無作為投球速度変化状況での野球の打撃動作に関する キネマティクスの研究

高 木 斗希夫^{1†}, 藤 井 範 久², 小 池 関 也², 阿 江 通 良²
¹ 筑波大学 人間総合科学研究科 体育科学専攻
² 筑波大学 体育科学系

要旨 本研究は、打者が予めボール速度がわかっている条件（球速提示あり）とわからない条件（球速提示なし）において、球速の異なるボールに対する打撃動作の特徴および打撃の時間的調節に及ぼす動作の影響を検討することを目的とした。球速の異なるボール（85-87km/h, 105-107km/h, 125-127km/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。バット速度および打撃の正確性を表す指標を算出するとともに、打撃動作における体幹部の回転運動と身体重心の並進運動についても検討した。その結果、球速提示あり・なしに関わらず、打者はボール速度が大きい場合、身体重心移動距離を小さくし、また体幹の捻りが最大となる時点からインパクトまでの上胴の回転動作範囲を小さくしていた。このことから、打者は球速提示あり・なしに関わらず、ボール速度の判断を行った後にボール速度に応じて打撃動作を調整していることなどが示唆された。また、球速提示なしでは、踏出足接地から下胴部の角速度が最大値を示す時点までの時間を調整することによって異なる速度のボールに対するタイミング調節を図っていることなどが示された。

キーワード：野球打撃、打撃の正確性、体幹の捻転動作、時間的調節、重心移動

1. はじめに

野球打撃において、打球速度の大きさはパフォーマンスを決定する主要因であり、打球速度を大きくするためには、投手が投げるボールを時間的かつ空間的に正確に打撃すること（打撃の正確性）とバット速度を大きくすることが重要な要素となる。

短いスイング時間でバット速度を大きくするための動作技術については、踏出足のステップ動作を有効に利用すること¹⁾や投手方向への身体の運動量を大きくすること¹⁾などの重要性が指摘されている。一方、打撃の正確性の向上に関する技術要素については、打者のタイミング調節に関する研究が行われているものの²⁻⁵⁾、それらの研究は地面反力による分析であること^{2,3)}、打撃動作に制限を加えていること⁴⁾、ボールを発光ダイオードで代用した打撃のシミュレートであること⁵⁾などから、打撃の正確性の向上に必要なとされる動作が十分に検討されているとはいえない。

ボール速度が大きい条件では、ボールを見る時間が制限されるため、打撃の正確性を向上させることが困難になると考えられる。したがって、打者はバット速度よりもむ

しろ打撃の正確性を優先した動作を選択する可能性が高い。反対に、ボール速度が小さくなるにしたがい、打撃の正確性を向上させ易いため、打者はバット速度の獲得を優先する動作選択をすると考えられる。このことに着目して、著者らは先行研究⁶⁾において、異なるボール速度に対する打撃動作の特徴を比較し、打撃の正確性を向上させる動作を検討した。その結果、ボール速度が大きい場合には、投手方向への身体重心移動を抑えること、また体幹部の捻りが最大となる時点で上胴部を投手方向へ回転させてその後の回転動作範囲を小さくすることなどが打撃の正確性を向上させる際に必要な動作であることが示唆された。

一方、先行研究⁶⁾における実験設定では、予めボール速度を打者に知らせる実験設定を用いた。したがって、次の研究課題として、先行研究⁶⁾で検討された打撃の正確性の向上に必要なとされる動作が、実際の試合のようなボール速度がわからない状況において、どの程度適用できるかを明らかにすることである。そこで、本研究では、異なる速度のボールを予め打者に知らせた条件と知らせないで無作為に投じた条件における打撃動作を比較することにより、実際の打撃における打撃の正確性の向上に必要なとされる対応動作について検討することを第一の目的とした。

また、ボール速度が予めわからない状況では、打撃のタイミングを計るために動作の時間的な調節が必要とされる^{2,3,5)}。しかし、これまでの研究では、バット⁵⁾あるいは地面反力のみ^{2,3)}の定量的分析であるため、3次元動作分析

2009年10月3日受付 2009年11月5日受理

[†]〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

筑波大学人間総合科学研究科体育科学専攻

スポーツバイオメカニクス研究室

高木 斗希夫

Tel: 029-853-5654

E-mail: takagi@lasbim.taiiku.tsukuba.ac.jp

に基づいてどのような動作がどの程度、動作の時間的な調節に影響を及ぼしているのかは明らかにされていない。以上のことから、動作の時間的調節に関与する身体動作を明らかにすることを第二の目的とした。

