

センサーバットによる投球打撃動作のバイオメカニクスの分析

小池関也

Biomechanical analysis of thrown ball batting motion using an instrumented baseball bat

Sekiya KOIKE

1. はじめに

本課題は、野球の打撃動作を力学的に分析可能とするシステムの構築およびその分析手法の確立をねらいとしたものである。なお、本報告書の一部には、本年度11月に金沢にて開催された日本機械学会スポーツ工学シンポジウム講演会の講演論文から抜粋したものを使用している。

野球のバッティングでは、高速で飛来するボールの軌道を予測しながら、究めて短時間にバットの大きなヘッド・スピードを獲得するとともに、バット打撃部を打点へと巧みに位置決めする必要がある。このとき下肢は地面に力を作用させることにより、身体の並進および回転を生み出し、上

肢は下肢が生み出したこれらの運動をバットへと伝達するとともに、ヘッド・スピードの獲得とバット軌道のコントロールを実現している。このように下肢と上肢は互いに連動しながら、バットの運動を生み出している。ここで四肢各関節のうち、体幹部に近い筋群が比較的大きな筋トルクおよびトルク・パワーを発揮できるのに対して、末端部の関節ではこれらの出力を大きくすることは難しい。打撃動作は、ランニング動作とは異なり、究めて非対称な動きである。このため、左右の腕および脚でその役割が異なることも予想される。さらに打撃動作は両腕によりバットを操作しているために、力・モーメントに対する冗長系となり、動作のみを観察していてもそのメカニズムを明ら

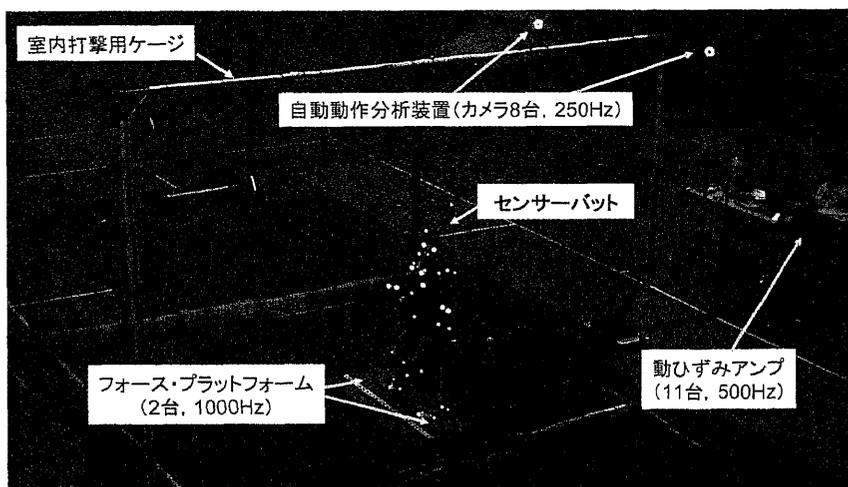


図1 スウィング実験計測システム

かにすることはできない。このように複雑な系であるため、これらの特性を考慮した野球打撃動作における四肢関節に関する研究は見当たらない。

著者らは、これまでに野球打撃動作ならびにゴルフ・スウィング時の閉ループ問題を解決するために、左右各手の打具作用力・作用モーメントを検出可能なセンサ打具(センサ・バットおよびセンサ・クラブ)を作製し、これによりスウィング中の各手のキネティクスの解析を実現している^{11, 12)}。そこで本研究では、このセンサ・バットに加えて2台のフォース・プラットフォームを用いて、四肢における各関節の発揮トルク・パワーを算出し、上下ならびに左右の差異からその特徴を述べる。

2. スウィング実験

2.1. 実験方法

・スウィング動作の計測

本学硬式野球部員14名を被験者として、図1に示す測定システムを構築し、スウィング動作を計測した。身体各部位(46点)およびセンサ・バット各部位(6点)に反射マーカを貼付し、その三次元座標を光学式三次元自動動作分析装置(VICON612、250Hz)により検出した。

・各手作用力・作用モーメントの検出

スウィング動作の計測と同時に、センサ・バットにより各手の作用力・作用モーメントを計測し、センサ・バット内の各部に設けられた計11組(曲げ:8、引張り:2、ねじり:1)のひずみ信号を、動ひずみアンプにより電圧に変換し、ADコンバータを用いてコンピュータ内に取り込んだ。インパクト時刻は、衝撃力により生じるひずみ信号のインパルス状の立ち上がり時刻から検出した。データ取得のサンプリング周波数は500Hzである。分析試技から左右各手のバット作用力・作用モーメントを算出した。なお、使用したセンサ・バットは、文献(1)にて提案したバットを一部改良したものであり、長軸作用力検出用のゲージを対辺2アクティブ・ゲージ法から4アクティブ・ゲージ法へと変更し、金属バットも軟式用から硬式用に変更している。また、姿勢検出用マーカを認識率を向上するために、計4点のマーカをバットに貫通させた2本の軽量細棒の両端に取り付けている。

