

ボール打撃時のバットスイング加速度と打球初速度の関係に関する考察

奥野敬丞^{*1}, 吉永崇^{*1}, 有田大作^{*1}

Consideration of an effect of bat-acceleration against initial velocity of hit-ball

Keisuke OKUNO^{*1}, Takashi YOSHINAGA^{*1} and Daisaku ARITA^{*1}

^{*1} Institute of Systems, Information Technologies and Nanotechnologies
Fukuoka SRP building, Momochihama 2-1-22, Sawara-ku, Fukuoka, 814-0001 Japan

1. 緒 言

近年、家庭等の実環境下で使用する生活支援ロボットの導入が期待されている。このようなロボットに必要な機能の一例として以下の例を上げる事出来る。動的に変化する状況に応じて対応可能な、人間と知的なインタラクションを可能にするための機能。経済的、物理的な制約条件の下、人間が使用する道具を共用して使用する機能。そして、人間と共有する道具をロボットが最大限に効率よく使用方法をロボットが学習する機能がある事も重要である。道具の学習方法としては、HRIを通して人間に教えてもらったり、自立的に学習する機能がある事が望まれる。そして、このような機能の実現のためには、人間の道具の使用に関する知見やコツに関する研究をする事は重要である。従って、本稿ではこの最後の部分にフォーカスをあて、どのようにバットを使用すると効率よくボールを遠くに飛ばせるかの知見を得る事を目的に考察を進める。

具体的には、人間の道具使用の一例としてバットを使用してボールを打つ時のスイングに関して議論する。バット等の道具を用いスイングしてボールを打撃する理論、あるいは、道具開発に関して議論する時、Brody⁽¹⁾やNathan⁽²⁾等の研究に基づいて議論されている。一言で述べると、ボールと道具が衝突する時の道具のスピードが、衝突後のボールの初速度を決めているというものである。これは、いわゆる、衝突時の速度のみを考慮する回転モデルに基づいた議論である。Brodyの研究⁽¹⁾により、静止状態のバットにボールを衝突させる実験から、ボールを打撃する時のバットの振動は、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、衝突時に、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。言い換えると、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、身体からのエネルギーは、衝突以降は打球の初速度に影響を及ぼさない事が示されている。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しかしていない。また、ボールとバットの衝突時には、バットは静止状態であると仮定している。言い換えると、バットに加速度が無い状態でボールとバットが衝突する条件を想定して衝突後の打球の諸速度を議論している。つまり、ボールとバットの衝突以前に身体により生成される物理パラメータに関しては、バットの速度以外は考慮されていない。具体的には、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る様にする事で、身体からのエネルギーが、打球の衝突後の初速度に影響に関して議論をしていない。この事に関連して、一流プロ野球選手である、西武ライオンズの中村剛也(おかわり君)選手が興味深い発言をしている。いわゆる「飛ばない球」である統一球が初めて導入された2011年にぶっちぎりで、一人だけ、統一球前と同様の成績、ホームラン数44

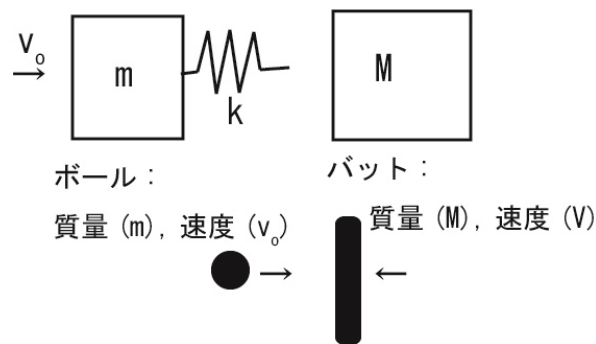
^{*1} 正員, 九州先端科学技術研究所 (〒814-0001 福岡市早良区百道浜 2-1-22 福岡 SRP ビル)
E-mail: k-okuno@isit.or.jp

本を残している。インタビューで以下のような発言をしている。「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いる感じですね。」、「僕はスイングスピードが鈍いなと思うときのほうが状態はいいんです」、「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、主観的なものとして見過ごしてはいけないと考える。なぜならば、ある分野で一流の人の発言からは、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. 関連研究のモデル

この問題に取り組む方法として、図1 に示されたNathanの論文で結論され紹介されているバットとボールの衝突に関する本質に抽象したtoy-model (Fig. 17) のモデルをベースとして用いた。バット、ボールの速度、衝突時間の条件に関しては、Nathan[2] の論文で使用されているのと同等のものを使用した。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。

Table 1 The bat-ball collision Model by Nathan

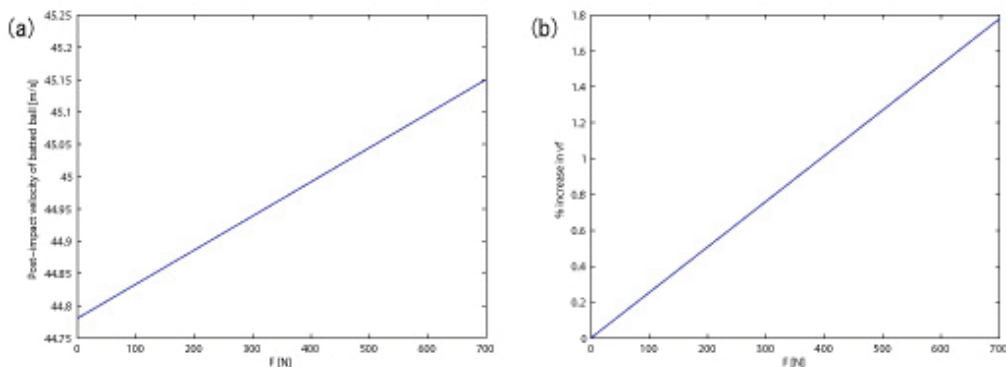


Nathanの論文では、ボールがバットに衝突する時には、バットのしなりが戻ってくる前、言い換えると、バットの振動周期の半分以下の時間内でボールがバットから離れてします。つまり、バットの弾性特性には依存せずボールの弾性特性とボール・バットの相対速度にのみ打撃後の打球の初速度が依存する。mはボールの質量、Mはバットがボールの質量、 M はボールとバットが衝突する部位の質量、kはボールの弾性特性を表す係数、 V_0 はバットに対するボールの相対速度である。

