

野球のバッティングにおける左右への打ち分けを可能にするバット角度

城所収二^{*1}, 近田彰治^{*2}, 矢内利政^{*3}

Three-dimensional orientation of baseball bat at ball impact: Probability of directing the batted ball toward the same and opposite fields

Shuji KIDOKORO^{*1}, Shoji KONDA^{*2}, Toshimasa YANAI^{*3}

^{*1}Waseda University, Graduate School of Sport Sciences
Mikashima2-579-15, Tokorozawa City, Saitama, 359-1192 Japan

In baseball batting, the horizontal direction to which the batted ball will project is influenced by two factors; (a) the direction to which the impacting surface of the bat is facing at ball impact and (b) the interaction of the inclination angle of the bat in the vertical direction and the position of the ball impact along the short axis of the bat. The purpose of this study was to describe the three-dimensional orientation of baseball bat at ball impact for each direction (same, center, and opposite field) of batted ball. Forty-seven elite baseball players performed 7~36 trials of free-batting. Behavior of the ball impact was recorded with two high-speed cameras (2500 fps). All trials in which the bat collided with the ball, including the foul balls, were used for the analysis. The orientation of bat at ball impact was described as the azimuth angle and the depression angle of the bat's long-axis. Frequency distribution maps were constructed to display the probability of hitting the ball toward the same, center and opposite fields for each combination of azimuth and depression angles of the bat at ball impact. The frequency distribution maps illustrate that a unique zone exists for each direction of the batted ball and that the zones overlap substantially. These results suggest that batters can hit the ball toward the three directions even if the orientation of bat at ball impact was same.

Key Words : Same, center and oppsite-field hitting, Impact area,

1. 緒 言

野球の試合において、打者はヒットエンドランや進塁打が求められる状況下では、『引っ張り』や『流し打ち』といった打球を左右方向に打ち分ける技術がしばしば必要となる。これまで、『センター返し』を含めた左右方向への打ち分けは、スイングのタイミングを調節し、投手または捕手側といった前後のインパクトポイントを変えることで使い分けられているものと解釈されてきた。グリップまわりの回転運動が主となるスイング中のバットの運動において、前後方向でのインパクトポイントの違いは、バットの打撃面をレフト側やライト側へ向けてインパクトさせるという水平面上の左右方位変化に大きく影響を受け、この時のバットの方位が投球に対して入射角を生じさせる。すなわち、この反射角によって打球は左右へ放たれることを想定しており、過去の研究^①では引っ張りや流し打ちの動作を、頭上から撮影した映像を元に水平面上の2次元運動として捉えている。

近年になって、左右への打ち分けには3次元的な解釈が必要であることを、城所ら^②は指摘している。右打者を想定した場合、バットの打撃面をライト側へ向けて行うインパクト、すなわち前述したような従来の解釈による流し打ち(第1メカニズム)に加えて、バットヘッドをグリップエンドよりも下向きにし、かつボールの下部を打撃した場合でも、ライナーまたはフライがライト方向に放たれることから、このインパクトに起因する流し打ちを第2メカニズムと定義している。また、第2メカニズムの応用として、同様のインパクトをボールの上部

^{*1} 一般学生, 早稲田大学, 日本学術振興会特別研究員 (〒359-1106 埼玉県所沢市三ヶ島 2-579-15)

^{*2} 会員外, 早稲田大学

^{*3} 正員, 早稲田大学

E-mail: tyanai@waseda.jp

へのインパクトに変更すると、レフト方向にゴロが放たれると予測できるため、両メカニズムを応用させることで、引っ張りやセンター返しも含めた左右方向への打ち分けが可能になると考えられる。しかしながら、流し打ちに対して対照的なインパクトを引っ張りで行っているという報告はない。

