

[原著論文]

野球経験の違いによる打撃動作の熟練性に関する3次元解析

矢土裕和¹⁾ 結城匡啓²⁾

(平成24年3月26日受理)

Three dimensional analysis on baseball batting for difference in baseball experience players

Hirokazu YATSUCHI (Graduate School of Education, Shinshu University)

Masahiro YUKI (Faculty of Education, Shinshu University)

Abstract

The purpose of this study was to investigate the relationship between the difference in baseball experience and the skill of the tee batting motion. Subjects were 7 male students selected by a variety of their baseball careers. They were videotaped with two fixed video cameras (83.3fps). The tee batting motion was analyzed using a three dimensional DLT analysis.

The results were as follows:

1) Correlation indicated between maximal bat angular velocity and the mean negative twist angular velocity ($r=0.819$, $p<0.05$).

2) The high level player hit to the ball at nearly maximal bat angular velocity.

3) There were correlations between the hip joint angle and the maximal twist angular velocity ($r=0.945$, $p<0.01$), the mean negative twist angular velocity ($r=0.821$, $p<0.05$).

These results indicated that the mature players had superior tee batting skills with SSC skills of upper limbs caused hip rotation before shoulder rotation by which the hip joint angle increased. Moreover, coexistence of fitness-for-purpose of hitting the ball and SSC skills of upper limbs for increasing bat speed were related to baseball experience players.

キーワード：ティー打撃，SSC運動，股関節動作

1. 緒言

野球のバッティングとはただバットを振るだけの動作ではない。投手が投じたボールにタイミングを合わせ、バットに当て、野手のいないフィールドにボールを落とさなければならない。また投手に比べ打者は、投げられたボールに合わせて自分のパフォーマンスを発揮させなければならないため、タイミングを合わせ、できるだけ大きなス

イング速度で打ち返さなければならない。その制限された環境下でのバッティングにおけるパフォーマンスとして評価されるものの一つとして打球速度がある。速い打球は野手も捕りにくく、かつ遠くに飛ばすことができればゲームにおいて得点の可能性が広がる。また、ゲームとは関係なく、ボールをより速く、遠くへ打つことは打者の目標、憧れでもある。

これまでの研究から、打球速度を高めるためには、腰や体幹の捻転動作が重要であることが分かってきた。高橋ら(1998)は、全日本代表候補選

1) 信州大学大学院教育学研究科

2) 信州大学教育学部

手 12 名と、大学野球選手 4 名を被験者として研究を行った。その結果高橋ら (1998) は、腰の捻転動作において、腰の捻転を大きくし、身体の回転速度を増すことが打球速度を高めることになるとしている。また高橋ら (1998) は腰の回転範囲が大きくなると打球速度は減少傾向にあるため、単に腰の回転を速くするだけではなく開きを押さえた上で回転速度を高めていく動作が大切であると考えた。竹内ら (2001) は大学の野球部員 5 名、一般大学生 4 名を被験者として研究を行った。その結果竹内ら (2001) は、打撃動作において体幹部の捻りが、飛距離、打撃方向のどちらにおいても重要であるとした。田内ら (2005) は大学の野球部員 12 名を被験者として研究を行った。その結果田内ら (2005) は、捻転の角度よりも捻転の角速度が重要であり、その捻転の角速度は、肩の捻り戻しの角速度を高めることで、バットスピードに対して間接的な影響を及ぼしているとしている。

以上のように、その腰や体幹の捻転動作に着目した、およそ熟練者対象の研究結果が蓄積されてきた。しかし、これまでは熟練者と未熟練者を対象にした比較研究は少ない。

宮西 (2009) は野球の打撃動作において体幹捻転の動作特性 (SSC 運動他) を年齢、球種、パフォーマンスなどあらゆる状況において調べることにより、投・打動作におけるそのメカニズムや役割 (機能・作用) の真理をより深く追求し、技術指導やトレーニングに資する情報を創出する必要

があるとしている。そのように考えると、体幹の捻転について野球経験の違いから検討すれば打撃動作におけるの有効的かつ効率的な個別トレーニング方法を作成する指標になるとも考えた。

そこで本研究では、異なる野球経験をもつ被験者のティー打撃動作を 3 次元解析することにより、野球経験の違いとティー打撃における打撃動作の熟練性との関係について検討することを目的とした。

2. 研究方法

2.1 被験者

被験者は 19~23 歳の様々な野球経験を持つ大学生 7 名 (身長: $1.75 \pm 0.05\text{m}$, 体重: $68.9 \pm 4.1\text{kg}$) とした。なお、現役選手は被験者 D のみであった。そのうち 2 名が左打ちであった。被験者は便宜上、打球速度の大きい順に被験者 A (19.9m/s 中 1~大 2 まで 8 年間), B (16.7m/s 小 3~大 3 まで 13 年間), C (16.1m/s 小 2~高 3 まで 11 年間), D (15.7m/s 小 4~大 2 現まで 11 年間), E (15.6m/s 小 4~高 3 まで 9 年間), F (14.6m/s なし), G (13.9m/s 小 1~小 6 まで 6 年間) とした。被験者の特徴を表 1 にて示す。実験に際し、被験者には実験の趣旨を説明し、実験参加の同意を得た。

2.2 撮影方法

撮影範囲を設定し、各被験者のティー打撃動作

表 1 被験者の特徴

被験者	身長 (m)	体重 (kg)	年齢	野球経験	主な成績	主な打順
A	1.74	71.4	23	中 1~大 2	県ベスト 16	1・3~5 番 (高・大)
B	1.79	66	23	小 3~大 3	県ベスト 8	4 番 (高)
C	1.72	62.5	22	小 2~高 3	県ベスト 8	6 番 (高)
D	1.72	72.8	19	小 4~大 2	県 3 回戦	2・4~7 番 (高・大)
E	1.70	65.8	20	小 3~高 3	北信ベスト 4	控え
F	1.73	71.6	20	なし	なし	なし
G	1.85	72.3	20	小 1~小 6	なし	なし

平均±S.D $1.75 \pm 0.05\text{m}$ $68.9 \pm 4.1\text{kg}$

を2台の高速カメラ(CASIO EXLIM EX-F1)を用いて撮影した(Fig.1, 撮影速度: 83.3fps). なお, 左打者の場合, camera2を反対側へ移動させた.