2. 方法

2.1 被験者

被験者は18～22歳までの首都大学野球連盟一部リーグに所属する大学硬式野球部員19名（身長：1.75 ± 0.05m, 体重：73.7 ± 5.5kg）で、いずれも公式試合に出場するレベルの選手であった。そして、後述する分析試技の選定方法（「2.4 データ処理 (1) 分析試技の選定」参照）に基づき、分析試技を選定した結果、分析の対象となった被験者は6名（身長：1.75 ± 0.08m, 体重：74.2 ± 4.2kg）であり、全員左打ちであった。被験者には実験の趣旨を説明し、実験参加の同意を得た。なお、本研究は筑波大学人間総合科学研究科倫理委員会の承認を得た上で行われた。

2.2 データ収集

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（VICON612, Oxford Metrics 社）により、身体計測点47点およびバット計測点4点、計51点の3次元座標データを収集した。インパクト直前および直後のボール速度を計測するために、2台の高速VTRカメラ（HSV-500C3, NAC 社）を設置した（撮影速度：250フレーム/秒、シャッタースピード：1/2000秒）。インパクト前後のボールについては、DKH社製FrameDias IIを用いてデジタル化し、DLT法によって3次元座標を算出した。また、地面反力データをもとに打撃動作分析開始時点を定義する（後述）ため、被験者の両足下に2台のフォースプラットフォーム（9281A, Kistler 社；9827B, Kistler 社）を設置し、地面反力を測定した（サンプリング周波数：500Hz）。打者から投手へ向かう方向をY軸、鉛直方向をZ軸、Y軸およびZ軸に直交し、かつ右打席から左打席へ向かうベクトルをX軸として静止座標系を設定した。また、左打ちの被験者については3次元座標データのX軸成分に-1を乗ずることで右打ち打者として分析を行った。

2.3 実験試技

本研究では、ストライクゾーン中央に投げられたボールを打撃した際の投手方向への打球速度の大きさをパフォーマンスの指標とした。被験者にはピッチングマシン（SMA30, ニッシンエスピーエム社製）より発射されたボールを打撃し、投手方向（ピッチングマシン方向）への打球速度をできる限り大きくするように指示した。ピッチングマシンから発射されるボール速度を、低速：85-87km/h, 中速：105-107km/h, 高速：125-127km/hとし、ボール速度を打者に予め知らせた条件（以下「球速提示あり」）と知

らせなかった条件（以下「球速提示なし」）を設定した。球速提示ありにおける低速、中速、高速のボール速度条件をSLOW_N, MEDIUM_N, FAST_Nとし、球速提示なしにおけるボール速度条件をSLOW_R, MEDIUM_R, FAST_Rとする。なお、単にSLOW, MEDIUM, FASTと記述した場合は球速提示ありと球速提示なしの両方を含むものとする。球速提示ありの試技では、被験者に各ボール速度条件の前に12-15球の練習試技を行わせ、被験者の準備が整ったことを確認した上で実験試技を行った。そして、SLOW_N, MEDIUM_N, FAST_Nの各ボール速度条件においてストライクが5-7球カウントされるまで同じボール速度で試技を繰り返した。球速提示なしの試技では、SLOW_R, MEDIUM_R, FAST_Rを1球ごとに無作為に投げ、すべてのボール速度が5-7球カウントされるまで試技を繰り返した。

本研究におけるストライクゾーン中央は以下のように定義した。鉛直方向については打者の大腿部中央から剣状突起までとし、左右方向についてはベースの横幅を3分割した時の中央とした。また、投球コースがストライクゾーンから外れていた場合には、スイングの有無に関わらずストライクとはカウントしなかった。バットを握る位置（グリップ）については、全ての条件で同じ位置を握るよう指示した。

2.4 データ処理

(1) 分析試技の選定

打球がインフィールドに入り（水平面内において、投手方向に対して打球の速度ベクトルが左右45度以内のもの）、被験者の内省評価が5段階で3点以上（数が大きいほど評価が高い）のもので、投手方向への打球速度が最も大きいものを分析試技とした。なお、本研究では特にFASTにおいて、打球がインフィールドに入り、かつ内省評価が3点以上という条件を満たすことができなかった被験者がいたため、これらの被験者については分析対象として扱わなかった。