また、左右への打ち分けは、第1・第2の両メカニズムの組み合わせによって可能となるため、制御すべき因子（バットの水平面・鉛直面上の方位、バットの短軸上の衝突位置）のうち一つを誤っても、他の因子によってリカバリーできるものと考えられる。Müller and Loosch⁽³⁾や Müller and Sternad⁽⁴⁾はダーツを例に、ターゲットの中心（Bull）を射るには必ずしもリリース位置やリリース角度が統一されている必要がないことを、インプットとアウトプットの間に内在する変動要因として以下の3つを提示し、改善策を指摘している。①ノイズの低減（動作の精度を訓練によって高めること）、②課題特有の共変動（動作のコンビネーションによってアウトプットの変動を縮小すること）、③許容範囲（的の大きさなどタスクの達成にはある程度の幅が存在する）である。従って、ターゲットの許容範囲という面では、野球の打撃において3方向への打ち分けは、鉛直方向への発射角を問わなければ打球が水平面上90°のフェアグラウンド内における、左右方向へ3等分したエリア内に放たれることで達成される。また、ある方向へ打球を放つために必要なインパクトは1通りではなく冗長性を有するため、課題を達成し得るインパクト時の3次元的なバットの方位は一つに限定されるものではなく、ある範囲に及ぶものと考えられる。一方で、目標がレフト・センター・ライトの3方向に存在するため、制御すべき因子の許容範囲が重複する可能性もある。つまり、同じバット角度によるインパクトであっても、バットの短軸上の衝突位置によって3方向全てに打球が放たれる可能性もある。しかしながら、これらの関係は明らかにされておらず、またこの範囲の中にはヘッド速度や打球速度が最大値をとるインパクトが存在すると予測されるが、これらについても明らかにされていない。従って、インパクトゾーンごとに速度の最大値を明らかにすることは、打撃パフォーマンスを高めるための重要な知見となり得る。そこで本研究の目的は、インパクト時のバットの3次元方位から打ち分け可能なインパクトゾーンを抽出し、小領域で区切られたインパクトゾーンごとに打球の飛翔する方向を確率として導き出すこと、ならびにヘッド速度や打球速度が最大化されるバット角度を明らかにすることとした。

2. 方 法

2・1 被験者

被験者は、東京六大学野球リーグに所属する選手4名（年齢：20.8±1.0歳，身長：174.3±9.5cm，体重：75.5±10.1kg）、日本野球連盟に所属する社会人野球選手12名（年齢：28.1±2.6歳，身長：174.8±5.6cm，体重：77.3±6.2kg）、および育成選手を含むプロ野球選手31名（年齢：26.5±4.6歳，身長：179.2±5.1cm，体重：80.8±7.6kg）の計47名であった。このうち右打者27名，左打者19名，両打ち1名であったが、分析過程において全ての打者を右打者とみなせるように変換して記述した。本研究の実施にあたっては、事前に早稲田大学の「人を対象とする研究に関する倫理委員会」による承認を得た。なお、被験者には本研究の目的や実験方法などを事前に説明し、実験参加への書面による同意を得た。

2・2 実験試技とデータ収集

被験者には十分なウォーミングアップを行わせた後、野球場あるいはバッティングケージ内で打撃動作を行わせた。ホームベースより既定の距離離れた地点から、ドラム式・またはアーム式のピッチングマシンを用いて硬式野球ボールを投じた。各被験者には打球方向の指示を与えず、投球に対して各選手の意識のもと打たせた。このうち、バットに当たった全ての試技を分析対象とし、各被験者7~36試技分のデータを収集した。なお、実験に使用した木製バットは、実験実施者の用意したバット（2TW-10658 MO, Mizuno inc., 84cm, 900g, 最大直径6.4cm）、あるいは選手自身が普段使用しているバット（84~86.5cm, 875~930g, 最大直径6.2~6.5cm）とした。

打撃動作中のボールとバットの運動を、電氣的に同期された2台の高速度カメラ（Phantom Miro, Vision Research Inc., USA）を用いて、撮影速度2500fpsで記録した。なお、カメラの設置場所は、①打者の側方および前方、②打者の左右斜め前方の、どちらかの条件で行った。

