

2014年度 修士論文

野球の振り遅れ打撃に関するキネマティック的研究

Kinematical analysis of mistimed batting in baseball

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻 身体運動科学研究領域

5013A029-0

小平信之介

Shinnosuke KODAIRA

研究指導教員：矢内 利政 教授

第1章 緒言

1.1	野球における打撃	1
1.2	打球速度に影響を及ぼす要因	2
1.3	投げられたボールに対する知覚	5
1.4	打者が振り遅れる要因	6

第2章 方法

2.1	実験環境と機器	8
2.2	被験者	10
2.3	実験試技	10
2.4	分析対象, 分析範囲	13
2.5	算出項目と算出方法	13
2.6	データの平滑化	17
2.7	統計処理	19

第3章 結果と考察

3.1	投げられたボールのスピード	20
3.2	投げられたボールのコースと高さ	21
3.3	タイミング評価に対する試技数の影響	22
3.4	バットヘッドスピードの時系列変化	23
3.5	スイング開始位置	24
3.6	振り遅れ打撃の特徴	25
3.7	スイング準備時間が長かった Good Hitting について	37
3.8	本研究における限界	39

第4章 結論

46

参考文献	48
------------	----

謝辞	50
----------	----

第1章 緒言

1.1 野球における打撃

野球は、攻撃側と守備側に分かれて得点を競い合うスポーツである。市丸(2002)は、大学野球リーグにおけるある大学の4年分のデータから、長打により出塁したランナーのほうが単打で出塁したランナーよりも得点になりやすいと報告している。それによると3塁打もしくは2塁打で出塁した282人の走者のうち本塁まで生還したのは136人(48.2%)であったのに対し、単打で出塁した1163人の走者のうち本塁に生還したのは300人(26.8%)であった。長打を打つことができれば1人の打者あたりの進塁数が多くなり、アウトカウントを増やさずとも本塁に走者を進めることができる。そのために打者は、攻撃側は野手のいない場所へできるだけ速い打球を打つ必要がある。ゴロであれば、打球が速いと野手が打球を見て予測する捕球位置にボールが到達するまでの時間が短くなり野手の間を抜けていくような打球になりやすい。フライであれば、同じ角速度、発射角度であっても飛距離を長くして野手の頭上を越えるような打球を放つことができる。Nathan(2012)は、メジャーリーグで導入されているTrack-Manというシステムを用いて得られた2009年のセントルイス・カーディナルスの試合における打球の飛翔に関するデータから打球の発射角と飛距離の関係について検討している(図1-1)。それによると発射角30°、打球初速度102.5MPH(=約165km/h)の時に飛距離が最大の405ft(=123.4m)になると述べている。同じ発射角度でも打球初速度が75MPH(=約120km/h)であった場合、飛距離は250ft(=76.2m)となってしまう。つまり、打者にとって速いスピードの打球を放つことは非常に重要である。

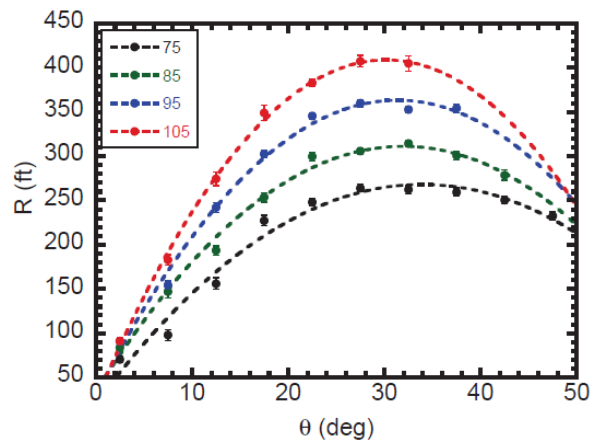


図 1-1 打球の初速度と飛距離の関係 Nathan(2012)より引用

1.2 打球速度に影響を及ぼす要因

これまでの研究から高速度の打球を放つためには、バットのインパクト直前のヘッドスピードが速いことに加え空間的かつ時間的に正確にインパクトすることが必要であるとされている。城所ら(2011)は、運動エネルギーが大きい打球について検討したなかで、運動エネルギーの大きい高速度の打球を放つためにはバットの芯で正確にインパクトすることがもっとも重要であるとしながらも、各打者においてヘッドスピードを増加させることが不可欠であると報告している。

1.2.1 ヘッドスピード

これまでにバットヘッドスピードを高めるための方策がキネマティクスとキネティクスの両面から検討されてきた。インパクト直前のヘッドスピードを増加させるためには、スイング局面の始動期において肩の開きを抑えることにより、ヘッドスピードの増加を最小限に抑えること、及びスイング開始からインパクトまでの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森下ら(2013)は明らかにした。田内ら(2005)は、ティー打撃における体幹の捻転動作では、捻転の角度よりも捻転の角速度のほうが重要であること、また捻転角速度が肩の捻り戻しの

角加速度を高めることで、上肢に作用する力を大きくしてバットヘッドスピードに間接的な影響を及ぼしていることを示唆した。一方小池ら（2009）は、左右上肢の剛体リンクセグメントモデルとセンサバットを用いてスイングを分析した結果、ヘッドスピード生成には関節モーメントだけでなく運動依存力（一度運動が生じると必ずしもそのすぐメントに力が作用していなくても、隣接するセグメントに力を伝達したり受けたりする力）も大きく貢献していることを明らかにした。また、宮西（2006）は大学硬式野球部右打者の鉛直軸まわりの角運動量に着目し、ヘッドスピードの大きいレギュラー打者は、ヘッドスピードの小さい非レギュラー打者に比べ、身体鉛直軸まわりの角運動量をスイング期に増大させることでバットの角運動量を高めヘッドスピードを大きくしていることを明らかにしている。この他にもヘッドスピードを高めるための方策は検討されている。

1.2.2 打撃の正確性

打撃の正確性に関する研究は、空間的正確性（ミート）と時間的正確性（タイミング）の両面から行われてきた。Higuchi et al.(2013a)は、異なる回転速度（18.2rps~55.6rps）を有する約130km/hのスピードのボールを用いて、ボールのバックスピン速度が典型的な値（30rps）から差が大きくなるほどバットの芯から実際のインパクトポイントまでの距離が増加することを明らかにした。その理由として打者は球速からインパクトポイントを予測しており、回転数が増加した場合は典型的なバックスピンスピードを持つボールと比べて、同じ球速であってもボールが到達する位置が鉛直上方向にずれ、実際のボール位置より低い位置を打者がスイングするために正確性が低下すると報告している。さらに Higuchi et al.(2013b)は、上記の研究を踏まえバックスピンスピードが大きいボールに対応しようとして鉛直方向のズレを補正しようとした場合を想定し、ティーに置かれたボールの上を意図的に空振りした際のインパクトの正確性についても検討している。それによると、バックスピン速度に合わせて意図的にスイングを変化させても正確性は向上せず、垂直方向だけでなく水平方向にも正確性が低下すると報告している。こ

の他にもボールとバットが直衝突することを理想とし、インパクトの正確性をバットとボールの速度ベクトルがなす角(インパクト角)を用いて評価した研究などが有り、空間的正確性に関する研究はこれまでに多く行われている。一方で打撃のタイミングに関して工藤(1985)は、一般大学生を対象にボールがゲートを通過するタイミングに合わせて全力で異なる振り幅(90°, 47.5°, 15°)と異なる重さ(0.30kg, 1.05kg, 1.80kg)のバットをスイングさせるという課題と、ある振り幅である重さのバットを用いてスイングスピードを変化させてタイミングを一致させるという2つの課題を用いてスイング動作とタイミングの正確性について検討した。その結果、振り幅が大きくなると動作所要時間もそのばらつきも大きくなり、タイミングの正確性が低下して遅延傾向が見られた。重いバットを用いたほうが動作の所要時間が長くなったがばらつきは変化しなかった。また、スイングスピードが速い方が正確性が高いという結果になった。このことから、バット重量を軽くしてコンパクトにスイングすることで正確性の向上を期待する方策の妥当性が示された。また、スイング動作に関してはスピードとタイミングの正確性についてトレードオフの関係は見られないということが示された。勝又ら(1996)は、2種類の球速(34m/s, 21m/s)を設定し、各球速で投げられたボールを繰り返し投げる条件(繰り返し条件とする)とランダムで投げる条件(ランダム条件とする)で打たせ、その際の打撃フォームをフォロースルーも含めて6つの局面に分けて打者のタイミングの取り方を検討した。その結果、ランダムに投げる条件では、左右の脚が地面に及ぼす力の変化は球速が異なっても同じ時期に見られることから、打者は次の投球速度がわからない状況では予め速い方の球速に合わせて打撃の準備動作をしており、発射されたボールを見てステップ足の動作によってタイミングを合わせていると報告している。

1.3 投げられたボールに対する知覚

打者は、投手が投じたボールの挙動を目で認識しインパクトポイントと時刻を予測する必要がある。Bahill and Raritz(1984)は、眼球運動と頭部運動を組み合わせで打者がボールを見極める方策は3つのパターンが見いだされると示している。1つ目はホームプレートの3m前まで有効な眼球の追跡運動だけを用いる方策、2つ目はホームプレートの1.5m前まで有効な眼球の追跡運動と頭部の運動を組み合わせる方策、3つ目は最初眼球の追跡運動を用いるが途中で眼球を間欠的に動かす細動運動を用いてボールを追い越し、周辺視を用いながら追跡運動に戻る方法である。Watts & Bahill(2000)は、上記3つの方策を用いてメジャーリーガーがボールを追跡する運動について検討した。その結果、最も難しいとされる3つ目の方策を用いてボールを追跡していることが明らかとなった。それでもホームプレートの1.7m前まで視線が向かうベクトルと中心窩からボールに向かうベクトルのなす角(追跡誤差とする)が 2° の状態を追跡していたが、徐々になす角が大きくなり、0.6m以降は追跡誤差が 16° 以上、追跡誤差の角速度が $1100^\circ/\text{s}$ となり人間が追跡できる角度を大きく超えていたため、追跡できていなかったことも明らかにした。つまりこれらの方策を用いてもボールとバットがインパクトする瞬間までボールを見ていくことはできない。メジャーリーグの投手が投げるような 160km/h のボールがホームベースまで到達するのにかかる時間は 410ms である。このことに加え、上記の限られたボールを追跡する能力を考慮すると、ボールが投げられた最初の $150\text{-}200\text{ms}$ の間にボールの高さやスピードなどの目に見える情報を利用し、いつ、どこにボールが到達するのかを予測しているとGray(2002)は報告している。

1.4 打者が振り遅れる要因

1.4.1 実際の投手の投球

いかに速いボールが投手によって投げられたとしても、打者は繰り返しそのスピードのボールを目にすることでタイミング良く打つことができるようになる。一方投手はタイミングを外すためにストレート以外にも球速の異なる変化球を 1 種類以上投手は持っており、それらを組み合わせることで軌道の変化だけでなく球速に「緩急」をつける配球を用いて打者を打ち取ろうとする。Gray(2002)は、数多くの野球選手やコーチが、次に投手が投じるボールを予測するなどのボールの認識は打撃の成否に重要な役割を果たしていることを指摘し、その認識に球速の配球が影響を及ぼしていることを明らかにした。また Gray(2002)は、シミュレーションされた 2 種類の球速(約 140km/h と約 110km/h)をランダムに投じて打者に打たせた。その結果、約 140km/h のボールを打つ前に約 110km/h のボールを 3 球続けた方(図 1-2 S, S, S, F)が、約 140km/h のボールを 3 球続けた後(図 1-2 F, F, F, F)よりもタイミングの遅れが生じると報告している。打者は、2、もしくは 3 球同じ球速のボールが投じられると次も同じ球速のボールが投じられると予測していることをその理由に挙げている。つまり同じ球速のボールを続けて投げると打者はタイミングを合わせることができるが、球速差のあるボールを投げることで振り遅れさせることができる(図 1-2 縦軸はインパクの瞬間と推定される時刻からの遅れを表す)

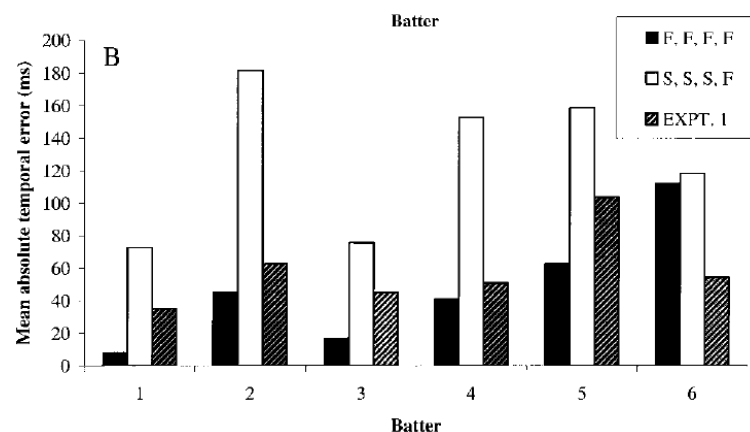


図 1-2 被験者ごとの配球と時間的誤差の関係 Gray (2002)より引用

1.4.2 バットの挙動

打者は投手が投じたボールに対してインパクトする位置とタイミングを予測し、それに合わせるようにバットをスイングしている。スイング開始地点から打者が予測したインパクトポイントまでの 2 地点間をバットが移動する際にバットの到達が遅れる要因はバットの挙動に着目するとスイング開始が遅れる、バットスイング中のヘッドスピードが遅い、スイング中にバットが移動する距離が長い、の 3 つが考えられる。また、振り遅れ打撃はタイミングよく打てた打撃と比べて、インパクトポイント(バットとボールが衝突した際のボールの位置)がキャッチャー側に推移し、バットが十分に投手方向を向く前にインパクトしてしまうと実際の指導現場では言われている。これらもまた、振り遅れの要因になり得ると考えられる。

1.5 本研究における意義・目的

これまで行われてきた野球における打撃の時間的正確性に関する研究は、打撃姿勢が実際の打撃とは大きく異なっていたり、ティー打撃によるものであったりシミュレーションによって推定されたボールの映像に合わせて行う打撃であった。そのため打者が実際に投げられたボールに対して打撃する際の方策としてそのまま応用できるとは考えにくい。しかし、実際に投げられたボールに合わせて打者が打撃を行っている際のタイミングについて検討した研究はこれまで行われておらず、打者がタイミング良く打撃できなかった要因も明らかとなっていない。そこで本研究では、タイミング良く打てなかった打撃のうち、タイミング遅れた試技に着目した。振り遅れた打撃の特徴が明らかとなれば、打者は打撃パフォーマンスの向上につなげることができ、投手は振り遅れさせるための方策を検討するためのヒントを得ることができる。そこで本研究の目的は、1 球前との球速差、スイング開始の遅れ、ヘッドスピード不足、スイング軌道の延長、インパクトポイントの後退、バット水平角の 6 つの要因に着目し、振り遅れた打撃の特徴を明らかにすることである。

