

2011 年度 修士学位論文

女子プロゴルファーのドライバーショットにおける  
キネマティクスとエナジエティクス解析

立命館大学大学院

スポーツ健康科学研究科

スポーツ健康科学専攻修士課程 2 回生

学生証番号 6211100016-1

氏名 橋本啓樹

「女子プロゴルファーのドライバーショットにおける  
キネマティクスとエナジエティクス解析」

**キーワード:** 女子プロゴルファー、ドライバーショット、二重振り子、エネルギー変換効率

ゴルフは、決められた距離のコースをどれだけ少ない打数でホールアウトすることができるかを競う競技である。そのため、各ホールの初めに打つことの多いドライバーショットの飛距離は次の1打の距離に大きく影響し、ゴルフのパフォーマンスに影響する。

ヘッドスピードはゴルフのパフォーマンスを測る有用な指標であるが、力学的もしくはエネルギー学的な視点からクラブヘッドの運動を捉えようとする際、十分ではない可能性が示唆される。物体（クラブヘッド）の運動をエネルギーの視点から考える場合、3種類のエネルギー（並進の運動エネルギー、回転の運動エネルギー、位置エネルギー）を考慮する必要がある。しかしながら、ヘッドスピードのみで運動を考えることは、並進の運動エネルギーだけに着目することと等しい。つまり、その他の2種類のエネルギーが無視されており、ヘッドスピードのみではヘッドの運動が正しく捉えられない可能性が示唆される。そこで本研究では、女子プロゴルファーにおけるヘッドスピード向上に寄与する身体動作の特徴点を明らかにし、またクラブヘッドの運動をエネルギー学的観点から捉え、ヘッドスピードのみに着目する妥当性と、インパクト時におけるクラブヘッドからボールへのエネルギー変換効率を明らかにすることを目的とした。

被験者は女子プロゴルファー6名(年齢  $41.4 \pm 7.4$  歳、身長  $163.6 \pm 3.4$ cm、体重  $60.2 \pm 5.4$ kg、右打ち)と女子アマチュアゴルファー上級者6名(年齢  $47.8 \pm 5.2$  歳、身長  $159.5 \pm 5.3$ cm、体重  $51.5 \pm 5.5$ kg、平均スコア  $82.8 \pm 3.1$ 、右打ち)、女子アマチュアゴルファー初級者3名(年齢  $52.0 \pm 1.6$  歳、身長  $162.1 \pm 1.4$ cm、体重  $56.4 \pm 3.7$ kg、平均スコア  $93.3 \pm 2.9$ 、右打ち)とした。各自のドライバーを使用し、十分に練習をさせた後に、10回のドライバーショットの計測を行った。実験の際、被験者にストレートボールを打つように指示をした。各被験者のスイング動作は、モーションキャプチャシステム(Motion Analysis社)を16台のカメラを用いて計測し、MATLABを用いて解析した。フレームレートは250fpsとし、全身に40点、マットに4点、クラブに6点、計50点のマーカーを貼り付

け測定を行った。ボールのエネルギーについては、ハイスピードカメラ(MEMRECAM fkK5)を使用し、スイング計測時に、正面からインパクトの瞬間を撮影し、ボール打ち出し直後と 0.001 秒後の画像からボール位置をデジタイズし、インパクト直後のボールの初速を計算し、エネルギーの算出を行った。

ヘッドスピードの平均値と標準偏差は、プロが  $38.0 \pm 0.8 \text{m/s}$  となり、アマチュアが  $34.9 \pm 1.0 \text{m/s}$  となり、ボールスピードの平均値と標準偏差は、プロが  $50.3 \pm 1.9 \text{m/s}$  となり、アマチュアが  $45.6 \pm 2.4 \text{m/s}$  となった。ヘッドスピードとボールスピードにおいてプロとアマチュアに有意な差が認められた( $p < 0.01$ )。それぞれ 10 回のドライバーショットにおける変動係数は、またダウンスイングにおける左肩、左肘、左手首についてのスピードを 3 群で比較した結果、プロ群においてはダウンスイング中に肘、手首を最大に加速させた後に急激な減速が顕著に見られた。アマチュア上級者は手首の減速までは見られたが、肘については見られなかった。アマチュア初級者は、肘、手首両方の減速ができずインパクトを迎えていた。この結果からプロ群は、肘や手首の減速によって二重振り子運動を利用し、クラブヘッドを加速させていることが明らかとなった。またプロは、二重振り子運動によって身体のエネルギーを効率よくクラブヘッドに伝えていることが示唆された。プロとアマチュアのクラブヘッドのエネルギーを分析した結果、インパクト直前は並進の運動エネルギーの占める割合が 99.6%と高く、ヘッドスピードに着目することの妥当性が示された。また、インパクトにおけるクラブヘッドからボールへのエネルギー変換効率は、プロが  $71.9 \pm 6.8\%$  となり、アマチュアが  $66.5 \pm 10.1\%$  となり、両群間に有意差( $p < 0.01$ )が認められた。また本研究では、ドライバーショットを 10 回行っており、繰り返し動作におけるばらつきについて変動係数を比較した結果、プロが  $8.5 \pm 2.7\%$ 、アマチュアが  $12.0 \pm 4.0\%$  となり、有意差が認められた( $p < 0.01$ )。以上の結果から、プロはアマチュアに比べヘッドスピードを速く振ることができるだけでなく、インパクトの際に効率よくボールにエネルギーを伝えており、また再現性の高いドライバーショットを行っていることが明らかとなった。本研究により明らかとなったエネルギー変換効率は、インパクトにおけるクラブとボールの当たる位置などが大きく影響し、その他にも摩擦や回転などのエネルギーが関与すると考えられる。ドライバーショットのパフォーマンスを上げるためには、ヘッドスピードの向上と共に、エネルギー変換効率の向上も重要であることが示唆された。

## Abstract

6211100016-1 Hiroki HASHIMOTO

### **The kinematic and energetic analysis of driver shot in female professional golfers**

**Keywords** : female professional golfer, driver shot, double pendulum, energy conversion efficiency

The purpose of this study was to investigate the characteristics of the golf swing motion associated with the club head acceleration in driver shot and the energy conversion efficiency between club head and ball at impact. The subjects were 6 female professional golfers ( $41.4 \pm 7.4$  year,  $163.6 \pm 3.4$  cm,  $60.2 \pm 5.4$  kg, right-handed), 6 female high skilled amateur golfers ( $47.8 \pm 5.2$  year,  $159.5 \pm 5.3$  cm,  $51.5 \pm 5.5$  kg, average score  $82.8 \pm 3.1$ , right-handed), 3 female low skilled amateur golfers ( $52.0 \pm 1.6$  year,  $162.1 \pm 1.4$  cm,  $56.4 \pm 3.7$  kg, average score  $82.8 \pm 3.1$ , right-handed). Each golfer was instructed to hit their usual driver shot as straight as possible and performed 10 shots with own driver. During the performing the driver shot, 3D coordinates of body and club landmarks were obtained using the motion capture system with operating at 250 fps. High speed camera was used to measure the movement of club head and ball before, at, and after impact. We found that headspeed and ball speed were significantly between professional and amateur golfers. We also found that the energy in the club head was mainly consisted of the transitional kinetic energy (99.6%), and the effect of the rotational kinetic energy and potential energy were small. The maximal value of the changing rate of head speed and wrist speed were significantly greater in professional group ( $p < 0.01$ ), but that of elbow and shoulder were not significantly. In professional group, the speed of wrist, elbow, and shoulder decreased rapidly after achieving a peak. At impact, the energy conversion efficiency was significantly different between professional and amateur golfers ( $p < 0.01$ ). It was suggested that the head speed at impact could be accelerated for double pendulum theory by decelerating joint speed. The results also suggested that the factor of the energy conversion efficiency was different of the head speed. It is necessary for progress of the driver shot performance to improve both the energy conversion efficiency and head speed.