(2) 分析範囲の決定

打者の捕手側の足を軸足、投手側の足を踏出足とし、ステップ動作前に踏出足の地面反力ベクトルの大きさが最大となった時点からインパクトまでを分析範囲とした。

(3) 座標データの平滑化

バットおよび身体計測点の3次元座標を残差分析⁷⁾することで最適遮断周波数を決定し、Butterworth digital filterにより座標データを平滑化した。用いた遮断周波数は2.5～17.5Hzであった。なお、インパクトによる衝撃力の影響が大きいと予想されるバット先端の座標値については、座標データをインパクト前後に分けてパディング処理を行っ

た後に平滑化した⁸⁾。

(4) 関節中心座標の算出

肘関節、手関節、膝関節、足関節、足部 PIP 関節については、関節周囲に貼付した2つのマーカーの midpoint を関節中心とした。肩関節は、肩前後部のマーカーの midpoint を関節中心とした。股関節については、臨床歩行分析研究会による股関節中心の推定方法⁹⁾を用いて算出した。

2.5 算出項目および算出方法

(1) 打球速度およびバット速度

インパクト直後のボールの座標値を数値微分することで打球速度を算出した。また、インパクト直前のバット先端の座標値を数値微分することにより、バット速度を算出した。

(2) インパクト角

打撃の時間的かつ空間的な正確性をインパクト角によって評価した^{6,10)}。インパクト角は、インパクト直前のバットの速度ベクトルとインパクト直後の打球の速度ベクトルとのなす角度とした。なお、インパクト角が小さいほど、打撃の正確性が高いことを示すものとする。

(3) 身体重心位置および身体重心速度

身体を左右の手、前腕、上腕、足、下腿、大腿および頭、上胴、下胴の身体 15 部分からなるリンクセグメントにモデル化し、身体部分およびバットを含む全身の重心位置を算出した¹¹⁾。そして、全身の重心位置を数値微分することにより、身体重心速度を算出した。

(4) バットおよび身体各部位の角度

バットグリップエンドからバット先端へ向かうベクトル、踏出足側肩関節から軸足側肩関節へ向かうベクトル、踏出足側股関節から軸足側股関節へ向かうベクトルを XY 平面に投影し、Y 軸となす角度をそれぞれバット角度、上胴角度、

下胴角度とした(図 1)。これらの角度は値が大きいほど投手方向へ回転していることを示す。なお、値が負の場合には、絶対値が小さいほど「角度が大きい」と記述することにする。また、上胴角度と下胴角度の差を上下胴角度とした。そして、上述の角度を数値微分することにより、角速度を算出した。

(5) 動作時点

動作時点を以下のように定義した。

- 動作時点 1……身体重心が捕手方向へ最も移動した時点(以下「CGmin」)
- 動作時点 2……ステップ動作後に踏出足のつま先が地面に接地した時点(以下「FC」)
- 動作時点 3……下胴角速度が最大となった時点(以下「HIPmax」)
- 動作時点 4……上胴角速度が最大となった時点(以下「SHLmax」)
- 動作時点 5……上胴角度と下胴角度とのなす角度が最大となった時点(体幹の捻りが最大となった時点:「以下 TWI」)
- 動作時点 6……ボールにバットが接触する直前時点(以下「IM」)

2.6 統計処理

各分析項目における差を検定するため、球速提示(あり、なし)×ボール速度(SLOW, MEDIUM, FAST)の2要因分散分析を行った。多重比較の検定には Scheffe の方法を用いた。なお、有意水準は 5%とした。

3. 結果

3.1 動作時間

インパクト直前のボール速度およびボールリリース地点からホームベースまでの距離(17m)から、ボールリリース時点点を推定した結果、6 名中 5 名の被験者の全試技において CGmin 以降(あるいはほぼ同時)にボールがリリースされていた。また、1 名の被験者では、CGmin からインパクトまでの動作時間がボールリリースからボールがホームベースに達するまでの時間に比べて短く、CGmin 以前にボールがリリースされていた。そして、この 1 名の被験者は、球速提示なしにおいて踏出足の地面反力ベクトルの大きさが最大となる時点から CGmin までの動作時間にボール速度条件間の差はみられず、後述するように CGmin 以降の動作局面において、タイミングの調整を行っていることを示唆する結果が示されていた。以上のことから、本研究では全被験者について CGmin 以降の動作および動作時間に着目して分析を行った。