第2章 方法

2.1 実験環境と機器

屋外グラウンドに設置された $3 \times 20 \times 2.8\text{m}$ のケージにて実験を行った。被験者の左右斜め正面（右打者の場合は一塁側ファウルグラウンド）の見やすい位置に 2 台の高速度カメラ（Vision Research 社製，Phantom Miro）を設置し，インパクトする瞬間を判別できるように打撃動作を 1250Hz で撮影した(図 2-1)。2 台の高速度カメラは，専用の同期システムを用いて同期させた。撮影された分析対象（ボールとバット）の位置と方位を定量化するための標認点の 3 次元座標は，DLT 法を用いて取得した。分析空間のキャリブレーションには， 30cm 間隔に 4 つのコントロールポイントがついた 120cm のポール 17 本で構成された放射状の較正器を用いた(図 2-2)。キャリブレーションにおける標準誤差は， $x = 1.83\text{mm}$ ， $y = 2.00\text{mm}$ ， $z = 1.56\text{mm}$ であった。ホームプレートの捕手側の頂点を原点に，鉛直上方向を Z 軸，捕手から投手方向を Y 軸，右バッターボックスから左バッターボックスに向かう方向を X 軸とする静止座標系を定義した。左打者の位置座標を右打者と同様に扱うために，左打者の分析では、X 軸成分の符号を反転させた。

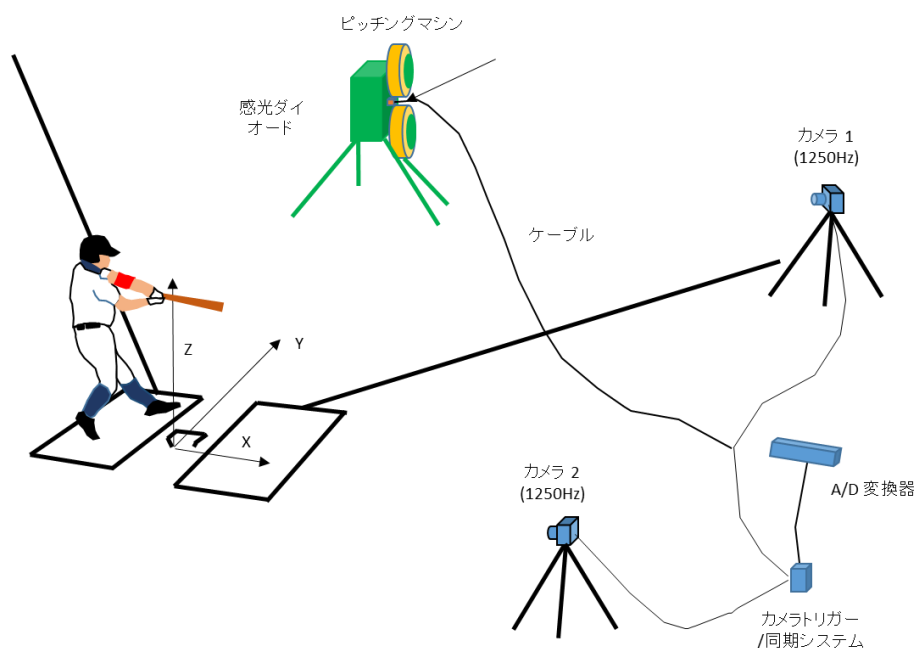


図 2-1 実験設定

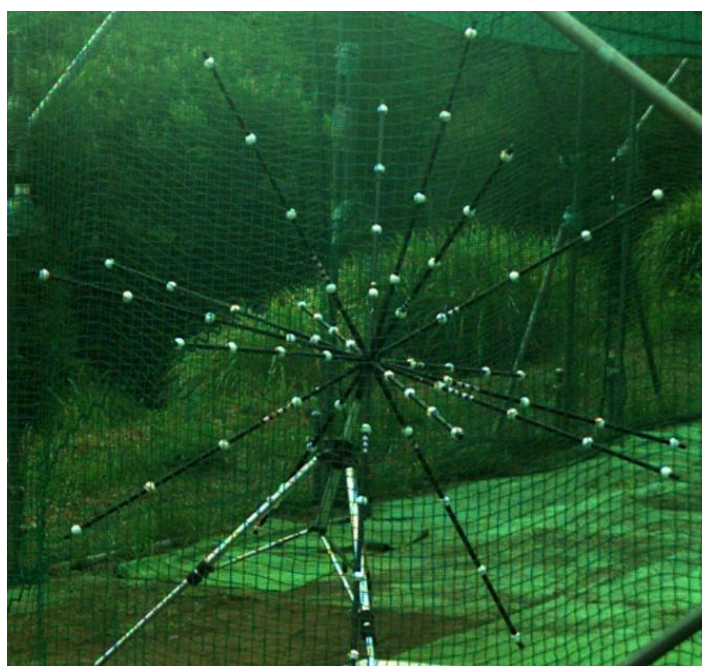


図 2-2 放射状の較正器

ボールの発射された時刻を取得するため、ピッチングマシンのボール発射位置に感光ダイオード（三恵機材社製，PLDM-10，図 2-3）を貼付した．感光ダイオードは，2つのフォトダイオードで構成されており，これらのフォトダイオードが検出した光の強さの違いを検知し，ある閾値以上になった際に電気信号を出力するよう設計されたものである．これをボール発射位置に固定しボールがセンサ前を通過する際に生じた光の変化を検出することにより，ボールの発射時刻を測定した．また，カメラのトリガー信号と感光ダイオードからの信号の相対時間を計測するために，感光ダイオードとカメラのトリガーを A/D 変換器（ADInstrument 社製，Powerlab/16SP）に接続し，専用ソフトを用いて感光ダイオードの信号とカメラのトリガー信号を記録した．



図 2-3 センサの貼付位置と感光ダイオードの受光部

2.2 被験者

現役大学野球選手 13 名を対象に実験を行った。被験者の身長は $1.75 \pm 0.04\text{m}$ 、体重は $72.7 \pm 7.0\text{kg}$ であった。いずれの選手も競技歴が 10 年以上の競技歴の高い選手であった。実験は、早稲田大学の人を対象とする研究に関する倫理委員会の承認を得た上で実施した。実験に先立ち、被験者には本研究の目的、実験方法、実施に伴う危険性などを十分に説明し、書面によって実験参加に対する同意を得た。

2.3 実験試技

被験者には十分にウォーミングアップを行わせた後、ドラム式マシンより発射された硬式ボール（半径 0.036m 、質量 0.148kg ）を硬式用金属バットで打たせた。打者がボールを打つ際に、ボールとバットがインパクトする位置（インパクトポイント）が被験者ごとにストライクゾーンの真ん中となるようにピッチングマシンの投球コースを調整した。試技は、 120km/h 、

130km/h, 140km/h の 3 種類の球速がそれぞれ繰り返し発射されるボールをセンター方向に打たせる球速公開条件と, 上記 3 球速のいずれが発射されるか予め知らせずに打たせる球速非公開条件を行った。球速公開条件では, 各被験者が自身の理想的な打撃とすることができる打球を各球速で 1 球ずつ記録できるまで繰り返し打たせ, 得られた試技を各被験者の **Best Hitting** とした。球速非公開条件では, 事前に各被験者に球速を知らせずに 3 種類の球速のいずれかで発射されるボールを, 予め設定しておいた投球順序に従い 31 球センターに向かって打たせた。投球順序は, 1 球前に投じられた球速と比較して球の球速の選択 5 つのパターン (①10km/h 増 ②20km/h 増 ③10km/h 減 ④20km/h 減 ⑤球速維持, 図 2-4) が考えられるため, それぞれの組み合わせが 6 回ずつ現れるように設定した。被験者には, 1 試技ごとにその打撃のタイミングに対して, 「早かった (Early Hitting)」「合っていた (Good Hitting)」「遅れた (Late Hitting)」のうちいずれに当てはまるかを評価させた。

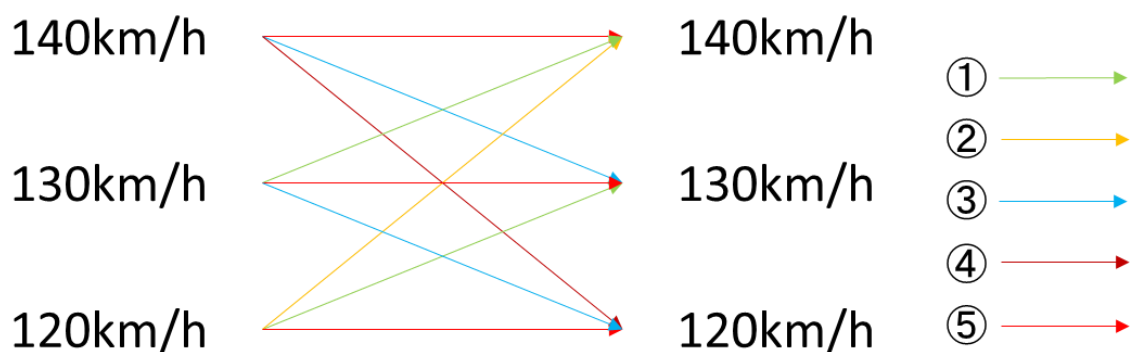


図 2-4 球速組み合わせの 5 つのパターン

実際に投手が投じるボールの回転軸は, ピッチングマシンより発射されるボールの回転軸とは異なると Jinji & Sakurai(2007)は報告している。図 2-5 のように定義した座標系においてボールの回転軸と XY 平面がなす角を仰俯角(φ), 仰俯角を XY 平面に投影したベクトルと X 軸のなす角を水平角(θ)として定義した。それによるとピッチングマシンより発射されたボールの回転軸は, 仰俯角, 水平角がともに非常に小さく, 進行方向に対してほぼ垂直であり水平面に対し

てほぼ水平であった．そこで Nagami et.al(2011)の報告を参考に，ピッチングマシンより発射されるボールの回転数を以下の回帰式を用いて大学熟練投手と近い値となるように調整した．

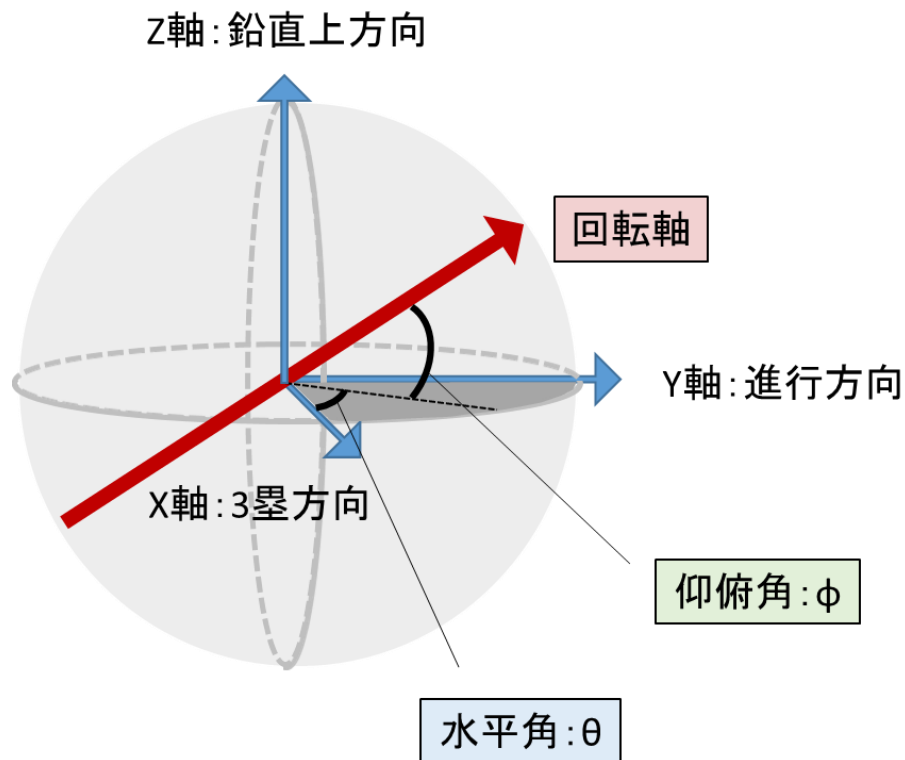


図 2-5 ボール座標系における回転軸の仰俯角 φ と水平角 θ

$$\omega_{\text{pitcher}} = 1.40 \cdot V_{\text{ball}} - 18.5$$

ω_{pitcher} は実際の投手が投じるボールの回転数[rps]， V_{ball} はボールのスピード[m/s]を表している． 140km/h では 35.9rps，130km/h では 32.0rps，120km/h では 28.2rps となる．そしてピッチングマシンより発射されるボールの回転軸が完全なバックスピンであると仮定し，熟練大学野球投手が投げるボールが受ける揚力と同じ大きさの揚力がボールに加わるように以下の式を用いて回転数を調整した．

$$\omega_{\text{machine}} = \cos \theta \cdot \cos \varphi \cdot \omega_{\text{pitcher}}$$

ω_{machine} はピッチングマシンより発射されるボールの回転数[rps]， θ と φ はそれぞれ仰俯角，水平角を表す．大学熟練投手の平均的な仰俯角は 19° ，水平角は 33° である．これらの数値を上記の式に投入し，最終的にピッチングマシンより発射されるボールの回転速度を 140km/h では

28.5rps, 130km/h では 25.4rps, 120km/h では 22.4rps となるように設定した.

また, 全打者の立ち位置が一定となるように軸足の位置を固定させた.

2.4 分析対象, 分析範囲

球速公開条件において各被験者が 3 つの球速で「納得できた」と評価した試技を 1 試技ずつ計 39 試技得た. 球速非公開条件においてタイミングが「遅れた」「合っていた」と被験者が評価した試技を全球速合わせて 259 試技得た. 分析対象は, 両条件において得られた 298 試技である. 分析範囲は, バットスイング開始の瞬間からボールとバットがインパクトするまでとした. なお, スイング開始の瞬間は, バットヘッドとグリップエンドのスピードの合計が 5m/s 以上となった時刻とした. また, センサの不調によってボール発射の時刻を計測できなかった試技を除外した.

2.5 算出項目と算出方法

(1) 位置座標とスピード

画像解析ソフトウェア (DKH 社製, Frame Dias-V) を用いて, 高速度カメラで撮影した映像から標認点 (ボール中心, バットヘッド, グリップエンド) の二次元座標を計測し, DLT 法により各標認点の三次元座標を算出した. 算出された座標データを用いてバットヘッドスピード, グリップエンドスピードを算出した. インパクトから遡って 7 フレーム前と 6 フレーム前のバットヘッドの位置座標の midpoint から 2 フレーム前と 1 フレーム前の位置座標の midpoint までの変位を 5 フレーム分の時間で除すことでインパクト前 5 コマ(0.005s)の平均値として算出した速度の絶対値をインパクト前のヘッドスピードとした. また, インパクトから 5 フレーム後と 4 フレーム後のボールの位置座標の midpoint から 2 フレーム前と 1 フレーム前のボールの位置座標の midpoint までの変位を 3 フレーム分の時間で除すことでインパクト前 3 コマ(0.005s)の平均値として算出した速度の絶対値をインパクト後の打球スピードとした.

