Kobe University Repository : Kernel

PDF issue: 2025-07-02

野球バットの重心位置が打撃中のバットの動きに及ぼす影響

岡本，亘能
徳永，大嗣
前田，正登

(Citation)
体育・スポーツ科学,26:37-45

(Issue Date)
2017-06-01

(Resource Type)
journal article

(Version)
Version of Record

(URL)
https://hdl.handle.net/20.500.14094/90005856

体育・スポーツ科学　26：37 − 45, 2017
〈実践研究〉

野球バットの重心位置が打撃中のバットの動きに及ぼす影響

岡本　亘能[1)]，徳永　大嗣[1)]，前田　正登[2)]

Effect of position of the center of gravity of a baseball bat on the motion of the bat during hitting

Nobuyoshi Okamoto [1)], Taishi Tokunaga [1)], Masato Maeda [2)]

Abstract

Much remains unclear regarding the relationship between the position of the center of gravity of a baseball bat and the outcome of the hit. This study therefore aimed to clarify how a change in the center of gravity in a baseball bat affects the batter's hitting of a ball approaching from the front. The participants were four male members of a university baseball club (height: 171.3 ± 1.0 cm, weight: 68.3 ± 4.7 kg, baseball career: 11.3 ± 2.1 years) who hit a ball launched from a pitching machine located ahead of them. Participants attempted 10 swings using an experimental baseball bat with a modular center of gravity (adjustable from 0.482 m, 0.494 m, 0.507 m, 0.520 m, and 0.533 m from the end of the grip). Changing the position of the center of gravity, in other words moment of inertia, affected the angular, rather than the linear motion of the swing. Furthermore, the angular momentum of the bat at impact depended on the position of the center of gravity. The swing was changed by the position of the center of gravity, in other words moment of inertia, of the baseball bat. Results indicate that the position of the impact approached closer to the head as the position of the center of gravity also became closer to the head. This shows that the position of the center of gravity of the bat affects the impact position of the bat and the ball upon a hit.

Key Words : baseball bat, center of gravity, ball impact, linear motion of bat, rotational motion of bat
キーワード：野球バット，重心位置，ボールインパクト，バットの並進運動，バットの回転運動

Ⅰ．緒言

野球における打撃は，得点をするために必要な要素であり，打撃の際に用いるバットは試合で最高のパフォーマンスを発揮するためにより機能的で使いやすいことが要求される．

バットの特性には，全長や重量のほか，重心位置や慣性モーメントといった物理的な特性がある．これらバットの物理的特性と打撃パフォーマンスとの関係として，Bahill & Karnavas (1989) や村田 (1998)，前田 (2003) はバットの重量がヘッド速度に影響を及ぼすことを報告しており，バットの重量が打撃動作に影響を及ぼすことが明らかになっている．しかし前田 (2003) によれば，選手の中にはバット重量の変化がヘッド速度にほとんど影響しない者もいることが報告されており，Fleisig et al. (2002) は，スイングに影響するのはバットの重量よりもむしろ慣性モーメントであることを報告している．バットの重量または重心位置を変化させるとそれに伴いバットの慣性モーメントも変化するが，バットの慣性モーメントが打撃に影響しバットの重量がスイングにあまり影響しないのであれば，打撃やスイングにはバットの重心位置がより影響を及ぼすことが考えられる．したがって，バット重量の変化に伴う打撃中のスイングの変容だけでなく，バットの重量を同じにして重心位置のみを変えたバットを使用することが打撃中のスイングに及ぼす影響について検討することも，最適なバットを探索するには有意義であろう．

バットの特性を変化させたときのスイングの変容について，村田 (1998) はバットを素振りさせることによって検

1）神戸大学大学院人間発達環境学研究科
2）神戸大学

1 Graduate School of Human Development and Environment, Kobe University
2 Kobe University

討しているが，Fleisig et al.（2002）及び前田（2006）は前方より飛来するボールに対する打撃として検討している．スポーツにおいて用具の特性を変えると，選手はそれに対応して動きを変容させたり調整したりする（小林，1992）と言われているように，特性が異なるバットを使用した時の打撃の微妙な変容を検討するには，実際の打撃のように前方より飛来するボールに対応して行う実験設定が妥当であろう．

バットの特性を変更することにより，打撃時にボールをインパクトするタイミングやインパクト時のボールの位置も変わることも考えられるが，これまでにバットの特性を変更したときの飛来するボールを打撃する際のボールインパクトに着目した研究はされておらず，バットの重心位置がボールインパクトに及ぼす影響は明らかにされていない．

本研究では，バットの重心位置の変更が前方から飛来するボールを打撃する際の打撃中のバットの動き及び打撃時におけるボールのインパクト位置にどのような影響を及ぼすかを明らかにすることを目的とする．

Ⅱ．方法

1. 被験者

被験者は，大学男子硬式野球部に所属する右打者４名とした．Table １に被験者の身長，体重及び野球の経験年数を示す．本研究の目的及び実験内容を説明し，実験参加の同意を得たうえで実験を行った．

Table 1　被験者

Subject	Height [cm]	Weight [kg]	Experience [years]
A	171.0	75.0	14
Y	172.0	65.0	11
S	172.0	65.0	11
M	170.0	68.0	9

