させることができると述べている。つまり、ローの打法であれば、筋力に劣る打者でも、並進運動のおかげでバットを回転させる「きっかけ」を作りやすく、さらには回転運動に移行することで身体を効率よく扱うことができる。この打法は筋力や体格に恵まれない打者が多く採用した。しかし、この打法の短所として、体重移動の際に大きく頭部も動くことから、投球に対する視線の動きが大きくなるため、現在この打法の打者は少ない傾向にある（川村、2006）。

これらの打者や打撃コーチが作り上げた打撃理論は日本でも紹介され、主要な理論として広く取り入れられてきた。打撃理論は時代とともに変化しているが、技術が変化する背景として、打具の素材が変化し、軽量化が図られたことや、投手の技能・体力が向上し、より球速の大きい直球や鋭い変化球に対処する必要に迫られたことが挙げられる。そして、その打撃動作とは、投球をより長い時間見るために、慣性に抗って、いかに短時間でバットを加速させ、なおかつ正確にミートするかという難しい課題を克服することであると考えられる。

### 1.3. 打撃における上肢動作

図 1-1 は本研究の上肢の動作を身体からバットへのメカニクスにおいてみた場合の位置づけである。前節で述べたように、打者の優劣を決めるのに下肢や体幹が産み出す運動量

は重要であり、それは主に重心の移動から回転へ変化する（図 1-1 における 1 および 2）。それら産み出された運動量を、上肢を経由していかにバットへ伝えるかが最も重要であり、さらに、投球された飛来球を正確にインパクトするには、バットの軌道形成を行うことが重要である（図 1-1 における 3 および 4）。つまり、身体のシステムをバットのアクションに移行させることが打撃における身体およびバットで行うメカニクスであるといえよう。このことを浅見（1984）は「野球の打撃動作の最重要点はいかに打撃面を動かすかにある」と述べている。そして、打撃の面をどのように作るか、バットのどの部分でどのような角度でボールにぶつけるかに関しては、上肢の関節の動きが最も重要な役割を果たすと述べている。野球の打撃指導の現場でも、トップハンド側の腕を「押し（プッシュ）」として使い、ボトムハンド側の腕を「バットのリード」として使うのが良いと述べられている（石井, 1971 ; Gola et al., 2001）。しかし、これらの多くは指導者や選手の個人的経験の域を出ていない。これまで野球の打撃における体幹、上肢動作に関する研究は、打撃動作の平面的なスイングにモデル化することや左右上肢を一つとして扱い分析した研究が多い（Welch et al., 1995 ; Satern, 2001 ; 森下ほか, 2015）。打撃技能の巧みさを詳細に解明するため、特に熟練者間の僅かな技能の差を明らかにするためには上肢動作に関して左右腕を分けて詳細に検討する必要があると考えられる。

#### 1.4. 指導現場に役立つ知見とは

高橋ほか（2005）は野球投手における動作の研究において、これまでは特定の時点における値や最大値、最小値についての検討が多いが、指導現場では動作の運動経過全体に着目して球速に関する要因を検討する必要があると述べている。打撃動作においても同様のことがいえ、指導のための客観的な情報として適正な角度に加え、動作の強弱、タイミングなどが必要とされ、そのためにはバット・ヘッドスピードの違い、つまり、運動経験が豊富であるにもかかわらず動作の巧拙がある熟練者間について、運動経過に沿って時系列で比較することによって指導における着眼点を導き出すことができると考えられる。さらに、これ

まで指導現場で用いられる言葉が、上肢動作とどのような関係があるか明らかになれば、経験的な打撃の指導に明確な根拠を与えることができると考えられる。また、これらの研究の多くは実験条件を同じくするためにティー打撃によって多くの研究が行われてきた。これはミートポイントを一定にすることによって、バットの軌道とそれに伴う動作に関して、対象者間の条件を一定にするためである。しかし、ティー打撃の研究のみで得られた知見が実際の投球の打撃動作と異なっては役に立つ知見とは言い難い。そこで、こうしたティー打撃と飛来球との動作の違いを明らかにすることで、研究成果を指導現場で活用するときの考慮すべき点を明らかにすることは、オープンスキルである野球の打撃にとって有用であると考えられる。

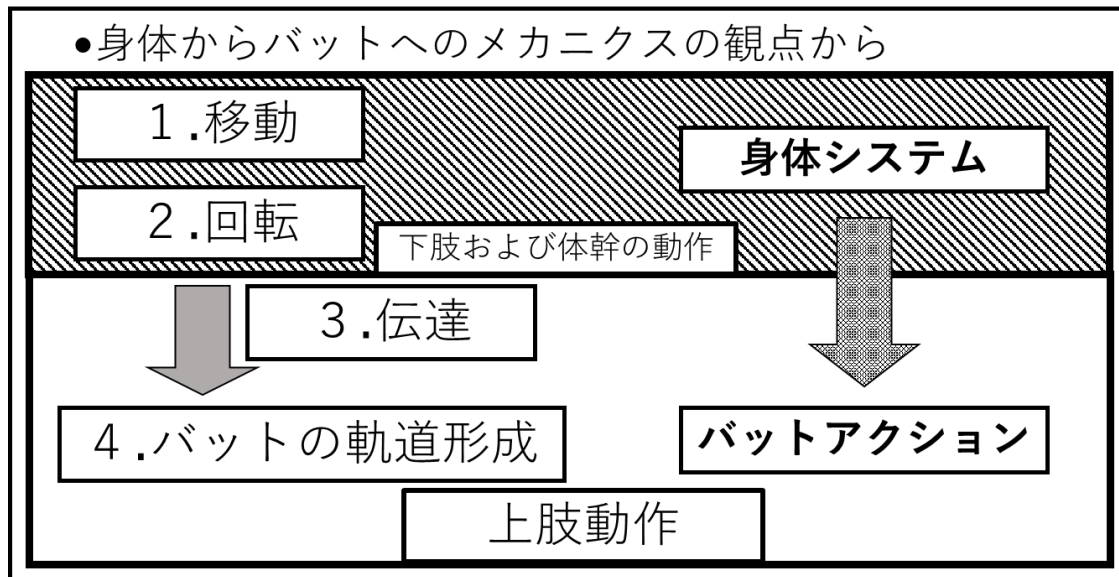


図 1-1 身体からバットへのメカニクスからみた上肢動作の位置づけ

## 2. 先行研究の検討

第1章では野球の打撃における熟練者間のバット・ヘッドスピードを向上させるための上肢動作メカニズムを解明する意義について論じた。そこで本章では本研究に関連があると考えられる国内外の主要な先行研究を概観し、本研究の学術的な位置と野球の指導現場に役立てるための課題について論じていくこととする。

### 2.1. 打撃動作の上肢と体幹の動作に関する研究の概観

#### 2.1.1. 上肢および体幹のキネマティクス

本研究の主題である野球の打撃における上肢動作、また体幹の動作に関しては国内外で多くの研究が行われてきた。

McIntyre&Pfausch (1982) は、20 人の現役の大学生または元大学レベルの右打者にピッチングマシンを用いた打撃を行わせた。大学のコーチがバット・ヘッドスピード上位群と下位群に分けて、水平面上が映るように撮影し、バット、手、肘、肩関節、ボールの座標から変位と、関節の方向を算出した。上位群と下位群の間では、打球方向に有意な差は認められなかったが、レフトとライト方向への打球間には有意な差があったと報告した。レフト方向へのヒットでは、スイングの開始からインパクトまでの移動時間が有意に長く、インパクト前の瞬間におけるバット、ボトムハンド側手関節、肘関節の角度変位が有意に大きく、バット、ボトムハンド手関節、肩関節の最大角速度が有意に小さかったと報告している。その理由として、打者がボトムハンド側肘関節の伸展量を調整し、ボールインパクト時点でバットが適切な方向になるようにボトムハンド側手関節の向きを変えたと結論づけていた。

このように、この時代の分析は 2 次元の撮影から水平面上のスイング様態を観察し、上肢動作の動きを同定していた。野球の打撃動作は特にインパクトにかけて、水平面上にバットが大きく動くことから、上記の分析が役立つと考えられる。しかし、フォワードスイング前半では、バットは高い位置から振り下ろされて、鉛直軸上の動きが大きくなると考えられ、3 次元的な分析が必要となっていた。



そこで、Welch et al. (1995) は、野球のスイングを分析するために 3 次元運動分析システムを使用した研究を行い、7 名のプロ野球の右打者におけるティー打撃を分析した。測定項目は、ステップの長さや方向、肘と膝の屈曲と伸展、下腕と上腕、腕の回転（肩の中央から手首の中央までのベクトル）、およびバットと腕ベクトルとの間のなす角度であった。それぞれの角速度を観察すると、野球のスイングは中枢からバットへ順次角速度が大きくなる運動連鎖が存在することを報告している。

この研究の結果は McIntyre & Pfautsch (1982) のものと同様に打撃動作において運動連鎖が行われていることを示唆したものである。しかし、この研究の問題点として、両腕の動作を肩の中央から手首の中央までのベクトルとして、腕を一本としていることから、動作の指導に役立つものとは言い難いと考えられる。

その後、バット・ヘッドスピードを大きくするための動作に関する動作に関して多くの研究がなされるようになった。

Dragoo (2003) は発達異なる段階である大学、高校、ユースの 3 つのレベルの打者の最大下腕角速度、最大上腕角速度、バット・ヘッドスピード、打球スピードを算出した。バット・ヘッドスピードと打球スピードが最も速かったのは大学生群であった。高校生群の方が上腕角速度はやや速かったが、バット・ヘッドスピードと打球スピードは低かった。ユース群はすべての速度において有意に遅かった。大学生、高校生、ユースの打者の間では、最大バット角速度に有意な差はなかったと報告している。

体幹とバット・ヘッドスピードの関係に関して、田内ほか (2005) は、大学野球選手 12 名のティー打撃動作において体幹の捻転動作がヘッドスピードに及ぼす影響を検討し、インパクト直前のバット・ヘッドスピードが大きい選手ほど体幹の負の捻転角速度が大きいことを報告している。さらに、腰部・肩部間の体幹筋群の伸長・短縮サイクル (Stretch-Shortening Cycle : SSC) を効果的に利用していることにより、バット・ヘッドスピードを増加させたと推察している。

森下ほか (2013) は、Springings et al. (1994) と同様の方法を用いて、バッティング

における体幹からバットを連結する関節の回転運動が生成し得るヘッド速度を定量化し、算出した値を用いてインパクトの瞬間のヘッド速度を増加させるために必要なキネマティク的要因について検討を行った。実験は大学野球選手 17 名にティー打撃を行わせ、モーションキャプチャーによって 3 次元動作分析を行った。それによると、スイング局面の前半では体幹の関節運動、後半では手関節の回転運動がヘッド速度の大部分を生じさせていることが示された。しかし、スイング局面の始動期において、肩関節の回転速度を極力抑える（肩の開きを抑える）ことでバットヘッドの加速距離を維持することが重要であると報告している。

Nakata et al. (2014) は、対象者を熟練者の男子野球選手 8 名と初心者の男子野球選手 9 名の野球の打撃時における上胴角度、下胴角度、それらの捻転角度のデータを得るために、バックスイング時の最大角度、インパクト時の角度、フォワードスイング時の角度変位を算出した。その結果、熟練者では、未熟練者に比べて、上胴、下胴、捻転における角度変位が有意に大きいことが明らかになった。バックスイング中の最大骨盤角のタイミングは、熟練者の方が未熟練者よりも有意に遅かった。また、フォワードスイング中の角度変位とバックスイング中のタイミングの動きのばらつきは、熟練者よりも未熟練者の方が有意に大きかった。これまでの研究では、打撃時の体幹回転における角速度の重要性が報告されているが、本研究の結果は、体幹回転時の角度変位と動きの変動も、熟練者と未熟練者の熟練度を理解する上で重要な要素であることを示唆している。Escamilla et al. (2009b) も同様の研究を成人群とユース群の比較で行い、成人群の方がストライドとスイングの局面が有意に長く、ステップ脚膝関節屈曲角速度、ボトムハンド側肘関節伸展速度、上胴の角速度、打球スピードが大きいという顕著な違いがあった。成人とユースではスイングのメカニクスが著しく異なると報告している。

以上の研究は、バット・ヘッドスピードを産み出すためのメカニズムやバット・ヘッドスピードと相関が高い部位の動作が検討され、下胴、上胴の体幹の運動連鎖が腕、バットの加速へつながることや熟練者と未熟練者あるいは年代によつての巧拙があることを示唆

したものである。さらに、捻転による体幹筋群がSSC運動を行っていることも推察されている。

### 2.1.2. 上肢および体幹のキネティクス

上肢のキネティクスに関して、野球の打撃は両手で打具を握って行われるため、逆動力学的アプローチでは、左右の上肢へどのように力が配分されるかを同定することが困難となる「閉ループ (Closed Roop)」問題があった。そのため、両手を一本のモデルとして、関節トルク、関節力を算出する方法がとられてきた。

森下ほか (2015) はこの両手を両肩関節の midpoint からグリップまで一本の腕のモデルとして、打者の両手がバットに加えた力系の各成分がもたらすバット・ヘッドスピードおよび方位変化に対する貢献度を明らかにし、インパクト直前のバット・ヘッドスピードと方位を決定するメカニズムについて検討している。大学野球選手 17 名にティー打撃を行わせ、バットのヘッドスピードはバットの長軸上のグリップエンド方向に加えた両手の合力 70%，両手トルク（両手部による 2 力またはモーメント）によって 25% が生み出されていたことを報告している。

こうした課題に対して、小池 (2004) および Koike et al. (2004) はバットを両手で保持する際の逆動力学計算時に生じる「閉ループ」問題の解決のため、バットグリップにひずみゲージを付けることで各手がバットに及ぼす作用力および、そこから力のモーメントを測定することができる「センサーバット」(図 2-1) を開発した。これにより、打撃動作時の両上肢のキネティクス研究を促進することとなった。

そこで、小池ほか (2008) はバットならびにバットから構成される多体系の運動方程式を導出し、この運動方程式を変形することによって、バットならびに左右上肢のダイナミクスを詳細に検討可能な分析手法の提案を行った。大学硬式野球部員を対象者にセンサーバットによるティー打撃を行った。その結果、打撃動作のバット・ヘッドスピードの獲得に、総関節モーメントだけでなく、コリオリ力、遠心力といった運動依存項が大きく貢献していると報告している。バットスイングにおいて、運動依存項の貢献を効果的に高める

動作を検討することがヘッドスピードを高めることに繋がることを示した。

また、阿江ほか（2013）は異なる打点高条件における左右各手のキネティクスの分析をティー打撃条件下にて行うことにより、打点高の違いに対応する際の左右上肢の役割について検討した。方法はセンサーバットにより計測した左右各手のキネティクスの変量を算出し、これらの各キネティクスの変量を打点高条件間において比較を行った。対象は大学野球選手 23 名であり、高め、真中、低めに設定されたティー打撃を行い、モーションキャプチャーによる 3 次元動作分析を行った。それによると、バットのボール打撃部位の鉛直変位において、バットの並進による変位は打点が低いほど有意に大きく、回転による変位に比べて約 7 倍の大きさであったと報告している。また、異なる打点高への対応には、主にボトムハンド側手の長軸力の鉛直成分により、ダウンスイング局面においてバット重心を鉛直方向に並進運動させることに加えて、バット起こし倒し軸周りの作用モーメント、ならびにこの軸周りのモーメントとして作用する左右各手の偶力成分によりバットの倒れこみによる回転運動を抑制していると述べている。さらに、阿江ほか（2014）は異なる打点高条件における左右の上肢関節のキネティクスの分析をティー打撃条件下にて行うことにより、打点高の違いに対応する際の左右上肢の役割について検討した。方法はセンサーバットにより計測した左右各手のキネティクスの変量を用いて、逆動力学演算により左右上肢の関節トルク、関節トルクパワーおよび関節の力学的仕事を算出し、これらの各キネティクスの変量を打点高条件間において比較を行った。それによると、両肩関節について、ダウンスイング局面前半では打点が低い程、伸展トルク、および伸展トルクによる正のトルクパワーが有意に大きかった。手関節について、特にトップハンド側手関節において、ダウンスイング局面後半では打点が低い程、掌屈トルクが有意に大きく、また打点が高い程、尺屈トルクが有意に大きかった。レベルスイング局面前半では打点が低い程、掌屈および尺屈トルクによる正のトルクパワーが有意に大きかった。関節トルクによる力学的仕事について、左右の上肢ともに肩関節の屈曲伸展軸および内外転軸、肘関節の屈曲伸展軸では、発揮される仕事は顕著に大きく、且つ打点高間に有意な差がみられた。

Koike et al. (2016) は、運動依存項（遠心力，コリオリ力など）の発生要因を考慮して，バット・ヘッドスピードの主な要因を定量化することを試みた．対象は大学野球選手 5 名でティー打撃を行わせ，モーションキャプチャーによる 3 次元動作分析を行った．それによると，バット・ヘッドスピードの発生に最も寄与した運動依存項の主な発生因子は関節トルク項であった．対象者にとってバット・ヘッドスピードの主な積極的の寄与因子は，ボトムハンド側肩関節外転トルク，体幹の正の回転トルク，ボトムハンド側肘関節伸展トルク，トップハンド側肩関節内旋トルクであった．一方，主なマイナス寄与はボトムハンド側肘関節の伸展トルクであった．このボトムハンド側肘関節の伸展トルクのマイナス寄与は，非直感的な現象であるが，運動依存項の累積的な影響によるものと考えられる．下肢の関節トルクは直接寄与していないが，バット・ヘッドスピードの主な寄与因子の一つである体幹の正の回転トルクを発生させることで，間接的にバットヘッドスピードの発生に寄与していると報告している．

体幹のキネティクスに関して，宮西（2006）は，打撃動作における鉛直軸まわりの角運動量に着目し，インパクト時のバット・ヘッドスピードが異なるレギュラー選手

（35.4m/s）と，非レギュラー選手（28.7m/s）とを比較し，特に身体の角運動量がスイング局面中盤で増大させることが重要であると述べている．また，この局面においてレギュラー選手は非レギュラー選手よりも，身体の角運動量のうち体幹の角運動量の占める割合が大きいことから，身体の角運動量を増加させるためには体幹の捻り運動が最も重要であると推察している．

さらに，阿江ほか（2015）は，異なる打点高条件における体幹仮想関節のキネティクスの分析をティー打撃条件下にて行うことにより，打点高の違いに対応する際の体幹の役割について検討した．大学生打者 23 名（右打ち 11 名，左打ち 12 名）を対象者にティー台での打撃を行わせた．センサーバットを使用し，体幹を前後屈，左右側屈，左右回旋の 3 軸から構成される体幹仮想関節によって連結された上胴および下胴からなる剛体セグメントによってモデル化した．体幹前後屈トルクについては，打点が低い程，大きくなる鉛直

下方へのバットの変位およびバットの遠心力に対して上胴の姿勢を維持する働きがあること、体幹左右回旋トルクについては主にレベルスイング局面において打点高の違いによる回旋角度の差、および右回旋角から左回旋角への回旋角度の変化により、左回旋トルクおよびその正のトルクパワーの大きさを変化させる必要があること。体幹左右回旋トルクについては、大きな力学的エネルギーの生成、および上胴を介して左右上肢、とりわけボトムハンド側上肢へと大きな力学的エネルギーを伝達して、打点高間によらず、バット・ヘッドスピードの生成に寄与すること。体幹の関節力については、セグメントトルクパワーと比較して関節力パワーによる力学的エネルギーの伝達量が小さかったことから、打点高の違いによらず、スイングを安定して行うための身体の支持に寄与することを報告している。

上肢のキネティクスはセンサバットの開発から促進され、逆動力学から体幹のキネティクスを算出されるようになった。その上、体幹の角運動量の算出明らかとなっていた。さらに、バット・ヘッドスピード獲得技術の巧拙への研究が行われるようになった。

このように、上肢動作に関して、熟練者と未熟練者の巧拙に関してや、バット・ヘッドスピードとの動作の相関をみた研究は多い。しかし、実際の指導ではそのチームでレギュラーになることや、熟練者内での技術的な巧拙を詳細に検討し、指導に活かすことが課題であるのに対して、そのような細部をみた研究はあまりみられないことが理解できる。

また、キネティクスにおいても、体幹からどのようにバット・ヘッドスピードを産み出す力が上肢へと伝えられているか検討した研究はみられない。

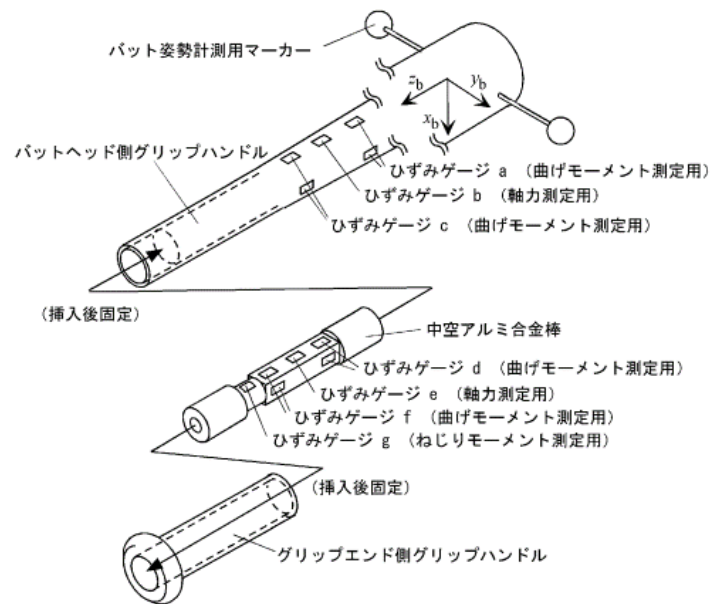


図 2-1 センサーバットの構造 (小池, 2004)

## 2.2. 打撃動作における下肢動作に関する研究の概観

本研究は上肢動作に焦点を当てたものだが、下肢動作が上肢に与える影響は大きい。この節では下肢動作研究を概観し、上肢動作への示唆を得ることとする。

### 2.2.1. 下肢のキネマティクス

阿江ほか（2019）は、下肢動作の推移を示す地面反力に起因する評価指標を用いて、身体の回転運動の違いを生み出す左右下肢のキネマティクスの特徴を導き出した。対象は大学野球選手 22 名（右打ち 10 名、左打ち 12 名）でティー打撃による実験を行った。それによると、身体重心と地面反力の圧力中心までの距離について、ストライド側では、打球方向成分において上位群が下位群よりも有意に距離が長かった。さらに、地面反力のピーク値については、左右方向成分において両脚ともに上位群が下位群よりも有意に値が大きく、効率的な身体の回転運動にはストライド側足の接地時点以降において、左右の股関節の屈曲角度、軸足の股関節の外転角度を大きくすること、ならびに軸側の股関節の内旋角度を小さくすることが関連すると述べている。

高木ほか（2008）は、球速の異なるボールに対する野球の打撃動作の特徴を明らかにすることで、打撃の正確性に影響を及ぼす動作要因について検討した。球速の異なるボール（75km/h, 100km/h, 125km/h）を被験者に打撃させ、3 次元自動動作分析システムを用いて動作を計測した。打撃の正確性を評価する指標としてインパクト角（川村, 2001）を用いて、身体の並進および回転動作と打撃の正確性との関連について検討を加えた。それによると、ボール速度が大きい条件（125km/h）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、上胴部およびバットの回転動作範囲を小さくすることが打撃の正確性を高める動作であると考えられた。さらに、体幹の捻転角度および捻り戻しの角速度の最大値にはボール速度条件による有意な差は認められなかったため、これらの動作はボール速度に関わらずスイングに必要な動作であると報告している。

金堀ほか（2014）は指導者が選手の打撃動作を評価する際の着眼点をバイオメカニクスの手法を用いて特に下肢のキネマティクスを検討した。対象者は大学硬式野球部員 14 名で



あり、複数の指導者によってレギュラー群（FG 群）と非レギュラー群（SG 群）が 7 名ずつ選出された。赤外線カメラ 9 台（サンプリング周波数：250Hz）を用いた光学式 3 次元自動動作分析システムにより、3 次元座標データを収集した大学野球の FG 群と SG 群において、スイング速度や打球スピード、体格要因などに大きな差はみられなかった。身体重心の移動距離において、FG 群はステップ局面で最も大きく変位したが、SG 群はアプローチ局面で最も大きく変位し、その差は有意であった。また、軸脚股関節の外転動作においても同様の傾向がみられ、ステップ時間は FG 群のほうが有意に長かった。腰の角速度において、両群ともに踏み出し脚接地時以前から投手方向に回転していたものの、値は FG 群のほうが有意に大きかったと報告している。

このように下肢のキネマティクスの分析は少ない傾向がある。これは第 1 章でも述べたように、打者がスイングするための動力を生み出すためにはバッターボックス内での身体の「移動」と「回転」の組み合わせがあり、その動作パターンには様々な方法があるため、下肢動作を定めることが難しいことが考えられる。そのため、地面反力などのキネティクスからの分析が多いのが特徴である。また、打撃動作において下肢は力を産出するとともに、投手の投球に対するタイミング制御も大きな役割であるため、強いスイングとタイミングのための動作の役割をそれぞれ定めることが困難であるため、キネマティクスの分析が困難であったと考えられる。

さらに、打撃動作分析からの観点から言えば、下肢のキネマティクスのアプローチが少ないのは、下肢や体幹で生み出された力をどのように伝えるかに関してはバットを持つ上肢動作が重要であり、上肢動作のほうが巧拙を決定する要因が多いことが考えられる。

### 2.2.2. 下肢のキネティクス

バット・ヘッドスピードを大きくするためのメカニズムに関して、地面反力を測定することで下肢および体幹のキネティクスの研究はこれまで比較的多く行われてきた。

小田ほか（1991）は大学野球選手 18 名を対象に、ティー打撃における地面反力から各打球スピード、バット・ヘッドスピード、インパクト比およびそれらの変動係数との相関関係

を求め、地面反力からみた打撃技術について検討した。その結果、以下の点が明らかにされた。1) バット・ヘッドスピードとスイング時間には有意な負の相関関係が認められた。2) バット・ヘッドスピードとバックスイング期の左右軸方向の地面反力ピーク値および地面反力の左右軸方向分力の重心に対する平均パワーの間に有意な相関関係が認められた。3) バット・ヘッドスピードと打球スピードは、バックスイング期における打球と反対方向への身体重心移動距離の身体重心総移動幅に対する割合と有意な相関関係が認められた。4) バット・ヘッドスピードと打球スピードは、フォワードスイング期の身体重心移動距離のうち最初に構えていた重心位置より球に近い部分の総移動幅に対する割合と有意な負の相関関係が認められた。5) バット・ヘッドスピードの変動係数とバックスイング期の鉛直軸方向の地面反力ピーク値および地面反力の鉛直軸方向分力の重心に対する平均パワーのそれぞれの変動係数と間に有意な相関関係が認められた。また、打球スピードの変動係数と地面反力の垂直方向分力の重心に対する平均パワーとの間に有意な相関関係が認められた。以上の結果より、バット・ヘッドスピードを獲得するには、バックスイング期の最後（フォワードスイングの直前）に、身体重心を打球方向と反対でしかも腹の方向に移動しておく必要があることが示唆された。また、正確な打撃のためには、身体の上方向の調節が関与すると報告している。

Welch et al. (1995) は、先述した研究において、野球の打撃における床反力 (GRF)、圧力中心 (COP)、および重心 (COM) の分析も行っていた。フォースプレートを使用して、両足それぞれの各成分と合力を、スイング中の3つのポイント（離地、接地、インパクト）において測定した。離地から打者は軸足側に体重を移動させ、合力の約 862N、すなわち体重 (BW) の 102% になった。これは、捕手方向に 146N、右打者の1塁方向へ 26N、地面方向に 848N のせん断力として加えられた。この時、COP は軸脚側に移動し、COM の後方 0.2m の地点に到達していた。その後、ステップ脚は合計 1007N (123%BW) の力で地面に戻り、投手方向に 292N、一塁方向に 280N、垂直方向に 917N のせん断力が加わった。軸脚は 497 N (58%BW) の合力を生み出し、これはステップ脚の約半分の合力であっ

た．この体重移動は、COM の 0.2m 前方の点への COP の急激な前方移動時にみられた．インパクト時に、ステップ脚の合力 709N (84%BW) であり、軸脚は合力 147N (16%BW) であった．それにより COP は COM の 0.24m 前に移動していたと報告した．

勝又ほか (1996) は、緩急 2 種類の異なった速度の投球に対する打撃時の地面反力を測定し、スイング開始前の局面における荷重変化に着目することで、異なる速度の投球に対して、打者が如何に対応しているかを検討した．大学硬式野球部に所属するレギュラー選手 6 名にマシン打撃を行わせ、ステップした足が地面を踏みしめる時点かそれよりも前に、投球への対応についての判断がなされていることが明らかになった．さらに、遅い速度の投球に対して、スイング開始のタイミングが早まってしまうと判断した場合、ステップした左足の踏みしめ時期を遅らせることでスイング動作開始時期を調節し、投球速度の予測が難しい状況において、あらかじめ速い速度の投球に合わせてスイングのための準備を行っていることを明らかにした．そして、投球が遅い速度のものであったなら、ステップした足の踏みしめを踏みとどまることでスイング動作開始時期を調節していると報告している．

Ae et al. (2017) は、野球選手の打撃点の様々な高さでの打撃を行い、下肢動作の検討を行った．モーションキャプチャシステム (250 Hz) を使用して三次元座標データを取得し、3 つの異なる打撃点の高さ (高, 中, 低) の打撃について、逆動力学計算によって下肢の関節トルクと力学的仕事量を算出した．それによると、垂直軸周りの下胴のピーク角速度は、低条件で小さく、両脚の股関節内外転によって行われる関節トルクと力学的仕事量は、3 つの条件の間で異なっていた．これらの結果は、股関節内外転トルクが、さまざまな打撃点の高さを調整するとき、主に垂直軸を中心とした下半身の回転運動の変化に寄与していたと報告している．さらに、他の打撃点の高さに比べて難しい低い打点に調整するため、打者は両脚の股関節外転トルクを増加させることによって下胴の回転を制御させる必要があると報告している．

堀内ほか（2017）は、野球の打撃動作における下肢と下胴部の力学的エネルギーの流れおよびその発生・吸収について検討した。対象者は大学野球選手および社会人野球選手 79 名（右打ち 41 名、左打ち 38 名）であり、トス打撃による実験を行った。野球の打撃において、体幹関節および左右の股関節は力学的エネルギーの発生源であり、体幹は力学的エネルギーの伝達経路としての役割を果たしていると報告している。

堀内ほか（2018）は野球の打撃における股関節のダイナミクスについて、左右の股関節で生成される力学的エネルギーに関連するトルクの発揮および動作を明らかにした。対象者は大学および社会人野球選手 98 名（右打ち 55 名、左打ち 43 名）であった。実験はトス打撃で行われ、野球の打撃動作中における軸脚側の股関節の伸展トルクの発揮能力が、インパクト時のバット・ヘッドスピードと関連する可能性があり、インパクト直前におけるステップ脚側の股関節の伸展トルクはバットの遠心力に抗することで打撃姿勢を維持する役割を果たしていることが示唆された。

このように、下肢の研究はフォースプレートによる地面反力の測定から、下肢関節のキネティクスを中心に行われてきた。それによると、両脚によるモーメントの生成により体幹の回転運動を産み出すことが重要である一方で、タイミングや打点の調整なども下肢が担っていることから、動作を一様に同定できず、いくつかのパターンがあることが示唆される。そのため、キネマティクスの動作を分析するには試技条件や群分けを様々な方法で行うことが望ましいと考えられる。また、股関節、体幹の回転運動が生み出した力がバット・ヘッドスピードに大きく影響することが明らかとなっている。それには体幹からどのように両上肢へと力が伝わっているのか明らかにする必要があると考えられる。

### 2.3. 高低・コース、球速差の対応および打球方向に関するキネマティクス

打撃の本質は投球への対応といわれている（川村，2018）。そのため、投球への対応を考慮した研究が必要であると考えられる。

田子ほか（2006a）は野球における高低の打撃ポイントが打撃動作へ及ぼす影響について

3次元動作分析を行った。対象は大学野球選手10名で各ポイントに設置したティー打撃を行わせた。それによると、高低の打撃ポイントに対応するには上胴および下胴の回転よりも四肢の調整が優先されており、まず左右の股関節の屈伸、次いで内外転によって調整を行い、スイング前半では左右の上肢を、スイング後半ではボトムハンド側の上肢を中心にしてバットを打撃ポイントへ導いている。特に低いボールに対しては股関節の屈曲による調節が重要であると報告している。

田子ほか（2006b）は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を3次元キネマティクスの分析した。対象は大学野球選手10名で各ポイントに設置したティー打撃を行わせた。それによると、内外角を打撃する場合、ステップ脚接地時点までに上胴および下胴の回転の調整をまず開始し、その後スイングスタート時点以降から四肢の動作のタイミングを調整していたと報告している。

高木ほか（2010）は、野球における速度の異なるボールに対する打撃動作に影響を及ぼす力学的要因を検討した。速度の異なるボール（75-80km/h, 100-105km/h, 125-130km/h）を被験者に打撃させ、3次元自動動作分析システムを用いて動作を計測するとともに、2台のフォースプラットフォームを用いて両足下の地面反力を計測した。下肢及び体幹部に作用する関節力および関節トルク、さらに股関節トルクを下胴の長軸周りの軸へ投影した成分（下胴回転成分）などを算出した。それによると、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、この要因としてステップ脚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の短さが大きく影響を及ぼしていた。また、ボール速度の大きい条件では、軸脚側では股関節外転トルクの下胴回転成分、ステップ脚側では股関節屈曲トルクの下胴回転成分が大きく作用していた。

## 2.4. 打球方向とそのインパクトに関する研究

打球方向への研究もよく行われている。特に右打者でいえばライト方向への打球、つまりは「流し打ち」に関して荒木ほか（2012）は外国人選手の外角のコースを流し打ち方向

へ打撃した動作を分析することにより、流し打ち方向へ長打を打つための有効な動作を検討した。キューバ選手 6 名、アメリカ選手 4 名、韓国選手 2 名、日本選手 3 名、計 15 名の右打者の打撃において、外角のコースを打撃したものの中から、ライト方向へ流し打ちしたものを分析試技とした。その中で、バット・ヘッドスピード上位群は下位群よりも、ステップ脚接地時において身体重心を左右の足にバランスよく乗せ、懐の深い姿勢をとっていること、トップハンド側肩関節屈曲角度を小さくしたままスイング、バットが水平になる時点においてグリップスピードの投手方向成分を大きくしていること、バットが水平になる時点からインパクトにかけて軸足の底屈動作、上胴の回転動作を大きくしていることが明らかとなった。

加えて、森下ほか（2012）は、様々な方向へ放たれた長打と単打のバットの動きを比較することで、実戦において広角に打ち分け、かつ打球飛距離を伸ばすためのスイングの特徴について考察し、さらに日本人選手と圧倒的な長打力を誇ったキューバ人選手とのスイングを比較した。国際大会 4 チーム（キューバ、アメリカ、日本、韓国）に所属する選手の打撃を高速度カメラ 2 台で撮影し、長打および単打が放たれたスイングの分析を行った。それによると、広角に長打を放つには、インパクトの前後位置に起因するバットの水平角度を変化させることで打球方向を定め、どの方向に打つときもバット・ヘッドスピードを大きくし、投球されたボールとバットヘッドの軌道がインパクト直前で平行になるようなスイング軌道でインパクトを行うことが重要である。加えて、日本とキューバの打撃を比較したところ、キューバ選手のバット・ヘッドスピードが大きく、インパクトの少し前からバットとボールが直衝突する確率の高いスイングをおこなっていることが推察された。

これらから打球方向の打ち分けに関する知見として、森下・矢内（2018）は、同一投球条件において、同一群が引っ張り方向と流し打ち方向に鋭い打球を放った際のバットの運動を 3 次元的に比較し、左右方向に打球を打ち分けるためのスイング軌道の特徴を検討した。対象は大学生選手 19 名と社会人選手 16 名である。ピッチングマシンによる打撃によ

って、各対象者の引っ張りとし打ちの成功試技を各 1 試技、計 70 試技（被験者 35 名×2 試技）を分析対象とした。それによると、意図した方向に鋭い打球が放たれた際のバットの運動を引っ張りとし打ちで比較した結果、両条件はインパクト時にバットの打撃面が狙った方向に向いているだけではなく、引っ張りはアッパースイング、し打ちはダウンスイングでインパクトを迎えていることが示された。また、両条件はスイング局面を通して、バット鉛直角およびバットのバット・ヘッドスピードを構成する並進・回転成分の割合が異なることが明らかとなり、し打ちは引っ張りよりもグリップエンドに対するバットヘッドの位置が低く、バット・ヘッドスピードの並進成分の割合を大きくしてスイングを行うことで、インパクトにおいてし打ち方向へ打球が飛翔しやすい条件を作り出していると報告している。

一方、インパクトに関する研究はそのメカニズムやバットの様態と放たれた打球との関係による研究が行われてきた。

川村ほか（2001）は、3 次元動作分析法を用いて野球の打撃動作における熟練者のバットの動きに関して分析を行った。対象者は大学野球選手および社会人野球選手 10 名で、ティー打撃を用いた。それによると、大学選手と社会人選手ではバット・ヘッドスピードに違いがなかったにもかかわらず、打球スピードは社会人選手が大きかった。その理由として、スイングの速度ベクトルと放たれた打球の速度ベクトルの差をインパクト角と定義し、社会人野球選手のインパクト角が  $0^{\circ}$  に近い、つまりは直衝突に近いインパクトを行っていることを報告している。