(2) スイング時間とスイング距離

ボールが発射された時刻（ボールリリース時刻）を **time=0** として、スイングが開始された時刻（スイング開始時刻）までの時間（スイング準備時間）と、スイングが開始されてからインパクトまでの時間（スイング時間）を算出した。また、それらを合計したリリースからインパクトまでの時間を全体時間として算出した(図 2-6)。スイング時間内にバットヘッドが移動した距離をスイング距離とした。スイング軌道の変化を算出するために、当該被験者の Best Hitting のスイング距離と各 Late Hitting におけるスイング距離との差をスイング距離差とした。

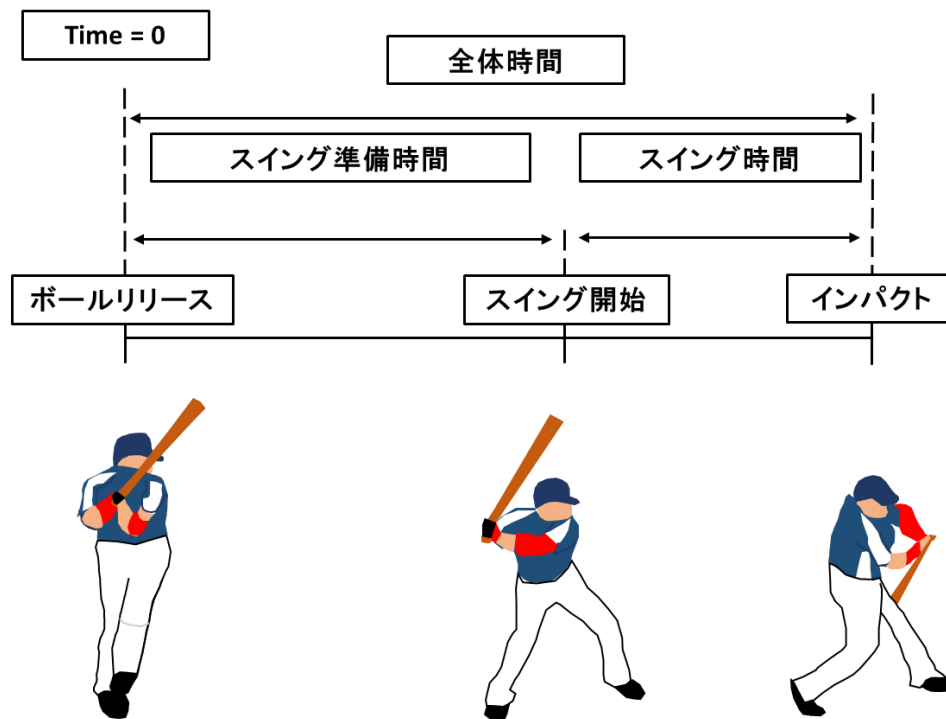


図 2-6 動作イベントの時系列

(3) バット水平角

各試技のインパクト時における XY 平面上でのバット姿勢をバット水平角として算出した。バット水平角はグリップエンドからバットヘッドに向かうベクトルと X 軸とのなす角として定義した。(図 2-7)

(4) インパクト時のボール位置

各試技のインパクト時刻におけるボール中心の位置座標の Y 成分をインパクト時のボール位置(インパクトポイント)とした。また、空振りをしてボールとバットのインパクトが起きなかった試技は、ボールの Y 成分とバットヘッドの Y 成分の差が最小となった時刻の 1 フレーム前をインパクトした時刻とし、その際のボールの位置座標をインパクト時のボールの位置座標とした。振り遅れた試技のインパクトポイントと理想打撃におけるバット位置との差を算出し、これをインパクトポイント差とした。(図 2-7)

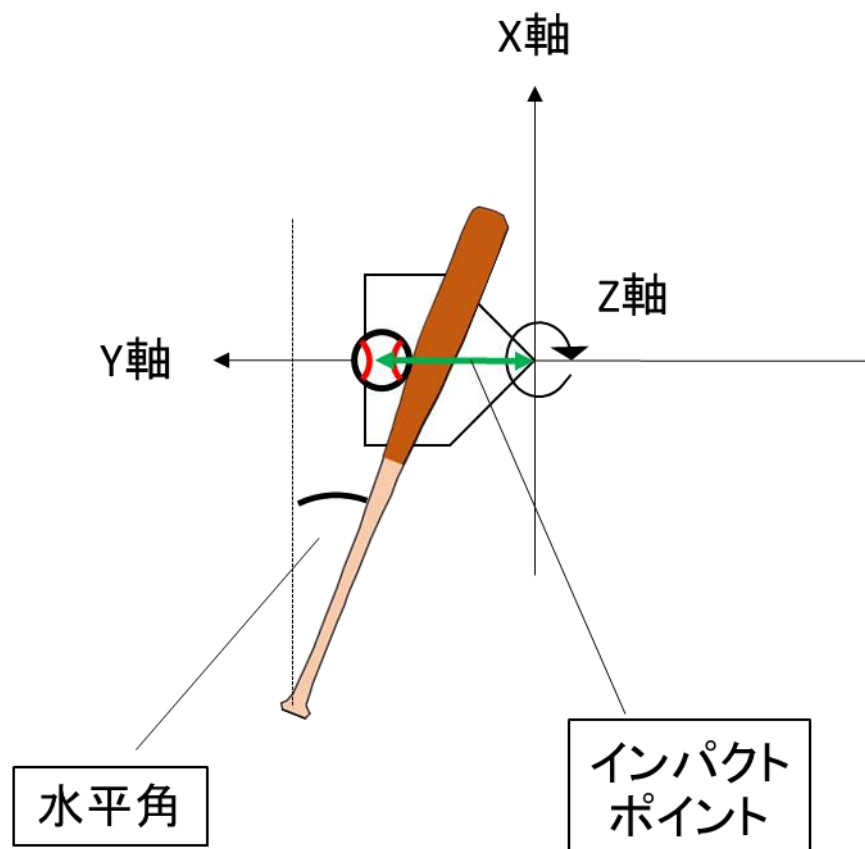


図 2-7 水平角とインパクトポイントの定義

(5) 打球方向

インパクト後の打球速度を用いて打球の左右角と打球の上下角を算出した。XY 平面上において打球の速度ベクトルと Y 軸とのなす角を左右角として定義し、YZ 平面上における打球の速度ベクトルと Y 軸のなす角を上下角として定義した(図 2-8)。なお、左右角は 1 塁線方向が 0° となるように調整した。

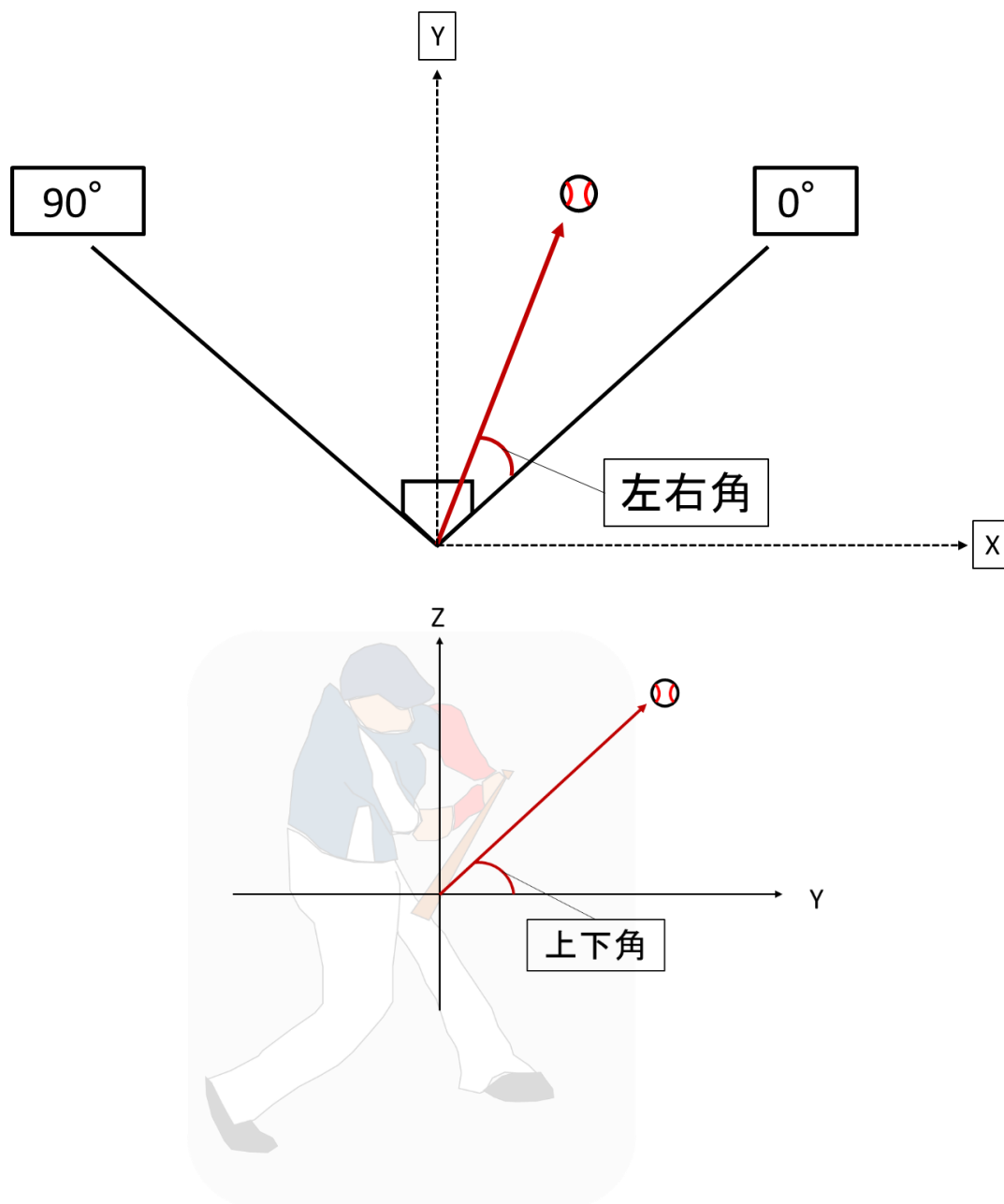


図 2-8 左右角と上下角

2.6 データの平滑化

Tabuchi et al. (2007) は、天井から吊り下げた通常の野球ボール打たせた場合と質量が非常に小さいポリスチレン製のボールを打たせた場合でインパクトを含むスイング全体を対象にヘッドスピードの推移の違いについて検討した。それによると、ポリスチレン製のボールを打たせたほうがインパクトによる衝撃が非常に小さかったため、インパクトによる減速は見られなかった。また、ヘッドスピードの最大値はインパクトの約 10ms 後に出現した。しかし、通常の野球ボールでは、質量が大きいためインパクト時の衝撃が大きく、バットのヘッドスピードが大きく減少した。また、ヘッドスピードの最高速度はインパクトの瞬間に出現した。これらのことを踏まえると、実際の打撃ではインパクト直前までバットヘッドスピードは増加し続けるはずである。しかし、インパクトの瞬間を含むヘッドスピードのデータを遮断周波数を 14.9Hz に設定した上で平滑化すると、生データよりもインパクトの約 9.5ms 前にヘッドスピードの最大値が出現しそこからインパクトまでは減速するという結果になった。インパクト前に最大値が現れることについて Tabuchi et al.(2007)は、フィルターの影響を挙げている。インパクトによる急激な減速を含むデータに平滑化を行うと、その減速がインパクト直前のデータに反映され平滑化されすぎてしまうと考えられる(図 2-9)。そこでインパクトの 1 コマ前までのバットヘッドの位置座標データのみを対象として平滑化を行った。その際に時系列データの両端に系統的な平滑化誤差が生じることを防ぐため、インパクト前 25 フレーム分のデータに対して点对称となるデータをインパクト前の最後のフレームのデータを中心にインパクト後のデータとして仮想的に加えた。平滑化には 4 次のバターワース型ローパスフィルターを用い、遮断周波数は 15Hz とした。本研究では全試技に対して同じ遮断周波数を用いたが、平滑化されすぎたりすることはなかった。その結果の XY 平面上における位置座標の典型例を以下の図 2-10 に示す。青いプロットは平滑化後のバットヘッドの位置座標を表し、オレンジのプロットは平滑化前のヘッドの位置座標を表す。平滑化前と平滑化後のサンプリング周波数が異なるため、両データ間である時刻における Y 座標の差が最小となる位置での X 座標の差を算出したところ、最大でその差は

0.009mであった. よって本研究において設定した遮断周波数は妥当な値であったと考えられる. インパクトまでの位置座標データのサンプリング周波数 (1250Hz) と, A/D 変換器で得られる信号のサンプリング周波数 (1000Hz) は異なることから, 位置座標データを 1000Hz として扱えるよう線形補間を行った.

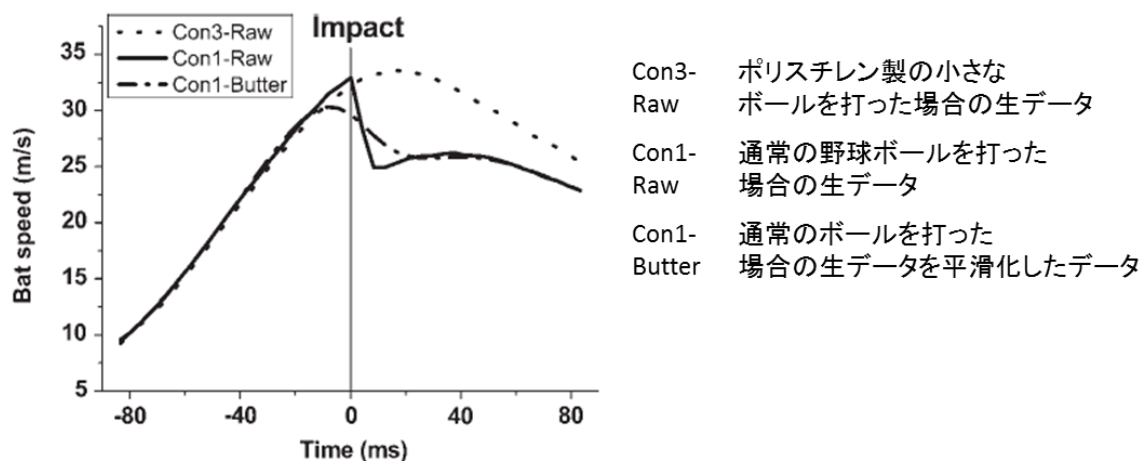


図 2-9 インパクトを含むデータの比較 Tabuchi et al. (2007)から引用

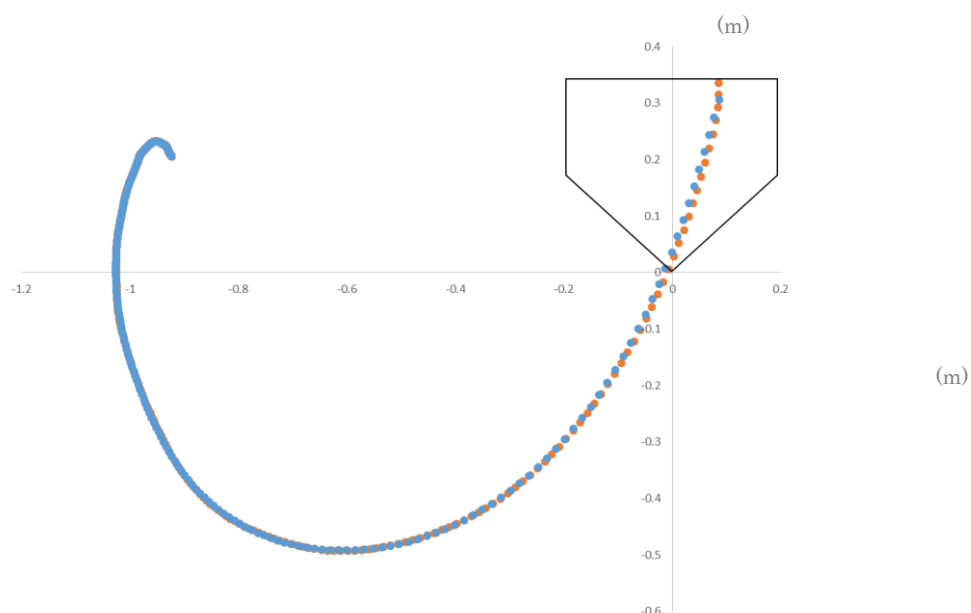


図 2-10 バットヘッド位置座標の生データ(オレンジ)と平滑化後データ(青)の比較

2.7 統計処理

打者が振り遅れやすい投球条件を明らかにするために、各タイミング評価に当てはまる試技数を投球条件別に算出し、カイ 2 乗検定を用いて比較した。

各打者が各球速において Best Hitting, Good Hitting, Late Hitting の評価がついた試技を被験者ごとに抽出し、各変数について算出した平均値を各被験者の当該組み合わせにおける代表値とした。また、それぞれの球速と評価の組み合わせ(140km/h の Good Hitting, 130km/h の Late Hitting など)に当てはまる試技が 1 試技以上収集できなかった被験者についてはデータの対応が取れないため除外した。また、Good Hitting が試技中に見られたもののセンサの不調によって Good Hitting を分析できない被験者 1 人がいた。120km/h が投じられた際に Late Hitting を収集できた被験者は 13 人中 3 人しかいなかったため、統計的に信頼できるサンプル数が得られなかったと判断し、120km/h が投じられた試技は統計処理を行わなかった。