2. 測定用バット

測定用バットは，市販の金属製バット１本を基にしており，バット内部で錘（重量：0.060kg）の固定位置を変更することにより，バット全体の重心位置を変更・設定できる構造になっている（Fig.1参照）．測定用バットは，錘の位置を変えバットとしての重心位置が異なっても，外観に変化はないため外見上は被験者にはわからないようになっている．また，バット内部の錘の位置は，一旦ボルトで固定するとスイング中に移動することはない．Table ２に示すように，錘の取り付け位置をバットのグリップエンドから0.455m（以下，NN），0.540m（以下，SN），0.625m（以下，MD），0.710m（以下，SF），及び0.795m（以下，FF）の５箇所設けることで，１本のバットを用いて５種類の重心位置を設定した．なお，川端・金子（2005）が実験用に用いた金属バット（全長0.84m，質量0.90kg）の重心位置はグリップエンドより0.512m 離れた位置であったと報告されており，標準的な金属バットの重心位置は本研究で設定したバット MD とバット SF における重心位置の間に位置しているようである．

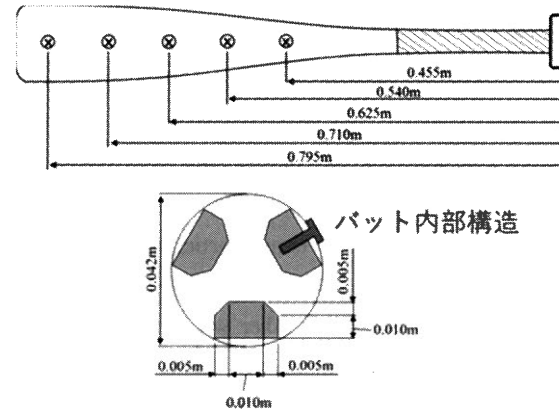

Fig.1　測定用バットの構造

Table 2　測定用バット

Bat	Length [m]	Mass [kg]	Position† of Weight [m]	Position† of C.G [m]	MOI‡ about grip-end [kgm^2]
NN			0.455	0.482	0.266
SN			0.540	0.494	0.276
MD	0.840	0.901	0.625	0.507	0.288
SF			0.710	0.520	0.301
FF			0.795	0.533	0.314

†; Distance to grip-end. ‡; Moment of Inertia

3. バットに加わる加速度の測定

本研究では，測定用バットのグリップエンド内部に加速度計を装着して，スイング中にバットに加わる加速度を測定した．グリップエンド部には２軸の測定が可能な加速度計（ADXL250：アナログデバイゼス社）が取り付け台に３個装着され，取り付け台ごとグリップエンド内部に固定されている（Fig. ２参照）．

Fig. ２に示すように，測定用バットの x 軸方向，y 軸方向，z 軸方向の並進加速度をそれぞれ L_x，L_y，L_z とし，x 軸まわり，y 軸まわり，z 軸まわりの角加速度をそれぞれ R_x，R_y，R_z と定義した．

３つの加速度計により測定された加速度 A_{x1}，A_{y1}，A_{x2}，A_{y2}，A_{x3}，A_{y3}は，各加速度計から原点までの距離 a

より，①式及び②式を用いてバットに加わる並進加速度 L_x，L_y，L_z，及び角加速度 R_x，R_y，R_z に変換した．

$$\begin{bmatrix} L_x \\ L_y \\ R_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & a \\ 0 & -1 & a \\ \frac{\sqrt{3}}{2} & \frac{1}{2} & a \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} A_{y1} \\ A_{y2} \\ A_{y3} \end{bmatrix} \quad \cdots ①$$

$$\begin{bmatrix} L_z \\ R_x \\ R_y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & \frac{\sqrt{3}}{2}a & -\frac{1}{2}a \\ 1 & 0 & a \\ 1 & -\frac{\sqrt{3}}{2}a & -\frac{1}{2}a \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} A_{x1} \\ A_{x2} \\ A_{x3} \end{bmatrix} \quad \cdots ②$$

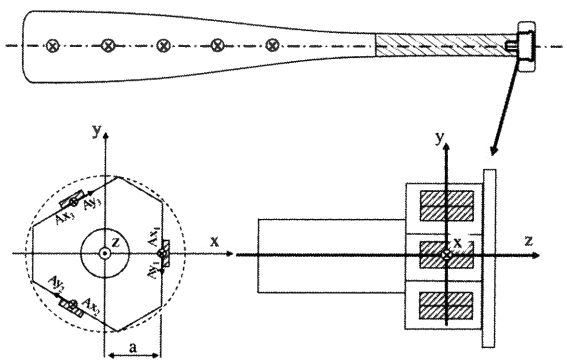

Fig.2　測定用バットに取り付けた加速度計の構成

4. 測定方法

実験の構成を Fig.3に示す．被験者には，測定用バットを持って，バッターボックス内で試合と同じ位置で構えさせ，ホームベースの前縁より4.024m 離れた位置に設置したトスマシンによりトスされた実験用ボール（スポンジ製）を打つように指示した．なお，全試技においてバッターボックス内で被験者が立つ位置，バットを握る位置，及びトスマシンの位置は変えずに行った．この時，スイング中のバットに加えられた加速度をグリップエンド内部に装着した加速度計により測定した．同時に，打撃時のバットとボールが観察できるように配置した高速度ビデオカメラ（Phantom Miro eX 2：Vision Research 社）2台を用いて，500 fps で被験者の打撃動作を撮影・収録した．なお，2台のカメラは被験者全身及びスイングの全容が撮影できるように配置し画角を調節した．本実験での座標軸設定は，バッターボックスにおける打者の右後方の頂点を原点として，トスマシンが設置されている方向を Y 軸の正方向，鉛直上向きを Z 軸の正方向とし，Y 軸及び Z 軸に垂直で一塁側方向へ向かう方向を X 軸の正方向とした．