撮影範囲の地面に座標点を10点取り, その上にキャリブレーションポールを立て, 計80点のコントロールポイントの実座標を設定し, 画面上の2次元座標からDLTパラメータを算出した. また, 身体及び, ボール, バットの先端を分析点とした計25点(Fig.2)の座標値を, FrameDIAS IIを用いてデジタル化し, 身体とバットの3次元座標を求めた. 得られた数値をButterworth digital filterにより平滑化した(遮断周波数: 5~15Hz).

2.3 実験試技

被験者はティー打撃を5球行った. 被験者の内省が最もよい一球の打撃動作を抽出し, 分析した. なお, ティー台の高さを予備実験から身長比0.42とした.

2.4 分析項目

分析項目は, ①水平面における打球速度, ②兩大転子を結んだ腰, 両肩を結んだ肩, バットの角速度, ③腰と肩の角速度差である捻転角速度(田内ら(2005)), ④捕手側の大転子と膝を結んだ大腿部と腰との角度(股関節角度)および角速度(股関節角速度)とした. さらに股関節角度の最大値と打球方向側足の着地時の股関節角度との差を股関節動作角度と定義した(Pic.1).

本研究では, 被験者が撮影範囲内で, 静止状態からバッティング動作を開始し, フォロースイングになるまでを分析対象とした.



Pic.1 Hip joint angle

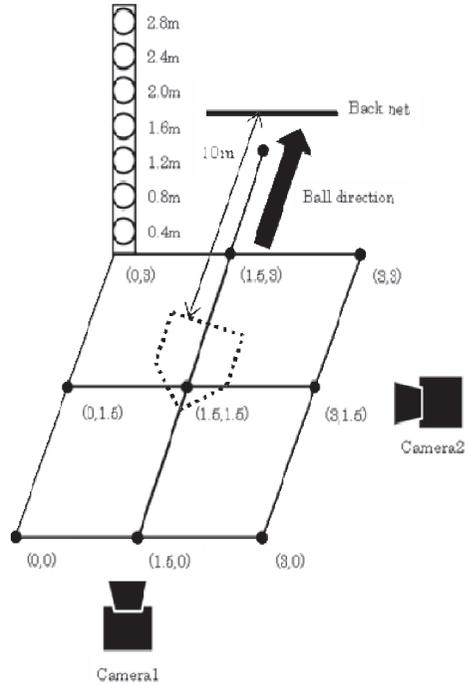


Fig.1 Schematic of experimental set up

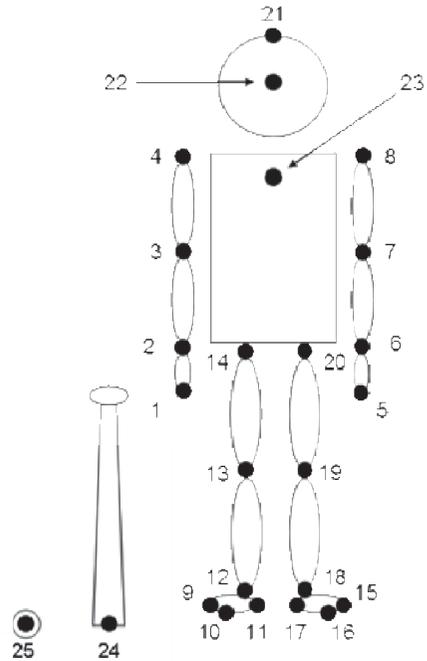


Fig.2 Analyzed point for the body

3. 結果および考察

Fig.3に熟練者（被験者 A）と被験者 C, 未熟練者（被験者 F）の腰, 肩, バット, 股関節, 捻転の角速度の典型例を示す. 横軸は時間 (sec), 縦軸は角速度 (rad/s) を示している. なお, 負の捻転は田内ら (2005) の定義より, スイング局面の開始から捻転角度(腰の角度と肩の角度との差)の最大となる局面までとした.

表 2 は腰, 肩, 負の捻転の最大角速度, 平均捻転角速度, 打球速度と, バットの最大, インパクト時の角速度, 股関節動作角度, 正と負の股関節最大角速度との相関関係 (または相関係数) を示したものである.

3.1 腰, 肩の角速度とバットの角速度

腰の最大角速度は, 被験者 A (6.9rad/s), C (6.6rad/s), E (6.3rad/s), F (6.2rad/s), D (5.6rad/s), B (5.0rad/s), G (4.8rad/s) の順で大きかった. 腰の最大角速度とバットの最大角速度, インパクト時のバットの角速度との間に有意な相関関係は認められなかった.

肩の最大角速度は, 被験者 E (10.1rad/s), C (9.1rad/s), A (8.8rad/s), B (8.4rad/s), D (7.6rad/s), F (7.5rad/s), G (7.1rad/s) の順で大きかった. 肩の最大角速度とバットの最大角速度, インパクト時のバットの角速度との間に有意な相関関係は認められなかった. これらのこと

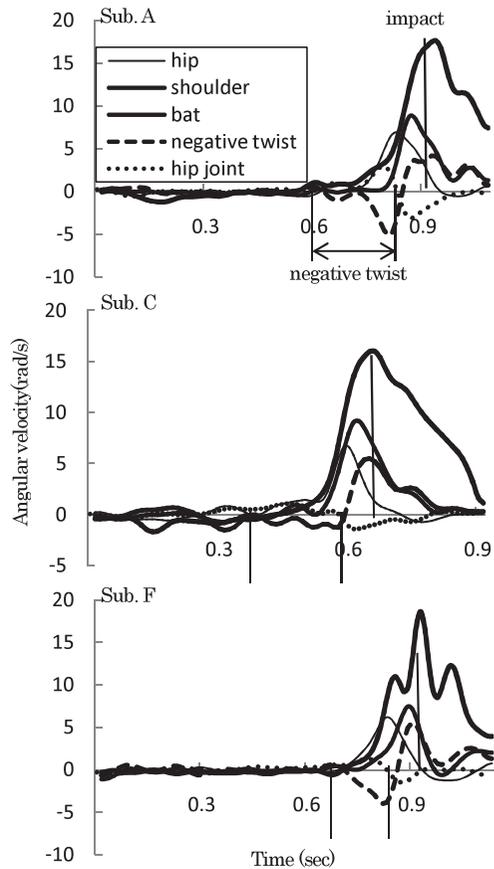


Fig.3 Typical curves of angular velocities of the hip, the shoulder, the bat and the twist (Subject A, C, F)

