

野球のバッティングにおける異なる投球速度に対する 打撃タイミングの調節

廖 本嵩¹⁾ 桜井 伸二²⁾

Penhao Liao¹, Shinji Sakurai²: How do batters adjust their swing movement to against different speed of pitched ball in baseball?

和文抄録:

本研究の目的は、打者が速球を準備している時と遅球を準備している時のスイング動作の違いを明らかにすることである。2種類の直球（140km/h：FB，120km/h：SB）を、球速告知と非告知の2条件で打者に打たせた。ボールリリースを0秒とし、打者のスイング動作における8つのイベント出現時刻を比較した。その結果、非告知SBの上胴回転開始が非告知FBと告知FBより有意に遅かった（告知FB：0.268 ± 0.021秒，非告知FB：0.269 ± 0.024秒，非告知SB：0.308 ± 0.024秒， $p < 0.05$ ）ことから、打者はFBを準備している時にSBが投じられた場合、上胴回転開始を遅らせて適切な打撃タイミングに調整していたことが明らかになった。一方、告知SBの踏み出し足接地が有意に遅かった（告知FB：0.220 ± 0.078秒，非告知FB：0.234 ± 0.075秒，非告知SB：0.215 ± 0.093秒，告知SB：0.282 ± 0.092秒， $p < 0.05$ ）。よって、打者はSBを準備している時に踏み出し足接地を遅らせて打撃タイミングを調整していたことが明らかとなった。

Key words: Batting movement of baseball, Different speed of pitched ball, Kinematics

キーワード: 野球打撃動作, 投球速度差, キネマティクス

1. はじめに

動作スキルの要素について、猪飼（1973）は Grading, Spacing, Timing を挙げている。Grading は強度の調整，Spacing は空間的要素，Timing は時間的要素である。以上の3要素を野球のバッティングで表すと，Grading は最大パワー発揮が求められる。そして，Spacing は打者が投手の投球コースに応じたスイング軌道やバットとボールのインパクト位置の調整を意味している。最後，Timing は打者が投じてきたボールに対して適切な打撃タイミングでスイングすることを意味している。さらに，城所・矢内（2017）によれば，バッ

トヘッド速度が大きかったとしても打ち損じた場合には打球速度が小さくなっていくと報告されている。そのため，バッティングスキルを向上させるにはバットヘッド速度を高める以外にも，空間的および時間的要素を含めたスキルの3要素が欠かせないと考えられる。

バットヘッド速度を高めるためのスイング動作（Grading）およびバットとボールのインパクト位置（Spacing）については，これまでいくつかの研究が行われてきている（堀内ほか，2018；川村ほか，2000；城所・矢内，2017；森下ほか，2019；中島ほか，2020）。そして，Timing についても投球速度の異なる球種に対して打者のスイン

1) 中京大学大学院 スポーツ科学研究科 スポーツ科学専攻

〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立101

2) 中京大学 スポーツ科学部

〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立101

1. Graduate school of health and sports science, Chukyo University

101 Tokodachi, Kaizu-cho, Toyota, Aichi 470-0393, Japan

2. School of health and sports sciences, Chukyo University

101 Tokodachi, Kaizu-cho, Toyota, Aichi 470-0393, Japan

グ動作に関するキネマティクスの研究が行われてきた。Kidokoro et al. (2020) は速球を 123km/h、遅球とカーブを 90km/h に設定し、球種告知および非告知の 2 条件を設けてランダムで打者に打たせた。打者の打撃タイミングが合った全試技をまとめると、球種によって踏み出し足接地時刻が異なるとしても、下胴回転開始時刻を調節することで打撃タイミングを合わせることが可能になると述べている。高木ほか (2008) は 3 種類の異なる球速の直球 (Fast:125km/h, Medium:100km/h, Slow:75km/h) をランダムで打者に打たせた。その結果、球速が速いほど、投手方向への身体重心移動距離および身体重心速度の最大値が小さくなることを明らかにした。那須 (2017) は、被験者 1 名について球種を告知しない実戦形式の投手と打者の対戦における打者の打撃タイミング調整を検討した。その結果、123km/h のストレート (速球) と 103km/h のチェンジアップ (遅球) という球速の異なる球種がランダムに投げられた時、ボールリリースしてから約 0.30 秒の時点で、打者は身体重心の沈み込みの時間の長さを調整してチェンジアップに対応していたことがわかった。

異なる投球速度に対して打者はどのように打撃タイミングを調節するかについて、以上の先行研究で明らかにされてきつつある。しかしながら、いずれの先行研究においても、実験で用いられた速球の球速は約 120–125km/h、遅球の球速は約 70–100km/h 程度であった。井尻・中澤 (2017) によると、ボールがリリースされてからホームベースに到達するまでに要する時間は、140km/h の場合 0.44 秒であり、120km/h の場合 0.51 秒である。Slater & Stumpner (1951) により、野球のバッティングにおいて、打者の選択反応時間は約 0.29–0.34 秒が必要と報告されている。打者のスイング時間は 0.15–0.27 秒 (Katsumata, 2007; Inkster, et al., 2010) だと考えると、球速が 140km/h を超えた場合、打者にとって球種、投球コースおよびバットを振るか振らないかを判断する時間が不足していると考えられる。したがって、先行研究 (Kidokoro, et al., 2020; 那須, 2017; 高木ほか, 2008) で用いられた球速は、競技レベルが高い野

球試合における現在の投手の投球速度に比べて遅いと考えられる。そのため、競技レベルが高い野球試合で打者はどのように打撃タイミングを調節しているのかについてまだ十分に明らかになったとはいえない。

そこで本研究の目的は、競技レベルが高い野球試合の状況を模擬し、野球のスイング動作をキネマティクスの観点から分析することで、打者が速球を準備している時と遅球を準備している時のスイング動作の違いを明らかにすることである。

2. 方法

2.1 研究対象者

研究対象者は大学野球連盟 1 部リーグ硬式野球部に所属している野手 11 名 (身長: 1.76 ± 0.05 m, 体重: 74.8 ± 6.8 kg, 年齢: 19.9 ± 1.2 years, 競技歴: 12.0 ± 2.9 years. 左打ち 6 名と右打ち 5 名) であった。実験実施の前に、中京大学倫理審査委員会の承認 (承認番号: 2022-062) を得たうえで行った。また、研究対象者に本研究の目的や実験内容などを説明し、書面による実験参加の同意を得た。

2.2 実験試技

研究対象者には十分なウォーミングアップを行わせた後に、野球場 (両翼: 91.4m, 中堅: 120m) でピッチングマシン (Pitch18, 株式会社西野製作所) を用いてバッティングを行わせた。このピッチングマシンは、球速や球種を打者に知られることなく、短時間で変えることが可能であるという特長を持つ。投手のリリースポイント (ピッチャープレートから投手のリリースポイントまでの水平距離) を考慮し、ピッチングマシンの投球口はホームベースの先端から 16.5m の位置になるように設置した。ピッチングマシンの球種は 2 種類の直球 (ストレート) で、球速は 140km/h (以下 FB と略す) と 120km/h (以下 SB と略す) に設定した。そして、トラッキングシステム Rapsod Baseball (Rapsod, Indianapolis, USA) を用いてピッチングマシンから投げられるボールのスピードや回転の計測を行った。FB と SB の投

球速度、回転数、縦方向および横方向の変化量をそれぞれ10球ずつ測定した結果を表1に示した。投球コースと高さによって打者の打撃タイミングが変動する可能性があることが予想されるため、投球コースはストライクゾーンの中央、すなわちホームベースの中央にした。高さは研究対象者が問題なくバットを振ることができるよう、研究対象者の腰部の位置に設定した。