測定される加速度信号は，AD 変換（TRIAS System：ディケイエイチ社）を経てパソコンに入力される．この時のサンプリング周波数は 1 kHz とした．

試技は，バットの重心位置 1 種類の設定に対し10回を連続で行うものとし，5 種類の重心位置の設定で，計50回の打撃を被験者ごとに行わせた．なお，被験者には練習を数回行わせ，錘の位置はバットの種類ごとにランダムに変更し，錘の位置の変更時に休息を与え，すべての試技を全力で行えるようにした．

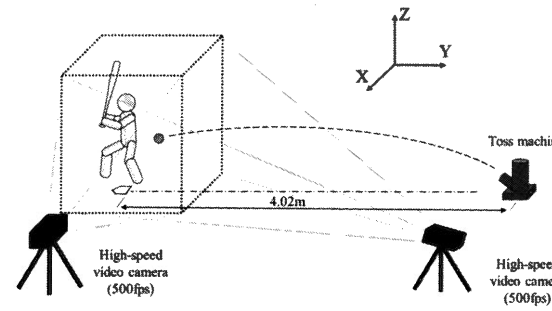

Fig.3　打撃実験の構成

5. 分析方法

(1) 分析区間

各被験者がバットを動かし始めていたボールインパクトの0.3秒前を打撃の始動時刻とし，以降，インパクトの瞬間までを分析対象区間とした．各種類のバットにつき撮影した10試技の映像をもとに，3 次元動作解析ソフトウェア（Frame-DIAS Ⅳ，DKH 社）を用いて，ボールの中心，測定用バットのヘッドから0.025m グリップ寄りの箇所及びグリップエンドから0.340m ヘッド寄りの箇所の計 3 箇所のデジタイズを 1 コマごとに行い，各測定点の 3 次元座標を得た．被験者によって測定日が異なったため，キャリブレーションは測定日ごとに行った．それらの測定誤差は X 軸方向，Y 軸方向，Z 軸方向についてそれぞれ0.007 ～ 0.009m，0.008m，0.010 ～ 0.012m の範囲であり，これらの値は，測定範囲（2.5m ×3.0m ×2.0m）に対して十分に小さく得られた測定データに影響するものではないと判断した．

(2) 分析項目

測定用バットは，内部における錘の取り付け位置により 5 種類の設定ができるが，それにより，バットの重心位置やグリップエンドまわりの慣性モーメントもバットの種類によって異なることになる（Table 2参照）．

一方，グリップエンドに加わる 6 つの加速度成分（並進加速度 L_x，L_y，L_z，及び角加速度 R_x，R_y，R_z）から，並進加速度 L_x と L_y の合ベクトルよりバットの短軸方向に加わる並進加速度 L_{xy} と定義して算出し，L_{xy} の大きさ $|L_{xy}|$ の時間変化を求めた．さらに，打撃の開始時刻であるインパクトの0.3秒前からボールインパクト時までの並進加速度 $|L_{xy}|$ について時間積分し，バットの重量を乗じることでボールインパクトの0.3秒前からボールインパクト時ま

での間にスイング中にバットの短軸方向に加わった運動量 LM_{xy} を得た．

同様に，角加速度 R_x と R_y の合ベクトルよりバットの短軸まわりに加わる角加速度 R_{xy} と定義して算出し，R_{xy} の大きさ $|R_{xy}|$ の時間変化を求め，インパクトの0.3秒前からボールインパクト時までの角加速度 $|R_{xy}|$ について時間積分し，使用したバットのグリップエンドまわりの慣性モーメント値を乗じることにより，ボールインパクト 0.3秒前からボールインパクト時までの間にバットのグリップエンドを通る短軸まわりの角運動量 AM_{xy} を得た．

また，同一バットを用いて行った10試技におけるバットの操作の再現性を検証するために，並進加速度 $|L_{xy}|$ と角加速度 $|R_{xy}|$ のそれぞれについて，同一の重心位置設定における10試技すべての組み合わせにおける時系列データの相互相関係数を算出した．なお，バットの種類ごとの相互相関係数の平均値の算出にあたっては，各相関係数に Fisher の Z 変換を施しそれを逆変換して求めた．

また，デジタイズ処理により得られたボールの中心と測定用バット２箇所について各３次元座標の時系列データを用いて，インパクト時点及びその位置を算出した．ボールインパクト位置はヘッドからインパクト時のボールの位置までの距離 α，バットの長軸からインパクト時のボールの位置までの距離 β として，バットの長軸方向及び短軸方向に分けて算出した．

さらに，ボールインパクト時における水平面内の線分 QR の角度をインパクト時のバットの角度（Swing angle γ）として算出した．これはボールを打撃する時のタイミングの指標になり得るもので，値が正の場合はバットのヘッドがグリップよりも前方にある時に打撃したことを，逆に値が負の場合はバットのヘッドがグリップよりも遅れていたことを意味する．

