

バットスイングの加速度とバット-ボール衝突後の打球初速度の 関係に関する考察

奥野敬丞 吉永崇 有田大作 (九州先端科学技術研究所/ISIT)

1. はじめに

家庭へ導入が期待されている生活支援ロボットは、人間と共有する道具を効率よく使用する方法を学習する機能がある事も重要である。このために人間の道具使用に関する研究をする事は重要である。本稿では、例としてバットのスイングと打球の初速度に関する知見を得る事を目的にする。

Brody[1] や Nathan[2] 等の研究が、打撃の理論的な支えとなり議論されている。ボールとバットが衝突する時のバット速度にのみ、衝突後の打球初速度が依存している結論している。Brody の実験 [1] から、ボールを打撃する時のバットの振動特性は、グリップを固定された時に観測される振動の特徴ではなく、自由物体として宙に吊るした状態のバットにボールを衝突させて時に観測される振動の特徴が観測される。Nathan の研究 [2] により、衝突後のボールの初速度は、ボールとバットが衝突するバットの部位の速度と質量とボールの弾性特性にのみ依存する事が示されている。つまり、ボールとバットが衝突するバットの部位以外の質量、バットの弾性特性、身体からの力は打球の初速度に影響を及ぼさないとされている。なぜならば、ボールとバットの衝突後にバットや体が生み出す力がボールに伝わる前に、ボールがバットから離れるからである。

しかし、これらの研究ではボールとバットの衝突時以降の議論がされていない。また、ボールとバットの衝突時には、バットに加速度が無い状態、等速運動をしている物と仮定して衝突後の打球の初速度を議論している。つまり、衝突以前に身体を適切に動かす事で、打球方向に対して衝突時のバットに正の加速度を生じさせる事が、打球の初速度にどのように影響するかに関して議論をしていない。

一流プロ野球選手である西武ライオンズの中村剛也選手は、統一球が初めて導入された 2011 年に一人だけ以前と同様のホームラン数 44 本を残している。インタビューで以下のような興味深い発言をしている。「バットにボールがくっついて、右手でしっかり押し込む感じがあった」、「右手で押し込む感覚をつかめたんです。... ボールがバットに長くくっついてる感じがですね」、「どれだけゆっくり振れるかがテーマです」。この発言は単なる、感覚的なものとして見過ごしてはいけなく考える。なぜならば、ある分野で一流の人の経験に基づいた発言からは、身体知に関する有意義な知見を得るとっかりになるはずであるからである。以降の章にて、Nathan のモデルを説明して、そのモデルで見過ごされている点を議論し、本発表で取り扱うスコープを定義して、回転モデルという定説の再検証を試みる。

2. 関連研究と本稿のアプローチ

本稿のアプローチとして、図 1 に示された Nathan の論文 [2] で結論され紹介されているバットとボール

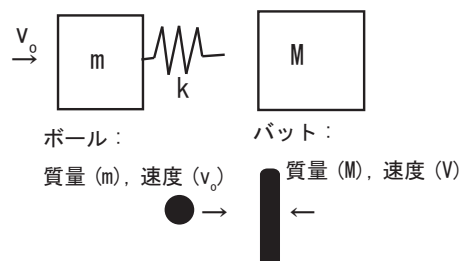


図 1 論文 [2] の toy-model . m はボールの質量, M はボールとバットが衝突する部位の質量, k はボールの弾性特性を表す係数, v_0 はバットに対するボールの相対速度

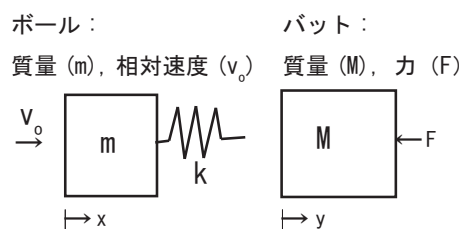


図 2 論文 [2] の toy-model と同一のモデルにバットスイングの加速度を加味したモデル . m はボールの質量, M はボールとバットが衝突する部位の質量, k はボールの弾性特性を表す係数, v_0 はバットに対するボールの相対速度, F はバットスイングの加速度によるバットに加えられる力

の衝突に関する、本質を抽象した toy-model (Fig.17) をベースとして用いた。ここでの条件は、系に外力が加わらない、等速直線運動を仮定している。言い換えると、バットの振動周期の半分以下の時間内でボールがバットから離れてしまう。つまり、バットの弾性特性には依存せず、ボールの弾性特性とボール・バットの相対速度にのみに打撃後の打球の初速度が依存する。一方、本稿で提案するモデルは、バットスイングの速度以外にバットスイング加速度を考慮したモデル (図 2) である。提案モデルと図 1 のモデルとの差分は、バットスイングに加速度に起因する外力を考慮している点のみである。

図 2 に示された系の運動方程式は、 $x''m = yk - xk$ と、 $y''M = xk - yk - F$ となる。Nathan の論文で使用されてり条件、 $v_0 = 71[m/s]$, $m = 0.145[kg]$, $M = 0.265[kg]$ を用いた。ただし、本稿ではボールの弾性特性を示すヒステリシス曲線ではなく、完全弾性の直線近似、 $k = 13900[N/m]$ を用いた。この近似値はある程度は妥当と考える。理由は、 $F = 0$ の時の計算結果から得られるバットとボールの衝突時間と打球初速度の値が、概ね Nathan の結果と一致するからであ