## 目次

<b>第1章</b>	<b>序論</b> .....	2
	1.1 研究背景.....	2
	1.2 本論文の目的.....	6
<b>第2章</b>	<b>方法</b> .....	8
	2.1 被験者の身体特性.....	8
	2.2 モーションキャプチャシステム.....	8
	2.3 ハイスピードカメラ.....	9
<b>第3章</b>	<b>女子プロゴルファーのドライバーショットにおけるクラブヘッドの加速に関連する身体動作の特徴</b> .....	11
	3.1 目的.....	11
	3.2 実験方法.....	11
	3.3 結果.....	16
	3.4 考察.....	29
<b>第4章</b>	<b>女子プロゴルファーにおけるドライバーショットのエネルギー変換効率</b> .....	31
	4.1 目的.....	31
	4.2 実験方法.....	31
	4.3 結果.....	33
	4.4 考察.....	42
<b>第5章</b>	<b>総合討論</b> .....	43
	5.1 女子プロゴルファーの特性.....	43
	5.2 ダウンスイン中の身体動作.....	43
	5.3 ボールインパクトのエネルギー変換効率.....	44
	5.4 ゴルフスイングの再現性.....	45
<b>第6章</b>	<b>結論</b> .....	46
	6.1 本論文のまとめ.....	46
	6.2 今後の展望.....	47
	文献.....	49
	付録.....	52

## 第1章 序論

### 1.1 研究背景

ゴルフは、ティーイングラウンドからホール(カップ)へ可能な限り最少の打数でボールを移動させ、その打数の少なさを競う競技である。ボールの変位は1回のショット、もしくは複数のショットによってもたらされる。通常は1日で18ホールをプレーし、これを1ラウンドと呼び、各ホールには、あらかじめ規定の打数が定められており、この打数と等しい打数でホールに入れることをパー (Par) と呼ぶ。ゴルフ場ごとに18ホールのゴルフコースのパーが決められ、72に設定されるのが一般的である。(パー5)が4つ、(パー4)が10個、(パー3)が4つというのが標準的である。各ショットにおいて、ドライバー(1W)は全クラブのなかで最も長く、ドライバーショットは、Par72のうちティーショットの14回以上を打つことが一般的であり、ほかのどのショットよりも飛距離と方向性を要するショットである。また、そのショットは最も大きな力と身体動作を必要とされる。そのため、ドライバーショットのスイングのメカニズムを解明することがゴルフの基本的なショットの理解につながると考えられる。

各ホールの初めに打つことの多いドライバーショットの飛距離は、次の1打の距離に大きく影響する。残りの距離の大小により使うクラブの番手が変化し、それに伴いショットの精度も変化する。したがって、ドライバーショットの飛距離の向上が、ゴルフのパフォーマンスの向上につながる。

ゴルフスイングは、アドレス、バックスイング、トップ、ダウンスイング、インパクト、フォロースルー、フィニッシュの7つの動作局面に分けることができる(図1-1)。

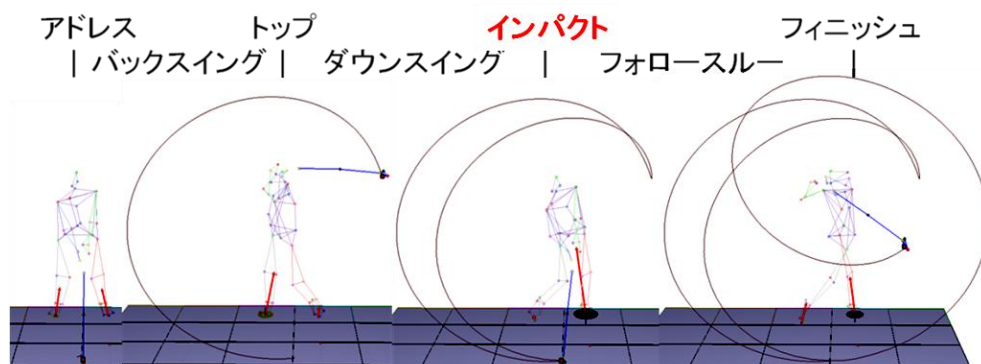


図1-1 ゴルフスイングの各局面

アドレスは構えの状態のことをいい、ボールにクラブをセットしていつでも打てる状態に入る。バックスイングではクラブヘッドと手が後方へ動き始め、同時に体幹右方向への回転が起こる。そして、腕が頭の高さまで到達し、手首はコックされ、クラブヘッドが頭上後方に至る。バックスイングが完了した状態をトップといい、トップから切り返してダウンスイングに入る。ダウンスイングはクラブヘッドを要求された方向へ最大スピードで移動させ、インパクトを迎えることが目的である。その際に、身体の並進運動や回転運動、また、手首、肘、肩など様々な関節運動によってインパクト時のクラブヘッドのスピードや、フェースの向きなどが変化する。インパクトでクラブヘッドとボールが衝突し、衝突している間の挙動によって、その後の結果が決まる。フォロースルーでは、衝突までの身体とクラブの運動を徐々に減速させる。そして、減速し終えたところでフィニッシュを迎える。ゴルフスイングは全体を通して3秒程度で、ボールとの接触時間は3~4/10000秒であることが報告されており(Williams KR, Shi BL 2002)、インパクトの僅かな時間の間にパフォーマンスが決まる。

これまでの研究で、ボールの飛距離を決定するクラブヘッドに関する要素には、ヘッドスピード、ボールの当たる位置、クラブヘッドの軌跡、クラブヘッドの位置、クラブヘッドの入射角の5つがあることが報告されている(Hellstrom J 2009)。またインパクト後のボールに関しては、ボールがクラブフェースを離れた瞬間のスピード、ボールがクラブフェースを離れた瞬間の方向、ボールがクラブフェースを離れた瞬間のボールの高さ、飛行中に受ける空気抵抗の5つの条件により飛距離が決まるとされている。ボールの飛距離を決める要因の一つのヘッドスピードは、ゴルフのパフォーマンスの指標を表すハンディキャップと高い相関があることが報告されている(Fradkin AJ et al. 2004)。

またゴルフ上級者と初級者のスイングの比較を行い、その動作の違いを明らかにしている研究も数多く見られる(Okuda I et al. 2010, Horan et al. 2010)。上肢については、手首のコックを利用し、ダウンスイングの中期までアンコックを遅らせることでクラブヘッドスピードが上がるということが論じられている報告がある(Pickering WM, Vicker GT 1999)。プロゴルファーは、ダウンスイングを開始してからクラブシャフトが地面と垂直になるところから、アンコックが始まっているが、アマチュアゴルファーはダウンスイング開始とともにアンコックを行っていた。そのためにインパクトでのヘッドスピードに差が生じるとされている。別の研究ではアンコックのタイミングは、人それぞれ異なっていることが報告されており(Brown SJ et al. 2011)、手首によるクラブヘッドの加速への貢献については

明らかになっていないのが現状である。また胴体に関しては、上肢との関係性や力発揮のタイミングなどが研究されており、胴体に対して上肢のセグメントの加速を遅らせることで角速度の最大値が大きくなるとしている(Neal R et al. 2007)。また、胴体を肩と腰に分け、トップの時に左右の肩と骨盤の捻転差が大きいかほうがよりヘッドスピードが高くなることが報告されている(Joyce C et al. 2010)。ゴルフスイング時に起こる肩と腰の角度差はX-Factor と名付けられており、ダウンスイングでの X-Factor の重要性についても報告されている(Cheetham PJ et al. 2001)。胴体の柔軟性を高め、X-Factor を大きくすることでヘッドスピードが増加すると言われている。最近では胴体から下肢の股関節におけるトルク発揮の傾向についても研究されており、ゴルフ熟練者ほどダウンスイングからインパクトに向けて股関節のトルクを発揮していることが明らかとなっている(野澤ら, 2009)。