このバットの様態に関して、エネルギーの観点から分析したのが城所ほか（2011）の研究である。城所ほかは打撃動作における打球の飛距離と運動エネルギーを決定する打球の特性、およびそれらを生み出すインパクトを含むスイングの特徴を検討した。対象者は大学野球選手 13 名でマシン打撃を行わせた。1 台の超高速カメラで撮影し、3 次元動作分析を行った。それによると、打球スピードが大きく、角速度が小さかった試技ほど打球の飛距離が大きく、直衝突に近いインパクトにより大きな打球スピードと小さな角速度を獲得した

打球が低い角度で放たれた場合、打球が大きな運動エネルギーを有することが明らかとなった。飛距離を大きくするにはバット・ヘッドスピードを高め、大きなスイング角度でインパクトさせることが重要であり、ローリング角速度を持たせたバットでインパクトを迎えることが重要であると報告している。バットの短軸におけるローリングについては、谷中ほか（2017；2018）が詳しい。

金堀ほか（2017）は様々な投球コースに対するインパクトパラメーターに着目し、大学野球のレギュラー打者と非レギュラー打者の特徴を明らかにすることで、野球の打撃に関する研究およびコーチングへの示唆を得ることを目的とした。対象は大学野球選手 4 名でそのチームのレギュラー 2 名と未出場者 2 名であった。それぞれがピッチングマシンの投球を打撃し、結果が 100 球に至るまで行った。打撃動作およびボールの撮影は、2 台の高速 VTR カメラ（撮影速度：毎秒 300 コマ、シャッタースピード：1/1000 秒）で行った。速い打球を打つことは安打を打つために重要な要素であり、水平に近い打球を打つことはより安打になりやすいことが示唆された。各コースに対して一定の速さでスイングでき、なおかつ一定の速さの打球を打てることが、レギュラー打者の特徴であることが示唆された。レギュラー打者は、安定して基本のインパクト位置でインパクトしながらも、基本のインパクト位置から外れた位置で打撃した場合でも、安打を打つ技術を兼ね備えていることが示唆された。

このようなインパクトを観察することで、打撃の巧拙を評価したり、インパクト角、さらにはローリング角速度など、打撃の新たな指標が提示されたりするようになった。さらに、これらバットやボールの様態の研究から打球方向・角度に関するより詳細なインパクトに関する研究も行われている。

川村ほか（2000）は熟練者のバットの動きの分析において、バットの力と有効モーメントの関係はボール速度の打球スピードの大きな選手はフォワードスイング前半では上下軸周りのモーメントが大きくなり、次に打球方向への力が増大して、最大値を迎えた後、再び上下軸周りのモーメントが増大する傾向がみられたと報告している。



城所ほか（2012）は、バットのスイング特性を表す各指標とインパクトパラメーターの各成分が打球の運動エネルギーにどのように貢献するかを対象者内で検討した。対象は大学野球選手 10 名でマシン打撃を行わせた。2 台の高速度カメラで撮影し、3 次元動作分析を行った。それによると、ゴロやフライも含めた全てのフェアグラウンドへ放たれた打球のうち、運動エネルギーの大きな試技は低い弾道かつ並進速度の大きなライナー性の打球であることが明らかになり、運動エネルギーの獲得にはインパクトパラメーターがすべての被験者で 48～76%と高い貢献であったことを報告している。

城所・矢内（2017）は、各打者の打撃技術やスイング特性は、各メカニズムの規定因子（第 1 メカニズム：バットの水平面上の向き、第 2 メカニズム：バットの下向き傾斜角とボールのインパクト位置）に直接影響を及ぼすため、打球の飛翔方向を決定するメカニズムについて詳しく分析することは、各打者が放つ打球の特徴と打撃技術との関連を理解するための基盤となるとし、2 つのインパクトメカニズムのそれぞれが打球の左右飛翔方向に及ぼす影響の大きさを定量化するとともに、それらの影響の大きさと打球スピードとの関係を検討した。対象は大学野球選手 16 名でマシン打撃を行い、2 台の高速度カメラによる撮影を行った。それによると、第 1 メカニズムの貢献度の平均値は、いずれの方向への打撃でも 40%以上を記録していた。一方で、その値は上下左右の打球方向によって異なり、引っ張りのフライと流し打ちのゴロでは、とりわけ第 1 メカニズムの貢献度が高かった。これに対し、引っ張りのゴロや流し打ちのフライでは、鉛直バット角度と衝撃線角度の相互作用を利用した第 2 メカニズムの貢献度が比較的高かった。しかし、第 2 メカニズムの貢献度が小さい試技ほど打球スピードが大きくなる傾向がみられたため、速度の大きな打球を放つには、インパクトのタイミングを調節し、第 1 メカニズム優位な打ち分けが望ましいと報告している。

志村ほか（2019）は、弾性体モデルを用いた 3 次元インパクトシミュレーション分析により、指定された方向に流し打ちする際に飛距離を最大化するために最適なバットの方位（水平面・鉛直面での角度）とボールの衝撃位置の組み合わせを明らかにすること、お

よび、ボールインパクト時のバットの方位が打球特性（インパクト直後の速度、回転、角度）および飛翔特性（距離、軌道、飛翔時間）に及ぼす影響を検討した。方法は有限要素法を用いたシミュレーションによりボールとバットの打撃時における挙動を分析した。流し打ちは2つの方法が考えられ、1つはボールインパクト時のバット水平角が右翼を向くほどその角度に応じた打球が右翼方向に放たれること。さらに、ボールの約20°下方をインパクトすることにより、大きな飛距離の打球が放たれることが明らかになった。この方法は水平面上の斜衝撃として捉えることができるため直感的に理解しやすく、『バットを立ててインパクトする』という一般的な指導を実践するものである。もう1つの方法はバットヘッドを下方に傾け、バットの打撃面が左翼方向へ向けてインパクトするもので、衝撃線角度の大きさを調整することによって意図する方向へ流し打ちするものである。打球の飛翔方向が衝撃線角度の小さな変化に対して敏感に反応することから、意図する方向へ流し打ちするには精度の高いバットコントロールが求められると報告している。

## 2.5. タイミング・視覚探索に関する研究

野球の打撃において動作の分析以外で重要なのは投球に対するタイミングや投球を追う視覚探索であり、それについての研究も多く行われている。

工藤（1987）は、バットの振幅とバットの重量が増加するとタイミング反応の動作所要時間が長くなるかを検討し、さらに、タイミング反応の動作所要時間を一定にして、反応に用いるレバーの質量を変えることによって、質量の増加はタイミングエラーを少なくさせるという仮説の妥当性を打撃動作での検証を行った。特別な野球経験を持たない一般男子大学生20名を対象とした。バットの振幅条件3つ、バットの重量の条件を3つにし、これらを一定にした装置による実験を行った。バットの重量を軽くし、コンパクトに振ることによって、正確性を増すことはタイミングという点では妥当であることが明らかとなったが、速く振るほうがタイミングの正確性は向上するという結果であったのは一般的に信じられているスピードと正確性の相反関係は矛盾するとしている。しかし、位置的正確性は今後検

証する必要があると述べている。また、バットの重量の効果は仮説とは異なり、タイミングの正確性は失われると報告している。

石田ほか（2000）は、野球の打者が視覚情報を処理して、どの時点までならば開始した動作を中止できるか、そしてスイングを開始した後でも、バットの運動を調節できるかに関して同時に検証を行った。ボールを糸でつるし、静止した状態で被験者に打たせることが可能な装置を用いた。この装置は電磁石により、ボールを糸から切り離すことができる。対象者は大学野球選手 6 名だった。それによると、インパクトの約 0.3 秒前までに打つか見送るかが判断される。打つと決めた後にボールの位置が変化しても対応することは可能で、最大努力で振ることを要請された場合でも、インパクト前 0.077～0.154 秒まではバットの運動を調節できる可能性があると報告している。同様に、井尻・中澤（2017）は野球の打撃におけるタイミング制御の概要を解説し、その中でスイング開始を抑制するか否かを制御するのに打者が与えられている時間はリリース後 100ms であると述べている。

このように、時間的制約がある野球の打撃はいかに素早くバットを加速させるかが大きな課題であることが理解できる。

加藤・福田（2000）は野球の打撃において、打者が投手の投球動作から視覚情報を得る準備時間相に注目し、熟練打者と非熟練打者の眼球運動から視覚探索活動における有効なストラテジーについて考察した。熟練者グループとして大学野球部員、非熟練者グループとして一般の大学生が実験に参加した。被験者は実際に打席に立ち、投手による投球を観察し、その際の眼球運動の計測を行った。それによると、熟練者の視線配置分布は非熟練者のものと比べ狭い範囲に及んでいた。特に熟練者は投球動作を予測して投球腕が振られる位置にあらかじめ視線を固定させ、投球腕の肘近辺を中心に視支点を置き、網膜の周辺部分で投手像全体を捉えて、投球動作から動的な情報を効率よく収集する体系的な視覚探索ストラテジーを用いていることが確認されたと報告している。同様に、竹内・猪俣（2012）は眼球運動の記録に加えて、投球映像の空間遮断手法を用いて、野球の打撃時における熟練者の資格探索方略を検討した。対象は大学野球選手 9 名でプロジェクターに投球映像の部位別、局

面別の部分遮断を用いて、資格探索がどのように変化するか記録した。これによると、投手のステップ脚接地からボールリリースにかけて手および肘関節を含んだ投球腕周辺に視線を向けることが重要であることが明らかとなった。さらに打者は投球腕周辺に視支点を置き、投球動作における全体像から最終局面を予想していることを報告している。

野球の打撃動作において、視覚情報の制御はパフォーマンスに直結されるものである。そのための視点の研究や打者が判断からスイングに要する時間に関する研究が行われてきた。打撃動作との関連を考えると、打者が飛来する投球を素早く判断し、効果的に打撃する時間は少ない。バット・ヘッドスピードを大きくすることを考えれば、打撃動作を短い時間でいかにバットを加速させるかというのは困難な課題であるといえよう。

## 2.6. 打撃に必要な体力や指導のための研究

これまで、主に、打撃動作やタイミング調整に関する研究をみてきたが、本節ではそれ以外の打撃動作における体力要因や打撃の学習やこれまでの指導言語などに関する研究がある。本研究は得られた知見をコーチングへの示唆につなげることを最終的な目的としているため、本節で主要な研究を挙げていく。

まず、体力とバット・ヘッドスピードの関係について、村田（1997）は、バット・ヘッドスピードに影響する体力的要因を重回帰分析に基づいて検討を行った。対象は大学軟式野球部員 13 名に素振りを行わせ、高速度カメラ 2 台による撮影を行い、バットの分析点からバット・ヘッドスピードを算出した。さらに、バット・ヘッドスピードとバット重量、背筋力、踏み台昇降運動、バットのボトムハンド側の握力、腹筋力、伏臥上体そらし、50m 走のタイムを独立変数として取り上げた重回帰モデルを算出した。その中でもバット・ヘッドスピードと引き手側の握力と背筋力は高い関係性がみられたが、大きな関係性があるものは確認されなかったと報告されている。

このように、背筋力や握力といった筋力に関する項目が重回帰分析で選択されたが、上記の研究において、バット・ヘッドスピードを大きくするための体力要因が特定されたと

は言い難い。このことは打撃動作が体力要因よりも技術的要因が大きいことを示唆するものである。

また、打撃動作のコーチングに関する研究として、金堀ほか(2012)は野球の指導書から打撃動作に関する指導内容を集約・整理することで、野球の打撃指導において、いかなる動作局面やどのような部位に関して指導が行われているのか、実践的な指導の着眼点を検討した。日本で出版されている81冊のテキストを意味単位ごとに切片化し、ラベリングを行った。その中で意識の対象の総表出数について、「対物」、「下肢」、「上肢」、「体幹」の順であったと報告している。さらに、野球の打撃は全身を包括的に捉えた全体的な指導と、身体部位を細かく対象とする部分的な指導とを区別して指導が行われていると示唆している。

打撃の運動学習について、Tsutsui et al., (2020)は少年少女野球選手のイメージの発達パターンを打撃のインパクトに着目して明らかにするために、打撃練習を行ったことのあるユース野球選手(6~14歳)138名の対象者を以下の4つの年齢層に分けた。6~8歳(n=17), 9~10歳(n=43), 11~12歳(n=45), 13~14歳(n=33)の4つの年齢層に分け、高さを調整できるティー打撃と、自動トスマシンを使用したトス打撃を行った。イメージ課題と実際の打撃(ティー打撃とトス打撃)の違いを明らかにするために、イメージ課題のインパクト距離を実際の打撃のインパクト距離から差し引いて絶対誤差距離

(AED)を算出した。二元分散分析(4年齢群×ティーとトスの画像)の結果、6~8歳の選手よりも11~12歳の選手の方がAEDの値が有意に低いことがわかった。ティーとトスは4群すべてで有意な相関を示し、ティーとトスのイメージは年齢が上がるにつれて変化していないように見えること。しかし、イメージは11~12歳頃に発達することが示唆され、13~14歳の年齢層では、試技に関係なく、選手は同じ位置でのインパクトができるようになることを報告している。

他にも、野球の打撃で一般的に指導されることとして、バットを短く持つことを指導されることがあるが、その効果について、島田ほか(2008)は三次元動作分析によって野球の打撃動作をバイオメカニクスの的に分析し、バットを長く持つ場合と短く持つ場合の動作の相

違を検討した結果、以下のことがわかった。インパクト時のバット・ヘッドスピードおよび打球スピードは、試技間で違いはなく、バットを長く持った打撃動作は身体から離れた球をインパクトできる可能性が高い反面、バットが身体から早く離れてしまう傾向があり、ボールへの対応が困難になる可能性が生じる。一方、バットを短く持った打撃動作は、バットの操作性が高まり、ボールへの対応が容易になるものの、外角球やスライダーなどの体から離れるように変化する球を打つことにおいて不利であると報告している。同様に、Escamilla et al., (2009a) は、右利きの成人打者群を 2 つの点で比較した。1 つは通常のグリップとからバットヘッド寄りに短く持つグリップの被験者内テスト、もう 1 つはユース群に対する被験者間テストである。ピッチングマシンによる打撃を 120Hz で記録された 2 台のカメラで撮影した。バットグリップの比較では、短く持ったグリップの方がストライドとスイング時間が早く、上胴が大きく、下胴は小さく回転し、肘関節伸展速度は大きい、バット・ヘッドスピードは有意に小さかったと報告している。

さらに、練習方法について、川村ほか (2012) は、野球の練習で行われるトス打撃に関して、トスが投じられる角度を変化させると打撃動作がどのように変化するかを検討した。対象は大学野球選手 10 名であった。それによると、上胴、下胴およびバットの角度はトス角度が大きくなるに伴い、順次大きくなることが観察された。そのため、この練習方法を実打と同様に行うにはなるべく正面に近いトスを行うことが望ましいことが示唆された。

その他にも野球の打撃動作における重要な視点として、1 人の打者が両打席で打つスイッチヒッターや、右投げにもかかわらず、左打席に立つ打者に関して検討する必要がある。

McLean&Reeder (2000) は、上方から 60 Hz のカメラを使用して、11 名の大学生スイッチヒッターのティー打撃を分析した。利き手、非利き手は、検証済みの調査から決定された。利き手側と非利き手側の間でバット・ヘッドスピードまたは関節角速度に有意な差はみられなかった。

下山ほか (2013) は、右投げで右打者、左打者のスイングについて、事例的に検討し、左打者はバットヘッドが水平に動く傾向にあることから、投球されたボールをミートでき

る確率が高いと報告している。だが、これらは事例的に検討されたのみで右投げである右打者と右投げであるが左打者である場合は利き腕となる手がグリップでは逆に配置するため、スイング中の上肢動作が異なる可能性が考えられる。しかし、それらを検討した研究はみられない。

以上、本章では野球の打撃における先行研究の変遷をみながら、本研究の明らかにする課題について検討を行ってきた。先行研究からみる本研究が解明すべき問題点は以下のようになる。

- ① 多くの研究はティー打撃を中心に行われているが、優れた打者は実際の飛来球打撃において、ティー打撃のパフォーマンスが反映されているか検討されていないこと。さらに、ティー打撃と実際の飛来球打撃へつなげるための上肢動作における考慮すべき点について、検討されていないこと【問題点①】。
- ② バイオメカニクス的研究ではバット・ヘッドスピードを産み出すためのメカニズムやバット・ヘッドスピードと相関が高い部位の動作が検討されてきたが、実際の指導ではそのチームでレギュラーになることや、体力・体格差の少ない熟練者間での打撃技術の巧拙を詳細に検討することが課題であり、そのような研究はあまりみられないこと【問題点②】。
- ③ 打撃動作の研究は2次元の水平面上の分析から3次元動作分析へ移行しながらバット・ヘッドスピードを大きくするための動作として、体幹から上肢の運動連鎖がバットの加速へつながることがキネマティクスの分野では行われてきたが、これまでの研究は2つの腕を1本の腕としてモデル化したものが多いことから、上肢の詳細な動きを検討したものは少ないこと。【問題点③】
- ④ さらに、上肢のキネティクスはセンサーバットの開発から「閉ループ」問題が解消され、関節トルクなどが算出されるようになったが、体幹から上肢への運動連鎖のメカニズムおよびその巧拙が明らかにされていないこと【問題点④】。

- ⑤ 一方、野球の打撃は右投げにもかかわらず、右打者と左打者が存在し、利き腕の関係から両手の役割や使い方が異なることが指導の現場では言われてきたが、研究で詳細に検討されたことはないこと【問題点⑤】。

以上の点を本研究では検討し、野球の打撃コーチングへの示唆を得ていくこととする。



### 3. 本研究の目的

本研究の目的は、先行研究の検討から導き出した問題点から、以下の 5 つの研究課題を解決することによって、野球の打撃動作におけるバット・ヘッドスピードを向上させるための上肢動作を明らかにし、指導の着眼点を得ることである。

研究課題 1 優れた打者が獲得すべき打撃技術とは何か明らかにすること。さらに、研究で用いるティー打撃を実際の飛来球打撃へつなげるための上肢動作について検討すること【問題点①】

研究課題 2 野球の打撃熟練者におけるバット・ヘッドスピードを向上させるための上肢動作のキネマティクスの分析を行うこと【問題点②】

研究課題 3 野球の打撃熟練者におけるバット・ヘッドスピードを向上させるために、打撃中の上肢動作のエネルギーフローを算出し、上肢の役割に関して明らかにすること【問題点③、④】

研究課題 4 野球の打撃熟練者における右投げで右打ちと左打ちである打者の上肢と体幹の動作の相違を明らかにすること【問題点⑤】

研究課題 5 以上の研究結果から得られた野球の打撃熟練者の上肢動作をコーチングに活かすための着眼点を明らかにすること

なお、研究課題の概念図を図 3-1 に示す。

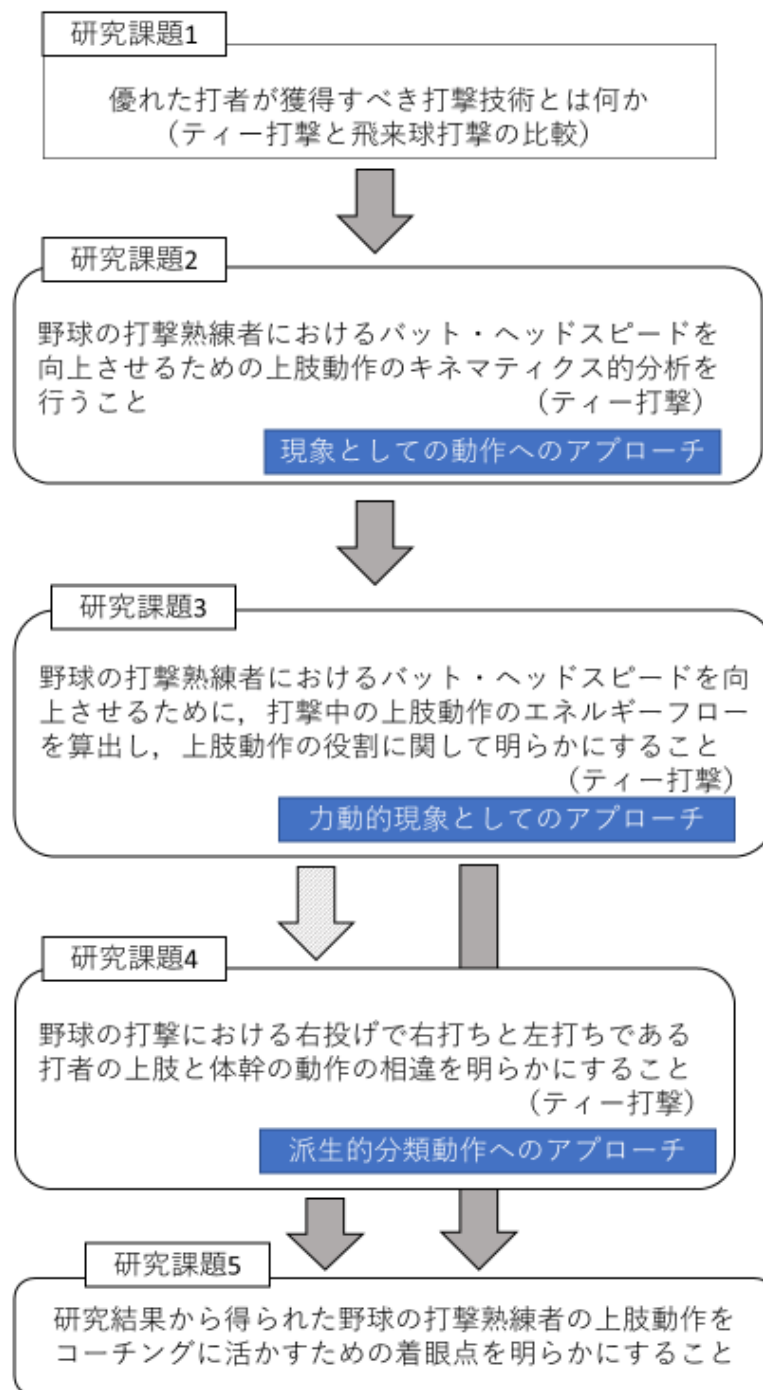


図 3-1 研究課題の概念図

### 3.1. 論文の構成

第 1 章では研究の背景として、野球の打撃動作の歴史的変遷を述べて、本研究の意義について考察を行う。特に、道具の変化や投手の技能向上に伴っての打撃の変化に言及しつつ、その本質について述べていくこと、さらに、本研究で焦点を当てている打撃動作におけるバット・ヘッドスピードを大きくするための上肢動作を解明する意義について述べる。

(関連論文：川村卓 (2006)：野球の打撃動作の変遷～研究と指導現場の課題から～. スポーツパフォーマンスを解き明かす (10), 体育の科学, 56 (9) : 727-732.)

第 2 章では、野球の打撃動作の先行研究を概観し、本研究全体の学術上の意義について述べる。

第 3 章では、本研究の目的、研究課題、用語の定義および研究の限界について述べる。

第 4 章では、本研究の着目すべき点を明らかにするために、優れた打者の打撃技術とは何かを明らかにする。さらに、研究で用いるティー打撃と実際の飛来球打撃、特に上肢動作を比較し、研究を指導の現場へとつなげるための考慮すべき点を明らかにする。

(関連論文：阿江数通・小池関也・藤井範久・阿江通良・川村卓・金堀哲也 (2017)：野球の打撃動作における打撃条件の違いが上肢のキネマティクスに及ぼす影響：ティーおよび飛来球打撃条件による比較. 体育学研究, 62 (1) : 559-574. / 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ーマシン打撃における試技結果および投射コースの比較からー. コーチング学研究, 30 (2) : 167-178 / 川村卓・功力靖雄・阿江通良 (2000)：熟練者野球選手の打撃動作に関するバイオメカニクス的研究～バットの動きに着目して～. 大学体育研究, 22 : 19-32. / 川村卓・島田一志・阿江通良 (2001)：熟練野球選手の打撃

動作における両手の動きについて．大学体育研究，23：17-28.)

第5章では，野球の打撃における上肢動作に関して，現象としての動作を詳細に観察するため，キネマティクスの研究を行い，特にバット・ヘッドスピード上位群と下位群のスイング局面の比較を行うことで，熟練者間での技術的巧拙を導き出すこととする．

(関連論文：川村卓・島田一志・高橋佳三・森本吉謙・小池関也・阿江通良 (2008)：野球の打撃における上肢の動作に関するキネマティクスの研究：ヘッドスピード上位群と下位群のスイング局面の比較．体育学研究 53 (2)：423-438. / 川村卓，島田一志・阿江通良 (2001)：熟練野球選手の打撃動作における両手の動きについて．大学体育研究，23：17-28.)

第6章では，野球の打撃における上肢動作を力学的エネルギーフローとして算出し，上肢動作のメカニズムと左右上肢の役割を明らかにし，さらに，バット・ヘッドスピードの上位群と下位群のスイング局面の比較を行うことでキネマティクスの熟練者間での技術的巧拙を導き出すこととする．

(関連論文：川村卓・小池関也・阿江通良 (2019)：野球の打撃における上肢のエネルギーフロー：バット・ヘッドスピードの上位群と下位群のスイング局面の比較．体育学研究，64：37-48.)

第7章では，ここまで野球の打撃における上肢動作の研究を行ってきた中で，右投げで右打ちと左打ちの打者が存在し，利き腕の役割が逆転するため，動作とその指導方法が異なることが予想された．そのため右投げで右打ちと左打ちの打者の動作をキネマティクスの比較することで，より詳細にそれぞれの打者における打撃動作の指導への示唆を得ることとする．

(関連論文：川村卓・小池関也・島田一志・阿江数通・森本吉謙・磯和純一郎 (2022)：

野球のティー打撃における左右打者の体幹および上肢動作の比較－右投げ選手を対象にして－. トレーニング科学, 34 (1) : 35-48.)

第8章ではこれまでの研究をまとめて, 指導へ活かすための着眼点を総合的に考察する.

第9章では, 全体を総括し, 今後の課題を述べる.

## **3.2. 主な用語の定義**

### **3.2.1. スイング局面**

打撃動作の局面は準備局面であるバックスイング局面, 主要局面として, 実際にバットを投手方向にスイングさせて, ボールをインパクトするフォワードスイング局面, インパクト後の終末局面であるフォロースルー局面がある. この中での本研究の対象は主にフォワードスイング局面である.

フォワードスイング局面はさらに, バットを振り下ろし, 水平面にバットが至るまでのダウンスイング局面と水平面からインパクトまでのレベルスイング局面に分かれる.

### **3.2.2. 上位群と下位群**

本研究では主にバット・ヘッドスピード大小によって上位群や下位群の比較を行い, 論を進めている (4章, 5章).

この理由として, 下位群は一般的な大学野球部員, 特にこれから大学でのレギュラーを目指し, その後は社会人野球やプロ野球など高いレベルを目指そうとする集団である. 一方で上位群は大学生でも打撃のレベルとしては高いものであり, 当時の日本大学代表も含まれる. さらに社会人野球選手で日本代表に入るレベル, さらにその後プロ野球に入団した選手も含んだ集団である. つまり, 上位群と下位群を比較することによって, 一般的な大学

野球部員が今後改善すべきポイントを本研究によって明らかにすることが出来ると考えられる。こうした近接したレベルの差異は僅かなものであることが予想される。しかし、実際の指導現場ではこうしたわずかな差異を技術的な改善点としてみる事が多く、実践に即した本研究の特徴の一つとなっている。

さらに、高校生までのジュニア期の世代では体力的な差異が大きいため、技術的な差異がわかりにくくなることも本研究の被験者を選んだ理由である。このことにより、本研究の被験者を分析することによって、成人男子の技術的なバット・ヘッドスピード向上の着眼点を明らかにできると考えられる。

### **3.2.3. トップハンドとボトムハンド**

野球の打撃は右打者では、右手がバットの長軸上の先のほう（ヘッド側）に位置しており、左手がグリップ側となる。逆に左打者は左右の手が逆に位置する。そのため、本研究では、左右打者に関係なく、ヘッド側の手をトップハンド（以下、TH）とし、グリップ側の手をボトムハンド（以下、BH）と定義する。

### **3.2.4. センサーバット**

先述したように、小池（2004）および Koike et al.,（2004）はバットを両手で保持する際の逆動力学計算時に生じる「閉ループ」問題の解決のため、バットグリップにひずみゲージを付けることで各手がバットに及ぼす作用力および、そこから力のモーメントを測定することができる「センサーバット」（図 2-1）を開発し、特許を取得した（バット選択システム及びそのセンサーバット、公開番号：P2011-142927A、発明者：小池関也、川村卓、長尾裕史、田淵規之、松尾健一、吉田陽平）。本研究において、上肢のエネルギーフローを算出するにはこのバットを用いて実験を行っている。

### 3.2.5. バット・ヘッドスピード

野球の打撃動作の研究ではスイング時のバットの先端部分（ヘッド）の速度を求めて比較することが一般的である。しかし、その速度の呼称は、「バット・ヘッドスピード」、「スイング速度」、「バット速度」など研究によって、言葉の定義は異なる。本研究では混乱を避けるために、「バット・ヘッドスピード」に統一している。また、本文中で「バット・ヘッドスピード」の値を記載する際には、断りがなければ、インパクト直前の値を記している。

### 3.3. 研究の限界

本研究の対象者は主に大学野球選手と社会人野球選手の成人アマチュア野球選手である。そのため、本研究の結果はジュニア世代の高校生以下に当てはまるかは分らない。

さらに、本研究は研究課題 2 から 4 までの実験では、実験条件を同じくするため、ティー打撃を用いて、特に真ん中のベルト付近の高さのスイングについて検討している。

しかし、本来は投手が投げる様々なコース、高さ、球速などに対応することが打撃の本質である。つまり、タイミングなどを考慮することができずにいることは本研究の限界である。

#### 4. 研究課題 1 優れた打者が獲得すべき打撃技術とは何か明らかにすること. さらに, 研究で用いるティー打撃を実際の飛来球打撃へつなげるための上肢 動作について検討すること

本研究は優れた打者がどのような打撃動作を行うか明らかにすることが目的である. そこで優れた打者の打撃とは何かといえ、第 1 章で述べたように、打者の目的は投球に対応して

- ① 速度の大きい打球で野手が届きにくいところへ打つこと
- ② ①に加えて、角度の大きな打球にして、場外にホームランとすることである.

そこから、1) 野球の打撃の課題は速い打球を打つこと、2) 飛距離を出すこと、狙いとする方向へ正確に打つことであると述べた. そのため、打撃の課題に共通していることは、打球スピードを大きくすることであると考えられるが、実際の打者の打撃はどのようなものであるか明らかにする必要がある.

##### 4.1. 大学レギュラー選手と非レギュラー選手の打撃の違い

金堀ほか (2017) は大学野球のレギュラー選手と非レギュラー選手の飛来球打撃の比較を行った. それによると、各打者の試技結果別インパクトパラメーターの差についてみると (表 4-1)、打者 A, B (レギュラー打者) は安打と凡打でバット・ヘッドスピードおよび打球スピードに差はみられなかったものの、打者 C, D (非レギュラー打者) は安打と凡打でバット・ヘッドスピードおよび打球スピードに有意な差がみられた. 以上のことから、試技結果に関わらず安定したバット・ヘッドスピードおよび打球スピードを獲得できることが、レギュラー打者の特徴であると報告している. これらのことは、大学野球選手でレギュラーとなる選手は安定したバット・ヘッドスピードを出し、さらに、打球スピードを大きくできる打者といえるだろう.



表 4-1 試技結果別インパクトパラメーター

バット・ヘッドスピード (km/h)				打球スピード (km/h)		打球角度 (deg)		インパクト角 (deg)				
		MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD	MEAN	SD			
全員	安打	121.3	± 9.9	141.3	± 11.9	*	11.0	± 10.6	*	16.0	± 6.5	*
	凡打	121.7	± 10.9	133.9	± 14.8		19.1	± 21.2	*	26.2	± 17.9	*
A	安打	125.9	± 8.0	146.7	± 13.8		12.0	± 8.9	*	15.9	± 6.2	*
	凡打	126.2	± 10.2	141.6	± 11.7		18.4	± 17.2	*	22.7	± 10.6	
B	安打	119.5	± 10.6	141.8	± 11.9		11.4	± 13.2	*	17.1	± 7.4	*
	凡打	120.2	± 10.4	137.0	± 12.6		21.5	± 20.5	*	23.8	± 18.6	
C	安打	119.7	± 12.3	138.0	± 9.5	*	10.9	± 10.6	*	15.5	± 5.4	*
	凡打	124.0	± 8.1	129.4	± 14.9	*	19.1	± 22.1	*	30.1	± 21.7	*
D	安打	119.2	± 7.4	137.4	± 8.9	*	9.7	± 9.7	*	15.4	± 6.7	*
	凡打	113.0	± 11.2	126.7	± 15.4	*	17.1	± 25.7	*	28.4	± 18.6	*

\*: p<0.01 \* :p<0.05

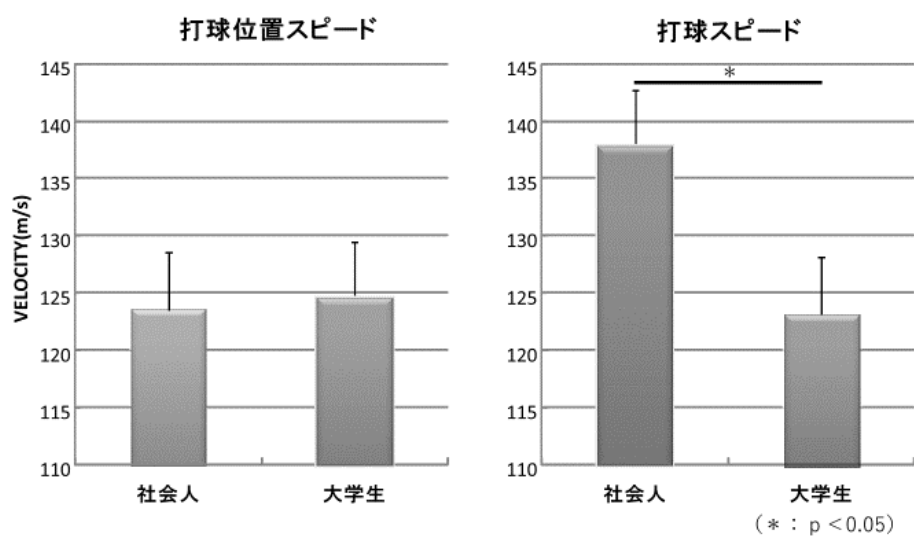


図 4-1 社会人選手と大学生選手の打球位置スピードと打球スピード (川村ほか, 2000)

## 4.2. 社会人選手と大学生選手の打撃の違い

川村ほか（2000）は、野球の打撃動作における熟練者のバットの動きに関して分析を行った。対象者は大学野球選手および社会人野球選手 10 名で、ティー打撃を用いた。社会人野球選手は当時の日本代表選手数名を含む選手であった。図 4-1 に示すように、大学選手と社会人選手では打撃位置スピードに違いがなかったにもかかわらず、打球スピードは社会人選手が大きかった（ $p < 0.05$ ）。その理由として、まず、図 4-2 に示す「インパクト角」と定義されたスイングの速度ベクトルと放たれた打球の速度ベクトルの差をみると、社会人選手はインパクト角が  $0^\circ$  に近い選手が多く、インパクト角と打球速度の変換指数（打撃位置スピード／打球スピード）をみると、高い負の相関関係（ $r = -0.86$ ,  $p < 0.05$ ）がみられた（図 4-3）。インパクト角は川村ほか（2000）が打撃の巧拙を示すものとして提唱したものである。このインパクト角が  $0^\circ$  に近いほど、直衝突に近く、打撃位置スピードが効果的にボールに伝わっていると評価できる。それによると、社会人野球選手のインパクト角が  $0^\circ$  に近い、つまりは直衝突に近いインパクトを行っており、その結果、打撃位置スピードが同じであるにもかかわらず、社会人選手のほうが、打球速度が大きく優れた打撃をしていたと報告している。金堀ほか（2017）の飛来球による実験においても全被験者で安打試技のほうが凡打試技に比べてインパクト角<sup>注）</sup>が小さくなっていた（図 4-4）。このことから実際の投球において、安打を打つための打撃とはインパクト角を小さくするようにバットとボールを直衝突させるように行うことであるといえよう。こうしたインパクト角の小さい打球を打つためのスイングをするための上肢動作に関して、川村ほか（2001）の研究ではフォワードスイング局面においてバットを水平に向ける動きが優れた打者の動きの特徴としてみられ、TH 側前腕関節の回外動作を早期に行うことにより、バットの水平面の動きを安定させているつまりはレベルスイングに近い打撃をしていると報告している。また、このことは水平面のバットの加速距離を大きくすることに貢献し、バット・ヘッドスピードを大きくすることにも貢献すると考えられる。

---

注）金堀ほか（2017）のインパクト角はバット・ヘッドスピードと打球角の差である。

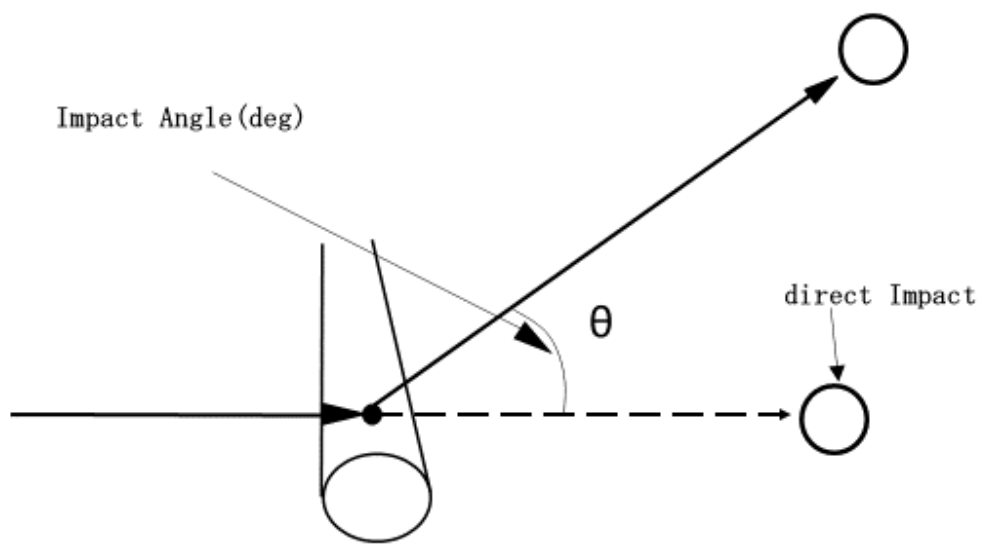


図 4-2 インパクト角の定義 (川村ほか, 2000)