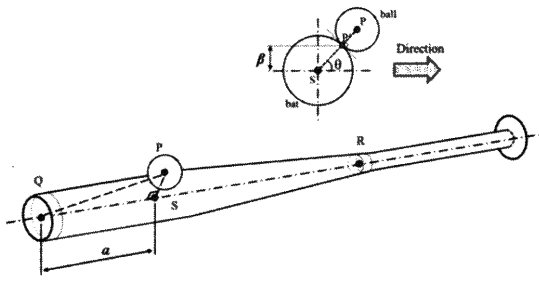

Fig.4　インパクト時のボールの位置

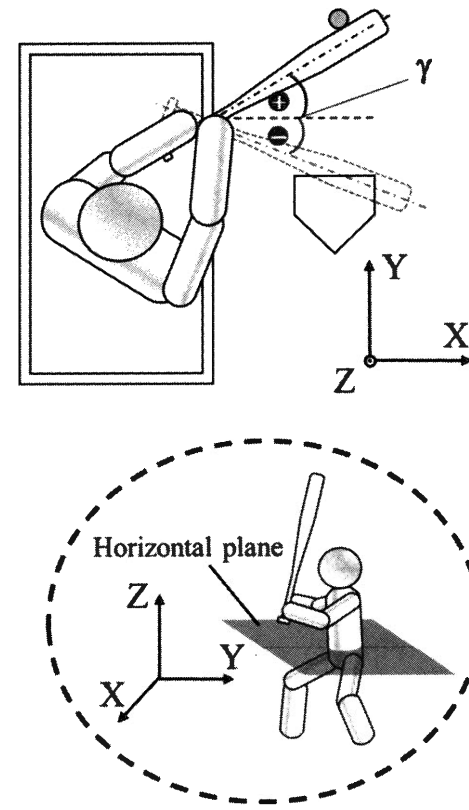

Fig.5　Swing angle の定義

(3)　統計処理

並進加速度 $|L_{xy}|$ 及び角加速度 $|R_{xy}|$ を除く，各分析項目において平均値及び標準偏差を算出し，重心位置を独立変数とした対応のある一元配置分散分析を行い，Bonferroni 法を用いて多重比較を行い有意な差がみられるかについて検定した．なお，本研究での統計処理の有意水準は５％未満，もしくは１％未満とした．

Ⅲ．結果

Table ３に各被験者における全50試技のボールのインパクト位置の座標値を示す．ここで示す座標値はトスマシンより投射される投球の範囲を表している．Table ３に示されるように，各被験者における標準偏差の値は平均値に対して十分小さい値であり，被験者ごとでインパクト時のボールの位置に大きな違いはなく，トスマシンより投射されたボールは一定の範囲内であった．

Table3　各被験者におけるインパクト時のボールの座標値

Subject	X [m]	Y [m]	Z [m]
A	1.643±0.027	1.342±0.087	0.790±0.058
Y	1.662±0.014	1.284±0.047	0.879±0.054
S	1.530±0.025	1.281±0.095	0.831±0.014
M	1.603±0.045	1.389±0.032	0.926±0.022

1. ボールインパクト時におけるバットの運動量 LM_{xy} 及び角運動量 AM_{xy}

Fig.6に，各被験者についてバットの重心位置とインパクト時におけるバットの運動量 LM_{xy} 及び角運動量 AM_{xy} の関係を示した．バットの重心位置と LM_{xy} 及び AM_{xy} の関係は被験者間で異なっていた．

被験者Aにおける LM_{xy} は，バットNNよりもバットMD及びバットSFが，バットSNよりもバットSFが有意に大きいことがそれぞれ認められ（SN < SF; p<0.05, NN < MD, SF; p<0.01），バットの重心位置がグリップから遠くなるほど LM_{xy} は増大していく傾向で，バットSFよりさらに重心位置が遠い設定のバットFFでは減少に転じていた．これに対して被験者Aの AM_{xy} は，バットNNよりもバットSFが，バットFFよりもバットMDが有意に小さいことが認められ（p<0.05），バットの重心位置がグリップから遠くなるほど減少していく傾向で，バットSFよりさらに重心位置が遠い設定のバットFFでは増大に転じていた．

被験者Y及び被験者Sにおける LM_{xy} は，いずれのバットの間にも有意な差は認められず大きな変化はみられなかった．一方，両被験者における AM_{xy} はバットの重心位置がグリップエンドから遠くなるほどが増大していく傾向にあり，バットSFよりさらに重心位置が遠い設定のバットFFでは増大していなかった．

被験者Mにおける LM_{xy} はバットNNよりもバットSF及びバットFFが有意に小さいことが認められ（p<0.05），AM_{xy} はバットNN及びバットSNよりもバットFFが有意に大きかった（NN < FF; p<0.05, SN < FF; p<0.01）．被験者Mでは，バットの重心位置がグリップから遠くなるほど AM_{xy} がやや増大していく傾向は被験者Y及び被験者Sと同様であったものの，重心位置がグリップエンドから最も遠い設定のバットFFにおいても AM_{xy} が減少に転じることはなかった．

