

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20300212

研究課題名(和文) 飛距離を伸ばすバッティング：野球バットのローリングとボールインパクト

研究課題名(英文) Smashing the baseball out of the park : Rolling velocity of bat and ball impact

研究代表者

矢内 利政 (YANAI TOSHIMASA)

早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授

研究者番号：50387619

研究成果の概要(和文)：本研究では、野球の打撃動作において打球の軌跡を最適化し、飛距離を伸ばすためのメカニズムを紐解くためのステップとして、ボールインパクトの詳細を実測法及び数値シミュレーション法を用いて分析した。主な結果として、(1)打球の飛距離を伸ばすためには、大きなローリング速度を持たせたバットを、アッパースイング気味の軌道でスイングすることにより、投球されたボールに対して正面衝突させるように打撃をおこなうことが重要なこと、及び(2)ローリング速度の増加は、同一飛距離の打球を放つ際に、より回転速度の高い打球を、より低い弾道で放つことができることが明らかになった。

研究成果の概要(英文)：The purpose of the present project was to determine the kinematic factors influencing the flight distance of the batted ball in baseball. An experimental study and a simulation study were conducted to examine the inter-relations among the kinematic characteristics of the pitched ball, bat swing and batted ball. The results of the studies indicated consistently that the trajectory and speed of the bat swing immediately before impact and the rolling velocity of the bat around the long-axis influence the flight distance of the batted ball.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	2,700,000	810,000	3,510,000
2009年度	4,100,000	1,230,000	5,330,000
2010年度	1,300,000	390,000	1,690,000
年度			
年度			
総計	8,100,000	2,430,000	10,530,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：(分科)健康・スポーツ科学 (細目)スポーツ科学

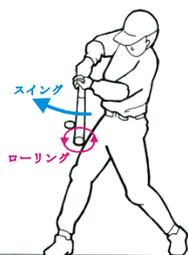
キーワード：バイオメカニクス、打撃、動作解析、シミュレーション、インパクト

## 1. 研究開始当初の背景

硬式野球における打撃では、投手が力をこめて投球した重さ145gの球形ボールを、打者が木製または金属性のバットを鋭くスイングして衝突させる。衝突は0.5~2.0msという短い時間に起こるが(Nathan 2000, Smithら

2007)、その間にバットがボールに加える力積は10Nsを上回り、ボールに作用する力の最大値は20,000Nに達するという(鳴尾2006)。これら数値は、主にキャノン(砲筒)から発射された無回転ボールを静止しているバットに衝突させるというシミュレーション

ョン実験 (Smith 2001, Smith ら 2007) やコンピュータによる数値シミュレーション (Nathan 2000, Sawicki & Hubbard 2003, Smith 2001,) によって推定した値であるため、ボールの回転による影響を正確に反映するものではない。また、バットスイング時にバットそのものが転がるようにローリング (下図) することによる影響は考慮されていないため、ローリングやその速さが打球の速度や軌跡にどのような影響を与えるのかについては、全く解明されていなかった。



## 2. 研究の目的

本研究は、野球の打撃動作において打球の軌跡を最適化し、飛距離を伸ばすためのメカニズムを紐解くためのステップとして、バットのローリングに着目してボールインパクトを分析した。したがって、本研究の目的は、(1) 様々な打者におけるバットのスイング速度、及びローリングの速さを計測し、(2) それら計測値と打球速度や打球の回転数との関係をモデリングすることにより、(3) バット速度と打球との関係、及びローリングと打球の軌跡・飛距離との関係を明らかにすること、の3項目であった。この一連の研究により、スイング速度には大きな差がない選手間における打球の飛距離の差や、打球の軌跡の特徴が大きく異なる選手間の差異等を探り出し、パフォーマンス向上のための方向性を見出すことが、この研究のねらいであった。

## 3. 研究の方法

平成20年度には、「(1) 様々なレベルの選手におけるバット速度及びローリングの速さを計測・蓄積することにより、バットの回転運動に関する特徴を把握し、個人差や打球の打ち分けによる違いを明らかにすること」を目的とした研究を実施した。

3軸ジャイロセンサ (MG3-01Ab, MicroStone 社製) をグリップエンドに装着して、バットのスイング速度とローリングの速さを計測した。計測値の妥当性は、素振りにおけるスイング速度を二つの異なるジャイロセンサを用いて計測した値を比較することにより検証した。