表 2 相関係数

	バットの 最大角速度	バットの インパクト時角速度	股関節動作 角度	正の股関節 最大角速度	負の股関節 最大角速度
最大角速度					
腰	0.201	0.161	0.346	0.193	0.121
肩	0.562	0.161	0.254	0.091	0.178
負の捻転	0.680	0.217	0.945**	0.623	0.438
平均捻転角速度	0.819*	0.124	0.821*	0.264	0.054
打球速度	0.069	0.739*	0.671	0.583	0.478

* : p<0.05, ** : p<0.01

から腰、肩の角速度を大きくすることがバットの最大角速度を大きくすることに直接的な影響を及ぼさないと考えられる。また、この結果は田内ら(2005)が大学野球選手12名の、ティー打撃中の、バットスピードと腰、肩の最大角速度との間に有意な相関関係は認められなかったとした報告と一致するものであった。

バットの最大角速度は被験者 F (18.6rad/s), D (18.0rad/s), A (17.6rad/s), G (16.4rad/s), B (16.1rad/s), C (16.0rad/s), E (15.8rad/s) の順で大きかった。また、バットの最大角速度と平均捻転角速度との相関係数は $r=0.819$ ($p<0.05$) であり、有意な相関関係が認められた。このことは、平均捻転角速度が上肢筋群の SSC 運動を発生させ、バットの最大角速度を大きくすることに貢献していると考えられ、田内ら(2005)の先行研究を支持する結果となった。しかし、平均捻転角速度は野球経験順ではなかったことから SSC 運動発生には野球経験の関係性が低いことが示唆される。

インパクト時のバットの角速度は被験者 A (17.6rad/s), D (16.8rad/s), B (15.4rad/s), E (14.7rad/s), G (14.4rad/s), C (14.4rad/s), F (12.5rad/s) の順で大きかった。また、バットの最大角速度と打球速度との間に有意な相関関係は認められず、バットの最大角速度でインパクトできていない被験者が多いことがわかる。一方で、インパクト時のバットの角速度と打球速度との相関係数は $r=0.739$ ($p<0.05$) であり、有意な相関関係が認められた。

表3は各被験者のインパクト前、インパクト時、インパクト後のバットの角速度を示している。被

験者Aはインパクト時、被験者Bはインパクト前、被験者Dはインパクト前、被験者Eはインパクト前でバットの最大角速度であった。被験者Cはほぼインパクト付近でバットの最大角速度が発現していた。被験者F、Gはバットの最大角速度の発現がインパクト付近より前であった。

これらのことから、インパクト時に最大角速度でインパクトできている被験者はティー打撃においてボールにバットを当てる技術が高く、できていない被験者はティー打撃において、ボールにバットを当てる技術が低いと考えられる。インパクト付近で角速度差が大きいことは、インパクト局面において、無駄な動き(手でバットを操作するような)の発生があり、また、速度差のある投球(変化球など)への対応の際、大きなバットの角速度で打ち返せない可能性があることが示唆される。

3.2 股関節角度

股関節動作角度は被験者 A (24.6deg), F (15.4deg), B(10.3deg), D(9.0deg), G(6.4deg), C (4.9deg), E (0.9deg) の順で大きかった。また、股関節動作角度と負の捻転の最大角速度との相関係数が $r=0.945$ ($p<0.01$)、平均捻転角速度との相関係数が $r=0.821$ ($p<0.05$) であり、有意な相関関係が認められた。

骨盤には大腰筋、腸骨筋が付着しており、これらの筋は腰椎から大腿骨につながっている。そのため上肢を固定し下肢を持ち上げようとするときこれらの筋が作用し下肢が持ち上がり身体は屈曲する。また、下肢を固定し上肢を持ち上げようとするとき上肢は持ち上がり身体は屈曲する。つまり、

表3 インパクト付近におけるバットの角速度 (rad/s)

被験者	インパクト前	インパクト時	インパクト後
A	17.5	17.6	16.8
B	16.1	15.4	13.7
C	15.4	14.4	13.4
D	18.0	16.8	14.2
E	15.8	14.7	12.8
F	16.7	12.5	9.3
G	14.9	14.4	13.8

骨盤は上肢と下肢をつなぎ、股関節の動作はこれらの筋に作用させ、下肢のエネルギーを上肢に伝える役割を担うと考えられる。これらのことから、股関節を大きく動かすことが上肢筋群の SSC 運動を発生させるために貢献していることが示唆される。股関節を大きく動かすことにより腰部が肩よりも先だつて動き、肩の回転開始が遅れて動くことにより、上肢筋群の SSC 運動が発生したと考えられる。

3.3 股関節角速度

Fig.3 に典型例を示したように、正の股関節角速度の最大値は、被験者 A (3.0rad/s), G (2.1rad/s), D (1.8rad/s), E (1.5rad/s), F (1.2rad/s), B (1.2rad/s), C (1.1rad/s) の順で大きかった。負の股関節角速度の最大値は被験者 A (-3.1rad/s), G (-2.6rad/s), E (-2.4rad/s), B (-1.8rad/s), D (-1.7rad/s), F (-1.5rad/s), C (-1.5rad/s) の順で大きかった。また、股関節動作角度と負の捻転の最大角速度との相関係数が $r=0.945$ ($p<0.01$)、股関節動作角度と平均捻転角速度との相関係数が $r=0.821$ ($p<0.05$) であり、有意な相関関係が認められた。このことから、腰の回転が肩の回転を先導する (=SSC 運動を発生させる) ためには、股関節を速く動かすことよりも股関節動作角度を大きくすることが重要であると推察される。

3.4 熟練者と未熟練者のティー打撃の特徴

田内ら (2005) は体幹の負の捻転速度が遅い者は、スイング開始時から腰と肩がほぼ同様の角速度で推移し、体幹筋群を伸長させるのに十分な腰と肩の回転の角速度差が得られず、SSC 運動の効果を利用できないとしている。

本研究において、Fig.3 で挙げた典型例 2 人について比較すると、被験者 A はティー打撃における技術、上肢筋群の SSC 運動がともに優れ、被験者 F はティー打撃における技術が劣っている。このように野球経験の高い者 (被験者 A) は、ボールに対してのアプローチが優れ、上肢筋群の SSC 運動も発生させていることが示唆される。