実験試技の条件設定は、投球前に研究対象者にFBかSBかを告知して打撃させる「告知条件」、FBかSBかを告知せずに打撃させる「非告知条件」の2条件とした。さらに非告知条件において、研究対象者にFBを狙うように指示し、SBが投げられた場合は、できるだけ対応して強い打球を打つように指示をした。試技手順は、告知条件20球を行ってから非告知条件20球を行った。告知、非告知の両条件ともにFBとSBの投球順はランダムとした。そのため、実際には各条件におけるFBとSBが各10球となるまで実験を継続し、それぞれ最初の10球を分析対象とした。告知、非告知の2条件と、その中にFBおよびSBの2種類の球種があるため、計4群（告知FB、告知SB、非告知FB、非告知SB）の試技が得られた。なお、木製のバットを使用すると、研究対象者がバットの芯で捉えることができなかつた場合、手を痛める可能性が考えられる。そのため、研究対象者には同一の金属バット（長さ：83cm、重さ：910g、ProedgeCONDOR、SSK社製）を使用させた。試技ごとに打者の打撃タイミングの自己評価を5段階（1. かなり遅い、2. やや遅い、3. 合っている、

4. やや早い、5. かなり早い）で確認した。

2.3 データ収集・処理

打者のスイング動作は2台のハイスピードビデオカメラ（ファステックイメージング社製、TS3およびTS5、以下Camera1とCamera2）を用いて撮影した。ピッチングマシンのリリースの瞬間を別の1台のハイスピードビデオカメラ（ナックイメージテクノロジー社製、MEMRECAM MX ST-864、以下Camera3と略す）で撮影した。実験環境の設定は図1に示した。右打者の場合には、一塁側で打者から投手方向に対して斜め前方および直角の方向にCamera1とCamera2を設置した。その光軸間の角度は約45°であった。なお、左打者の場合には、Camera1とCamera2を三塁側に設置した。Camera3はリリースの瞬間を確認するため、ピッチングマシンの投球口が見えるように捕手の後方から撮影した。撮影速度について、3台のハイスピードビデオカメラともに1000fpsに設定した。露光時間について、3台のハイスピードカメラともに日差しを考慮し、1/2000–1/4000sの間で適宜調節しながら撮影を行った。ビデオによる動作分析のデジタイズを行うため、バットヘッドとバット中央および被験者の両肩の肩峰、左右上前腸骨棘の皮膚上にテープを貼付した。なお、3台のハイスピードビデオカメラは電気的およびLED（DKH社、PH-145）の発光をカメラの画角内に映し込むことによって同期させた。本研究では、ホームベースの捕手側にある頂点を原点とし、捕手から投手へ向かう方向をY軸、上向き方

表1 実験で用いられた投球の球速、回転数、縦方向および横方向の変化量（平均値±標準偏差）

	FB	SB
球速 (km/h)	140.8 ± 1.0	120.9 ± 1.4
回転数 (rpm)	2119 ± 216	1832 ± 180
縦方向変化量 (cm)	50.2 ± 2.6	50.2 ± 3.2
横方向変化量 (cm)	-2.9 ± 9.2	-4.5 ± 8.3

縦方向および横方向変化量は、リリースしてからホームベースに到達するまでのマグナス力（回転によって生じる揚力）によるボール軌道の上下方向および左右方向の変化を示す。投げ出されたボールが無回転の場合の縦および横方向変化量を0cmとする。縦方向変化量はボールの縦回転による上下方向の変化量を示し、プラスの値はボールの到達位置が無回転の場合よりも上に、マイナスの値は下に変化したことを意味している。横方向変化量はボールの横回転による左右の変化量を示し（投手視線から）、プラスの値はボールの到達位置が無回転の場合よりも右打者方向に、マイナスの値は左打者方向に変化したことを意味している。

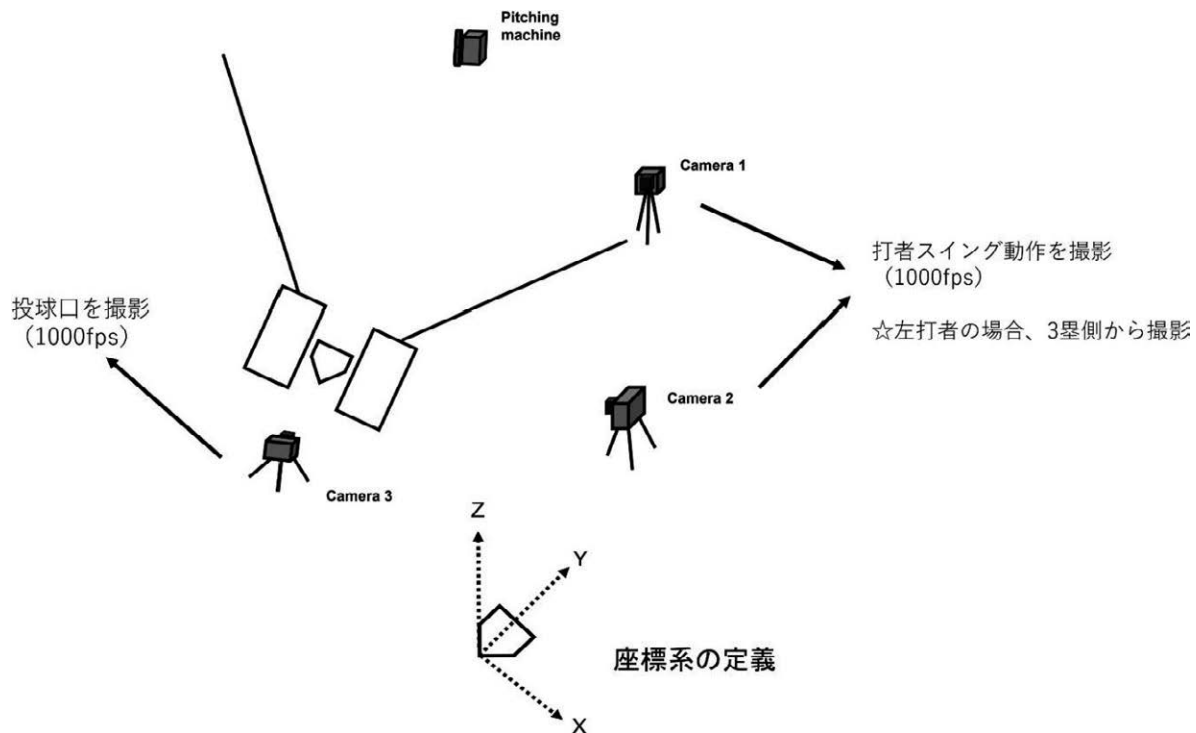


図1 実験環境設定 (右打者の場合)

向をZ軸, それぞれに直交する向きをX軸とした. なお, 左右の打者の向きを統一するため, 左打者のX座標データを反転させ, 全て右打者として以後の結果を示した.

Camera1 および Camera2 によって得られた映像は, 動作分析ソフトウェア (Frame DIAS6, Q'sfix 社) を使用して上述の各ポイントのデジタイズをマニュアルで行い, 3次元DLT法により3次元座標値を取得した. 分析点の位置データはDigital Butterworth Filterを用い, カットオフ周波数10Hzで平滑化を行った. バットヘッドはインパクトによって急激に減速するため, Nunome et al. (2006)の方法を参考して平滑化を行った.

2.4 算出項目および算出方法

実験で得られた4群 (告知FB, 告知SB, 非告知FB, 非告知SB) のスイング動作を比較するため, 研究対象者の各群のうち, 自己評価が3 (自己評価が3の試技がない場合, 自己評価が2あるいは4から選択する) かつ打球水平角度が ± 45 度以内 (フェアゾーン), 鉛直角度が ± 35 度以内の試技を分析試技とした. 以上の条件に当てはまる試技が複数あった場合, インパクト位置のX座標

値の絶対値が最も小さい試技, つまり投球コースが最もホームベースの中央に近かった試技を選択した. なお, 以下の項目を算出した.

