

## 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 －

遠藤 壮 宮西 智久

キーワード：キネマティクス，動作局面，相関，関節運動指標，3次元動作分析

A biomechanical study of the timing regulation on the baseball batting motion in a case of the thrown fastball: In comparison with the known and the unknown situations with regard to the various kinds of the thrown balls

So Endo and Tomohisa Miyanishi

### Abstract

The objectives of the present study were to investigate the timing regulation of batting motion in a case of the thrown fastball in comparison with the known and unknown situations with regard to the various kinds of the thrown balls. Nine pitchers and 9 batters participated in this study after giving informed consent. The pitchers were requested to throw the various kinds of ball to the strike zone from a pitcher's mound. The batters were requested to hit the thrown ball by the pitchers. In this study, we set up two situations: the known situation and the unknown situation. The known situation was a situation that the pitcher announces the type of pitch to the batter. The unknown situation was a situation that the pitcher does not announce the type of pitch to the batter. The successful trial of the batter was to be hitting the type of pitch squarely, while the failed trial of the batter was to be missing the ball. Pitching motions for the pitchers were recorded using two high-speed video cameras. Batting motions for the batters were recorded using an automatic motion capture system. The ground reaction forces acting on the feet of the pitcher and of the batter from the ground were collected using two force platforms. The hitting sounds for each batting trial were recorded into the measurement system using a microphone to estimate at the instant of the ball-bat impact. In the analysis of correlation, only significant positive correlation for the known situation was found between four batting phases ( $T1_B$ ,  $T2_B$ ,  $T3_B$ , and  $T4_B$ ) and the three pitching phases ( $T1_P$ ,  $T2_P$ , and  $T3_P$ ). In the period of the batting phase, the average horizontal angular velocity of the lower trunk was significantly larger for the unknown situation than for the known situation. Also, the maximum horizontal angular velocity of the bat was significantly larger for the unknown situation than for the known situation. The joint movement indexes of the left shoulder and elbow during the swing phase were larger for the unknown situation than for the known situation. These results suggest that the timing strategy of batting motion for the unknown situation is different from that of batting motion for the known situation.

Key words: kinematics, phase of motion, correlation, joint movement index, 3D motion analysis

## I. はじめに

これまでの野球の投球や打撃動作に関するバイオメカニクス研究のほとんどは、投手の投球動作のみ (Sakurai et al, 1993; 宮西ほか, 1996; 島田ほか, 2000)、ないしは打者の打撃動作のみ (Mason, 1987; 田内ほか, 2005; 宮西, 2006) を別々に取り扱うことによって多くの有益な知見を明らかにしてきた。しかしながら、実際の試合の場面を想定すると、打者は投手が投じる球種が知られていない状況で、ボールを予測し、タイミングよくバットを振り、ボールを打撃しなければならない。このような実戦的な状況を考慮して、打者の打撃動作をタイミングの観点から検討した研究はほとんど見当たらないようである。

そこで、本研究では、高校および大学の硬式野球部員を対象として、投手が球種を告知した場合と告知しない場合において、投手が投じた球種に対して打者がどう対応し打撃を行うのかを、主にタイミングの観点からキネマティクスの比較・検討し明らかにすることを目的とした。

## II. 研究方法

### 1. 被験者

被験者は、高校および大学の硬式野球部に所属している健常な男子であり、右投げの投手 9 名 (年齢  $19.3 \pm 1.7$  歳、身長  $1.73 \pm 0.05$  m、体重  $72.9 \pm 6.9$  kg、競技年数  $11.6 \pm 2.2$  年) と右打ちの打者 9 名 (年齢  $19.9 \pm 1.8$  歳、身長  $1.73 \pm 0.04$  m、体重  $75.5 \pm 7.2$  kg、競技年数  $11.7 \pm 1.9$  年) であった。実験に先立ち、すべての被験者へ実験の目的、方法、危険性などに関する説明を行い、書面にて実験参加への同意を得た。本研究は著者らが所属する研究機関の倫理審査会の承認を得て行われた。

### 2. 実験およびデータ計測・解析

実験は投手 9 名 (高校生 3 名、大学生 6

名) と打者 9 名 (高校生 3 名、大学生 6 名) をそれぞれ投手 3 名と打者 3 名にグループ分けし、計 3 回実施した。なお、実験 1 回目と 2 回目の投手 1 名は同一投手であった。