以上のことから、ボールにバットを当てるという目的性と、バットの速度を大きくするための

動作である上肢筋群の SSC 運動発生の両立が熟練性と関係していた。

本研究では、様々な野球経験の被験者を比較することにより、野球経験と SSC 運動発生、股関節動作と上肢の SSC 運動の関係性について明らかにすることができた。より確実なデータとするには、さらに多くの様々な野球経験の被験者からデータを得ることが有効であろう。

4. まとめ

本研究では、異なる野球経験をもつ被験者のティー打撃動作を 3 次元解析することにより、野球経験の違いとティー打撃における打撃動作の熟練性との関係について検討することを目的とした。

明らかとなった結果を以下に示す。

- 異なる野球経験の被験者では、バットの最大角速度と平均捻転角速度との間に有意な相関関係が認められた。
- ほぼ野球経験順にインパクト前、インパクト時、インパクト後のバットの角速度の低下が小さく、熟練者はインパクト時にバットの最大角速度が発現していた。
- 異なる野球経験の被験者では、股関節動作角度と負の捻転の最大角速度、平均捻転角速度との間に有意な相関関係が認められた。

以上の結果から、股関節動作角度を大きくすることにより、腰の回転を肩の回転に先だつて動かすことができ、上肢筋群の SSC 運動を発生させていたことが示唆された。また、ボールにバットを当てるという目的性と、バットの速度を大きくするための動作である上肢筋群の SSC 運動発生の両立が熟練性と関係していた。

参考文献

- 宮西智久, 櫻井直樹 (2009) : 野球の投・打動作の体幹捻転研究 - SSC 理論に着目して -, バイオメカニクス研究 13 (3), pp149-169
- 高橋弘ほか (1998) : バッティングにおける腰の捻転動作, 日本体育学会大会号 (49), pp.369
- 竹内哲雄ほか (2001) : 野球における打撃動作のバイオメカニクス, 日本体育学会大会号 (52),

pp.342

田内健二ほか (2005) : 野球のティーバッティ

ングにおける体幹の捻転動作がバットスピードに
及ぼす影響, スポーツ方法学研究 18 (1) pp.1-9

[原著論文]

筋電位図を用いたスケルトンそりの操作特性*

長坂 明彦¹⁾ 竹把 悠²⁾ 田中 裕樹³⁾ 内山 了治⁴⁾ 生駒 良弘⁵⁾
松原 達郎⁵⁾ 渡辺 誠一⁶⁾
(平成 24 年 3 月 31 日 受理)

Ride Properties of Skeleton Sled with Electromyogram

Akihiko NAGASAKA (Department of Mechanical Engineering, Nagano National College of Technology)

Yuu TAKETABA (Department of Mechanical Engineering, Nagano National College of Technology)

Yuki TANAKA (Department of Mechanical Engineering, Nagano National College of Technology)

Ryoji UCHIYAMA (General Education, Nagano National College of Technology)

Yoshihiro IKOMA (Nagano Bobsleigh & Luge Federation)

Tatsuro MATSUBARA (Nagano Bobsleigh & Luge Federation)

Seiichi WATANABE (Department of Electrical and Electronic Engineering, Nagano National College of Technology)

Abstract

Skeleton is a winter sport in which competitors aim to drive a one-person sled in a prone, head-first position down on ice track in the fastest time. But studies on skeleton have not been carried out until now. The purpose of this study was to measure the dynamic strain, the vertical acceleration, the horizontal acceleration and the forward acceleration applied to the sled frame, in order to shorten final time. The experiments were carried out at the Spiral. In the experiment, first a 3D-acceleration transducer, surface electromyogram (EMG) and a pressure sensor were attached to the body, then data was collected with a compact recorder.

The results were summarized as follows.

Simultaneous measurement of a surface EMG of the rectus muscle of abdomen and a vertical acceleration has made it possible to visualize the subjects ride in a sliding frame welded skeleton sled

It was suggested that the rectus muscle of abdomen be used when curving.

The pressurizing extent of the shoulder was able to be made it visible with the small pressure sensor of 50kPa.

キーワード : スケルトン, そり, 加速度計, 表面筋電位, 小型圧力センサ

* 2010 年 1 月 30 日 日本体育学会甲信支部長野体育学会にて口頭発表

1) 長野工業高等専門学校機械工学科

2) 長野工業高等専門学校機械工学科学生

3) 長野工業高等専門学校機械工学科 (現 : JR 東海)

4) 長野工業高等専門学校一般科

5) 長野県ボブスレー・リュージュ連盟

6) 長野工業高等専門学校電気電子工学科

1. はじめに

スケルトン^③は、氷で作られたコースを鉄製のソリにうつぶせで乗り、頭を前にして滑走タイムを競う競技である。スケルトンは、2002年のソルレークオリンピックで再び正式種目となったことを機に注目を集めるようになった。また、1998年長野オリンピックのボブスレーおよびリュージュ競技の会場となった長野市ボブスレー・リュージュパーク（以下スパイラル）は、2007年からナショナルトレーニングセンター競技別強化拠点に指定されている。

著者らは、これまでに長スパイラルにおいてスケルトンのそりフレーム変形特性や合成加速度 a は垂直方向加速度 a_z が主となることについて報告してきた^④。しかしながら、リュージュ競技等に関する研究報告^⑤はあるが、スケルトン競技に関する研究はほとんど行われていない。

そこで本研究では、2014年のソチオリンピック等に向けてスケルトンのファイナルタイム（滑走タイム）を短縮することを目的として、滑走中の選手の溶接固定ソリへの操作による影響を調査するためのデータとして、滑走中の選手の表面筋電位（EMG）測定、圧力測定、垂直方向加速度、水平方向加速度および進行方向加速度測定を行い、特性を数字に表して選手にフィードバックするシステムを構築した。

2. 実験方法

2.1 実験会場

実験は長野市スパイラルで行った。図1にコース図を示す。このコースの全長は1360m、標高差は113mおよびカーブ数は15である。ここで、C1~C15はカーブ番号を示す。C7およびC11後の矢印部はそれぞれ+5%、+15%の上り勾配である。また、ST (S01)はスタートタイム、MT(M10)は中間タイムおよびFT(S17)は滑走タイム（ファイナルタイム）の位置で、光電センサーにより測定後、リザルトとして出力される。