2.4.1 インパクト位置

ボールとバットが接触した瞬間のボール中心位置をインパクト位置とした. なお, ボールとバットの接触した瞬間について, ビデオ動作分析から目視で判断した.

2.4.2 バット速度

バットヘッドの位置データを微分することでバットヘッド速度の絶対値を算出し, 最大値をバット速度とした.

2.4.3 下胴および上胴の回旋角度と角速度

研究対象者の軸足側の上前腸骨棘および肩峰から, 踏み出し足側の上前腸骨棘および肩峰へ向かうベクトルをそれぞれ下胴および上胴の向きを表すベクトルと定義した. 下胴および上胴のベクトルをXY平面に投影し, X軸となす角で下胴および上胴の回旋角度を算出した. 下胴と上胴それぞれにおいて, ボールリリース時とインパクト時の

回旋角度の差分を下胴および上胴の角度変位と定義した。下胴および上胴角速度について、下胴および上胴角度を数値微分して算出し、その最大値を得た。

2.4.4 体幹捻転角度

下胴および上胴の回旋角度の差分の最大値を体幹捻転角度と定義した。

2.4.5 各イベント出現時刻

本研究は、Kidokoro et al. (2020) の研究を参考にし、スイング動作を以下の8つのイベントに定義し、図2に示した。そして、打者の打撃タイミング調節を検討するため、ボールリリースの瞬間を0秒とし、各イベント出現時刻を算出して比較した。なお、ボールリリースの判別については、Camera3の動画を用いた。リリースによってボールの明度に変化した瞬間を目視で確認し、それをボールリリースの瞬間とした。

1. 踏み出し足が接地した瞬間を「踏み出し足接地」(Foot Contact, 以下FC)。
2. 下胴角速度が100deg/sを越えた時点「下胴回転」(Pelvis Rotation, 以下PR)。
3. 上胴角速度が100deg/sを越えた時点「上胴回転」(Thorax Rotation, 以下TR)。
4. バット速度の絶対値が5m/sを越えた時点「スイング」(Bat Swing, 以下BS)。
5. 体幹捻転角度が最大となった時点「体幹捻転角度最大時点」(Peak Angle of Torso Torsion, 以下PATT)。
6. 下胴角速度が最大となった時点「下胴角速度最大時点」(Peak of Pelvis Angular Velocity, 以下PPAV)。
7. 上胴角速度が最大となった時点「上胴角速度最大時点」(Peak of Thorax Angular Velocity, 以下PTAV)。
8. ボールとバットが接触した瞬間を「インパクト」(Impact, 以下IMP)。

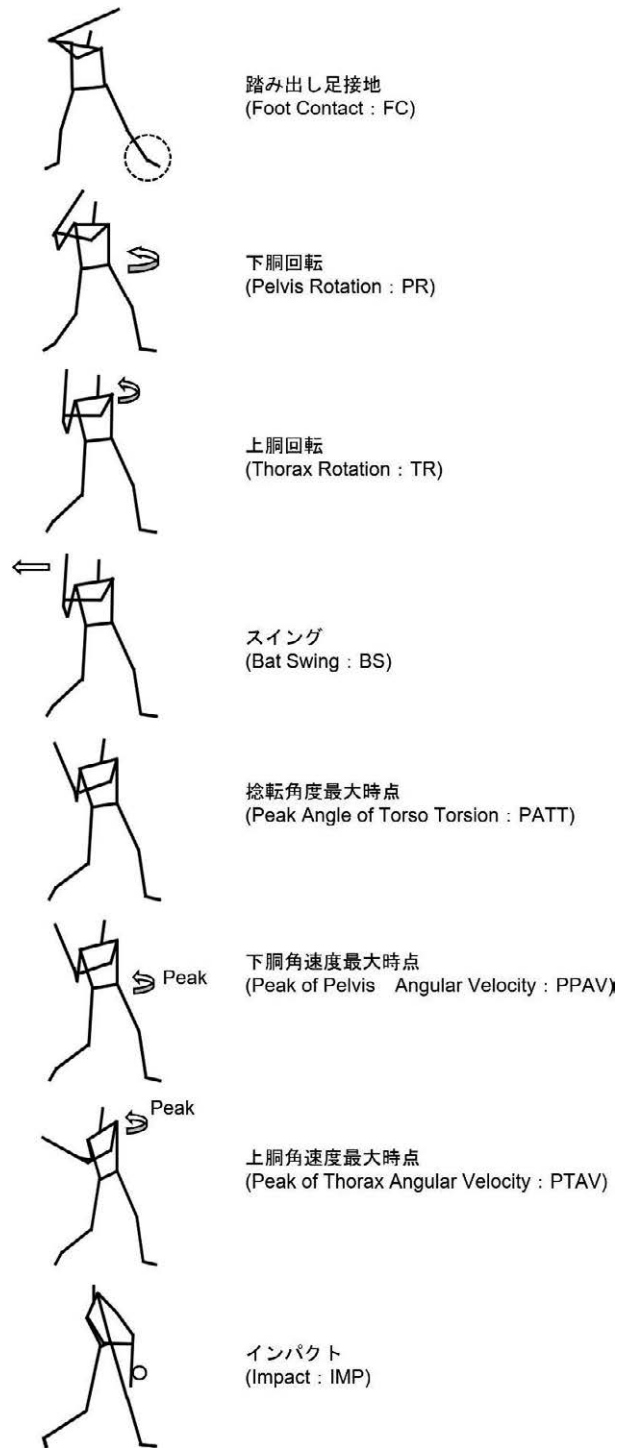


図2 各イベント出現時刻の定義

2.4.6 Y方向（捕手–投手）およびZ方向（鉛直方向）仮想重心変位と仮想Y方向重心移動速度

本研究は、研究対象者左右上前腸骨棘の中点を仮想重心位置と定義した。Y方向仮想重心変位は、リリースからインパクトまでの仮想重心位置の差分で算出した。Z方向仮想重心変位は、リ

リリースから最下点までの差分とした。そして、Y方向仮想重心位置を時間微分し、その最大値をY方向仮想重心移動速度とした。

2.5 統計処理

本研究は、各算出項目における4群（告知FB、告知SB、非告知FB、非告知SB）の平均値を反復測定に対応あり二元配置分散分析（条件要因：告知条件 vs 非告知条件；球速要因：FB vs SB）を用いて比較した。有意差が認められた項目について、Bonferroni補正法を用いて多重比較検定を行い、有意水準は5%とした。なお、全ての統計処理は統計ソフトウェアSPSS（IBM SPSS Statistics, バージョン：29.0.0.0 (24)）を用いて実行した。

3. 結果

バット速度、下胴および上胴の角変位と角速度、体幹捻転角度、YおよびZ方向仮想重心変位、Y方向仮想重心移動速度の結果を表2に示した。告知FB、告知SB、非告知FBおよび非告知SBご

とのインパクト位置を図3、各イベント出現時刻の比較を図4、Y方向仮想重心位置変化を図5、Z方向仮想重心位置変化を図6、Y方向仮想重心移動速度を図7に示した。なお、図5、図6や図7はリリース（0秒）を揃って示したものであり、11名の研究対象者の平均値によって算出された。そして、本研究は打撃タイミングを検討するため、時間規格化を行わなかった。

3.1 バット速度とインパクト位置

4群のバット速度の平均値は表2に示されている。バット速度について、有意な交互作用が認められなかった（ $F(1,10)=4.645$, $p=0.057$ ）。また、条件要因および球速要因ともに有意な主効果が認められなかった（条件要因： $F(1,10)=0.881$, $p=0.370$ ；球速要因： $F(1,10)=0.252$, $p=0.626$ ）。