他にも男性のゴルファーと女性のゴルファーを比較している研究もあり(Horan SA et al. 2011)、男性と女性のゴルフスイングのばらつきの大さの違については、男性よりも女性の方がダウンスイング後半とインパクトの時に胴体と骨盤の回転によるばらつきが大きいと報告されている(Yungchien C et al. 2010)。

ゴルフスイングにおける上肢の運動を剛体リンクモデルでモデル化し、ヘッドスピードを向上させるスイングについて検討している報告もある(Milburn PD 1982)。二重振り子の理論を用いて、クラブヘッドの速度上昇のメカニズムを説明し、手首のコッキングの傾向や肩の下方と前方への加速と左腕のリードがクラブを同じ方向に加速させる傾向があることが明らかとなっている。またゴルフスイングをコンピュータ上でシミュレーションし力発揮のタイミングを検討している研究もあり、ダウンスイングにおける肩と手首のトルク発揮が速いほどヘッドスピードが減少すると報告されている(Neal RJ, Sprigings EJ 1999)。

ゴルフにおいてドライバー(1W)はクラブの中で最も長く飛距離と正確性を要求されるため、これまでにドライバーショットの研究が多くされてきており(Hume PA, et al 2005)、最大の飛距離を得るためには、インパクト時に角速度を最大にすることと、腕とクラブの系の長さを最大にすることが必要であるとされている。しかし、腕とクラブの系の長さは有限であるために、クラブヘッドを加速させるための床反力や体重移動などについて研究が進められている(Ball KA, Best R 2011)。また、ドライバーショットに限らず、ゴルフクラブの種類によるスイングの違いについての研究もされており(Egret C et al. 2003)、ドライバー、5番アイアン、ピッチングウェッジで各フェーズの姿勢やヘッドスピードが異なる



ると報告されている。サンドウェッジの狙う距離を変えたコントロールショットと、5番アイアンとドライバーショットのフルスイングの違いについての研究もあり(Tinmark F et al. 2010)、ハーフショットやフルショットに関係なく、近位から遠位への運動連鎖が起きていることが明らかとなっている。

またゴルフスイングは、クラブヘッドが1つの平面(プレーン)上で運動するのが良いと指導の現場では言われており、実際にプレーン上をクラブヘッドの軌跡が通るかを検証している研究もある(Coleman S et al. 2005, 2007)。左腕とクラブの二つのセグメントのダウンスイングの軌跡は、1つのプレーンではなく、それぞれ異なるプレーンを描くことが明らかとなっており、ダウンスイング中に変化することが明らかとなっている。さらにインパクト前後のクラブの軌跡が飛球線方向に対して平行ではなく傾いていることが明らかとなっている。またそのプレーンは、ドライバー、5番アイアン、ピッチングウェッジで異なっており、同じクラブでもゴルファーによってプレーンの傾きが異なることが明らかとなっている。

キネティクスの研究については、ゴルフスイング中の筋活動や、フォースプレートを用いた体重移動に関する報告(川上ら 2006, Okuda I et al. 2010)が見られる。プロゴルファーはスイング中、体幹、肩、腕、手の筋群がインパクトに合わせて集中した活動を行っており、またインパクト前の右足体重によって身体重心にボール進行方向の速度を与えるとともに、左脚が反動動作を用いた脚伸展を行うことで、ヘッドスピードを高めていることが示唆されている。一方アマチュアゴルファーは、バックスイング時やインパクト後などに不必要な筋活動を行っており、また胴体の飛球方向への回転と重心の体重移動が早く行われる傾向にあった。また、ダウンスイングにおける左右脚の圧力中心の傾向は2つのパターンがあると報告されており(Ball KA, Best R 2011)、インパクトまで飛球線方向に圧力中心が移動するタイプと、ダウンスイング中盤から圧力中心が軸足にもどるタイプがあることが明らかとなっている。さらにドライバーだけでなく3番アイアンと7番アイアンでも同様の結果であった。

ゴルフにおいて、そのパフォーマンスは、ボールとクラブが接触しているインパクト時のヘッドの挙動によって決まり、インパクト中のクラブフェースのスピードと方向は、フェースの向きやボールとの衝突位置に依存するとされている(Williams KR, Shi BL 2002)。しかし、フェース面の角度や速度は、インパクトのわずかな時間(300~400 $\mu$ s)でボールとの衝突によって変化し、ボールの弾道と初速に影響を与えるため、そのゴルフスイングの

性質上、身体やクラブの動作を定量化するための3次元動作解析では、インパクトの瞬間のデータを撮ることは難しい。そのため、ハイスピードカメラを用いてインパクトの瞬間だけを撮影し、クラブヘッドとボールの衝突による挙動を正確に捉える必要があるとされている。

これまでの研究で、ゴルフスイング中のエネルギーや仕事量に着目した研究もあり(Nesbit SM 2005)、全身を15個の剛体セグメントでモデル化し、各関節の仕事量の計算を行っている。スイング中の仕事量は、腰部、胸部、左右股関節が多くの割合を占めていることが明らかとなった。しかし、身体運動によって生み出されたエネルギーをどれだけクラブヘッドからボールに伝えられたかに関しては、報告がないのが現状である。

## 1.2 本論文の目的

ゴルフは、決められた距離のコースをどれだけ少ない打数でホールアウトすることができるかを競う競技である。ドライバーショットの飛距離は次の1打の距離に大きく影響するため、ゴルフのパフォーマンスにも影響を与える。つまり、ゴルフにおいてドライバーのヘッドスピードを向上させ長い飛距離を得ることが、パフォーマンス向上につながる。その様な背景のもと、ヘッドスピード、もしくはヘッドの加速に着目して数多くの研究が行われ、様々な知見が得られてきた。まず、プロゴルファーとアマチュアゴルファーのボールインパクト時のヘッドスピードを比較した研究では、プロゴルファーのヘッドスピードが有意に高かったことを報告した(野沢ら 2003)。また、ヘッドスピードの加速に関する理論的研究も行われてきた。クラブヘッドの加速をインパクト直前における引き動作によって高められることを数学的に説明し、引き動作の重要性が明らかになった(Miura 2001)。様々な研究が行われてきた一方、ヘッドスピード向上に関連する要因は数多く(Hume et al. 2005)、未だに明らかになっていないことが多いのが現状である。

ゴルフのドライバーショットにおいて重要となるのは、飛距離と方向性であり、ヘッドスピード、つまりインパクトにおける並進運動エネルギーの向上が必要であるが、実際には、ゴルフスイングを通してヘッドスピードの向上と共にインパクト直前までにどれだけクラブヘッドにエネルギーを伝え、さらにインパクト時のクラブヘッドのエネルギーをどれだけボールに伝えられたかが重要となる。これまでのゴルフに関する研究では、屋内の実験が多く、ボールの落下地点まではわからないためヘッドスピードを1つのパフォーマンスの指標とし、飛距離を伸ばすためのヘッドスピード向上に関する研究がされてきた

(Nesbit et al. 2009)。しかし、インパクトまでに蓄えられたクラブヘッドのエネルギーが、どの程度ボールに伝わっており、ゴルフの技術的なレベルによってどのくらい変化するのは、未だ明らかとなっていない。