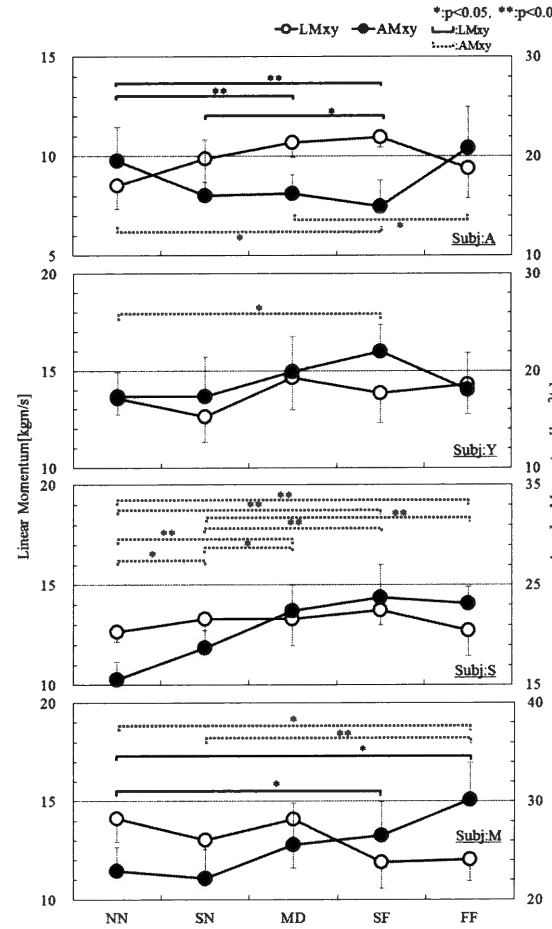

Fig.6　バットの重心位置とインパクト時におけるバットの運動量 LM_{xy} 及び角運動量 AM_{xy} の関係

2. バットに加えられた $|L_{xy}|$ 及び $|R_{xy}|$ の時間変化の相互相関係数

Fig.7に，バットの重心位置が同一設定での10試技分について，$|L_{xy}|$ の時間変化及び $|R_{xy}|$ の時間変化それぞれの相互相関係数を被験者ごとに示す．

被験者Aにおける $|L_{xy}|$ 及び $|R_{xy}|$ の時間変化の相互相関係数は低く，有意な変化が多く見られた．被験者Aにおける $|L_{xy}|$ の時間変化の相互相関係数は，バットNNよりもバットFFを除く他のバットが，バットSNよりもバットSFが，バットFFよりも他のバットが有意に大きかった（NN < SN，NN > FF；p<0.05, NN < MD, SF, SN < SF，FF < SN, MD, SF；p<0.01）．一方，被験者Aにおける $|R_{xy}|$ の時間変化の相互相関係数は，バットNNよりもバットSNが，バットMDよりもバットNN及びバットSFが，バットSF及びバットMDよりもバットSNが，バットMD，バットSN及びバットNNよりもバットFFが有意に小さかった（NN > SN，MD > SF，SF > SN；p<0.05, MD > NN，MD > SN，FF < MD, SN, NN; p<0.01）．

被験者Aを除く各被験者における$|L_{xy}|$の時間変化の相互相関係数は0.8を超え1.0に近く大きい値であることが確認できる．また，各被験者の$|R_{xy}|$の時間変化の相互相関係数は，被験者Y及び被験者Sにおいては0.8を超え1.0に近い大きい値である場合が多いことが確認でき，被験者Aにおいてもバットの重心位置の設定によっては0.8を超える場合もあることが確認できるが，被験者Mにおいてはいずれのバットでも0.5程度の低い値であった．

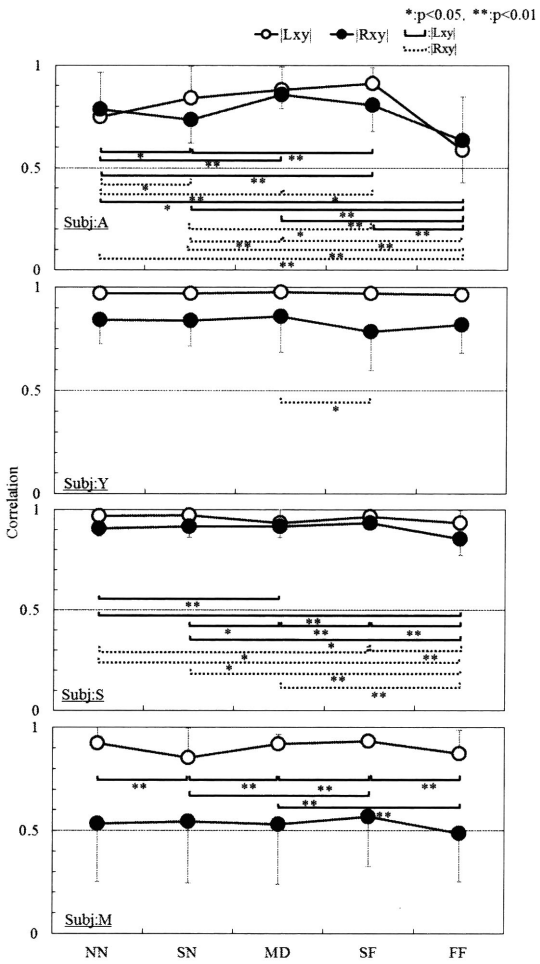

Fig.7　各バット使用時における並進加速度$|L_{xy}|$の時間変化及び角加速度$|R_{xy}|$の時間変化の相互相関係数

3. 各バット使用時におけるボールのインパクト位置

Fig.8に各被験者について各バット使用時におけるボールのインパクト位置をバットとの相対位置を示す．

バットの重心位置の変化に伴うボールのインパクト位置までの距離αの変化は被験者間で異なっており，被験者Aでは他のバットよりもバットFFにおけるインパクト位置が有意にヘッド寄りであった（FF < MD; $p<0.05$, FF < NN, SN, SF; $p<0.01$）．被験者YではバットFFにおけるインパクト位置はバットMDを除く他のバットよりも有意にヘッド寄りであることが認められ（FF < SN, SF; $p<0.05$, FF < NN; $p<0.01$），さらにバットNNよりもバットMDにおけるインパクト位置が有意にヘッド寄りであった（$p<0.05$）．被験者SではバットSNよりもバットFFにおけるインパクト位置が有意にヘッド寄りであった（$p<0.05$）．一方，被験者Mではバットの重心位置とヘッドからインパクト位置までの距離αの間に有意な差は認められなかった．