図3は、4群のインパクト位置を示したものである。X方向（内外角）インパクト位置には有意な交互作用が認められず（ $F(1,10)=0.076$, $p=0.789$ ）、条件要因および球速要因においても有意な主効果が認められなかった（条件要因：

表2 各算出項目の結果（平均値±標準偏差）

	非告知FB	非告知SB	告知FB	告知SB	Statistical analyses	
					Two way Interaction	(Simple) Main effect (Bonferroni)
バット速度 (m/s)	35.7 ± 3.5	35.1 ± 2.9	35.5 ± 1.6	36.5 ± 2.4	n.s. $p = 0.057$	
下胴角変位 (deg)	79.4 ± 13.7	89.7 ± 15.1	86.2 ± 14.8	91.8 ± 11.5	n.s. $p = 0.270$	非告知 > 告知, $p = 0.010$ SB > FB, $p = 0.018$
上胴角変位 (deg)	70.5 ± 12.1	79.3 ± 7.0	73.3 ± 10.0	78.9 ± 8.3	n.s. $p = 0.578$	SB > FB, $p = 0.001$
体幹捻転角度最大値 (deg)	31.7 ± 7.8	37.5 ± 8.3	38.1 ± 8.0	35.2 ± 9.1	*, $p = 0.011$	非告知：SB > FB, $p = 0.012$ FB：告知 > 非告知, $p = 0.020$
下胴角速度最大値 (deg/s)	617.2 ± 99.4	616.7 ± 120.1	643.6 ± 108.8	669.0 ± 116.3	n.s. $p = 0.595$	
上胴角速度最大値 (deg/s)	707.7 ± 13.7	764.8 ± 85.9	765.0 ± 103.3	792.3 ± 93.3	n.s. $p = 0.601$	告知 > 非告知, $p = 0.039$
Y方向仮想重心変位 (m)	0.35 ± 0.08	0.36 ± 0.06	0.34 ± 0.06	0.32 ± 0.07	n.s. $p = 0.401$	
Z方向仮想重心変位 (m)	-0.06 ± 0.03	-0.06 ± 0.03	-0.07 ± 0.02	-0.06 ± 0.03	n.s. $p = 0.554$	
Y方向仮想重心移動速度 (m/s)	1.47 ± 0.27	1.36 ± 0.23	1.42 ± 0.23	1.36 ± 0.19	n.s. $p = 0.837$	FB > SB, $p = 0.003$

$F(1,10)=4.950, p=0.050$; 球速要因： $F(1,10)=0.488, p=0.501$). Y方向(捕手-投手)インパクト位置には有意な交互作用が認められなかった($F(1,10)=0.891, p=0.367$). 条件要因において、有意差が認められなかったが($F(1,10)=2.550, p=0.141$), 球速要因においては有意差が認められ($F(1,10)=23.026, p=0.001$), SBはFBより投手側にあった。

3.2 胴体の回転

下胴角変位には、有意な交互作用が認められなかった($F(1,10)=1.363, p=0.270$). 条件要因において、有意に主効果が認められ、非告知は告知より有意に大きかった($F(1,10)=10.111, p=0.010$). 一方、球速要因においても有意な主効果が認められ、SBはFBより有意に大きかった($F(1,10)=7.958, p=0.018$). 上胴角変位には、有意な交互作用が認められなかった($F(1,10)=0.330, p=0.578$). 条件要因において、有意な主効果が認められなかった($F(1,10)=0.324, p=0.582$). 一方、球速要因において有意な主効果が認められ、SBはFBより有意に大きかった($F(1,10)=21.222, p=0.001$). 体幹捻転角度において、有意な主効果が認められた($F(1,10)=9.826, p=0.011$)ため、単純主効果検定を行った。その結果、条件要因において、非

告知は有意差が認められ、SBはFBより大きかった($F(1,10)=93426, p=0.012$). 一方、球速要因において、FBは有意差が認められ、告知は非告知より大きかった($F(1,10)=7.596, p=0.020$).

下胴角速度には、有意な交互作用が認められなかった($F(1,10)=0.301, p=0.595$). また、両条件ともに有意な主効果が認められなかった(条件要因： $F(1,10)=3.648, p=0.085$; 球速要因： $F(1,10)=0.235, p=0.638$). 上胴角速度には、有意な交互作用が認められなかった($F(1,10)=0.291, p=0.601$). 条件要因において、有意な主効果が認められ、告知は非告知より大きかった($F(1,10)=5.602, p=0.039$). 一方、球速要因においては有意な主効果が認められなかった($F(1,10)=2.575, p=0.140$).

3.3 各イベント出現時刻

図4は、各イベント出現時刻の比較を示したものである。本研究は、ボールリリースされてから時間ごとに打者のスイング動作を比較するため、ボールリリースの瞬間を0秒とした。

FCには有意な交互作用が認められた($F(1,10)=9.070, p=0.013$). 単純主効果を行った結果、条件要因において、告知に有意差が認められ、SBはFBより遅かった($F(1,10)=33.156, p=0.000$). 一

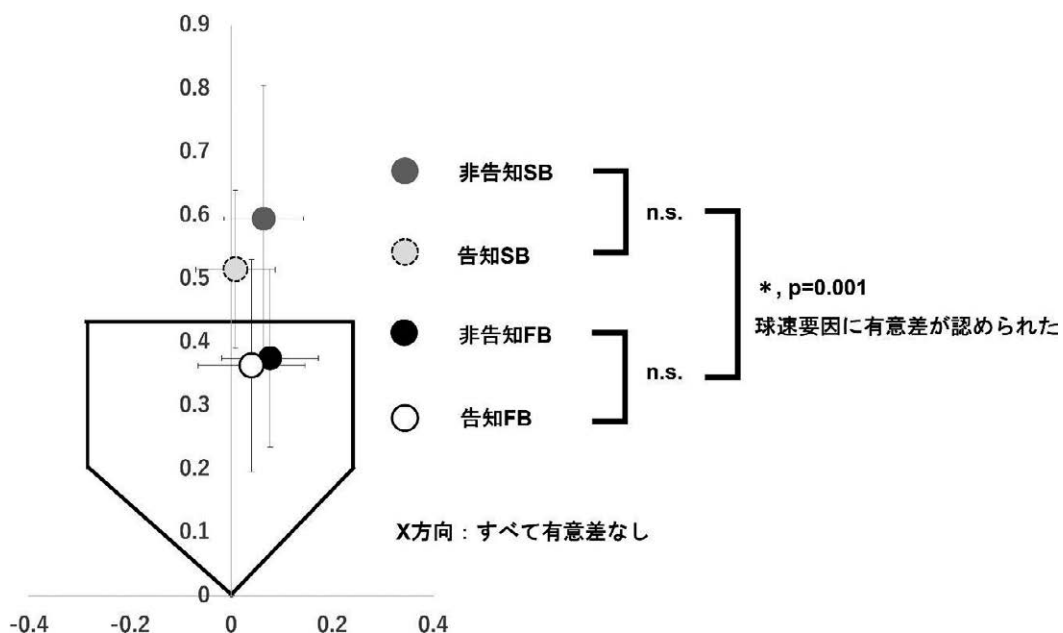


図3 群ごとのインパクト位置の比較(平均値と標準偏差)

方, 球速要因において, SBに有意差が認められ, 告知は非告知より遅かった ($F(1,10)=10.182, p=0.010$). PRには有意な交互作用が認められた ($F(1,10)=11.830, p=0.006$). 単純主効果検定を行った結果, 条件要因において, 告知に有意差が