本研究ではゴルフスイング中に大きな身体動作を要する女性のゴルファーを対象とし、動作解析を行った。また、これまでに行われてきた研究の被験者は、その群分けについてハンディキャップを採用しているが、ハンディキャップはゴルフにおける変動的な総合評価であり、スイングにおけるパフォーマンスを評価したものではない。その他、ボール初速度による区別をしている研究も存在するが、その対象群において有意な差は見られないと報告されている(Myers et al. 2007)。このことからスイングの技術レベルの違いについてはプロゴルファーとアマチュアゴルファーとし、技術レベルの明白な群について比較を行った。

以上のことから本論文では、女子プロゴルファーのダウンスイング中の身体とクラブヘッドの動きの特徴(キネマティクス)と、インパクトでのクラブヘッドからボールへのエネルギーの伝達(エナジェティクス)に着目した。そして、女子プロゴルファーにおけるヘッドスピード向上に寄与する身体動作の特徴点を明らかにすることと、クラブヘッドの運動をエネルギー学的観点から捉え、インパクト時におけるクラブヘッドからボールへのエネルギー変換効率を明らかにすることを目的とした。

## 第2章 方法

### 2.1 被験者の身体特性

被験者は女子プロゴルファー6名、女子アマチュアゴルファーの上級者6名、初級者3名とし、それぞれの身体特性は以下のとおりである(表 2-1)。

表 2-1 被験者の身体特性

プロ			
	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)
PH	41	161.0	62.6
PM	35	157.4	56.7
PN	51	162.3	62.4
PI	50	164.4	64.5
PMA	33	168.7	52.3
POK	34	164.8	55.9
mean	40.7	163.1	59.1
sd	8.1	3.8	4.8

アマチュア(上級者)					アマチュア(初級者)				
	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	平均スコア		年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	平均スコア
AS	41	157.0	56.0	79	AMI	50	162.0	60.1	90
AKU	57	163.0	46.0	80	AYA	54	160.7	52.8	95
AH	46	159.0	51.0	82	AYO	52	163.5	56.4	95
AMU	47	153.0	49.0	84	mean	52.0	162.1	56.4	93.3
AM	49	168.0	60.0	85	sd	1.6	1.4	3.7	2.9
AK	47	157.0	47.0	87					
mean	47.8	159.5	51.5	82.8					
sd	5.2	5.3	5.5	3.1					

第3章のクラブヘッドの力学的エネルギーとスピード変化率に関しては、プロとアマチュア初級者の2群で比較を行い、身体各部位のスピードに関しては、プロ6名とアマチュアの上級者6名、初級者3名の3群の比較を行った。

第4章では、プロ6名とアマチュア上級者6名のエネルギー変換効率について比較を行った。

### 2.2 モーションキャプチャシステム

モーションキャプチャシステムは、モーションキャプチャ用カメラ(Raptor-E、Motion Analysis社)と、カメラの制御、キャリブレーション、マーカデータの収集、ポストプロセスなどを行えるMAC3D Systemの基幹ソフトウェアであるCortex(Motion Analysis

社) を使用する。L字フレームとワンドを使用し、キャリブレーションを行ったあと、被験者に反射マーカを貼り付け、リアルタイムで3次元座標の計測を行った。



図 2-1 モーションキャプチャ用カメラ(Raptor-E)

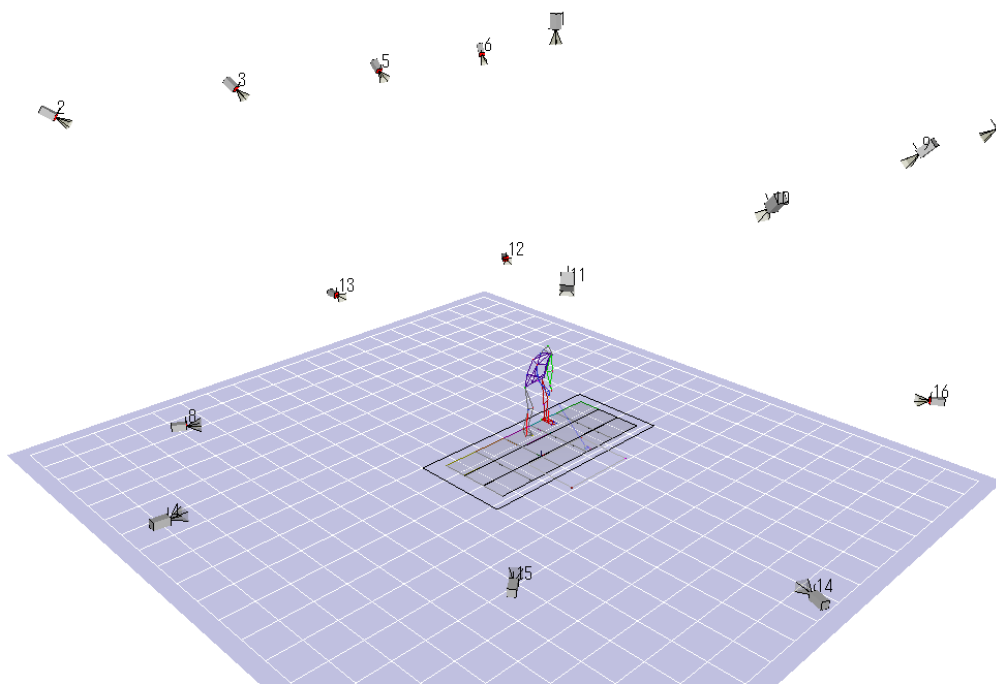


図 2-2 モーションキャプチャシステム(Cortex)

### 2.3 ハイスピードカメラ

ゴルフにおいてインパクトの時間は3~4/10000秒といわれ、モーションキャプチャで撮影するのは困難である。そこで、ハイスピードカメラ(MEMRECAM fkK5、nac社)を用いて、インパクトの瞬間を撮影した(10000fps)。撮影した動画をノートパソコンにダウンロードし、ボール速度をデジタイズによって算出した。



図 2-3 ハイスピードカメラ(MEMRECAM fkK5)



インパクトの 10 フレーム前

インパクトの瞬間



ボール打ち出しの瞬間

ボール打ち出し 10 フレーム後

図 2-4 インパクト前後の分析写真

### 第3章 女子プロゴルファーのドライバーショットにおけるクラブヘッドの加速に関連する身体動作の特徴

#### 3.1 目的

第3章では、女子プロゴルファーにおけるヘッドスピード向上に寄与する身体動作の特徴を明らかにすることを目的とした。ゴルフの技術レベルで群分けすることにより、プロゴルファーのスイングの特徴を明らかにし、またアマチュアゴルファーとの差の比較を行った。これまでの研究からヘッドスピードが有用な指標であることは明らかであるが、力学的もしくはエネルギー学的な視点からクラブヘッドの運動を捉えようとする際、十分ではない可能性が示唆される。物体（クラブヘッド）の運動をエネルギーの視点から考える場合、3種類のエネルギー（並進の運動エネルギー、回転の運動エネルギー、位置エネルギー）を考慮する必要がある。しかしながら、ヘッドスピードのみで運動を考えることは、並進の運動エネルギーだけに着目することと等しい。つまり、その他の2種類のエネルギーが無視されており、ヘッドスピードのみではヘッドの運動が正しく捉えられない可能性が示唆される。そこで本研究では、ヘッドスピード向上に寄与する身体動作について調べる前に、ヘッドスピードのみに着目する妥当性についてエネルギーの観点から検討した。