このジャイロセンサを装着した木製バットを用意し、大学一部リーグに属する硬式野球チームのメンバー (計36名) を対象に、通常のパッティング練習 (「ロングティー (LT)」と「フリーパッティング (FB)」) にて10~15本の打撃を行ってもらった。ロングティーは、斜め前方からトスされたボールを、通常 of 打撃における強度で、指定された方向に打ち返すものとした。フリーパッティングは、ピッチングマシンが投球したボールに対し、

通常 of 打撃における強度で、ボールのコースに応じてレフト・センター・ライト方向に自由に打ち返すものとした。

ボールインパクトの直後 (約 0.6ms 後) に、ボールとの衝突による衝撃波がグリップに到達するのであるが (Nathan 2000)、フリーパッティングにおいては、この衝撃波による振動が 1,000G を超える大きさとなるため、実験を開始するに際し、ジャイロセンサが損壊する恐れがあった。実際、ロングティーにおいて、ボールインパクトの位置がバットの芯を外れた際に、収集したデータに想定外の信号が混入するという問題が生じた。この問題については、衝撃吸収ゴムをセンサとバットの間に挿入することにより改善されたため、ロングティーのデータ収集は予定通り完了した。しかしながら、フリーパッティングにおいては、バットの芯を外れた打撃によりセンサは損壊した。大きな衝撃波がセンサに伝わったことが原因と思われる。衝撃吸収性能に優れたパッドを用いる等により改善を図ったが、センサの損傷を防ぐことができなかった。より耐衝撃性能に優れた3軸ジャイロセンサを国際的に検索し、ARS-12K (DTS社製) を新たに購入した。このセンサの採用により実験を再開することが可能となったが、すでにシーズン終了後であったため、フリーパッティングにおける妥当性検証、予備実験及び実験は次年度に延期となった。

収集したデータは、バットのスイング速度とローリングの速さに加え、投球されたボールの速度と回転数、打球の速度と回転数であった。これら打撃の直前・直後におけるボールの運動は、高速度カメラ (VT-1000, 崩栄社製) を用いて、撮影速度 1000fps、露光時間 0.2ms で撮影し、画像分析を行うことで定量した。これらデータを系統的に分析することにより、被験者間の差異や同一被験者における異なる試技間の変動を分析した。

平成21年度には、「(2) バットのスイング速度やローリングの速さと打球速度と打球の回転数との関係をモデリングすることにより、バットのローリングやボールの回転による摩擦を含むボールインパクトのメカニズムを明らかにすること」を目的とした研究を実施した。この分析は、当初アメリカ、カリフォルニア大学デービス校 (University of California, Davis) のモント・ハバード博士 (Prof. Mont Hubbard) との共同研究として行う予定であったが、ジャイロセンサの損壊によりフリーパッティング時のデータ収集をやり直す必要が生じたため、この予定は延期された。

フリーパッティングにおける打撃動作とボールインパクトに関する運動学的データを収集するため、大学野球部員 13 名ならびにプロ野球選手 8 名を対象に実験を行った。3軸ジャイロセンサ (ARS-12K (DTS社製) をグリップエンドに装着して、バットのスイング速度とローリングの早

さを計測した。また、投球されたボールの速度と回転数、打球の速度と回転数を計測するため、打撃の直前・直後におけるボールの運動を超高速度カメラ(Phantom663, Vision Research 社製)を用いて撮影した。撮影された画像を分析することにより、バットの軌道、インパクト位置、打球速度・回転数を計測した。これら計測結果をもとに、統計的解析方法(重回帰分析)を用いてバットのスイング速度やローリングの速さと打球速度や打球の回転数との関係をモデリングした。この手法で得られた統計的数式を力学的な観点をもとに解釈することにより、逆動力学的にバットとボールの動弾性特性を考察する。

さらに、変形・摩擦の影響を含めたインパクトのメカニズムを明らかにするため、ボールインパクトは非常に短い時間に起こり、大きな力が作用するため、通常剛体とみなされる硬式ボールや木製バットでさえも、インパクト中に大きく変形する。この時のボールとバットの振る舞いを力学的に分析するには、それらの構造特性と材料特性を踏まえた観点から弾性モデリングを構築し、シミュレーション法を用いて分析することが有用である。そこで、バッティングの打球について信頼性の高いシミュレーションモデルを有限要素法により構築した。