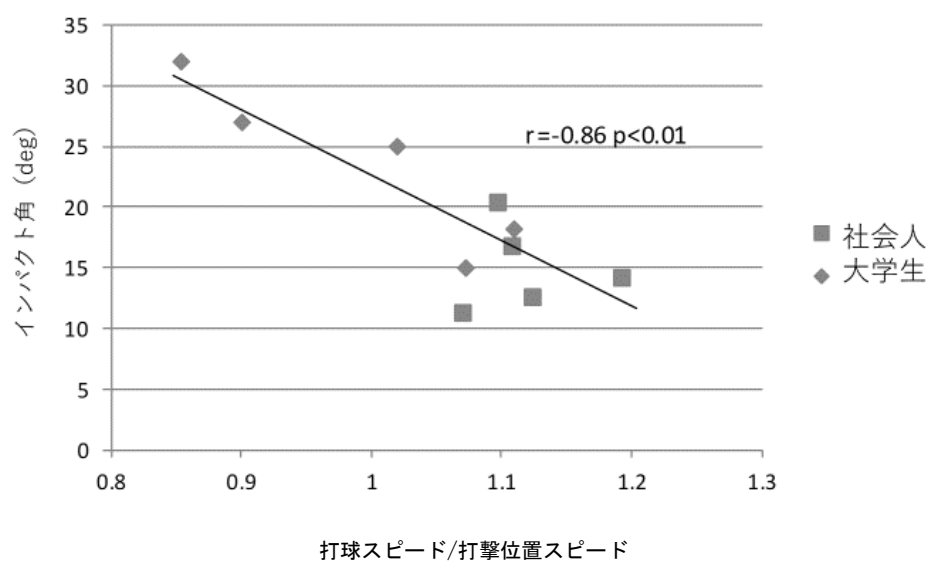


図 4-3 インパクト角と打球スピードの変換指数の相関関係（川村ほか，2000）

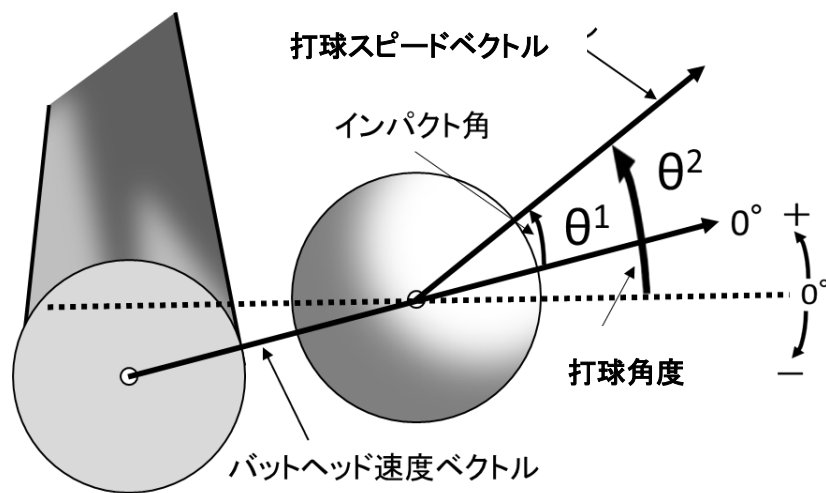


図 4-4 打球角度とインパクト角の定義 (金堀ほか, 2017)

#### 4.3. 飛来球試技とティー打撃試技の差について

本研究の研究課題に対する実験は条件の統一と打撃の基本的な示唆を得るために、打撃練習で行うティー打撃を実験試技として行っている。なぜならば、上肢の動きの巧拙はバットを両手で保持しながら、両上肢の関節がいくつもまたがるため、その差はわずかで複雑になりやすいことが予想される。そのため、投球コースや高さを統一しにくい飛来球打撃試技では基本的な上肢動作の巧拙を明らかにすることは難しい。

しかし、本来は投手が投げる飛来球の打撃が実際の指導現場において必要とされている知見である。そこで、本研究の研究課題で用いられるティー打撃と飛来球の打撃動作の違いを把握する必要があるとして、阿江ほか（2017）が行ったティー打撃と飛来球打撃における上肢のキネマティクスに関する研究から本研究の知見を実際の打撃指導に活かすための考慮すべき点を抽出する。

図 4-5 に示すように、バット角度についてみると、スイング開始時点におけるバットの傾斜角度は、ティー打撃試技では 29.2 度、飛来球打撃試技では 35.5 度、バットの水平面角度は、ティー打撃試技では -154.3 度、飛来球打撃試技では -139.7 度を示し、飛来球打撃試技がティー打撃試技よりもバットが上方に起き、また打撃方向へと振り出された状態となっていた ( $p < 0.05$ )。このことからバットが上方に起きた状態からスイングを開始することは、飛来球に対応するための鉛直軸まわりにおけるバットの回転半径を小さくし、バットの操作性を向上させること、すなわち鉛直軸まわりの身体に対するバットの慣性モーメントを小さくすることに有効であると述べている。さらに、図 4-9 のスティックピクチャにおいてもティー打撃試技のほうが飛来球打撃試技よりも捕手方向に大きなスイング弧になっていたことから、時間的制約がないティー打撃試技はスイング弧が大きくなりやすいため、両上肢の内外転の動作をスイング開始から調節することによって、捕手側のスイング弧を小さくして、実打に近づけるよう考慮すべきであろう。

つまり、飛来球打撃のほうがスイング弧について特にスイング前半において小さい傾向にあったといえる。飛来球への対応を考えたときに、スイング前半にスイング弧を小さく

することでミートするための対応をしやすくしていたと考えられる。

そして、そのための上肢の動作とは図 4-6 および図 4-7 に示すように、ティー打撃試技と実際の投球を打つ飛来球打撃試技の比較では、スイング開始からバットが水平面を向く 80% 時付近において、飛来球打撃における肩関節は、TH 側が外転、BH 側が内転している傾向がみられた ( $p < 0.05$ )。このことから、飛来球打撃のほうが 80% 時付近までバットのグリップ位置が TH 側体側すなわち捕手側に位置されていたと考えられる。さらに、TH の回外が有意に大きい傾向があった ( $p < 0.05$ )。両肘関節の回内外角について、比較的バットが上方に起きた状態にあるスイング前半では手関節角度が変化しないとした仮定した場合、前腕の長軸まわりの運動となる TH 側肘関節の回外は、主に打撃方向へのバットの傾斜角度の変化に寄与することとなると述べている。これは川村ほか (2001) と同様の報告であり、阿江ほかのバットの傾斜角度をみると、飛来球打撃のほうがバットを水平面に大きく動かすことで、ティー打撃よりもインパクトでの誤差を少なくし、バットを加速する距離を大きくしていたと考えられる。

しかし、ティー打撃と飛来球打撃ではバットの動きでは投球に対応するために飛来球打撃のほうがスイング前半において、ティー打撃のほうが捕手方向に大きなスイング弧になっていたが、肩関節や手関節の動きをみると、飛来球打撃のほうがバットグリップを身体から離すもしくは早めにバットの傾斜角度を水平面に向ける動作を行っており、動作としては矛盾している。そこで図 4-8 に示す上胴の角度をみると、特に (c) の水平面角度ではスイング前半において、飛来球打撃のほうが有意に投手方向に回転していた ( $p < 0.05$ )。このことから飛来球打撃では肩関節や手関節の動きは早期にバットを水平面に動かす一方で、上胴の回転を早期に行うことで捕手側のスイング弧を小さくする動きに貢献していたと考えられる。このようにティー打撃と飛来球打撃との違いはバットの軌道では飛来球を打つためにスイング弧を小さくする動きを行いながら、上肢動作はバット・ヘッドスピードを大きくする動作を行っていたのではないかと考えられ、本研究で明らかにすべき課題であると考えられる。



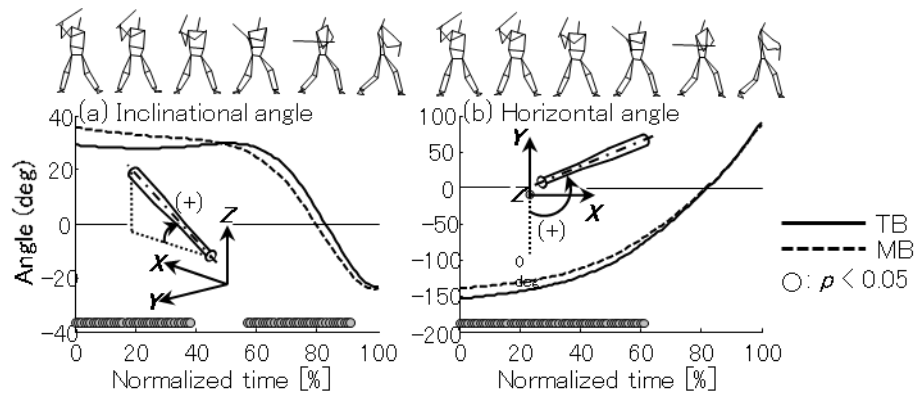


図 4-5 バットの傾斜角度および水平面角度（阿江ほか，2017）

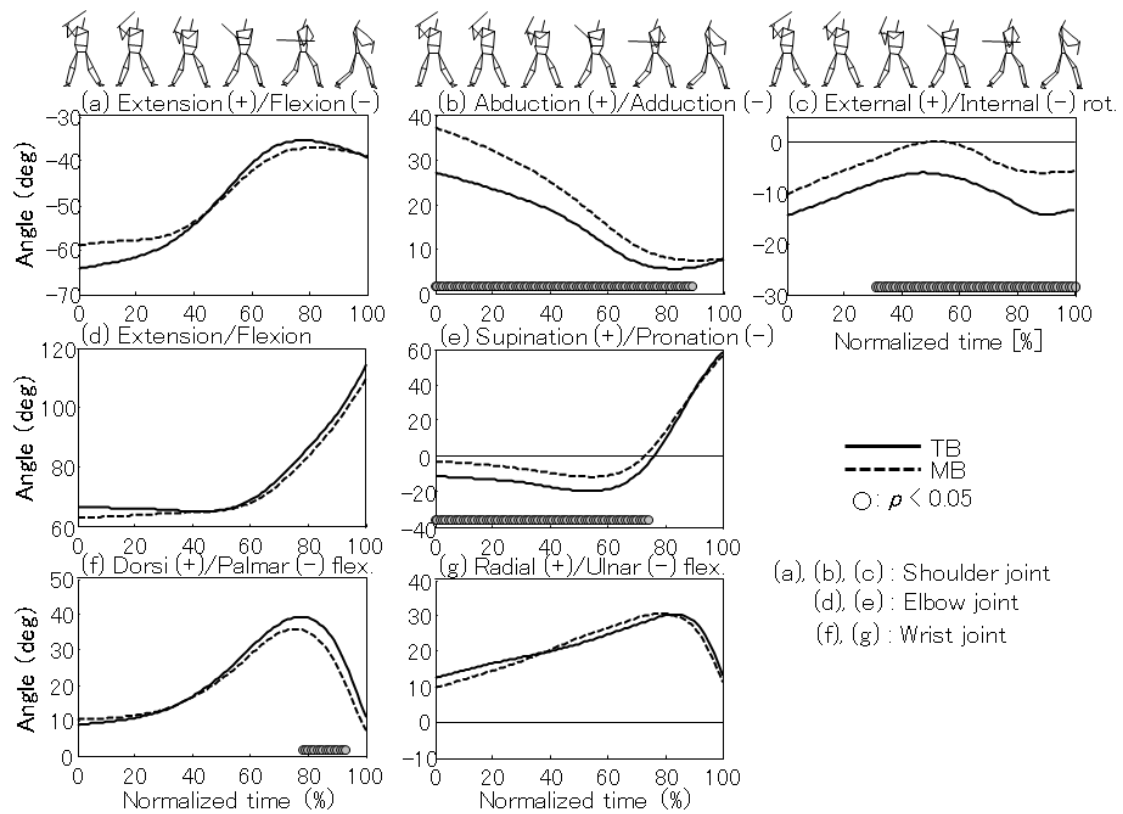


図 4-6 ティー打撃試技とマシン打撃試技における TH 側上肢の角度 (阿江ほか, 2017)

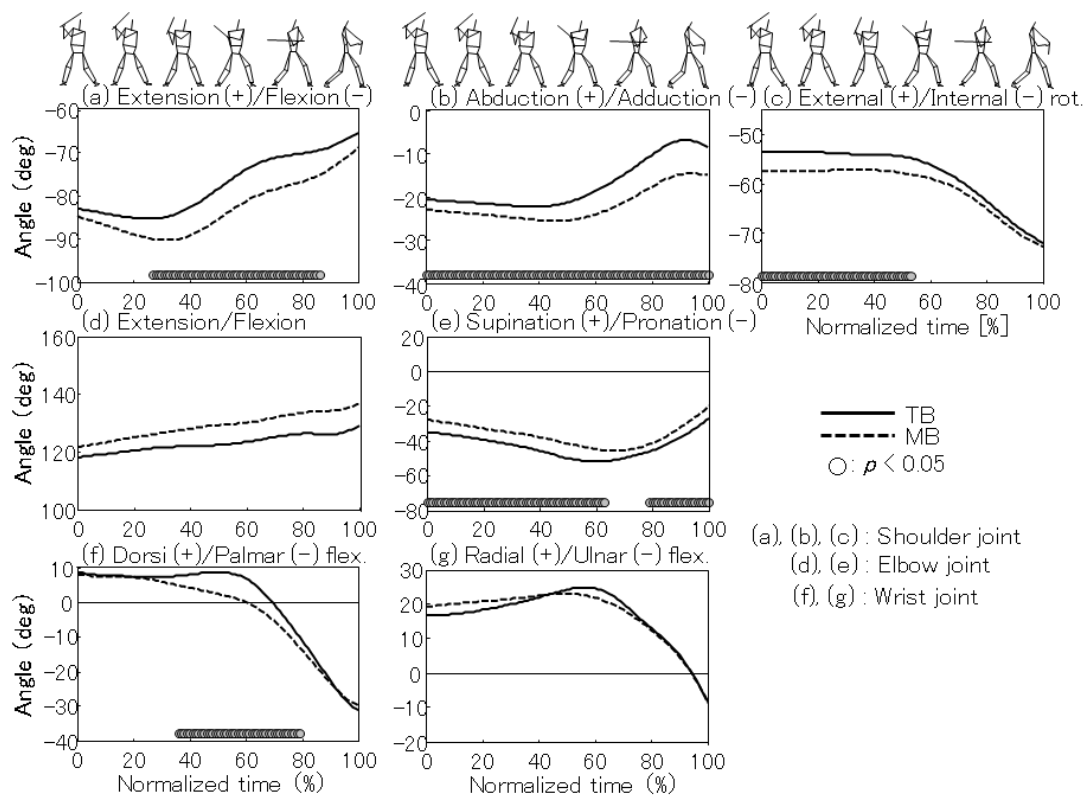


図 4-7 ティー打撃試技とマシン打撃試技における BH 側上肢の角度 (阿江ほか, 2017)

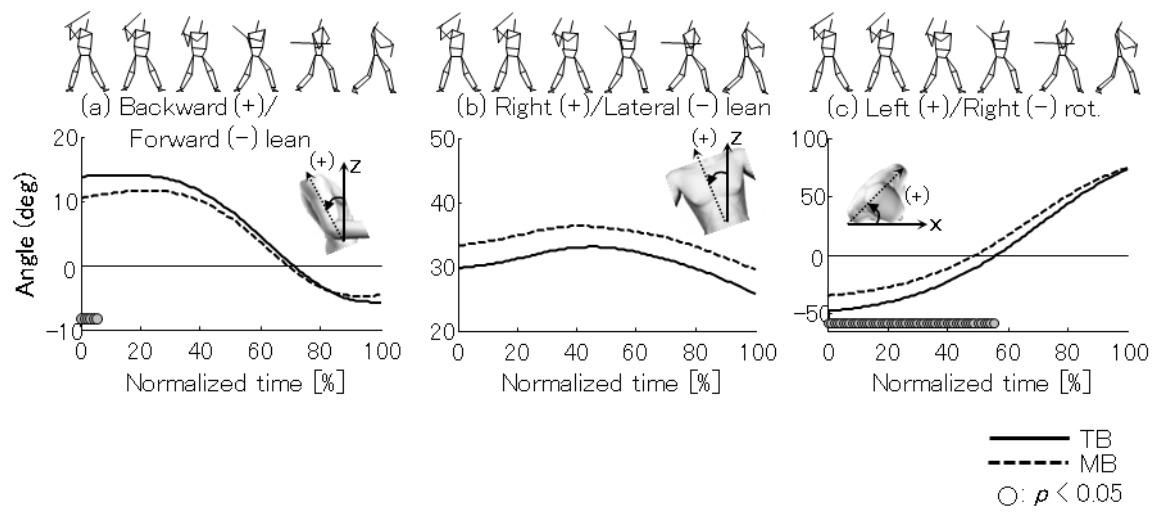


図 4-8 上胴の前後・傾斜角度および水平面角度 (阿江ほか, 2017)

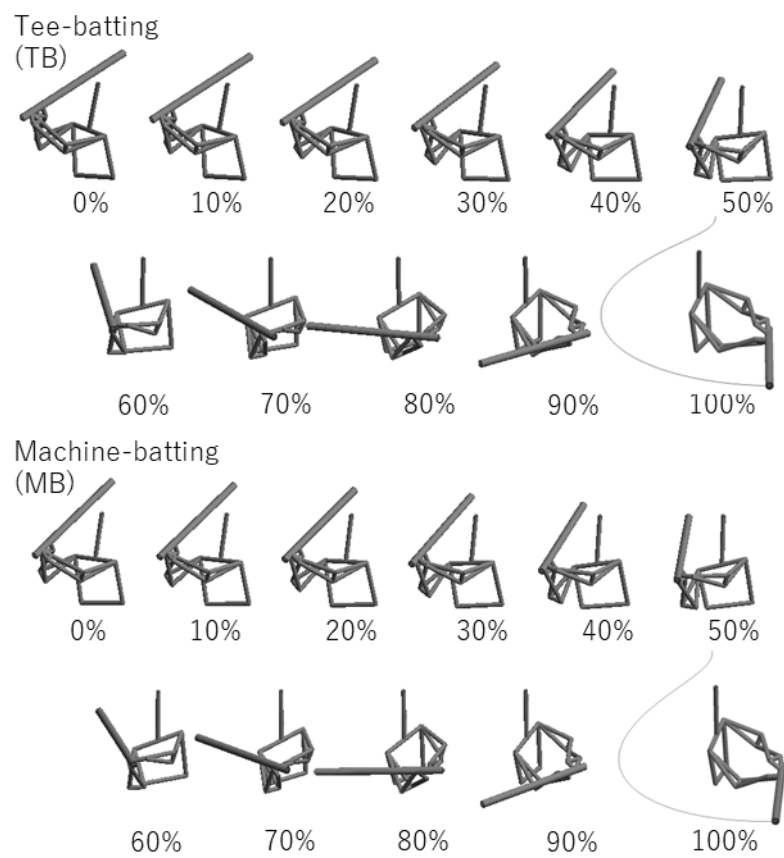


図 4-9 ティー打撃（上）とマシン打撃（下）における  
標準動作のスティックピクチャ（阿江ほか，2017）

#### 4.4. まとめ

本章の研究結果をまとめると以下の通りになる

##### 4.4.1. 優れた打者の特徴：

- ① 大学レギュラー選手はバット・ヘッドスピードおよび打球スピードが大きい
- ② 大学レギュラー，非レギュラー選手に関わらず，安打時はインパクト角が小さい
- ③ 打撃位置スピードが同じでも優れた社会人打者はインパクト角が小さく，直衝突に近い打撃を行っていた
- ④ 社会人野球選手と大学野球選手では，社会人選手のインパクト角が小さい
- ⑤ インパクト角が小さい打撃では TH 側前腕関節の回外を大きく行い，水平面のスイング弧を大きくすることでボールをミートしやすくし，バットを加速する距離を大きくしていた

##### 4.4.2. ティー打撃と飛来球打撃の違い：

- ① スイング前半時，飛来球打撃において，ティーマークと比較して TH 側，BH 側肩関節内外転および内旋運動によるバットの水平変位に大きく寄与していた
- ② スイング前半時，飛来球打撃において，ティーマークと比較して TH 側，BH 側前腕関節の回外が大きく，早期にバットを水平面に向ける動きを行っていた
- ③ 飛来球打撃において，ティーマークと比較して上腕の水平回転角度が投手方向へ大きくなっていた

以上のことから，安打を多く打つ優れた打者とは，バット・ヘッドスピードおよび打球スピードが大きく，その時の打撃とはインパクト角が小さく，直衝突に近い打撃を行っていた。しかし，レギュラー選手と非レギュラー選手において，安打した打撃のインパクト角の違いは少ないことから，大学野球選手として優れた打者とはバット・ヘッドスピードを大きくすることが第一に目指す課題といえよう。

より優れた打者になるにはインパクト角が小さく，さらにはバットの加速距離を大きくするために，スイング弧の水平面上を大きくする必要があり，そのためには TH 側前腕関節

の回外を大きくすることが望ましい。

ティー打撃と飛来球打撃ではスイング弧の違いがあったが、これは主に水平面上の肩角度による違いであると考えられる。さらに、上肢動作では両肩関節内外転および内外旋、両前腕関節の回内外で違いがみられた。しかし、これら飛来球打撃特有のものであるかどうかは、ティー打撃の分析を本研究の課題として行うことで明らかにされるであろう。

## 5. 研究課題 2 野球の打撃熟練者におけるバット・ヘッドスピードを向上させるための上肢動作のキネマティクスの分析を行うこと

### 5.1. 研究目的

本研究の目的は、熟練野球選手の打撃動作におけるフォワードスイング局面の左右上肢動作をキネマティクスの三次元分析し、その役割を明らかにすると共に、バット・ヘッドスピードの異なる被験者の動作を比較することにより打撃指導に関する基礎的知見を得ることと、さらに指導現場で扱われる言葉とキネマティクスとの関係を明らかにすることである。

### 5.2. 方法

#### 5.2.1. 実験

被験者は大学野球選手 12 名と社会人野球選手 4 名の合計 16 名（身長  $1.72 \pm 0.07$  m, 体重  $69.9 \pm 7.3$  kg, 年齢  $21.6 \pm 2.8$  歳）で、このうち右打ちの被験者は 10 名、左打ちは 6 名であった。大学野球選手は首都大学野球リーグの 1 部に所属する、野球経験が 7 年以上の選手で、大学の全国大会出場経験を持つ者が 6 名いた。社会人野球選手は野球経験が 13 年以上で全員が都市対抗野球全国大会の出場経験があった。実験を行うにあたり被験者に本研究の目的、実験方法などを説明し、実験参加に対する同意を得た。

実験は 3 回に分けて行った。第 1 回目では大学選手 2 名を、第 2 回目では社会人選手 4 名を、第 3 回目には大学選手 10 名ティー打撃を行わせた。いずれも被験者にはベルト付近でほぼコースが真ん中の球を「全力スイングでセンター返しをする」よう指示を与えた。試技は少なくとも 3 回行ったが、自分の本来の打球ではないと内省した被験者ではそれ以上行った者もいた。なお、試技で使用したバットは選手が通常使用しているバットとし、その重量は  $0.89 - 0.91$  kg, 長さは  $0.83 - 0.84$  m であった。図 5-1 は本研究における撮影範囲およびカメラの配置図である。3 回の実験ではほぼ同様の撮影範囲、カメラの配置を行った。なお、右打者と左打者でカメラの設置を変えることはせず、左打者の試技では右打者の打撃



方向と 180 度逆方向へ打たせた。試技の撮影には 2 台の高速 VTR カメラ（実験 1, 2 回目では NAC 社製 HSV-400, 実験 3 回目では NAC 社製 MEMRECAM C<sup>2</sup>S）を用い、撮影速度毎秒 200 コマ、シャッタースピード 1/1000 秒で撮影した。両映像の時間的同期には、実験 1, 2 回目では発光ダイオード (LED) を利用した同期装置 (DKH 社製 PH-100) からパルス光を映しこみ、実験 3 回目ではカメラ内蔵のフェイズロック・システムにより行った。なお、試技の撮影前にキャリブレーションポール（高さ 2.3m で 7 個の較正点を取り付けたポール）を撮影範囲の 9 ヶ所に垂直に立て、順に撮影した。

### 5.2.2. データ処理

分析試技は各被験者のすべての試技において、バット・ヘッドスピードが最も大きかった試技を選定した。バット・ヘッドスピードを算出する際の問題点として、バットヘッドはインパクト後にボールの衝突によって、急に動きが小さくなることが確認できる。このことを考慮せずバットヘッド先端点のデータを平滑化すると、インパクト後の急峻な動きに影響されてインパクト前のデータが丸みを帯びることになり、速度の最大値が正確に得られない可能性がある。そこで本研究では田子ほか (2006) の打球スピードを算出する方法から、両映像のインパクト直前の 5 コマにおけるバットヘッド先端点 (図 5-2 : 27 点) を全試技においてデジタイズし、DLT 法 (Direct Linear Transformation Method, 池上 (1983)) により算出した変位を平滑化することなく、数値微分して求めた合成速度を算出した。そして、5 コマ間の合成速度における平均をバット・ヘッドスピードとした。身体においては、分析試技の VTR 画像から身体各部位 (25 点)、バットグリップおよびバットヘッド先端点 (2 点)、ボール中心 (1 点) の計 28 点 (図 5-2) を、VTR 動作解析装置 (DKH 社製 FRAME-Dias II) を使用し、マウスを用いて手動でデジタイズした。これら分析点の三次元座標は DLT 法 (池上 (1983)) により算出した。Wells and Winter (1980) の方法により最適遮断周波数を決定し (4-22Hz), Butterworth low-pass digital filter を用いて平滑化した。左打者は撮影に関しては打球方向が反対となるが、データ処理した後、Y 方向の座標を反転し、上肢下肢各点の左右を入れ替えて右打者と同じとなるようにした。問題点として、左右

打者の打撃方向が異なるため、打撃全体の映像では視認できない計測点が予想されるが、本研究で用いた分析局面では完全に視認できない計測点はなく、視認が難しい計測点も熟練した分析者がデジタイズを行ったため、デジタイズの不良はなかったと判断した。なお、静止座標系は右手系とし、一塁側方向を  $X$  軸、センター方向を  $Y$  軸、鉛直上方向を  $Z$  軸とした。較正点の実測 3 次元座標と計測値との平均誤差の 3 回の実験における平均は  $X$  軸方向 10mm、 $Y$  軸方向 5mm、 $Z$  軸方向 7 mm であった。

### 5.2.3. 測定項目と算出方法

上肢の関節角度に関して、道上ほか (2002) の方法を用い、左右肩関節に図 5-3 (a) で示すような移動座標系を設定した (左右肩関節座標系)。まず、右肩関節において両肋骨下端の midpoint から左右肩関節の midpoint に向かうベクトル  $z_{sh}$  と左肩関節から右肩関節へ向かうベクトル  $rx'_{sh}$  の外積により  $ry_{sh}$  (紙面に直交し読者方向へ向く) を算出し、さらに  $ry_{sh}$  と  $z_{sh}$  の外積から  $rx_{sh}$  を算出した。次に、左肩関節において、 $z_{sh}$  と反対方向の  $-z_{sh}$  と右肩関節から左肩関節へ向かうベクトル  $lx'_{sh}$  の外積により  $ly_{sh}$  (紙面に直交し読者方向へ向く) を算出し、さらに  $ly_{sh}$  と  $-z_{sh}$  の外積から  $lx_{sh}$  を算出した。それらより、左右肩関節内外転角度および、水平内外転角度の定義を示した (図 5-3 (b) および (c))。右肩ベクトルから右肘関節に向かうベクトル  $UAR$  が  $rx_{sh}$  と  $z_{sh}$  を含む平面内で  $rx_{sh}$  となす角度を、 $rx_{sh}$  を  $0^\circ$  として、右肩関節における内転 (+)、外転 (-) と定義し、 $UAR$  が  $rx_{sh}$  と  $ry_{sh}$  を含む平面内で  $rx_{sh}$  となす角度を、 $rx_{sh}$  を  $0^\circ$  として、右肩関節における水平内転 (+)、水平外転 (-) と定義した。また、左肩関節内外転角度を算出するために、左肩ベクトルから左肘関節に向かうベクトル  $UAI$  が  $lx_{sh}$  と  $-z_{sh}$  を含む平面内で  $lx_{sh}$  となす角度を、 $lx_{sh}$  を  $0^\circ$  として、左肩関節の内転 (+)、外転 (-) と定義し、 $UAI$  が  $lx_{sh}$  と  $ly_{sh}$  を含む平面内で  $lx_{sh}$  となす角度を、 $lx_{sh}$  を  $0^\circ$  として、左肩関節の水平内転 (+)、水平外転 (-) と定義した。

図 5-3 (d) は、肩関節の屈伸角度の定義を示したものである。右肩関節屈伸は、 $rx_{sh}$  軸に垂直な平面上において  $-z_{sh}$  と  $UAR$  がなす角度とし、同様に左肩関節屈伸においても  $-z_{sh}$  と  $UAI$  がなす角度とした。両角度ともに、屈曲 (+)、伸展 (-) と定義した。

左右肩関節内外旋角度を算出するために、両上腕に図 5-4 (a) で示す移動座標系を設定した (左右上腕座標系)。まず、 $z_{sh}$  (図 5-3 (a)) と  $UA_r$  (図 5-3 (b)) の外積により  $rx_{ua}$  (紙面に直交し読者方向へ向く) を、 $UA_r$  と  $rx_{ua}$  の外積により  $rz_{ua}$  を算出した。 $rx_{ua}rz_{ua}$  平面は  $UA_r$  と直交するので、この面に右肘関節から右手関節へ向かう  $FA_r$  と肩の移動座標系のベクトル  $ry_{sh}$  (図 5-3 (a)) を投影し、 $ry_{sh}$  を  $0^\circ$  として、右肩関節の内旋 (+), 外旋 (-) と定義した (図 5-4 (b))。同様に、左肩関節内外旋角度を算出するために、 $z_{sh}$  と反対方向のベクトル  $-z_{sh}$  と  $UA_l$  (図 5-3 (b)) の外積により  $lx_{ua}$  (紙面に直交し読者方向へ向く) を、 $UA_l$  と  $lx_{ua}$  の外積により  $lz_{ua}$  を算出した。 $lx_{ua}lz_{ua}$  平面は  $UA_l$  と直交するので、この面に左肘関節から左手関節へ向かう  $FA_l$  と肩の移動座標系のベクトル  $ly_{sh}$  (図 5-3 (a)) を投影し、 $ly_{sh}$  を  $0^\circ$  として、左肩関節の内旋 (+), 外旋 (-) と定義した (図 5-4 (b))。

図 5-4 (c) は、左右肘関節の屈伸角度の定義を示したものである。右肘関節角は、右上腕ベクトル  $UA_r$  (図 5-3 (b)) と反対方向のベクトル  $-UA_r$  と前腕ベクトル  $FA_r$  がなす角とし、左肘関節角は左上腕ベクトル  $UA_l$  (図 5-3 (b)) と反対方向のベクトル  $-UA_l$  と前腕ベクトル  $FA_l$  がなす角とし、屈曲 (+), 伸展 (-) と定義した。この肘関節屈伸角の定義では  $0^\circ$  および  $180^\circ$  のような特別な肢位のときに角度が算出できなくなるが、本研究の分析局面ではそのような場合は生じなかった。

左右前腕の回内外角度を算出するため、前腕部に図 5-5 (a) で示すような座標系 (左右前腕座標系) を設定した。前腕の移動座標系は、本研究では打撃動作への影響を考慮して手部にマーカー数を最小限にとどめるようにしたことから、Koike et al. (2007) の方法により保持したバットを用いて定義したが、この定義方法の妥当性を詳細に検討した例はなく、本研究においても試論の域を出ない。だが、両手部を近接させてバットを握る野球の打撃動作では 宮西ほか (1996) の投球動作の実験で行った前腕の橈骨-尺骨茎状突起部の両端に白球をつけた回内外角を定義するマーカー位置では視認しにくく、さらには動作がしにくい時点があると考えられたため、本研究のバットによる定義を採用した。

右前腕移動座標系は、右肘関節から右手関節へ向かう  $FAr$  (図 5-4 (c)) を  $rz_{fa}$ 、バットの長軸方向のベクトルを  $BA$  とし、 $rz_{fa}$  と  $BA$  の外積により  $ry_{fa}$  を、さらに  $ry_{fa}$  と  $rz_{fa}$  の外積により  $rx_{fa}$  を定めた。そして、右前腕の回内外角は、右前腕座標系の  $rz_{fa}$  軸に垂直な平面内において、 $UAr$  (図 5-3 (b)) と  $FAr$  の外積から得られたベクトル  $FUr$  と  $BA$  がなす角度とし、 $FUr$  と  $BA$  が直交するところを  $0^\circ$  として、回内 (+)、回外 (-) と定義した (図 5-5 (b))。同様に左前腕移動座標系は、左肘関節から左手関節へ向かう前腕ベクトル  $FAl$  (図 5-4 (c)) を  $lz_{fa}$ 、 $lz_{fa}$  と  $BA$  の反対方向であるベクトル  $-BA$  の外積により  $ly_{fa}$  を、さらに  $ly_{fa}$  と  $lz_{fa}$  の外積により  $lx_{fa}$  を定めた。そして、左前腕の回内外角は、左前腕座標系の  $lz_{fa}$  に垂直な平面内において、 $FAl$  と  $UAl$  (図 5-3 (b)) の外積から得られたベクトル  $FUl$  と  $BA$  がなす角度とし、 $FUl$  と  $BA$  が直交するところを  $0^\circ$  として、回内 (+)、回外 (-) と定義した (図 5-5 (b))。

左右手関節の橈尺屈角度、掌背屈角度を算出するために、両手に図 5-6 (a) で示すような移動座標系を定義した (左右手座標系)。右手座標系では、右手関節から右手の第 3 中手指節関節へ向かうベクトル  $Hr$  を  $rz_h$  とし、 $rz_h$  と  $rx_{fa}$  (図 5-5 (a)) の外積から  $ry_h$  を、 $ry_h$  と  $rz_h$  の外積から  $rx_h$  を定めた。右手関節の橈尺屈角度は、右手座標系の  $ry_h$  に垂直な平面上において右前腕座標系の  $rx_{fa}$  と右手座標系の  $rx_h$  がなす角度とし、 $rx_{fa}$  を  $0^\circ$  として橈屈 (+)、尺屈 (-) と定義した (図 5-6 (b))。右手関節の掌背屈角度は、右手座標系の  $rx_h$  に垂直な平面上において  $FAr$  (図 5-4 (c)) と  $Hr$  がなす角度とし、 $FAr$  を  $0^\circ$  として背屈 (+)、掌屈 (-) と定義した (図 5-6 (c))。また、左手座標系では、左手関節から左手の第 3 中手指節関節へ向かうベクトル  $HI$  を  $lz_h$  とし、その反対方向のベクトル  $-lz_h$  と  $lx_{fa}$  (図 5-5 (a)) の外積から  $ly_h$  を、 $ly_h$  と  $-lz_h$  の外積から  $lx_h$  を定めた。左手関節の橈尺屈角度は、左手座標系の  $ly_h$  に垂直な平面上において左前腕座標系の  $lx_{fa}$  と左手座標系の  $lx_h$  がなす角度とし、 $lx_{fa}$  を  $0^\circ$  として橈屈 (+)、尺屈 (-) と定義した (図 5-6 (b))。左手関節掌背屈角度は、左手座標系の  $lx_h$  に垂直な平面上において  $FAl$  (図 5-4 (c)) と  $HI$  がなす角度とし、 $FAl$  を  $0^\circ$  として背屈 (+)、掌屈 (-) と定義とした (図 5-6 (c))。

なお、上述のバットを用いた前腕および手関節角度の定義方法では手部とバットを一体化して扱うため、手部とバットが離れたり、両手部が離れたりすると算出できないが、本研究の分析局面ではそのような場面はなかった。

#### 5.2.4. データの規格化と群間の比較

本研究では、スイング開始時点からインパクトまでをフォワードスイング局面と定義した。フォワードスイング局面の開始を、バットのグリップがY軸方向に 3m/s を超えた時点と定義した。この時点は、すべての被験者においてグリップが打球方向への動き出しが視認できる直後の辺りである。このことに関して多くの先行研究ではフォワードスイング局面の開始時点をステップ足の接地としている (Hubbard et al., 1954; 石田ほか, 2000; 宮西, 2005)。しかし、本実験の試技では、構えからインパクトまで終始、ステップ足を接地したままの被験者が 2 名いたことから、上肢動作を検討するためには、ステップ足の接地時点をフォワードスイング局面の開始とすることは困難であると判断した。ステップ足の接地後、Y 軸方向のグリップ速度を観察すると被験者の多くは速度の増減を繰り返していた。しかし、速度が 3m/s を超える時点以降では、すべての被験者で減衰せずに増大し始めることが確認できたため、この時点をフォワードスイング局面の開始と定義した。また、インパクトに関して、本研究のサンプリング周波数では正確なインパクト時点を定めることができなかったことから、ティー台から打球が離れた 1 コマ目をビデオ映像で定め、インパクトとした。この際、左右打者の打球方向の違いからカメラの角度により、ティー台から打球が離れる瞬間を視認できない可能性があるかと推測されるが、ティー台から打球が離れる時にはゴム製の台のゆがみも視認できることから、本研究のカメラ設置角度でも打球が離れるコマを特定できた。なお、フォワードスイング局面に要した時間の被験者全体の平均は  $0.23 \pm 0.03 \text{sec}$  であった。