2・3 データ処理

2 台の高速度カメラによって記録したビデオ画像から、基準座標系を定義するためのコントロールポイント 3 点を、3 次元ビデオ動作解析システム (Frame-DIAS, DKH Inc., Japan) を用いてデジタル化し、DLT 法により 3 次元座標を取得した。ホームベースの後端を原点とし、投手方向に向かうベクトルを y 軸、鉛直上向きのベクトルを z 軸、y 軸と z 軸を外積させたベクトル (右打席から左打席に向かうベクトル) を x 軸として、基準座標系を定義した。ボールとバットの 3 次元座標は、ボールについてはボールの体積中心を、バットについてはバットヘッドとグリップエンドからヘッドに向かって 0.35m の位置をデジタル化することによって取得した。

ヘッド速度とスイング角度 (バットヘッドの速度ベクトルと水平線とのなす角度) は、インパクト直前 5 フレームにおけるバットヘッドの変位から算出し、打球速度はインパクト直後 5 フレームにおける打球の変位から算出した。インパクト時のバットの方位は、水平面と鉛直面に投影した 2 種類の角度として、次のように算出した。まず水平バット角を、水平面上に投影したインパクト時のバットの長軸と x 軸とのなす角度 (方位角) とし、鉛直バット角をインパクト時のバットの長軸と水平面とのなす角度 (仰俯角) として算出した。水平バット角はバットヘッドが投手側、すなわちバットの打撃面がレフト側へ向いたインパクトを正とし、鉛直バット角はバットヘッドがグリップエンドよりも低い位置で行ったインパクトを正とした。バットに対するボールの衝突位置を算出するために、バットのグリップエンドからヘッドに向かうベクトルを x' 軸、鉛直軸 (z 軸) と x' 軸を外積させた軸を y' 軸、また x' 軸と y' 軸を外積させた軸を z' 軸として、バット座標系を定義した。バットの短軸上のインパクト位置を示す衝撃線角度は、インパクト時のボールとバットの断面中心を結ぶ線分 (衝撃線) と y' 軸とのなす角度 (θ_{impact}) として以下の式を用いて算出した。

$$\theta_{\text{impact}} = \sin^{-1} \frac{z'_{\text{ball}}}{r_{\text{ball}} + r_{\text{bat}}} \quad (1)$$

r_{ball} はボールの半径であり、 z'_{ball} はバット座標系におけるボール中心の z' 座標値である。なお、バットの半径 (r_{bat}) は、ボールがバットの長軸上のどの位置に衝突したかによって変わるため、バットの長軸上のインパクト位置に応じて変更した。インパクト直後の打球の方向は、左右・上下それぞれについてインパクト直後 10 フレームの座標値における回帰直線の傾きから算出した。

2・4 確率分布のマッピング

本実験により得られた全 761 試技のデータを、インパクト時の水平バット角と鉛直バット角によって構成される 2 次元平面上にプロットした。その後、両変数ともに 5° (0.0873 rad) 毎に区切り、全 761 試技に対する 5° 四方の各領域におけるプロット数をカウントした。なお、水平バット角と鉛直バット角は、本質的には球座標系上の方位角と仰俯角によって表されるため球面上にプロットされるべきだが、本研究では便宜的に 2 次元平面上にプロットしており、各領域の面積は一定ではない。また、フェアグラウンドを 30° 区切りに「引っ張り」「センター返し」「流し打ち」の 3 方向に分類したものと、「フェール」となった試技を加えた 4 種類に分け、それぞれの打球方向別に 5° 四方の領域におけるプロット数をカウントした。そして、各領域で得られたプロット数を、同一領域における全 761 試技から得られたプロット数で除すことによって、打球方向別の確率分布を作成した。従って、この確率はある領域においてインパクトした場合のそれぞれの方向に打球が放たれた確率を示している。なお、打球方向の分け方は、インパクト直後の打球の方位をもとに算出しているため、打球の軌跡を考慮しておらず、必ずしも落下地点の方向と一致するものではない。