被験者には、十分なウォーミングアップを行わせた後、投手の被験者には身体各部位に計測用のテープを貼付するとともに、投球腕の手関節および肘関節にアルミニウム製の小ポールを固定した (宮西, 2000)。身体各部位計測点は以下の 25 点である：頭頂点、両下顎中点、胸骨上縁点、左右の肩関節中心点、肘関節中心点、手関節中心点、第三中手骨骨頭点、股関節中心点、膝関節中心点、足関節中心点、踵骨中心点、第二中足骨骨頭点、合計 21 点ならびに投球腕の小ポール端点 4 点 (右橈骨茎状突起点、右尺骨茎状突起点、右上腕骨外顆点、右上腕骨内顆点)。また、打者の被験者には身体各部位とバットに計測用反射マーカー計 49 点を貼付した。身体各部位の計測点計 49 点から得られた座標値を用いて、関節中心等を算出した。算出した身体各部位座標点は以下 21 点である：頭頂点、両下顎中点、胸骨上縁点、左右の肩関節中心点、肘関節中心点、手関節中心点、第三中手骨骨頭点、股関節中心点、膝関節中心点、足関節中心点、踵骨中心点、第二中足骨骨頭点、合計 21 点ならびにバット計測点 6 点。

図 1 に実験の模式図を示す。身体計測マーカーの貼付後、投手にはマウンド上からストライクゾーンへ向かってボールを投げさせ、打者にはその投手によって投げられたボールを打撃させた。実験試技では、投手があらかじめ投げる球種 (直球、カーブボール、スライダー) を打者に告知した状況で打撃を行わせた球種告知条件と、投手が球種を打者に告知しない状況で打者に打撃を行わせた球種非告知条件の 2 つの条件を設けた。球種告知条件では各打者に直球 81 球、変化球 54 球計 135 球 (実験 3 回の合計) の、

一方、球種非告知条件では各打者に直球 124 球、変化球 61 球計 185 球（同合計）の打撃を行わせた。

各試技の撮影は、投球方向の右側方および右斜め後方に設置した 2 台の高速ビデオカメラ (HSV-500C<sup>3</sup>, NAC 社) と 9 台の光学式三次元動作分析装置 (VICON MX-T20, Vicon Motion Systems 社) を併用し行った。高速ビデオカメラの撮影スピードは 250 frames/s、露出時間は 1/2,000 s とした。光学式三次元動作分析装置のサンプリング周波数は 250 Hz とした。また、これら 2 つの異機種システムの同期には LED 信号を用いた。さらに、同時に各投手と各打者の両足に作用する地面反力を投手のマウンドと打者のバッターボックスに埋設したそれぞれ 2 台のフォースプレート（投手：9281CA 型、打者：9287B 型, Kistler 社）を用いて測定した。フォースプレートのサンプリング周波数は 1,000 Hz で A/D 変換しパソコンに取り込んだ。さらに、打撃時のボールとバットのインパクト時点を推定するためにマイクロフォンを用い、打撃音信号をパソコンに取り込んだ。なお、本研究では打撃位置から地面に設置されたマイクロフォンまでの水平面距離 2.6 m と音速 343.26 m/s を考慮し、音信号が出力した 8 ms 前の時点をインパクト時点とした。

本研究の投手の試技では、Direct Linear Transformation (DLT) 法 (Abdel-Aziz and Karara, 1971; Walton, 1979; 池上, 1983) により身体各部位計測点の 3 次元座標を算出した。また、投手ではボールリリース時、打者ではボールインパクト時を基準にし、5 次スプライン関数を用いて 250 Hz から 200 Hz 相当の座標データに補間した (Woltring, 1986)。次に、座標データの修正後、残差分析法により各分析試技の計測点座標ごとに最適遮断周波数 (4 Hz-26 Hz) を決定した (Wells and Winter, 1980)。その後、5 次スプ

ライン関数を用いてデータの平滑化および微分処理を行った (Woltring, 1986)。

本研究では、直球のみを分析の対象とした。球種告知条件の打者の成功試技は 13 試技、失敗試技は 8 試技であった。一方、球種非告知条件の打者の成功試技は 11 試技、失敗試技は 11 試技であった。各条件において、さらに打撃コース (中コースと外角コース) の条件で選定した結果、成功試技および失敗試技においてそれぞれ 5 試技を抽出し、以下の分析を行った。