なお、実験日（2011年1月27日）の天候は雪、外気温-3.7℃、湿度56%、氷深温は-11℃であった。

今回の被験者は1名であり、身長172cm、体重83.0kg、ソリの重量は32.5kgである。この被験者は2009年度全日本スケルトン選手権にて17位の成績を取っている。

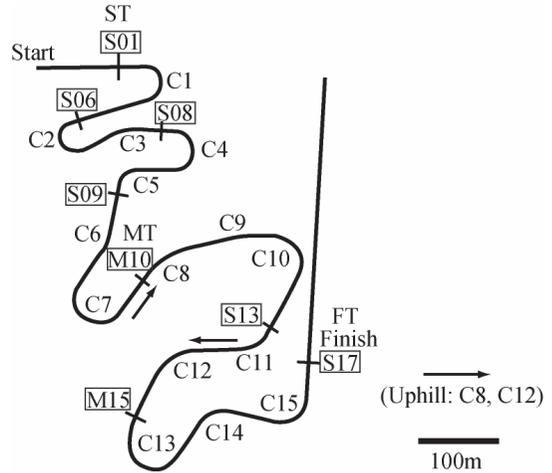


図1 スパイラルコース

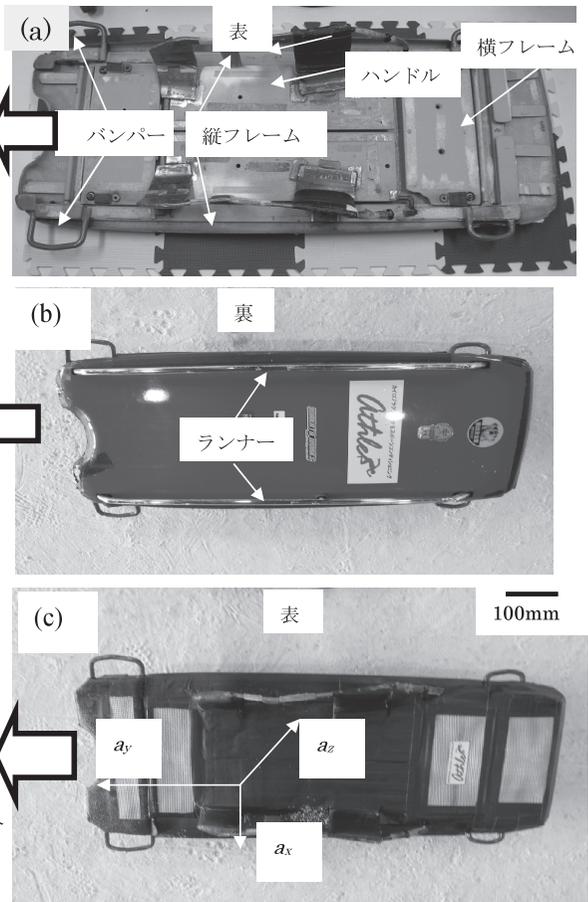


図2 スケルトンフレーム
(a), (c) : 表, (b) : 裏

2. 2 加速度測定

図2にそり³⁾のフレームを示す。フレームは溶接固定（ライアン製）で、左側がそりの進行方向となる（図2(a)）。上下部にある長い板が縦フレームである。同様に、左右側にある短い板が横フレームである。それぞれのフレームは長方形構造で、そりの四隅で固定されている。2本のランナーは平行である（図2(b)）。

図3に測定装置を装着した選手を示す。垂直方向加速度、水平方向加速度測定および進行方向加速度測定には加速度センサー（株）共和電業、AS-10TG（±10G）を用い、コンパクトレコーダによりデータ収集を行った。

コンパクトレコーダのサンプリング周波数は100Hzとした。なお、垂直方向加速度 a_z 測定は、そりの進行方向に対して感度軸を垂直方向に向け下側をプラス方向にして、水平方向加速度測定 a_x はそりの進行方向に対して左右方向に感度軸を向け右側をプラスとして、進行方向加速度測定 a_y はそりの進行方向を感度軸のプラス側にして測定を行った。

2. 3 筋電位測定

筋電（EMG）とは、筋収縮時に観測される生体電位の一種であり、その信号からは「力の強さ」「運動状態」等がわかる。また、皮膚表面で計測される表面筋電図は、筋繊維一本一本から発生する無数の筋電波形が合成される形で計測される為、図4の様に交流ノイズに似た波形となっている。積分値

（IEMG）とは、筋電図を解析する為に積分した波形で、筋の活動状態を表す指標となる。

図5に腹部の筋を示す。本研究では、スケルトンにおいては腹部を浮かせて滑走するため、腹直筋に大きな負担が掛かると予想されるため、筋電図の測定箇所とした⁴⁾。図6(a)に選手の腹直筋（前）を示す。また、図6(b)に選手の背中（後）を示す。図6(a)は前からディスク電極（+側）①③を、図6(b)は背骨にディスク電極（-側）②をそれぞれ貼付した。肋骨から腰骨の方までまっすぐ伸びているのが腹直筋である（図5）。