・地面反力の計測

スウィング動作では、ストライド脚(右打者なら左脚)が離地している間を除けば、両脚が接地している。このため、左脚-地面-右脚により、閉ループ系が構成される。このような下肢に生じる閉ループ問題を解決するために、2台のフォース・プラットフォーム(Kistler社製、9281A、9287B、1000Hz)を用いて、各脚の地面反力および圧力中心点を測定した。

2.2. 関節トルク・パワーの算出法

左右の各腕においては、センサ・バットによって得たバットへの作用力・作用モーメントを手部の外力・外モーメントとして扱う。また、左右の各脚については、フォース・プラットフォームにより検出した地面作用力・作用モーメントを足部の外力・外モーメントとした。そして上肢・下肢の各節をそれぞれ剛体セグメントとみなし、動作分析データから得た各セグメントの位置・姿勢変化から、逆動力学によって、セグメント重心における作用力および作用モーメントを求め、これらを遠位端からリンクさせて各関節における作用力・作用モーメントを順次算出した。つぎに各関節における作用モーメントを、対象関節軸に関する座標系を表す姿勢行列の逆行列を乗じて、対象軸成分を抽出することにより、各関節の発揮トルクへと変換した。なお、トルクの符号は、角変位の符号と同一とした。これらの各軸のトルクに、各関節軸の角変位を微分して得た角速度を掛け合わせるにより、各軸のトルク・パワーを算出した。

2.3. 動作の局面分け

バット・スウィング開始(B.S.S)から、バット・ヘッド速度の鉛直成分が最小となる時点($V_{\text{head},z}$ min)までをダウン・スウィング局面、この鉛直成分最小時点からインパクトまでをレベル・スウィング局面とした。なお、バット・スウィング開始は、バットグリップ速さとバット・ヘッド速さの和が5m/sを超えた時点で判断した。また、バット・ヘッド速度の鉛直成分が最小となる時点は、バット・ヘッドの下方への速度が最大となる時点の意味する。

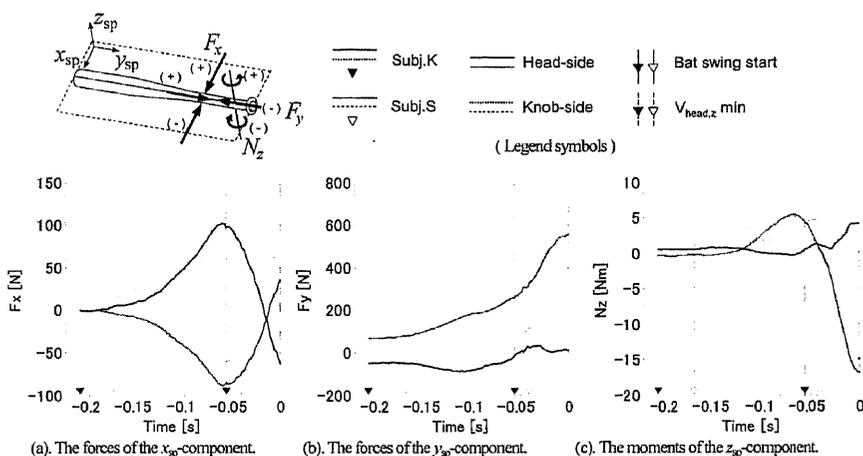


図2 スウィング平面座標系表記によるバット作用力・作用モーメント

3. 結果および考察

3.1. 各手のバット作用力・作用モーメント

図2(a),(b)および(c)に、被験者2名(subject K, subject S、両名とも右投・左打)のスウィング平面座標系表記による左右各手のバット作用力の x_{sp} 、 y_{sp} 成分、およびバット作用モーメントの z_{sp} 成分をそれぞれ例示する。スウィング平面座標系については、同図左上にその模式図を示す。太線および中実三角印は、被験者Kを、細線および中空三角印は被験者Sの応答を示す。実線がヘッド側手、破線がグリップ・エンド側手の応答を示す。また、縦実線がスウィング開始時点、縦破線がバット・ヘッドの鉛直速度最小時点を表している。なお、被験者は左バッターであったが、図では右打者表記に変換して応答を示している。スウィング開始からインパクトまでのスウィング時間については、被験者Kが約0.21秒、被験者Sが約0.17秒であった。

まず、作用力の x_{sp} 成分では、力応答曲線の形状が符号に対して対称に近く、左右の手で偶力を発揮していることがわかる。ついで y_{sp} 成分では、スウィング開始時点付近においてノブ側の手で50N程度の力で引きながら、それと釣り合うようにヘッド側の手が張力を作用させている。このことは両手間で引張方向に緊張を加えスウィングをしていることを示している。なお、シャフト軸方向力の合力は、インパクトに向けて増加している。これは遠心力の増大が寄与するものである。最後