振り遅れ打撃の特徴を明らかにするために、球速公開条件と球速非公開条件内で得られた Best Hitting, Good Hitting, Late Hitting について被験者ごとに対応のある 1 要因分散分析を球速ごとに行った。主効果が見られた場合は多重比較検定として Bonferroni 法を用いて比較した。

第3章 結果と考察

3.1 投げられたボールのスピード

本研究における投球速度の設定は初速度であり、実際に打者がインパクトする位置に到達するまでに空気抵抗の影響を受けて減速する。各球速で投げられたボールの終速の平均値と標準偏差を図 3-1 に示す。Jinji & Sakurai (2007) によると、ピッチングマシンより発射されるボールのスピードは平均で初速度の 90.8%(約 3.2m/s)まで減速する。つまり、初速度を 38.9m/s (140km/h), 36.1m/s(130km/h), 33.3m/s(120km/h)に設定した場合、終速は 35.3m/s, 32.8m/s, 30.2m/s になると考えられる。実際に各被験者に投げられたボールの終速は、それぞれ 34.6m/s, 32.1m/s, 30.7m/h であった。これらすべての球速間に有意差が見られた($p<0.05$)。また各速度条件における変動係数は、0.03-0.05 と非常に小さかった。これらのことから、本研究における実験において投球されたボールの球速は設定通りに 3 つの球速に分類されており、各速度条件における再現性が高いことが確認された。

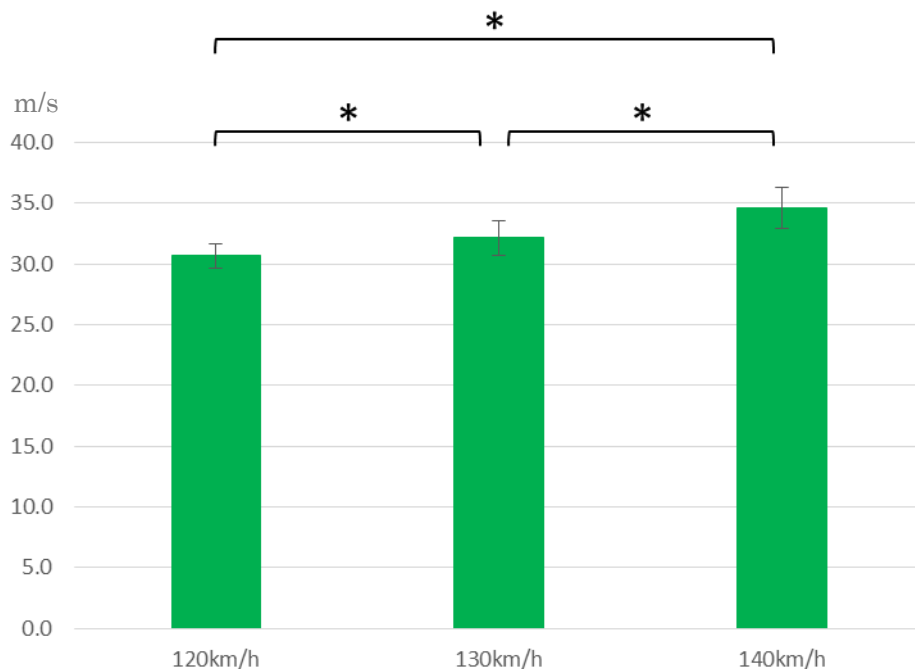


図 3-1 投げられたボールの終速

3.2 投げられたボールのコースと高さ

本研究では、ピッチングマシンより発射されるボールのコースがストライクゾーンの真ん中となるように設定した。公認野球規則ニ、七四において正規のストライクゾーンは、「打者の肩の上部とユニフォームのズボンの上部との中間点に引いた水平のラインを上限とし、ひざ頭の下部のラインを下限とする本塁上の空間をいう。」と定められている。本研究における静止座標系は、ホームベースの最も捕手寄りの点を原点に右打席から左打席方向に X 軸、捕手から投手方向に Y 軸、鉛直上方向に Z 軸となるように定義した。そのためボールのコースはボールの位置座標の X 成分で表され、ボールの高さは Z 成分で表される。つまりインパクト時のボールの位置が X 軸上で 0m 付近がボールコースの真ん中となる。また投げられたボールの高さの真ん中は、田子ら(2006)が打撃姿勢に基づいて被験者の身長を基準に分けた範囲によると $48.2 \pm 2.6\%$ の範囲であるとされる。低めは $33.0 \pm 1.5\%$ であるとしている。本研究における被験者の平均身長は 1.75m であるため真ん中は 0.80-0.89m の間となる。実際に投げられたボールのインパクト時の位置を図 3-2 に示す。コースは $-0.03 \pm 0.10\text{m}$ 、高さは $0.77 \pm 0.13\text{m}$ であった。全試技から算出した平均値と比較すると真ん中とされるコースより若干低かったが、すべての被験者において同様の傾向を示していた。これらのことから、本研究におけるデータ収集の中で投げられたボールは、コース、高さともに真中付近に投げられていたと考えられる。

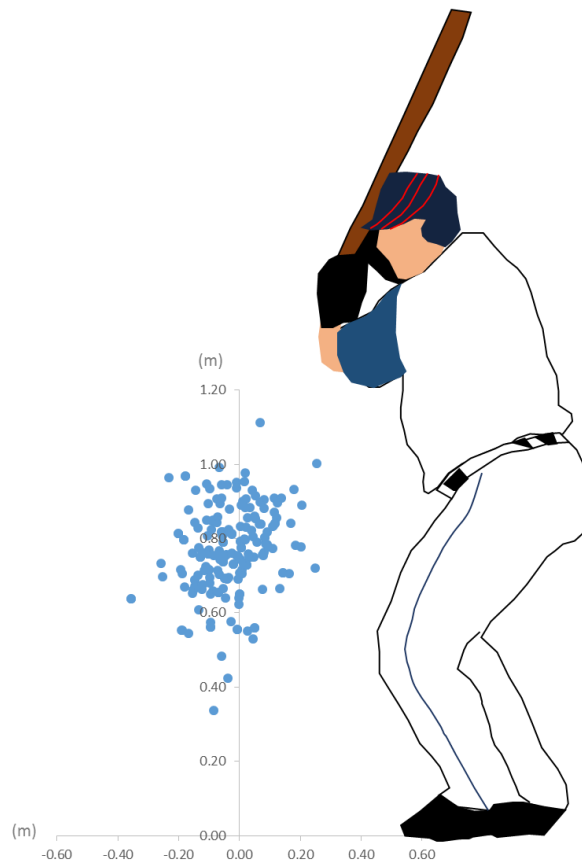


図 3-2 投げられたすべてのボールのコース

3.3 タイミング評価に対する試技数の影響

本研究では、被験者 1 人あたり 31 球打たせた。そのため試技を重ねるにつれて球速差に慣れてしまい、試技区間同士で Good Hitting, Late Hitting の発生回数に差が出るのが考えられる。そこで被験者が試技を重ねるごとに球速差に対する慣れの程度が変化したかを検討するために、1 人の被験者に投げられる 31 球を 10 球ずつ 2-11, 12-21, 22-31 球目の 3 つの区間に分け、区間ごとに Good Hitting 試技数, Late Hitting 試技数の試技数を算出した(図 3-3)。なお 1 球目は前に投球されたボールが無いため除外した。その結果、それぞれの区間における平均試技数は Good Hitting が 2, 3, 3 回, Late Hitting は 4, 4, 4 回であった。この結果は試技数を重ねても球速差に対する慣れの程度に変化は起きていなかったことを示している。よって本研究

では試技を重ねることで慣れの程度に差は生まれなかったとする。

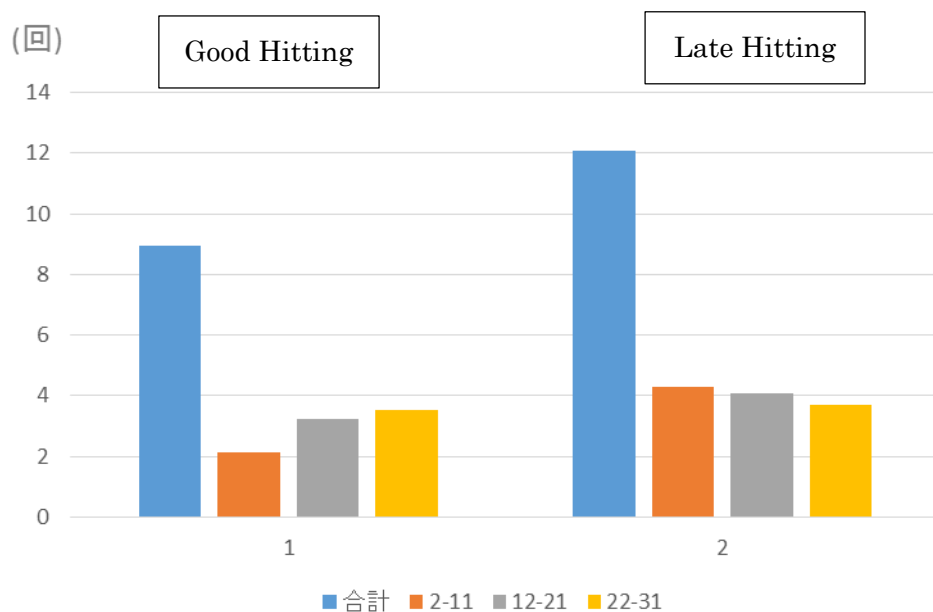


図 3-3 試技区間ごとの Good Hitting と Late Hitting 試技数の比較

3.4 バットヘッドスピードの時系列変化

本研究における打者のヘッドスピード時系列変化の典型例を(図 3-4)に示す。緑の線が Best Hitting, 青い線が Good Hitting, 赤の線が Late Hitting におけるある打者のヘッドスピードの時系列変化を示している。ヘッドスピードは、どの打者においてもインパクトの約 0.1s 前から急激にヘッドスピードが上昇し、インパクトするまで減速することなくバットが加速していたことを示している。またどの被験者においてもインパクト直前にスイングの最大値が見られたため、本研究ではインパクト直前のバットヘッドスピードに着目して比較を行うこととする。

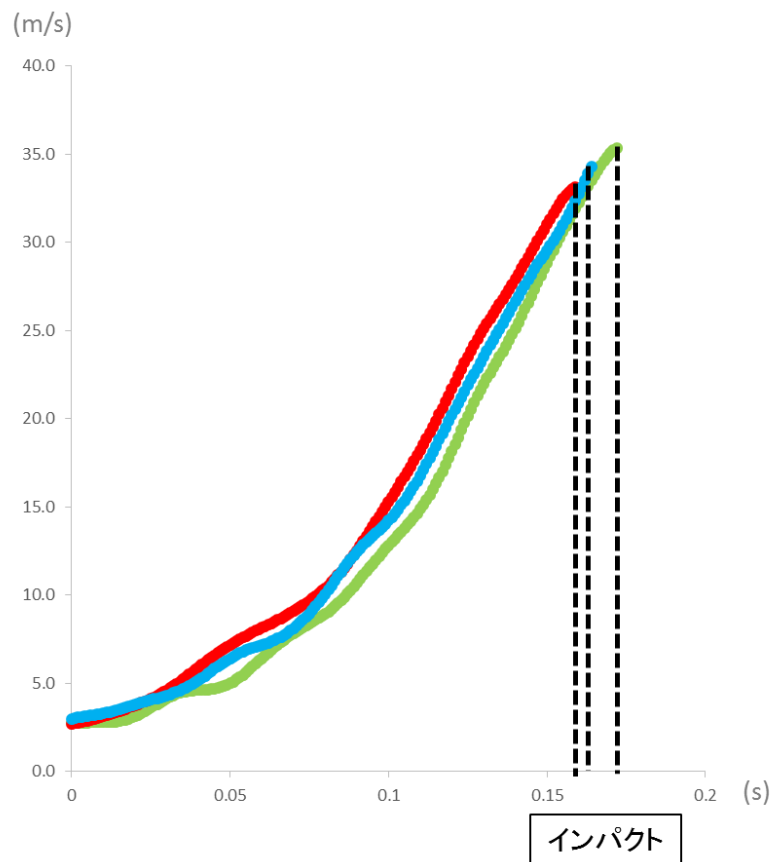


図 3-4 スイング開始からインパクトまでのヘッドスピードの時系列変化の比較

3.5 スイング開始位置

全被験者の Best Hitting, Good Hitting, Late Hitting におけるスイング開始時のバットヘッドの XY 平面上での平均位置と標準偏差を図 3-5 に示す。緑は Best Hitting, 青は Good Hitting, 赤は Late Hitting を示す。X 成分における平均値の差は Best Hitting から見て Good Hitting は 0.01m, Late Hitting は 0.01m, Y 成分における差は Best Hitting からみて Good Hitting は 0.01m, Late Hitting は 0.04m, Z 成分における差は Best Hitting からみて Good Hitting, Late Hitting とともに 0.01m 未満であった。