また、サンプリング周波数は100Hz（三軸加速度センサについては10Hz）、遮断周波数は20kHzとし、電極貼付時の処理は、エタールを用いての脱脂を行った。



図3 実験装置を装着した被験者

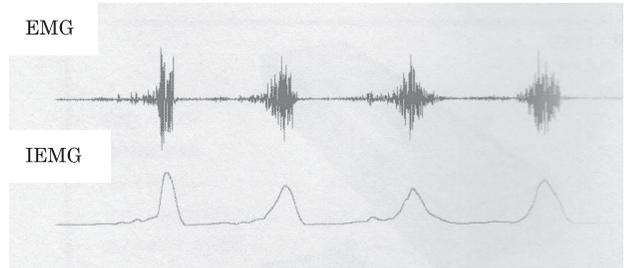


図4 筋電波形

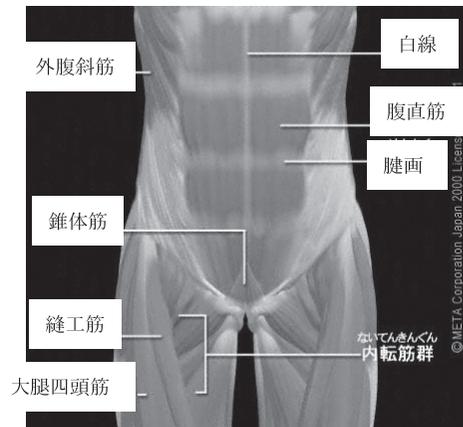


図5 腹部の筋（正面図）

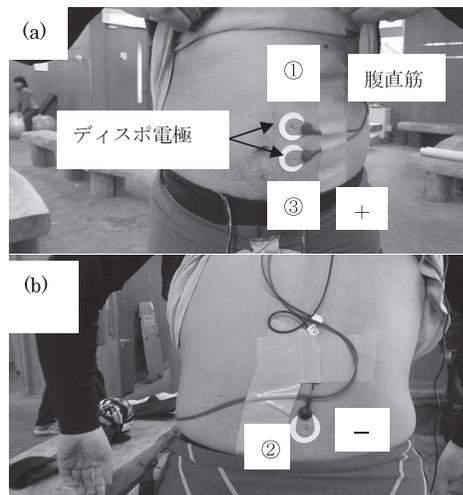


図6 ディスク電極の貼り付け位置

(a): 選手の腹直筋（前）、(b): 選手の背中（後）

2. 4 圧力測定

図7に小型圧力センサを示す。図7(a)はディスプレイに貼付した圧力センサを、図7(b)はセンサの模式図をそれぞれ示す。なお、選手はそりの操作を行う時にそりの対角線に力をかけるので、圧力センサは選手の左肩に貼付した。小型圧力センサは、50kPa（株）共和電業 AS-10GA）の高感度のタイプである。

また、サンプリング周波数は100Hz、遮断周波数は20kHzとした。

3. 実験結果および考察

3. 1 加速度測定

図8に滑走中の垂直方向加速度 a_z と時間 T の関係を示す。図8(a)は FLAT の垂直方向加速度 a_z 、図8(b)は 1Hz のローパスフィルタ処理後の垂直方向加速度 a_z の時系列のデータである。図8(a)において、加速度センサーの感度方向を進行方向に対して下側（ソリ側）をプラスに設定したことで、波形はプラス側に出力される。また、フィルタ処理により、波形が明瞭になる。カーブに入ると約4~7Gが作用していることがわかる（図8(b)）。

図9に滑走中の水平方向加速度 a_x と時間 T の関係を示す。図9(a)は FLAT の水平方向加速度 a_x および図9(b)は 1Hz のローパスフィルタ処理後の水平方向加速度 a_x の時系列のデータである。図9(a)において、水平方向加速度 a_x のセンサ感度方向を進行方向に対して右側をプラスに設定したことで、波形は

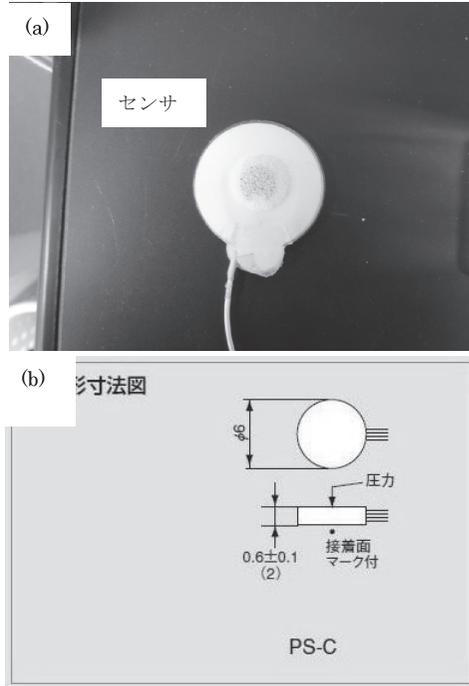


図7 小型圧力センサ

プラス・マイナスに出力された。フィルタ処理により波形が明瞭になる（図9(b)）。左カーブを通過するとプラス波形（右方向の加速度）、右カーブを通過するとマイナス波形（左方向の加速度）が検出されたが、垂直方向加速度 a_z に比較して、水平方向加速度 a_x が最大約 1G (9.8m/s²) 程度と小さいことがわかる（図9(b)）。