またFig.8のバットの長軸からインパクト位置までの距離βに着目すると，被験者S以外の被験者では，バットの重心位置とバットの長軸からインパクト位置までの距離βの間に有意な差が認められず，いずれのバットにおいてもインパクト位置までの距離βに変化はなかった．一方，被験者SではバットNNにおけるインパクト位置がバットSNを除く他のバットよりも有意にバットの長軸より上部に位置することが認められ（NN > SF, FF; $p<0.05$, NN > MD; $p<0.01$），バットMDよりもバットSNにおけるインパクト位置も有意にバットの上部に位置することが認められた（$p<0.05$）．

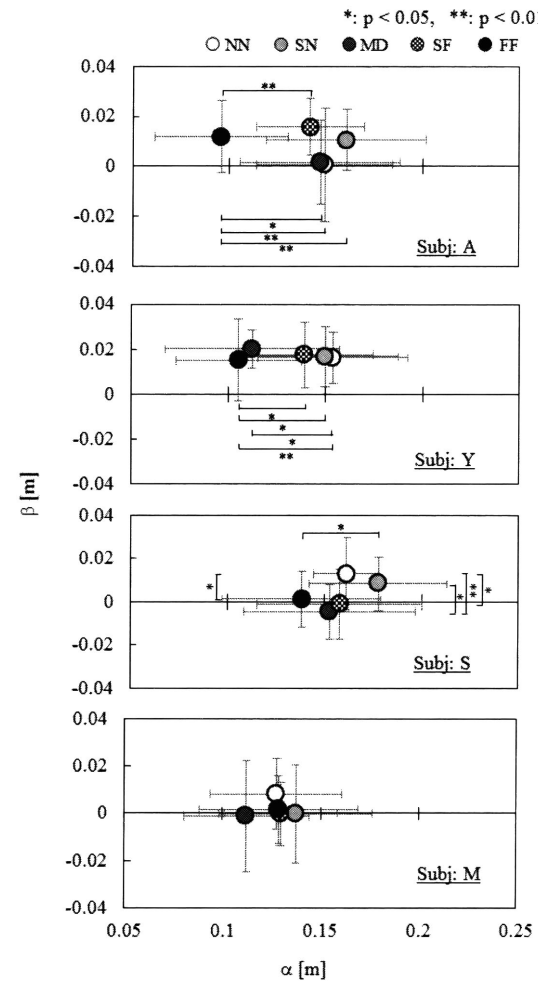

Fig.8　各バット使用時におけるボールのインパクト位置

Fig.9に，各バット使用時におけるSwing angle γ を示す．バットの重心位置の変化に伴うSwing angle γ の変化は被験者間でそれぞれ異なっており，被験者Aではバット NN 及び MD よりもバット SF が有意に小さく($p<0.05$)，バット NN を除く他のバットにおける平均値は負の値になっていた．また，被験者Sでは他のバットよりもバット NN が有意に小さいことが認められ($p<0.01$)，バット MD よりもバット SN が有意に小さく（$p<0.05$)，バット NN 及び SN における平均値はともに負の値になっていた．一方，被験者Mと被験者Yではバットの重心位置と Swing angle γ の間に有意な差は認められなかった．

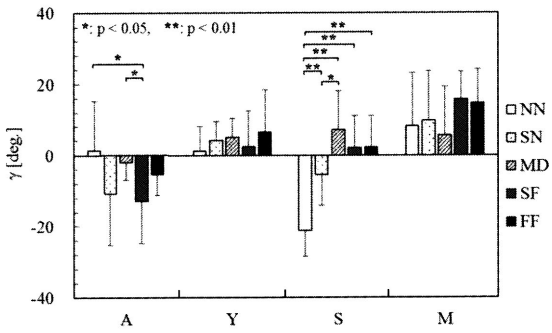

Fig.9　各バット使用時における Swing angle γ

Ⅳ．論議

本研究で用いた測定用バットは，外見ではわからないようにバット内部で錘の位置を変更することでバットの重心位置を変更しており，被験者にはバットの重心位置を知らせずに試技を行わせている．また，本研究におけるバットの重心位置の設定範囲は Koenig et al.（2004）や Fleisig et al.（2002）の報告と同等の範囲であった．これらのようなバットの重心位置に関する設定のもと，平野（1993）や吉福（1985）がバットの運動を並進運動と回転運動に分けて評価したように，本研究においてもスイング中のバットの運動を並進運動と回転運動に分けて分析するとともに，ボールのインパクト位置を分析することにより，バットの重心位置の変化が打撃中のバットの動き及び打撃時におけるボールのインパクト位置に及ぼす影響を検討した．