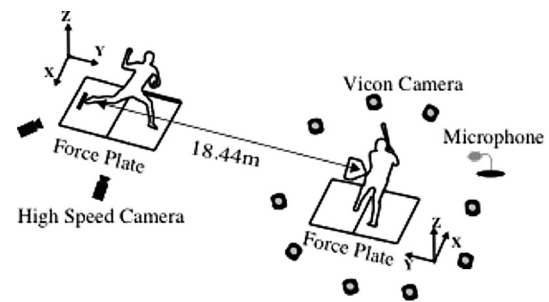


図1 実験模式図

### 3. 算出項目

図 2 に投手の投球動作と打者の打撃動作の局面定義、図 3 に体幹部およびバットの角度定義を示す。本研究の算出項目は以下の項目であった：投手および打者の局面時間、投手のリリース時のボール速度およびボール移動距離（ピッチャープレート末端から TON-B, IMP 時までのボールの前方への移動距離）、打者の身体重心前後方向移動距離および移動速度、上胴・下胴・体幹部およびバットの水平面内回転角度と回転速度（打撃局面における平均および最大値）、スウィング期の左肩 (SJM)、左肘 (EJM)、左股 (HJM)、左膝 (KJM) の各関節運動指標 (Murata, 2001)。

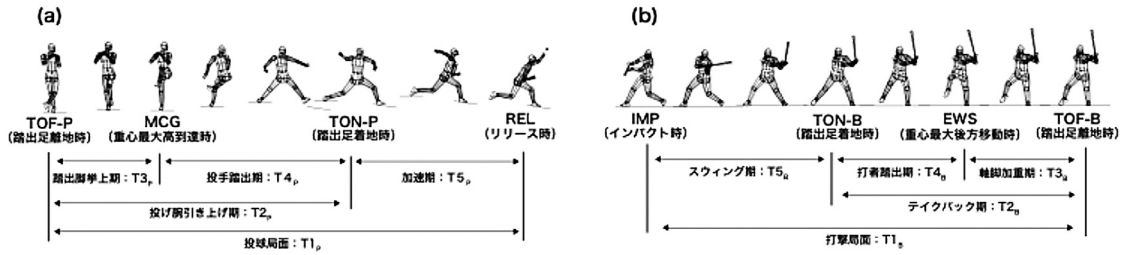


図2 (a)投手の投球動作と(b)打者の打撃動作の各局面定義

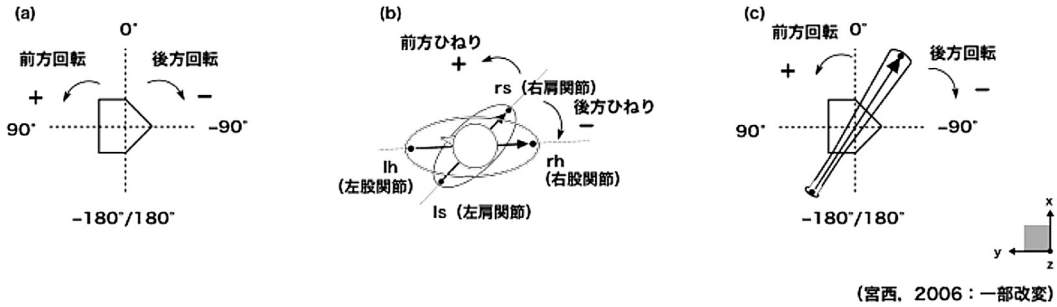


図3 体幹部およびバットの角度定義

#### 4. 統計処理

本研究では、試技条件（球種告知条件、球種非告知条件の2水準）、打撃結果（成功と失敗の2水準）による2要因分散分析を行った。投手と打者の各局面時間の相関を検討するため、Pearsonの積率相関によって処理を行った。なお、本研究では、全統計量の算出はSPSS Ver.20 (SPSS社)を用いて行った。有意水準は5%未満に設定した。

### III. 結果

#### 1. ボール移動距離

REL から TON-B までの時間は球種告知条件では  $0.272 \pm 0.044$  s、球種非告知条件では  $0.294 \pm 0.036$  s であり、球種非告知条件が球種告知条件よりも長い傾向がみられた。TON-B 時におけるボールの移動距離 D1 は、球種告知条件では  $10.791 \pm 1.470$  m、球種非告知条件では  $11.644 \pm 1.164$  m であり、球種非告知条件が球種告知条件よりもボール移動距離が大きい傾向がみられた。