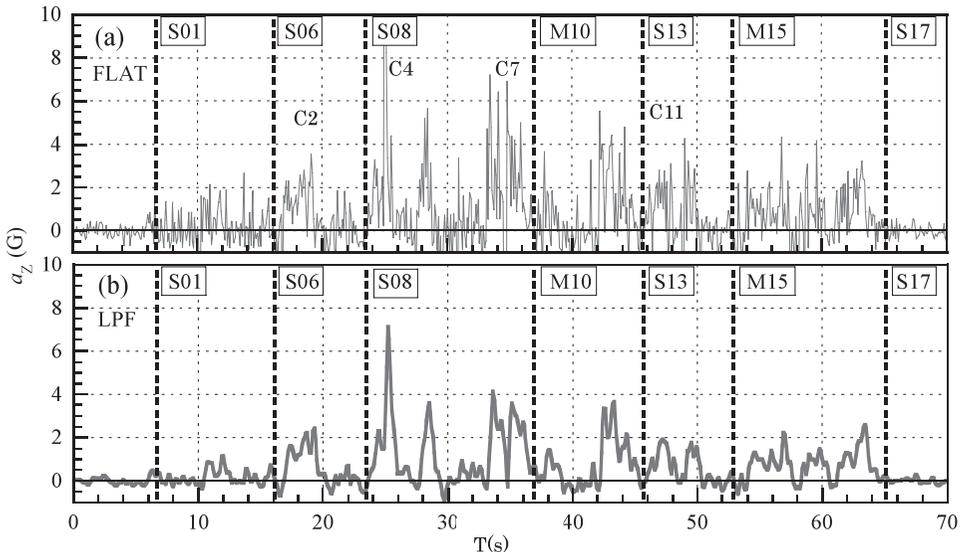


図8 垂直方向加速度 a_z と時間 T の関係

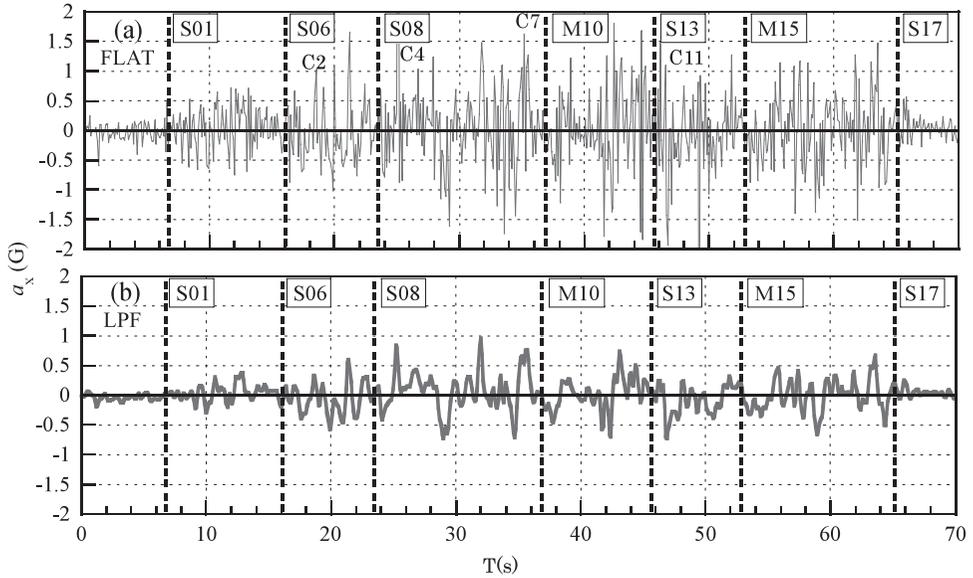


図9 水平方向加速度 a_x と時間 T の関係

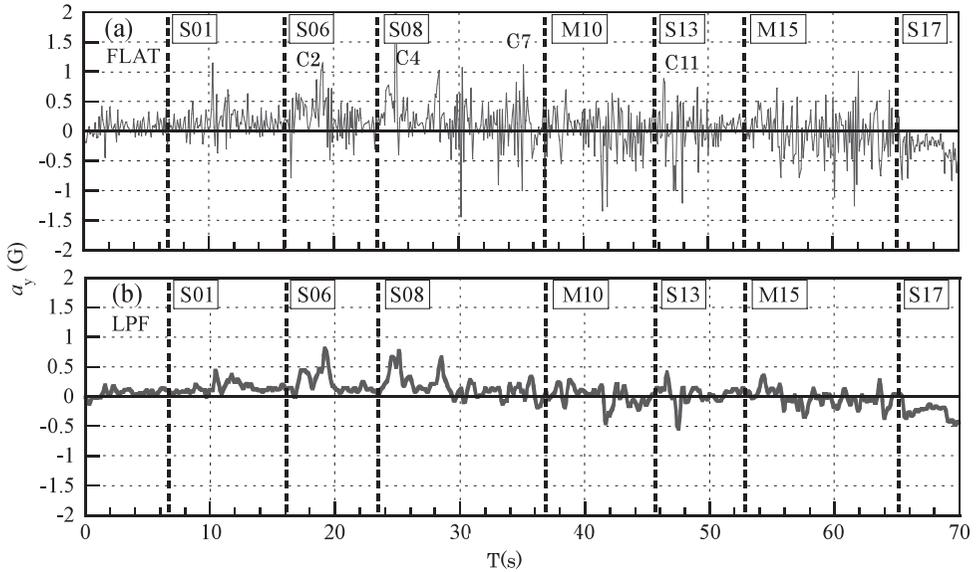


図10 進行方向加速度 a_y と時間 T の関係

図10に滑走中の進行方向加速度 a_y と時間 T の関係を示す。図10(a)がFLAT, (b)が1Hzのローパスフィルタ処理した時系列表示である。コースは基本的に下り坂のため緩やかに上昇し、カーブに入ると値が上下していることがわかる。なお、M10の前とC13の後は上り坂となっているが、C11通過後に加速度がマイナスとなり、減速していることがわかる(図10(b))。

3.2 腹直筋電位

筋電位 EMG , 積分筋電位 $IEMG$ および加速度 a_z と時間 T の関係は滑走時間分の300sの収録グラフになっている。リザルトを用いて整理することで、図11に滑走タイムにおける筋電位 EMG , 積分筋電位 $IEMG$, 加速度 a_z および圧力 P と時間 T の関係を示す。リザルトを用いて(a)筋電図 EMG , (b)積分筋電位 $IEMG$, (c)加速度 a_z および圧力 P を、 $T=40$

～110s でそれぞれ整理した．ここで， ST ， MT ， FT はそれぞれスタートタイム，中間タイム，ファイナルタイムを表している． $C2$ から $C14$ はそれぞれのカーブの位置である（図 1）．それぞれの値ともにそれぞれカーブ内では大きな値を示していることがわかる．

図 12 に中間タイム前後の積分筋電位 $IEMG$ 、加速度 a_z および圧力 P と時間 T の関係を示す． $C7$ のカーブにおいて $IEMG$ ， a_z ， P がそれぞれカーブ時それぞれカーブ内では大きな値を示していた．またそ

れと同時にカーブ時に腹直筋が作用し，左肩が大きく加圧していることが示唆される．

図 12 より，コース上のタイムから腹直筋の表面筋電位と垂直方向加速度の同時測定は，スケルトンの溶接構造ソリフレームの滑走中の選手の操作特性を可視化することを可能にした．カーブ時で腹直筋が活用されることが示唆される．肩の加圧程度は，50kPa の小型圧力センサにより可視化できる．