表 1 は、各動作時点間に要した時間をボール速度条件ごとに平均値と標準偏差で示したものである。CGmin から FC までの時間では、球速提示およびボール速度において、主効果および交互作用はみられなかった。FC から HIPmax までの時間についてはボール速度において主効果($F(2,10)=4.615$, $p<0.05$)がみられ、球速提示×ボール速度において交互作用($F(2,10)=7.996$, $p<0.01$)がみられた。そこで、FC から HIPmax までの時間について単純主効果検定を行っ

図 1 身体バット各部位のベクトル定義

表 1 動作時間

	SLOW_N	MEDIUM_N	FAST_N	Difference
CGmin-FC	0.55±0.25	0.48±0.22	0.51±0.25	n.s.
FC-HIPmax	0.18±0.08	0.15±0.11	0.20±0.18	n.s.
HIPmax-SHLmax	0.05±0.02	0.05±0.01	0.06±0.01	n.s.
SHLmax-IM	0.05±0.01	0.05±0.01	0.05±0.01	n.s.

	SLOW_R	MEDIUM_R	FAST_R	Difference
CGmin-FC	0.58±0.31	0.47±0.25	0.46±0.24	n.s.
FC-HIPmax	0.35±0.14 [#]	0.22±0.10	0.14±0.10	SLOW_R>FAST_R ^{**}
HIPmax-SHLmax	0.08±0.07	0.04±0.03	0.05±0.02	n.s.
SHLmax-IM	0.06±0.01	0.06±0.01	0.05±0.01	n.s.

*: p<0.05, **: p<0.01 #: 球速提示あり vs 球速提示なし, p<0.05 単位: s

た結果, FAST_R に比べて SLOW_R の方が大きく (p<0.01),

SLOW_N に比べて SLOW_R の方が大きかった (p<0.05). また, HIPmax 以降の動作時間には, 球速提示およびボール速度において, 主効果および交互作用はみられず, 球速提示あり, 球速提示なしおよびボール速度条件に関わらず, すべての条件でほぼ同様の値を示した.

3.2 パフォーマンスの基礎的評価指標

図 2 は, 全被験者の打球速度, 打球速度の Y 成分, バット速度, インパクト角の平均値と標準偏差をボール速度条件ごとに示したものである. 打球速度には, 球速提示, ボール速度に主効果および交互作用はみられなかった. 打球速度の Y 成分には, 球速提示において主効果 (F(1,5)=11.699, p<0.05) がみられ, 球速提示なしの方が小さく, 球速提示×ボール速度において交互作用がみられる傾向にあった (F(2,10)=3.466, p=0.072). バット速度は球速提示において主効果 (F(2,10)=15.517, p<0.05) がみられ, 球速提示なしの方

図 2 パフォーマンスに関するパラメータ

図 3 CGmin から IM まで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、交互作用はみられなかった。インパクト角は球速提示およびボール速度において、主効果および交互作用はみられなかった。

3.3 身体の並進運動

図3は全被験者のCGminからIMまでの投手方向への身体重心移動距離および身体重心速度最大値の平均値と標準偏差をボール速度条件ごとに示したものである。投手方向への身体重心移動距離はボール速度において主効果($F(2,10)=8.065$, $p<0.01$)がみられ、交互作用はみられなかった。このため、ボール速度条件間の多重比較を行った結果、身体重心移動距離はSLOWに比べてMEDIUMとFASTの

方が小さかった($p<0.05$)。投手方向への身体重心速度の最大値は、球速提示において主効果($F(1,5)=15.054$, $p<0.05$)がみられ、球速提示なしの方が小さく、交互作用はみられなかった。図4はCGminを基準としたCGminからIMまでの投手方向への身体重心速度の時系列データを、典型例を用いて示したものである。図中の縦線については、太線がSLOW、細線がMEDIUM、点線がFASTのFCをそれぞれ示している。なお、SLOW_Rにおいては、FCが2回存在したため、SLOW_Rの2回目のFCは破線で示している。球速提示なしにおいてFAST_Rに比べてSLOW_Rでは、CGminからIMまでの動作時間が長くなるとともに身体重心速度の最大値は小さな値を示した。他の被験者においても、程度の違