#### 2. 局面時間と相関

打者の各局面時間について、2 要因分散分析を行った結果、交互作用は認められず、試技条件、打撃結果のいずれの要因においても有意な主効果は認められなかった。

表 1 に球種告知条件と球種非告知条件における打者の打撃動作と投手の投球動作の各局面時間の相関を示す。球種告知条件では、 $T1_B$  と  $T1_P$  ( $r=0.766, p<.01$ )、 $T2_P$  ( $r=0.730, p<.05$ )、 $T3_P$  ( $r=0.802, p<.01$ )、 $T2_B$  と  $T1_P$  ( $r=0.750, p<.05$ )、 $T2_P$  ( $r=0.731, p<.05$ )、 $T3_P$  ( $r=0.747, p<.05$ )、 $T3_B$  と  $T1_P$  ( $r=0.686, p<.05$ )、 $T2_P$  ( $r=0.666, p<.05$ )、 $T3_P$  ( $r=0.710, p<.05$ )、 $T4_B$  と  $T1_P$  ( $r=0.785, p<.01$ )、 $T2_P$  ( $r=0.768, p<.01$ )、 $T3_P$  ( $r=0.736, p<.05$ ) の間に有意な正の相関関係が認められた。一方、球種非告知条件ではすべての局面間において有意な相関関係は認められなかった。

表1 投手の投球動作と打者の打撃動作の各局面時間の相関

(a) 球種告知条件

	T1 <sub>p</sub>	T2 <sub>p</sub>	T3 <sub>p</sub>	T4 <sub>p</sub>	T5 <sub>p</sub>
T1 <sub>B</sub>	0.766**	0.730*	0.802**	0.214	0.327
T2 <sub>B</sub>	0.750*	0.731*	0.747*	0.294	0.208
T3 <sub>B</sub>	0.686*	0.666*	0.710*	0.225	0.205
T4 <sub>B</sub>	0.785**	0.768**	0.736*	0.377	0.192
T5 <sub>B</sub>	0.148	0.072	0.315	-0.311	0.531

(n.s.:有意差なし, \*:p<.05, \*\*:p<.01)

(b) 球種非告知条件

	T1 <sub>p</sub>	T2 <sub>p</sub>	T3 <sub>p</sub>	T4 <sub>p</sub>	T5 <sub>p</sub>
T1 <sub>B</sub>	0.325	0.341	0.438	0.139	-0.129
T2 <sub>B</sub>	0.313	0.333	0.434	0.135	-0.181
T3 <sub>B</sub>	0.396	0.357	0.313	0.137	-0.230
T4 <sub>B</sub>	0.259	0.271	0.459	0.123	-0.093
T5 <sub>B</sub>	0.059	0.024	-0.019	0.011	0.431

(n.s.:有意差なし, \*:p<.05, \*\*:p<.01)

### 3. 身体重心移動距離および移動速度

各局面の身体重心移動距離および移動速度は、2要因分散分析の結果、交互作用は認められず、各試技条件および打撃結果の要因において有意な主効果は認められなかった。

### 4. 体幹・バットの角度と回転速度

表2に打撃局面の体幹の平均回転速度と体幹およびバットの最大回転速度を示す。平均回転速度は、2要因分散分析の結果、交互作用は認められなかった。各要因の主効果についてみると、各条件の要因において平均下脛回転速度に有意な主効果 ( $p<.05$ ) が認められ、球種告知条件では  $346 \pm 76^\circ/\text{s}$ 、球種非告知条件では  $421 \pm 71^\circ/\text{s}$  であり、球種非告知条件が球種告知条件よりも大きかった。最大回転速度は、2要因分散分析の結果、交互作用は認められなかった。各要因の主効果についてみると、各条件の要因において最大バット回転速度に有意な主効果 ( $p<.05$ ) が認められ、球種告知条件では  $2,147 \pm 97^\circ/\text{s}$ 、球種非告知条件では  $2,269 \pm 145^\circ/\text{s}$  であり、球種非告知条件が球種告知条件よりも大きかった。