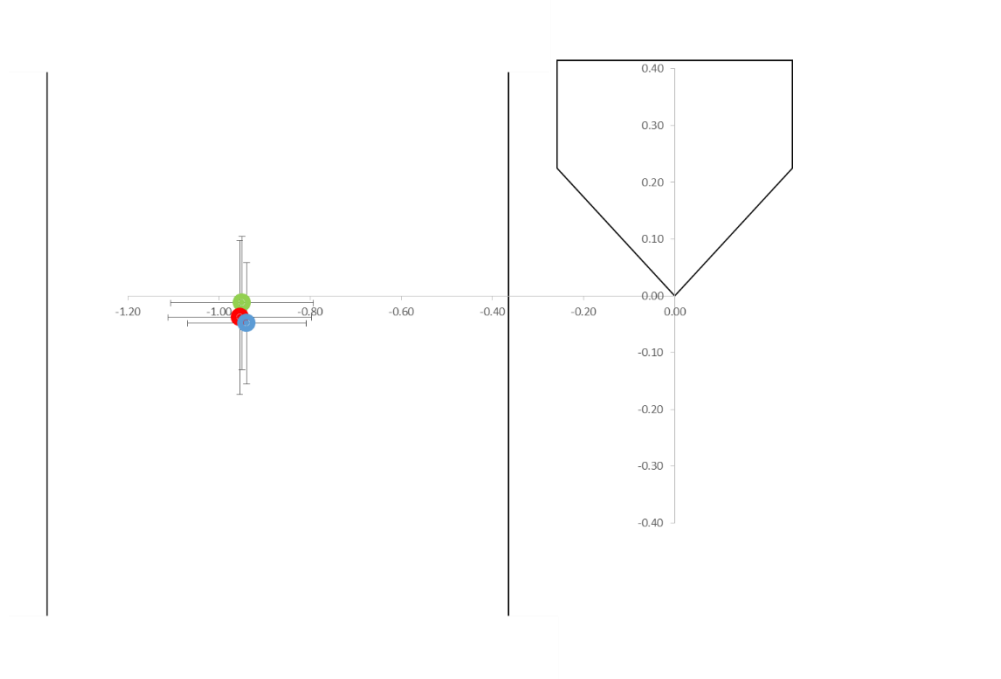


図 3-5 Best Hitting(緑), Good Hitting(青), Late Hitting(赤)のスイング開始位置

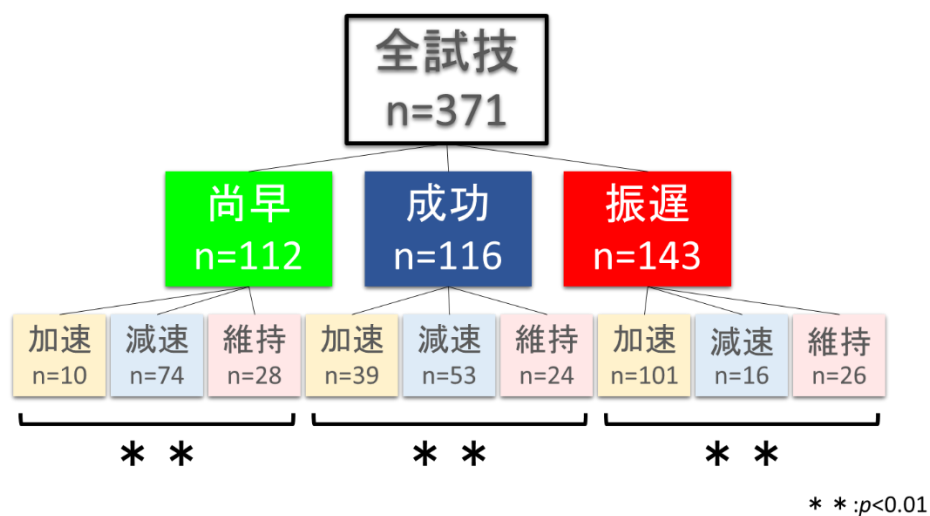
3.6 振り遅れ打撃の特徴

3.6.1 投球条件

球速非公開条件で得られた総試技数は、センサの不調などによって計測できなかった試技を除く 371 試技であった。その内訳をタイミング評価別、投球条件別に図 3-6 に示す。そのうち打者が、タイミングが「早かった(尚早)」と評価した試技が 112 試技、「合っていた(成功)」と評価した試技が 116 試技、「遅れた(振遅)」と評価した試技は 143 試技であった。カイ 2 乗検定の結果、これらの試技数間に有意な差は見られなかった。成功試技のうち、1 球前と比べて速いボールが応じられた場合が 39 試技、遅いボールが投じられた試技は 53 試技、同じ球速の場合が 24 試技であった。これらの試技数間に有意な差が見られ 1 球前よりも遅いボールが投じられた場合にタイミング良く打てた試技が最も多かった。一方振り遅れ打撃のうち 1 球前と比べて速いボールが応じられた場合が 101 試技、遅いボールが投じられた試技は 16 試技、同じ球速の場合が 26 試技であった。これらの試技数間に有意な差が見られ、1 球前と比べて速いボールが投

じられた際に振り遅れた試技が最も多かった。また、1球前よりも球速が早かった場合のうち140km/h が投じられた試技が多かった。また、1球前よりも10km/h 速いボールが投じられた場合と20km/h 速いボールが投じられた場合の試技数間に有意な差は見られなかった。同じ球速が投じられた場合でも球速ごとの試技数間に有意な差が見られ140km/h のボールが続けて投じられた場合の試技が最も多かった。

球速非公開条件で得られたタイミングに関する各評価に当てはまる試技数間に差が見られなかったことは、本研究における球速設定が妥当であったことを示している。その中で1球前よりも速いボールが投じられた場合に振り遅れ打撃が最も多かったこと、10km/h 速くなった場合と20km/h 速くなった場合の試技数間に差が見られなかったことから、打者は1球前よりも速いボールが投じられた際に振り遅れやすいことを示しており、球速差の程度は影響しないと推測される。



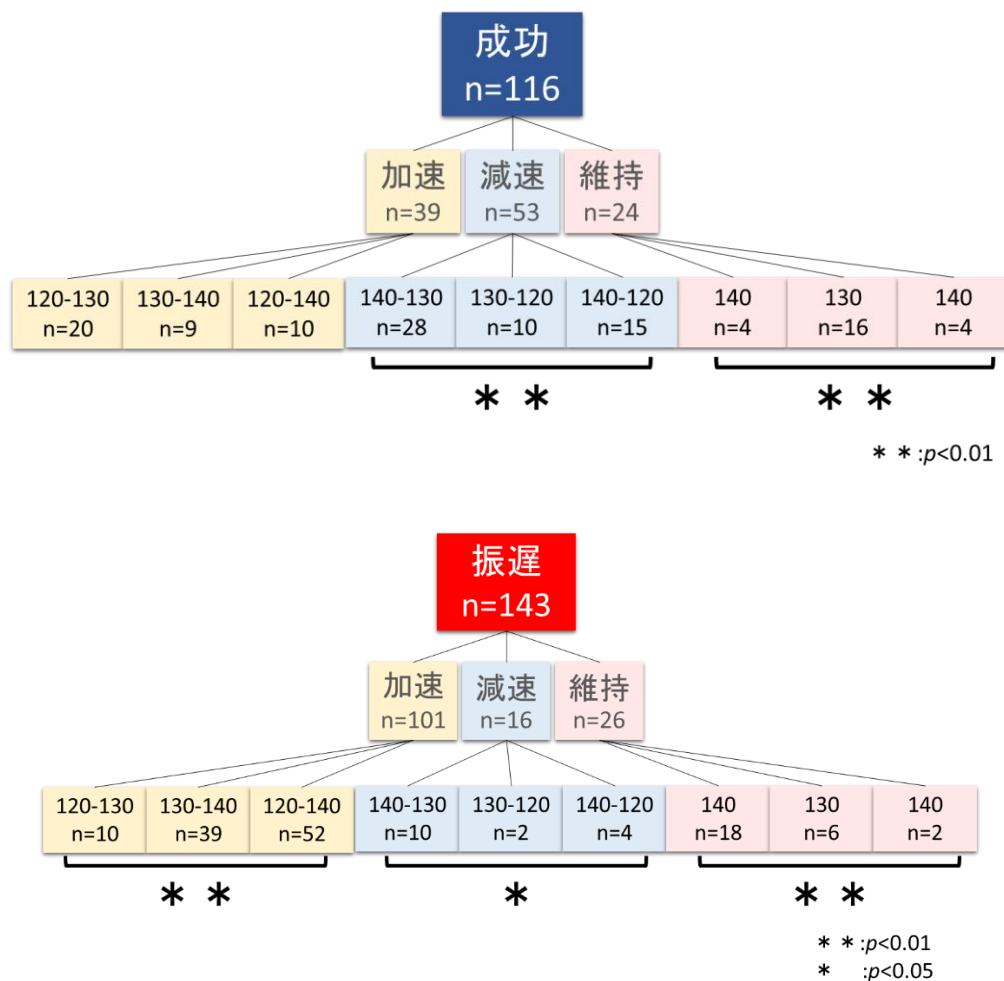


図 3-6 各タイミング評価に当てはまる投球条件ごとの試技数

3.6.2 バットの運動

Best Hitting と Good Hitting と Late Hitting における各変数の平均値と標準偏差を球速ごとに図 3-8 に示す。また、分散分析の結果を表—に示す。その結果、140km/h、130km/h の両球速が投げられた場合において全体時間(F(2,10)=2.846)を除くスイング準備時間(F(2,10)=6.201, $p<0.01$), スイング時間(F(2,10)=13.628, $p<0.01$), ヘッドスピード(F(2,10)=10.043, $p<0.05$), 水平角(F(2,10)=18.791, $p<0.01$), インパクトポイント(F(2,10)=15.561, $p<0.01$)に主効果が見られた。

表 3-1 各変数の結果

		スイング準備 時間(s)	スイング時間(s)	全体時間 (s)	ヘッド スピード(m/s)	スイング 距離(m)	水平角 (°)	インパクト ポイント(m)
140km/h	Best	0.313±0.029	0.167±0.02	0.48±0.025	35.3±2.4	2.54±0.15	1.2±9.2	0.47±0.10
	Good	0.328±0.022	0.166±0.018	0.493±0.019	34.1±1.4	2.48±0.20	-7.4±10.6	0.34±0.20
	Late	0.342±0.019	0.153±0.009	0.495±0.019	32.8±1.0	2.23±0.19	-25.5±8.6	0.11±0.21
130km/h	Best	0.335±0.022	0.177±0.025	0.511±0.026	35.8±2.6	2.73±0.18	8.1±8.7	0.55±0.22
	Good	0.342±0.021	0.168±0.014	0.510±0.021	34.0±1.2	2.55±0.10	2.9±8.5	0.44±0.13
	Late	0.356±0.026	0.161±0.016	0.517±0.017	32.5±1.5	2.36±0.19	-17.6±11.2	0.19±0.19

事後検定の結果、Late Hitting は Best Hitting, Good Hitting よりもスイング準備時間は長く (140km/h BH:0.313±0.029s , GH:0.328±0.022s & LH:0.342±0.019s , 130km/h BH:0.335±0.022s , GH:0.342±0.021s & LH:0.356±0.026s), スイング時間は短かったことが示された (140km/h BH:0.167±0.02s , GH:0.166±0.018s & LH:0.153±0.009s , 130km/h BH:0.177±0.025s , GH:0.168±0.014s & LH:0.161±0.016s). また, Late Hitting は Best Hitting, Good Hitting よりもヘッドスピードは遅くなり (140km/h BH:35.3±2.4m/s, GH:34.1±1.4 m/s & LH:32.8±1.0 m/s, 130km/h BH:35.8±2.6 m/s, GH:34.0±1.2 m/s & LH:32.5±1.5 m/s), スイング距離は短くなり (140km/h BH:2.54±0.15m, GH:2.48±0.20m & LH:2.23±0.19m, 130km/h BH:2.73±0.18m, GH:2.55±0.10m & LH:2.36±0.19m), 水平角は小さくなって (140km/h BH:1.2±9.2° , GH:-7.4±10.6° & LH:-25.5±8.6° , 130km/h BH:8.1±8.7° , GH:2.9±8.5° & LH:-17.6±11.2°)十分に投手方向を向く前に、キャッチャー側に後退した位置でインパクトしていた (140km/h BH:0.47±0.10m, GH:0.34±0.20m & LH:0.11±0.21m, 130km/h BH:0.55±0.22m, GH:0.44±0.13m & LH:0.19±0.19m).

以上より、振り遅れた打撃の特徴は、スイング開始のタイミングが遅れたためにバットを十分に加速させ、想定したインパクト位置までバットを移動することができなかった打撃のことと考えられる。工藤(1984)は、ジャンプなどの大筋群を動員する動作においてタイミングが遅れる要因は、見越し反応における誤差の影響だと報告している。その中で、スポーツ技術で用いられるタイミング動作はバリスティックなものであり、動作開始後の調整はほぼ不可能に近いと

外的な事象に対するタイミングの見越しとそれに合わせて行う自分の動作時間に対する見越し反応が必要となると述べている。その 2 つの見越しのうち自分の動作時間に対する見越しの誤差がタイミングの誤差に強く影響していると動作時間が異なるジャンプ動作の実験結果から示唆している。本研究におけるスイング動作も一旦スイングが始まると調整することは難しい。しかし、本研究における被験者のスイング時間は 140km/h と 130km/h の両球速の Best Hitting, Good Hitting においてほぼ同じ (140km/h BH:0.167±0.02s GH:0.166±0.018s, 130km/h BH:0.170±0.025s GH:0.168±0.014s)であったため、球速にかかわらず打者のスイングはほぼ一定の時間で行われており打者自身のスイング動作時間に対する見越しの正確性は高かったと考えられる。各被験者の 140km/h と 130km/h のボールが投げられた際の Best Hitting, Good Hitting のスイング時間の平均値と標準偏差を図 3-7 に示す。各打者のスイング時間の標準偏差における平均値は 0.0008s であったため、球速が分からない状況でもタイミング良く打てた試技のスイング時間は各打者において概ね一定であったと考えられる。また標準偏差が比較的大きかった被験者(Sub.7 & Sub.13)は、被験者内で見た場合にスイング時間が平均値よりも比較的に長い試技が含まれていた被験者であった。そのような試技の影響を受けて平均値や標準偏差が大きくなったと考えられる。またこのような試技は、1 球前よりも遅いボールが投げられた試技であったため、打者はスイング中にインパクトするタイミングを修正している可能性があると考えられる。これらのことを踏まえると、本研究における被験者には配球などを考えて予測せず投げられたボールに反応して打つように教示したため、1 球ごとに投げられたボールのスピードを判断して自らのスイング時間を考慮した上でスイングを開始していたと考えられる。打者が判断したボールのスピードと実際に投球されたボールのスピードとの差(予測誤差とする)が比較的小さい場合は、スイング開始の時刻が適切であったためにタイミング良く打てた。しかし、予測誤差が大きい場合のうちボールスピードを実際よりも遅いと判断しインパクトする時刻を遅く予測していた場合は、スイングを開始する時刻が遅くなり振り遅れたと考えられる。その際ボールは打者の予測よりも早くインパクトポイントに到達したが、バットは未だそこに到達し

ておらず，そこから更にボールがキャッチャー方向へ進んだ位置でスイング途中のバットとインパクトしたものと考えられる．森下ら（2013）は，バットヘッド速度に対する体幹及び上肢のキネマティクスの貢献を算出した．それによるとインパクト直前のヘッド速度を増加させるには，スイング局面の始動期においては肩関節の回転速度を極力小さくして，バットとボールがインパクトするまでにバットヘッドが移動する距離を確保することが重要であると報告している．本研究においては打者の身体運動については分析を行っていないが，同じ位置からスイングを開始してもその開始のタイミングが遅れていたことで十分なスイング時間を確保できなかったため，ヘッドスピードは小さくなり，スイング距離は短くなり，バットはキャッチャー方向を向いたままインパクトしたと考えられる．

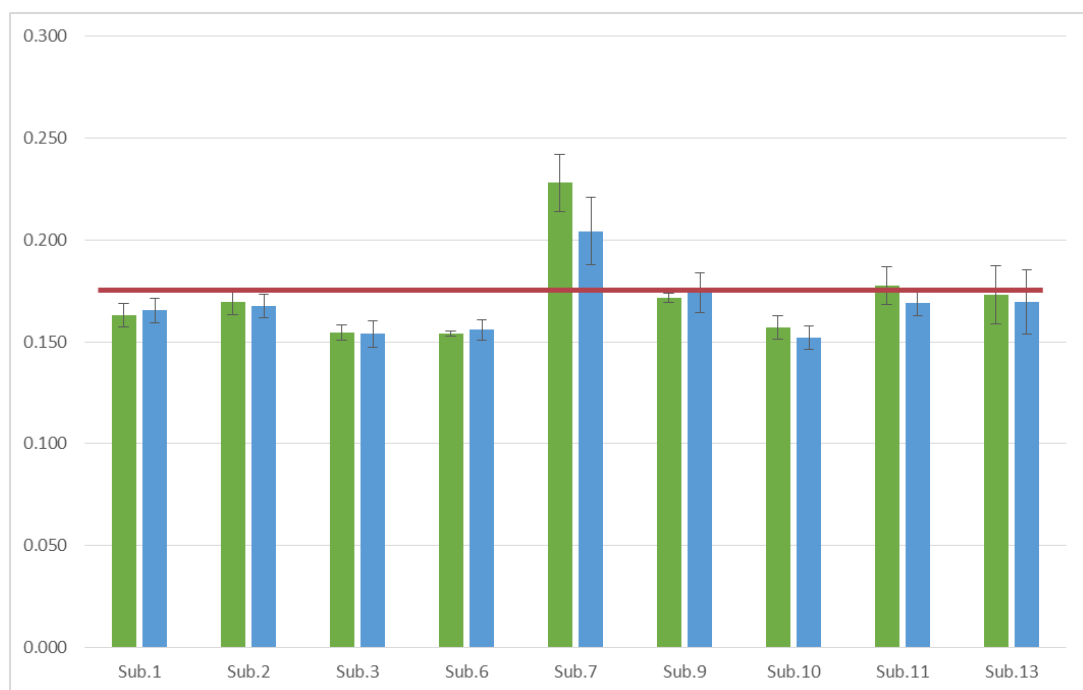


図 3-7 各打者における Best Hitting(緑)，Good Hitting(青)のスイング時間の平均
(赤線は対象となった被験者の平均値を表す)