3. 結果と考察

3・1 全試技のインパクト位置とその数

横軸を水平バット角、縦軸を鉛直バット角とした 5° 四方の領域に、全 761 試技のうちの何試技が該当する領域でインパクトしていたのかを図 1 に示した。その結果、バットの打撃面をライト側へ向けたインパクト (水平バット角が負) は 37 の領域 (192 試技) によって構成され、レフト側へ向けたインパクトは 51 の領域 (569 試技) によって構成された。また、水平バット角 $5 \sim 10^\circ$ 、鉛直バット角 $25 \sim 30^\circ$ の範囲で最も多く (48 試技) のインパ

クトを行っており、全てのデータはこの領域を最頻値として正規分布していた。従って、多くの打者はバットヘッドを約 25°下向きにし、かつバットの打撃面をセンターからややレフト側に向けてインパクトさせるようにスイングし、投球コースや水平バット角の変化の主な原因となるタイミングのズレによって分散していたものと考えられる。

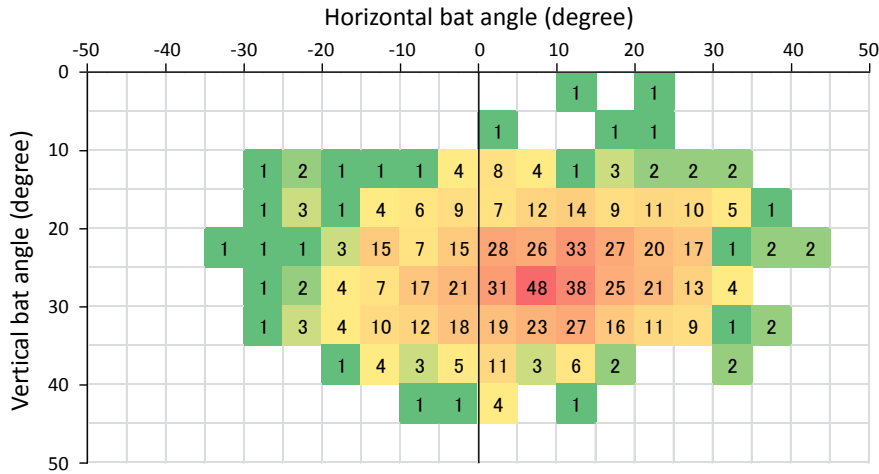


Figure 1 Number of trials for each area of the horizontal and vertical bat angle at ball impact in all trials.

3・2 打ち分け可能なインパクトエリア

全 761 試技における打球方向の内訳は、引っ張りが 223 試技、センター返し が 339 試技、流し打ちが 107 試技、ファールが 92 試技となった。各領域でインパクトした時のそれぞれの方向に打球が放たれた確率を図 2 に示した。4つの図それぞれについて、0% (緑) であった場合は該当する領域ではインパクトしていなかったことを示しており、100% (赤) であった場合は該当する領域でインパクトした時、結果としてその試技は全て当該方向へ打球が放たれたことを示している。従って、図 1 に示した通り、領域ごとに試技数が異なるため、パーセンテージが高いほど試技数が多いわけではない。引っ張り (a) では、観察された 41 の領域のうち、バットの打撃面をライト側へ向けてインパクトしていたのは 2 領域のみであり、打撃面を 15°以上レフト側に向けたインパクトでは、概ね 50%以上の確率で引っ張りとなっていた。センター返し (b) では、観察された全 88 の領域のうち、最も多い 50 の領域でインパクトを行っていた。この結果は、インパクト時のバットの方位という観点では、センター返し が最も許容範囲の広い動作であることを示している。流し打ち (c) では、42 の領域でインパクトしており、引っ張りとは異なりバットの打撃面をレフト側へ向けたインパクト (バットの打撃面と打球方向が異なるインパクト) も多くみられた。また、水平バット角の範囲 (60° : -35~25°) も、引っ張り (50° : -5~45°) に比べ 10° 大きく、打球の範囲 (30°) の約 2 倍となった。ファールとなったインパクト (d) は、ある範囲に密集しておらず広く分布しており、打球がフェアグラウンド外に飛翔したのは、タイミングに起因するものとバットの短軸上のインパクト位置に起因するもの、およびこれら両面の相互作用に起因するものであると考えられる。