表2 体幹とバットの回転速度

	球種告知 (n=10)	球種非告知 (n=10)	主効果
平均回転速度 ( $^\circ/\text{s}$ )			
上脛回転速度	$399.9 \pm 139.9$	$516.8 \pm 150.6$	n.s.
下脛回転速度	$345.9 \pm 76.0$	$421.4 \pm 70.8$	*
最大回転速度 ( $^\circ/\text{s}$ )			
上脛回転速度	$816.5 \pm 169.8$	$938.5 \pm 191.2$	n.s.
下脛回転速度	$492.0 \pm 74.1$	$548.4 \pm 98.7$	n.s.
バット回転速度	$2146.5 \pm 96.7$	$2269.1 \pm 144.8$	*

(n.s.:有意差なし, \*:p<.05)

### 5. 関節運動指標

表3にスウィング期の関節運動指標を示す。スウィング期の関節運動指標は、2要因分散分析の結果、交互作用は認められなかった。各条件の要因において、 $SJM_x$  に有意な主効果 ( $p<.05$ ) が認められ、球種告知条件では  $42.0 \pm 8.5$ 、球種非告知条件では  $48.7 \pm 5.1$  であり、球種非告知条件が球種告知条件よりも大きかった。また、各条件の要因において、 $EJM_x$  にも有意な主効果 ( $p<.05$ ) が認められ、球種告知条件では  $32.7 \pm 13.7$ 、球種非告知条件では  $54.6 \pm 18.0$  であり、球種非告知条件が球種告知条件よりも大きかった。

表3 関節運動指標

	球種告知 (n=10)	球種非告知 (n=10)	主効果
$SJM_x$	$42.0 \pm 8.5$	$48.7 \pm 5.1$	*
$SJM_y$	$31.5 \pm 8.9$	$26.8 \pm 6.7$	n.s.
$SJM_z$	$22.7 \pm 5.2$	$22.7 \pm 4.9$	n.s.
$SJM_R$	$58.4 \pm 5.7$	$60.5 \pm 5.4$	n.s.
$EJM_x$	$32.7 \pm 13.7$	$54.6 \pm 18.0$	*
$EJM_y$	$102.5 \pm 14.0$	$101.8 \pm 16.0$	n.s.
$EJM_z$	$20.4 \pm 7.2$	$22.6 \pm 3.7$	n.s.
$EJM_R$	$110.5 \pm 14.0$	$118.7 \pm 18.2$	n.s.
$HJM_x$	$27.0 \pm 10.9$	$25.0 \pm 10.2$	n.s.
$HJM_y$	$20.0 \pm 10.9$	$15.6 \pm 6.9$	n.s.
$HJM_z$	$6.1 \pm 2.4$	$6.7 \pm 2.5$	n.s.
$HJM_R$	$34.6 \pm 14.4$	$31.1 \pm 9.8$	n.s.
$KJM_x$	$46.5 \pm 5.6$	$48.6 \pm 6.5$	n.s.
$KJM_y$	$32.9 \pm 18.0$	$26.5 \pm 12.2$	n.s.
$KJM_z$	$8.8 \pm 6.5$	$7.5 \pm 4.5$	n.s.
$KJM_R$	$59.4 \pm 13.3$	$56.7 \pm 10.2$	n.s.

(n.s.:有意差なし, \*:p<.05)

## IV. 考察

### 1. 投手に対する打者の対応

表1に示したように、球種告知条件では、打撃局面 (T1<sub>B</sub>)、テイクバック期 (T2<sub>B</sub>)、軸脚加重期 (T3<sub>B</sub>)、打者踏出期 (T4<sub>B</sub>) の各局面と投球局面 (T1<sub>P</sub>)、投球腕引き上げ期 (T2<sub>P</sub>)、踏出脚挙上期 (T3<sub>P</sub>) の各局面の間に有意な正の相関関係が認められた。一方、球種非告知条件ではすべての局面間に有意な相関関係は認められなかった。