フォワードスイング局面に要した時間を 100% として、3 次スプライン関数を用いて規格化した。試技を行った 16 名の規格化したデータの平均値と標準偏差を算出した後、16 名の中でバットヘッドスピード (以下、バットスピード) の最大値が大きかった上位 8 名を上位

群とし、小さかった下位 8 名を下位群として、規格化したデータについて各群の平均値と標準偏差を算出した。

各測定項目について両群間の比較を行うため、まず、繰り返しのある二元配置分散分析を行い、群間の主効果および交互作用（群間×経時変化）に有意性がみられるかを検定した。

しかし、群内の経時変化の要因については本研究の目的と異なるため検討しなかった。群間の角度の有意差あるいはパターン変化のみられる時点の特定のために、規格化時間の 10% 時ごとに t 検定を用い、有意水準を 5%未満として有意差検定を行った。

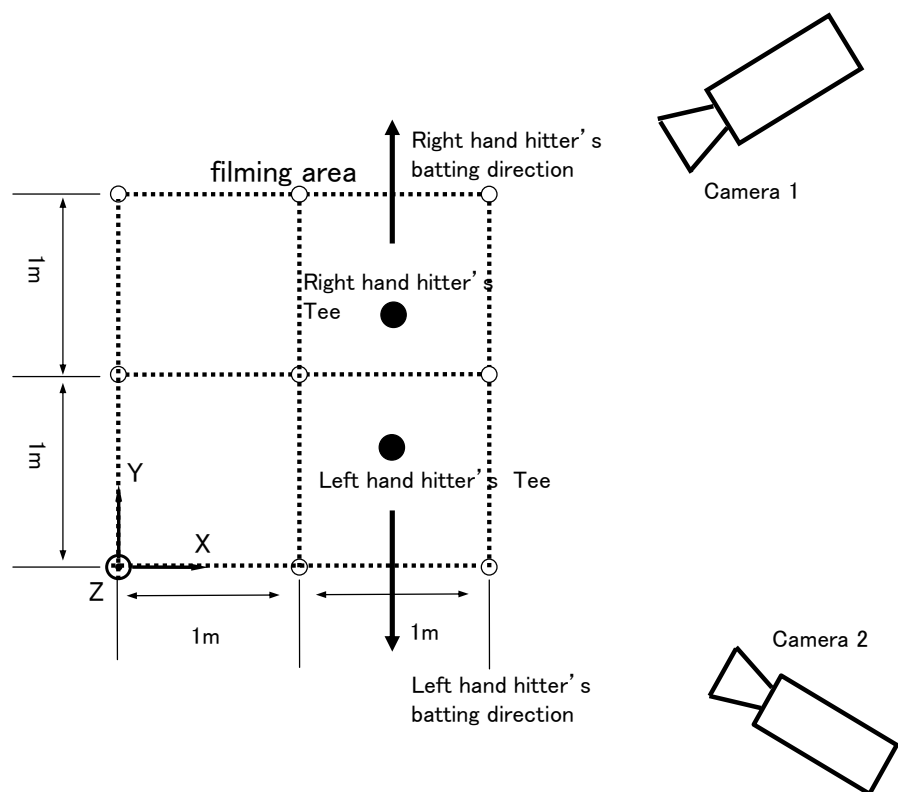


図 5-1 カメラの配置と撮影範囲

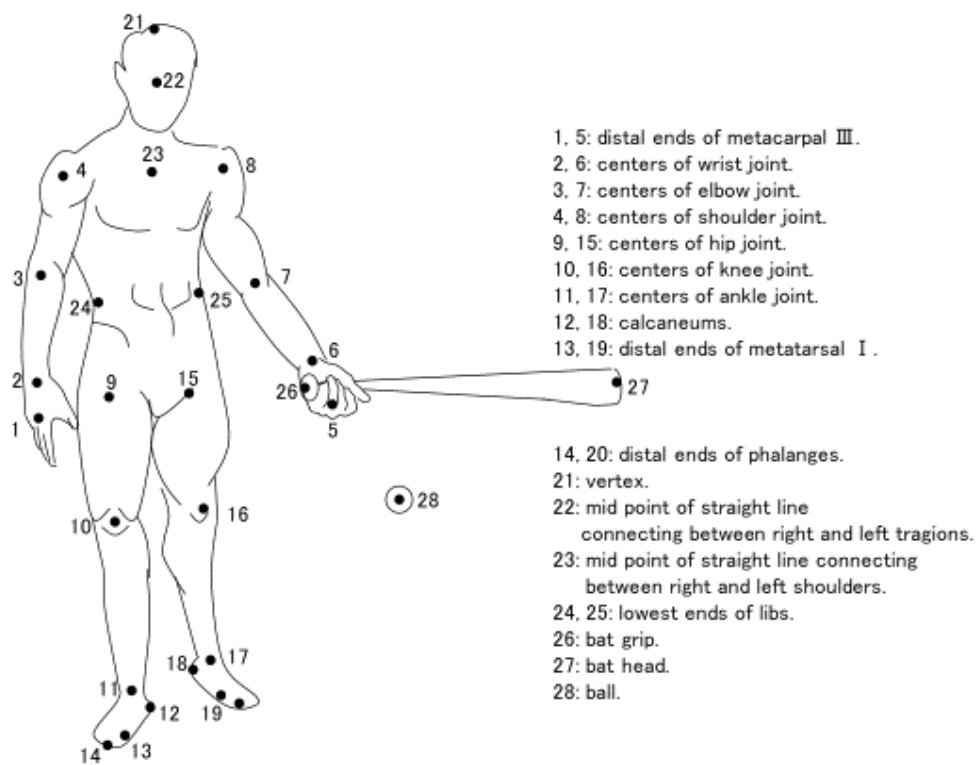


図 5-2 身体，バットおよびボールのデジタルポイント



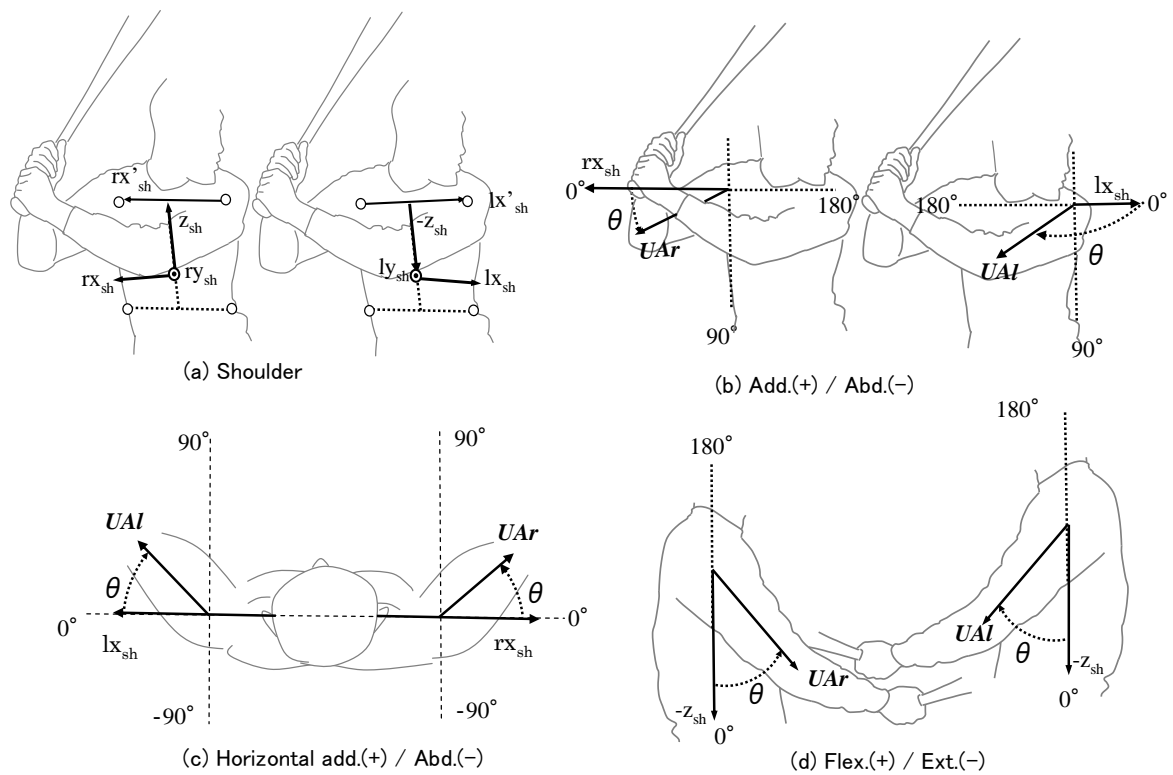


図 5-3 体幹移動座標系および肩関節角度の定義

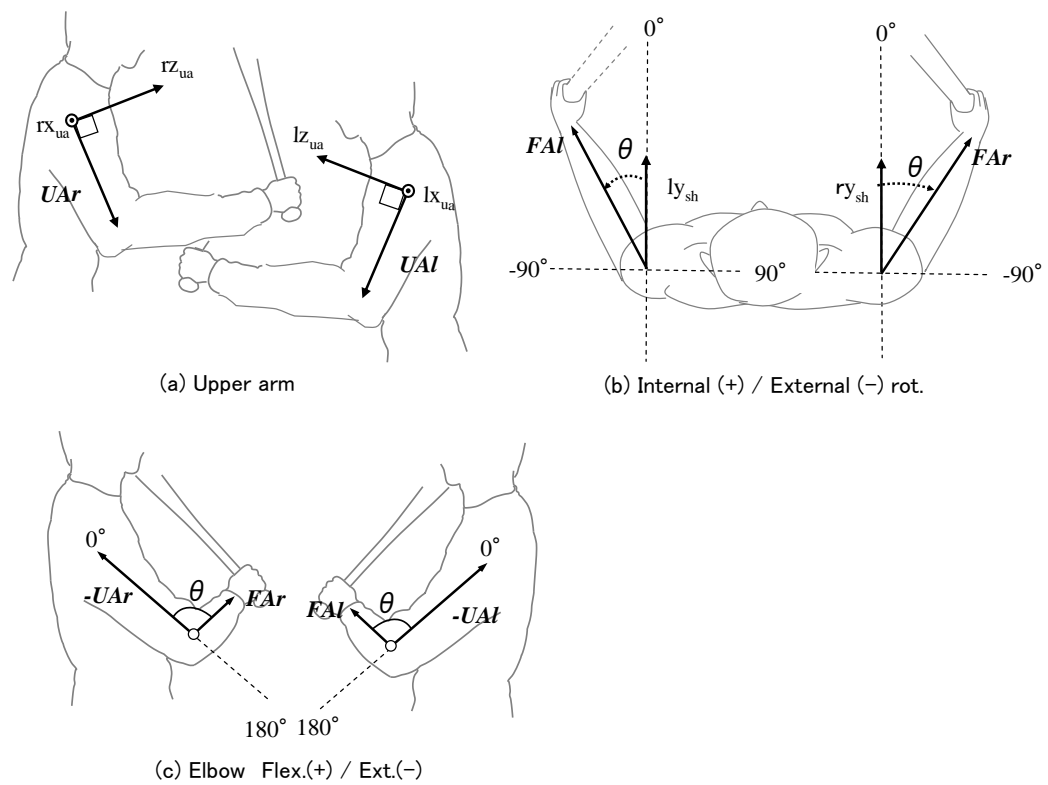


図 5-4 上肢移動座標系，肩関節内外旋角度および肘関節角度の定義

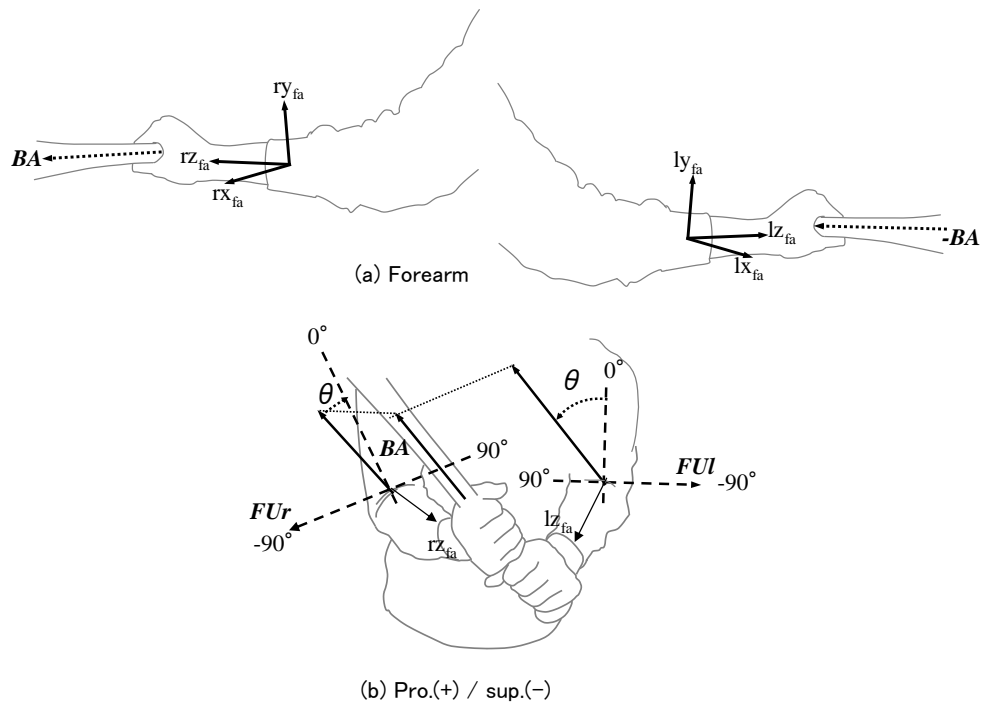


図 5-5 前腕関節移動座標系と前腕関節回内外角度の定義

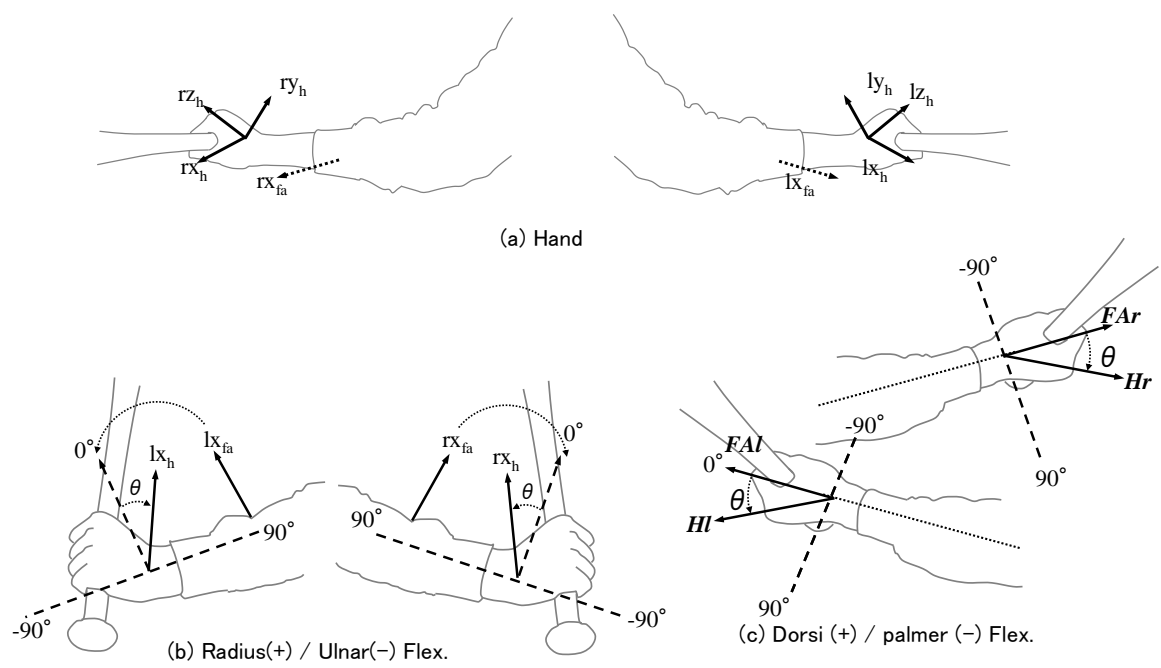


図 5-6 手関節移動座標系と手関節角度の定義

### 5.3. 結果

#### 5.3.1. 上肢の角度変化パターン

図 5-7 は上肢における肩関節の角度変化パターンを示したものである。太い実線は平均を、細い実線は標準偏差を示している。本研究ではバットを垂直に構えたとき、上部になる腕をトップハンド（以下 TH）、下部になる腕をボトムハンド（以下 BH）と定義した。

内外転において、TH 側では 0%時は  $70.1 \pm 8.8^\circ$ であり、60%時まで内転していたが、その後大きな変化はみられなかった。BH 側では 0%時は  $115.6 \pm 9.2^\circ$ であり、40%時付近までは大きな変化がみられなかった。水平内外転において、TH 側では 0%時は  $61.0 \pm 15.1^\circ$ であり、50%時まで水平内転し、その後はあまり変化しなかった。BH 側では 0%時は  $115.8 \pm 9.2^\circ$ であり、40%時あたりから水平外転してさらに 60%時からやや内転してインパクトを迎えていた。屈伸において、TH 側では 0%時は  $42.0 \pm 11.2^\circ$ であり、その後徐々に伸展し、70%時から屈曲していた。BH 側では 0%時は  $67.1 \pm 13.4^\circ$ であり、40%時付近まで伸展し、その後やや屈曲してインパクトを迎えていた。内外旋において、TH 側では、 $5.3 \pm 10.6^\circ$ で始まり、その後徐々に外旋していた。BH 側では  $53.4 \pm 10.7^\circ$ で始まり、50%時あたりから内旋していた。

図 5-8 は肘関節、前腕および手関節の角度変化パターンを両群について示したものである。TH 側の肘関節の屈伸についてみると、0%時では  $63.4 \pm 16.8^\circ$ であり、30%時あたりからインパクトまで大きく伸展した。BH 側では 0%時では  $119.5 \pm 10.4^\circ$ であり、60%時まで徐々に進展し、その後やや大きく伸展した。

前腕の回内外についてみると、TH 側では 0%時は  $-16.9 \pm 11.1^\circ$ であり、0-40%時では大きな変化を示さなかったが、その後大きく回外していた。BH 側では 0%時は  $13.6 \pm 10.0^\circ$ であり、その後徐々に回内し、60-100%時では大きな変化はみられなかった。

手関節の橈尺屈をみると、TH 側では 0%時は  $7.1 \pm 10.8^\circ$ であり、80%時あたりまで徐々に橈屈し、その後は大きく尺屈していた。BH 側では、0%時は  $11.5 \pm 11.5^\circ$ であり、その後 60%時付近から大きく尺屈していた。掌背屈についてみると、TH 側では 0%時において一

1.7±18.9°であり、20%時でやや掌屈してから50%時まで背屈し、その後緩やかに掌屈してインパクトを迎えていた。BH側では0.4±14.0°から始まり30%時付近から背屈して、その後70%時付近から掌屈してインパクトを迎えていた。

### 5.3.2. 上位群と下位群の比較

バットスピードは上位群では34.7±1.6m/s、下位群では30.7±1.8m/sで、上位群が有意に大きかった ( $p<0.05$ )。

図5-9は上肢における肩関節の角度変化パターンを示したものである。太い実線は上位群の平均を、細い実線は標準偏差を示し、グレーの点は下位群の平均を、点線は標準偏差を示している。また、\*印は両群間に有意差のあった部分である。分散分析の結果、本研究で定義した肩関節全ての角度変化において、交互作用が有意であった。

内外転についてみると、TH側ではフォワードスイング局面中、両群間で動きの差はみられず、ほぼ同様の動きをしていた。BH側ではフォワードスイング局面すべての時間で上位群の内転が約10-15°大きかった。特に0-10、50-70%時において有意な差がみられた ( $p<0.05$ )。水平内外転についてみると、TH側ではフォワードスイング局面中、両群間で動きの差はみられず、ほぼ同様の動きをしていた。一方、BH側ではフォワードスイング局面すべての時間で上位群の水平内転が約10-15°大きかった。特に0-10、60-70%時において有意な差がみられた ( $p<0.05$ )。屈伸についてみると40%時付近から上位群は下位群に比べ約10°伸展していたが有意な差はみられなかった。BH側では両群ともにフォワードスイング局面すべての時間でほぼ同様の動きがみられた。

内外旋についてみると、TH側では、上位群は下位群に比べ40%時付近から約15°内旋してインパクトしていたが有意な差はなかった。特にTH側では標準偏差が大きく、フォワードスイング局面中すべての時間において約20°あった。フォワードスイング局面中また、BH側では上位群は下位群に比べ0-10、60-80%時に約10°内旋が大きかったが、有意な差はみられなかった。

図5-10は肘関節、前腕および手関節の角度変化パターンを両群について示したもので

ある。分散分析の結果、本研究で定義した肘関節、前腕、および手関節の全ての角度変化において、交互作用が有意であった。TH 側の肘関節の屈伸では、20–100%時において、上位群が下位群に比べ、約 15–20°屈曲しており、特に 40–70、90–100%時において有意な差がみられた ( $p<0.05$ )。一方、BH 側ではフォワードスイング局面中すべての時間においてほぼ同様の動きがみられた。

前腕の回内外では、TH 側ではフォワードスイング局面中すべての時間において上位群の回外が約 5–10°小さく、100%時において有意な差がみられた ( $p<0.05$ )。また、BH 側では 0–80%時において上位群の回内が約 5–15°大きく、特に 50–70%時において有意な差がみられた ( $p<0.05$ )。

手関節の橈尺屈では、TH 側においてフォワードスイング局面中すべての時間においてほぼ同様の動きがみられた。BH 側もほぼ同様の動きが見られたが、50–70%時において、有意な差はみられなかったものの上位群が約 10°橈屈していた。掌背屈では、TH 側では 40–60%時において上位群が背屈していたが、標準偏差が大きく、有意な差はみられなかった。下位群ではフォワードスイング局面中すべての時間において、掌屈位にあった。一方、BH 側では 10–60%時において上位群が約 5–20°背屈位にあり、特に 20–30%時では有意な差がみられた ( $p<0.05$ )。

図 5–11 はフォワードスイング局面を 100%規格化した上位群および下位群をそれぞれ平均した上半身とバットのスティックピクチャである。上図は一塁側側面 (X 軸方向) から見た図であり、下図は上方 (Z 軸方向) から見た図である。上図をみると 0–60%時は、垂直に近いバットを体幹の回転と共に水平面へと移行させ、70%時から水平面に近いスイング軌道を示していた。

## Shoulder

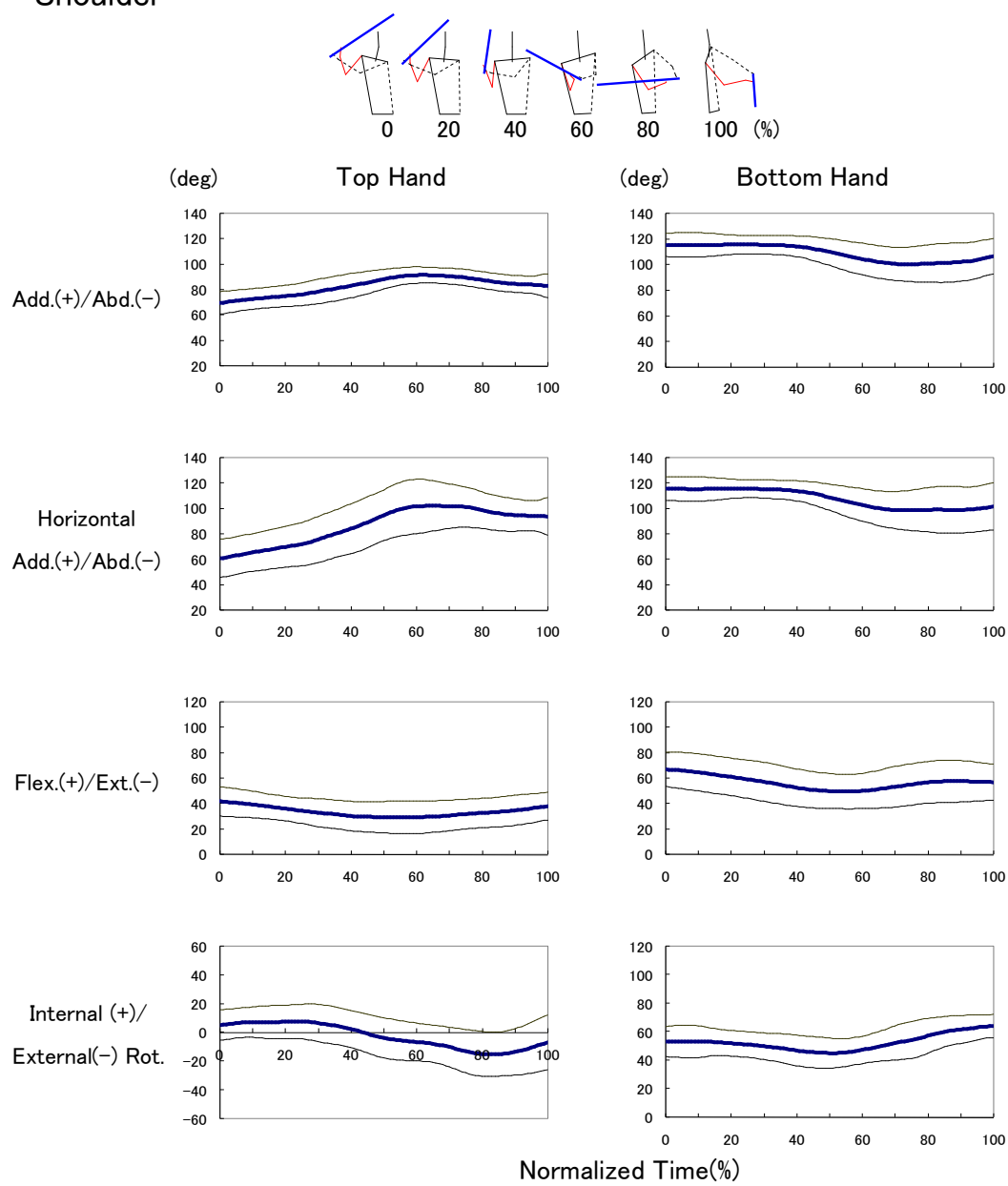


図 5-7 両上肢の肩関節角度変化



## Elbow & Hand

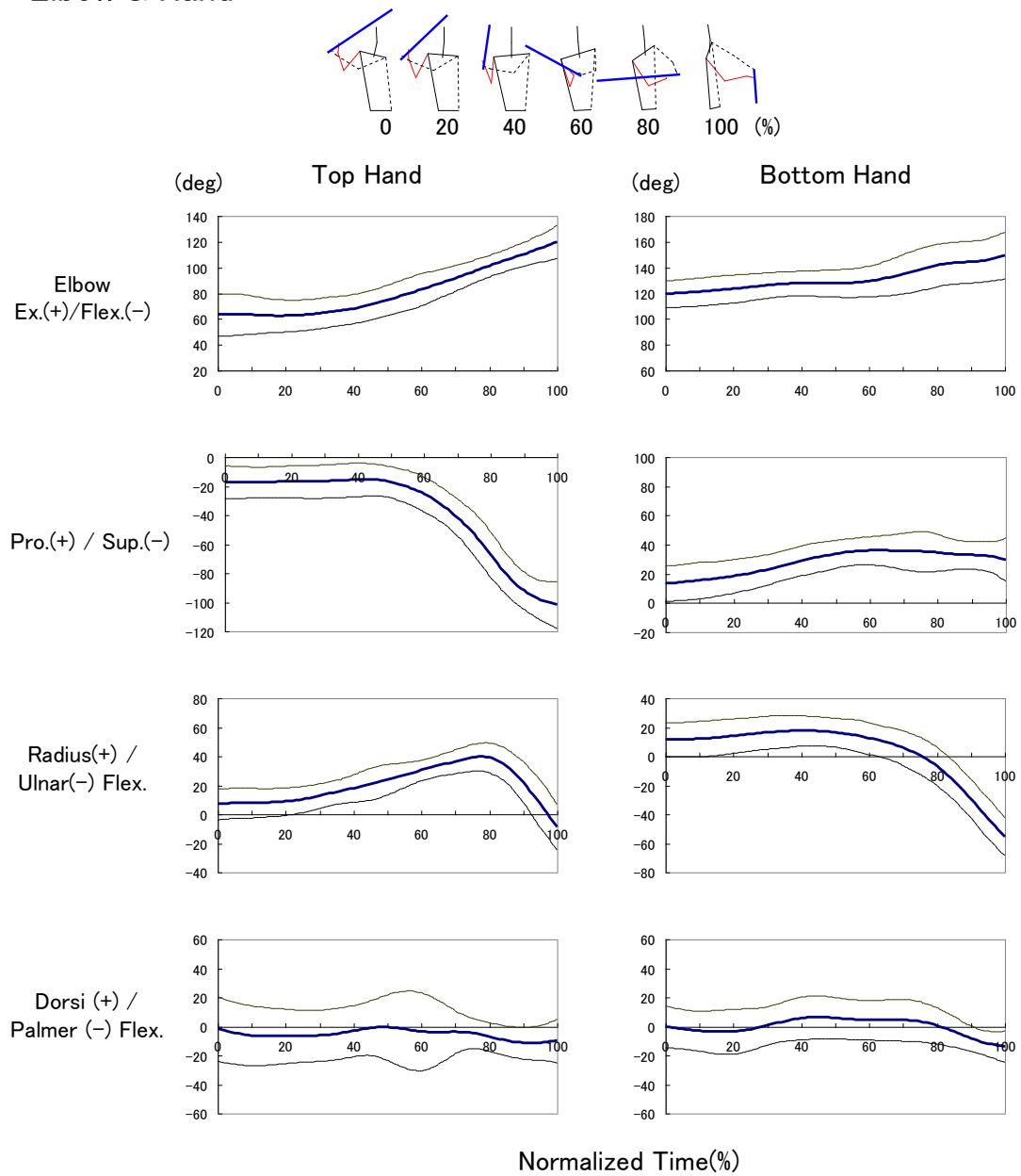


図 5-8 両上肢の肘関節，前腕関節および手関節角度変化

## Shoulder

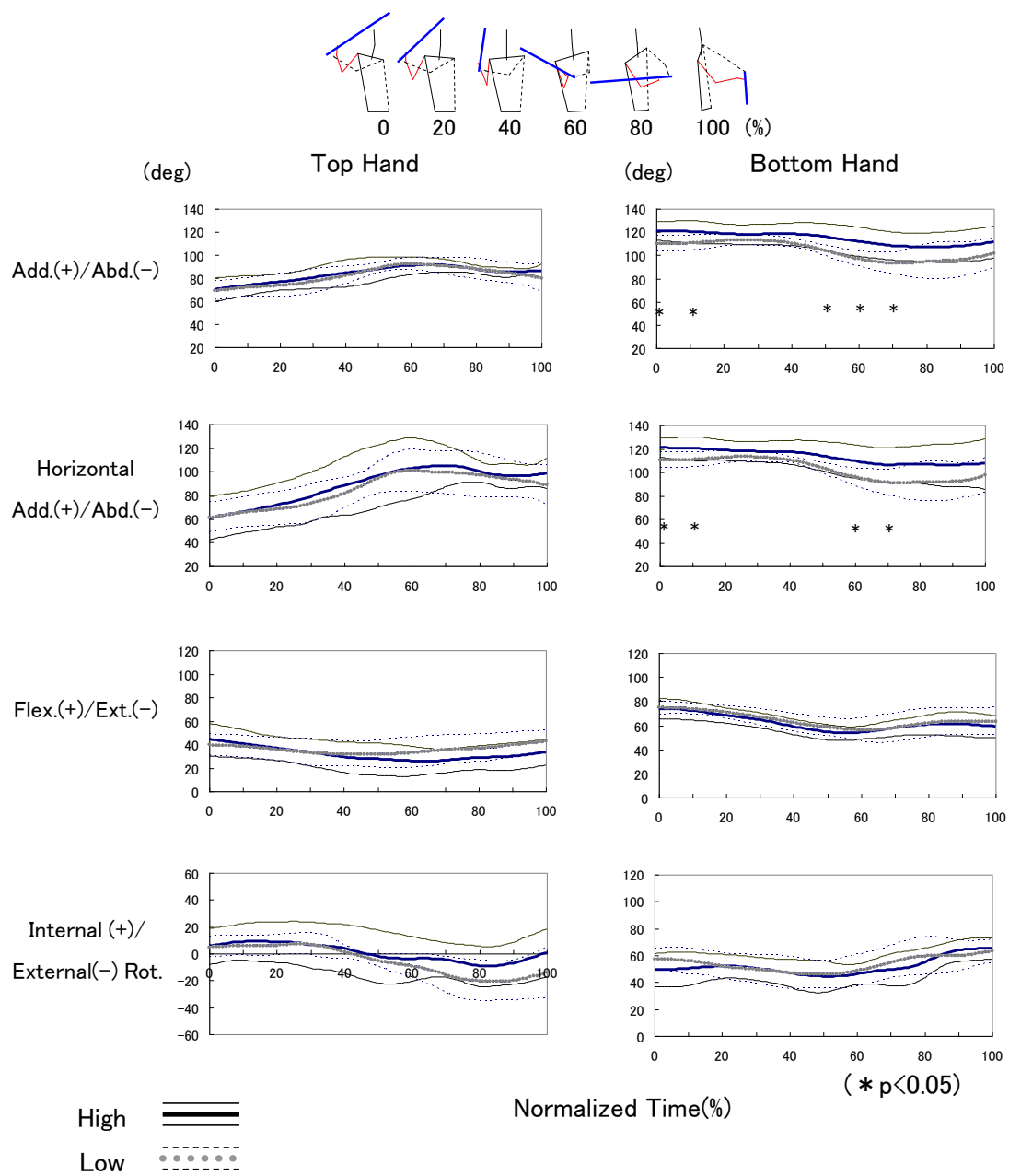


図 5-9 両上肢の肩関節角度変化の上位群と下位群の比較

## Elbow & Hand

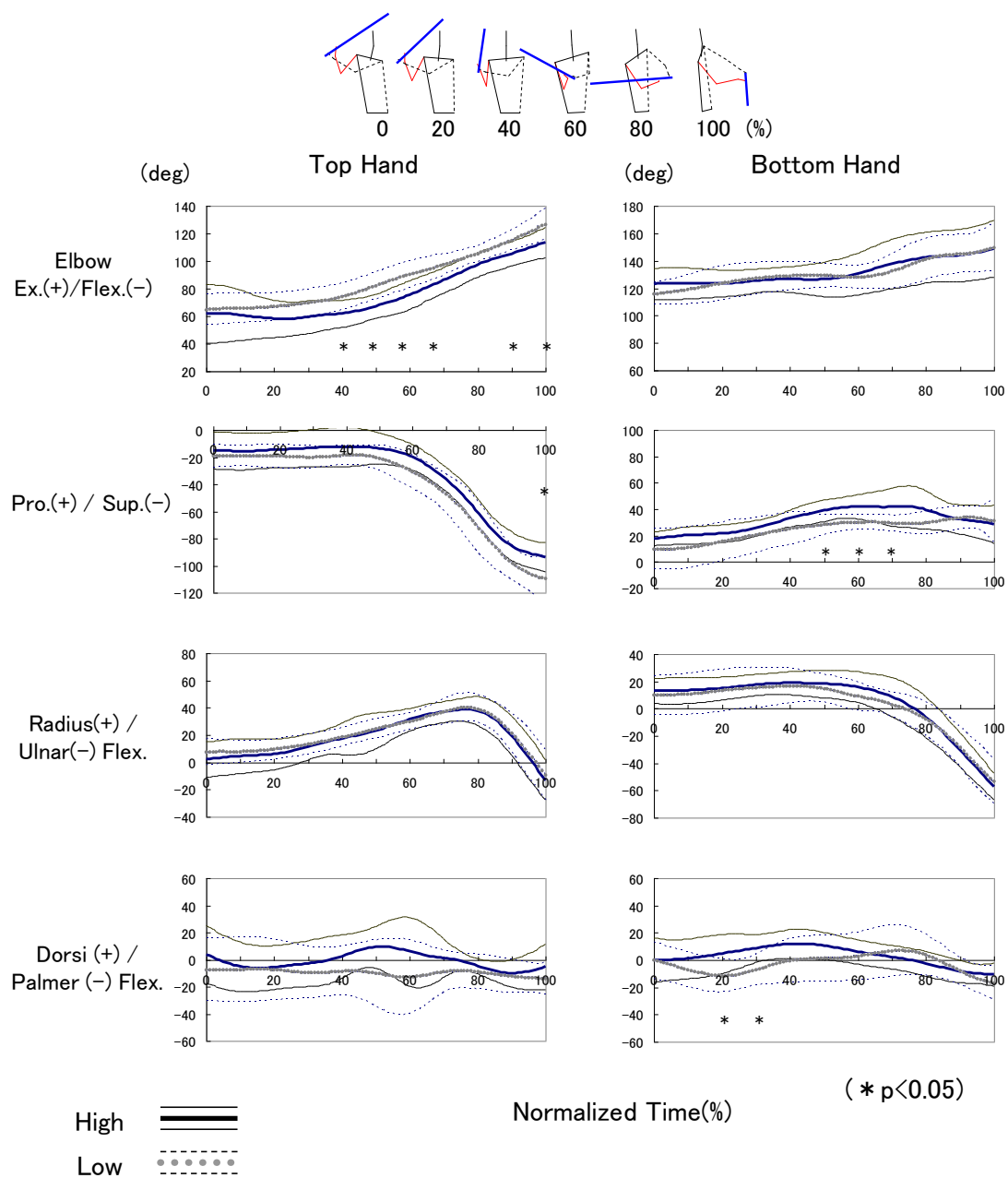


図 5-10 両上肢の肘関節，前腕関節および手関節角度変化の上位群と下位群の比較

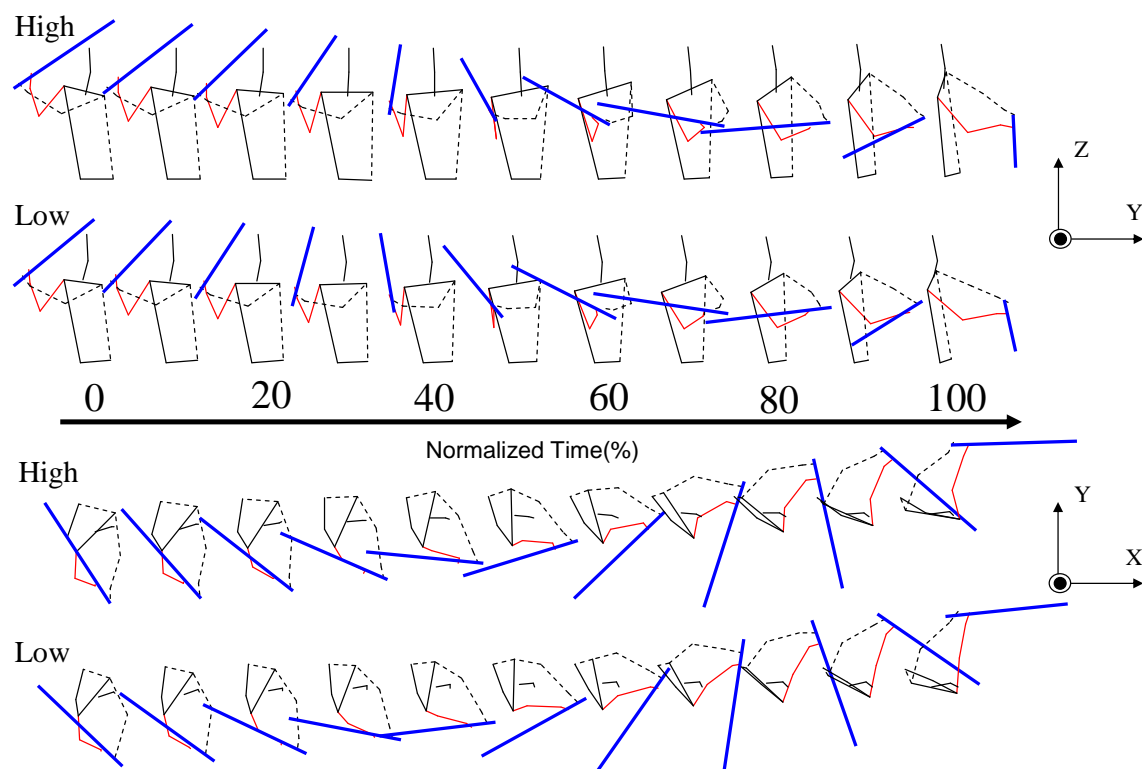


図 5-11 上位群と下位群のスティックピクチャ (典型例)