#### 3.2 実験方法

被験者は女子プロゴルファー6名(年齢  $41.4 \pm 7.4$  歳、身長  $163.6 \pm 3.4$ cm、体重  $60.2 \pm 5.4$ kg、右打ち)と女子アマチュアゴルファー上級者6名(年齢  $47.8 \pm 5.2$  歳、身長  $159.5 \pm 5.3$ cm、体重  $51.5 \pm 5.5$ kg、平均スコア  $82.8 \pm 3.1$ 、右打ち)、女子アマチュアゴルファー初級者3名(年齢  $52.0 \pm 1.6$  歳、身長  $162.1 \pm 1.4$ cm、体重  $56.4 \pm 3.7$ kg、右打ち)とした。実験は室内で行い、3メートル四方の打球ネットを設置し、ゴルフ用のマットとゴム製のティーを使用し、被験者にドライバーショットを打たせた(図 3-1)。使用クラブは、各自が普段使用しているドライバーとし、ボールは実球を用いた。実験前に十分に練習をさせて、環境に慣れさせてから10回のドライバーショットの測定を行った。被験者への指示は、実際にゴルフ場のティーグラウンドから打つ時のようにストレートボールを打つように指示をした。

各被験者のスイング動作は、モーションキャプチャシステム(Motion Analysis 社)を16台のカメラを用いて計測した。フレームレートは250fpsとし、全身に40点、マットに4点、クラブに6点、計50点のマーカを貼り付け測定を行った(図3-2, 3)。

身体に貼り付けたマーカから得られた3次元座標位置のデータは、残差分析を行った先行研究(Tinmark F et al. 2010)をもとにバターワースフィルタを遮断周波数14Hzでノイズ除去を行った。



図 3-1 実験風景

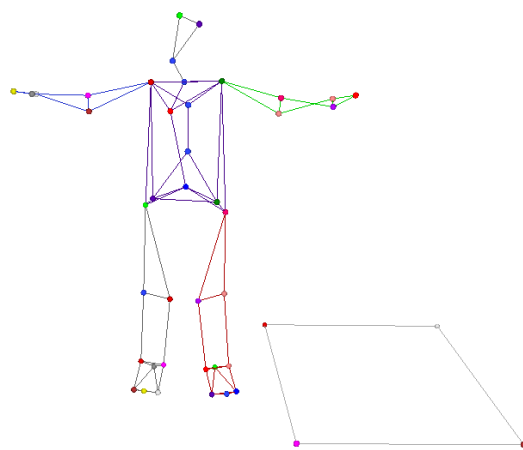


図 3-2 身体のマーカセット



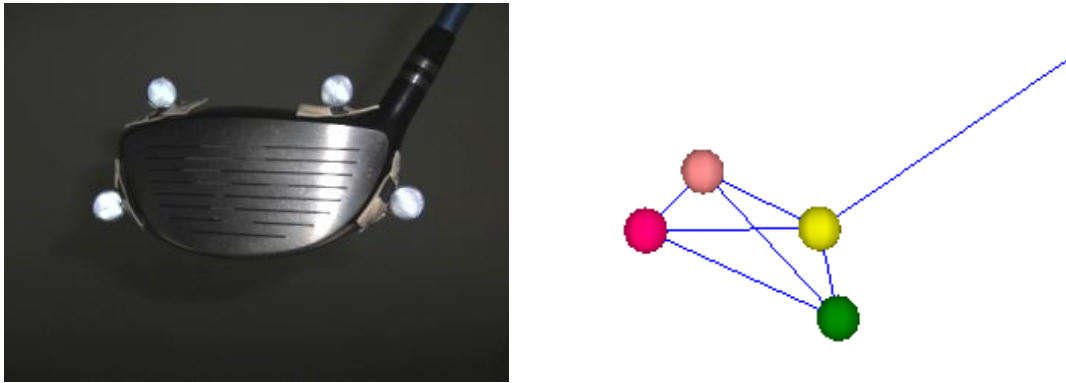


図 3-3 クラブヘッドのマーカセット

グローバル座標系の座標軸は X 軸を飛球線方向、Y 軸を体の前後方向(後方が正)、Z 軸を鉛直方向とした。また、クラブに付けたマーカからローカル座標系を設定し、x 軸をアドレス時のフェース面水平方向、y 軸をフェース面上下方向、z 軸をフェース面垂直方向とした(図 3-4)。

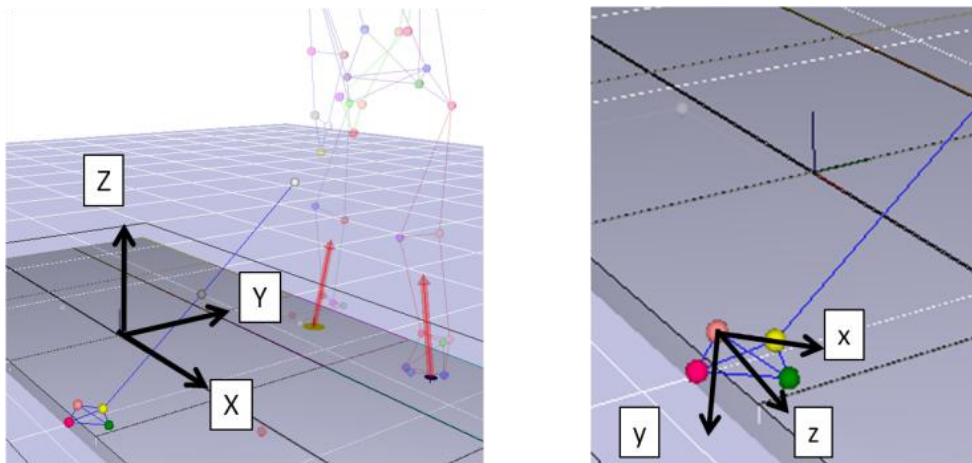


図 3-4 グローバル座標系とローカル座標系

#### データ分析

クラブヘッドスピードは、インパクトでの減少量を明確にするため、クラブヘッドに貼り付けたマーカからフィルタ処理を行わず、そのままの 3 次元データを用いた。分析範囲は、ダウンスイングからインパクト、フォロースルーとした。

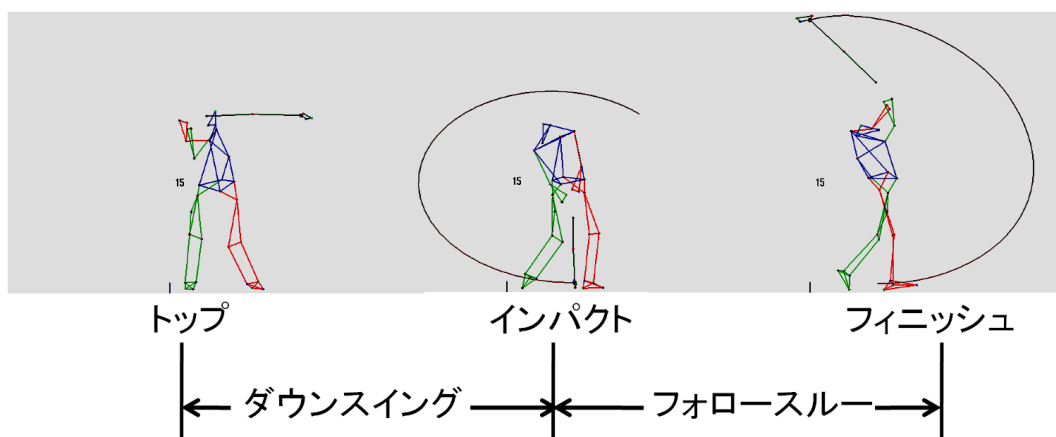


図 3-5 スイングの分析範囲

ある時点  $i$  でのクラブヘッドスピード  $v_i$  を(式 1)のように定義する。

$$\begin{aligned}
 V_{X_i} &= (X_{i+1} - X_i) / \Delta t \\
 V_{Y_i} &= (Y_{i+1} - Y_i) / \Delta t \\
 V_{Z_i} &= (Z_{i+1} - Z_i) / \Delta t \\
 v_i &= \sqrt{V_{X_i}^2 + V_{Y_i}^2 + V_{Z_i}^2} \quad (1)
 \end{aligned}$$