認められ, SBはFBより遅かった ($F(1,10)=89.337, p=0.000$). 一方, 球速要因において, FBおよびSBともに有意差が認められ, 両方ともに非告知の方が早かった (FB: $F(1,10)=9.282, p=0.012$; SB: $F(1,10)=5.398, p=0.043$). TRからIMPまで

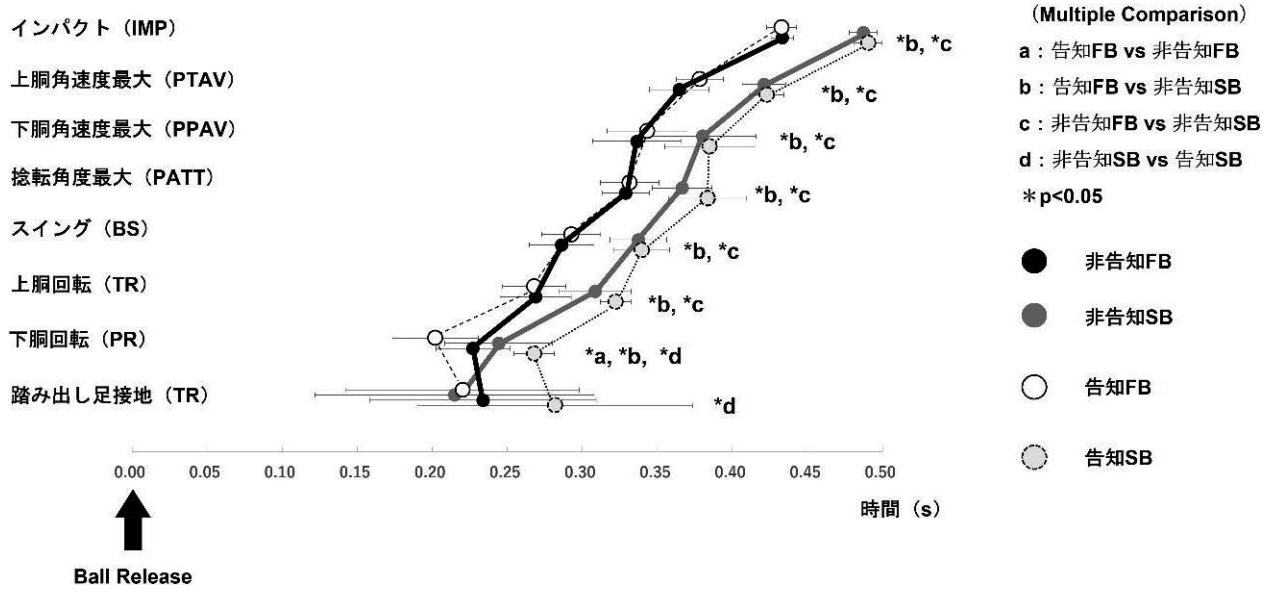


図4 各イベント出現時刻の比較 (平均値±標準偏差)

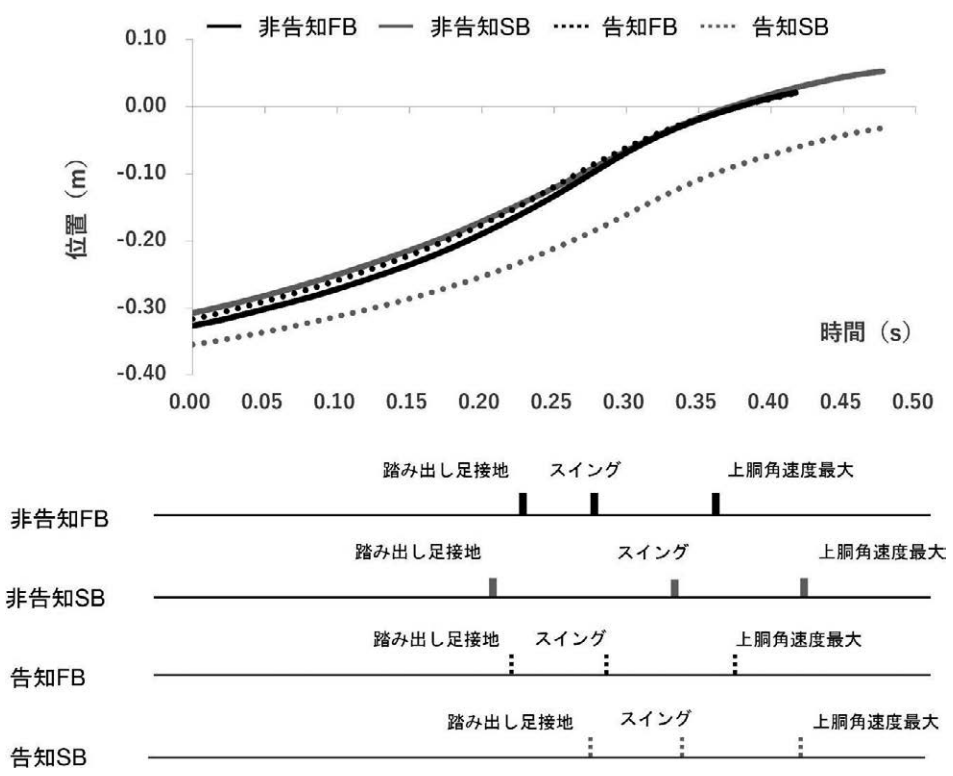


図5 Y方向仮想重心位置の経時変化 (平均値)

図5, 図6および図7において, グラフの下に示されたイベント出現時刻は, 各イベントの出現時刻 (図4) の結果である.

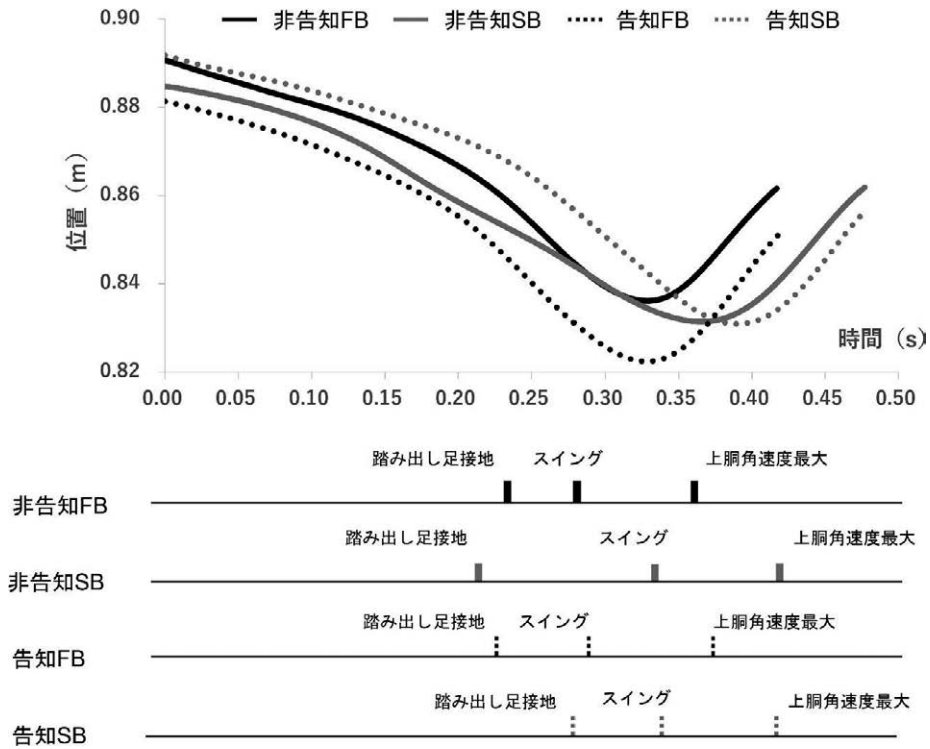


図6 Z方向仮想重心位置の経時変化 (平均値)

図5, 図6および図7において, グラフの下に示されたイベント出現時刻は, 各イベントの出現時刻 (図4) の結果である.