## 5.4. 考察

### 5.4.1. 上肢動作について

まず、左右上肢動作について、0–50%時の TH 側では、肘関節を屈曲したまま肩関節を内転、伸展、水平内転の角度変化がみられた（図 5–7）。しかし、図 5–7 全体が示すように、肩関節は BH 側の内旋が 35°程度の角度変化しかみられず、後述する図 5–12 に示す体幹の回転動作の範囲（約 120°）と比較しても動作の範囲は小さく、バットの加速に対して肩関節の動作による貢献は小さいと考えられる。

また、図 5–8 に示すように、この区間において TH 側肘関節は大きく伸展していた。また、前腕では、TH 側において、60%時あたりから大きく回外しており、さらに TH・BH ともに 60%時あたりから手関節尺屈で大きな角度変化がみられた。図 5–11 に示すように、60–100%時では、スティックピクチャにおけるバットは水平面付近で大きく動き、ミートポイントへと向かうことから、これらの動作の範囲を大きくすることがバットの加速に貢献していることが考えられる。

次に、図 5–8 に示すように、TH 側の前腕回外は 60–100%時では、大きく角度変化しているのに対して、BH 側は大きな角度変化は見られず、左右の動作で異なる角度変化パターンを示していた。このことから両手でバットを握っていても TH 側が回内であれば BH 側が回外といった同じ変化の動作を示さないことが明らかとなった。

また、手関節の橈尺屈において、0–80%時まで TH 側では緩やかに橈屈していた（図 5–9）。平野（1992）は、ゴルフスイングにおいて橈屈は Cock 動作に相当し、橈屈させることによりクラブを回転中心に近づけてスイングを容易にしていると述べている。このことから野球の打撃においても同様の Cock 動作がみられたと考えられる。

以上のことから、TH 側において肩関節の動作は小さく、肘関節の伸展、前腕の回外と両手関節の尺屈といった体幹から遠位になるほど角度変化が大きくなり、フォワードスイング局面におけるバットの加速に大きく関与していると考えられる。しかし、BH 側では肩、肘関節、前腕および尺屈動作以外の手関節では角度変化が小さいことが認められ、これらの

動作によるバットの加速への貢献は小さいことが考えられる。さらに、左右上肢動作の違いについて、多くの左右上肢で同様の角度変化パターンを示したが、前腕の回内外は同様のパターンを示していない時点があった。これまで打撃の上肢動作を検討する際に Welch et al. (1995) や Satern (2001) の先行研究におけるモデルでは両腕をひとつの腕とみなして考察していたが、本研究の結果より、特に両前腕の回内外は同じ様態の動作をしていないことから、打撃動作の詳細な検討をする場合、左右上肢を分ける必要性が示された。

#### 5.4.2. 上位群と下位群の比較と指導における言葉の検討

ここでは上位群と下位群の上肢動作について比較検討を行うが、指導で用いられる言葉と打撃の巧拙との関係についても合わせて検討する。

上位群と下位群を比較検討する前に、バットスピードに対する体格・体力的要因の影響について検討する必要がある。村田 (1998) は 19–21 歳までの軟式野球部に所属する男子大学生 13 名を対象に、バットスピードに影響する要因 11 種類を独立変数として重回帰分析に基づいて検討を行った。その中で村田は、バットスピードに対して体格的要因における寄与はほとんどみられず、体力的要因において背筋力、50m 走の寄与が高いと述べている。このことから本研究においても後日、実験 3 の被験者 10 名に対して背筋力、50m 走の測定を行い、バットスピードとの相関を検討したが、背筋力 ( $r=0.52$ ,  $p=0.13:n.s$ ), 50m 走 ( $r=-0.45$ ,  $p=0.19:n.s$ ), 共に有意な相関はみられなかった。これにより本研究の被験者は体格・体力的要因の影響は小さいと考えられる。

また、上肢動作は体幹の回転からの影響が大きいと考えられるため、両群間における体幹の動作に大きな違いがあるか検討する必要がある。そこで、図 5-12 に示すように、上位群と下位群の上方から見た上胴および下胴の回転角度についてみると、両群ともにほとんど同様の角度変化パターンを示していた。このことから両群の相違は上肢動作やバットの動きによるものが大きいと考えられる。

図 5-8 に示すように、フォワードスイング局面中 TH 側肘関節は大きく伸展しており、フォワードスイング局面におけるバットの加速に大きく関与していることが考えられる。

指導の言葉かけにおいてもインパクトまで「大きく伸ばす」ように、肘関節を大きく伸展させることはバット・ヘッドスピードを増大させる要因となるといわれている。しかし、図 5-10 に示すように、上位群と下位群の角度変化パターンはほぼ同様であるが、上位群は下位群に比べ肘関節はフォワードスイング局面中すべての時間において角度が小さく、40-70%時、90-100%時において有意な差がみられた ( $p<0.05$ )。このことから、単に TH 側の肘関節の伸展角度範囲を大きくすることがバット速度の増大に寄与していないことが考えられる。平野 (1996) はキューバ選手と日本人選手の打撃動作における肩の回転とバットの回転に着目して、バット・ヘッドスピードの大きいキューバ選手は加速局面において上肢の筋が出力しやすい肢位にあるのではないかと考察している。本研究の結果からも、上位群のバット・ヘッドスピード増大の要因が下位群より肘関節を屈曲させることで伸筋群の筋力が発揮しやすい肢位になったことによる可能性があると考えられる。

図 5-9 に示すように、下位群では、0-10%時、50-70%時付近において BH 側肩関節が有意に小さく内転および水平内転していた ( $p<0.05$ )。これは指導現場で用いられる「脇があく」(山本,2000 ; 若林,2002) ことに相当し、修正すべき点であると考えられている。一方、上位群では BH 側の肩関節の内転、水平内転が現場で言われる「脇をしめた (る)」角度であったと推察される。同様に、BH 側の前腕では 0-80%時において上位群の回内が大きく、特に 50-70%時において有意な差がみられた ( $p<0.05$ ) のに加え、手関節では、20-30%時において、上位群が背屈位にあり ( $p<0.05$ )、その後も 60%時付近まで背屈傾向がみられた。このことについて、指導現場では「脇をしめる」ときの一つの言葉かけとして、「雑巾を絞る」ようにと表現し、BH 側の前腕の回内と手関節の背屈を意識させることがある。このことは手関節の背屈筋群の収縮を強く行くと、その作用として前腕および上腕の筋群、三角筋や大胸筋なども緊張して腕全体の肢位の固定が起こり、結果、肩関節の内転や水平内転が維持できるという意味があったと推察される。つまり、BH 側において、上位群は前腕および手関節を「絞る」ように回内と背屈を行っていたため肩関節の内転が維持できたとする一方で、下位群は肩関節の内転や水平内転が小さくなり、「脇があく」状態にあ

ったことが推察される。

しかし、本研究はキネマティクスの観点から現象を検討したのみで、体幹から肩、肘関節の動作と前腕および手関節の動作とがどのように影響し合うかは推察の域を出ない。今後はキネティクスなどさらなる詳細な検討を必要とするであろう。また、本研究で用いたバットによる定義方法は試論の域を出ないため、前腕の回内外角と手関節の撓尺屈、掌背屈に関してはさらなる検証が必要であろう。

以上のことから、上位群が下位群よりバット・ヘッドスピードが大きかった要因として、TH 側肘関節では上位群がより屈曲させることや BH 側肩関節の内転と水平内転によって「脇をしめる」ことがあると考えられる。そこで「脇をしめる」ための言葉かけとして、「絞るように」前腕の回内と手関節の背屈を維持させることが有効ではないかと推察された。本研究で得られた結果は修正点として指導をする際の基礎的知見になるであろう。



Upper and Lower Trunk Rotation

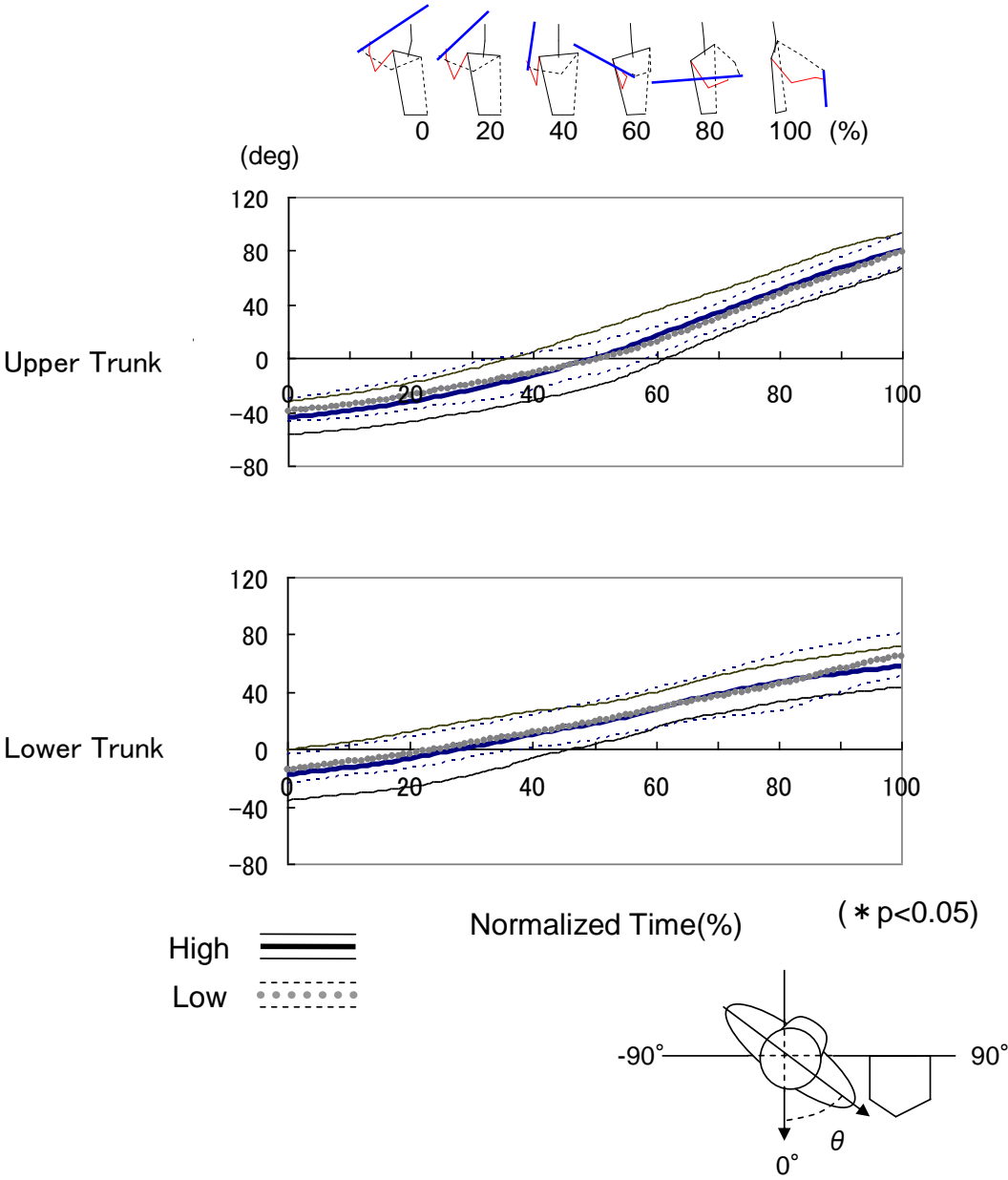


図 5-12 上胴および下胴の水平面上の角度変化における上位群と下位群の比較

## 5.5. まとめ

本研究では大学野球選手および社会人野球選手 16 名を対象にティー打撃を行い、バットスピードの大きな上位群と小さな下位群に分け、その上肢動作をキネマティクスの的に分析し比較検討を行った。得られた結果をまとめると、以下のようになる。

- ① フォワードスイング局面では TH 側の肘関節の伸展および前腕の回外、両手関節の尺屈において大きな角度変化がみられた。一方で、BH 側肩関節、肘関節、前腕では大きな角度変化がみられなかった。
- ② 肩および肘関節における上位群と下位群の比較では、0–10%時、50–70%時において上位群は下位群と比較して BH 側肩関節の内転と水平内転が有意に大きかった。40–70%時、90–100%時において上位群が下位群と比較して TH 側肘関節を有意に屈曲させていた。
- ③ 手関節における上位群と下位群の比較では、TH 側では 100%時で上位群の回外が有意に小さかった。BH 側の前腕の回内では、50–70%時において上位群が有意に大きかった。同様に手関節の背屈では、20–30%時において、上位群が有意に大きかった。

以上のことから、野球の打撃における両肩関節の動作は小さく、TH 側の肘および手関節の動作は大きいことが示された。また、両手関節の回内外において動作の異なる変化パターンが示されたことから、両手でバットを握っていても同じ変化の動作を示さないことが明らかとなった。さらに、BH 側肩関節を「脇をしめる」ようにして内転および水平内転することが上位群のバット・ヘッドスピードを大きくした要因であることが示唆された。

## 6. 研究課題 3 野球の打撃熟練者におけるバット・ヘッドスピードを向上させるために、打撃中の上肢動作のエネルギーフローを算出し、上肢の役割に関して明らかにすること

### 6.1. はじめに

上肢において近位にある肩関節から末端にある手関節へと加速していく動作は「運動連鎖」と呼ばれ、投球、テニスのサービスなどで報告されている（村田ほか, 2015; 島田ほか, 2004）。野球の打撃動作も上肢の末端にあるバットを加速させていくことでは運動連鎖を行っていると考えられるが、両上肢によってバットが保持されることから複雑な動作と力の発揮があることが推察される。運動連鎖に関して、松尾（2011）は「Energetics は運動連鎖をよく表現している」と述べており、打撃動作を力学的エネルギーの面から明らかにすることは、動作の解明そして指導するための知見を得ることにおいて大変意義があると考えられる。

しかし、両上肢によってバットが保持される野球の打撃において、逆動力学計算によって各関節のキネティクス量を算出するためには、バットおよび上肢により構成される閉ループ系があるために、一意的に解が定まらない問題を解決する必要があった。その問題解決のために小池（2010）は左右各手への力の作用力および作用モーメントの計測を行える力検出型センサーバットを開発した。このセンサーバットを使って野球の打撃の左右各手および上肢のキネティクスに関する報告がなされている（阿江ほか, 2013, 2014; 小池, 2006）。この左右各手の作用力および作用モーメントの計測から左右各上肢のエネルギーの流れを算出することが可能となり、これにより野球の打撃における運動連鎖のメカニズムの解明ができると考えられる。

さらに川村ほか（2008）は指導現場で有用な研究にするには動作の運動経過全体に着目してパフォーマンスを向上させる要因を検討する必要があると述べている。そのためにはスイング速度の大小、つまり運動経験が豊富であるにもかかわらず動作の巧拙がある熟練

者間について、運動経過に沿って時系列で比較することによって指導における着眼点を導き出すことができると考えられる。

本研究の目的は、熟練野球選手の打撃動作におけるフォワードスイング局面の左右上肢の力学的エネルギーの流れを明らかにすると共に、バット・ヘッドスピードの異なる被験者の動作を比較することにより打撃指導に関する基礎的知見を得ることである。

## 6.2. 方法

### 6.2.1. 被験者およびデータ収集

大学一部リーグに所属する硬式野球部の熟練野手 23 名（年齢：19.8±1.3 歳，身長：1.74±0.04m，体重：74.1±6.2 kg，競技歴：12.0±2.1 年，右打 11 名，左打 12 名）を被験者とした。実験試技では、被験者にボール高さを真中に設定されたティー上のボールをセンター方向に打撃するように指示した。ボール高さについては、公認野球規則（日本プロフェッショナル野球組織，2009）に基づき、被験者が打撃姿勢をとった際のベルト位置を真中と定義した。実験に際して、各被験者には予め実験の目的および試技内容の説明を行い、協力への同意を得てから実験を行った。なお、本研究は筑波大学体育系研究倫理委員会の承認を得ている。

被験者の身体 47 点，およびバット 6 点の計 53 点に反射マーカを貼付し，光学式 3 次元自動動作分析装置（Vicon Motion Systems 社製，VICON-MX，カメラ 12 台，250 Hz，以下，VICON）を用いて，各マーカの 3 次元座標を計測した。

左右各手のキネティクスの変量の計測には，小池（2010）が開発した力検出型センサーバットを用いた（1000 Hz）。なお，データ収集の方法については，阿江ほか（2013，2014）と同一とした。本研究では，バットヘッド側を TH 側，グリップエンド側を BH 側と表記する。

### 6.2.2. データ処理

分析試技については，ボールがセンター方向へと打撃され，被験者の 5 段階評価による

内省点が3以上となる最も点数の高かった1試技（成功試技）を対象とした。VICONにより取得した身体およびバットの各代表点の3次元座標については, Wells and Winter(1980)の方法を用いて決定された最適遮断周波数（7.5-15 Hz）を有する位相ずれのない Butterworth low-pass digital filter を用いて平滑化処理を行った。その後, 3次のスプライン関数を用いて 1000 Hz のデータに内挿補間することによって, センサーバットのサンプリング周波数と同じサンプリング間隔のデータとした。

### 6.2.3. 算出項目および算出方法

#### 6.2.3.1. 上肢の関節座標系および関節角度変位の定義

本研究では, 左右の各上肢をそれぞれ手, 前腕および上腕からなる剛体リンクモデルとしてモデル化した。3次元動作を評価するために, 阿江ほか（2014）と同様に, 上肢各関節に機能解剖学的関節軸に対応する関節座標系を設定し, 各関節座標系から関節角度変位を算出した。

肩関節の角度変位については, 屈曲伸展（伸展：+, 屈曲：-）, 内外転（外転：+, 内転：-）, および内外旋（外旋：+, 内旋：-）の3自由度とした。

肘関節および橈尺関節角度変位については, それぞれ屈曲伸展（伸展：+, 屈曲：-）, および回内外（回外：+, 回内：-）の2自由度とした。

手関節の角度変位については, 掌背屈（背屈：+, 掌屈：-）, および橈尺屈（橈屈：+, 尺屈：-）の2自由度とした。

#### 6.2.3.2. 上肢関節のキネティクスの変量

本研究では, 上肢関節のキネティクスの変量として, まずセンサーバットから計測した左右各手のバット作用力および作用モーメントから左右上肢の逆動力学演算を行い, 各関節に作用する力およびモーメント, すなわち関節力および関節トルクを算出した。そして, この関節力および関節トルクを用いて, 関節力パワー, 関節トルクパワー, セグメントトルクパワー, および力学的仕事を算出した。

左右の上肢関節  $k,j$  ( $k$ =TH 側, BH 側 ;  $j$ = 手, 肘, 肩) における関節力  $F_{k,j}$  および関節

トルク  $T_{k,j}$  から、関節力パワー  $P_{JF,k,j}$ 、関節トルクパワー  $P_{JT,k,j}$ 、およびセグメントトルクパワー  $P_{ST,k,j}$  が、以下の式により求まる。

$$P_{JF,k,j} = F_{k,j} \cdot V_{k,j} \quad (1)$$

$$P_{JT,k,j} = T_{k,j} \cdot \omega_{k,j} \quad (2)$$

$$P_{ST,k,j} = T_{k,j} \cdot \omega_{k,i} \quad (3)$$

ここで、 $F_{k,j}$  は関節に作用する関節力、 $T_{k,j}$  は関節が発揮する関節トルク、 $V_{k,j}$  は関節の速度、 $\omega_{k,j}$  は関節の角速度、 $\omega_{k,i}$  はセグメント  $i$  ( $i$  = 手, 前腕, 上腕) の角速度をそれぞれ示している。そして、これらの各パワーのうち、関節トルクパワーを分析区間および符号の正負別に時間積分することによって力学的仕事（以下、仕事）を算出した。

なお、各セグメントの角速度ベクトル  $\omega_{k,i}$  については、セグメントに設定したセグメント座標系における各軸方向の単位ベクトルを時間微分することによって求めた。そして、各関節の角速度  $\omega_{k,j}$  については、隣接するセグメント角速度ベクトルの相対角速度 ( $\omega_{k,i-1} - \omega_{k,i}$ ) として求めた。

#### 6.2.4. 群間の選定

本研究では、川村ほか（2008）を参考にして、バット・ヘッドスピードを競技力の優劣を示す評価指標と定義して全被験者を 2 群に分けた。全被験者 23 名におけるバット・ヘッドスピードの最大値における平均値を算出し、平均値よりも値が大きかった 12 名を上位群（High）、平均値よりも値が小さかった 11 名を下位群（Low）とした。

#### 6.2.5. 分析範囲の定義、データの規格化および統計処理

分析範囲については、阿江ほか（2013, 2014）の定義に従い、バット・ヘッドスピードとグリップスピードの和が 3 m/s を超えた時点から平滑化処理を行う前までのバット・ヘッドスピードが急激に減少する 1 コマ前の時点（以下「インパクト」と略す）までとして、この区間をフォワードスイング局面とした（図 6-1）。上述した各算出項目については、左打者の値においても全て右打者の値になるように変換してから全被験者の平均値を算出し、時系列データについては、スイング開始からインパクトまでの時間を 100% として、3 次ス

ブライン関数を用いた内挿補間により規格化した。また、各局面毎の上肢関節トルクによる仕事を評価するために、規格化時間の 25%毎に 4 つの局面を設けた。

統計処理については、各測定項目について両群間の比較を行うため、対応のない  $t$  検定を用いた。時系列データに関しては、川村ほか（2008）および高橋ほか（2005）と同様に、まず繰り返しのある二元配置分散分析を行い、群間の主効果および交互作用（群間×経時変化）について有意差検定を行った。つぎに群間において有意差がみられる時点の特定のために規格化時間の 1%時ごとに  $t$  検定を行った。本研究では、二元配置分散分析において交互作用が有意であった場合に、時刻ごとの  $t$  検定（単純主効果の検定）を行うことが前提となる。このため、二元配置分散分析の結果については交互作用の有意差の有無を記述することとした。なお、これらの有意水準は 5%未満とした。

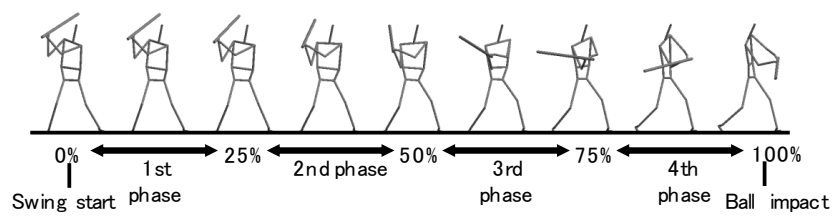


図 6-1 フォワードスイング局面の定義



### 6.3. 結果

#### 6.3.1. 左右上肢の力学的エネルギーの流れ

##### 6.3.1.1. 関節力パワー

フォワードスイング局面における左右上肢に関する関節力パワーを図 6-2 に示す。同図の左列が TH 側上肢のパワーを、右列が BH 側上肢のパワーを示し、上段 (a), (d) が上腕、中段 (b), (e) が前腕、そして下段 (c), (f) が手の値をそれぞれ示している (近位側：黒色、遠位側：灰色；上位群：実線、下位群：点線)。そして、正值は各セグメントへの力学的エネルギーの流入を、負値は各セグメントからの力学的エネルギーの流出を示す。また、群間において有意差がみられた時点には記号 (o) を示している (近位側：上段、遠位側：下段)。

まず TH 側上肢について、上腕部 (a) では、近位側および遠位側ともに交互作用 (群間×経時変化) に有意な差はみられず、近位側および遠位側ともに値は小さかった。前腕部 (b) では、近位側および遠位側ともに交互作用に有意な差はみられなかったが、70%付近以降において近位側の正值および遠位側の負値はともに増大していた。手部 (c) では、近位側および遠位側ともに交互作用に有意な差はみられなかったが、60%付近以降において近位側の正值および遠位側の負値はともに増大していた。

次に BH 側上肢について、上腕部 (d) では、近位側および遠位側ともに交互作用に有意な差はみられなかったが、30%付近以降において近位側の正值および遠位側の負値ともに、上位群が下位群よりも顕著に大きかった。前腕部 (e) では、近位側および遠位側ともに交互作用に有意な差はみられなかったが、35%付近以降において近位側の正值が、および 70%付近以降において遠位側の負値が、ともに上位群が下位群よりも顕著に大きかった。手部 (f) では、近位側および遠位側ともに交互作用に有意な差はみられなかったが、80%付近以降において近位側の正值および遠位側の負値ともに上位群が下位群よりも顕著に大きかった。

##### 6.3.1.2. セグメントトルクパワー

フォワードスイング局面における左右上肢に関するセグメントトルクパワーを図 6-3 に

示す。図の仕様は図 6-2 と同様である。まず TH 側上肢について、上腕部 (a) では、近位側において交互作用に有意な差はみられなかったが、遠位側においては交互作用に有意な差がみられた ( $p < 0.05$ )。スイング開始から近位側において正值および遠位側において負値がみられ、10%から 20%付近および 50%から 60%付近にかけて遠位側の負値に有意な差がみられた ( $p < 0.05$ )。前腕部 (b) では、50%付近以降において近位側の正值および遠位側の負値ともに顕著に値が増大していた。近位側および遠位側ともに交互作用に有意な差がみられ ( $p < 0.05$ )、特に 60%付近からインパクトにかけて上位群が下位群より大きく、主に 60%から 75%付近にかけて近位側の正值に、60%から 90%付近にかけ遠位側の負値にそれぞれ有意な差がみられた ( $p < 0.05$ )。手部 (c) では、近位側および遠位側ともに交互作用に有意な差がみられ ( $p < 0.05$ )、スイング開始から 50%付近において値はほとんどみられないものの、遠位側において有意な差がみられた ( $p < 0.05$ )。その後 60%付近以降においては近位側および遠位側ともに値がみられ、主に 60%以降にかけて近位側および遠位側ともに有意な差がみられた ( $p < 0.05$ )。

つぎに BH 側上肢について、上腕部 (d) では、近位側および遠位側ともに交互作用に有意な差はみられなかったが、特に 80%付近以降において近位側の正值および遠位側の負値ともに上位群が下位群より大きかった。前腕部 (e) では、近位側および遠位側ともに交互作用に有意な差はみられなかったが、上腕部と同様に、近位側において正值および遠位側において負値がみられた。手部 (f) では、近位側および遠位側ともに交互作用に有意な差はみられなかったが、近位側において 50%付近以降からインパクトにかけて値がみられた。遠位側においては、80%付近以降において上位および下位群ともに負値から正值へと値が切り替わっていた。

### 6.3.2. 左右上肢の関節トルクによる力学的仕事

図 6-4 に、左右上肢の各関節トルクによる仕事を局面毎に正負に分けて示す。各仕事は左右の上肢毎に、肩関節、肘関節、手関節の順に示している (上位群: 灰色, 下位群: 白色)。なお本研究では、各関節における力学的エネルギーの発生および吸収を定量化するために、

各関節トルクによる仕事の各運動軸まわりの値を合計したものを示している。

まず TH 側上肢について、第 1 局面 (a) では、ほぼ肩関節の正仕事のみがみられたものの、その値は小さく、群間の差もみられなかった。第 2 局面 (b) では、第 1 局面と同様に、肩関節の正仕事のみが顕著にみられ、上位群が下位群よりも大きくなる傾向がみられた。第 3 局面 (c) では、肩関節において上位群が下位群よりも正仕事が大きく、肘および手関節においては主に負仕事のみがみられたものの、いずれも群間による有意な差はみられなかった。第 4 局面 (d) では、肩関節において上位群が下位群よりも有意に正仕事が大きく ( $p < 0.05$ )、肘関節においては下位群が上位群よりも負仕事が大きくなる傾向がみられ、手関節においては上位群が下位群よりも有意に正仕事が大きかった ( $p < 0.05$ )。

つぎに BH 側上肢について、第 1 局面 (e) では、主に肩関節において下位群が上位群よりも負仕事が大きくなる傾向がみられた。第 2 局面 (f) では、肩関節において下位群が上位群よりも正仕事があり大きく ( $p < 0.05$ )、肘および手関節においては負仕事のみがみられたものの、その値は小さかった。第 3 局面 (g) では、肩関節において下位群が上位群よりも正仕事が大きくなる傾向がみられ、肘および手関節においては正仕事のみがみられたものの、それぞれ群間による顕著な差はみられなかった。第 4 局面 (h) では、肩関節において正仕事が大きかったものの、群間による顕著な差はみられなかった。肘関節においては正および負仕事のみがみられ、特に負仕事において上位群が下位群よりも大きくなる傾向がみられた。手関節においては正仕事が大きかったものの、群間による顕著な差はみられなかった。

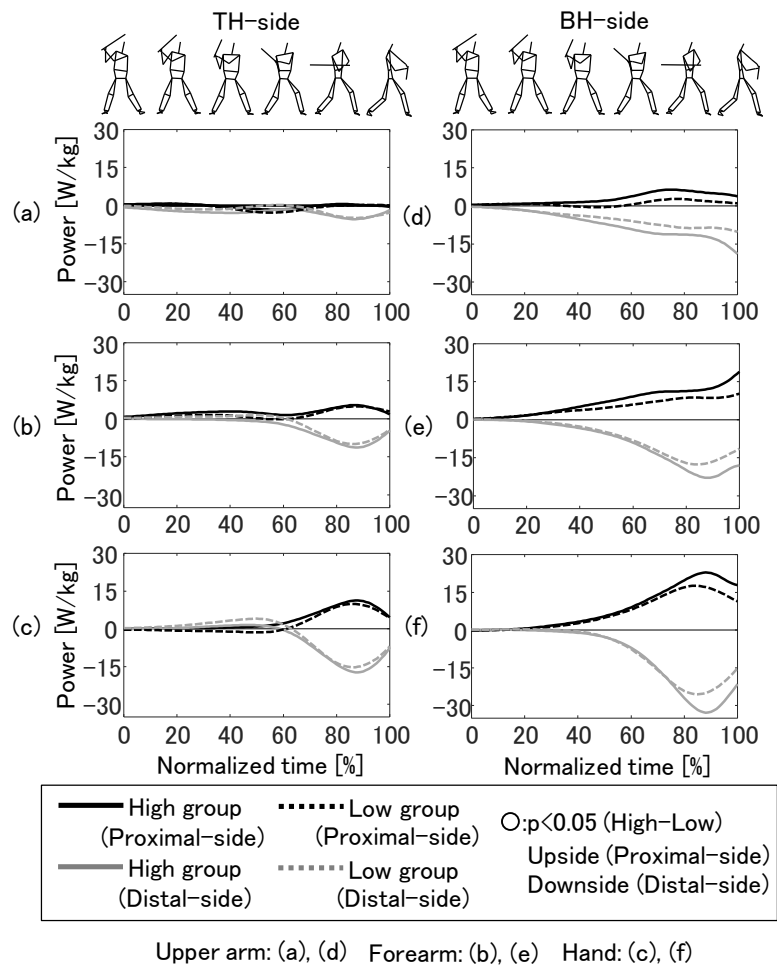


図 6-2 フォワードスイング局面の両上肢の関節力パワーによるエネルギーフロー

: バット・ヘッドスピード上位群と下位群の比較

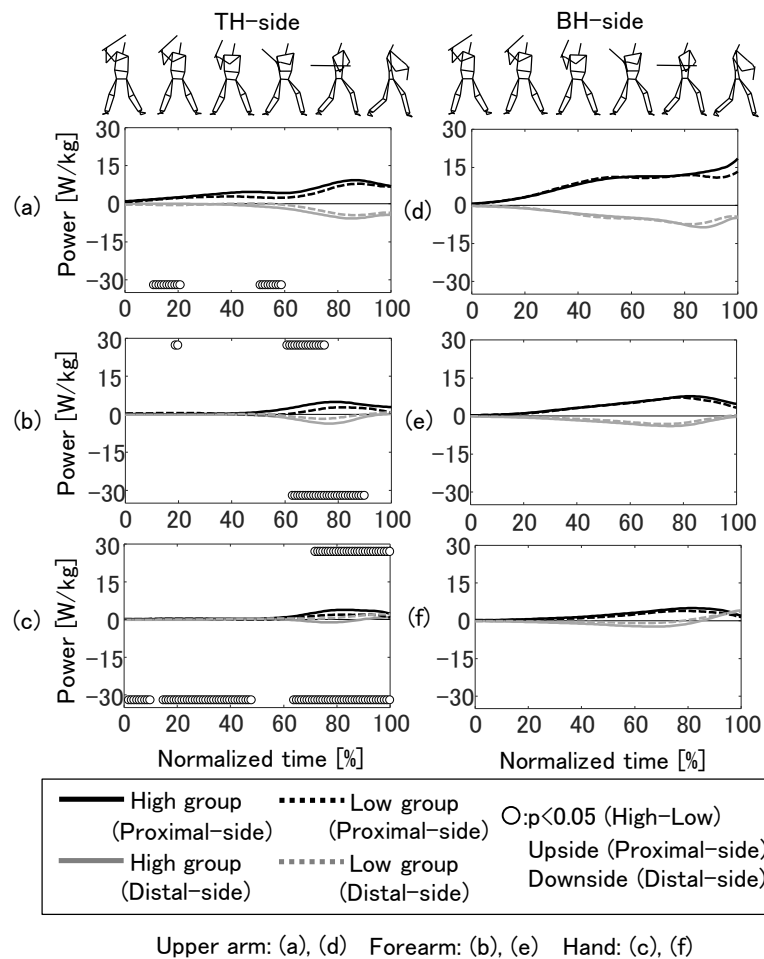


図 6-3 フォワードスイング局面の両上肢のセグメントトルクパワーによる

エネルギーフロー：バット・ヘッドスピード上位群と下位群の比較

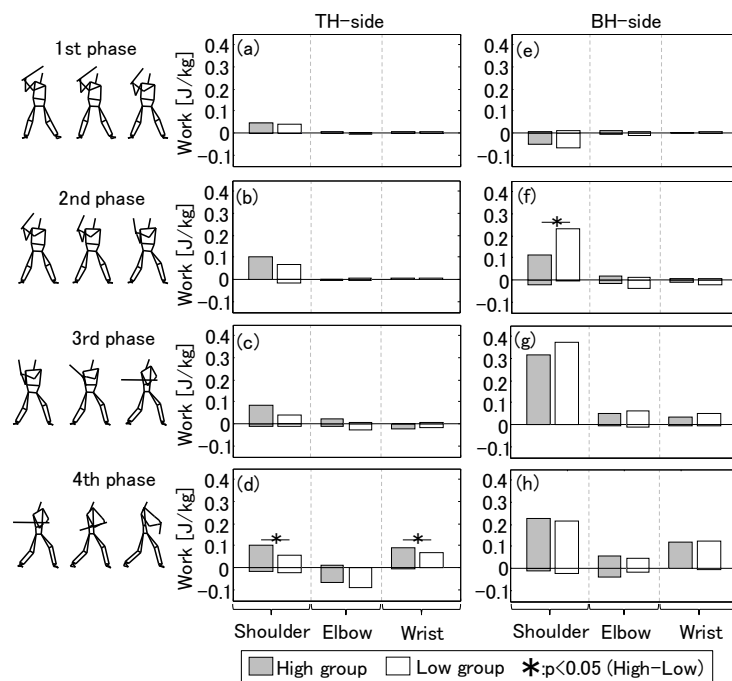


図 6-4 フォワードスイング局面の両上肢の関節トルクによる力学的仕事

: バット・ヘッドスピード上位群と下位群の比較

## 6.4. 考察

本章では、まず上位群と下位群において共通した力学的エネルギーの流れに着目することによって、野球の打撃動作における上肢の力学的エネルギーの流れの特徴を明らかにする。つぎに上位群と下位群における力学的エネルギーの流れの相違を明らかにすることによって、打撃指導への示唆を得ることとする。