$V_{X_i}, V_{Y_i}, V_{Z_i}$  :  $i$  フレームでの各成分の速度[m/s]

$v_i$  : ヘッドスピード[m/s]

運動エネルギー(KE: Kinetic Energy)は 2 種類あり、1 つは並進速度によるものであり、もう 1 つは回転速度によるものである。クラブヘッドの運動エネルギーは、ヘッドスピードとクラブヘッドに設定したローカル座標系の回転から(式 2)によって、並進成分と回転成分を足し合わせ求めた。

$$KE = \frac{1}{2} mv^2 + \frac{1}{2} I\omega^2 \quad (2)$$

並進運動エネルギー(TE: Translational Kinetic Energy)

$$TE = \frac{1}{2} mv^2$$

$m$  : ヘッド質量 ( $m = 0.20$ [kg])

$v$  : ヘッドスピード[m/s]

クラブヘッドの重量に規則はないが、現在市販されているクラブの平均の 200[g] とした。

回転運動エネルギー(RE: Rotational Kinetic Energy)

$$RE = \frac{1}{2} I \omega^2$$

I : 慣性モーメント (I = 5.9 × 10<sup>-4</sup> [kg · m<sup>2</sup>])

ω : 角速度[rad/s]

慣性モーメントIはゴルフのルールブックの規則から最大値である 5900[g · cm<sup>2</sup>]とした。  
角速度ωは、グローバル座標系からクラブヘッドのローカル座標系への座標変換行列T<sup>GL</sup>

$$T^{GL} = e^{(G)} \cdot e^{(L)T} \quad (3)$$

e<sup>(G)</sup> : グローバル座標系における基底ベクトル

e<sup>(L)</sup> : ローカル座標系における基底ベクトル

を求め、その転置行列と時間微分したものを掛け合わせることで角速度の歪対象行列ω̃

$$\tilde{\omega} = (T^{GL})^T \cdot \dot{T}^{GL} = \begin{bmatrix} 0 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 0 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

(T<sup>GL</sup>)<sup>T</sup> : 座標変換行列の転置行列

ḡ<sup>GL</sup> : 座標変換行列の時間微分

を求め、クラブヘッドの角速度成分(ω<sub>x</sub>、ω<sub>y</sub>、ω<sub>z</sub>)を求めた。

それぞれの成分の回転エネルギーの総和から全体の回転運動エネルギーを求めた。

$$\frac{1}{2} I \omega^2 = \frac{1}{2} I_x \omega_x^2 + \frac{1}{2} I_y \omega_y^2 + \frac{1}{2} I_z \omega_z^2 \quad (5)$$

位置エネルギー(PE: Potential Energy)

$$PE = mgh$$

m : ヘッド質量 (m = 0.20[kg])

g : 重力加速度(9.8[m/s<sup>2</sup>])

h : グローバル座標系におけるヘッドの地面からの高さ[m]

以上の計算式を用いて、並進運動エネルギー、回転運動エネルギー、位置エネルギーを求めた。これらの計算は、モーションキャプチャシステムによって計測された3次元座標位置のデータから、解析ソフトMATLABを用いて算出した。

### 3.3 結果

プロゴルファーとアマチュアゴルファーにドライバーショットを行わせ、その時の身体動作と、クラブヘッドの動きについて、モーションキャプチャシステムを用いて計測し分析した。実験データとして抽出した身体各部位は、ゴルフスイングに重要な関連を有する左肩、左肘、左手首およびクラブヘッドとした。

エネルギー学的観点からクラブヘッドの動きについて分析し、ドライバーショットにおけるクラブヘッドのエネルギー変化を、実験方法の各計算方法に従い、並進運動エネルギー(KE)、回転運動エネルギー(RE)、位置エネルギー(PE)として求めた。