図4 身体重心速度の典型例

図5 TWIでの上胴角度と上下胴角度

図6 TWIからIMまでの上胴回転動作範囲

いはあるものの、同様の傾向を示していた。

3.4 身体の回転運動

図5は全被験者のTWIでの上胴角度および上下胴角度の平均値と標準偏差をボール速度条件ごとに示したものである。TWIでの上胴角度は球速提示、ボール速度に主効果はみられなかったが、球速提示×ボール速度に交互作用がみられる傾向にあった($F(2,10)=3.403$, $p=0.075$)。球速提示ありのTWIでの上胴角度は、有意差はみられなかったが、すべての被験者においてSLOW_N, MEDIUM_N, FAST_Nに従って大きくなっていった(投手方向へ回転していた)。TWIでの上下胴角度は球速提示、ボール速度に主効果および交互作用はみられなかった。図6はTWIからIMまでの上胴角度の回転動作範囲を示したものである。TWIからIMまでの上胴角度の回転動作範囲では球速提示およびボール速度に主効果(球速提示, $F(1,5)=10.993$, $p<0.05$; ボール速度, $F(2,10)=7.628$, $p<0.01$)がみられ、交互作用はみられなかった。また、ボール速度条件間において多重比較を行った結果、TWIからIMまでの上胴角度の回転動作範囲はSLOWとMEDIUMに比べてFASTの方が小さかった(順に $p<0.01$, $p<0.05$)。図7はCGminからIMまでの下胴角速度を、IM

を基準として平均化したものである。なお、SLOW_NおよびSLOW_RのCGminからIMまでの動作時間を100%として規格化し、時系列データを平均化している。MEDIUM_NとFAST_Nでは、SLOW_Nに対するMEDIUM_NとFAST_Nそれぞれの動作時間の割合(%)を求め、CGminからIMまでの動作時間をこの割合(%)として規格化し、時系列データを平均化している(図中の縦線については、図4と同様)。なお、MEDIUM_RとFAST_Rにおいても同様の処理を行い、時系列データを平均化している。下胴角速度は、すべてのボール速度条件において球速提示ありに比べて球速提示なしではほぼ同様のタイミングで最大値を示していた。下胴角速度の最大値では球速提示において主効果($F(1,5)=24.173$, $p<0.01$)がみられ、球速提示なしの方が小さく、交互作用はみられなかった。図8はCGminからIMまでの上胴角速度を、IMを基準として平均化したものである。なお、時系列データは図7と同様に規格化し、その後平均化している。上胴角速度は、すべてのボール速度条件において球速提示ありに比べて球速提示なしではほぼ同様のタイミングで最大値を示していた。上胴角速度の最大値では、球速提示において主効果がみられる傾向にあり($F(1,5)=6.335$, $p=0.053$)、球速提示なしの方が小さくなる傾

図7 下胴角速度

図8 上胴角速度

向を示した。交互作用はみられなかった。

4. 考察

4.1 無作為投球速度条件における動作調節

各動作時点間に要した時間をボール速度条件ごとと比較すると、FC から HIPmax までの時間についてのみ主効果および交互作用がみられ、単純主効果検定を行った結果、FAST_R に比べて SLOW_R の方が大きく ($p<0.01$)、SLOW_N に比べて SLOW_R の方が大きかった ($p<0.05$) (表 1)。このように、SLOW_R の場合、FC から HIPmax までの時間を長くすることでタイミングを計っていたことから、打者は予めボール速度がわからない条件では、比較的速度の大きいボールにタイミングを合わせ、ボール速度が小さい場合には動作の調整の程度が大きくなることが示唆される。また、タイミングの調節には全ての動作間時間を大きく変化させずに、FC から HIPmax までの時間を長くすることによってタイミングを調整することが示された。バット速度の大きさは体幹部の角速度の増加と正の相関関係があることが先行研究⁶⁾において示されている。以上のことを踏まえると、打者はバット速度の維持・向上に重要とされる体幹部の角速度が大きくなる前にタイミングの調整をする必要があったと考えられる。

4.2 球速提示ありと球速提示なしにおけるパフォーマンスの評価

バット速度は球速提示において主効果 ($F(1,5)=15.517$, $p<0.05$) がみられ、球速提示なしの方が球速提示ありに比べてバット速度が小さかった (図 2)。インパクト角は球速提示、ボール速度に主効果および交互作用はみられなかったが、インパクト角は 6 名中 5 名が SLOW_N に比べて SLOW_R の方が大きく、打撃の正確性が低下する結果を示した (図 2)。打球速度では、球速提示、ボール速度に主効果および交互作用はみられなかったが、6 名中 6 名が SLOW_N に比べて SLOW_R の方が小さかった (図 2)。打球速度の Y 成分では、球速提示において主効果 ($F(1,5)=11.699$, $p<0.05$) がみられ、球速提示の方が小さかった。また、打球速度の Y 成分には、交互作用がみられる傾向にあり ($F(2,10)=3.466$, $p=0.072$)、6 名中 5 名が SLOW_N に比べて SLOW_R の方が小さかった (図 2)。