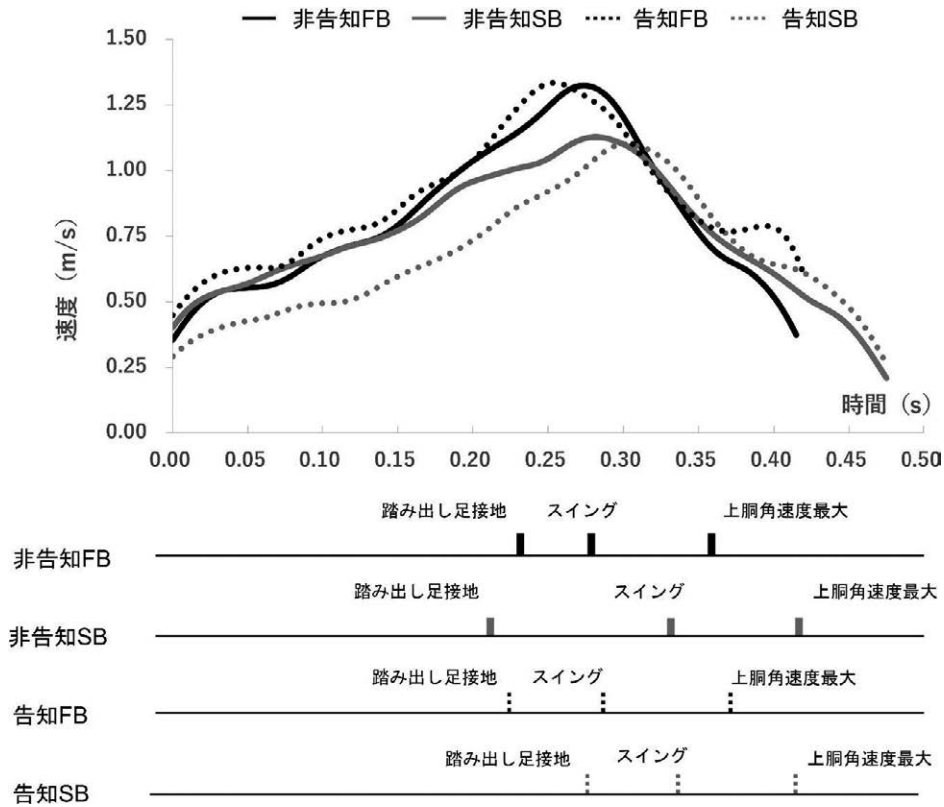


図7 Y方向仮想重心移動速度の経時変化 (平均値)

図5, 図6および図7において, グラフの下に示されたイベント出現時刻は, 各イベントの出現時刻 (図4) の結果である.

のすべてのイベント出現時刻は有意な交互作用が認められなかった (TR : $F(1,10)=1.821$, $p=0.207$; BS : $F(1,10)=0.317$, $p=0.586$; PATT : $F(1,10)=2.326$, $p=0.158$; PPAV : $F(1,10)=0.025$, $p=0.001$; PTAV : $F(1,10)=2.517$, $p=0.144$; IMP : $F(1,10)=0.795$, $p=0.393$). また, いずれも球速要因に主効果が認められ, SBはFBより遅かった (TR : $F(1,10)=62.289$, $p=0.000$; BS : $F(1,10)=194.741$, $p=0.000$; PATT : $F(1,10)=77.837$, $p=0.000$; PPAV : $F(1,10)=53.329$, $p=0.001$; PTAV : $F(1,10)=94.502$, $p=0.000$; IMP : $F(1,10)=692.656$, $p=0.000$).

3.4 仮想身体重心の移動

4群のY方向仮想重心変位, Z方向仮想重心変位およびY方向仮想重心移動速度は表2に示されている. そして, Y方向仮想重心位置の経時変化は図5, Z方向仮想重心位置の経時変化は図6, Y方向仮想重心移動速度の経時変化は図7に示されている.

Y方向仮想重心変位には, 有意な交互作用が認められなかった ($F(1,10)=0.770$, $p=0.401$). また, 条件要因および球速要因ともに有意な主効果が認められなかった ($F(1,10)=3.097$, $p=0.109$; 球速要因 : $F(1,10)=0.165$, $p=0.693$). Z方向仮想重心変位には, 有意な交互作用が認められなかった ($F(1,10)=0.374$, $p=0.554$). また, 条件要因および球速要因ともに有意な主効果が認められなかった (条件要因 : $F(1,10)=3.808$, $p=0.080$; 球速要因 : $F(1,10)=1.028$, $p=0.335$).

Y方向仮想重心移動速度には, 有意な交互作用が認められなかった ($F(1,10)=0.044$, $p=0.837$). 条件要因において, 有意な主効果が認められなかった ($F(1,10)=2.059$, $p=0.182$). 一方, 球速要因において, 有意な主効果が認められ, SBはFBより遅かった ($F(1,10)=15.719$, $p=0.003$).

図5では, 告知FB, 非告知FBおよび非告知SBのY方向仮想重心位置の経時変化はほぼ同様な結果になった. 一方, 告知SBの場合, 既に球種が告知されているため, リリース時から他の両者より仮想重心位置が捕手側にあった. 図6では, 告知FBおよび非告知FBのスイングは告知SBおよ

び非告知SBより早かったため (図4), 告知FBおよび非告知FBのZ方向仮想重心位置の経時変化はより早い段階から上がる傾向が見られた. そして, 図7では, 非告知SBはFBを準備しているため, ボールがリリースされてから約0.20秒までのY方向仮想重心移動速度の経時変化は非告知FBほぼ同様であった. その後, 約0.30秒の時点からSBに対応しているため, 告知SBに合わせる傾向が見られた.

4. 考察

4.1 バット速度とインパクト位置

バット速度は, 4群の間に有意差が認められなかったことから, 研究対象者は指示通り, 投球に対して当てるだけではなく, 全力でスイングしていたものと考えられる.

Kidokoro et al. (2019) は, 打撃タイミングの許容範囲について検討した. その結果, 同じ投球速度の場合, 打者の打撃タイミングは内角より外角の方が遅いと報告されている. そのため, 本研究は投球コースによる打撃タイミングの変動を防ぐため, ピッチングマシンの投球コースをストライクゾーンの中央に設定した. 本研究で得られたインパクト位置のX座標値 (内外角) に群間で有意差が認められなかったことから (図3), 投球コースの違いによるタイミングの差は小さく, 球速や告知および非告知条件による打撃タイミングの差を検討するのに相応しい実験設定であったと考えられる.

一方, インパクト位置のY座標値 (投手方向) において, 告知FBと非告知FBを比較した結果, 同じ位置になっていたことから, 非告知の場合, 研究対象者は指示通りFBを準備していたと考えられる. そして, 条件要因に有意な主効果が認められなかったものの, 球速要因に有意な主効果が認められ, SBはFBより投手側に位置していた. つまり, 捕手-投手方向のインパクト位置について, 球速が遅いほどインパクト位置は投手側にあると考えられる.