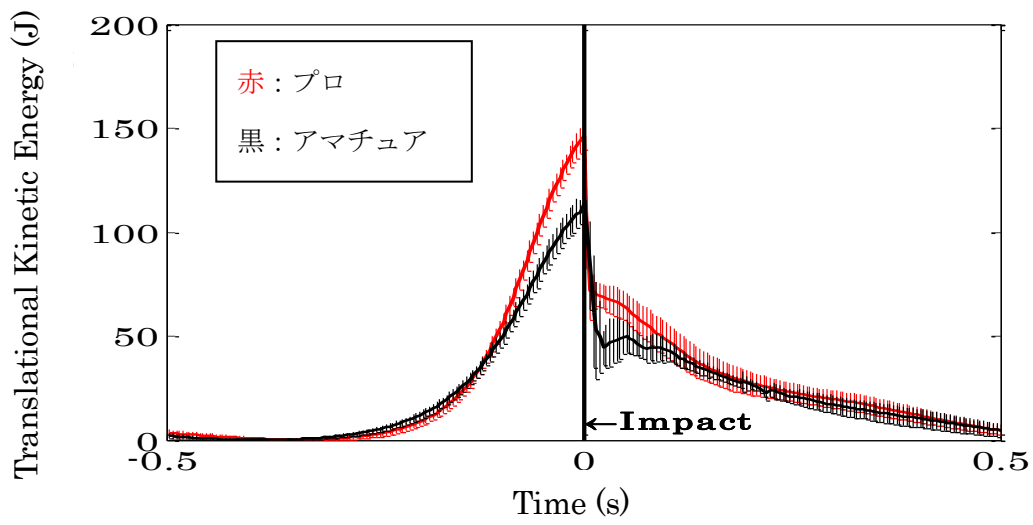


図 3-6 並進運動エネルギー

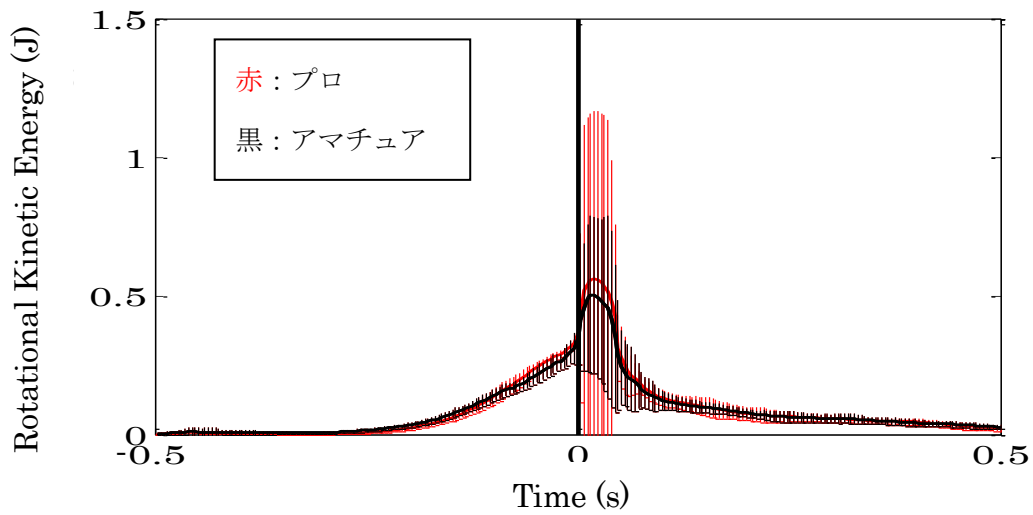


図 3-7 回転運動エネルギー

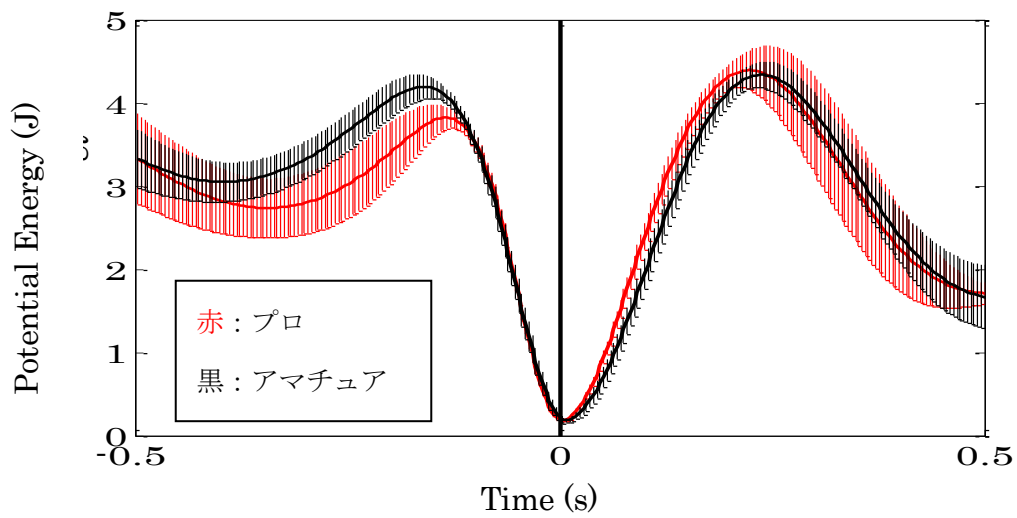


図 3-8 位置エネルギー

クラブヘッドの総エネルギー量は、並進運動エネルギー(KE)と回転運動エネルギー(RE)と位置エネルギー(PE)の総和であるから、

$$E = TE + RE + PE \quad (7)$$

で表すことができる。総エネルギー量のグラフを以下に示す。

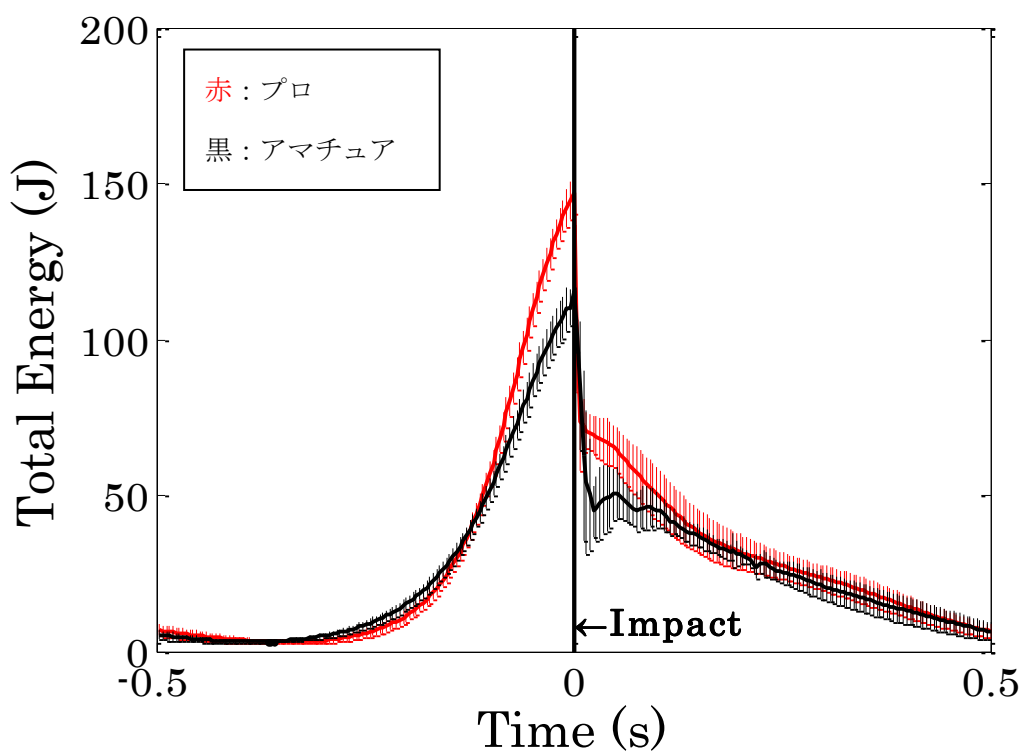


図 3-9 Total energy

インパクト直前のクラブヘッドのエネルギーは、並進運動エネルギーが大きく(146.09 ± 6.66[J])、回転運動エネルギー(0.33 ± 0.01[J])と位置エネルギー(0.19 ± 0.01[J])は小さかった。また、並進運動エネルギーと回転運動エネルギーはともにインパクトまで増加する傾向を示した。