また，これらのデータをもとにして，選手にアドバイスなどを行っていくことを検討している．

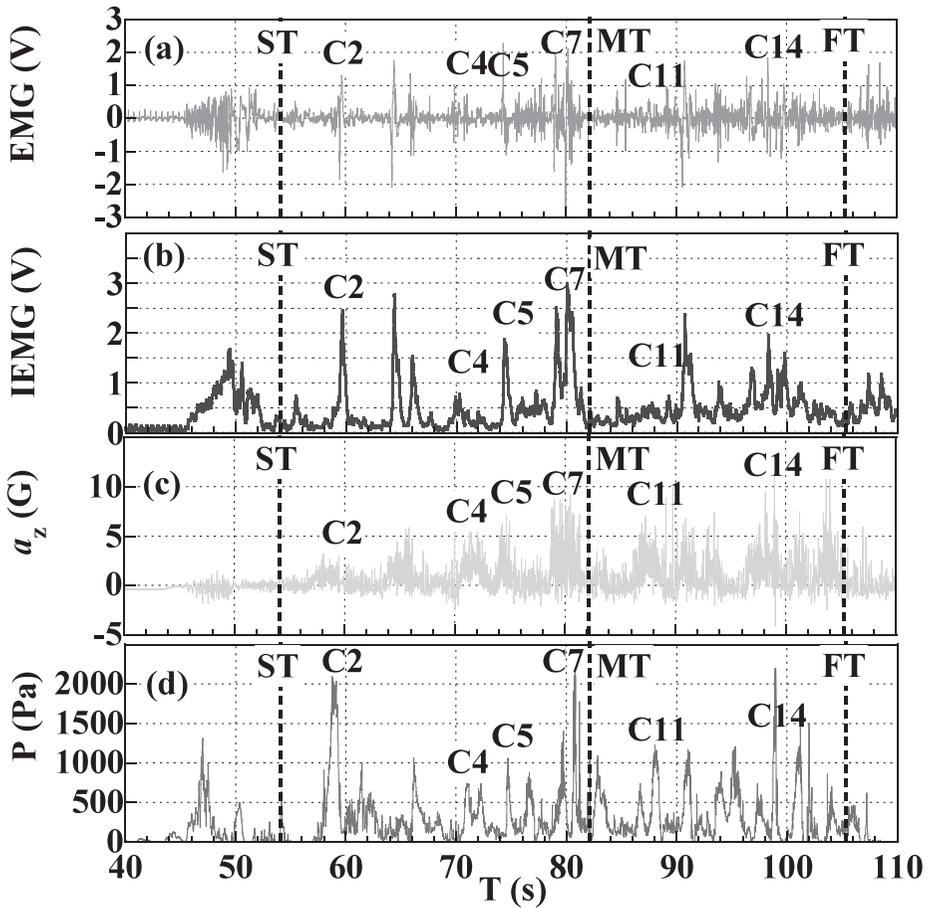


図 11 滑走タイムにおける筋電位 EMG 、積分筋電位 $IEMG$ 、加速度 a_z 、および圧力 P と時間 T の関係

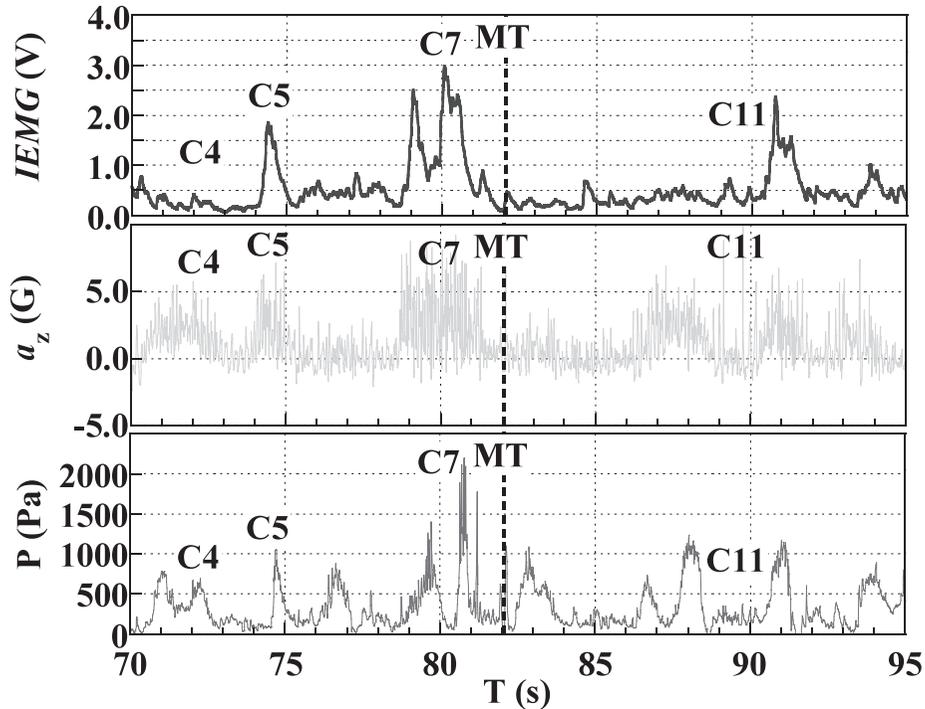


図 12 中間タイム前後の積分筋電位 $IEMG$, 加速度 a_z および圧力 P と時間 T の関係

4. 結言

筋電位図を用いたスケルトンそりの操作特性について得られた主な結果は以下の通りである。

- 1) コース上のタイム (リザルト) から腹直筋の表面筋電位と垂直方向加速度の同時測定は、スケルトンのそりフレームの滑走中の選手の操作特性を可視化することを可能にした。
- 2) カーブ時で腹直筋が活用されることが示唆された。
- 3) 肩の加圧程度は、50kPaの小型圧力センサにより可視化できた。

最後に、本研究をご支援いただきました株式会社竹村製作所 井上宏克氏に対し深く感謝の意を表します。

参考文献

- (1) Aldo O. Perotto (著), 栢森 良二 (翻訳) 西村書店: 筋電図のための解剖ガイド
- (2) 青木博夫, 宮尾芳一, 芳賀 武, 浅川 司, 藤沢謙一郎: 長野冬季オリンピックのリージュ競技結果に対する分析—上位者と下位者の比較—, 長野体育学研究, 10, pp.17-24 (1999)
- (3) FIBT International Skeleton Rules, 2010-2011
- (4) 長坂明彦, 掛川洋平, 平林喜明, 井上宏克, 土橋文行, 宮澤純一, 小松清視, 関 翼, 山本竜太: スラップスケート靴ブレードの動ひずみ測定, スポーツ産業学研究, Vol. 18, No.1, pp.17-24 (2008)
- (5) 長坂明彦, 関 翼, 内山了治, 渡辺誠一, 生駒良弘, 越 和宏, 池田芳正, 松島達郎: スケルトンのソリフレーム変形特性, スポーツ産業学研究, Vol. 19, No.2, pp.113-118 (2009)
- (6) 内山了治, 渡辺誠一, 大澤幸造, 藤沢義範, 塚田修三, 児玉英樹: Sprint Running 自動計時システムの製作とその活用, 論文集「高専教育」, 第27号, pp.143-148 (2004. 3)