4.2 速球を準備している時の打撃動作

本研究は、非告知条件ではFBを準備し、SBが投げられた場合できるだけ対応しようと研究対象者に指示をしていた。そのため、告知FB、非告知FBおよび非告知SBの3群は速球を準備しているものと考えられる。

3群の各イベント出現時刻(図4)を比較した結果、告知FB、非告知FBおよび非告知SBのFCの出現時刻に有意差が認められなかった。このことから、非告知条件において、打者は指示通りにFBを準備することができていたと考えられる。そして、PRの出現時刻に有意差が認められ、告知FBは非告知FBと非告知SBより早かった。それは、告知FBは球種を告知されていることが原因と考えられる。TRからIMPまでの各イベントは、条件間に有意差が認められなかった。一方、球速要因に有意差が認められ、SBはFBより遅かった。以上の結果をまとめると、打者はFBを準備している時にSBが投げられた場合、上胴回転開始を遅らせてSBに対応していたと示唆できた。

Slater & Stumpner (1951) は、野球のバッティングにおける打者の選択反応時間は約0.29~0.34秒が必要だと述べている。したがって、ボールがリリースされてから約0.30秒までの間に、非告知FBと非告知SBのFCやPRが同時に出現していた。そして、球種がSBの場合、打者はTRを遅らせることによって適切なタイミングでスイングを行ったと考えられる。つまり、非告知条件下で打者が速球を準備している時に遅球が投げられた場合、ボールリリース後の約0.30秒まで球種などを判断し、0.30秒からTRを遅らせて打撃タイミングを調整していると考えられる。

打者の胴体回転運動について、下胴および上胴角変位ともに、SBはFBより有意に大きかった。それは、インパクト位置に関係している可能性がある。インパクト位置の結果を見ると、SBはFBより投手側にあった。つまり、SBに対して打者はより投手方向に胴体を回転してインパクトに向かっていたと考えられる。そして、体幹捻転角度では、非告知FBと非告知SBに有意差が認めら

れ、非告知SBの方が大きかった(表2)。非告知FBと非告知SBのFCおよびPRの間に有意差が認められなかった。しかし、非告知SBはTRを遅らせて打撃タイミングを調整した(図4)。つまり、非告知SBは下胴が先に回ったとしても、上胴を残してインパクトに向かっていると考えられる。そのため、非告知SBの体幹捻転角度が大きくなった。すなわち、打者がFBを準備している時にSBが投げられた場合、上胴の向きをより捕手側に留めてSBに対応していると示唆された。

下胴角速度には有意差が認められなかったが、上胴角速度では告知条件が非告知条件より速かった。告知条件の場合、打者は既に球種を告知されているため、全力で上胴を回転させることができたと考えられる。それに対し、非告知条件の場合、SBはFBより上胴角速度が速かった。それは、インパクト位置(図3)と上胴角変位に関係していると考えられる。SBはFBより遅くホームベースに到着する。そのため、SBのインパクト位置はFBより投手側にあった。よって、上胴角変位もSBの方がFBより大きかった。したがって打者はFBよりもSBの方が上胴の回転を加速させることができていたと考えられる。

Y方向仮想重心変位において、3群の間に有意差が認められなかった(表2)。しかしながら、Y方向仮想重心位置の経時変化(図5)を見ると、非告知FB、非告知SBおよび告知FBはほぼ同様な曲線が描かれている。非告知SBは、打者がFBを準備しているため、投げられた球種がSBであっても、打者の仮想重心の移動は告知FBおよび非告知FBと同様な動きになっていた。Z方向仮想重心変位では、有意差が認められなかった(表2)。しかし、Z方向仮想重心位置の経時変化(図6)を見ると、非告知FBと告知FBは約0.30秒から仮想身体重心が上昇する傾向が見られた。それに対して非告知SBでは、Z方向仮想身体重心の沈み込みの時間が長くなっていた。那須(2017)は、ストレート(123km/h)に対してヒットを打った場合とチェンジアップ(103km/h)に対してヒットを打った場合について、両者のスイング動作を比較した。その結果、ボールリリース

後約0.30秒までほぼ同じ挙動を示すが、チェンジアップヒットの場合は、その後の身体重心の沈み込みの時間を延長することでチェンジアップに対応していると述べている。本研究で得られたZ方向仮想身体重心変位では、有意差が認められなかったものの、図6にて提示したZ方向仮想身体重心位置変化を見ると、那須(2017)と似たような結果であった。

Y方向仮想重心移動速度について、告知FB、非告知FBと非告知SBの間に有意差が認められなかった。Y方向仮想重心移動速度の経時変化(図7)では、告知FB、非告知FBと非告知SBを比較すると、最初の段階で3群はほぼ同じ曲線になっている。その後、非告知SBは踏み出し足接地時に、非告知FBに比べてY方向仮想重心移動速度が遅かった。つまり、打者がFBを準備している際にSBが投げられた場合、投手方向への身体重心移動速度を「抑えるように」コントロールすることも重要な要素だと考えられる。

4.3 遅球を準備している時の打撃動作

各イベント出現時刻(図4)では、告知SBのFCとPRは、非告知SBより有意に遅かった。その後、TRの出現時刻からIMPまでの各イベント出現時刻の間に非告知SBと有意差が認められなかった。このことから、打者がSBを準備する場合、踏み出し足接地までの時間を伸ばしてSBに対応する。あるいはスイング動作全体を遅らせて踏み出し足接地を遅くしてSBに対応などの可能性があると考えられる。今後はテイクバックなども含め、本研究で取り扱っていない動作要因についても検討していく必要があると考えられる。

そして、Y方向仮想重心位置の経時変化(図5)を比較してみると、告知SBは他の3群より捕手側に留めていた。さらに、Y方向仮想重心移動速度の経時変化(図7)においても、告知SBは他の3群より遅かった。以上のことをまとめると、打者がSBを準備している場合、自らの身体重心を捕手側に留めることと、投手方向への身体重心移動速度を抑えながらSBに対応していたと示唆できた。

4.4 先行研究と異なる点

本研究は、先行研究といくつか異なる結果が得られた。まず、Kidokoro et al. (2020)は、速球を123km/hとカーブおよび遅球を90km/hに設定し、球種告知および非告知の2条件を設けてランダムで打者に打たせた。打者の打撃タイミングが合った全試技をまとめると、球種によって踏み出し足接地時刻が異なっても、下胴回転開始時刻を調節することで打撃タイミングを合わせることが可能になると報告している。しかし、本研究は告知FB、非告知FBと非告知SBのスイング動作を時間的に比較した結果、打者が速球を準備している時に遅球が投げられた場合、下胴回転より遅れて開始される上胴回転の段階から、スイング動作を遅らせてSBに対応していた。

次に、高木ほか(2008)は、球速の異なる直球(Fast: 125-130km/h, Medium: 100-105km/h, Slow: 75-80km/h)をランダムで打者に打たせた。その結果、ボール速度が大きくなると、テイクバックからインパクトまでの投手方向への身体重心移動距離および移動速度の最大値が小さくなったと報告している。しかし、本研究で得られた結果は、打者のY方向仮想身体重心変位では有意差が認められなかった。そして、Y仮想方向重心移動速度について、球速要因に有意な主効果が認められ、FBはSBより速かった。本研究は、左右ASISの midpointを仮想身体重心と定義しているため、打者の身体重心に関する考察について、さらなる検討必要であると考えられる。

Kidokoro et al. (2020) および高木ほか(2008)の研究において、実験で用いられた速球の球速は約120km/h台であり、遅球は75-90km/hであった。本研究は、より競技レベルが高い野球試合に近い状況を想定するため、速球を140km/h、遅球を120km/hに設定した。Slater & Stumpner (1951)は、野球のバッティングにおける打者の選択反応時間は約0.29-0.34秒が必要と述べている。そのため、速球の球速が140km/h以上になると、打者にとって判断するための時間が十分ではないと考えられる。本研究に比べ、Kidokoro et al. (2020) および高木ほか(2008)の研究では打者にとって

球種などを判断することができる時間が十分にあったものと考えられる。したがって、下胴回転の段階で打撃タイミングを調整し、投球がホームベースに到達するまで自分の身体重心の移動距離および移動速度を制御して異なる球速の投球に対応することができたと考えられる。