図 2 中の囲われた 10 の領域では、フェアグラウンド内の全ての方向に打球が放たれた。すなわちこの結果は、この領域で行ったインパクトでは、ボールの上部を打撃するか、あるいは下部を打撃するかといった衝撃線角度の調節によって打球が 3 方向全てに放たれたことを示している。一方で、打球が打ち分けられた確率は、1 領域を除いた 9 領域でセンター返し が最も高く、引っ張りや流し打ちの確率が高かったのは、この囲われた領域よりもバットの打撃面をレフト側、あるいはライト側へ向けたインパクトであった。すなわち、バットの打撃面をセンターからややレフト側へ向けて行うインパクトは、センター方向に打球が放たれる確率が高くなるものの、衝撃線角度によってどの方向にも打球が放たれる可能性がある。よって、確実に打ち分けを行うための方策としては、打ちたい方向へバットの打撃面を向けてインパクトを行うことが重要と考えられる。一方で、本研究におけるインパクト直前のバットの角速度は、 $42.6 \pm 3.2 \text{ rad/s}$ ($2440 \pm 185^\circ/\text{s}$) であり、この結果は 1 領域あたりの 5°

を、2.0ms で通過していたことを示している。インパクト直前においては、大きな正あるいは負の角加速度を生じさせて水平バット角を変化させることは非常に困難であり、同様に鉛直バット角をインパクト直前で修正することも困難と予想されることから、左右への打ち分けはスイングの開始から意識的にタイミングやバットヘッドの高さを調節すべきと考えられる。

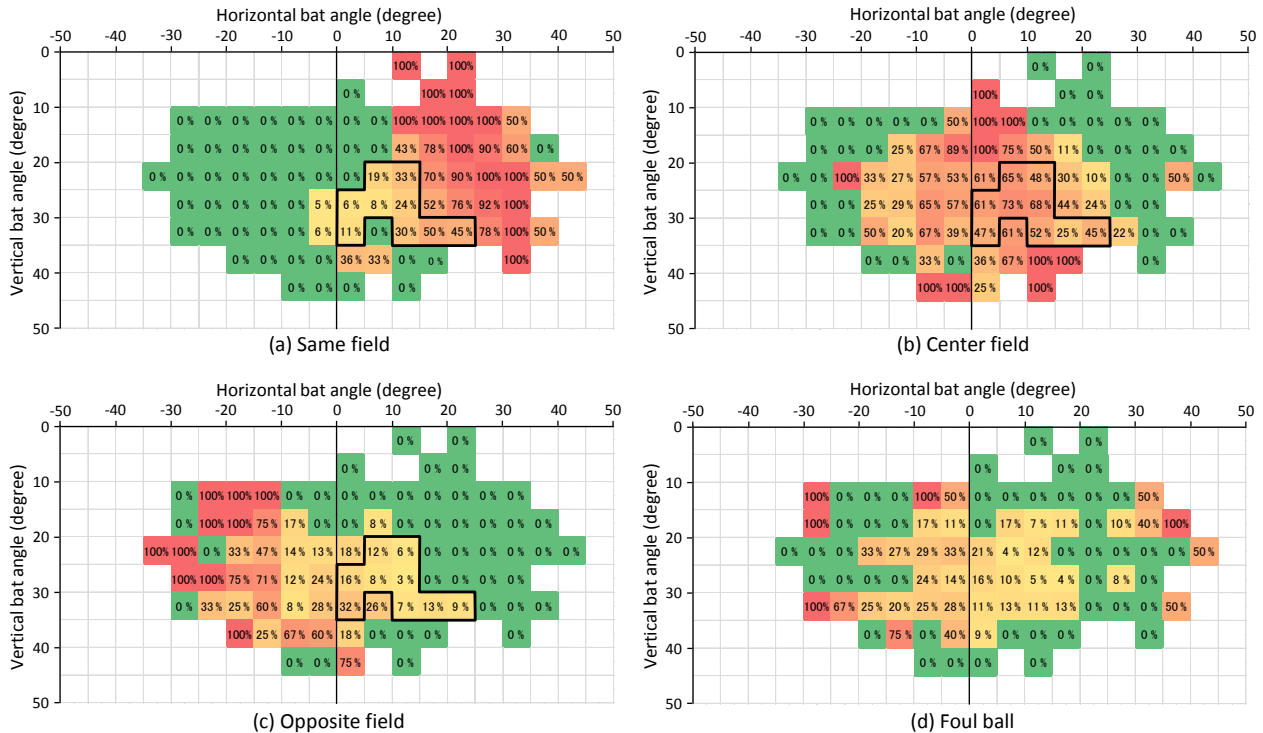
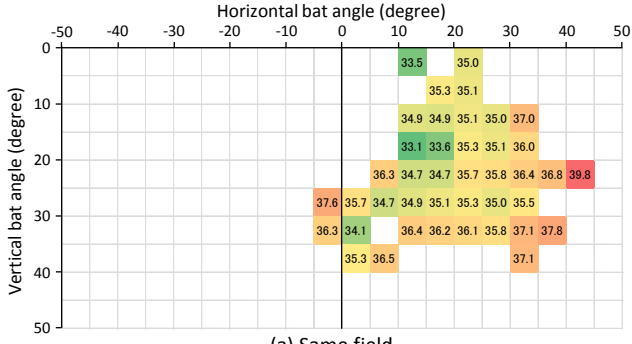