### 6.4.1. 上位群と下位群に共通の力学的エネルギーの流れ

#### 6.4.1.1. フォワードスイング前半（第 1 および第 2 局面）

TH 側上肢では、BH 側上肢と比べて関節力パワーおよびセグメントトルクパワーによる力学的エネルギーの顕著な流入出はみられなかった（図 6-2 (a), (b), (c), 図 6-3 (a), (b), (c)）。この結果は、島田ほか（2004）を参考にして作成した図 6-5 の局面毎に示した力学的エネルギーの流れの模式図からも理解できるだろう。川村ほか（2008）は、スイング開始直後では TH 側上肢に関して肘関節を屈曲したまま肩関節の各運動軸において角度変化がみられたと報告している。したがって、TH 側上肢では、スイング開始から 50%にかけて主に肩関節による動作が行われることから、上肢末端への顕著な力学的エネルギーの伝達がみられなかったと考えられる。加えて阿江ほか（2014）は、スイング開始から TH 側肩関節は内転トルクおよび正のトルクパワーを発揮して、指導現場におけるインサイド・アウトのスイングを行うために脇を締める動作を行っていると報告している。このため、同局面における TH 側上肢の働きは、バットが遠回りした軌道、いわゆるドア・スイングにならないようにバットを身体付近に留めておくという補助的なものであると考えられる。

BH 側上肢では、セグメントトルクパワーにおいて主に上腕部および前腕部に顕著な近位からの力学的エネルギーの流入および遠位への流出がみられ（図 6-3 (d), (e), (f)）、関節力パワーにおいては、上腕部では遠位への力学的エネルギーの流出が、前腕部では近位からの流入および遠位への流出がみられた（図 6-2 (d), (e), (f)）。このように TH 側上肢に比べて BH 側上肢では、図 6-5 (a) からわかるようにスイング開始から関節力およびセグメントトルクパワーによる力学的エネルギーの流れの顕著な差が本研究の結果から明

らかとなった。小池ほか（2003）は、BH 側上肢では各関節において顕著な関節トルクによる正仕事が見られたことから、BH 側の上肢関節はバットを前方へ引き出すことに貢献することを報告している。したがって、スイング開始から BH 側の肩、肘および手関節において顕著なトルク発揮を行うことは、BH 側上肢において近位から遠位へと力学的エネルギーを効率良く流すことにもなり、この作用によりバットは前方へと大きく加速されると考えられる。また BH 側上肢では、特に関節力パワーによる上腕部の遠位への力学的エネルギーの流出および前腕部の流入出が大きかった。内藤・丸山（2006）、平島・大築（2005）、および小池ほか（2009）は、野球の投球動作やテニスのサーブ動作といった高速スイング動作における上肢末端のスピード獲得に対して、遠心力やコリオリ力といった回転運動に起因する力による貢献、いわゆる運動連鎖や運動依存による貢献が大きくなることを報告している。したがって、野球の打撃動作においても特に大きなトルク発揮が可能である BH 側の肩関節運動によって大きな関節力が生成され、また上肢末端へと伝達されることが本研究の結果より明らかとなった。

#### 6.4.1.2. フォワードスイング後半（第 3 および第 4 局面）

TH 側上肢では、セグメントトルクパワーにおいて上腕部および前腕部の近位からの力学的エネルギーの流入および遠位への流出、ならびに手部の近位からの流入が見られ、手部においては、上位群では遠位への流出、下位群では遠位からの流入が見られた（図 6-3 (a), (b), (c)）。小池ほか（2003, 2006）は、インパクト付近では TH 側の上肢関節トルクおよびその仕事が大きくなることを報告している。本研究においても第 3 および 4 局面では、第 1 および 2 局面よりも TH 側の肘および手関節トルクによる仕事が大きくなる傾向が見られ（図 6-4 (c), (d)）、スイング後半ではスイング前半よりも上肢の近位から遠位への顕著な力学的エネルギーの流れが見られた（図 6-5 (b)）。したがって、インパクト付近では各関節のトルク発揮が大きくなることによって、セグメントトルクパワーによる上肢末端への力学的エネルギーの伝達量も大きくなったと考えられる。また、関節力パワーにおいては、スイング前半よりも上腕部の遠位への力学的エネルギーの流出、ならびに前腕部、手



部の近位からの流入および遠位への流出が大きかった（図 6-2 (a), (b), (c), 図 6-5 (b)）。川村ほか（2008）は、TH 側上肢では体幹から遠位となる肘および手関節がバットヘッドの加速に寄与することを示唆している。阿江ほか（2014）は、インパクト付近では TH 側の肘および手関節トルクがバットの水平変位の獲得、すなわちバット・ヘッドスピードの増大に寄与することを報告している。したがって、スイング後半となる 50%からインパクトにおいて、セグメントトルクパワーに加えて関節力パワーによる力学的エネルギーが上肢末端へと伝達されることは、スイング前半と同様にバットを打撃方向へと押し出しバット・ヘッドスピードを増大させることに有効であると考えられる。その一方で、手部のセグメントトルクパワーにおいては特にインパクト直前では遠位からの流入がみられ（図 6-3 (c)）、また第 4 局面における肘関節トルクによる仕事においては顕著な負仕事が見られた（図 6-4 (d)）。伊藤ほか（2001）は、関節トルクによる仕事の負値はバットの調整に寄与し、小池ほか（2003, 2006）は、左右上肢のうち、主に TH 側上肢において負仕事が多い傾向にあることを報告している。これらの点を考慮すると、インパクト直前においてボールをミートするために必要となるバットヘッド軌道の調整に対する手関節トルクの働きの重要性が本研究における力学的エネルギーの流れの結果から改めて明らかとなった。

BH 側上肢では、関節力パワーにおいてインパクトに近づくにつれて、上腕部、前腕部および手部ともに近位からの力学的エネルギーの流入および遠位への流出が顕著に大きかった（図 6-2 (d), (e), (f), 図 6-5 (b)）。セグメントトルクパワーにおいてはインパクトに近づくにつれて、上腕部および前腕部の近位からの力学的エネルギーの流入および遠位への流出が顕著に大きかった（図 6-3 (d), (e), 図 6-5 (b)）。すなわち、BH 側上肢における力学的エネルギーの上肢末端への伝達量は、関節力パワーおよびセグメントトルクパワーともに TH 側上肢に比べて顕著に大きいことが明らかとなった。小池ほか（2003, 2006）は、インパクト付近においてバット・ヘッドスピードを生成するため、およびバットに作用する遠心力に抗するために、BH 側上肢では肩関節を中心として大きな関節トルクが発揮されることを報告した。そして、本研究においても関節トルクによる仕事において同傾

向がみられた (図 6-4 (g), (h)). これらのことから, 上肢各関節トルクについて検討した先行研究と同様に, 本研究における上肢各関節の力学的エネルギーの流れに関しても BH 側上肢がバットスイングに対して大きく関与しているといえる. その際セグメントトルクパワーでは, 上腕部の値が前腕部および手部の値よりも顕著に大きかったのに対して, 関節力パワーでは, 前腕部および手部の値が上腕部の値よりも大きくなる傾向を示した. この理由として, 上述したように BH 側上肢の運動連鎖による働きの関与が要因として挙げられるだろう. 加えて, TH 側の手部と同様に BH 側の手部においても, インパクト付近ではセグメントトルクパワーによる遠位からの力学的エネルギーの流入が増大していた (図 6-3 (f)). このため, TH 側の手関節の働きと同様に BH 側の手部においてもバットに対して抑制をかける働きが示唆されるだろう.

#### 6.4.2. 上位群と下位群の力学的エネルギーの流れの違い

ここでは, 打撃指導に有効となる着眼点を導き出すために, 競技力の優劣を示す評価指標となるバット・ヘッドスピードを用いて, 被験者を上位群と下位群とに分けて (全被験者平均値:  $35.8 \pm 1.4$  m/s; 上位群平均値:  $36.8 \pm 0.8$  m/s, 下位群平均値:  $34.7 \pm 1.1$  m/s,  $p < 0.01$ ), 上肢のキネティクスの変量について検討していく.

関節力パワーについて, BH 側の上腕部および前腕部では 30%付近からインパクトにかけて, BH 側の手部では主に 80%付近からインパクトにかけてそれぞれ上位群が下位群よりも値が大きくなる傾向がみられた (図 6-2 (d), (e), (f)). 上述したように小池ほか (2003, 2006) は, バット・ヘッドスピードの生成には BH 側の上肢関節トルクが寄与することを報告している. このため, スイング後半において BH 側上肢の関節力パワーによる上肢末端への力学的エネルギーの伝達量を大きくできることは, 大きなバット・ヘッドスピードの生成に寄与すると考えられる. その一方で, 特に BH 側の上腕部における遠位への力学的エネルギーの流出量は, 近位からの流入量よりも大きかった (図 6-2 (d)). しかし, BH 側肩関節トルクによる仕事において, 第 2 局面では下位群が上位群よりも有意に正値が大きかったのに対して (図 6-4 (f),  $p < 0.05$ ), 第 4 局面では群間に顕著な差はみら

れなかった (図 6-4 (g)). これらのことから, 上位群が肩関節トルクに加えて関節力による力学的エネルギーを下位群よりも上肢末端へと大きく伝達できることは, 効率良くバット・ヘッドスピードを生成することに繋がると推察される. その一方で, 下位群は第 2 局面において肩関節の仕事が大きくなっていたため, 上位群と比べて力学的エネルギーの伝達を利用できずに, 上肢に頼ったバット・ヘッドスピードの生成を行っていたと推察される.

セグメントトルクパワーについては, まず TH 側上肢では, 前腕部において 50%付近からインパクトにかけて上位群が下位群よりも値が大きくなり, 特に 60%から 90%付近においては有意な差もみられた (図 6-3 (b),  $p<0.05$ ). このため, TH 側上肢では, 主に前腕部および手部におけるセグメントトルクパワーによる力学的エネルギーの流れの群間による差が, バット・ヘッドスピードの差に影響を及ぼすと推察される. また, 特に手部では, 主に 60%付近からインパクトにかけて近位からの力学的エネルギーの流入において上位群が下位群よりも値が有意に大きかった. また遠位の流入出においては, 同様に 60%付近以降から上位群では流出が, 下位群では流入がみられ, 群間による有意な差もみられた (図 6-3 (c),  $p<0.05$ ). このように, インパクト付近ではボールをミートするためのバット運動の調整が行われることから, 特に手部のセグメントパワーにおいて力学的エネルギーの流入出にその傾向が顕著にみられたと考えられる. バットの加速に対して, 川村ほか (2001, 2008) は, 手関節では主に橈尺屈動作が寄与すると報告し, 阿江ほか (2014) は, インパクト付近における尺屈トルクおよび尺屈トルクによる正のトルクパワーが寄与すると報告している. これらのことから, 上位群はインパクト付近において大きな尺屈角速度を生成し, 正のトルクパワーを増大させることにより手部からバットへと力学的エネルギーを伝達させることができていたと推察される. すなわち, インパクト付近では手関節の橈尺屈動作によるバットヘッド軌道の調整に関与する力学的エネルギーの吸収を抑えることがバット・ヘッドスピードの差異を決定する要因になると考えられる.

つぎに BH 側上肢では, 上腕部および前腕部において 80%付近からインパクトにかけて上位群が下位群よりも値が大きくなる傾向がみられた (図 6-3 (d), (e)). また手部にお

いては上腕部および前腕部に比べて値自体は小さいが、主にスイング後半において上位群は下位群よりも値が大きくなる傾向がみられた（図 6-3 (f)）。したがって、セグメントトルクパワーにおいても、関節力パワーと同様に BH 側上肢の力学的エネルギーの伝達量を大きくできることがバット・ヘッドスピードの群間による差に寄与すると考えられる。

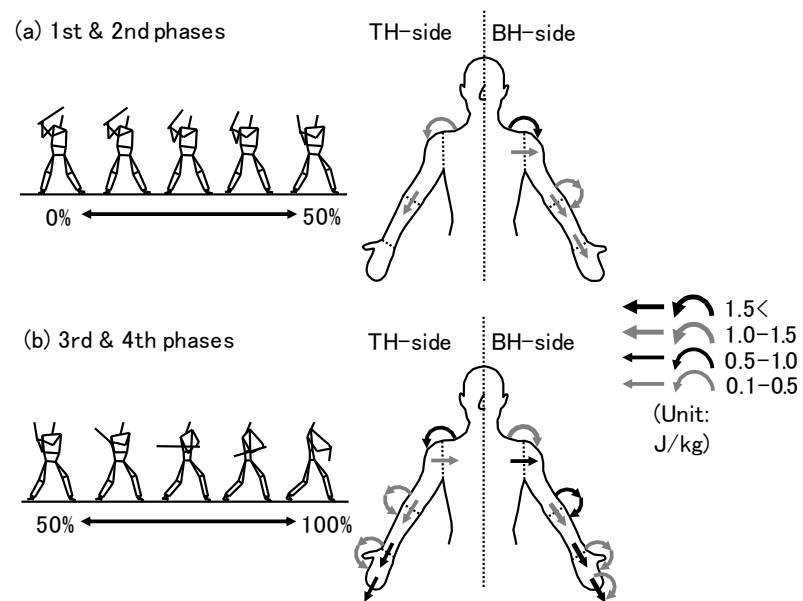


図 6-5 フォワードスイング局面の両上肢の関節トルクパワーと関節力パワーによる  
エネルギーフロー

## 6.5. まとめ

本研究の目的は、熟練野球選手の打撃動作におけるフォワードスイング局面の左右上肢の力学的エネルギーの流れを明らかにすると共に、バット・ヘッドスピードの異なる被験者の動作を比較することにより打撃指導に関する基礎的知見を得ることであった。

本研究によって得られた結果から、力学的エネルギーの伝達について、

- ① 上位群は下位群よりも BH 側肩関節トルクに加えて、BH 側関節力による力学的エネルギーを上肢末端へと大きく伝達できることが明らかとなり、そのことが効率良くバット・ヘッドスピードを生成することに繋がると推察される。
- ② インパクト付近において上位群は TH 側手関節の正のトルクパワーを増大させることにより、手部からバットへと大きな力学的エネルギーを伝達させることができていたと考えられる。すなわち、インパクト付近ではバットヘッド軌道の調整に関与する力学的エネルギーの吸収を抑えるために、手関節の橈尺屈動作によってバットをコントロールすることが、バット・ヘッドスピードの差異を決定する要因になると考えられる。

本研究によって得られた以上のことは、今後バット・ヘッドスピードを増大させるための上肢動作に関するトレーニング法を考案することに対して重要な示唆を与えるであろう。

## 7. 研究課題 4 野球の打撃熟練者における右投げで右打ちと左打ちである打者の上肢と体幹の動作の相違を明らかにすること

### 7.1. はじめに

野球の打撃は、バッタースボックスと呼ばれる 1 塁側、3 塁側にある縦 1.829m, 横 1.219 m の長方形のなかで行い（公認野球規則, 2021), それぞれ 3 塁側を右打席, 1 塁側を左打席と呼び, その打者をそれぞれ右打者, 左打者と呼ぶ. これまで野球の打撃におけるバット・ヘッドスピードを大きくするための上肢動作を検討してきたが, 上肢動作を指導する際に大きな問題として挙げられるのが, 右投げでありながら右打ちの打者と左打ちの打者がいることにある. なぜ, その点が問題になるかといえば, 吉田 (2010) は, 人間の 90% は右利きといわれていると報告しており, 野球の打撃においても利き手が右手である選手は右打席に入ることが通例である. しかし, 2019 年の NPB (日本野球機構) に所属する野手における右打者と左打者の内訳は右打者 213 名に対して左打者は 170 名であり, さらに左打者の内訳は右投げ左打ちが 146 名に対して左投げ左打ちが 24 名であった. このことから利き手が右手であるにもかかわらず, 左打席に立つ選手が多いといえよう. このことはメジャーリーグで活躍したイチロー選手や松井秀喜選手, また現役では大谷翔平選手など人気のある選手の出現により, 野球をする多くの子どもたちが右投げで左打ちを選択するようになったことも大きいと考えられる.

野球において右投げにもかかわらず, 左打ちが多く存在する理由として, 指導書によると, 川村・西尾 (2009) は①一塁ベースまで近いこと, ②体の回転方向が一塁方向であり, 走りやすく内野安打になりやすいこと, ③多くいる右投手は左打者に対して体に近づいてくる投球が多いため左打者が対応しやすいこと, ④利き手の右手がバットをコントロールするボトムハンド (グリップ側の手, 以下, 「BH」と略す) となり, 操作がしやすいことなどを挙げている. 一方で, 問題点として押手となるトップハンド (バットヘッド側の手, 以下, 「TH」と略す) が利き手ではないため, 逆方向への打撃が力強くできないなどの不利な点を指摘している.

このように従来の指導現場において右打者および左打者の打撃動作の相違は指摘されており、プロ野球球団のコーチの中には右打者と左打者のコーチを分ける場合もある。特に利き手が同じながら打席が異なる右投げ右打ちと右投げ左打ちは打撃動作が異なることが考えられる。しかし、動作をバイオメカニクスのみた先行研究においては右打者と左打者を同一にみて検討しているものが多く行われている(阿江ほか, 2013, 2014; 川村ほか, 2008, 2019) が、右打者と左打者を比較した研究は下山ほか(2013) が報告した左右打者のインパクトにおけるバットの角度の相違をみた事例研究以外はみられない。以上のことから、より多くの対象者での右投げ右打ちと右投げ左打ちの相違を上肢とともに体幹の動作から明らかにすることができれば左右打者で異なる指導方法を考えるための一助となるであろう。

そこで本研究の目的は、右投げで右打ちである打者および左打ち打者の打撃に関して、体幹と上肢における動作の相違を明らかにし、それぞれの打者に対する指導への示唆を得ることとした。

## 7.2. 方法

### 7.2.1. 対象者

対象者は大学野球選手 56 名(年齢  $20.4 \pm 1.4$  歳, 身長  $1.75 \pm 0.05$  m, 体重  $75.3 \pm 6.2$  kg, 競技年数  $12.6 \pm 2.1$  年)であり、右打者群(以下、「RR 群」と略す)が 30 名、左打者群(以下、「RL 群」と略す)が 26 名であった。なおすべての対象者が右投げであり、事前に対象者には普段の食事の際に使う手や字を書く時の手など普段の生活で使う頻度の高い手を確認したが全員が右手であった。利き手を確定する方法でよく使われるものとして、「FLANDERS 利き手テスト」、「Edinburgh 利き手テスト」、「H・N 利き手テスト」などがある(大久保ほか, 2013)。いずれのテストにおいても普段の生活で使う頻度の高い手を利き手として定義しており、その中にもボールを投げる手といった項目もあることから、本研究の対象者すべてにおいて右手が利き手である可能性が高いといえる。対象者には事前実験の目的や内容などを説明し、実験への協力の同意を得た。なお、本研究は筑波大学体育



系研究倫理委員会の承認を得たものである。

### 7.2.2. 実験試技

本研究における実験試技は同条件の動作を比較するため、ティー台上のボールを打撃するティー打撃で行った。いずれの対象者も踏み込み足が地面に接地した際のベルト付近の高さで真ん中のコースにティー台を設置し、「試合と同様のスイングでセンター返しをするように」との指示のもと、実験試技は 5 回行った。試技ごとに対象者に 5 段階で 5 を最もよい試技として内省を聞き、最も点数の高かった試技 1 試技を分析対象とした。本研究では阿江ほか (2017)、川村ほか (2008, 2019) といった打撃における上肢動作の研究と比較するため、実験条件を先行研究と同様にして、さらに同様の試技選択の方法で行った。なお、試技で使用したバットは、各選手が通常使用している木製バットであり、使用したボールは硬式用大学試合球 (ミズノ社製) であった。

### 7.2.3. データ収集および処理

図 7-1 に本研究におけるカメラの設置および撮影範囲を示す。本実験の試技の撮影は全身の打撃動作を撮影するためのカメラ 2 台と手部を詳細に撮影するために画角を拡大させたカメラ 2 台による撮影を行った。この理由として、特に両手部を密接させている野球の打撃動作において赤外線カメラの撮影では橈骨および尺骨茎状突起部に貼付する反射マーカの認識が困難となり、特に前腕部回内外動作を正しく算出できない試技局面がある。その誤認を避けるため、本研究では手部の動作に合わせて画角を拡大した高速度カメラでの撮影を行った。

撮影は 4 台の高速度 VTR カメラ (スポーツコーチングカム, JVC 社製) を用いて、毎秒 300 コマ、シャッタースピードは 1/2000 秒で行った。全身を撮影したカメラの撮影範囲は打球方向に向かって前後方向 3.6m, 左右方向 1.8m, 上下方向 2m とした。手部動作を撮影したカメラ 2 台の撮影範囲は打球方向に向かって前後方向 1.8m, 左右方向 0.9m, 上下方向 1m とした。4 つのカメラ映像の同期は、ワイヤレス LED 型シンクロナイザ (DKH 社製) を用いた。

静止座標系は左右方向を X 軸，前後方向を Y 軸，鉛直方向を Z 軸とする右手座標系を定義し，左打者については座標値を入れ替えて，右打者へと鏡像変換し，右打者と同様の手順で分析を行えるようにした．なお，分析において全身の打撃動作を撮影した映像は主にバット全体の軌道や体幹動作の分析に用い，上肢動作の分析は手部動作を撮影した映像を用いた．分析点は，橈骨および尺骨茎状突起部に貼付するマーカーを含む身体分析点 17 点，バット 2 点およびボール 1 点の計 20 点とした（図 7-2）．分析点のデジタイズは PC 上で手動にて行い（Frame-DIAS6，Q'sfix 社製），DLT 法（Wells and Winter,1980）により，これらの分析点の三次元座標を算出した．全身を撮影した際の較正点は 75 点であり，手部動作を撮影した際の較正点は 60 点であった．なお，較正点の実測三次元座標と計測点との平均誤差は，全身の撮影では X 軸方向 0.004m，Y 軸方向 0.003m，Z 軸方向 0.003m であり，手部の撮影では X 軸方向 0.003m，Y 軸方向 0.003m，Z 軸方向 0.004m であった．算出した三次元座標値は，Wells and Winter（1980）の方法によって最適遮断周波数（5-20Hz）を決定し，Butterworth low-pass digital filter により平滑化を行った．

分析範囲は，川村ほか（2008）の定義に従い，バットヘッドとグリップスピードの Y 軸方向の和が 3 m/s を超えた時点（スイングスタート，以下「SS」）からティー台から打球が離れた 1 コマ目の時点（インパクト，以下「IM」と略す）までとした．なお時系列データについては，SS から IM までの時間を 100%として，3 次スプライン関数を用いた内挿補間により規格化した．

#### 7.2.4. 算出項目について

##### 7.2.4.1. バット・ヘッドスピード，バットと体幹の水平面角度および角速度

バット・ヘッドスピードは平滑化前の三次元座標値から座標値を時間微分することにより速度を算出し，インパクト直前の 3 コマのバットヘッドの合成速度の平均値をバット・ヘッドスピードとした．図 7-3 に示すように，バットの水平面回転角度は静止座標系の XY 平面において，X 軸に対してバットグリップからバットヘッドへ向かうベクトルがなす角度とした．同様に上胴と下胴の水平面回転角度は，静止座標系の XY 平面において，X 軸に

対して左肩関節から右肩関節へ向かうベクトルがなす角度を上胴水平面回転角度、左股関節から右股関節へ向かうベクトルがなす角度を下胴水平面回転角度とした。なお、すべての水平面回転角度は反時計回りを正（投手方向）、時計回りを負（捕手方向）と定義した。さらに、算出されたそれぞれの角度を時間微分することによって、角速度を算出した。

#### 7.2.4.2. 身体各関節の角度および角速度

図 7-4 (b) , (c) および (d) は、右肩関節内外転角度、水平内外転角度および屈伸角度の定義を示したものである。以上の角度を算出するために、図 7-4 (a) で示すような移動座標系を設定した（右肩関節座標系）。まず、両肋骨下端の midpoint から両肩関節の midpoint に向かうベクトル  $z_{sh}$  と左肩関節から右肩関節へ向かう単位ベクトル  $SL$  の外積により  $y_{sh}$  を算出し、さらに  $y_{sh}$  と  $z_{sh}$  の外積から  $x_{sh}$  を算出した。そして、右肩ベクトルから右肘関節に向かうベクトル  $UA$  が  $y_{sh}$  軸に垂直な平面上で  $-z_{sh}$  となす角度を、 $-z_{sh}$  を  $0^\circ$  として右肩関節における外転（+）、内転（-）と定義し、 $UA$  が  $z_{sh}$  軸に垂直な平面上で左肩関節から右肩関節へ向かうベクトル  $x_{sh}$  となす角度を、 $x_{sh}$  を  $0^\circ$  として右肩関節における水平内転（+）、水平外転（-）と定義した。右肩関節屈伸角度は、 $x_{sh}$  軸に垂直な平面上において  $-z_{sh}$  と  $UA$  がなす角度となす角度を、 $-z_{sh}$  を  $0^\circ$  として、伸展（+）、屈曲（-）角度と定義した。同様の方法を用いて、左肩関節座標系を定義して、左肩関節内外転角度、水平内外転角度、屈伸角度を定義した。

図 7-4 (f) は、右肩関節の内外旋角度の定義を示したものである。それに先立ち、右上腕に図 7-4 (e) で示すような移動座標系を設定した（右上腕座標系）。まず、 $z_{sh}$  と  $UA$  の単位ベクトルである  $y_{ua}$  の外積により  $x_{ua}$  を、 $UA$  と  $x_{ua}$  の外積により  $z_{ua}$  を算出した。 $x_{ua}$  と  $z_{ua}$  を含む平面は  $UA$  と直交するので、この面に右肘関節から右手関節へ向かう  $FA$  と肩の移動座標系のベクトル  $y_{sh}$  を投影し、 $y_{sh}$  を  $0^\circ$  として、そのなす角度を右肩関節の内旋（+）、外旋（-）角度と定義した。同様に、左肩関節内外旋角度を算出した。

図 7-5 (a) は、右肘関節の屈伸角度の定義を示したものである。右肘関節角度は、右上腕ベクトル  $UA$  と反対方向のベクトル  $-UA$  と前腕ベクトル  $FA$  がなす角度とし、 $-UA$  を

0°として、伸展位（+）、屈曲位（-）と定義した。同様の方法を用いて、左肘関節角度を定義した。

図 7-5 (c) は、右前腕の回内外角度の定義を示したものである。それに先立ち、図 7-5 (b) で示すような座標系（右前腕座標系）を設定した。まず、右肘関節から右手関節へ向かう  $FA$  の単位ベクトルを  $z_{fa}$  とし、尺骨茎状突起部から橈骨茎状突起部へ向かうベクトルを  $UR$  とし、 $z_{fa}$  と  $UR$  の外積により  $y_{fa}$  を、さらに  $y_{fa}$  と  $z_{fa}$  の外積により  $x_{fa}$  を定めた。そして、右前腕の回内外角は、右前腕座標系の  $z_{fa}$  軸に垂直な平面上において、 $UA$  と  $FA$  の外積から得られたベクトル  $FU$  と  $UR$  がなす角度とし、 $FU$  を 0°として回内位（+）、回外位（-）と定義した。同様の方法を用いて左前腕座標系を定義し、左前腕回内外角度を定義した。

図 7-5 (e) および (f) は、右手関節の橈尺屈角度、掌背屈角度の定義を示したものである。それに先立ち、右手に図 7-5 (d) で示すような移動座標系を定義した（右手座標系）。右手座標系では、右手関節から右手の第 3 中手指節関節へ向かうベクトル  $H$  の単位ベクトルを  $z_h$  とし、 $z_h$  と  $x_{fa}$  の外積から  $y_h$  を、 $y_h$  と  $z_h$  の外積から  $x_h$  を定めた。右手関節の橈尺屈角度は、右手座標系の  $y_h$  に垂直な平面上において前腕座標系の  $x_{fa}$  と手座標系の  $x_h$  がなす角度とし、 $x_{fa}$  を 0°として橈屈位（+）、尺屈位（-）と定義した。右手関節の掌背屈角度は、手座標系の  $x_h$  に垂直な平面上において  $FA$  と  $H$  がなす角度とし、 $FA$  を 0°として背屈位（+）、掌屈位（-）と定義とした。同様の方法を用いて、左手座標系を定義し、左手関節橈尺屈角度、掌背屈角度を算出した。

なお、上述の定義では肘関節屈伸角が 180°のような特別な肢位のときに角度が算出できなくなるが、本研究の分析局面ではそのような場合は生じなかった。さらに、算出されたそれぞれの角度を時間微分することによって、関節角速度を算出した。

#### 7.2.5. 統計処理

各測定項目について、時系列データに関しては、川村ほか（2019）と同様に、まず繰り返しのある二元配置分散分析を行い、群間の主効果および交互作用（群間×経時変化）につい

て有意差検定を行った．次に群間において有意差がみられる時点の特定のために規格化時間の 1% 時ごとに対応のない  $t$  検定を行った．本研究は二元配置分散分析において交互作用が有意であることが，規格化時間ごとの  $t$  検定（単純主効果の検定）の前提となるので，本文中には交互作用の有意差の有無を記述することとした．これらの有意水準は 5% 未満とした．

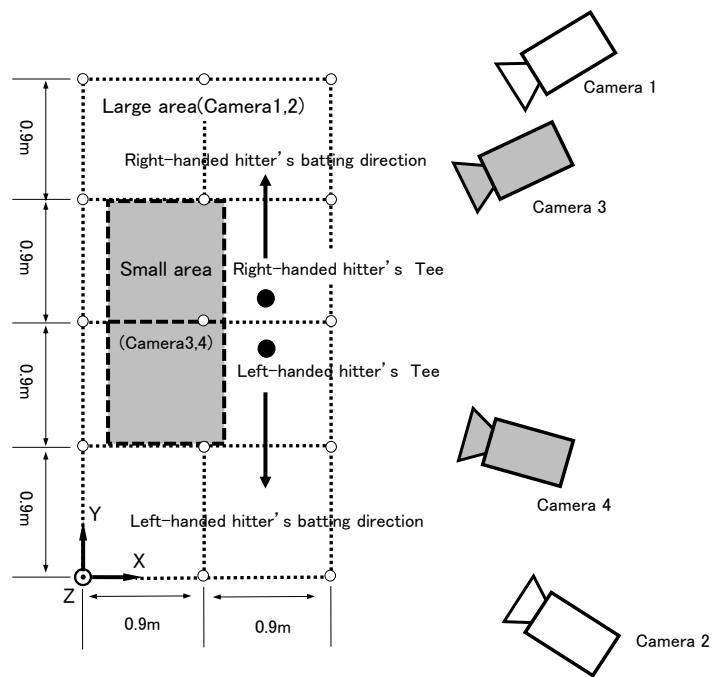


図 7-1 4つのカメラの配置図

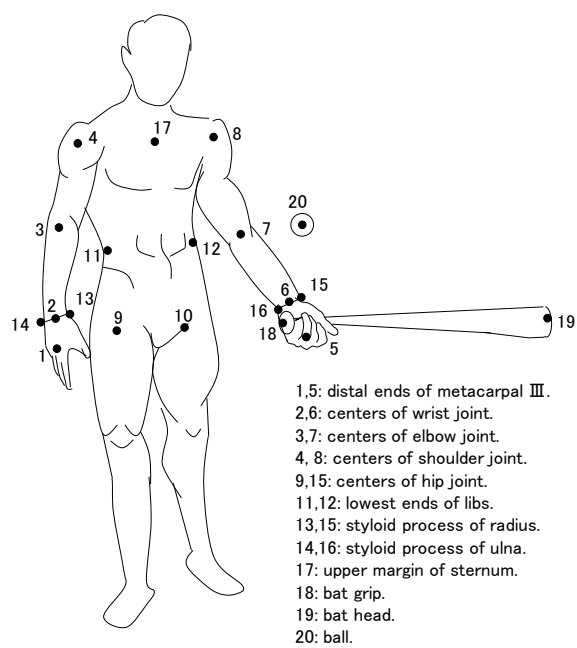


図 7-2 身体関節およびバット，ボールの各分析点

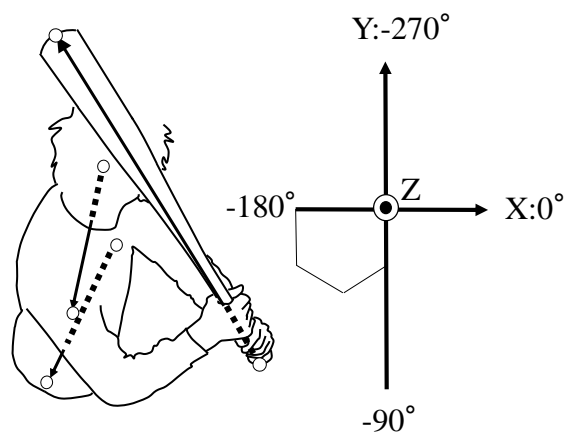


図 7-3 上胴，下胴およびバットにおける水平回転角度の定義



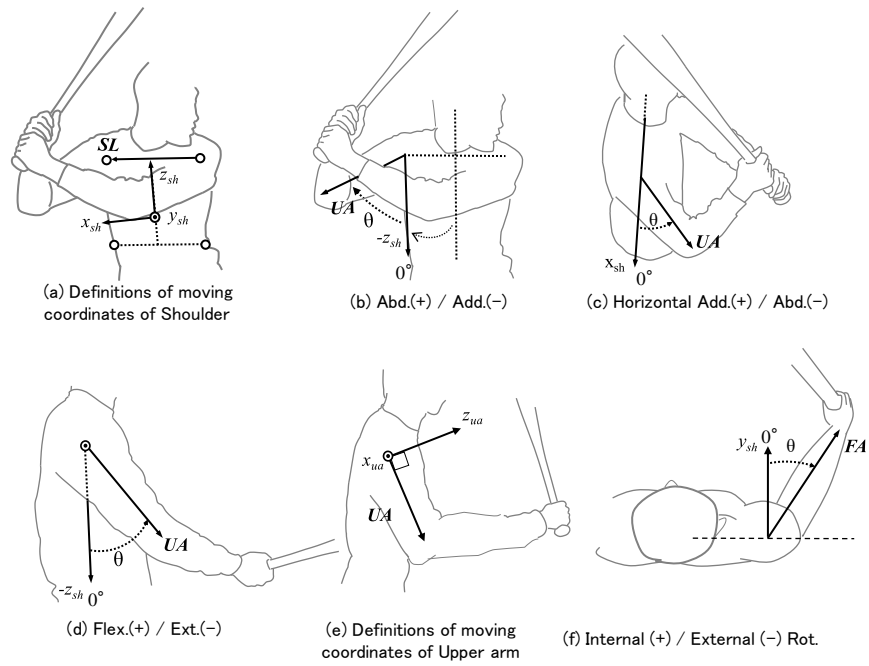


図 7-4 肩関節の移動座標系角度の定義

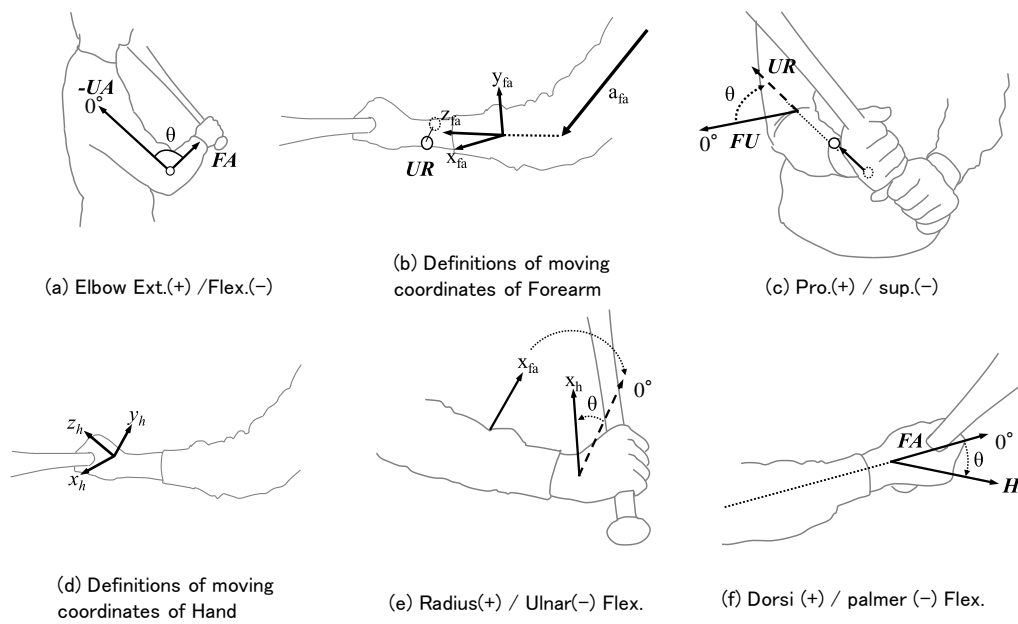


図 7-5 肘関節，前腕関節および手関節の移動座標系角度の定義

## 7.3. 結果

### 7.3.1. バットおよび体幹の水平面回転角度および角速度変化

図 7-6 はバットおよび上胴、下胴水平面角度および角速度変化を示したものである。以下のすべてのグラフにおいて、実線は RR 群の平均値を、点線は RL 群の平均値を示している。図 7-6 の項目に関する二元配置分散分析において、下胴水平面回転角度、上胴および下胴の水平面角速度に有意な交互作用（群間×経時変化）がみられた（ $p < 0.05$ ）。下胴角度では、74-100%時において RR 群が RL 群に対して有意に大きい値を示した（ $p < 0.05$ ）。また、上胴水平面角速度においては、特に 74-84%時において RR 群が RL 群に対して有意に大きい値を示した（ $p < 0.05$ ）。下胴水平面角速度では、46-80%時において RR 群が RL 群に対して有意に大きい値を示した（ $p < 0.05$ ）。

### 7.3.2. 上肢の角度変化

ここでは特に大きく違いがみられた時点について述べる。まずは両上肢関節角度の変化について、図 7-7 は両腕の肩関節内外転、水平内外転、水平内外転および内外旋角度の値の変化を示したものである。図 7-7 の項目に関して有意な交互作用がみられたのは BH 側肩関節内外転角度および水平内外転角度であった（ $p < 0.05$ ）。特に違いがみられたのは BH 側肩関節内外転角度の 80-100%時で RR 群が RL 群に対して有意に小さい値を示した（ $p < 0.05$ ）。また、BH 側肩関節水平内外転角度の 79-100%時で RR 群が RL 群に対して有意に大きい値を示した（ $p < 0.05$ ）。図 7-8 は両腕の肘関節屈伸角度、前腕回内外角度、手関節橈尺屈、および手関節掌背屈角度の値の変化を示したものである。図 7-8 の項目に関して有意な交互作用がみられたのは TH 側肘関節屈伸角度、BH 側手関節橈尺屈角度、および BH 側手関節掌背屈角度であった（ $p < 0.05$ ）。TH 側肘関節屈伸角度の 3-47%において RR 群が RL 群に対して有意に小さい値を示した（ $p < 0.05$ ）。また、特に違いがみられたのは BH 側手関節橈尺屈角度の 11-22%時において RR 群が RL 群に対して有意に小さい値を示し（ $p < 0.05$ ）、59-63%時において RR 群が RL 群に対して有意に大きい値を示した（ $p < 0.05$ ）。さらに、BH 側掌背屈角度において、70-80%時において RR 群が RL 群

に対して有意に大きい値を示した ( $p<0.05$ ).