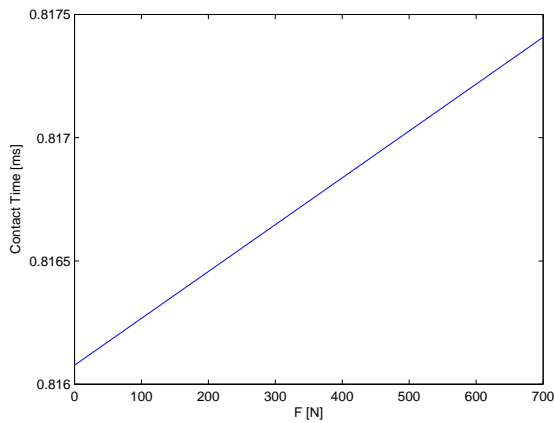


図3 外力に対するボールとバットの接触時間. x 軸: 外力 $F[N]$, y 軸: 接触時間 $t[s]$

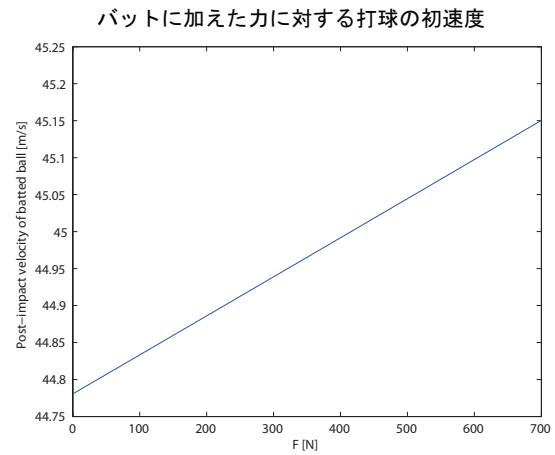


図4 衝突時のバットに異なる力 (F) を加えて, それに対する打球の初速度 (v_f) の変化を示したグラフ. x 軸は $F[N]$, y 軸は $v_f[m/s]$

る. 以上の式, 条件を用いてバットとボールの衝突後の打球の初速度, v_f , を異なる F の値を用いて求めた.

3. 結果

図3に示すように700[N]の外力がある場合, ボールとバットの衝突時間が約 $1.0 \times 10^{-6}[s]$ 増加. 従来のモデルでは, ボールとバットの短い衝突時間では力はバットからボールに伝わらないとされていた. 理由として, バットとボールの衝突時間が小さくて, バットからの力はボールに伝わらない事であった. バットが加速度運動をすると, ボールとバットが接触している間は, バットからボールに力が伝わる. その結果, 図4に示されるように, バットに約700[N]の力を加えた場合, v_f は外力が無い場合と比較して約1.8%増加した. 初速度が1.8%増加すると, 理想的な条件化での飛距離は約3.6%飛距離が増加する. 100[m]の飛距離が約103.6[m]の飛距離, 120[m]が約124.4[m]になる違いである. これは, それぞれ, ポール際, バックスクリーンのフェンス際まで打球が届いた時に, フライアウトになるか, ホームランになるかの違いを十分に生み出す違いである. 700[N]とは, 慣性センサ(センサ内のXYZ軸における加速度・地磁気・角速度を計測できる9軸ワイヤレスモーションセンサ(ロジカルプロダクト社)を使用した著者自身のスイングの計測で十分に観測される値である.

4. 議論と今後

以上の計算結果から, バットの速度以外に加速度が考慮する事が, 打球の初速度に影響がある事が定性的にいえると考える. ただし, 本稿でのボールの弾性特性を表す式は, Nathanの論文のヒステリシス曲線ではなく, 完全弾性の直線近似を用いている. 数%の違いを議論をするにあたり, より精度の高いモデルを用いて, バットの加速度の打球の初速度への影響を調べる必要がある. また, 打撃時のグリップは衝突時のバット加速度を増加する効果があると予想する. さらに, 加速度運動下のバットの弾性特性を考慮したモデルを検討する事が必要と考える. 加速度運動をしれているバットは, ある程度しなった状態にある可能性があるからである. 高度なスキルの知見を得るには, 人間にとって実現可能な最適化された速度と加速度の組み合わせ

の研究が重要と考える. どのような身体の動きをする事で, 最適化されたバットの速度と加速度の組み合わせを生成する動きを実現できるの研究には, ヒューマノイドロボットの制御等の知見を用いた詳細な筋骨格モデルを用いたシミュレーションが有用であると考えられる. バットの加速度が打球の初速度に影響する事を詳細なモデルで定量的に評価できれば, 打撃理論の見直し, 子供が練習方法の見直し, 道具開発時の見直しを促すと考える.

5. まとめ

本論文で, 打球の初速度に関して, 今までに考慮されていなかったスイングの加速度の影響を議論した. 広く認められたNathanのモデル[2]に, バットの加速度を加味した運動方程式を数値シミュレーションを用いて解を求めた. 結果, 打球の飛距離が約3~4%伸びる事を確認した. 今後はボールの弾性特性を示すヒステリシス曲線を厳密にモデル化して議論を進める. ヒューマノイドロボットや人間の詳細な筋骨格モデルを用いて, スイングの速度と加速度の最適な組み合わせを実現する動作に関して身体性を考慮した研究に取組む予定. そして, 著者が行ってきた動作学習者のパフォーマンスに応じて動的に提示動作を修正して提示する研究[3]と統合していく予定.

参考文献

- [1] Howard Brody. Models of baseball bats. *American Journal of Physics*, Vol. 58(8), pp. 756-758, Aug. 1990.
- [2] Alan M. Nathan. Dynamics of the baseballbat collision. *American Journal of Physics*, Vol. 68(11), pp. 979-990, Nov. 2000.
- [3] Keisuke Okuno and Tetsunari Inamura. Motion coaching with emphatic motions and adverbial expressions for human beings by robotic system -method for controlling motions and expressions with sole parameter-. In *Proc. of IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, pp. 3381-3386, 9 2011.