バットのモデルは、バットを線形弾性体とみなし、曲面を小さな平面の集合として近似し、3次元シェル要素を用いてモデル化したものを採用した。バットの共振周波数、振動モードおよび振動の節の位置について、木製バットの振動実験により得られた実測値とその振動実験をシミュレーションすることにより得られたシミュレーション値とを比較し、その算出結果を反復法により最適化することで、木製バットの物理特性を正確に反映したバットモデルを構築した。硬式ボールはソリッド要素を用いて線形弾性体としてモデル化した。ボールのヤング率およびポアソン比は、尾田ら(2004)の値を用いた。ボールの直径及び密度は実測値を用いた。バットとボールの接触解析は Penalty 法を用い、硬式ボールと木製バットの摩擦係数  $\mu$  を先行研究(Sawicki et al. 2003)の数値を参考に、 $\mu=0.5$  に設定した。シミュレーションモデルの妥当性検証には、研究初年度のデータと、この年に新たに追加収集するデータを用いた。

平成22年度には、「(3)バット速度と打球との関係、及びローリングの速さと打球の軌跡・飛距離との関係を明らかにすることにより、打球の軌跡を最適化し、飛距離を伸ばすためのメカニズムを解明すること」を目的とした研究を実施した。弾性モデリングを応用した数値分析は、米国カリフォルニア大学ハバード博士の協力のもとに実施した。モデルは、前年度に作成されたものに改良を加え、推定精度を向上させた。また、このモデルを活用した数値シ

ミュレーション法により、打球の飛距離を最大化するためのローリングの速さと、そのメカニズムを明らかにする分析を行った。シミュレーションに入力するデータは、研究1~2年目に収集・分析したバットとボールの運動に関するデータに加え、新たに大学野球部に所属する選手 10 名より収集した 500 試技のデータと、それらによってモデリングされたボールとバットの動弾性特性であった。ボールの軌跡と飛距離は、ボールの空力特性をもとに分析した。

一方、実測によるデータ収集法を用いた分析では、ローリングを獲得する方法を明らかにするための実験を行った。打撃動作における身体運動を 3 次元動作解析法を用いて詳細に分析することにより、バットのローリングがどのようなメカニズムで獲得されるのかを明らかにした。この分析には、電磁ゴニオメータシステムを使用して、10 名の野球選手の打撃動作を記録した。特徴的なローリングが観察された選手を選択して分析することにより、理想的なローリングを行うためにはどのような身体運動を行えばよいのか検討した。

#### 4. 研究成果

平成 20 年度の研究成果：研究目的は、「(1)様々なレベルの選手におけるバット速度及びローリングの速さを計測・蓄積することにより、バットの回転運動に関する特徴を把握し、個人差や打球の打ち分けによる違いを明らかにすること」であった。

大学一部リーグに属する硬式野球チームのメンバー(計36名)を被験者として、「ロングティー(LT)」と「フリーバッティング(FB)」におけるデータ収集した結果、インパクト時におけるバットはスイング方向に転がるようにローリングを行うことが確認された(LT:955°/s & FB:1093°/s)。ロングティーにおいては、打球の打ち分けによってローリング速度が有意に変化(図1 引っ張り:985°/s & 流し打ち FB:826°/s)し、フリーバッ

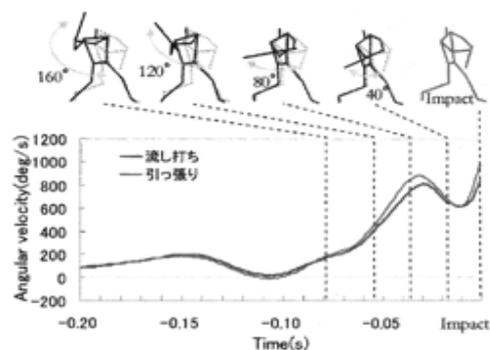


図1：ロングティーにおけるローリング速度(学会発表⑤の抄録より引用)

ティングにおいては、変化する傾向(引っ張り:1218°/s & 流し打ち FB:941°/s)を示した(図1:学会発表⑤)。被験間におけるローリング速度の差は大きく、収集したデータの最大値(1742

deg/s) は最小値(17 deg/s) の 10 倍を上回った。また、バットを上方へ振り上げる「アップースイング」を行う選手のほうが、下方へ振り下ろす「ダウンスイング」の選手よりもローリング速度が有意に速いことが明らかとなった。

打撃動作におけるバットのローリング速度を報告した研究はこれまでになく、本研究の結果は国内外を通じて初めての計測データとなった。

平成 21 年度の研究成果：研究目的は、「(2) 様々なレベルの選手におけるバット速度及びローリングの速さを計測し、それら計測値と打球の速度と回転数との関係をモデリングすることにより、バットとボールの動弾性学的特徴を数値化すること」であった。