ボール速度がわからない状況では、打者はボール発射後にボール速度を判断し、動作を開始しなければならないため、ボール速度が予めわかっている場合に比べてボール速度を特定することがより困難となる。このため、打撃の正確性を上げることが比較的難しい状況であるといえよう。動作の正確性と動作速度との間には相反関係があることが知られており¹²⁾、動作の正確性を上げるためには動作速度を小さくする必要があることが知られている。以上のことを踏まえると、球速提示ありに比べて球速提示なしでは打

撃の正確性を維持する必要があったため、バット速度を小さくして対応していた可能性が示唆される。SLOW_R においては、バット速度を減少させているにも関わらず、6 名中 5 名が SLOW_N に比べて SLOW_R の方がインパクト角が大きかった。予め打者にボール速度を提示していない場合、打者は速度の大きいボールにタイミングを合わせると考えられ (表 1)、SLOW_R では運動プログラムの修正の程度が大きいことが予想される。したがって、SLOW_R においては比較的多くの被験者において打撃の正確性が低下する傾向があったと考えられる。

4.3 身体の並進運動の特徴

投手方向への身体重心の移動距離および移動速度の大きさは、バット速度を大きくするための動作といわれている^{6,13)}。一方、投手方向への身体重心移動距離を小さくすることは、打撃ポイントをより捕手方向へ移動させることにつながるため、打撃の正確性を上げるためには効果的な動作であることが報告されている⁶⁾。

投手方向への身体重心移動距離はボール速度において主効果 ($F(2,10)=8.065$, $p<0.01$) がみられ、多重比較の結果、SLOW に比べて MEDIUM と FAST の方が小さかった ($p<0.05$) (図 3)。このことから、予めボール速度がわからない状況においても打者はボール速度に応じて、身体重心移動の調節を行うことが明らかとなった。打者はボール速度が大きい場合には、投手方向への身体重心移動距離を小さくして打撃の正確性の維持を優先すると考えられる。

投手方向への身体重心速度の最大値は、球速提示において主効果 ($F(1,5)=15.054$, $p<0.05$) がみられ、球速提示ありに比べて球速提示なしの方が小さかった (図 3)。また、下脛角速度の最大値では球速提示において主効果 ($F(1,5)=24.173$, $p<0.01$) がみられ、球速提示ありに比べて球速提示なしの方が小さかった。身体重心速度が体幹部の回転運動に及ぼす影響を詳細に検討した研究はみられないが、身体重心速度の小ささは、ステップ動作後に踏出足が受ける地面反力の低下を招くことが予想される。また、矢内¹⁴⁾は踏出足が受ける地面反力が、身体重心まわりに大きなモーメントを発生させる作用があることを明らかにしている。以上のことを踏まえると、球速提示なしでは、身体重心速度の小ささが体幹部の角速度を小さくする一要因となり、それがバット速度の小ささにも影響を与えていたと考えられる。

球速提示なしの SLOW_R では、球速提示ありの SLOW_N に比べて身体重心速度の最大値が小さく、FC 以降、身体重心速度を比較的長時間にわたって維持していた (図 4)。上述したように、多くの打者はボールがリリースされる前に投手方向への移動を開始するため、身体重心が投手方向への速度をもった状態でボール速度を判断することになる。そしてボール速度が小さかった場合、球速提示ありでの SLOW_N のように身体重心速度を増加させ続けると、必

要以上に身体重心が投手方向へ移動することになる。逆に、身体重心速度をいったんゼロにしてしまうと、再び地面反力を得て投手方向への速度を獲得しなければならず、そのためには時間が必要となる。以上のことから、SLOW_Rでは身体重心の位置と速度を適切な範囲に留めるために、身体重心速度を維持して対応していたと考えられる。