Figure 2 Probability of the directing the batted ball toward (a) same field, (b) center field, (c) opposite field, and (d) foul ball for each area of bat angle.

3・3 ヘッド速度・打球速度に対するバット角度

打球方向別の各領域におけるヘッド速度と打球速度の平均値を図3に示した。被験者によってヘッド速度の最大値が異なるため一概にはいえないものの、ヘッド速度が大きかったインパクトは、打ち分け可能なインパクトエリアの中でも比較的投手側(水平バット角 $> 0^\circ$) でみられた(a, b, c)。この結果は、打球の方向にかかわらず、水平バット角の大きなインパクトほど、バットヘッドの加速期間が長かったためと推察される。一方で、打球速度が大きかった領域とヘッド速度が大きかった領域が類似していたのは引っ張り(aとd)のみであり、センター返し(e)と流し打ち(f)の打球速度は、インパクトエリアの中でも比較的捕手側で大きかった。また打球速度は、衝撃線角度 10° 前後で最大となり、この角度から外れた斜め衝突となるインパクトほど小さかった(図4)。それぞれの打ち分けにおいて、投手側で行うインパクトは、必然的に大きな衝撃線角度が必要となることから、センター返しと流し打ちに関しては、大きなヘッド速度を有したインパクトであっても結果的に速度の小さな打球になったと考えられる。これに対し、バットヘッドを投手側へ向けたインパクトであっても速度の大きな打球が観察された引っ張りは、衝撃線角度が大きくとも、その分大きなアップスイングでインパクトを行うことで(図5)、より正面衝突に近いインパクトを可能にしていたものと考えられる。以上より、左右への打ち分けにおいて、ヘッド速度と打球速度を高めるための方策は一致しておらず、それぞれについて最大化されるおおよそのバット角度が存在することが示唆された。従って、各打者には自身の目的に応じて打撃ポイントを調節することが求められる。

- Velocity of the bat head (m/s)



- Velocity of the batted ball (m/s)

