

博士學位論文審査報告書

大学名	早稲田大学
研究科名	スポーツ科学研究科
申請者氏名	志村 芽衣
学位の種類	博士（スポーツ科学）
論文題目	野球打撃における流し打ち技法の3次元シミュレーション分析 A three-dimensional simulation analysis of various hits toward the opposite field in baseball
論文審査員	主査 早稲田大学教授 矢内 利政 Ph.D. (University of Iowa) 副査 早稲田大学教授 彼末 一之 博士（工学・医学）（大阪大学） 副査 早稲田大学教授 誉田 雅彰 博士（工学）（早稲田大学） 副査 福岡ソフトバンクホークスチーム戦略室R&D 城所 収二 博士（スポーツ科学）（早稲田大学）

本学位論文は第1章から第4章までの本論と結論および文献から構成されている。

第1章 緒論

野球のバッティングにおいて打撃技術の向上が求められる技法のひとつに『流し打ち』打撃がある。流し打ちは打者自身の打率向上やチームの得点力向上という面において重要な打撃技術の1つとされている。流し打ちにおける打球の飛翔方向は水平面上で生じる2次元的な衝突現象として、換言すると、バットの左右への傾きが投球に対して入射角を生じさせることによる斜衝突のメカニズム（以降、第1メカニズムと記す）として説明されてきた（McIntyre and Pfautsch, 1982）。このメカニズムに加え、近年の研究（城所・矢内, 2015）によって、①バットヘッドがグリップエンドよりも低くなるように下方へ傾いたバットの上面で、②ボールの下部を打撃することによるバットの横断面上での斜衝突（以降、第2メカニズムと記す）によってもそれが可能になることが示された。一方、流し打ち技術に定評のある元プロ野球選手や著名なコーチが執筆した実用書を調査し、流し打ちの成功に求められるバッティング技法について分析した結果、[1]捕手寄りの位置でボールをインパクトすること、[2]インパクト時にバットの打撃面を流し打ち方向に向けること、[3]ヘッドをグリップより低く下げないでスイング・インパクトすることが流し打ちを『正しく』行うため重要な要素であると共通して述べられていることが確認された。このことは、実用書に記された『正しい』流し打ち技法が水平面上（2次元）の斜衝突メカニズムを基盤としていること、並びに流し打ちにおける打球の飛翔方向がバット横断面上の斜衝突を伴った3次元的なメカニズムとしても説明し得ることを示すものである。

インパクトの瞬間にバットの左右への傾きが同じであっても、バットヘッドがグリップよりも低く位置するように下方へ傾いている場合はボールとバットの短軸上のインパクト位置によって左右への打球方向は異なる。つまり、ある方向（例えば右打者が一・二塁間）に打球を放つためのバットの向きやインパクト条件は一通りではなく、インパクト時のバットの方角（水平面への投影角と鉛直面への投影角）とバット短軸上のインパクト位置の組み

合わせにより、無数に存在することになる。これらの組み合わせによってインパクト後の打球特性は様々に変化すると考えられるが、どのような組み合わせによって、ある決まった方向に勢いのあるライナー性の打球、または、大きな飛距離の打球を放つことが可能となるのかは分かっていない。さらに、精度高く（打ち損じる確率を低く）流し打ち打撃を実践する方法を検討できれば指導現場において、より科学的根拠に基づいた効果的な指導を行うことができると考えられる。そこで、本学位論文では、野球のバッティングについて、弾性体モデルによる3次元インパクトシミュレーションを行い、『流し打ち』において、①打球速度を最大にする最適なバットの向きとボールインパクト位置の組み合わせ、および②バットの向きとボールインパクト位置の違いによる飛翔特性変化を検証し、③意図した方向へ精度高く打球を放つことのできる流し打ちのスイング技術の特徴を明らかにすることを目的とした。

第2章 『流し打ち』における打球速度を最大にする最適なバットの向きとボールインパクト位置

有限要素法を用いたシミュレーションにより、打球を流し打ち方向へ飛翔させ得るバットの傾きとボールインパクト位置の組み合わせを特定し、打球速度を最大にするインパクト条件を明らかにすることを目的とした。ボールインパクト時のバット水平角、バット鉛直角および衝撃線角度を系統的に変化させ、流し打ちの打球の方向と速度を算出した。その結果、流し打ち方向に最大の打球速度を獲得するには、バット水平角が意図した流し打ち角度の約60%の角度となるようにインパクト位置を定め、そこでほぼ正面衝突もしくは、ボールのわずかに下部をインパクトできるようにボールを打撃する必要があることが示された。また、バットの打撃面を中堅方向に向けてボールを打撃した場合でも、バット鉛直角と衝撃線角度の組み合わせを変化させることによりフェアグラウンド右半分の全ての方向に打球を打ち出すことができ、ある方向へ打球を打ち出す際のバット鉛直角と衝撃線角度はトレードオフの関係にあることが明らかになった。本章で用いられた方法論の1部はバイオメカニクス研究（2012.16(3), 138-147）にて紹介され、研究内容は体育学研究（2018.63:65-75）に原著論文として掲載された。