に作用モーメントの z_{sp} 成分は、グリップ・エンド側手によって $V_{head,z \min}$ 時点付近まで角加速のためのトルクを作用させ、それ以降は角減速のためのトルクに移行している。被験者Sでは、 $V_{head,z \min}$ 時点からインパクトまでのレベル・スウィング局面において角加速のためのトルクを作用させている。作用力の x_{sp} 成分においては被験者間で大きな差異が見られた。すなわち被験者Kでは、ダウン・スウィング終了時に作用力が最大となっているのに対して、被験者Sでは、レベル・スウィングの後半になって最大値を迎えていた。

3.2. 関節トルク・パワー
・上肢関節(グラフ略)

まず肩関節について、屈曲・伸展軸では、ダウン・スウィング局面において、特に被験者Sでノブ側腕が大きな正のパワーを発揮していた。これに対して、ヘッド側腕は、小さな負のパワーを発揮していた。内外転軸では、ダウン・スウィング後半からインパクトに向けてノブ側腕が非常に大きな正のパワーを発揮しているのに対して、ヘッド側腕の発揮パワーは小さかった。内外旋軸については、どちらの腕もほとんどパワーを発揮していなかった。

つぎに肘関節について、屈曲・伸展軸では、ダウン・スウィング局面の途中からインパクトまで、各被験者ともノブ側腕によって大きな正のパワーを発揮していた。同時期にヘッド側腕については、被験者Kが大きな負のパワーを発揮しているのに

対して、被験者Sでは、ダウン・スウィング局面の後期から正のパワーに移行していた。内外回転については、ダウン・スウィング局面において被験者Sのヘッド側腕において最大100W程の負のパワーを発揮していた。

・下肢関節(グラフ略)

まず股関節について、屈曲・伸展軸では、ほぼすべての条件にて正のパワーを発揮していた。特に軸脚側のパワーが大きく、両名ともその最大値は500Wを超えていた。内外回転軸では、ダウン・スウィング局面の後期にストライド脚にて、300W近い負のパワーを発揮していた。なお、内外回転軸では、ほとんどパワーを発揮していなかった。

つぎに膝関節について、屈曲・伸展軸では、ストライド脚において両名とも負の大きなパワーを発揮していた。特に被験者Sは、最大で1000W近い値となっていた。これに対して、軸脚ではほとんどパワーを発揮していなかった。内外回転軸では、両名ともストライド脚において200Wに近い正のパワーを発揮していた。また軸脚では被験者Kが最大で100W近い負のパワーを発揮し、被験者Sでは、スウィング開始からダウン・スウィング前半部で最大で100Wを超える正のパワーを発揮していた。

最後に足関節について、底背屈軸では、被験者

Sがダウン・スウィング局面にて最大300W近い正のパワーを発揮していた。内外回転についてはほとんどパワーは見られなかった。

3.3. 関節仕事

図3および4に、7名の被験者を対象として、それぞれ左右下肢および右上肢の各関節における仕事を、ダウンスウィング局面ならびにレベルスウィング局面の各局面毎に示す。なお各グラフとも平均値を棒グラフで、標準偏差を誤差棒にて示している。図から、下肢では、パワー曲線でも見られるように、ダウンスウィング局面の仕事が大きく、レベルスウィング局面ではほとんど仕事がされていなかった。特徴としては、両脚の股関節の屈曲伸展軸において大きな正仕事、そして、ストライド脚の膝関節屈曲伸展軸において大きな負の仕事がされていた。これは、踏み込みによって得た体幹の並進速度を、回転運動に変換するための調整に関係しているものと考えられる。

つぎに上肢では、ノブ側腕の肩関節内外転、肘関節屈曲伸展において、大きな正の仕事がされており、ヘッド側腕の肘関節屈曲伸展軸では、大きな負の仕事がされていた。また、ヘッド側腕の各関節軸では、負の仕事が顕著に観察された。