事後検定において有意な差は見られなかったものの，Best Hitting と Good Hitting における測定値の違いは，球速が予め分かっていることによる影響を示すものである．勝又ら(1996)は，

2種類の球速を1種類ずつ繰り返し投じる条件とランダムに投じる条件で打たせた際、被験者及び指導者の主観査定によって被験者自身のフォームでタイミング良く打てたとみなされた試技における両足の地面反力を計測した。計測した地面反力の変化の様子から以下の2つのことを示した。1つ目は、投じられる球速がわかっている場合、投じられる球速に合わせて予めインパクトするタイミングを予測しており速い球速に比べて遅い球速はスイング開始のタイミングを遅らせていることである。2つ目は、球速が分かっていない状況では、ボールが来るまでの時間と自分のスイング時間を考慮して球速に合わせたタイミングでスイングを開始していることである。Best Hitting と Good Hitting の間のスイング準備時間の平均値の差 (140km/h BH: 0.313 ± 0.029 & GH: 0.328 ± 0.022 , 130km/h BH: 0.335 ± 0.022 & GH: 0.342 ± 0.021) は、予め球速が分かっていなかったことによる遅れの差である。この差は、ボールのスピードを判断しインパクト位置とインパクトのタイミングを予測するために要した時間(投球判断時間とする)を指していると考えられる。また、Good Hitting と Late Hitting の間の平均値の差は、投球判断時間の増加に加え、打者が投じられたボールのスピードを過小評価していたためにスイング準備時間が遅れたことによって起きている遅れを含むと考えられる。つまり振り遅れ打撃は、打者が球速を予め分かっている状況と比べて、球速がわかっていないことによる遅れと球速を遅く判断したことによる2つの遅れを含んでいると考えられる。

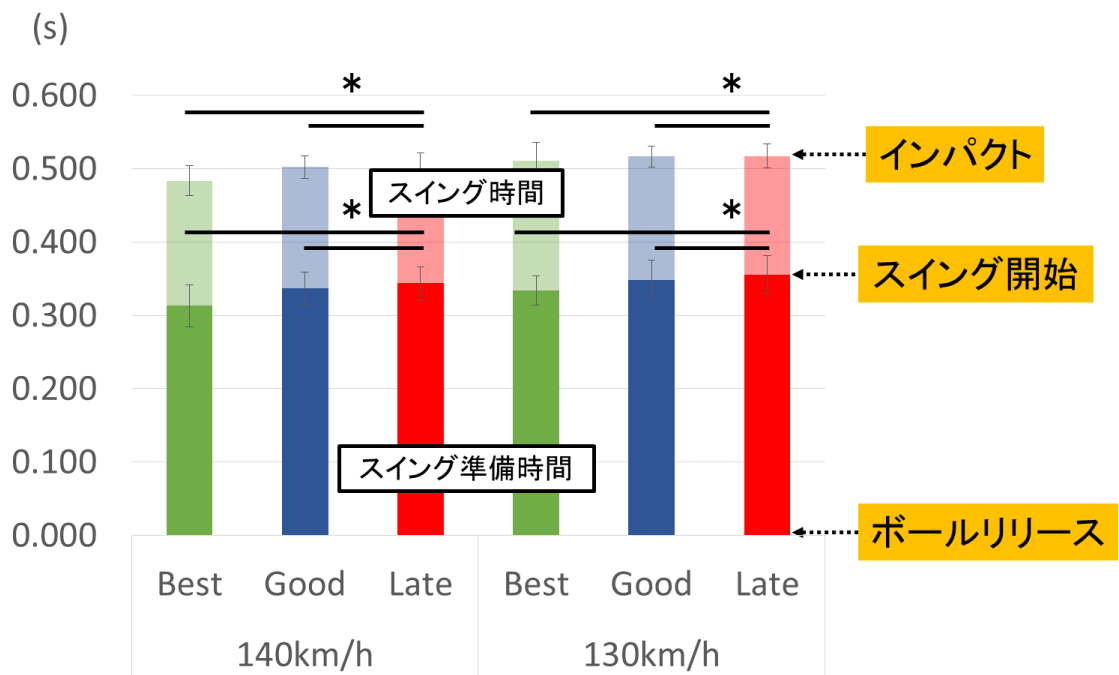


図 3-8a スイング準備時間とスイング時間と全体時間

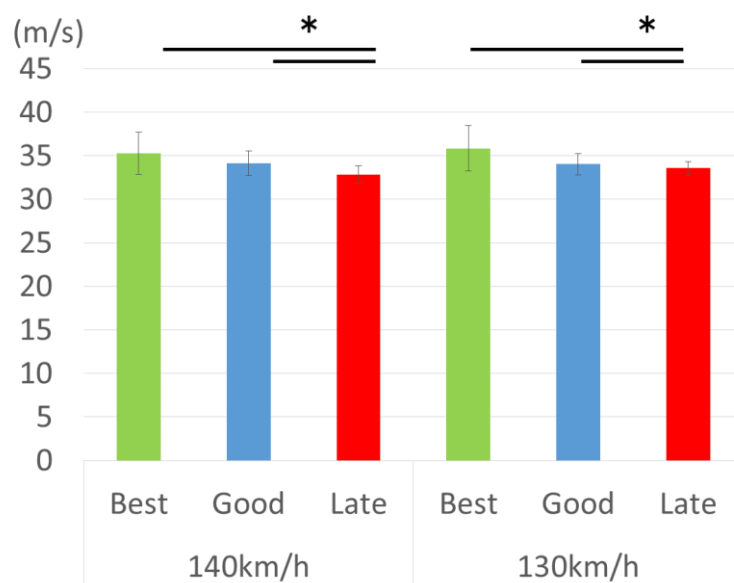


図 3-8b ヘッドスピード

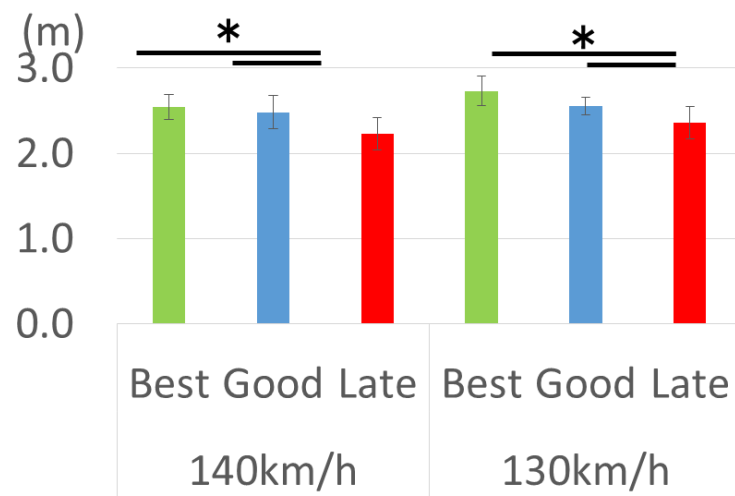


図 3-8c スイング距離

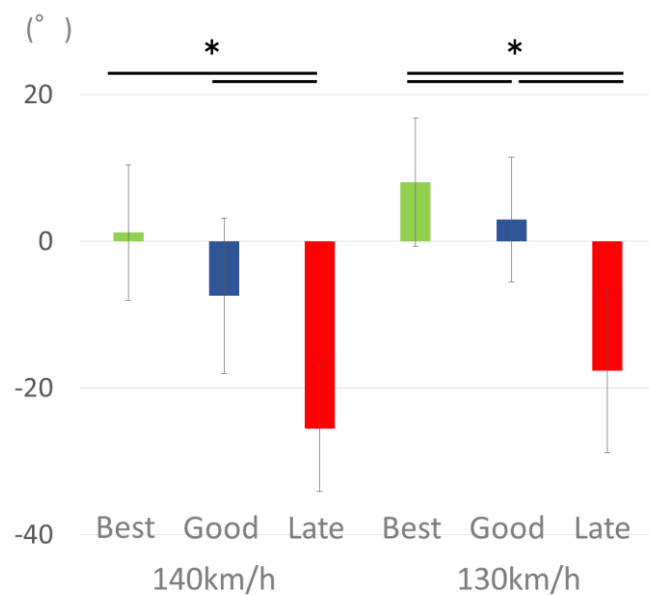


図 3-8d 水平角



図 3-8e インパクトポイント

図 3-8 Best Hitting, Good Hitting, Late Hitting における各変数の比較

3.6.3 打球の運動について

打球スピードと左右角と上下角を以下の図 3-9 と表 3-2 に示す。分散分析の結果、打球スピード($F(2,10)=8.993$, $p<0.05$), 左右角($F(2,10)=28.872$, $p<0.01$), 上下角($F(2,10)=7.388$, $p<0.05$)それぞれで主効果が見られた。事後検定の結果を以下に示す。打球スピードは両球速において Best Hitting よりも Late Hitting の方が小さく, Good Hitting と Late Hitting には有意差が見られない($p<0.05$)という結果になった。全体的な傾向は, Best Hitting (140km/h: 39.7 ± 3.6 m/s, 130km/h: 41.3 ± 2.4 m/s), Good Hitting (140km/h: 36.1 ± 4.1 m/s, 130km/h: 37.7 ± 2.8 m/s), Late Hitting (140km/h: 33.5 ± 1.60 m/s, 130km/h: 33.8 ± 5.2 m/s)の順番に打球スピードが遅くなる傾向にあった。左右角は, 140km/h のボールが投げられた場合, Best Hitting が Good Hitting, Late Hitting よりも大きく($p<0.01$), 130km/h のボールが投げられた際は Late Hitting が Best Hitting, Good Hitting よりも小さかった($p<0.01$)。両球速において, Best Hitting (140km/h: $40.5 \pm 8.0^\circ$, 130km/h: $51.7 \pm 8.6^\circ$), Good Hitting (140km/h: $1.7 \pm 24.4^\circ$, 130km/h: $25.5 \pm 22^\circ$), Late Hitting (140km/h: $-27.2 \pm 25.7^\circ$, 130km/h: $-11.7 \pm 32.9^\circ$)となるにつれてより 1 塁線方向に打球が

飛翔する傾向にあった。上下角は、140km/h のボールが投げられた場合にのみ Late Hitting が Best Hitting よりも大きかった($p<0.01$)。両球速において Best Hitting(140km/h: $4.6\pm22.4^\circ$, 130km/h: $17.1\pm10.1^\circ$) , Good Hitting(140km/h: $40.7\pm32.1^\circ$, 130km/h: $29.6\pm18.4^\circ$) , Late Hitting(140km/h: $57.7\pm35.7^\circ$, 130km/h: $39.4\pm47.3^\circ$)となるにつれて上下角は大きくなる傾向にあった。つまり、球速が予めわかっていなかったり、タイミングが遅れて振り遅れたりすると、打球スピードは遅くなり、打球はセンターからライト方向に飛ぶようになり、ライナーからフライ、もしくはバックネット方向のフェールグラウンドに飛んでいた。

両球速においてヘッドスピードは、Best Hitting よりも Late Hitting, Good Hitting よりも Late Hitting の方が小さいという結果になったが、打球スピードは Best Hitting よりも Late Hitting の方が打球スピードが小さいという結果になった。Best Hitting よりも Late Hitting の方が打球スピードが小さくなったのは、ヘッドスピードの低下が原因であると考えられる。しかし Good Hitting と Late Hitting の間の打球スピードの差は有意な差ではなかったものの、打球スピードが低下する傾向にあったのは Good Hitting と Late Hitting の間のヘッドスピードの低下によってもたらされたと考えられる。緒言でも述べたとおり、速い打球を放つためには速いヘッドスピードと正確なインパクトが必要となる。仮に Good Hitting と Late Hitting のどちらにおいてもバットの芯でボールとインパクトしても打球のスピードは低下する。また、水平角が Best Hitting, Good Hitting, Late Hitting の順番で小さくなり打球面がよりライト方向に向いていた。それによって打球の左右角がより 0° に近いライト方向に飛翔したと考えられる。上下角が増加する傾向にあったのは先の項で述べた球速を遅く見積もったことが要因となっていると考えられる。同じ発射高、発射角度であっても同じ距離を進んだ場合、スピードの早いボールのほうが高い位置に到達する。打者は、振り遅れた際には球速を遅く見積もっているため、到達する位置を実際よりも低く予測していると考えられる。そのため、実際のボール到達位置よりもバットが低い位置を通過し、いわゆる「こする」打撃となりよりフライに近い打球角度になったと考えられる。