被験者Aを除く被験者では，いずれもバットの重心位置に関わらず並進加速度 $|L_{xy}|$ の時間変化の相互相関係数がいずれも0.8を超え1.0に近い大きい値であったが(Fig.7)，角加速度 $|R_{xy}|$ の時間変化の相互相関係数は，被験者Y及び被験者Sでは比較的大きいものの，他の各被験者ではあまり大きな値ではなかった．相互相関係数が大きいことは加速度の変化パターンが同様であったことを示すものであり，同一重心位置設定のバットを用いたときのスイングにおいて，被験者Aを除く被験者の並進加速度 $|L_{xy}|$ の時間変化や被験者Y及び被験者Sの角加速度 $|R_{xy}|$ の時間変化は同様の変化パターンであったことが考えられる．また逆に，これら以外の被験者Aの並進加速度 $|L_{xy}|$ 及び角加速度 $|R_{xy}|$ の時間変化や被験者Mの角加速度 $|R_{xy}|$ の時間変化は，同一重心位置設定のバットを用いても同様の変化パターンになっていなかったものと推察される．このように，角加速度 $|R_{xy}|$ の相互相関係数は0.8を超えることなく小さい値となっている場合がやや多くみられたことから，バットの重心位置の変化はスイング中のバットの回転運動により大きな影響を及ぼすものと考えられる．

Fig.6に示されるように，被験者Y及び被験者Sにおいて，角運動量 AM_{xy} はバット NN からバット SF までの増大傾向とは異なり，バット SF からバット FF へ至るときに増大していなかった．バット SF の重心位置はグリップエンドより0.520m 離れた位置であり，バット FF ではその距離が0.533m に広がる．本研究の角運動量 AM_{xy} は，スイング中に測定された角加速度 $|R_{xy}|$ を時間積分した値（インパクト時のバットの角速度）に使用したバットのグリップエンドまわりの慣性モーメント値を乗じることにより算出した値としている．したがって，スイング中にバットに加えられた角加速度 $|R_{xy}|$ を時間積分した値（インパクト時のバットの角速度）が低下しなければ，重心位置がグリップエンドより離れるに伴いグリップエンドまわりの慣性モーメント値も増大し角運動量 AM_{xy} は増大すると考えられる．被験者Y及び被験者Sにおいて，バット NN からバット SF まで角運動量 AM_{xy} が増大傾向であったのは，バットの重心位置からグリップエンドまでの距離が増大したのに伴い，グリップエンドまわりの慣性モーメント値が増大してもボールインパクトまでの0.3秒間のバットに加えられた角加速度（ボールインパクト時の角速度）を低下させなかったことによるものと考えられ，重心位置がグリップエンドからさらに離れグリップエンドまわりの慣性モーメント値がさらに大きい設定のバット FF ではバット NN からバット SF までと同程度までの角速度にできなかったものと考えられる．これらの被験者ではバットの重心位置（グリップエンドまわりの慣性モーメント）の変化に対し通常のスイングができる重心位置の設定はグリップエンドからの距離が大きくても0.533m を超えない位置（グリップエンドまわりの慣性モーメント値は0.314kg·m^2）までであると推察され，それを超える重心位置のバットではスイングが変容している可能性が考えられる．また，両被験者とも運動量 LM_{xy} とバットの種類の間に有意な差が認められず（Fig.6)，並進加速度 $|L_{xy}|$ の時間変化の相互相関係数がいずれも0.8を超える大きい値であったことか

ら（Fig.7），これらの被験者においては，スイング中のバットの並進運動はバットの重心位置の変化に影響され難いことが推察される．

またFig.9のように，被験者Yではバットの違いによるSwing angle γに有意な差が認められず，被験者SではバットNNとその他のバットの間に有意な差が認められたものの，スイングが変容していると考えられるバットFFと他のバットの間には有意な差が認められなかった．これらの結果より，両被験者ともバットの動かし方はバットSFを境に変化しているものの，ボールインパクト時のバットの位置（タイミング）に著しく影響するまでには至らなかったことが考えられる．

被験者Mにおいても，バットの重心位置がグリップから遠くなるほど角運動量AM_{xy}はわずかながら増大していたが，運動量LM_{xy}はバットMDを境にバットSF及びバットFFでは有意に減少していることが認められ，被験者Y及び被験者Sとは異なる結果となった（Fig.6）．さらに，標準的な重心位置（川端・金子，2005）に近い設定のバットMDを含め，すべてのバットで角加速度$|R_{xy}|$の時間変化の相互相関係数は低く，再現性の低いスイングであったことがわかる（Fig.8）．これらの結果より，被験者Mはバットの並進運動と回転運動のいずれも変化させることでバットの重心位置の変化に対応していたことが推察され，バットMDを境にバットの回転運動をより優勢にしたスイングをしていたことが推察される．また，被験者Y及び被験者Sと同様にバットの重心位置がグリップエンドから遠く（グリップエンドまわりの慣性モーメント値が大きく）なっても角運動量AM_{xy}は増大し続けており，この被験者では，バットFFの重心位置においてもスイングが変容することはなかったことが推察される．

被験者Aでは，バットの重心位置がグリップエンドから遠くなるほど運動量LM_{xy}は増大し，角運動量AM_{xy}は減少していたが，バットSFを境にそれまでの変化傾向が一転していた（Fig.6）．また被験者Aでは，並進加速度$|L_{xy}|$及び角加速度$|R_{xy}|$の時間変化の相互相関係数においても，バットSFを境に重心位置がグリップエンドからさらに遠いバットFFになると，それまでの一定もしくは増大していく傾向から一転して減少していた（Fig.8）．これらの結果より，被験者Aは被験者Mと同様に，各種類のバットごとにスイング中のバットの並進運動及び回転運動をいずれも変化させることでバットの重心位置の変化に対応しながらも，バットの運動の変化は被験者Mにおける変化とは異なり，被験者Yや被験者Sと同様に，バットSFを境に変化していた可能性が推察される．また，被験者Aを除く他の被験者では，Swing angle γの平均値は0付近，もしくは0以上であったが，被験者AではバットNNを除く他のバットにおけるSwing angle γの平均値がそれぞれ負の値となっていた（Fig.9）．被験者Aでは他の被験者に比べ，ボールを捉えるタイミングが遅れていた可能性が推察され，使用するバットによってはスイングスピードやボールとバットの接触位置だけでなくボールインパクトのタイミングにも影響する場合もあることが示唆される．