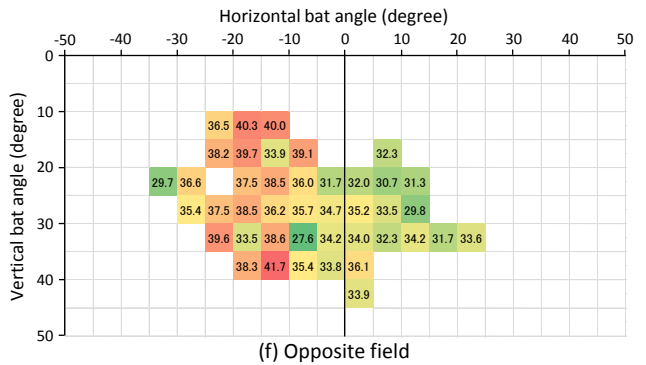
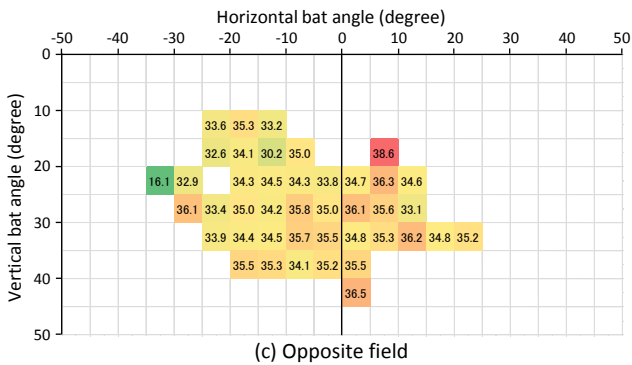
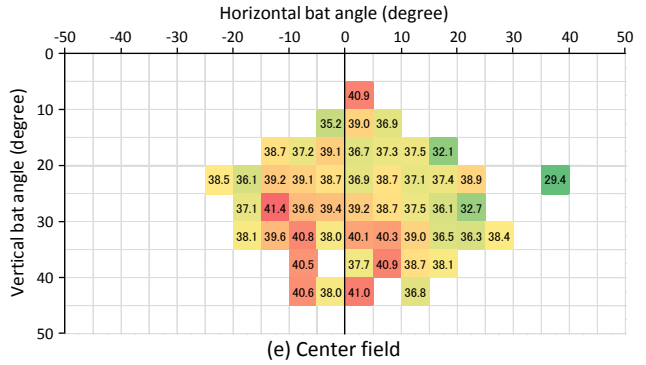
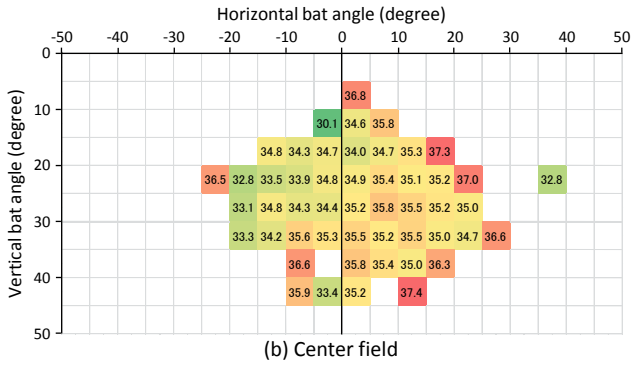
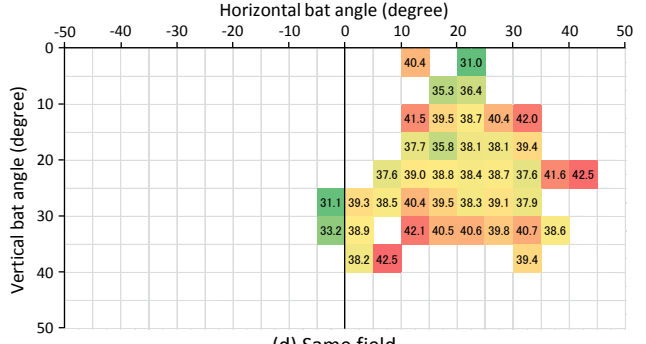


Figure 3 Mean values of the bat head velocity (a, b, c) and the batted ball velocity (d, e, f) for each area of bat angle.