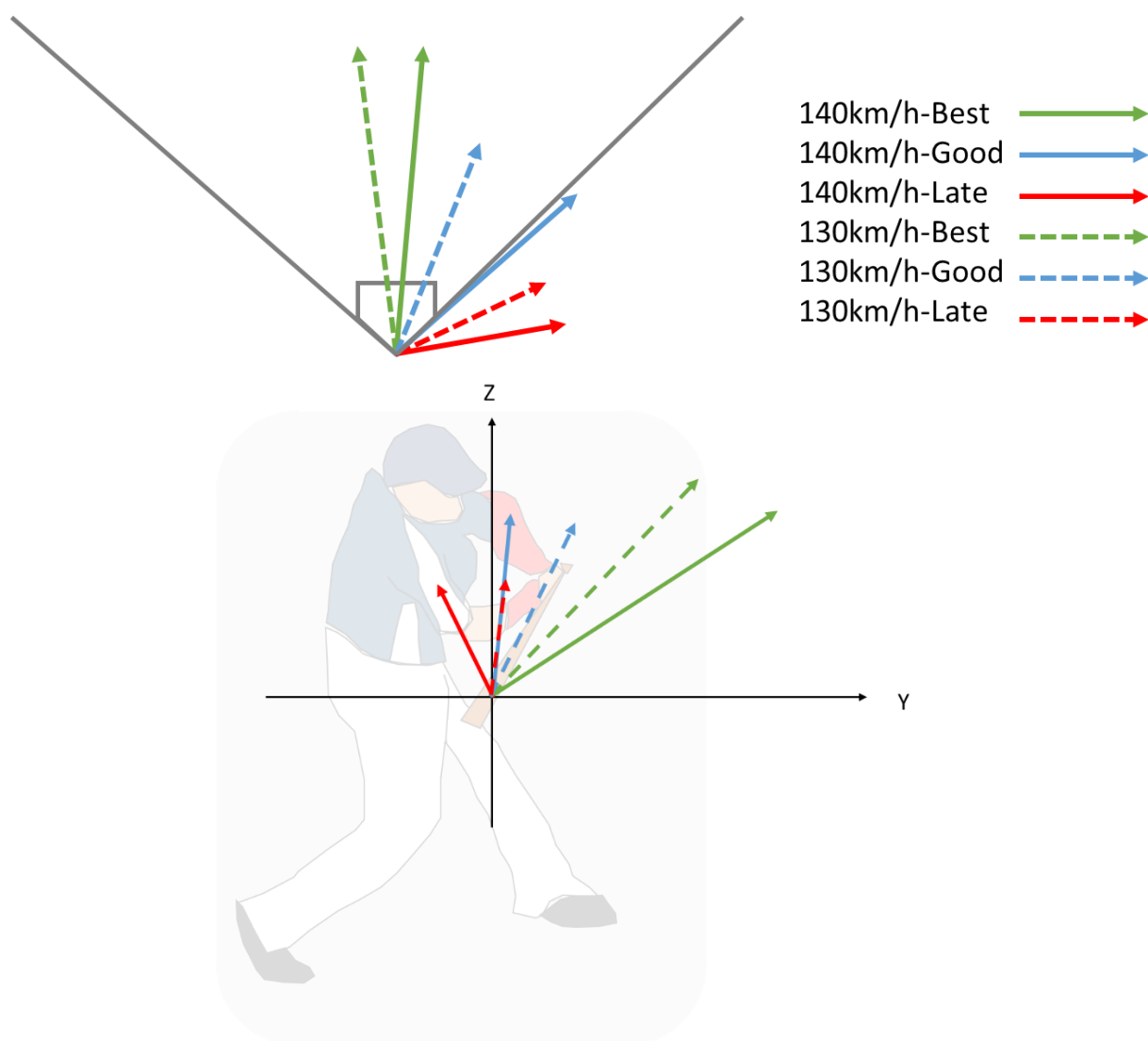


図 3-9 打球スピードと打球方向

(矢印の大きさは打球速度の相対的な大きさを表し，方向は向きを表す)

表 3-2 打球の運動の結果

		打球 スピード (m/s)	左右角 (°)	上下角 (°)
140km/h	Best	39.7 ± 3.6	40.5 ± 8.0	4.6 ± 22.4
	Good	36.1 ± 4.1	1.7 ± 24.4	40.7 ± 32.1
	Late	33.5 ± 1.6	-27.2 ± 25.7	57.7 ± 35.7
130km/h	Best	41.3 ± 2.4	51.7 ± 8.6	17.1 ± 10.1
	Good	37.7 ± 2.8	25.5 ± 22	29.6 ± 18.4
	Late	33.8 ± 5.2	-11.7 ± 32.9	39.4 ± 47.3

3.7 スイング準備時間が長かった Good Hitting について

本研究における Good Hitting のスイング準備時間は Late Hitting に比べて 140km/h と 130km/h のボールが投げられた試技では有意に短かった。詳細については後述の本研究における限界の項目で述べるが、120km/h のボールが投げられた試技でも Good Hitting と Late Hitting のスイング準備時間の間には、タイミングに影響を与え得る程度の差が見られた。しかし、中には当該球速で Late Hitting の平均値 $\pm$ 標準偏差の範囲でスイングを開始していた Good Hitting が見られた。140km/h, 130km/h, 120km/h の各球速において得られた Good Hitting のうち、各球速の late Hitting の範囲内(表 3-1)でスイングを開始していた試技(Late Start Hitting:LSH)とそうでなかった試技(Appropriate Start Hitting:ASH)の各変数における平均値と標準偏差を図 3-2 に示す。Appropriate Start Hitting よりもスイング準備時間が長い Late Start Hitting(140km/h LSH:0.337s & ASH:0.310, 130km/h LSH:0.362s & ASH:0.314s, 120km/h LSH:0.379 & ASH:0.349)は、すべての球速において、スイング時間が短く(140km/h LSH:0.152s & ASH:0.172s, 130km/h LSH:0.164s & ASH:0.174s, 120km/h LSH:0.171s & ASH:0.173s), 全体時間は長くなる(140km/h LSH:0.489s & ASH:0.482, 130km/h LSH:0.536s & ASH:0.488, 120km/h LSH:0.550s & ASH:0.520s)傾向にあった。また、その際のバットの挙動は、ヘッドスピード (140km/h LSH:34.4 & ASH:34.7, 130km/h LSH:32.8m/s & ASH:34.5m/s, 120km/h LSH:34.0m/s & ASH:33.1m/s), 水平角(140km/h LSH:-4.6° & ASH:-8.8°, 130km/h LSH:-0.3° & ASH:7.2°, 120km/h LSH:9.6° & ASH:15.5°), インパクトポイント (140km/h LSH:0.32m & ASH:0.35m, 130km/h LSH:0.44m & ASH:0.49m, 120km/h LSH:0.52m & ASH:0.62m)は大きく変わらないが、スイング距離は短くなった(140km/h LSH:2.42m & ASH:2.55m, 130km/h LSH:2.47m & ASH:2.67m, 120km/h LSH:2.62m & ASH:2.72m)。これらのことから、タイミング良く打てるスイング準備時間の範囲が広い打者とタイミング良く打てるスイング準備時間の範囲が狭くある程度一定のタイミングでスイングを開始する打者が存在していること、Appropriate Start Hitting と比べて Late Start Hitting の

スイングの特徴はバットヘッドがより打者に近い位置を通るような軌道であったことが推測される。スイング距離とインパクトポイントの関係を見ると、スイング距離が減少しているにもかかわらずインパクト位置に大きな差が見られない。つまり Late Start Hitting のようなスイングをした被験者は Appropriate Start Hitting よりも短いスイング距離でインパクトポイントにバットを到達させている。そのためには、Appropriate Start Hitting よりも打者の身体に近い軌道でバットを移動させる必要がある。身体の近くを通るようなバットの軌道の場合、水平面上における身体の回転中心からバットヘッドまでの回転半径が小さくなりヘッドスピードは減速すると考えられるが、それよりも慣性モーメントが減少したことで角速度が増加したことのほうが強く影響し Late Start Hitting においても Appropriate Start Hitting と同程度のヘッドスピードを獲得できたと推測される。つまり、スイング準備時間が比較的長くてもタイミング良く打てる打者は、バットが身体の近くを通るような軌道のスイングをすることで回転半径を小さくして慣性モーメントを小さくし、角速度を高めることでヘッドスピードを速くして Appropriate Start Hitting とほぼ同じインパクトポイントでタイミング良く打つことができていると推測される。

表 3-3 各球速における Late Hitting のスイング準備時間と標準偏差

スイング準備時間 (s)	
140km/h	0.343±0.023
130km/h	0.356±0.023
120km/h	0.381±0.013

表 3-4 Appropriate Start Hitting と Late Start Hitting の比較(平均値±標準偏差)

		スイング 準備時間(s)	スイング時間 (s)	全体時間(s)	ヘッドスピード (m/s)	スイング 距離(m)	水平角(°)	インパクト ポイント(m)
140km/h	Appropriate Start Hitting	0.310±0.008	0.172±0.018	0.482±0.019	34.7±2.0	2.55±0.19	-8.8±10.9	0.35±0.24
	Late Start Hitting	0.354±0.02	0.153±0.011	0.489±0.018	34.4±1.4	2.42±0.17	-4.6±16	0.32±0.20
130km/h	Appropriate Start Hitting	0.314±0.017	0.174±0.02	0.488±0.016	34.5±1.3	2.64±0.17	7.2±14.5	0.49±0.18
	Late Start Hitting	0.362±0.016	0.164±0.012	0.526±0.013	32.8±2.4	2.47±0.19	-0.3±12.4	0.44±0.18
120km/h	Appropriate Start Hitting	0.349±0.018	0.173±0.011	0.500±0.0	33.1±2.1	2.79±0.2	15.5±17.8	0.62±0.29
	Late Start Hitting	0.379±0.009	0.171±0.013	0.550±0.013	34.0±1.8	2.62±0.11	9.6±7.6	0.52±0.12

3.8 本研究における限界

本研究では1人の被験者が打撃する投球数は限定されていたので、規定の投球数以内にすべての球速と評価の組み合わせに当てはまる試技を得られない被験者もいた。140km/hのボールが投じられた際の Good Hitting は被験者13人中11人、130km/hのボールが投じられた際の Late Hitting は被験者13人中12人から得られた。また、120km/hにおける Late Hitting は被験者13人中3人から5試技しか得られなかったため、統計処理や結果・考察の対象としなかった。その他の組み合わせは全被験者から得ることができた。そこで分析対象から除外された被験者や試技について検討する。

3.8.1 球速非公開条件の球速140km/hで Good Hitting が得られなかった被験者について

140km/hにおける Good Hitting が得られた被験者と得られなかった被験者2人の Best Hitting における各変数とこの二人の被験者以外の Good Hitting が得られた被験者における各球速での Best Hitting の平均値と標準偏差を表3-3に示す。この二人の被験者の特徴は、全球速での Best Hitting における全被験者の平均と比べて、ヘッドスピードは遅く(140km/h Sub.8:28.6m/s Sub.12:26.3m/s & 平均:35.6m/s, 130km/h Sub.8:29.7m/s & Sub.12:29.8m/s &

平均:35.9m/s, 120km/h Sub.8:29.2m/s & Sub.12:25.7m/s), スイング距離が短い(140km/h Sub.8:2.13m Sub.12:2.17m & 平均:2.57m, 130km/h Sub.8:2.32m & Sub.12:2.26m & 平均:2.69m, 120km/h Sub.8:2.52m & Sub.12:1.99m & 平均:2.58m)という傾向があることである。しかし、インパクトポイントは平均よりも比較的投手側(140km/h Sub.8:0.64m Sub.12:0.53m & 平均:0.47m, 130km/h Sub.8:0.84m Sub.12:0.50m & 平均:0.50m, 120km/h Sub.8:0.90m Sub.12:0.58m & 平均:0.53m)となっている。これらのことから、この二人の被験者は高いヘッドスピードを得ることよりも確実にバットの芯でインパクトするために、予測したインパクトポイントに向かってできるだけ短い距離でバットをコントロールしやすいようなスピードのままいわゆる「当てにいく」ようなスイングをしていたと考えられる。このようなスイングの場合、同じ球速のボールを打ったとしてもボールがバットに加える力が小さく、インパクトによるバットの減速が大きいために「力負け」したと感じ、打者は「タイミングが遅れた」と評価した可能性がある。これらの打者が 140km/h のボールをタイミング良く打つためには、十分なスイング距離を確保した上でスイングスピードをより向上させる必要があると考えられる。

表 3-5 球速 140km/h で Good Hitting が得られなかった被験者と得られた被験者の比較

		スイング 準備時間(s)	スイング 時間(s)	全体時間(s)	ヘッドスピード (m/s)	スイング 距離(m)	水平角(°)	インパクト ポイント(m)
140km/h	Sub.8	0.318	0.144	0.462	28.6	2.13	-0.4	0.64
	Sub.12	0.321	0.161	0.482	26.3	2.17	-7.7	0.53
	平均値±	0.313±	0.167±	0.479±	35.6±	2.57±	1.4±	0.47±
	標準偏差	0.026	0.02	0.023	2.3	0.16	8.3	0.09
130km/h	Sub.8	0.312	0.156	0.468	29.7	2.32	15.6	0.81
	Sub.12	0.341	0.158	0.499	29.8	2.26	4.9	0.50
	平均値±	0.334±	0.173±	0.507±	35.9±	2.69±	5.3±	0.5±
	標準偏差	0.018	0.024	0.025	2.4	0.18	9.9	0.22
120km/h	Sub.8	0.375	0.167	0.542	29.2	2.52	24.1	0.90
	Sub.12	0.385	0.163	0.548	25.7	1.99	0.3	0.58
	平均値±	0.358±	0.165±	0.524±	35.2±	2.58±	3.1±	0.53±
	標準偏差	0.038	0.017	0.034	1.9	0.15	7.2	0.1

3.8.2 球速 120km/h における打撃の傾向について

120km/h のボールが投げられた試技における全被験者の Best Hitting, Good Hitting, Late Hitting の平均値と標準偏差を図 3-10 に示す. 120km/h のボールが投げられた際に見られた Late Hitting の特徴は, Good Hitting に比べてスイング準備時間は長くなり (LH:0.381s & GH:0.368s), スイング時間は若干短くなったことであり (LH:0.162s & GH:0.171s), 全体時間はほぼ変わらなかった (LH:0.543s & GH:0.538s). また, その際のバットの挙動はヘッドスピードが小さくなり (LH:33.5m/s & GH:32.3m/h), スイング距離は短くなり (LH:2.68m & GH:2.37m), 水平角は小さくなってよりキャッチャー方向を向いたまま (LH:12.5° & GH:-2.8°), 捕手方向へ下がった位置でインパクト (LH:0.56m & GH:0.40m) していた. この結果は, 140km/h, 130km/h のボールが投げられた場合と同様に, 投げられたボールのスピードを遅く判断したことによってスイング準備時間が長くなり, ボールが予測したタイミングよりも早く予測したインパクト位置を通過したためにキャッチャーよりも位置でインパクトせざるを得ず, スイング時間が短くなったことを示している. そしてその際のバットの挙動は, 他の球速と同様にスイング時間が短くなったためにスイング距離が短くなり, その影響でヘッドスピードが十分に増加せず水平角も十分に大きくなならないうちにインパクトしたと考えられる. その影響によって Best Hitting, Good Hitting, Late Hitting の順番で打球スピードは遅くなり, 打球はよりライト方向に, よりフライとなるような方向に飛翔していたと考えられる.