大学野球部員 13 名ならびにプロ野球選手 8 名を対象に、フリーバッティングにおけるバットのスイング速度とローリング速度に加え、高速度カメラによる撮影を通じてバットの軌道、インパクト位置、打球速度・回転数を計測し、それら計測結果をもとに、飛距離を伸ばすバッティングの特徴の検討とシミュレーションモデルの構築を行なった。飛距離を伸ばすバッティングの特徴は、回帰分析を用いて明らかにした。その結果、打球の飛距離を伸ばすためには、①大きなローリング速度を持たせたバットを、②アップースイング気味の軌道でスイングすることにより、③投球されたボールに対して正面衝突させるように打撃をおこなうことが重要であることが明らかとなった(図2: 雑誌論文②、⑤)。

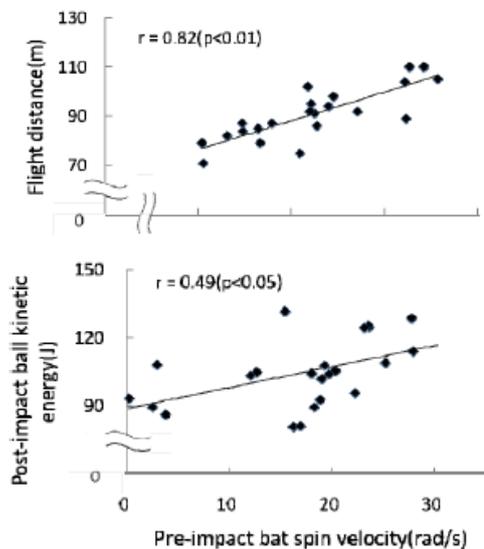


図 2：打球飛距離と打球エネルギー(上)と打球エネルギーとローリング速度との関係(雑誌論文⑤より引用)

また、振動実験によって実測したバットの弾性特性を考慮した衝突シミュレーションモデルを構築し、実測したサンプルと同じ入力条件によるシミュレーションを実施することにより、モデルの妥

当性を検討した。その結果、フリーバッティングにおいて実測した投球速度、回転数、バット速度、ローリングの速さを入力値として算出した打球の挙動(方向、速度、回転数)は、実測結果とよく一致することが確認された(図3: 雑誌論文⑥)。

平成 22 年度の研究成果：研究目的は、「(3) バット速度と打球との関係、及びローリングの速さと打球の軌跡・飛距離との関係を明らかにすることにより、打球の軌跡を最適化し、飛距離を伸ばすためのメカニズムを解明す

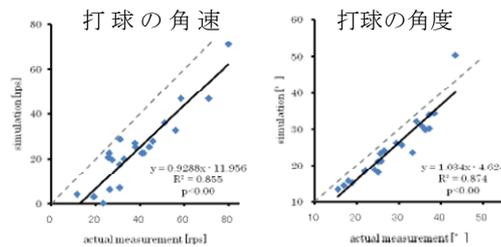


図 3：弾性モデルを用いたシミュレーションモデルの妥当性検証結果 [打球の角度(上)と角速度(下)] (雑誌論文⑥より引用)

ること」であった。

弾性モデリングを応用した数値分析は、米国カリフォルニア大学ハーバード博士の協力のもとに実施した。モデルは、前年度に作成されたものに改良を加え、推定精度が向上したもの(雑誌論文①)を用いた。その結果、ローリング角速度の増加が最大飛距離に及ぼす影響は小さいが(図4)、ローリング角速度の増加により、同一飛距離の打球を放つ際に、より回転速度の高く運動エネルギーの大きい打球を、より低い弾道で放つことができることが明らかとなった(図5: 雑誌論文③)。この打球を生み出すメカニズムは、ローリング角速度を増加させたバットがボールに衝突する際、バット-ボール間に生じる摩擦力が増大することに起因するためと断定された。このモデル分析の結果は、様々な選手が打撃を行なった際に実測された値から統計的に分析した結果(投稿論文・査読中)と一致した。

また、バットのローリング速度を獲得するメカニズムを明らかにするため、電磁ゴニオメータを上肢セグメントに貼付した選手に打撃実験を行わせるという手法を用いて運動解析を行った。この研究の結果、投手側上腕の外旋→前腕の回外→バットのローリングの順序で捻り運動が開始されるという連鎖運動が観察された(雑誌論文④)。

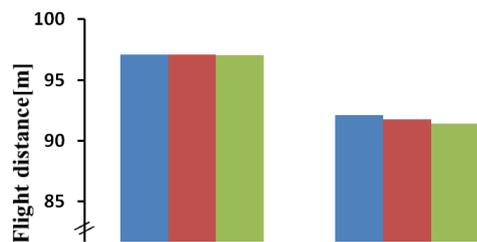


図 4：ローリング速度と最長打球飛距離との関係(雑誌論文③より引用)