打者は投球されたボールの軌道だけでなく、投球動作からボールの球種やコース、タイミングを予測しながら打撃動作を遂行することが報告されている (Shank and Haywood, 1986; Takeuchi and Inomata, 2009; 田中ほか, 2010)。また、井尻 (2015)は、ボールの軌道が予測された状況下では、打者はボールがリリースされる前に運動開始の準備を行い、タイミングを合わせる事が可能であると述べている。上述したように、本研究では球種告知条件において、投手の投球動作に対して打者の打撃動作を合わせるような結果が示された。これは、球種告知条件では、投手の球種が打者にあらかじめ伝えられたため、打者は投手が投じるボールの軌道を予測しやすかったのではないかと考えられる。そのため、前もって投手の動作時間に対して打者は同調的にタイミングを調整して、打撃を行うことができたものと考えられる。

一方、球種非告知条件では、打者は投手が投げる球種を知らされていないため、ボールの軌道を予測することが困難になると考えられる。そのため、球種告知条件のように、打者は自らの動作を前もって投手の投球動作に対して同調的にタイミングを合わせる事が困難になるため、投手がボールを離れた後にタイミングを調整して打撃を行ったのではないかと考えられる。

### 2. 体幹とバットの動き

表2に示したように、打撃局面の平均下胴回転速度は、球種非告知条件が球種告知条件よりも有意に大きかった。また、平均上胴回転速度も、球種非告知条件が球種告知条件よりも大きい傾向がみられた。スウィング期の最大バット回転速度についてみると、球種非告知条件が球種告知条件よりも有意に大きかった。また最大上胴回転速度および最大下胴回転速度においても球種非告知条件が球種告知条件よりも大きい傾向がみられた。

Breen (1967)は、一流といわれている打者はヘッドスピードが大きく、決断時間が長いことを報告している。REL から TON-B までの時間は球種告知条件では  $0.272 \pm 0.044$  s、球種非告知条件では  $0.294 \pm 0.036$  s であり、球種非告知条件が球種告知条件よりも長い傾向がみられた。すなわち、球種非告知条件が球種告知条件よりも、より長い時間をかけてボールを見極めていた可能性が考えられる。また、TON-B 時におけるボール移動距離についてみると、球種告知条件では  $10.791 \pm 1.470$  m、球種非告知条件では  $11.644 \pm 1.164$  m であり、球種非告知条件が球種告知条件よりもボールをより手元まで引きつけてスウィングしている傾向が示された。

これらのことから、球種非告知条件は球種告知条件に比べ打撃の難易度が高いため、体幹やバットの回転速度を増大させることでボールをより手元まで引きつけて打撃を行っていたのではないかと考えられる。

### 3. スウィング期の上肢の動き

表3に示したように、スウィング期の関節運動指標は、各条件の要因において、左肩関節 (SJM<sub>x</sub>) と左肘関節 (EJM<sub>x</sub>) の左右方向の指標値に有意な主効果が認められ、球種非告知条件は球種告知条件よりも大き

かった。石田ほか (2000)はインパクト前 0.077 s から 0.154 s まではバットの運動を調節可能であると述べている。関節運動指標はスウィング期における関節の変動（ばらつき）を示しているが、石田ほか (2000) の報告に基づけば、スウィング期であっても打撃の調節が可能であると考えられる。また、浅見 (1987)はバットのどの部分をどのような角度でボールにぶつけるか、手首などの末端部分の関節の動きが最も重要だと述べている。先に論議したように、球種非告知条件では、打者は球種が知らされていないため、投手がボールを離れた後にタイミングを調整して打撃を行っている可能性が示唆された。このことを踏まえれば、球種非告知条件では左肩と左肘のばらつきが大きくなることも理解できる。球種非告知条件では、リリース後の打撃上肢のバットコントロールの重要度が増しているのかもしれない。

## V. まとめ

本研究では、高校および大学の硬式野球部の投手と打者を対象として、投手が球種を告知した場合と告知しない場合において、投手が投じた球種に対して打者がどう対応し打撃を行うのかを比較・検討した。その結果、以下の知見が得られた。

- 1) 球種告知条件では打撃局面 ( $T_{1B}$ )、テイクバック期 ( $T_{2B}$ )、軸脚加重期 ( $T_{3B}$ )、打者踏出期 ( $T_{4B}$ ) の各局面と投球局面 ( $T_{1P}$ )、投球腕引き上げ期 ( $T_{2P}$ )、踏出脚拳上期 ( $T_{3P}$ ) の各局面の間に有意な正の相関が認められた。一方、球種非告知条件ではいずれの変数間においても有意な相関関係は認められなかった。
- 2) 打撃局面の平均下胴回転速度は、球種非告知条件が球種告知条件よりも有意に大きかった。
- 3) 打撃局面の最大バット回転速度は、球種