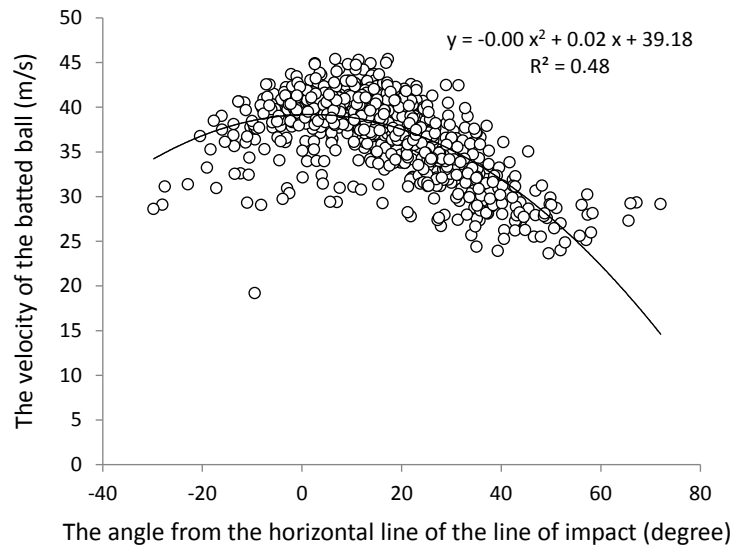


Figure 4 Relationship between the line of impact angle and the batted ball velocity.

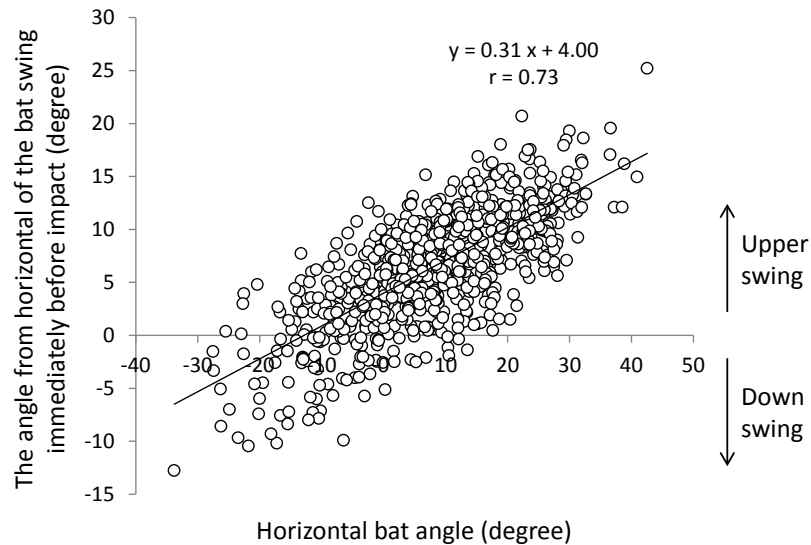


Figure 5 Relationship between the horizontal bat angle and the bat swing angle.

4. ま と め

本研究の結果，打ち分け可能なインパクトエリアは，流し打ちからセンター返し，引っ張りになるにつれ，捕手側から投手側へとシフトしていった．一方で，このエリアには重複が多くみられ，同じバット角度で行ったインパクトでも，3方向に打球が放たれる試技が存在していた．また，3種の打球方向に対して，ヘッド速度と打球速度の大きな値を記録したバット角度は一致しておらず，打球方向別に各変数が最大化されるおおよそのバット角度が存在することが示唆された．

謝 辞

本研究は，日本学術振興会特別研究員奨励費（25・3588）の助成を受けたものである．

文 献

- (1) McIntyre, D.,R., Pfautsch, E.,W., “Kinematic analysis of the baseball batting swings involved in opposite-field and same-field hitting”, *Research Quarterly for Exercise and Sport*, Vol. 53, No. 3 (1982), pp. 206-213.
- (2) 城所収二, 近田彰治, 矢内利政, “『流し打ち』を可能にする2つのインパクトメカニズム:各メカニズムの貢献度”, *スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2012 講演論文集*, No. 12-39 (2012), pp. 491-496.
- (3) Müller, H., and Loosch, E., “Functional variability and an equifinal path of movement during targeted throwing”, *Journal of Human Movement Studies*, Vol. 36, (1999), pp. 103-126.
- (4) Müller, H., and Sternad, D., “Decomposition of variability in the execution of goal-oriented tasks: Three components of skill improvement”, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, Vol. 30, No.1 (2004), pp. 212-233.