3. 本稿のアプローチ

これに対して、本稿では図1との差分が質量がMのバットに対して、身体の適切に操作に基づきボールとバットが衝突する時点でバットに加速度がある条件を考慮したモデルに関して考察をする。加速度に対応する力をFとして、図2の様なモデルを本稿では提案する。関連研究で示されているモデルと本稿で提案するモデルの差は、バットの加速度に相当する外力であるFを考慮しているかのみである。

Table 4 バットに加えて力と打球の初速度とその変化率の関係



ボールとバットの衝突時間が増加する事で、どのように打球の初速度が変化するかを、図4のグラフに示された。700[N]の力を加えた場合、打球の初速度 v_f は力が加わっていない場合と比較して約1.8%増加した。初速度が1.9%増加した時、真空中で打球の回転と空気との摩擦を考慮しない等の理想的な条件下での飛距離は、約3.6%飛距離が増加する事に対応する。つまり、身体からの力を考慮しない場合に100[m]の飛距離が、700[N]の身体からの力 F [N]を考慮にいと、約103.6[m]の飛距離になり、110[m]が約114.0[m]に、120[m]が約124.4[m]になる違いである。この飛距離の違いは、ある日本の球場において、それぞれ、ポール際、左(右)中間、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、バットの質量を0.9[kg]とした場合に約777.8[m/s²]の加速度を、ボールとバットの衝突時にバットに適応する事であり、現実的な値であると考え。なぜならば、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値では、角加速度の打球の進行方向成分として、約580[m/s²]を観測し、同時に加速度として25[G]、約250[m/s²]以上を観測した。計測に用いた加速度センサーの観測最大値25[G]を超えてしまい、正確な計測は出来なかった。現在、より大きな加速度を計測可能なセンサーを使用し、同時に、我々が開発してきた慣性センサを用いたモーションキャプチャー装置⁽³⁾を用いた、高い技術を有する被験者の実験を準備中である。

5. 考察と議論

バットとボールの衝突後の打球の初速度の理論的な支えになっているモデルに、バットの加速度を考慮した近似モデルを用いて、運動方程式を書き数値シミュレーションを行った。その結果から、ボールとバットの衝突後のボールの初速度を議論する上で、ボールとバットの衝突時のバットの速度以外に、バットの加速度を考慮する事に意味があると考え。ただし、現在はボールの弾性特性を表す式は、Nathanの論文⁽²⁾のヒステリシス曲線ではなく、エネルギーロスの無い、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、衝突時のバットの加速度のボールとバットの衝突後のボールの初速度への影響を調べる必要がある。なぜならば、衝突後の打球の初速度は、ボールとバットの衝突時間の長さに対して、とても敏感であるからである。

ボールとバットが衝突する以前の身体の使い方を調整する事で、衝突時のバットは、速度以外に正の加速度を有する事は可能である。人が道具をスイングする予備実験で、加速度と角速度センサーを用いた観測値から、それが可能である事は示されている。難しいのは、バットが大きな速度と大きな加速度を持つタイミングで、ボールとバットを衝突させる事である。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を求

める取り組みも重要と考える。つまり、衝突時のバットの加速度が衝突後のボールの初速度に対する影響、最適化されたバットの速度と加速度の組み合わせを研究する事とは、独立した問題として、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かという研究に取り組む必要がある。この時、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人間のモデルによるシミュレーションも有用であると考ええる。

打撃時のグリップは、加速度を生じる目的に有効と考える。また、バットの加速度は打球に対してバックスピンをより加える効果があると推測する。また、加速度運動時におけるバットのしなりを考慮したモデルを導入する事で、バットからボールに伝わる力に関してより興味深い事象に切り込めると考える。バットで打撃した直後の打球の初速度が、バットのスイングの速度以外に、バットの加速度にも影響される事をより詳細なモデルを用いて定量的に評価できれば、プロレベルでの打撃理論の見直し、子供を含めてアマチュアレベルや体育での練習方法の見直し、道具開発発時の考慮すべきパラメータなどに対して再考を促すと可能性があると考ええる。

7. 結 語

本論文ではロボットにとって重要な効率の良い道具の使い方を、人間の道具の使い方の研究から知見を得る事を目的とした。例として、バットで打撃した時の打球の初速度に関して、バットスイングの速度以外に、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⁾を用いて、バットの加速度を考慮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、実現可能な加速度を衝突時のバットに与えると、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り組む予定。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⁽⁴⁾と統合していく予定である。

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) Takashi Yoshinaga and Daisaku Arita. Development of motion visualization system using wearable inertial and bio-signal sensors. In *Proc. of 2013 NICOGRAPH International*, pp.131-132, Jun. 2013.
- (4) 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, Sep. 2011.