非告知条件が球種告知条件よりも有意に大きかった。

- 4) スウィング期の関節運動指標は、球種非告知条件が球種告知条件より左肩関節 ( $SJM_x$ ) と左肘関節 ( $EJM_x$ ) の指標が有意に大きかった。

以上のことから、球種告知条件では、打者は投手の投球動作に同調的にタイミングを合わせていることが明らかにされた。球種非告知条件では、打者は投手の動作に同調的にタイミングを合わせることが困難になるため、体幹とバットの回転速度を増加させるとともに、上肢を使ってバットをコントロールしている可能性が示唆された。

## 付記

本研究は、日本野球科学研究会第2回大会およびつくば野球研究会第9回大会（国立スポーツ科学センター、2014）、日本野球科学研究会第3回大会（中京大学、2015）において発表した内容にデータを追加分析し加筆してまとめたものである。

## 謝辞

本研究の実施にあたり、宮城県S高等学校硬式野球部およびS大学硬式野球部の各チームの選手ならびに関係者の皆様にご協力を頂きました。ここに記して感謝の意を申し上げます。

本研究は、JSPS 科研費（研究代表者 宮西智久）の助成を受けたものです。

## 文献

Abdel-Aziz, YI, and Karara, HM (1971) Direct linear transformations from comparator coordinates into object space coordinates in close range photogrammetry. In: ASP UI Symposium on Close-Range Photogrammetry, American Society of Photogrammetry. pp.1-19,

- Falls Church: VA.
- 浅見俊雄 (1984) スポーツ運動の打について. *Japanese Journal of Sports Sciences* 3: 178-187.
- Breen, JL (1967) What makes a good hitter? *Journal of Health, Physical Education and Recreation* 38: 36-39.
- 池上康男(1983)写真撮影による運動の3次元解析法. *Japanese Journal of Sports Sciences* 2: 163-170.
- 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: 172-178.
- 井尻哲也 (2015) 野球の打撃におけるタイミング調節. *バイオメカニクス研究* 19: 165-171.
- Mason, BR (1987) Ground reaction forces of elite Australian baseball batters. In: Jonson, B (Ed), *Biomechanics X-B*. pp. 749-752. *Human Kinetics: Illinois*.
- 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: 23-37.
- 宮西智久 (2000) 野球の投球動作のバイオメカニクスの研究－加速局面の上脛と投球腕の運動に着目して－. 平成12年度博士論文, 筑波大学.
- 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—. *体育の科学* 56: 181-186.
- Murata, A (2001) Shoulder joint movement of the non-throwing arm during baseball pitch – comparison between skilled and unskilled pitchers. *Journal of Biomechanics* 34: 1643-1647.
- Shank, M, and Haywood, K (1987) Eye movements while viewing a baseball pitch. *Perceptual and Motor Skills* 64: 1191-1197.
- Sakurai, S, Ikegami, Y, Okamoto A, Yabe, K, and Toyoshima, S (1993) A three-dimensional cinematographic analysis of upper limb movement during fastball and curveball baseball pitching. *Journal of Applied Biomechanics* 9: 47-65.
- 島田一志, 阿江通良, 藤井範久, 結城匡啓, 川村卓 (2000) 野球のピッチング動作における体幹および下肢の役割に関するバイオメカニクス研究. *バイオメカニクス研究* 4: 47-60.
- Takeuchi, T, and Inomata, K (2009) Visual search strategies and decision making in baseball batting. *Perceptual and Motor Skills* 64: 1191-1197.
- 田中ゆふ, 関矢寛史 (2010) 投球予測における顕在的・潜在的知覚トレーニングの効果. *体育学研究* 55: 499-511.
- 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: 1-9.
- Walton, JS (1979) Close-range cinematography, another approach to motion analysis. In: Terauds, J (Ed), *Science in Biomechanics Cinematography*. pp.69-97, Academic Publishers.
- Wells, RP, and Winter, DA (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. In: *Proceedings of the first Congress of the Canadian Society for Biomechanics*. pp.92-93, Human Locomotion I: Canada.
- Woltring, HJ (1986) A Fortran package for generalized, cross-validatory spline smoothing and differentiation. *Advances in Engineering Software* 8: 104-113.