4.4 身体の回転運動の特徴

体幹部の捻転動作や、捻転動作によって生じる体幹部の回転運動はバット速度を大きくするために必要な動作であるといわれている^{15,16)}。一方、TWIでの上胴角度を大きくすることは、その後のバットの加速局面におけるバットと上胴の回転動作範囲を小さくするため、打撃の正確性を上げるためには有効な動作であることが先行研究⁶⁾で示唆されている。TWIでの上胴角度は球速提示×ボール速度に交互作用がみられる傾向にあり($F(2,10)=3.403$, $p=0.075$)、有意差はみられなかったが、球速提示ありのTWIでの上胴角度は、すべての被験者においてSLOW_N, MEDIUM_N, FAST_Nになるに従って大きい値を示した(投手方向へ回転していた)(図5)。また、TWIからIMまでの上胴角度の回転動作範囲はSLOWとMEDIUMに比べてFASTの方が小さかった(順に $p<0.01$, $p<0.05$)ことから(図6)、予めボール速度がわからない状況においても打者はボール速度に応じて、上胴の回転動作範囲の調節を行うことが示されたといえる。打者はボール速度が小さい場合にはTWIからIMまでの上胴角度の回転動作範囲を大きくしてバット速度の増大を図り、ボール速度が大きい場合には、TWIからIMまでの上胴角度の回転動作範囲を小さくして打撃の正確性の向上を図ると考えられる。

TWIでの上下胴角度は球速提示、ボール速度に主効果および交互作用はみられなかった(図5)。体幹の捻転動作はバット速度の維持・向上のために保持されるべき動作であり、TWIでの上下胴角度の大きさは体幹の捻転動作による体幹回旋筋群の伸張-短縮サイクル運動を効果的に行うために必要な動作であることが先行研究において示唆されている。このことから、TWIでの上下胴角度はボール速度および球速提示の有無に関わらず、バット速度の維持・向上のために不可欠な動作であったと考えられる。

5. まとめ

本研究では、球速を予め提示した場合と(球速提示あり)と球速を予め提示しなかった場合(球速提示なし)において、球速の異なるボール(SLOW, MEDIUM, FAST)に対する打者の対応、および打撃の時間的調節に及ぼす動作の影響を検討することを目的とした。その結果、以下のことが明らかとなった。

- ① CGmin から FC まで、HIPmax から SHLmax まで、

SHLmax から IM までの動作時間では、球速提示およびボール速度において、主効果、交互作用はみられなかった。一方、FC から HIPmax までの時間については球速提示×ボール速度において交互作用($F(2,10)=7.996$, $p<0.01$)がみられ、FAST_R と SLOW_N に比べてSLOW_Rの方が大きかった(順に $p<0.01$, $p<0.05$)。

- ② 打球速度では、球速提示、ボール速度に主効果および交互作用はみられなかった。
- ③ 打球速度のY成分では、球速提示において主効果($F(1,5)=11.699$, $p<0.05$)がみられ、球速提示ありに比べて球速提示なしの方が小さく、交互作用はみられなかった。
- ④ インパクト角は球速提示、ボール速度に主効果および交互作用はみられなかった。
- ⑤ バット速度は球速提示において主効果($F(1,5)=15.517$, $p<0.05$)がみられ、球速提示ありに比べて球速提示なしの方が小さく、交互作用はみられなかった。
- ⑥ 投手方向への身体重心移動距離はボール速度において主効果($F(2,10)=8.065$, $p<0.01$)がみられ、交互作用はみられなかった。ボール速度について多重比較を行った結果、SLOWに比べてMEDIUMとFASTの方が小さかった($p<0.05$)。また、投手方向への身体重心速度の最大値は、球速提示において主効果($F(1,5)=15.054$, $p<0.05$)がみられ、球速提示ありに比べて球速提示なしの方が小さく、交互作用はみられなかった。
- ⑦ TWIからIMまでの上胴角度の回転動作範囲では球速提示およびボール速度に主効果がみられ(球速提示あり>球速提示なし, $F(1,5)=10.993$, $p<0.05$; ボール速度, $F(2,10)=7.628$, $p<0.01$)、交互作用はみられなかった。ボール速度について多重比較を行った結果、SLOWとMEDIUMに比べてFASTの方が小さかった(順に $p<0.01$, $p<0.05$)。
- ⑧ TWIでの上下胴角度は球速提示、ボール速度に主効果および交互作用はみられなかった。

以上のことから、打者は、試合など予めボール速度がわからない状況においては、速度の大きいボールを想定して準備動作を行い、主に踏出足接地から下胴の角速度が最大になる時点までの時間を調節することで打撃のタイミングを調整していることが明らかとなった。また、ボール速度が大きい場合には身体の並進移動およびTWIからIMまでの上胴の回転動作範囲を小さくすることが打撃の正確性を向上させるためには有効な動作であると考えられる。一方、ボール速度が変化した場合においても、TWIでの体幹部の捻り角度を維持して体幹の捻転動作を行うことが、バット速度を維持するためには一つの重要な技術要素であると考えられる。