被験者Sを除く被験者において，バットの長軸からインパクト位置までの距離βはいずれのバット間にも有意な差がなかったものの，被験者M以外の被験者では，バットの重心位置がグリップエンドから遠くなるほどインパクト位置はヘッド寄りになっていた（Fig.8）．バットの重心位置がグリップエンドから遠くなるほど，グリップエンドまわりの慣性モーメントが増大しバットが振り難くなることが考えられる．選手は重心位置がグリップエンドより遠くなるに伴い，通常よりもバットを引き寄せるようなスイングを行っていたことが推察され，インパクト位置がヘッド寄りになっていたものと考えられる．また，バットの重心位置を変えることはバットの短軸方向よりも長軸方向についてのインパクト位置により影響することが考えられ，バットの重心位置を変化させることで通常のスイングができていても，普段通りに正確にボールを捉えて打撃することが困難になる可能性が考えられる．

以上より，バットの重心位置の変化はスイング中のバットの並進運動よりも回転運動により影響を及ぼすことが考えられ，インパクト時のバットの角運動量はバットの重心位置に依存することが推察される．これらの結果はMaeda（2010）の報告と一致しており，さらに本研究では各選手に飛来するボールに対応して通常のスイングができるバットの重心位置とスイングが変容するバットの重心位置があることが推察され，バットの重心位置によっては選手の打撃能力を最大限に生かせない可能性があることが考えられた．また，バットの重心位置の変化はボールインパクト時のバットの角度及びバットの短軸方向のボールインパクト位置にあまり影響を及ぼさないことが考えられた．他方で，バットの長軸方向のインパクト位置には影響を及ぼすことが示唆され，バットの重心位置によって打撃中のバットの動き（動かし方）を変化させていることが考えられた．

Ⅴ．総括

本研究では，前方より飛来するボールを打撃する際，バットの重心位置が打撃中のバットの動き及び打撃時におけるボールのインパクト位置に及ぼす影響について明らかにすることを目的とした．バットの重心位置を5種類設定

して，4名の被験者に各設定のバットを用いてトスマシンより飛来するボールを打撃する試技を行わせた．実験データを分析・検討した結果，以下のようにまとめられる．

(1) バットの重心位置の変化は，スイング中のバットの並進運動よりも回転運動により影響を及ぼすことが考えられた．

(2) バットの重心位置の設定によって，スイングが変容することが考えられ，打撃パフォーマンスに影響する可能性が考えられた．

(3) バットの重心位置がヘッド寄りになるほどインパクトの位置はヘッド寄りになっており，使用するバットの重心位置によってはボールを打撃する際のバットとボールの接触位置に影響することが考えられた．

本研究の実験ではバットの重心位置を変更したが，スイングの際は常にバットのグリップエンドに最も近い部分を握り位置とすることとしたとき，重心位置を変更することは必然的に握り位置まわりの慣性モーメント値も変更していることになる．この慣性モーメント値をバット選定の目安の1つにすることも考えられ得るが，現場への還元を優先すれば，一般に馴染みがある重心位置を目安にするほうが現実的であろう．バットの選定にあたっては，バットの重量だけで選定するのではなく，重心位置を観点に加えて選定する必要があろう．

文献

Bahill, A. T. and Karnavas, W. J. (1989) Determining ideal baseball bat weights using muscle force-velocity relationships. Biological Cybernetics, 62：89-97.

Fleisig, G. S., Zeng, N., Stodden, D. F. and Andrews, J. R. (2002) Relationship between bat mass properties and bad velocity. Sports Engineering 5 (1)：1-8.

平野裕一 (1993) 当てる打撃と運ぶ打撃. Japanese Journal of Sports Science, 12 (6)：340-345.

川端浩一・金子公宥 (2005) 金属バットと木製バットによる打球速度と打撃動作. 大阪体育大学紀要，36：38-50

小林一敏 (1992) スポーツ工学において人間をどう扱うか. 日本機械学会誌，95 (888)：971-974.

Koenig, K., Mitchell N. D., Hannigan, T. E. and Clutter, J. K. (2004) The influence of moment of inertia on baseball/softball bat swing speed. Sports Engineering, 7 (2)：105-117.

前田正登 (2003) 野球バットの特性がスイングに及ぼす影響. スポーツ産業学研究，13 (1)：45-51.

前田正登 (2006) 高校野球選手におけるバットスイングの類型化に関する研究. スポーツ方法学研究，1：45-56.

Maeda, M. (2010) Effects of Baseball Bat mass and Position of Center of Gravity on Batting. Engineering of Sports 8：2675-2680.

村田厚生 (1998) 野球のスイング時のバットのヘッドスピードに及ぼす影響. 人間工学，34 (3)：151-155.

吉福康郎 (1985) バットの力学的性質から見たバッティングの科学. Japanese Journal of Sports Science, 4 (10)：723-728.

(平成29年2月27日受付
平成29年6月9日受理)