以上の結果から、関節トルク・パワーについては、上肢各関節では、主にノブ側腕の肩内外転および肘屈曲・伸展において正のパワーを発揮し、

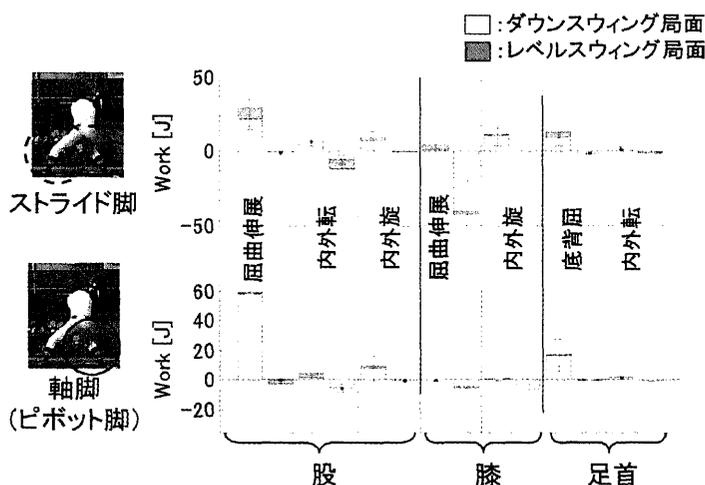


図3 下肢関節仕事

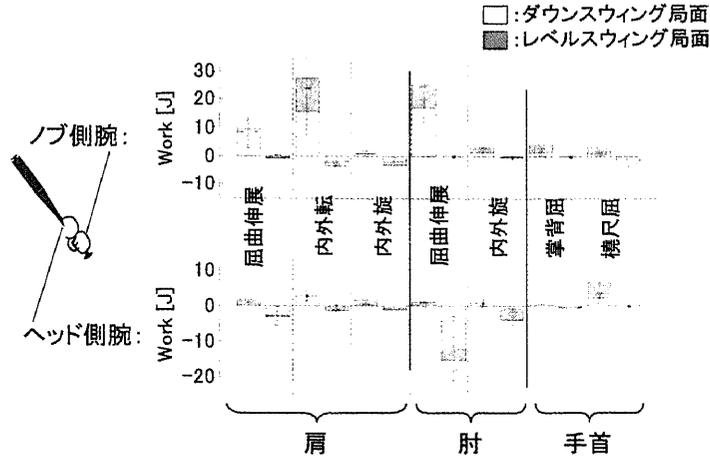


図4 上肢関節仕事

ヘッド側腕の肘屈曲・伸展軸において、負のパワー（負仕事）を発揮していた。下肢関節については、股関節屈曲・伸展軸にて、両名とも、両脚にて大きな正のパワー（正仕事）を発揮し、膝関節屈曲・伸展軸にて、ストライド脚の大きな負のパワー（負仕事）を発揮していた。

これらの結果を総合して考えると、ノブ側腕が正のパワーによりバットの加速を受け持ち、ヘッド側腕の肘屈曲・伸展軸の負のパワーによりバットのコントロールを行っていることが考えられる。そして、下肢については股関節の屈曲・伸展軸による大きな正パワーにより、身体の回転・並進運動を生み出し、ストライド脚の膝屈曲・伸展軸の負のパワーにより、並進運動を回転運動へと変換するための調整が行われていると考えられる。なお、上肢におけるこのような役割の分化は、筋トルクや筋トルク・パワーが増大するにつれ神経系の興奮度が高まり、繊細な位置決め調整が困難になることに対応するためではないかと考える。

4. おわりに

本論文では、センサ・バットおよび2台のフォース・プラットフォームを利用することにより四肢各末端の外力・外モーメント情報を獲得し、左右上肢・下肢の各関節における発揮トルク・パワーの算出を可能とした。対象とした被験者において

以下に示す特徴が観察された。

- ・上肢については、主にノブ側腕の肩関節外転トルクにより、バットの回転運動により増大する遠心力に対応しているため、上肢において関節トルクならびにトルク・パワーに、左右間で大きな差異が認められた。すなわち、主にノブ側の腕が正パワーを、ヘッド側の腕が負パワーを発揮していた。
- ・下肢については、股関節の屈曲・伸展軸にて左右ともに大きな正のパワーを、そしてストライド脚膝関節の屈曲伸展軸にて、大きな負のパワーを発揮していた。

本研究に関連する発表論文等

- (1). 小池、川村、阿江：野球打撃動作における四肢関節トルクパワー。日本機械学会スポーツ工学シンポジウム講演論文集、110-115,2006
- (2). 小池：スポーツ打具に作用する力の解明と活用。体育の科学,56巻,11号,880-885,2006
- (3). S. Koike, T. Kawamura, H. IIDA and M. Ae, Three-dimensional kinetics of upper limb joints in baseball batting motion using an instrumented bat. APCST2007,Singapore,2007(発表予定)

参考文献

- (1). S. Koike, H. Iida, T. Kawamura, N. Fujii and M. Ae, An instrumented bat for simultaneous

- measurement of forces and moments exerted by the hands during batting, The Engineering of Sport 5, Vol.2, pp194 - 200, 2004
- (2). S. Koike, H. Iida, H. Shiraki and M. Ae : An instrumented grip handle for golf clubs to measure forces and moments exerted by each hand during swing motion. The Engineering of Sport 6, Vol.1. pp137-142, 2006
- (3). 阿江、湯、横井、日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定、バイオメカニズム11 (バイオメカニズム学会編)、pp.23-33、東京大学出版、1992