本研究は、140km/hの速球と120km/hの遅球で実験を行ったものである。打者にとって判断することができる時間がより短かった。そのため、ボールがリリースされてから0.30秒までは、振り遅れないために球種を判断しながらスイング動作を行わなければならない。競技レベルが高い野球試合の球速により近い設定で行われた本研究では、実験で用いられた球速の点によってKidokoro et al. (2020) および高木ほか (2008) の研究と異なる結果が得られた。

5. まとめ

本研究の目的は、打者が速球を準備している時と遅球を準備している時のスイング動作の違いを明らかにすることである。その結果、以下のことが明らかになった。

速球を準備している時に、ボールがリリースされてから約0.30秒までの間に、踏み出し足接地および下胴回転をしていた。その後、球種が速球の場合、そのまま上胴を回転してスイングしていた。それに対し、球種が遅球の場合、上胴回転を遅らせることによって適切な打撃タイミングに調整していた。そして、鉛直方向の身体重心移動では、身体重心の沈み込みの時間を長くすることで遅球に対応していた。一方、遅球を準備している時には踏み出し足接地を遅らせて打撃タイミングを調整していた。そして、打者は自らの身体重心を捕手側に留めることと、投手方向への身体重心移動速度を抑えながら遅球に対応していた。以上のことから、実際の試合のような非告知条件において、遅球が投げられた場合、上胴回転の開始時刻を調整することと、スイング途中で重心移動速度を調節することが重要なことだと示唆できた。一方、打者が遅球を準備している場合、踏み出し

足接地のタイミングを遅らせることと、身体重心位置を捕手側に留めることで遅球に対応していた。

本研究の実験はピッチングマシンで行ったものであった。実際の試合において、優れた打者は投手の投球フォームの一端からも球種や球速を予測し、打撃タイミングを合わせることができるとも考えられる。さらに、投手の投球フォームから球種などを予測することも可能な場合がある。今後は、より実戦に近い状況での検討も必要があると考えられる。

文献リスト

- 遠藤壮・宮西智久 (2016) 野球の打撃動作における直球のタイミング調整に関するバイオメカニクス研究 — 球種告知と球種非告知条件の比較において —. 仙台大学大学院スポーツ科学研究科修士論文集, 17: 1-8.
- Gray, R. (2002) Behavior of college baseball players in virtual batting task. *Journal of Experiment Psychology Human Perception and Performance*, 28(5): 1131-1148.
- 林卓史・佐野毅彦 (2019) 大学野球におけるストレートのリリース速度と回転速度の効力の検証. *スポーツ産業学研究*, 29(2): 137-147.
- 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: 695-705.
- Inkster, B., Murphy, A., Bower, R. & Watsford M. (2011) Differences in the Kinematics of the Baseball Swing between Hitters of Varying Skill. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(6): 1050-1054.
- 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.
- 猪飼道夫 (1973) 身体運動の生理学. 杏林書院: 東京都, p.329.
- Jinji, T. & Sakurai, S. (2006) Direction of spin axis and spin rate of the pitched baseball. *Sports Biomechanics*, 5: 197-124.

- Katsumata, H. (2007) A functional modulation for timing a movement: A coordinative structure in baseball hitting. *Human Movement Science*, 26(1):27-47.
- 川村卓・功力靖雄・阿江通良 (2000) 熟練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・小池関也・阿江数通 (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.
- 城所収二・若原卓・矢内利政 (2009) フリーバッティングにおけるバットの角速度と打球飛距離. *日本機械学会*, 9(45):229-233.
- 城所収二・矢内利政 (2017) 野球における打ち損じた際のインパクトの特徴. *バイオメカニクス研究*, 21(2):52-64.
- Kidokoro, S., Matsuzaki, Y. & Akagi, R. (2019) Acceptable timing error at ball-bat impact for different pitches and its implications for baseball skills. *Human Movement Science*, 66: 554-563.
- Kidokoro, S., Matsuzaki, Y. & Akagi, R. (2020) Does the combination of different pitches and the absence of pitch type information influence timing control during batting in baseball?. *PLOS ONE*, DOI: <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0230385>
- 光川真壽・河村剛光・佐賀典生・澁谷智久 (2018) 野球のティー打撃における打球飛距離とスイング特性の関係 —簡易型スイング特性分析器による検討—. *野球科学研究*, 2:46-56.
- 森下義隆・勝亦陽一・神事努 (2019) 空間上の打撃ポイントの違いがバットのスイング特性に及ぼす影響. *体育学研究*, 60:463-474.
- 中島大貴・森下義隆・八木賢太郎・桜井伸二 (2020) 野球の打撃におけるインパクト時のバットの上下方向の傾斜が打球の回転に及ぼす影響. *バイオメカニクス研究*, 24:8-18.
- 那須大毅 (2017) 野球の投手—打者対戦からみたバッティングの時間構造. *日本神経回路学会誌*, 24:132-137.
- Nunome, H., Ikegami, Y., Kozakai, R., Apriantono, T., Sano, S. (2006) Segmental dynamics of scooper instep kicking with the preferred and non-preferred leg. *Journal of Sports Science*, 18(4):529-541.
- Slater-Hammel A.T. & Stumpner R.L. (1951) Choice Batting Reaction Time. <https://doi.org/10.1080/10671188.1951.10621327>
- 高木斗希夫・藤井範久・小池関也・阿江通良 (2008) 異なる投球速度に対する野球の打撃動作に関するキネマティクスの研究. *バイオメカニクス学会誌*, 32(3):158-166.
- 高木斗希夫・藤井範久・小池関也・阿江通良 (2010) 無作為投球速度変化状況で野球の打撃動作に関するキネマティクスの研究. *バイオメカニクス学会誌*, 34(1):53-61.
- Winter, D. A. (2004) *Biomechanics and Motor Control of Human Movement*, Fourth Edition. John Wiley & Sons, Inc, pp.67-75.

(2024年6月7日受付)
(2025年1月25日受理)

英文抄録 (Abstract):

The purpose of this study was investigating the difference of when batters preparing the fastball and slowball. Eleven university baseball players performed the batting by using the pitching machine that the type of pitched was set at two kinds of straight, one was 140km/h (Fastball, FB) and the other one was 120km/h (Slowball, SB) under two conditions: Noticed condition (aware of the next pitch) and Non-noticed condition (unaware of the next pitch). We used 3 high-speed cameras to records the swing movement of each participant. We defined the swing movement as following 8 events; (1) Foot Contact, (2) Pelvis Rotation, (3) Thorax Rotation, (4) Bat swing, (5) Peak Torso Torsion Angle, (6) Peak Pelvis Angular Velocity, (7) Peak Thorax Angular Velocity and (8) Impact. To confirm how batters adjust their swing movement to match the ball-impact at optimal time, we defined the ball release as 0s and calculated the appearance time of each event.

The main result is shown below; Thorax Rotation of Non-noticed SB was later than Noticed FB and Non-noticed FB significantly (Noticed FB: 0.268s, Non-noticed FB: 0.269s, Non-noticed SB: 0.308s, $p < 0.05$). That is mean that when batters preparing the fastball but the pitched ball was slowball, batters effectively delayed their Thorax Rotation to achieve accurate timing, even if Foot Contact and Pelvis Rotation occurred early. Meanwhile, the Foot Contact of Noticed SB was later than another group (Noticed FB:0.220, Non-noticed FB: 0.234, Non-noticed SB: 0.215, Noticed SB: 0.282, $p < 0.05$). That is mean that when batters preparing the pitched ball as slowball, they delayed their Foot Contact to match the batting timing for slowball.

On the other hand, no matter pitch types were noticed or not, the velocity of center of gravity of slowball was latter than fastball.