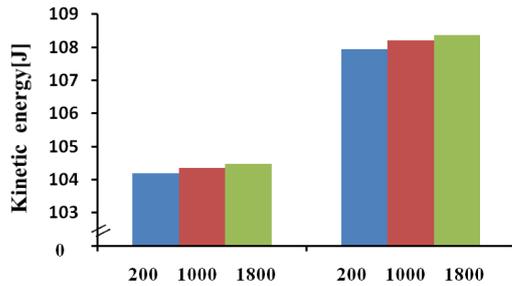


図5：ローリング速度と打球エネルギーとの関係  
(雑誌論文③より引用)

本研究プロジェクトにおいて明らかとなった知見をまとめると、以下の通りである。

- (1) 大学野球及びプロ野球選手の打撃において、バットはほぼ例外なくスイング方向に転がるようにローリングすること。
- (2) ローリング速度は、アッパースイングの選手において大きい傾向があること。
- (3) 打球の飛距離を伸ばすためには、大きなローリング速度を持たせたバットを、アッパースイング気味の軌道でスイングすることにより、投球されたボールに対して正面衝突させるように打撃をおこなうことが重要なこと。
- (4) ローリング速度の増加は、同一飛距離の打球を放つ際に、より回転速度の高い打球を、より低い弾道で放つこと。
- (5) ローリングの獲得には、投手側上腕の外旋→前腕の回外→バットのローリングの順序で捻り運動が開始されるという連鎖運動が関連すること。

#### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計6件)

- ① 宮澤隆、志村芽衣、城所収二、若原卓、矢内利政、野球のバッティングにおけるインパクトシミュレーション、日本機械学会論文集、査読有、2011[掲載受理済]
- ② 城所収二、若原卓、矢内利政、野球のバッティングにおける打球飛距離と打球の運動エネルギーに影響を及ぼすスイング特性、バイオメカニクス研究、査読有、2011[掲載予定]
- ③ 志村芽衣、宮澤隆、矢内利政、バットのローリング角速度が打球特性に及ぼす影響、ジョイントシンポジウム[スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2010]講演論文集、査読無、2010、10(53)、44-49
- ④ 谷中拓哉、近田彰治、矢内利政、野球のバッティングにおける上肢セグメントの捻り動作、ジョイントシンポジウム[スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2010]講演論文集、査読無、2010、10(53)、61-65

- ⑤ 城所収二、若原卓、矢内利政、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、ジョイントシンポジウム[スポーツ工学シンポジウム・シンポジウム:ヒューマン・ダイナミクス]講演論文集、査読無、2009、09(45)、229-233

- ⑥ 宮澤隆、志村芽衣、城所収二、若原卓、矢内利政、野球のバッティングにおけるインパクトの衝突シミュレーション、日本機械学会論文集、ジョイントシンポジウム[スポーツ工学シンポジウム・シンポジウム:ヒューマン・ダイナミクス]講演論文集、査読無、2009、09(45)、194-199

[学会発表] (計5件)

- ① 志村芽衣、宮澤隆、矢内利政、バットのローリング角速度が打球特性に及ぼす影響、ジョイントシンポジウム[スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2010]東京工業大学、2010.11.3-6
- ② 谷中拓哉、近田彰治、矢内利政、野球のバッティングにおける上肢セグメントの捻り動作、ジョイントシンポジウム[スポーツ・アンド・ヒューマン・ダイナミクス 2010]東京工業大学、2010.11.3-6
- ③ 城所収二、若原卓、矢内利政、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、ジョイントシンポジウム[スポーツ工学シンポジウム・シンポジウム:ヒューマン・ダイナミクス]福岡工業大学、2009.12.3-5
- ④ 宮澤隆、志村芽衣、城所収二、若原卓、矢内利政、野球のバッティングにおけるインパクトの衝突シミュレーション、ジョイントシンポジウム[スポーツ工学シンポジウム・シンポジウム:ヒューマン・ダイナミクス]福岡工業大学、2009.12.3-5
- ⑤ 城所収二、矢内利政、打撃動作におけるバットのローリング作用;打球方向間での比較、第20回日本バイオメカニクス学会大会、仙台大学、2008.8.26-28

#### 6. 研究組織

(1) 研究代表者

矢内 利政 (YANAI TOSHIMASA)  
早稲田大学・スポーツ科学学術院・教授  
研究者番号：50387619