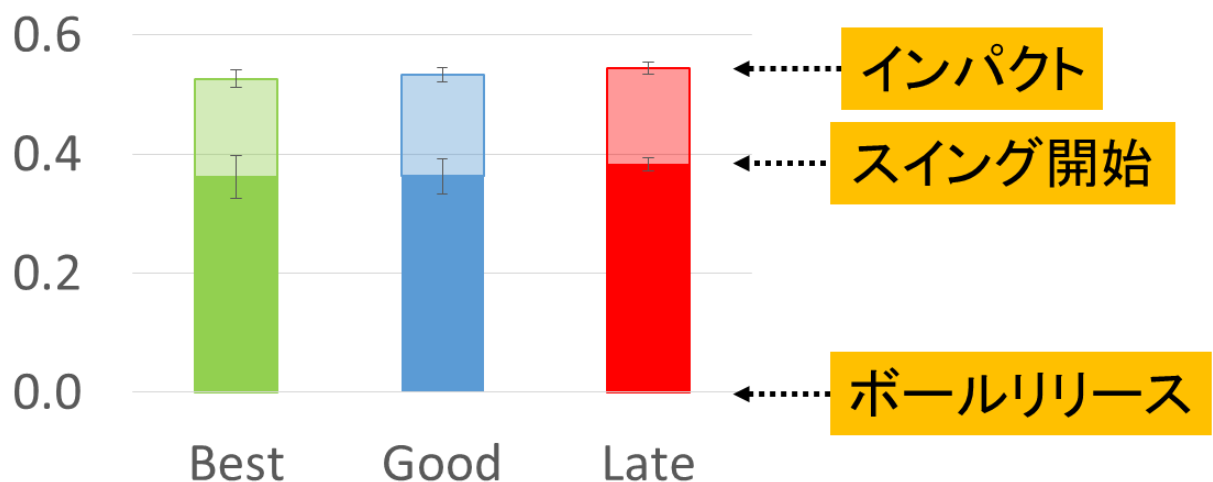


図 3-10a スイニング準備時間とスイニング時間と全体時間

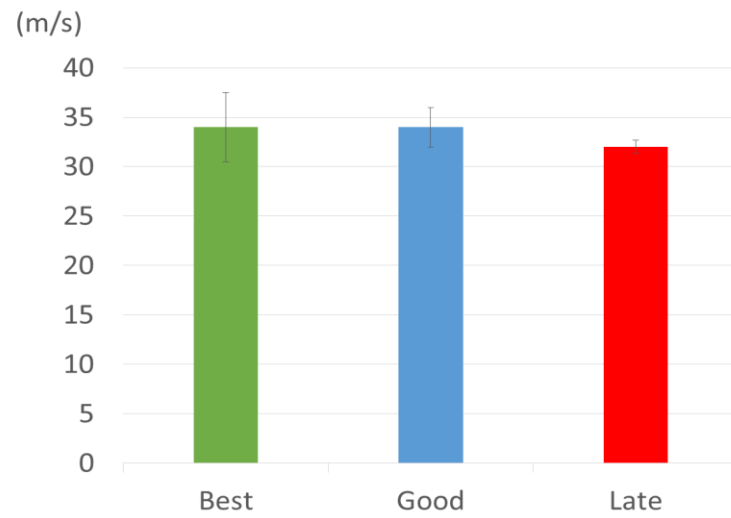


図 3-10b ヘッドスピード

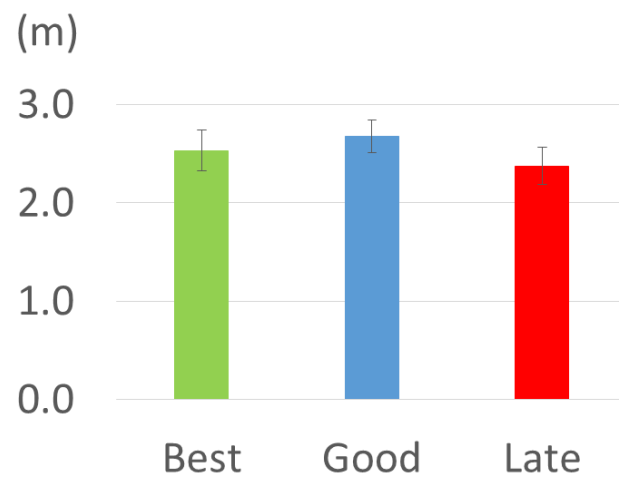


図 3-10c スイニング距離

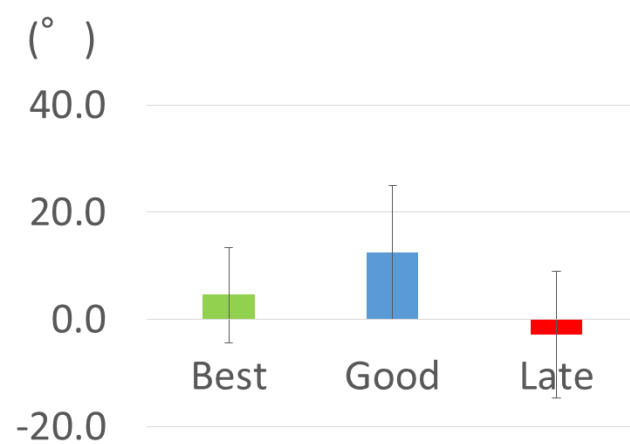


図 3-10d 水平角

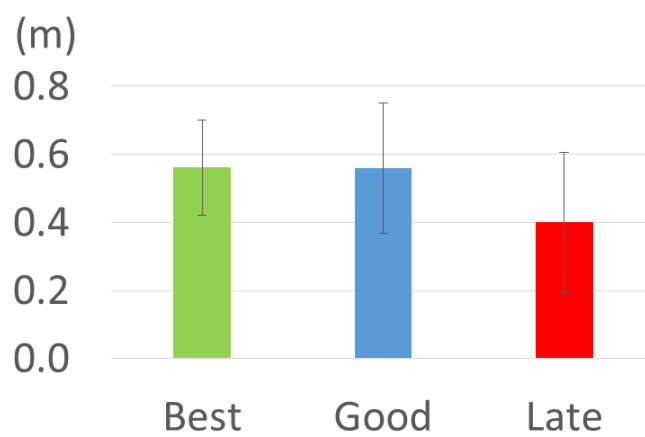


図 3-10d インパクトポイント

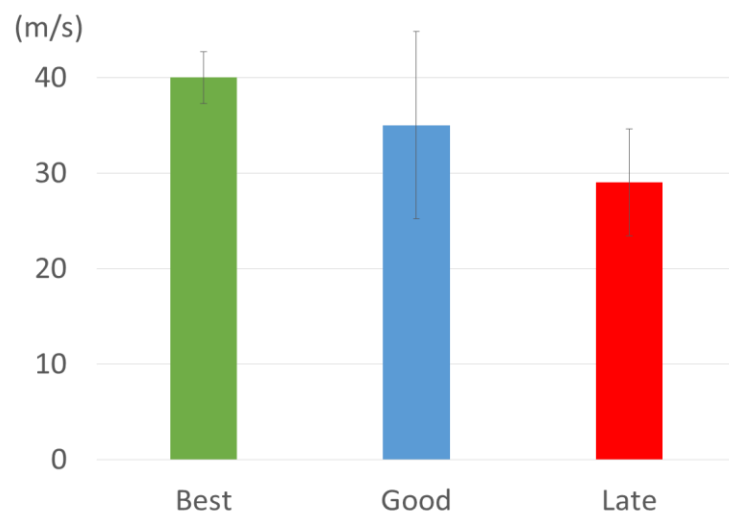


図 3-11e 打球スピード

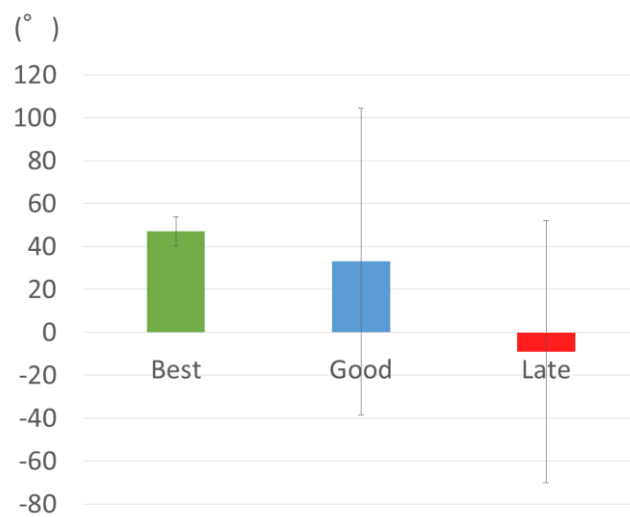


図 3-11f 左右角

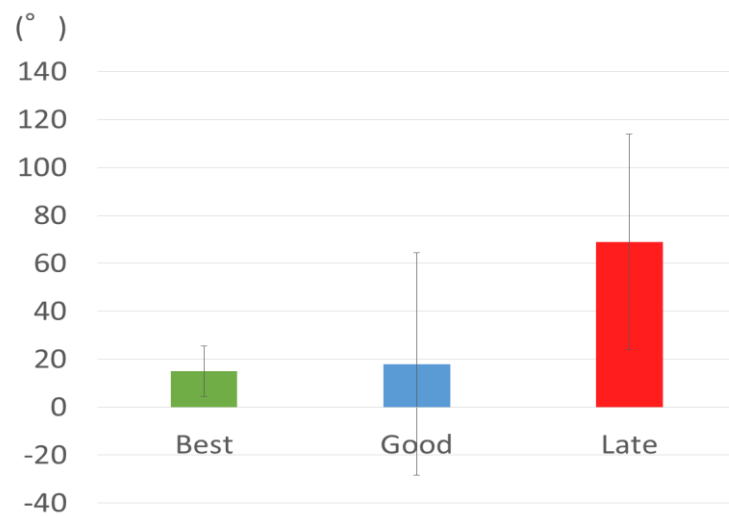


図 3-12e 上下角

図 3-10 120km/h のボールが投げられた際の

Best Hitting, Good Hitting, Late Hitting の結果

第4章 結論

本研究は振り遅れに対する 6 つの要因に着目し、振り遅れた打撃の特徴を明らかにすることを目的とした。大学野球選手 13 名に対し、140km/h、130km/h、120km/h の 3 種類の球速を用いて 2 つの条件で打撃を行わせた。1 つ目の条件は、予め投じる球速を告知した上でセンター方向に納得できる打球を打てるまで繰り返し打たせる球速公開条件(Best Hitting)であり、2 つ目は、打者に球速を告知することなく 3 つの球速で考えられる 5 つの組み合わせが 6 回ずつ現れるように設定した投球順序で投じたボールを打たせる球速非公開条件である。球速非公開条件では 1 球ごとにタイミングが「早かった(Early Hitting)」「合っていた(Good Hitting)」「遅れた(Late Hitting)」のいずれに当てはまるのか評価させた。その結果、1 球前に投げられたボールの球速に比べて、球速が増加した場合に振り遅れ打撃が多かった。その内訳を見ると、1 球前の球速と比べて+10km/h、+20km/h のパターンにおける試技数に差がなかった。これらのことから本研究における被験者の競技レベルでは 1 球前よりも球速が速いボールが投げられた際に振り遅れやすく、球速差の程度はあまり影響しないことが推測される。また、その際のバットの挙動は、140km/h と 130km/h のボールが投げられた場合に共通して、Late Hitting は Good Hitting に比べてスイング準備時間は長くなったがスイング時間は短くなり全体時間は変わらないという特徴を持っていた。更にスイングはヘッドスピードが小さく、スイング距離が短く、インパクトポイントがキャッチャー方向に下がるという特徴を持っていた。これらの特徴は、スイング時間が短くなったせいで十分にスイング距離が確保できなかったためにヘッドスピードが小さくなりインパクトポイントが捕手側に後退したために起きたと考えられる。それらの打撃の結果、Best Hitting、Good Hitting、Late Hitting と推移するにつれて打球スピードは遅くなり、打球方向は XY 面上においてよりライト方向に、YZ 平面上においてよりキャッチャー方向に飛翔する傾向にあった。また、Best Hitting と Good Hitting と Late Hitting の関係を見ると、Best Hitting と Good Hitting の間のスイング準備時間の差は予め球速が分かっているか否かの差(打球判断時間)を表していると考えられる。Good Hitting と Late Hitting の間のスイング準備時間

の差は、打者が投げられたボールのスピードを過小評価していたためにスイング準備時間が遅れたことによって起きている遅れを含むと考えられる。つまり **Late Hitting** は投げられたボールのスピードを判断する時間内でボールスピードを過小評価した影響で、スイング準備時間が長くなったことによってスイング時間が短くなったためにスイング距離は短くなりインパクト位置はキャッチャー方向に下がった。そしてスイング距離が短くなったためにインパクト時のヘッドスピードが低下したという結果につながったと考えられる。

● 参考文献

Alan M. Nathan, (2012), What New Technologies Are Teaching Us about the Game of Baseball, Proceedings of the Euromech Physics of Sports Conference, Paris, April 2012

A. Terry Bahill and T. LaRitz, (1984), Why Can't Batters Keep Their Eyes on the Ball?, American Scientist, Vol.72, pp.249-253

勝又 宏, 川合 武司, (1996), 地面反力から見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, Vol.40, pp.381-398

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の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, Vol.15, No.3, pp.78-86

工藤 孝幾, (1985), 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, Vol.31, No.4

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, Dynamics & Design Conference, No.09-23

市丸 直人, (2002), 野球の試合で特典となったランナーの出塁別検討, 日本体育学会大会号, Vol.53, No.507, 2002-08-30

宮西 智久, (2006), 打動作と体幹・四肢の角運動量~野球のバッティングの場合~, 体育の科学, Vol.56, pp.181-186

森下 義隆, 平野 裕一, 矢内 利政, (2013), 野球のバッティングにおけるバットヘッド速度に対する体幹及び上肢のキネマティクスの貢献, バイオメカニクス研究, Vol.17, No.4, pp.170-180

Noriyuki Tabuchi, Tomoyuki Matsuo, and Ken Hashizume, (2007), Bat Speed, Trajectory, and Timing for Collegiate Baseball Batters Hitting a Stationary Ball, Sports Biomechanics, Vol.6, No.1, pp.17-30

Robert G. Watts and A. Terry Bahill, (2000), Keep Your Eyes on the Ball, New York,

pp.171-209

Rob Gray, (2002), Behaviour of College Baseball Players in a Virtual Batting Task, Journal of Experimental Psychology:Human Perceptual and Performance, Vol.28, No.5, pp.1131-1148

Takatoshi Higuchi, Tomoyuki Nagami, Jun Morohoshi, Hiroki Nakata, and Kazuyuki Kanosue, (20013), Disturbance in Hitting Accuracy by Profrssional and Collegiate Baseball Players due to Intentional Change of Target Position, Perceptual and Motor Skills:Exercise And Sports, Vol.116, No.2, pp.627-639

Takatoshi Higuchi, Jun Morohoshi, Tomoyuki Nagami, Hiroki Nakata, and Kazuyuki Kanosue, (2013), The Effect of Backspin Rate on Baseball Hitting Accuracy, Journal of Applied Biomechanics, Vol.29, pp.279-284

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, Vol.18, No.1, pp.1-9

Tomoyuki Nagami, Jun Morohoshi, Takatoshi Higuchi, Hiroki Nakata, Shigeto Naito, and Kazuyuki Kanosue, (2011), Spin on Fastballs Thown by Elite Baseball Pitchers, Medicine and Science in Sports and Exercise, Vol.43, No.12, pp.2321-2327

Tsutomu Jinji and Shinji Sakurai, (2007), Direction of Spin Axis and Spin Rate of the Pitched Baseball, Sports Biomechanics, Vol.5, No.2, pp.197-214

田子 孝仁, 阿江 通良, 藤井 範久, 小池 関也, 高橋 佳三, 川村 卓, (2006), 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, Vol.10, No.1, pp.2-

13

謝辞

本研究は、指導教員である矢内利政教授のご指導の下で行われました。矢内教授には、入学前に実験の参加を打診して頂いてから修士論文完成まで大変お世話になりました。研究に対する心構え、文章の書き方、論理構成など研究に関する全てを叩き込んでいただきました。研究以外でも野球や趣味のバイクに関するお話をする機会が多々あり非常に充実した大学院生活を送ることが出来ました。心より感謝致します。副査を快諾してくださった川上泰雄教授、彼末一之教授には研究内容に関する非常に有意義なアドバイスを頂きました。お力添えいただいたことに深く感謝致します。

野球グループの城所収二さん、森下義隆さん、谷中拓哉さんには、実験のお手伝いから修士論文に関するアドバイスや激励を毎日のようにいただきました。野球グループの皆様の協力がなければ、本研究の成立はなかったと思っております。厚く御礼申し上げます。同期の羅劉星君、塩田義裕君、埜慎太郎君は普段から仲良くしてくれてありがとう。みんなのお陰で辛いことや大変なことがあっても毎日楽しく大学院に通うことが出来ました。

また、家族の理解と支援がなければこの大学院生活はおくれなかったと思っています。節目ごとに叱咤激励をしてくれた両親や祖父母、妹弟には感謝の念でいっぱいです。また、同じ野球を志す弟に本研究の成果が役立つことを願うばかりです。

最後になりましたが、本実験を実施するにあたり被験者を引き受けてくださった皆様には心より御礼を申し上げると共にさらなるご活躍をお祈り致します。

2015.2.19 小平信之介