第3章 『流し打ち』におけるバットの向きとボールインパクト位置の違いによる飛翔特性変化

指定された方向に流し打ちする際に飛距離を最大化するための最適なバットの方位とボールのインパクト位置の組み合わせを明らかにすることを目的とした。第2章で構築されたシミュレーションモデルを用いてインパクト直後の打球特性を算出し、硬式野球ボールの空力モデルを用いて飛距離および飛翔特性を算出した。その結果、バットヘッドが大きく下方に下がらないようバットを凡そ水平となるスイングで流し打ちを行うと、ボールインパクト時のバット水平角が右翼を向くほどその角度に応じた打球が右翼方向に放たれること、および、ボールの約20°下方をインパクトすることにより、大きな飛距離の打球が放たれることが明らかになった。一方、バットヘッドをグリップエンドよりも低くなるように大きく傾けたスイングで流し打ちを行うと、バットヘッドが下方を向くほど打球の回転軸が鉛直に近づくため、揚力の影響により打球の軌道が右翼線方向に逸れ、飛距離は低下した。本章の内容は体育学研究（2019.64:487-500）に原著論文として掲載された。

第4章 総括論議：野球において『正しい』とされる流し打ち技法の数理的評価

本研究の2つのシミュレーション研究によって、打球速度、並びに打球飛距離を最大化するためにはバットヘッドを極端に下方に下げることなくボールを打撃するという、実用書に記

された『正しい』流し打ち技法が支持された一方で、ヘッドの下がったスイングでも、ほぼ同等の速度・飛距離の打球を放つことが可能なことが示された。バットの打撃面を流し打ち方向に向ける流し打ち、および、バットヘッドをグリップエンドよりも低くしてボールの下部を打撃する流し打ちの両流し打ち技法が合理性をもって並立するにも拘らず、経験豊富な野球選手や指導者が実用書において前者を異口同音に『正しい』技法として位置付ける科学的根拠を感度分析により検証した。その結果、①水平面上でのバット角度の微小な変動が打球方向に及ぼす影響は衝撃線角度やバット鉛直角の大きさに関わらず極めて小さいこと、ならびに②バットヘッドをグリップエンドよりも過度に下げてスイングした際の流し打ちでは、衝撃線角度の微小の変動が打球方向に及ぼす影響が極めて大きいこと、が明らかになった。これらの結果は、バットヘッドを下げたスイングで流し打ちを行おうとすると、ボールの短軸方向のインパクト位置の微小なズレによって打球は意図した方向から大きく外れる方向へ飛翔するため、打者が意図する方向へ打球を飛翔させることが極めて困難であることを示すものである。つまり、実用書に記された『正しい』流し打ち技法の方が人的過誤の影響が小さく、安定して意図した方向へ打球を放つことを可能とする技法であることが示された。以上より、打球速度、打球飛距離、安定性の全てにおいて実用書に記された『正しい』流し打ち技法ならびに経験値の方が優れていることから、これを広く推奨・指導することは数理的に妥当であると結論付ける。本章の核をなす感度分析とその結果は、スポーツ科学研究（2020. 17：92-105）に原著論文として掲載された。

本論文の評価

本研究は、野球における『流し打ち』という技法に着目し、打球の運動学的特徴を規定する力学因子の一つ一つが打球の速度と飛距離に及ぼす影響を定量的に分析したものである。有限要素法を用いたインパクトモデルを構築・検証し、ボールインパクトにおけるバットの3次元的角度とバットに対するボールの相対的な位置の微小な変化が打球に及ぼす影響を正確に定量化する方法論を確立した点、および実践において生じ得る様々インパクトを系統的にシミュレーション分析することにより速度の高い打球や飛距離の大きな打球を打者が意図した方向へ流し打つための方法を特定し、その力学的メカニズムを紐解いた点において学術的価値の高い研究である。また、打ち損じる確率を最小限に抑えて流し打ち打撃を実践する方法について感度分析を用いて検討し、打者が意図する方向へ安定して打球を飛翔させる方法を定量的に導き出すことにも成功した。この感度分析による研究成果はスポーツ科学的な意義が深く、元プロ野球選手や著名なコーチが自らの経験値に基づいて執筆した実用書に記された『正しい』流し打ち技法が数理モデルに基づいて分析された形式知によって支持するものとなった。この成果は、科学的思考の導入が加速的に進んでいる野球の実践現場において波及効果の高い科学的知見になると見込まれる。

本博士論文における研究内容は、高度な専門的知識に基づいた研究成果であり、独創性と学術的意義をもつことが論文審査員全員一致で確認された。また、本博士論文を構成する全ての各論は、申請者が主査の指導のもとでスポーツ科学研究センター招聘研究員として実施したものであることも確認された。上記のような評価を得て、本審査委員会は志村芽衣氏の学位申請論文が博士（スポーツ科学）の学位を授与するに十分値するものと認める。

学術論文

1. 志村芽衣, 宮澤隆, 矢内利政：2012 スイング角度およびローリング角速度が打球特性に及ぼす影響(野球のインパクトシミュレーション). バイオメカニクス研究, 16(3), 138-147

2. 志村芽衣, 宮澤隆, 矢内利政 : 2018 『流し打ち』における打球速度を最大にする最適なバットの向きとボールインパクト位置. 体育学研究, 63 : 65-75
3. Mei Shimura, Takashi Miyazawa, Toshimasa Yanai : 2018 Optimal Bat Angles and Under-cut distance for Maximizing the Batted Ball Velocity in Opposite Field Hitting : A Simulation Study of Baseball Batting. International Journal of Sport and Health Science, 16 : 180-190 (上記2の二次出版)
4. 志村芽衣, 宮澤隆, 矢内利政 : 2019 『流し打ち』におけるバットの向きとボールインパクト位置の違いによる飛翔特性変化 : 野球のインパクトシミュレーション. 体育学研究, 64 : 487-500
5. 志村芽衣, 宮澤隆, 矢内利政 : 2020 野球の実用書に記された『正しい』流し打ち技法の数理的評価. スポーツ科学研究, 17 : 92-105

以 上
以 上