### 7.3.3. 上肢の角速度変化

次に両上肢関節角速度について、図 7-9 は両腕の肩関節内外転、水平内外転、水平内外転角速度、および内外旋角速度の値の変化を示したものである。図 7-9 の項目に関して有意な交互作用がみられたのは両側の肩関節水平内外転角速度および BH 側肩関節内外転角速度であった ( $p<0.05$ )。特に違いがみられたのは BH 側肩関節内外転角速度の 72-86% 時で RR 群が RL 群に対して有意に小さい値を示した ( $p<0.05$ )。また、BH 側肩関節水平内外転角速度の 71-85% 時で RR 群が RL 群に対して有意に大きい値を示した ( $p<0.05$ )。図 7-10 は両腕の肘関節屈伸角、前腕回内外、手関節橈尺屈、および手関節掌背屈角速度の値の変化を示したものである。図 7-10 の項目に関して有意な交互作用がみられたのは両側の肘関節屈伸角速度および両側の手関節橈尺屈角速度であった ( $p<0.05$ )。TH 側肘関節屈伸角速度の 52-73% 時において RR 群が RL 群に対して有意に大きい値を示し ( $p<0.05$ )、BH 側肘関節屈伸角速度においては、10-35% 時および 59-82% 時において RR 群が RL 群に対して有意に大きい値を示した ( $p<0.05$ )。そのほかで違いがみられたのは TH 側橈尺屈角速度の 73-79% 時において RR 群が RL 群に対して有意に大きな値を示した ( $p<0.05$ )。同様にして 85-93% 時および 98-100% 時においては RR 群が RL 群に対して有意に小さい値を示した ( $p<0.05$ )。また、BH 側橈尺屈角速度の 39-49% 時および 65-70% 時において RR 群が RL 群に対して有意に大きな値を示した ( $p<0.05$ )。

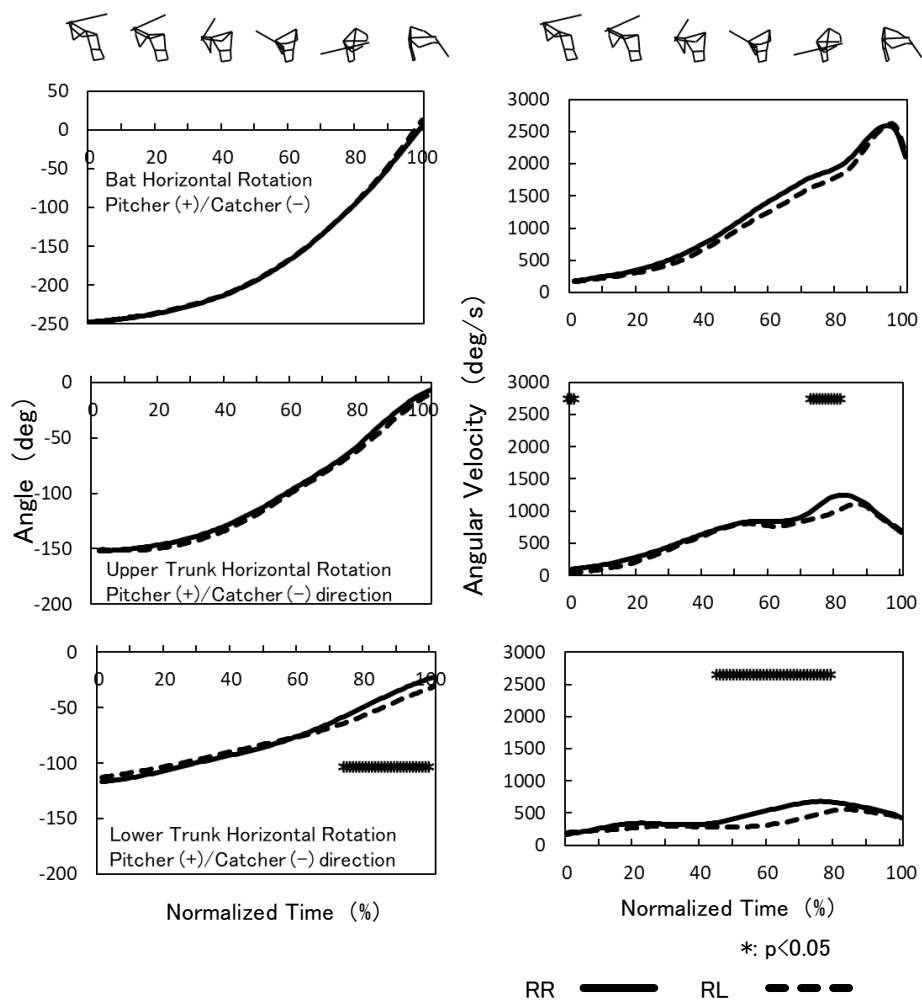


図 7-6 バット，上胴，および下胴における水平回転角度および角速度の変化

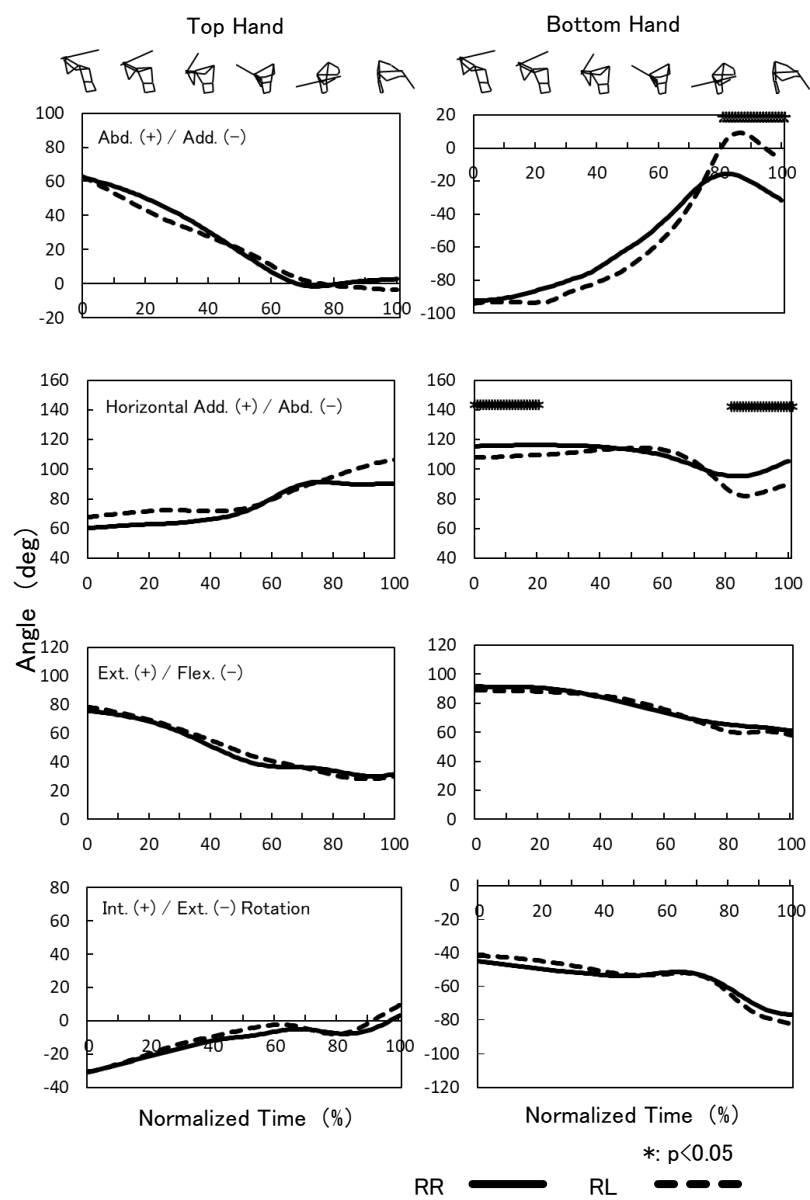


図 7-7 肩関節の角度変化

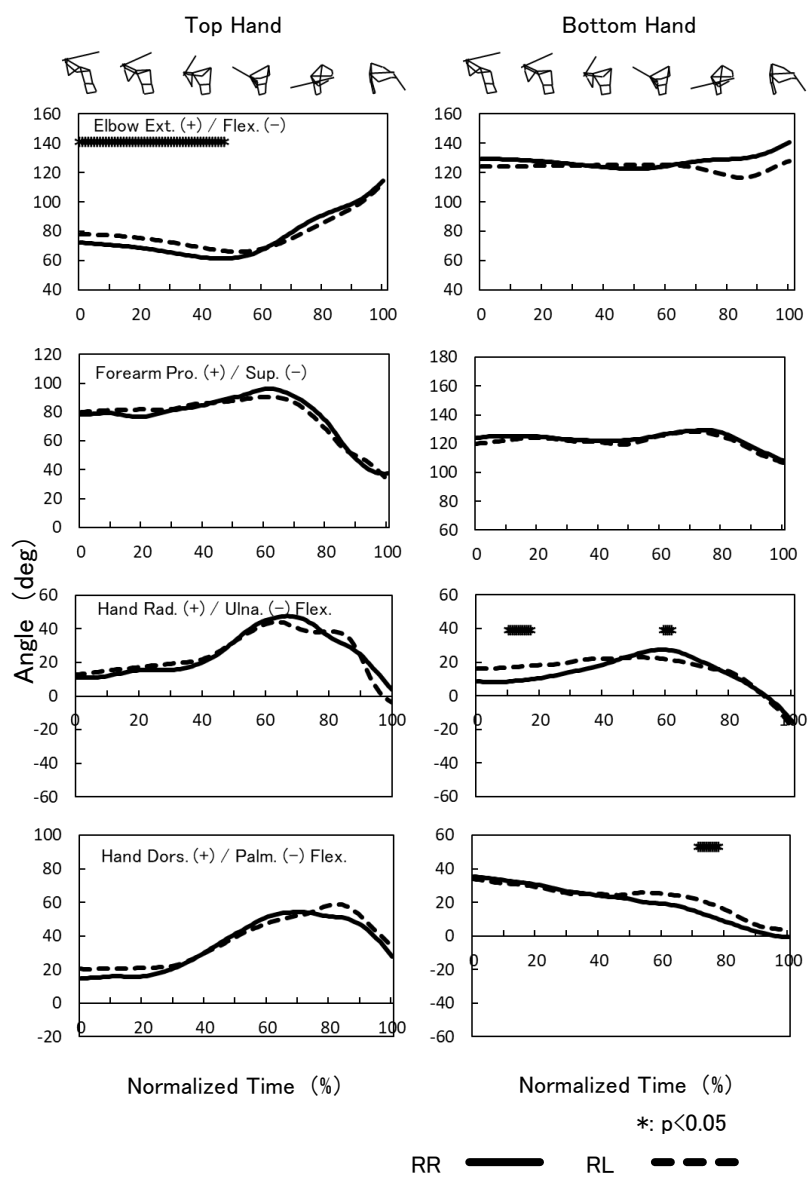


図 7-8 肘関節，前腕関節および手関節の角度変化

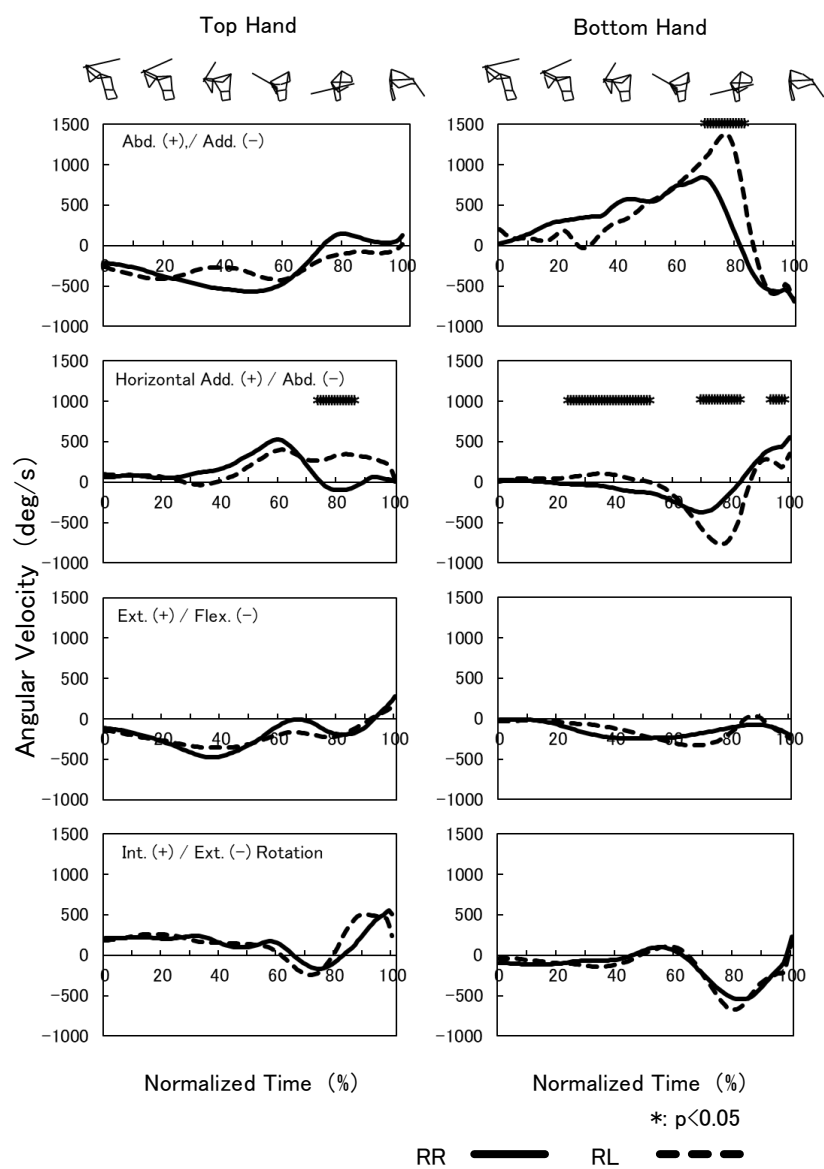


図 7-9 肩関節の角速度変化



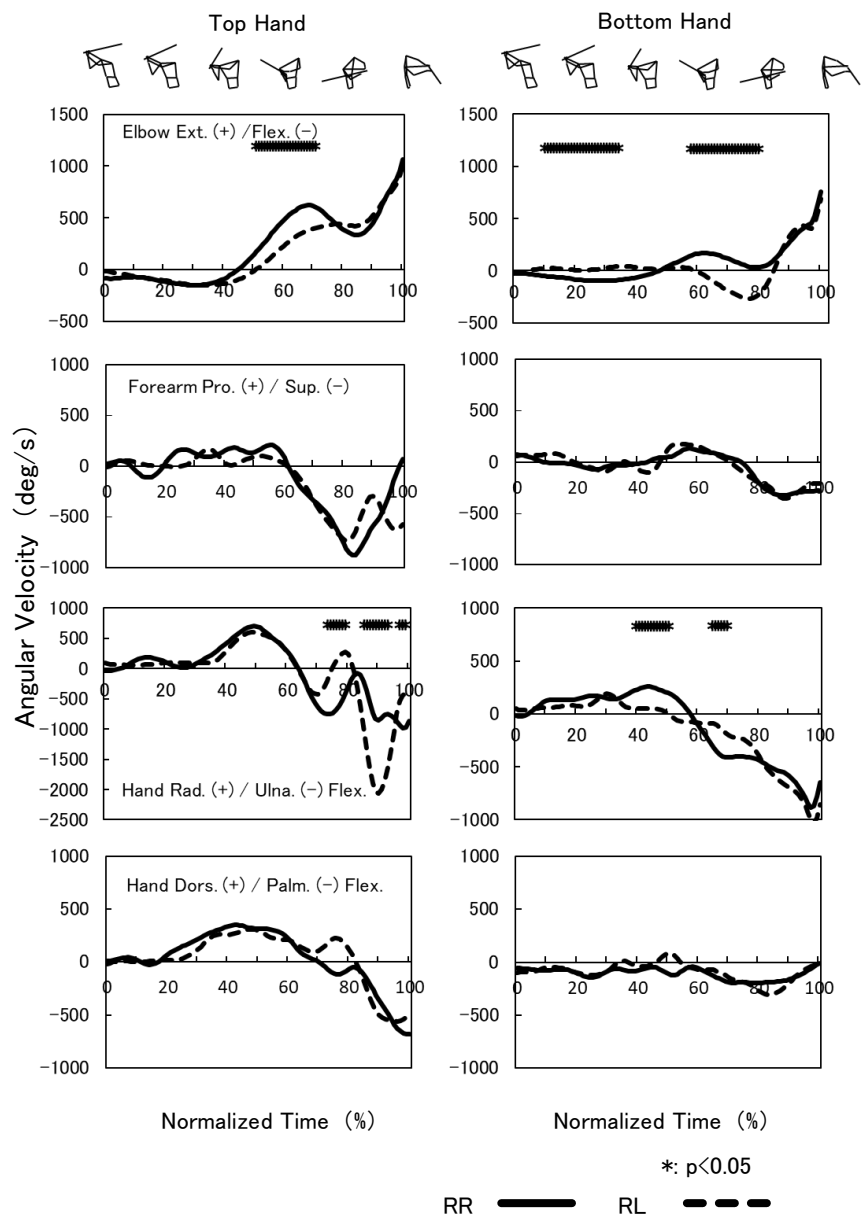


図 7-10 肘関節，前腕関節および手関節の角速度変化

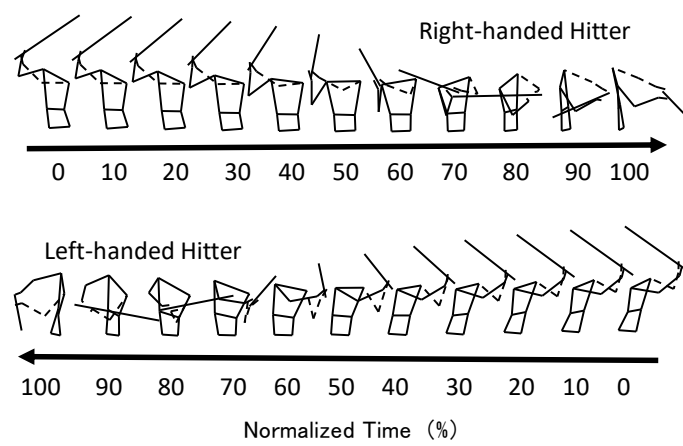


図 7-11 静止座標系 YZ 平面上の左右打者のスティックピクチャ（典型例）

## 7.4. 考察

### 7.4.1. フォワードスイング局面前半および中盤の動きに関して

考察に先立ち、両群のバット・ヘッドスピードについての平均値 $\pm$ 標準偏差は、RR 群が  $32.8\pm 1.8\text{m/sec}$ 、RL 群が  $32.2\pm 1.7\text{m/sec}$  であり、有意な差はみられなかった。また、両群のフォワードスイング局面時間は RR 群が  $0.22\pm 0.03\text{s}$ 、RL 群が  $0.23\pm 0.03\text{s}$  であり、有意な差はみられなかった。このことから RR 群と RL 群とのバット・ヘッドスピードおよびフォワードスイング局面時間はほぼ同等であったと考えられる。

本研究の結果から、SS 時点から IM までの分析範囲をフォワードスイング局面前半（0-40%時）およびフォワードスイング局面中盤局面（40-80%時）とフォワードスイング局面終盤（80-100%時）に分けて、RR 群と RL 群の相違について以下に考察していく。

フォワードスイング局面前半から中盤において、図 7-6 に示すように、バット、体幹の上胴、下胴の水平面回転角度が捕手から投手方向へ大きくなっていき、さらにそれらの水平面角速度も下胴、上胴、バットの順に大きくなっていった。その中でバットの水平面角速度はフォワードスイング局面中盤局面において有意な差はみられなかったが、RR 群が大きい傾向にあった。同様に上胴、下胴の水平面角速度では、RR 群が有意に大きかった ( $p<0.05$ )。また、RR 群の体幹の水平面角速度とバットの水平面角速度の増大するタイミングがほぼ同時期であった。森下ほか (2013) はバットの角速度における体幹等の貢献を角速度から検討した研究において、フォワードスイング局面動作の初期から中期にかけて体幹の回転運動の貢献が大きいことを報告しており、本研究において RL 群と比較して、RR 群のほうがフォワードスイング局面中盤におけるバットの水平面角速度の増大に対する下胴、上胴の水平面角速度の貢献が大きいと考えられる。

次に、フォワードスイング局面前半において、RR 群と RL 群の各関節の動きにほとんど大きな違いはみられず、同様に角速度においても大きな違いはみられなかった。その中で TH 側上肢に関して、図 7-8 に示すように、TH 側肘関節屈伸角度が緩やかに屈曲していく局面において、RR 群が RL 群よりも有意に屈曲が大きかった ( $p<0.05$ )。この肘関節

屈曲の違いについて、川村ほか（2019）はバットが遠回りした軌道、いわゆる「ドア・スイング」にならないようにバットを身体付近に留めておくという補助的なものであるとしている。さらに、図 7-7 に示すようにこの局面における BH 側肩関節において RR 群が RL 群に対して有意に水平内転していた ( $p<0.05$ )。これらのことから、フォワードスイング局面前半において RR 群は RL 群よりも、両腕を身体の近くに位置させて身体近くにバットを留める動作を行っていたと考えられる。また、フォワードスイング局面前半から中盤について、図 7-8 に示すように、BH 側手関節において RL 群が RR 群と比較して撓屈角度が有意に大きかった ( $p<0.05$ )。しかし、その後 BH 側撓屈角度は RR 群が RL 群よりも有意に大きくなり ( $p<0.05$ )、さらに、図 7-10 に示すように、50%時付近では BH 側の撓尺屈角速度においても RL 群は 0deg/s に近い値を示したのに対して、RR 群は撓屈の角速度が有意に大きくなっていた ( $p<0.05$ )。川村ほか（2008）の報告によると、フォワードスイング局面前半から中盤では手関節において撓屈動作が大きくなることが指摘しており、この動作はゴルフスイングでよく使われる「Cock（コック）動作」と呼ばれ、撓屈することによりバットを回転中心に近づけてスイングを容易にする動作であると述べている。しかし、本研究では川村の報告と同じように TH 側において RR 群、RL 群ともに撓屈がみられたのに加えて、RR 群の BH 側にも撓屈がみられた。これにより、RR 群では「Cock（コック）動作」を両手関節ともに行っていたことが考えられる。

#### 7.4.2. フォワードスイング局面終盤の動きに関して

フォワードスイング局面終盤は図 7-11 の静止座標系 YZ 平面上の左右打者のスティックピクチャに示すように、バットヘッドが水平面より下向きに転ずる時点（本研究では 80%時付近）から IM までである。この局面においてバットは水平面上の動きが大きくなる。この局面での上肢の動きとして、まず肩関節に着目すると、図 7-7 に示すように、BH 側肩関節において、RL 群が有意に外転位に転じており、さらに水平内転も有意に小さくなっていた ( $p<0.05$ )。同様に図 7-9 に示すように、80%時付近の RL 群の外転、水平外転角速度が有意に大きくなっていた ( $p<0.05$ )。小池ほか（2003）の報告からも BH 側

の上肢関節はバットを前方へ引き出すことに貢献すると述べている。また、阿江ほか(2014)においてBH側肩関節の内外転運動はバットの水平変位に寄与すると報告していることからRL群はRR群と比べてフォワードスイング局面終盤においてもBH側肩関節外転、および水平外転方向の動きからバットを投球方向に向けていく動きを行っていたと考えられる。しかし、阿江ほか(2014)が報告したBH側肩関節内外転角度では80%において、内転位であったのに対して、本研究のRL群ではこの時点ですでに外転位に値が転じていることから、フォワードスイング局面終盤での肩関節外転がRL群を特徴づける動作であるといえよう。また、図7-7および図7-9に示すように、この局面におけるRL群のTH側肩関節の内転角度、内転角速度、水平内転角度、水平内転角速度はともに、BH側ほどではないが有意に大きくなっていた( $p<0.05$ )。特にRL群は両肩関節の内外転運動、水平内外転運動がRR群よりも大きいことはRL群がバットをより投手方向へ運ぶ動作を行っていたと考えられる。

次に、図7-8に示すように、フォワードスイング局面終盤における肘関節屈伸角度はBH側においてRR群に比べRL群が有意に屈曲していた( $p<0.05$ )。また、図7-10に示すように、同BH側角速度においてもフォワードスイング局面終盤の80%時付近においてRL群は屈曲角速度が有意に大きくなり( $p<0.05$ )、その後伸展方向に角速度が大きくなっていた。このようにRL群ではフォワードスイング局面終盤にBH側肘関節が屈曲し、その後伸展していく動作がみられた。これに対し、阿江ほか(2017)はBH側の肘関節はフォワードスイング局面中盤から終盤にかけて伸展トルクそして正のトルクパワーを発揮していたと述べており、本研究もRR群はインパクトにかけて肘関節が伸展しており、同様の傾向であったが、RL群ではそのタイミングが異なっていた。RL群の肘関節の屈曲動作がみられた80%時付近はバットの水平面角速度が大きくなる局面であるが、バットの水平面角速度(図7-6)をみると、RR群に比べて角速度は有意に小さかった( $p<0.05$ )。このことから、80%時付近でBH側の肘関節が屈曲動作を行うことにより、バットの水平面角速度は増大せずにそのタイミングが遅れることになったことが考えられる。しかし、先述

した 80%時付近の RL 群の BH 側肩関節外転、水平外転の動きにより、バットをインパクト方向に運んでいたことから、その直後に BH 側肘関節の伸展を急激に大きくすることで、伸展トルクパワーの増大からバット水平面角速度の急激な増大に貢献したことが考えられる。このようにバットが水平面に転じる時点の BH 側肘関節の屈伸動作の違いがバットの水平面角速度の増大するタイミングに影響を与えることが本研究の結果から示唆された。

フォワードスイング局面終盤の前腕と手関節の動作に関して、前腕回内外においては角度変化については両群に違いはみられなかったものの、図 7-10 に示すように、角速度において TH 側のインパクトにかけて RR 群が回外方向から回内方向に転ずる動きをしたのに対して、RL 群は回外方向への傾向がみられた。また、図 7-8 に示すように、BH 側手関節掌背屈角度において RL 群の背屈が有意に大きくなった ( $p<0.05$ )。図 7-10 に示すように、角速度においては 80%時付近で TH 側の RL 群が背屈方向、RR 群が掌屈方向へと異なる傾向がみられた。小池ほか (2009) は手関節トルク項の貢献は、TH 側上肢では、フォワードスイング局面後半に負値となっており、スピード獲得性能と打点への位置決め性能 (コントロール性能) との干渉がその要因かもしれないと述べている。本研究においても特に 80%時以降はバットヘッドが水平面から下方へ向く時点であり、バットの慣性モーメントや運動依存項が大きくなり、手部には大きな力が働く局面であるといえる。そして、90%時以降は特にバットの水平面の加速とともにボールをインパクトするバットのコントロールも必要となる局面であり、細かな調整は手部で行う必要があると考えられる。この局面では図 7-11 のスティックピクチャで示すように、下方へ向いたバットヘッドをボールとインパクトさせるため、手部の動作でバットを上方へ軌道修正する必要があると考えられる。この局面の RR 群では前腕回内角速度が RL 群よりも大きくなる傾向がみられた (図 7-10)。このことから、バットの最終的な軌道修正のために、RR 群の手部の全体的な動作は指導書では「手首を立てる」(大利, 2020) 動作といわれるような、ボールの軌道に対して、バットヘッドが下方向にあるのを上方へ修正させるための指導の言葉であると考えられる。一方、手関節橈尺屈角度および角速度においては RL 群が急激に尺

屈方向へ有意に大きくなる動作がみられた ( $p<0.05$ ). この局面では RL 群の TH 側尺屈角速度が  $-2000\text{deg/s}$  以上とバット以外では最も大きな値となっていた. 川村ほか (2008) の報告ではこの TH 側尺屈動作がバットの加速に大きく貢献していると述べていることから, RL 群は RR 群よりも TH 側尺屈動作がバットの水平面角速度の増大に貢献していたと考えられる. つまり, 先ほど述べた RL 群における肘関節の屈曲によってタイミングが遅れてバットの水平面角速度が急激に大きくなったことには RL 群の TH 側尺屈動作が大きく貢献していたと考えられる.

本研究によって RR 群と RL 群のフォワードスイング局面動作の違いが明らかになったが, その要因として, 左右の打席における打者のスイング傾向での違いや自分の利き手と非利き手が TH と BH で入れ替わることで, それぞれの役割や動作が変化したことが考えられる.

指導への示唆としてはまず, 指導書において, 川村・西尾 (2009) は左右打者のスイング動作の違いで指摘されるものとして, 左打者のほうが 1 塁方向へ体を回転させてバットを振るため走る方向と身体の回転方向が一緒であり, 走塁時のタイムロスが少ないことを指摘している. そのため, 左打者のほうが打撃における回転動作が大きいことが予想されたが, 本研究の結果からはそのような違いはみられなかった. さらに左打者のスイング動作の傾向を明らかにするには, 左投げ左打ちのスイングを比較することが必要であったが, 先述したプロ野球選手においても左投げ左打ちの選手は全体の 11%であり, 対象者の少なから比較が困難であったため, 本研究ではその違いを言及できなかった.

打撃動作において, 阿江ほか (2017) は両上肢の主な役割は体幹からのエネルギーを伝達し, バットのスイング速度を増大させること, さらに, バットをミートポイントまで運ぶことである報告している. そこで考えられるのは利き手, 非利き手それぞれがスイングに与える影響である. 利き手に関する基本的な研究では, 様々な作業において, 利き手の巧緻性と操作性の高さが指摘されている (橘, 2011). また, 筋力においても中雄ほか (1994) の握力の左右差についてみた研究では, 利き手の握力が有意に大きいことが指摘されてい

る。しかし、本研究は右投げで左右打者である打撃動作の違いを明らかにしたのみであったため、今後は左投げ左打ちのサンプルを集めて、比較する必要がある。

以上、本研究の結果からの指導への示唆として、右打者の動作指導の課題となり得る点として、フォワードスイング局面中盤で早期に体幹の回転を強調すると、いわゆる「体が開き（く）」やすいことがあげられる（平野・菊池，2019）。さらに、両手の「Cock 動作」が不十分なまま右肘関節が伸展するとバットが遠回りするいわゆる「ドア・スイング」となることで、バットをインパクト方向に引き出すことが困難になりやすいことに留意する必要がある。

一方、左打者の課題として、左打者は右肩関節外転および水平外転動作から肘関節伸展を行うためのタイミングに留意する必要がある。

以上の点を考慮して、両打者ともに両手、両腕の動きの特徴を考慮する必要があることが本研究の結果から示唆された。

## 7.5. まとめ

本研究の目的は、大学野球選手 56 名を対象に、右投げで右打ちである打者および左打ち打者のティー打撃に関して、体幹と上肢における動作の相違を明らかにし、それぞれの打者に対する指導への示唆を得ることであった。本研究の結果をまとめると以下のようになる。

- ① 右打者群はフォワードスイング局面中盤にバット、上胴、および下胴の水平面角速度が左打者群より早い時点で有意に大きかった。
- ② 右打者群はフォワードスイング局面中盤では TH 側の肘関節屈曲角度およびボトムハンド側撓屈角度が左打者群より有意に大きかった。
- ③ 左打者群はフォワードスイング局面後半において BH 側肩関節外転および水平外転の動きが右打者群より有意に大きかった。
- ④ 左打者群は BH 側肘関節の屈曲角速度がフォワードスイング局面中盤では右打者群



よりも有意に大きく、バットが水平面に近くなったときには BH 側手関節尺屈角速度が右打者群より有意に大きかった。

以上のことから、右投げである右打者と左打者では上肢と体幹の動作に違いがみられ、これまで打者の研究で多くみられた知見とは異なる観点も考慮して、動作を指導すべきであることが本研究の結果から明らかとなった。しかし、本研究はこれらの現象を明らかにしたのみであり、キネティクスによる分析などで更なる詳細な相違点を明らかにすることが期待される。

## 8. 研究課題 5 これまでの研究から野球の打撃熟練者の上肢動作をコーチングに活かすための着眼点を明らかにすること

ここまで、本研究では野球の打撃における上肢動作の巧拙を論じてきた。そこで本章では、これまで論じてきた研究をまとめて、野球のバット・ヘッドスピード向上を基本とした打撃力の向上に関して、指導を行う際の着眼点と留意点について論じることとする。

### 8.1. フォワードスイング局面前半から中盤の上肢動作指導の着眼点

まず、フォワードスイング局面前半から中盤において、体幹が回転し始め、体幹で生成されたエネルギーは上肢さらにはバットへ伝達されることが明らかとなった(6章)。その時、バット・ヘッドスピードの上位者はBH側肩関節トルクに加えて、BH側関節力による力学的エネルギーを上肢末端へと大きく伝達できることが明らかとなり、そのことにより効率よくバット・ヘッドスピードの生成ができると考えられる。この時の動作は4章で示されたように、BH側肩関節の内転および水平内転がバット・ヘッドスピードの上位者は大きかったことから、体幹の回転に近い位置でBH側の上肢動作が行われることでより大きくエネルギーの伝達が起こることが示唆される。

一方で、田子ほか(2006a, b)は、フォワードスイング局面前半では、BH側肩関節の外転運動はバットの打撃方向への引き出しに寄与することを報告している。つまり、バット・ヘッドスピードを向上させるためには体幹の回転に沿ってより肩関節を内転位にするほうがよいといえるが、バットを打撃位置に運ぶ、いわゆるミートするためにはBH側肩関節をより外転位にさせた方がよいともいえる。しかし、図4-7(b)に示すように、打撃位置が固定され、時間的な制約のないティー打撃試技より、時間的制約があつて、打撃位置が多様であるマシン打撃試技のほうがBH側肩関節は内転位にあつた。これらの結果が意味することは、飛来球打撃においては、ミートを主とするBH側肩関節外転よりも、バット・ヘッドスピードの向上を目指す内転動作を行うことを優先したほうがよいことを

示唆している。

これは打撃指導における着眼点の一つであり、打者がバット・ヘッドスピード向上によって打撃力の向上を図るためには、BH 側肩関節内転を促す「脇を締める」という指導の言葉が有効であると考えられる。また、バット・ヘッドスピード下位群はこの局面において肩関節の仕事が大きくなっていたことから、上位群と比べて力学的エネルギーの伝達を利用できずに、上肢に頼ったバット・ヘッドスピードの生成を行っていたと推察される。そのため、BH 側肩関節外転が大きくなり過ぎるとバット・ヘッドスピードを損なう可能性があることも指導上の重要な着眼点であるといえよう。

さらにこのことは、図 7-7 および図 7-9 で示すように、右投げ左打ちの打者では右投げ右打ちの打者よりも BH 側の肩関節外転が大きいことは考慮すべき点であろう。つまり、右投げ左打ちの打者は BH 側肩関節外転が大きくなりすぎると、打撃位置へバットを運ぶことは行いやすいが、体幹のエネルギーを上肢へ伝えにくくなり、結果バット・ヘッドスピードが大きくなりにくい動作になる可能性があることを考慮して指導すべきであろう。

同様にこの局面の TH 側肩関節に関して、5 および 6 章を参照すると、大きな違いはみられなかったものの、肩関節を内転させてバットを体幹近くに置くことでスイング弧が大きくなることを防いでいると考えられる。さらに、図 5-10 に示すように、肘関節屈曲がバット・ヘッドスピード上位群のほうが大きかった。つまり、肘関節をより屈曲することで、体幹の近くにバットを置くことがバット・ヘッドスピード向上には重要であることが示唆された。さらに、飛来球打撃ではスイング弧を小さくするには上胴をスイング局面前半において、より投手方向へ回転させることも重要であることが示唆された（4 章）。