参考文献

- 1) 宮崎義憲, 羽鳥好夫, 朽木勤: 野球の打撃動作におけるストライドについて, 第7回日本バイオメカニクス学会大会論集「走・跳・投・打・泳運動におけるよい動きとは」, 137-141, (1984).
- 2) Katsumata, H.: A functional modulation for timing a movement: A coordinative structure in baseball batting, *Human Movement Science*, 26, 27-47, (2007).
- 3) 勝又宏, 川合武司: 地面反力からみた異なる投球速度に対する打撃動作の特性, *体育学研究*, 40, 381-398, (1996).
- 4) 工藤孝幾: 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(4), 285-291, (1987).
- 5) Matsuo, T. and Kasai, T.: Timing strategy of baseball batting, *Journal of Human Movement Studies*, 27, 253-269, (1994).
- 6) 高木斗希夫, 藤井範久, 小池関也, 阿江通良: 異なる投球速度に対する野球の打撃動作に関するキネマティクス的研究, *バイオメカニズム学会誌*, 32(3), 158-166, (2008).
- 7) Winter, D. A.: *Biomechanics and motor control of human movement*, John Wiley and Sons, 41-43, (1990).
- 8) Derrick, T.R.: Signal Processing, In: Robertson, D. G. E., Caldwell, G. E., Hamill, J., Kamen, G., Whittlesey, S. N. (Eds): *Research Methods in Biomechanics*, 227-238, *Human Kinetics*, (2004).
- 9) 倉林準, 持丸正明, 河内まき子: 股関節中心推定方法の比較・検討, *バイオメカニズム学会誌*, 27(1), 29-35, (2003).
- 10) 川村卓, 功力靖男, 阿江通良: 熟練者と野球選手の打撃動作に関するバイオメカニクス的研究ーバットの動きに着目してー, *大学体育研究*, 22, 19-32, (2000).
- 11) 阿江通良: 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数, *Japanese Journal of Sports Sciences*, 15(3), 155-162, (1996).
- 12) Schmidt, R. A. and Lee, T. D.: *Motor control and learning 4th ed*, 207-242, *Human Kinetics Publisher*, (2005).
- 13) 平野祐一: バットによる打の動作, *Japanese Journal of Sports Sciences*, 3(3), 199-208, (1984).
- 14) 矢内利政: 野球のバッティングにおける回転運動の力学的メカニズム, 第19回日本バイオメカニクス学会大会論集, p57, (2006).
- 15) 宮西智久: 野球の打撃動作の角運動量解析, 第18回バイオメカニクス学会大会論集, 160-161, (2004).
- 16) 田内健二, 南形和明, 川村卓, 高松薫: 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, (2004).

高木 斗希夫 (たかぎ ときお)
2002 年山口大学教育学部卒業。現在、筑波大学人間総合科学研究科所属。修士(体育科学)。野球の打撃動作における打者の対応動作とそのメカニズムの解明を研究テーマとする。日本体育学会、日本バイオメカニクス学会、バイオメカニズム学会の会員。

The kinematic characteristics of swing motion to the different speed balls randomly thrown in baseball batting

Tokio TAKAGI^{1 †}, Norihisa FUJII², Sekiya KOIKE², Michiyoshi AE²

¹ Doctoral Program in Physical Education, Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

² Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

Abstract The aim of this study was to compare the batting motions when batters informed ball speed (Normal) with not informed (Random). We also investigated the phase relating timing adjustment. The ball speed was set SLOW (87km/h), MEDIUM (107km/h), and FAST (127km/h). Six university baseball players were selected as subjects. Three dimensional kinematic data of swing motions were collected. The results were that in both Normal and Random conditions, batters reduced center of gravity and batters reduced the rotational movement extent of the upper torso, as ball speeds were high. Therefore it was investigated that batters selected their proper motions according to ball speeds, after they perceived ball speeds. It was also appeared that batters prolonged the time from stride foot contact to maximum lower torso rotation for low speed balls at Random

Key Words: Baseball batting, Batting accuracy, Torso twist motion, Timing adjustment, Range of movement

Received Oct 3, 2009 Accepted Nov 5, 2009

[†] Tokio TAKAGI

Doctoral Program in Physical Education, Health and Sport Sciences,
University of Tsukuba

University of Tsukuba, 1-1-1, Tenno-dai, Tsukuba 305-8574 Japan

Tel: 029-853-5654

E-mail : takagi@lasbim.taiiku.tsukuba.ac.jp