## 8.2. フォワードスイング局面後半における上肢動作指導の着眼点

フォワードスイング局面後半では、図 5-9 に示すように、BH 側の前腕の回内では、バット・ヘッドスピード上位群が大きかった。これはフォワードスイング局面前半において、BH 側の「脇を締める」ことが起因となり、回内が大きくなったことが考えられる。TH 側

ではこの局面におけるバット・ヘッドスピード上位群の前腕の回外が小さかった。また、図 6-5 (b) に示すように、インパクト付近でバット・ヘッドスピード上位群は TH 側手関節の正のトルクパワーを増大させることにより、手部からバットへと大きな力学的エネルギーを伝達させていたと考えられる。すなわち、インパクト付近ではバットヘッド軌道の調整に関与する力学的エネルギーの吸収を抑えるために、手関節の橈尺屈動作によってバットをコントロールすることが、バット・ヘッドスピードの差異を決定する要因になると考えられる。

図 5-10 に示すように、TH 側ではこの局面におけるバット・ヘッドスピード上位群の前腕の回内が大きかった。これは「手首を立てる」動作といわれるような、ボールの軌道に対して、バットヘッドが下方向にあるのを上方へ修正させるための指導の言葉であり、上肢の打撃動作指導における着眼点であるといえよう。

さらに、図 7-10 に示すように、右投げ左打者は BH 側肘関節の屈曲角速度がスイング中盤では右投げ右打者よりも大きく、バットが水平面に近くなったときには BH 側手関節尺屈角速度が右投げ右打者より大きくなったことを示しており、右投げ左打ち打者の利き腕が BH であることが影響している可能性があり、タイミング調整が利き腕で行われやすい点も上肢動作の指導における着眼点であるといえよう。

上肢はバット・ヘッドスピードを大きくするために、下肢や体幹のエネルギーをバットへ伝える動作を巧みに行うことが重要である。特にエネルギーの伝達のためにはバットの姿勢、位置を適正に保つための動作がスイング前半では重要であり、後半ではバットを動かすためのタイミングが重要であることが本研究を通して明らかとなった。

ただし、実際の指導においては、スイング時間は約 0.2 秒以内と一瞬であることから、左右の打者における利き腕の優位性なども考慮して、下肢や体幹からのエネルギー伝達を大きく損なうことなく、バットを打撃位置へ運ぶ上肢動作を指導することが重要であろう。

### 8.3. 打撃動作全体における上肢動作の役割とトレーニング方法

本研究で明らかとなった上肢動作のまとめについて図 8-1 に示す。これによると、図 1-1 で示した身体からバットへのメカニクスの図から、下肢による重心などの移動から下肢、体幹への回転によるエネルギーの保存、ならびに体幹によるエネルギーの生成から上肢を介してのバットへの伝達および軌道形成が行われていることを示した。本研究の上肢動作の検討から、バットへのエネルギー伝達は主に BH の役割が大きく、最終的な軌道形成からボールへのインパクトは TH がタイミングよく行っていることが明らかとなった。

さらに、実験研究で用いたティー打撃を実際に投手が投げる飛来球に応用した時に考慮すべき点は、スイング前半において、バット傾斜角を小さくする動きを行うことが重要であるが、ほかの点はバット・ヘッドスピードを向上させたり、ボールをミートさせたりする上肢動作と変わらないため、常にバット・ヘッドスピードの向上を目指すことが優れた打者になるために必要なことであるといえよう。

さらに、これらの結果を打撃動作のトレーニングやドリルに活かすことを考えると、下肢や体幹で生成されたエネルギーを伝達するために、例えばメディシンボールによるサイドスローが適していると考えられる。特に BH 側の肘を伸展させて、両手でボールを持ち、体幹の水平回転に沿って、BH を水平外転させるように行うことで腕を介してのエネルギー伝達を向上させることができると考えられる。また、ケーブルマシンを BH で持ち、体幹の水平回転に沿って、BH を水平外転させるように負荷をかけて行うことで、エネルギー伝達の向上を図ることができると考えられる。同様に TH のドリルとしては、スイングの前半の改善では体側につけること、すなわちインサイド・アウトのスイングを身に着けるために、前額面方向からトスされたボールを TH の片手で保持したバットで、ステップ脚方向へ打ち出すドリルが有効であり、スイング後半のバットコントロール、軌道形成のためには紐をスイング軌道上に張って、それをなぞるようにスイングすることなどが挙げられる。最終的には両腕によるスイングを行うことが重要であるが、片手それぞれで役割を意識しながら行うことにより、より効果的なトレーニングやドリルになると考えられる。

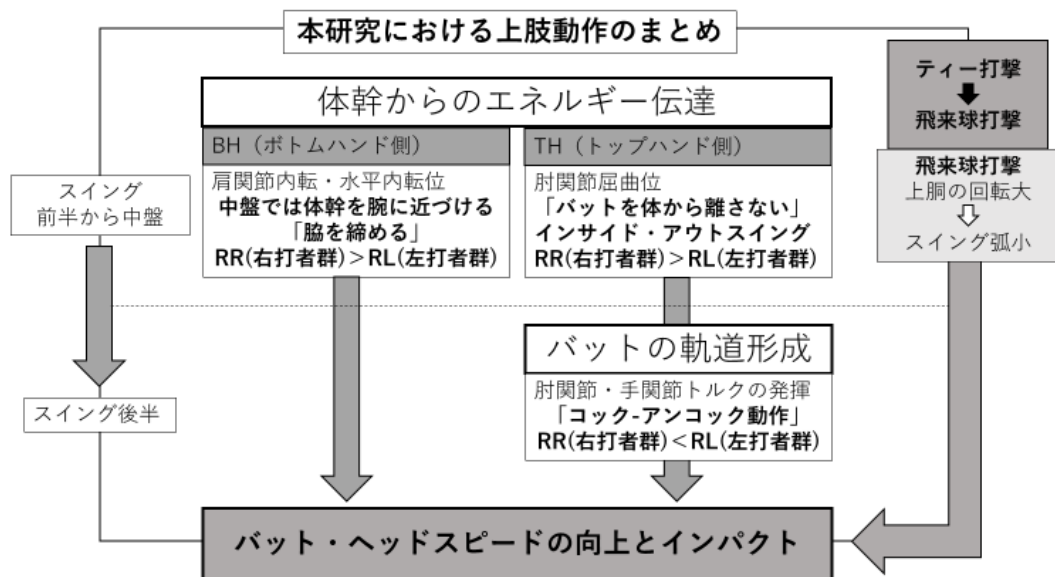


図 8-1 本研究の打撃における上肢動作のまとめ

## 9. 総括

### 9.1. 結論

本研究の目的は野球の打撃における熟練者間の上肢動作メカニズムとその動作を指導へ活かすための着眼点を明らかにすることである。

そのため、まず、本研究に関連があると考えられる国内外の主要な先行研究を概観し、本研究の学術的な位置と野球の指導現場に役立てるための課題について論じた。そこでは

- ① 多くの研究はティー打撃を中心に行われているが、優れた打者は実際の飛来球打撃において、ティー打撃のパフォーマンスが反映されているか検討されていないこと。さらに、ティー打撃と実際の飛来球打撃へつなげるための上肢動作における考慮すべき点について、検討されていないこと【問題点①】。
- ② バイオメカニクス的研究ではバット・ヘッドスピードを産み出すためのメカニズムやバット・ヘッドスピードと相関が高い部位の動作が検討されてきたが、実際の指導ではそのチームでレギュラーになることや、体力・体格差の少ない熟練者間での打撃技術の巧拙を詳細に検討することが課題であり、そのような研究はあまりみられないこと【問題点②】。
- ③ 打撃動作の研究は 2 次元の水平面上の分析から 3 次元動作分析へ移行しながらバット・ヘッドスピードを大きくするための動作として、体幹から上肢の運動連鎖がバットの加速へつながることがキネマティクスの分野では行われてきたが、これまでの研究は 2 つの腕を 1 本の腕としてモデル化したものが多いことから、上肢の詳細な動きを検討したものは少ないこと。【問題点③】
- ④ さらに、上肢のキネティクスはセンサーバットの開発から「閉ループ」問題が解消され、関節トルクなどが算出されるようになったが、体幹から上肢への運動連鎖のメカニズムおよびその巧拙が明らかにされていないこと【問題点④】。
- ⑤ 一方、野球の打撃は右投げにもかかわらず、右打者と左打者が存在し、利き腕の関係

から両手の役割や使い方が異なることが指導の現場では言われてきたが、研究で詳細に検討されたことはないこと【問題点⑤】。

以上の問題点から本研究では、さらに以下の 4 つの課題を解決することによって、研究目的を解明した。

**研究課題 1 優れた打者が獲得すべき打撃技術とは何か明らかにすること。さらに、研究で用いるティー打撃を実際の飛来球打撃へつなげるための上肢動作について検討すること**

本章の研究結果をまとめると以下の通りになる

- ① 大学レギュラー選手はバット・ヘッドスピードおよび打球スピードが大きい
- ② 大学レギュラー、非レギュラー選手に関わらず、安打時はインパクト角が小さい
- ③ 打撃位置スピードが同じでも優れた社会人打者はインパクト角が小さく、直衝突に近い打撃を行っていた
- ④ インパクト角が小さい打撃では TH 側前腕関節の回外を大きく行い、水平面のスイング弧を大きくして当てやすくしていた
- ⑤ 飛来球打撃において、ティー打撃と比較して、TH 側、BH 側前腕関節の回外が大きくなっていた
- ⑥ 飛来球打撃において、ティー打撃と比較して TH 側、BH 側肩関節内外転および内旋運動によるバットの水平変位に大きく寄与しており、スイング前半部のバットの傾斜角を小さくしていた

以上のことから、安打を多く打つ優れた打者とは、バット・ヘッドスピードおよび打球スピードが大きく、その時の打撃とはインパクト角が小さく、直衝突に近い打撃を行っていた。しかし、レギュラー選手と非レギュラー選手において、安打した打撃のインパクト角の違いは少ないことから、優れた打者とはバット・ヘッドスピードを大きくすることが第一に目指す課題といえよう。そのためにはスイング弧の水平面上を大きくする必要があ



り、この点においてティー打撃と飛来球打撃では違いはなく、打者が目指すべき基本動作といえる。ただし、打撃本来の飛来球打撃では時間的制約があるため、スイング前半部のバット傾斜角が大きくならないよう、両肩関節の内外転、内外旋を調節し、打撃方向へバットを運ぶことを意識する必要がある。このことがティー打撃を行う際に、実際の打撃につながられるよう留意しなければならない点であるだろう。

## 研究課題 2 野球の打撃熟練者におけるバット・ヘッドスピードを向上させるための上肢動作のキネマティクスの分析を行うこと

研究課題 1 に対して、バット・ヘッドスピードを向上させるための上肢動作をキネマティクスのみにみるため、大学野球選手および社会人野球選手 16 名を対象にティー打撃を行い、バット・ヘッドスピードの大きな上位群と小さな下位群に分けた上肢動作をキネマティクスのみに分析し比較検討を行った。得られた結果をまとめると、以下のようになる。

- ① フォワードスイング局面では TH 側の肘関節の伸展および前腕の回外、両手関節の尺屈において大きな角度変化がみられた。一方で、BH 側肩関節、肘関節、前腕では大きな角度変化がみられなかった。
- ② 肩および肘関節における上位群と下位群の比較では、0－10%時、50－70%時において上位群は下位群と比較して BH 側肩関節の内転と水平内転が有意に大きかった。40－70%時、90－100%時において上位群が下位群と比較して TH 側肘関節を有意に屈曲させていた。
- ③ 手関節における上位群と下位群の比較では、TH 側では 100%時で上位群の回外が有意に小さかった。BH 側の前腕の回内では、50－70%時において上位群が有意に大きかった。同様に手関節の背屈では、20－30%時において、上位群が有意に大きかった。

以上のことから、野球の打撃における両肩関節の動作は小さく、TH 側の肘および手関

節の動作は大きいことが示された。また、両手関節の回内外において動作の異なる変化パターンが示されたことから、両手でバットを握っていても同じ変化の動作を示さないことが明らかとなった。さらに、BH 側肩関節を「脇をしめる」ようにして内転および水平内転することが上位群のバット・ヘッドスピードを大きくした要因であることが示唆された。

**研究課題 3 野球の打撃熟練者におけるバット・ヘッドスピードを向上させるために、打撃中の上肢動作のエネルギーフローを算出し、左右上肢の役割に関して明らかにすること**

研究課題 2 のキネマティクスの分析に対して、研究課題 2 ではバット・ヘッドスピードを向上させるための上肢動作を動力学的にみるため、熟練野球選手の打撃動作におけるフォワードスイング局面の左右上肢の力学的エネルギーの流れを明らかにすると共に、バット・ヘッドスピードの異なる被験者の動作を比較することにより打撃指導に関する基礎的知見を得ることであった。

本研究によって得られた結果まとめると、以下のようになる。

- ① 力学的エネルギーの伝達について、上位群は下位群よりも BH 側肩関節トルクに加えて、BH 側関節力による力学的エネルギーを上肢末端へと大きく伝達できることが明らかとなり、そのことが効率良くバット・ヘッドスピードを生成することに繋がると推察される。
- ② インパクト付近において上位群は TH 側手関節の正のトルクパワーを増大させることにより、手部からバットへと大きな力学的エネルギーを伝達させることができていたと考えられる。すなわち、インパクト付近ではバットヘッド軌道の調整に関与する力学的エネルギーの吸収を抑えるために、手関節の橈尺屈動作によってバットをコントロールすることが、バット・ヘッドスピードの差異を決定する要因になると考えられる。

#### 研究課題 4 野球の打撃熟練者における右投げで右打ちと左打ちである打者の上肢と体幹の動作の相違を明らかにすること

研究課題 1, 2 を基に, 打者の中には右投げであるにもかかわらず, 右打者と左打者が存在し, バットのグリップが左右打者で異なることで上肢動作に影響を及ぼすことが考えられる. そこで研究課題 3 の目的は, 大学野球選手 56 名を対象に, 右投げで右打ちである打者および左打ち打者のティー打撃に関して, 体幹と上肢における動作の相違を明らかにし, それぞれの打者に対する指導への示唆を得ることであった.

本研究の結果をまとめると以下のようになる.

- ① 右打者群はフォワードスイング局面中盤にバット, 上胴, および下胴の水平面角速度が左打者群より早い時点で有意に大きかった.
- ② 右打者群はフォワードスイング局面中盤では TH 側の肘関節屈曲角度および BH 側撓屈角度が左打者群より有意に大きかった.
- ③ 左打者群はフォワードスイング局面後半において BH 側肩関節外転および水平外転の動きが右打者群より有意に大きかった.
- ④ 左打者群は BH 側肘関節の屈曲角速度がフォワードスイング局面中盤では右打者群よりも有意に大きく, バットが水平面に近くなったときには BH 側手関節尺屈角速度が右打者群より有意に大きかった.

以上のことから, 右投げである右打者と左打者では上肢と体幹の動作に違いがみられ, これまで打者の研究で多くみられた知見とは異なる観点も考慮して, 動作を指導すべきであることが本研究の結果から明らかとなった.

#### 研究課題 5 以上の研究から野球の打撃熟練者の上肢動作をコーチングに活かすための着眼点と考慮すべき点を明らかにすること

ここまでの野球の打撃における上肢動作の巧拙から，研究課題 5 では，これまで論じてきた研究をまとめて，野球のバット・ヘッドスピード向上を基本とした打撃力の向上に関して，指導を行う際の着眼点と留意点について論じることとした．

① フォワードスイング局面前半から中盤の上肢動作指導の着眼点

- 1) 体幹に近い位置で BH 側の腕が動作することで，体幹の回転によるエネルギーが上肢およびバットへ伝達されやすいことが示唆された．
- 2) 「バット・ヘッドスピードの向上」には，より BH 側肩関節はより内転位および水平内転位にあることが望ましく，これは打撃指導における着眼点の一つであり，打者が「スイングスピード向上」のための必要な指導の言葉としては特に BH 側の「脇を締める」ようにすることが有効であると考えられる．
- 3) バット・ヘッドスピード下位群はこの局面において肩関節の仕事が大きくなってしまったため，上位群と比べて力学的エネルギーの伝達を利用できずに，上肢に頼ったバット・ヘッドスピードの生成を行っていたと推察される．特に BH 側肩関節外転が大きくなり過ぎるとバット・ヘッドスピードを損なうことが指導上重要な着眼点であるといえよう．ただし，右投げ左打ちの打者では右投げ右打ちの打者よりも BH 側の肩関節外転が大きくなりやすく，体幹のエネルギーを上肢に伝えにくくなる点を考慮すべきであろう．
- 4) この局面の TH 側肩関節に関して肩関節内転させることでバットを体幹近くに置き，スイング弧が大きくなることを防いでいると考えられる．また，この局面において，肘関節屈曲がバット・ヘッドスピード上位群のほうが大きかったことから肘関節をより屈曲することで，体幹に近くにバットを置くことが重視されることが示唆された．

② フォワードスイング局面後半の上肢動作指導の着眼点

- 1) BH 側の前腕の回内では、バット・ヘッドスピード上位群が大きかった。これはフォワードスイング局面前半において、BH 側の「脇を締める」ことが起因となり、回内が大きくなったことが考えられる。TH 側ではこの局面におけるバット・ヘッドスピード上位群の前腕の回外が小さかった。
- 2) インパクト付近でバット・ヘッドスピード上位群は TH 側手関節の正のトルクパワーを増大させることにより、手部からバットへと大きな力学的エネルギーを伝達させることができていたと考えられる。すなわち、インパクト付近ではバットヘッド軌道の調整に関与する力学的エネルギーの吸収を抑えるために、手関節の橈尺屈動作によってバットをコントロールすることが、バット・ヘッドスピードの差異を決定する要因になると考えられる。

以上の結果は実際の指導に活かすための重要な着眼点となろう。さらにこれらを打撃動作のトレーニングやドリルに活かすことを考えると、下肢や体幹で生成されたエネルギーを伝達するために、例えばメディシンボールによるサイドスローを行うことで腕を介してのエネルギー伝達を向上させることができると考えられる。また、インサイド・アウトのスイングを身に着けるために、前額面方向からトスされたボールを TH の片手保持したバットでステップ脚方向へ打ち出すドリルなどが有効であると考えられる。

## 9.2. 今後の課題

今後の課題として、本研究では、対象となる試技の選定において選手が最善と評価した試技を対象試技としたが、今後は 1 人当たりの対象試技を増やして、平均化することでその対象者が持つ技能を的確に評価することができるだろう。本研究のキネマティクスの分析では、当時の分析機材の限界もあり、特に前腕および手関節の定義に関してバットを用いて行った。両手部を近接させる手部動作は視認しにくく、反射マーカースも認識しにくい問題がある。今後はカメラ台数を増やすなどして、対応すべきである。

また、本研究ではキネティクスに関してはエネルギーフローを中心に算出したが、トル

クなどを詳細に算出し、上肢の逆力動学的な分析を今後行う必要がある。そのため、センサーバットの使用が有効であるが、センサーバットがより広範囲な打撃に活用できる仕様になることで、より多くのサンプルを収集できると、タイプ分けなど新たな研究を行うことができるようになるだろう。

さらに、本研究では右投げで右打者と左打者の上肢動作の比較をキネマティクスの行的に行ったが、今後はキネティクスの的な分析を進めるとともに、左投げ左打ちの打者や利き腕の影響などをより詳細に調べることで役立つ知見が得られるであろう。加えて、下肢との関連性も検討することが期待される。

最後になるが、こうした知見を現場に活かす際に、研究に携わるものとして、指導現場に平易に伝える努力をし、さらには指導に携わるコーチや指導者が自ら知見に触れて、研鑽できるような環境を作っていくことで、研究が指導へ役立つことを期待したい。

そのためにも今後も研究と現場との意見交換を継続していくべきであろう。

## 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.

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 (2) : 431-452.

阿江数通・小池関也・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の分析. 体育学研究 60 (2) : 635-649.

Ae K., Koike S., Kawamura T. (2017): Kinetic function of the lower limbs during baseball tee-batting motion at different hitting-point heights. Sports Biomechanics, 19 (4) :452-466.

阿江数通・小池関也・藤井範久・阿江通良・川村卓・金堀哲也 (2017) : 野球の打撃動作における打撃条件の違いが上肢のキネマティクスに及ぼす影響：ティーおよび飛来球打撃条件による比較. 体育学研究, 62 (2) : 559-574.

阿江数通・小池関也・川村卓・中島亮一 (2019) : 野球打撃における身体の回転運動に対する下肢のキネマティクスについて：地面反力によるモーメントの上位群と下位群の比較. 体育学研究 64 (1) : 135-149.

阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. J. J. Sports Sci., 15 : 155-162.

荒木理行・川村卓・島田一志・平野祐一・松尾知之・那須大毅・森下義隆 (2012) : ヘッド速度を大きくするための動作要因について～流し打ち方向への打撃動作の分析～. バイオ

メカニクス研究 16 (1) : 47-51.

浅見俊雄 (1984) : スポーツ運動の打について. Jpn.J.Sports Sci., 3 (3) : 178-187.

Dragoo, B.A. (2003). Neuromotor control variables and their impact on select biomechanical parameters of the baseball swing. Ph.D. dissertation, Texas Woman's University, United States -- Texas. Retrieved June 1, 2009, from Dissertations & Theses: A&I database. (Publication No. AAT 3114317)

Escamilla, R.F., Fleisig, G.F., DeRenne, C., Taylor, M.K., Moorman, III, C.T., Imamura, R., Barakatt, E., Andrews, J.R. (2009a). Effects of bat grip on baseball hitting kinematics. Journal of Applied Biomechanics, 25(3), 203-209.

Escamilla, R.F., Fleisig, G.F., DeRenne, C., Taylor, M.K., Moorman, III, C.T., Imamura, R., Barakatt, E., Andrews, J.R. (2009b). A comparison of age level on baseball hitting kinematics. Journal of Applied Biomechanics, 25(3), 210-218.

Gelinas, M. and Hoshizaki, T. B. (1988): Kinematic characteristics of opposite-field hitting. Biomechanics in Sports VI, Proceedings of the 6th International Symposium on Biomechanics in Sports: 519-530.

Gola, M. and Monteleone, J. (2001): The Louisville Slugger complete book of hitting fault and fixes, contemporary publishing group, Chicago: pp.31-34, pp. 64-65, pp.109-123, pp.130-137.

平野裕一 (1996) : 打つ動作のバイオメカニクス. 体育学研究, 40 : 399-404.

平野裕一 (1992) : 打つ科学. スポーツ科学ライブラリー・7, 大修館書店 : 東京.



平野裕一・菊池壮光 (2019) : 最速上達バッティング“勝てる”技術が身につく！究極メソッド. 成美堂出版：東京. pp56－58.

平島雅也・大築立志 (2005) ヒトの高速多関節運動における相互作用トルクの制御. バイオメカニクス研究, 9 (1) : 18-25.

堀内元・中島大貴・桜井伸二 (2017) : 野球のバッティングにおける下肢および体幹の力学的エネルギーの流れ. 体育学研究, 62 (2) : 575-586.

堀内元・中島大貴・桜井伸二 (2018) : 野球のバッティングにおける股関節のダイナミクス. 体育学研究 63 (2) : 695-705.

Hubbard AW, Seng CN (1954) : Visual movements of batters. Res Quart 25 (1) : 42-57

井尻哲也・中澤公孝 (2017) : 野球のバッティングにおけるタイミング制御. 日本神経回路学会誌, 24 (3) : 124-131.

池上康男 (1983) : 写真撮影による運動の三次元解析法. Japanese Journal of フォワードスイング SPORTS SIENCE, 2 (8) : 168-170.

石田和之・仲井良平・平野裕一 (2000) : 野球打者の打撃の意思決定とバットの運動調節に関する実験的研究. バイオメカニクス研究 4 (3) : 172－178.

石井藤吉郎 (1971) : 野球教室. 大修館書店：東京.

伊藤幸司・佐藤文宣・金子靖仙・島名孝次 (2001) : バットの慣性特性がバットスイングに及ぼす影響. スポーツ工学シンポジウム講演論文集, pp. 49-53.

金堀哲也・川村卓・松尾知之・朝岡正雄・山田幸雄・會田宏 (2012) : 我が国の指導書から

みた野球の打撃指導における指導者の着眼点・動作局面における指導対象部位に着目して・.  
コーチング学研究, 25 (2) : 149-156.

金堀哲也・山田幸雄・會田宏・島田一志・川村卓 (2014) : 野球の打撃における指導者の主  
観的評価に対するキネマティクスの研究 : 下肢および体幹部に着目して. 体育学研究, 59  
(1) : 133-147.

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ーマシン打撃における  
試技結果および投射コースの比較からー. コーチング学研究, 30 (2) : 167-178.

加藤貴昭・福田忠彦 (2000) : 野球の打撃準備時間相における打者の視覚探索ストラテジ  
ー. 人間工学, 38 (6) : 333-340.

勝又宏・川合武司 (1996) : 地面反力からみた異なる投球速度に対する野球の打撃動作の  
特性. 体育学研究, 40 (6) : 381-398.

川村卓・功力靖雄・阿江通良 (2000) : 熟練者野球選手の打撃動作に関するバイオメカニク  
ス的研究～バットの動きに着目して～. 大学体育研究, 22 : 19-32.

川村卓・島田一志・阿江通良 (2001) : 熟練野球選手の打撃動作における両手の動きについ  
て. 大学体育研究, 23 : 17-28.

川村卓 (2006) : 野球の打撃動作の変遷ー研究と指導現場の課題からー. スポーツパフ  
ォーマンスを解き明かす, 体育の科学, 56 (9) : 727-732.

川村卓・島田一志・高橋佳三・森本吉謙・小池関也・阿江通良 (2008) : 野球の打撃におけ  
る上肢の動作に関するキネマティクスの研究 : ヘッドスピード上位群と下位群のスイング  
局面の比較. 体育学研究 53 (2) : 423-438.

川村卓・西尾典文 (2009) : 今日からはじめる！左バッターに 3 か月でなれる本. 東邦出版, 東京, pp.12-33.

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.

川村卓 (2018) : バッティング練習の科学. 洋泉社 MOOK, 洋泉社 : 東京, pp.14-15.

川村卓・小池関也・阿江通良 (2019) : 野球の打撃における上肢のエネルギーフロー : バット・ヘッドスピードの上位群と下位群のスイング局面の比較. 体育学研究, 64 : 37-48.

川村卓・小池関也・島田一志・阿江数通・森本吉謙・磯和純一郎 (2022) : 野球のティー打撃における左右打者の体幹および上肢動作の比較—右投げ選手を対象にして—. トレーニング科学, 34 (1) : 35-48.

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.

城所収二・矢内利政 (2017) : 野球打撃における左右への打ち分けに寄与する 2 つのインパクトメカニズム : 打球速度と各メカニズムの貢献. 体育学研究, 62 (2) : 475-490.

小池関也・木村大志・川村卓・藤井範久・高橋佳三・阿江通良 (2003) : 野球のティーバッティングにおける上肢関節のトルクパターン. 日本機械学会 Dynamics & Design

Conference 2003 CD-ROM 講演論文集, pp. "448-1"- "448-6".

小池関也 (2004) : 両手打撃動作を解き明かすセンサー打具の開発. バイオメカニクス研究, 8 (3) : 179-184.

Koike S, Iida H, Kawamura T, Fujii N, Ae M (2004): An instrumented bat for simultaneous measurement of forces and moments exerted by the hands during batting. The Engineering of Sport 5, 2004; 2: 194-199.

小池関也・川村卓・阿江通良 (2006) 野球打撃動作における四肢関節のトルクパワー. 日本機械学会 ジョイント・シンポジウム 2006 講演論文集, pp. 110-115.

Koike Sekiya, Kawamura Takashi, Iida Hiroshi and Ae Michiyoshi (2007): Three-dimensional kinetic analysis of upper limb joints during the forward swing of baseball tee batting using an instrumented bat. The Impact of Technology on Sport II, F.K.Fuss, A.Subic and S. Ujihashied, Taylor & Francis :377-381.

小池関也・石川達也・阿江通良 (2009) : テニスサーブ動作における上肢のラケット速度生成メカニズム : 競技レベルの違いが順動力学的貢献に与える影響. 日本機械学会 ジョイント・シンポジウム 2009 講演論文集, pp. 76-81.

小池関也・川村卓, 阿江通良 (2009) : 野球打撃動作におけるヘッドスピード生成に対する上肢関節の順動力学的貢献. 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2009 CD-ROM 論文集, 9-23, 2009.

小池関也 (2010) : 力覚検出型センサーバットの開発. 機能材料, 30 (8) : 13-17.

小池関也・川村卓・阿江通良 (2008) : 野球打撃動作のバット・ヘッドスピード生成における左右上肢の動力学的分析. 日本機械学会シンポジウム 2008 講演論文集 : 117-122.

Koike S, Mimura K (2016): Main contributors to the baseball bat head speed considering the generating factor of motion-dependent term. *Procedia Engineering* 147: 197-202.

工藤孝義 (1987) : バッティング動作におけるタイミングの分析. *体育学研究*, 31 : 285-291

Lau, C. (1980): *The Art of Hitting*. 300. Dutton Adult.

McIntyre, D. R. & Pfausch, E. W. (1982): A kinematic analysis of the baseball batting swings involved in opposite-field and same field hitting. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 53 (3) , 206-213.

松尾知之 (2011) : ムチ動作の意義ーキネマティクスからエナジェティクスー. *体育の科学*, 61 (7) : 477-483.

McLean, S. P., & Reeder, M. S. (2000): Upper extremity kinematics of dominant and non-dominant side batting. *Journal of Human Movement Studies*, 38 (4) , 201-212.

道上静香・阿江通良 (2002) : 世界一流女子テニス選手のフォアハンド・グラウンド・ストロークのキネマティクスの分析. *バイオメカニクス研究*, 6 (4) : 259-269.

宮西智久・藤井範久・阿江通良・功力靖雄・岡田守彦 (1996) : 野球の投球動作におけるボール速度に対する体幹および投球腕の貢献度に関する 3 次元的研究. *体育学研究*, 41 (1) : 23-37.

宮西智久 (2005) : 野球の打撃動作の角運動量解析. 西園秀嗣ほか編, *トレーニングを科学するバイオメカニクス (第 18 回日本バイオメカニクス学会大会論集)*, 第 18 回日本バイオメカニクス学会大会実行委員会 : 160-161.

宮西智久 (2006) : 打撃動作と体幹・四肢の角運動量～野球のバッティングの場合～. 特集「巧みな動き」の脚と腕. 体育の科学, 56 (3) : 181-186.

森下義隆・那須大毅・神事努・平野裕一 (2012) : 広角に長打を放つためのバットの動き. バイオメカニクス研究, 16 (1) : 52-59.

森下義隆・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・ヘッドスピードに対する体幹および上肢のキネマティクスの貢献. バイオメカニクス研究, 17 (4) : 170-180.

森下義隆・平野裕一・矢内利政 (2015) : 野球の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.

森下義隆・矢内利政 (2018) : バットスイング軌道からみた左右方向への打球の打ち分け技術. 体育学研究 63 (1) : 237-250.

村田厚生 (1998) : 野球のスイング時のバットのヘッドスピードに及ぼす要因の検討. 人間工学, 34 (3) : 151-155.

村田宗紀・藤井範久・鈴木雄太 (2015) : 硬式テニスサーブにおけるエネルギー形態に着目したラケット保持腕の力学的エネルギーフロー. 体育学研究, 60 (1) : 177-195.

内藤耕三・丸山剛生 (2007) : 野球の投球腕速度を生成する運動依存トルク解析のための3次元上肢動力学モデル. バイオメカニクス研究, 10 (3) : 146-158.

Nakata Hiroki, Miura Akito, Yoshie Michiko, Higuchi Takatoshi and Kudo Kazutoshi (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.

中雄勇・堤實・吉川茂（1994）：利き手に関する基礎的研究-利き手と握力について-．阪南論集人文・自然科学編，阪南大学，29（3）：15-23.

日本プロフェッショナル野球組織（2009）：公認野球規則．ベースボールマガジン社：東京，pp. 38-39.

日本プロフェッショナル野球組織（2021）：公認野球規則．ベースボールマガジン社，東京，pp.108-109，pp.229.

小田伸午・森谷敏夫・田口貞善・松本珠希・見正富美子（1991）：地面反力から見た野球のティーバッティング技術．体育学研究，36（3）：255-262.

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.

大久保街亜・鈴木玄・Michael E. R. Nicholls（2014）：日本語版 FLANDERS 利き手テスト-信頼性と妥当性の検討-．心理学研究，85（5）：474-481.

大利実（2020）：打撃技術の極意．株式会社カンゼン，東京，pp.158-161.

Satern, M. N. (2001): Applicability of the kinetic link principle to female softball batters. XIX ISBS biomechanics symposia 2001 works in progress: University of San Francisco, 16.

Schmidt M. and Ellis R. (1994): The Mike Schmidt Study. McGriff & Bell Inc., 22-48.

島田一志・阿江通良・藤井範久・川村 卓・高橋佳三（2004）野球のピッチング動作における力学的エネルギーの流れ．バイオメカニクス研究，8（1）：12-26.

島田一志・田畑広樹・川村卓（2008）：野球の打撃におけるバットの握りーの相違がスイン

グに与える影響. 金沢星稜大学人間科学研究, 1 (1) : 72-74.

下山優・島田一志・新井祐稀・長谷川大輔・川村卓・奈良隆章・名古屋光彦 (2013) : 社会人野球選手の打撃動作における, 左右打者間のキネマティクスの相違に関する事例的研究. 金沢星稜大学人間科学研究, 7 (1) : 39-42.

志村芽衣・宮澤隆・矢内利政 (2019) : 「流し打ち」におけるバットの向きとボールインパクト位置の違いによる飛翔特性変化 : 野球のインパクトシミュレーション. 体育学研究, 64 (2) : 487-500.

Springings, S., Marshall, R., Elliott, B. and Jennings, L. (1994): A Three-Dimensional Kinematic Method for Determining the Effectiveness of Arm Segment Rotations in Producing Racquet-Head Speed. Journal of Biomechanics, 27(3): 245-254.

橘廣 (2011) : 手の活動における機能的左右非対称性と操作性の高さ. 東邦学誌, 東邦大学, 40 (1) : 141-152, 2011.

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.

高橋佳三・阿江通良・藤井範久・島田一志・川村卓・小池関也 (2005) : 球速の異なる野球選手の動作のキネマティクスの比較. バイオメカニクス研究 9 (2) : 36-52.

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下肢および体幹部のキネマティクスの研究. 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. バイオメカニズム学会誌, 34 (3) : 216-224.

竹内高行・猪俣公宏 (2012) : 野球の打撃における視覚探索方略. スポーツ心理学研究, 39 (1) : 47-59

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.

Tsutsui, T, Maemichi T, Iizuka S and Torii S (2020): Investigation on the development of batting imagery in youth baseball players. J Phys Fitness Sports Med, 9(1): 15-20.

若林憲一 (2002) : 野球バッティング入門. 成美堂出版 : 東京, 35-36.

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

Wells, R.P. and Winter, D.A. (1980): Assessment of signal noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. Proceeding of the Special Conference of the Canadian Society for Biomechanics, London, Ontario, Canada, Human locomotion, I : 92-93.

Williams T. (1971): The Science of Hitting. Simon and Schuster.

山本清春 (2000) : 野球バッティング. 西東社 : 東京, pp.24.

谷中拓哉・近田彰治・矢内利政（2017）：野球の打撃におけるローリングの速さを決定する力学的要因．体育学研究，62（1）：33-48.

谷中拓哉・近田彰治・矢内利政（2018）：野球の打撃におけるバットのローリングを高めるスイング．体育学研究，63（2）：799-810.

吉田友英（2010）：右利き，左利きの考え方．Equilibrium Res，69（3）：147-150.

吉福康郎（1987）：打つ動作と指導 - 格闘技 - ．体育の科学，37（6）：441－446.

## 謝辞

はじめに、お忙しい中、主指導教員をお任せしてしまった谷川聡先生に感謝申し上げます。年上のしかも同僚の主指導教員でしたので、やりにくいことこの上なかったと思います。これからも、同僚としてご助言ください。また、副査をお引き受けいただいた、中山雅雄先生、木内敦詞先生、藤井範久先生に感謝申し上げます。特に木内敦詞先生には硬式野球部の活動も含めて、様々なご支援をいただきました。重ねて感謝申し上げます。今後ともよろしくお願いいたします。

さらに大恩人として、小池関也先生の長年にわたるご協力がなければこの研究を成し遂げることはできませんでした。本当に感謝申し上げます。また、阿江数通氏には様々な面での研究協力をいただきました。感謝申し上げます。

わが師である阿江通良先生には学生のころから今日まで、様々なご指導を賜りました。先生の導きで母校に奉職ができ、約束よりも遅くなりましたが博士論文を書き上げることができました。伏して感謝申し上げます。

さらに、同級生で親友の金沢星稷大学・島田一志先生には研究、教育の様々な面での協力、助言をいただきました。本当に感謝しています。また、親友であり、世界で活躍するトレーナー・井脇毅氏には体の構造やトレーニングに関わること、さらに様々な私の悩みに対して、ご助言いただきました。ありがとうございました。

実のところ、博士論文を書く際にずっと支えになっていたのは体育センター時代の上司である故・齊藤慎一先生の一言でした。まだ赴任まもないとある会合で「あなたなら博士論文を書けるよ」の言葉をいただきました。その言葉を胸に「いつか書き上げる」と思い続けていました。天国の齊藤先生のおかげで書くことができました。ありがとうございました。

そして、野球研究室の現役生、OB、OG の皆さん、さらに硬式野球部の現役生と卒業した教え子たち。あなたたちすべてが私の学びでした。感謝しています。

最後に、支えてくれた両親と家族に感謝し、謝辞とします。

令和5年3月24日

川村 卓