インパクト直前において並進の運動エネルギーの占める割合が多い(インパクト直前 99.6[%])ことから、ヘッドスピードに着目することの妥当性が示された。

$$E = KE + RE + PE \approx KE \quad (7)'$$

ここからヘッドスピードのみに着目してクラブヘッドの加速に関する身体動作の特徴について検討する。

プロ群とアマチュア群の両群において、インパクトを0秒とし0.5秒前からのヘッドスピードを求めた結果を以下に示す。

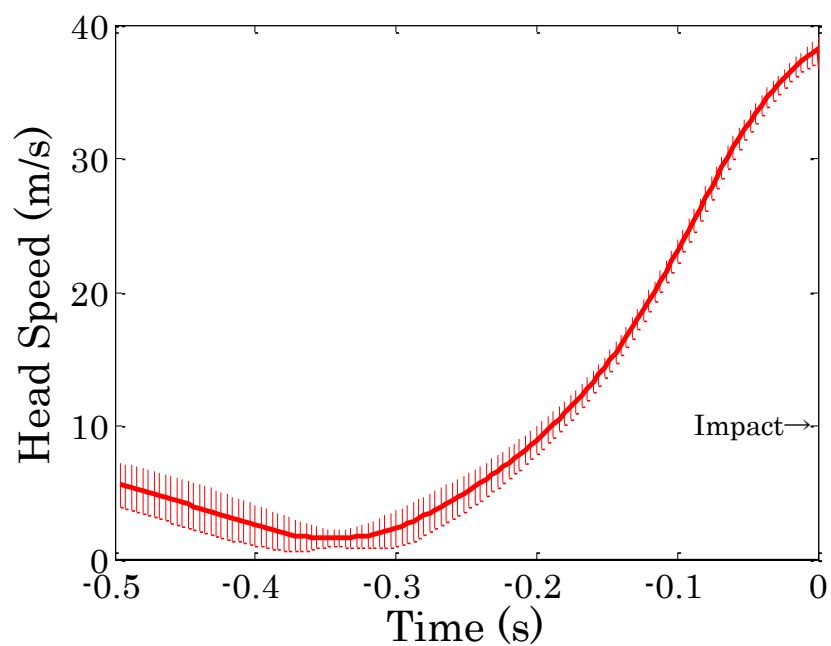


図 3-10 プロゴルファーのヘッドスピード

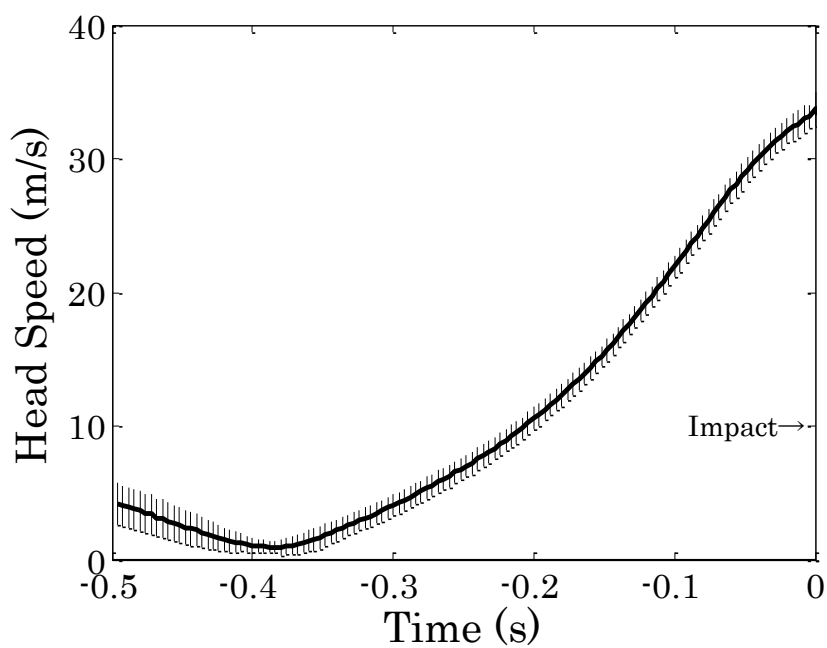


図 3-11 アマチュアゴルファーのヘッドスピード

ヘッドスピードは、-0.4~-0.3 秒の間に極小値を取っており、この期間にバックスイングからダウンスイングへの切り返しであるトップを迎えていた。その後のダウンスイングにおけるヘッドスピードはインパクトまで増加し続け、インパクトで最大となっていた。

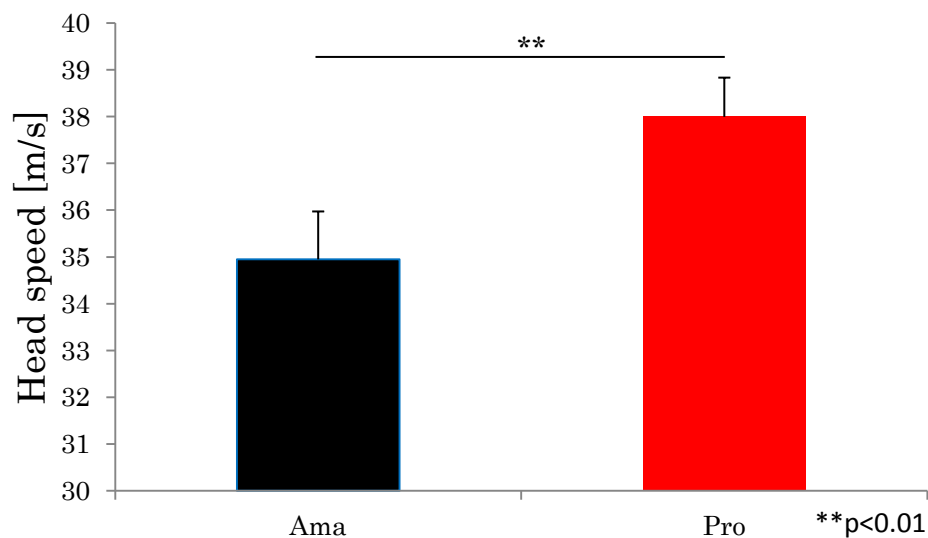


図 3-12 ヘッドスピードの比較

インパクト直前におけるプロとアマチュアのクラブヘッドスピードの比較を行ったところ、プロ群が  $38.0 \pm 0.8$  [m/s] に対しアマ群が  $34.9 \pm 1.0$  [m/s] であった ( $p < 0.01$ )。

ダウンスイングにおいてヘッドスピードの変化率は、インパクト前-0.05[s]付近で最大値を示し、その最大値はプロとアマチュアで有意な差があった ( $p < 0.01$ )。また、左肩、左肘、左手首においても変化率を求め、最大値についてプロとアマチュアで比較を行った。比較を行ったマーカーの位置は以下の点とした。

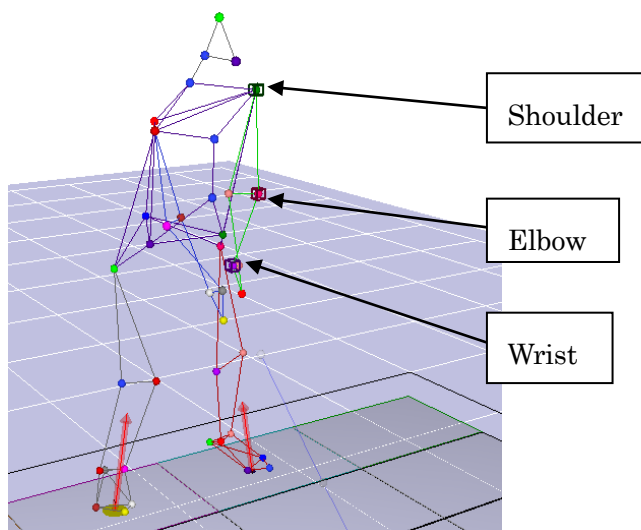


図 3-13 計測に用いたマーカー位置



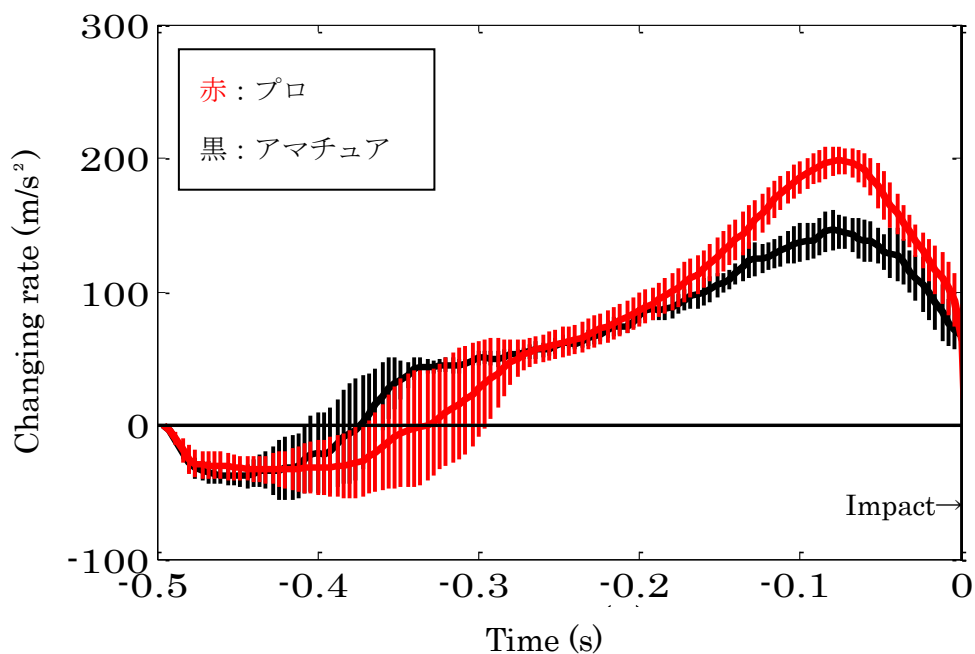


図 3-14 ヘッドスピードのスピード変化率

クラブヘッドのスピード変化率はプロとアマで同様の傾向を示し、インパクト前約 0.1 秒付近で最大値を示した。

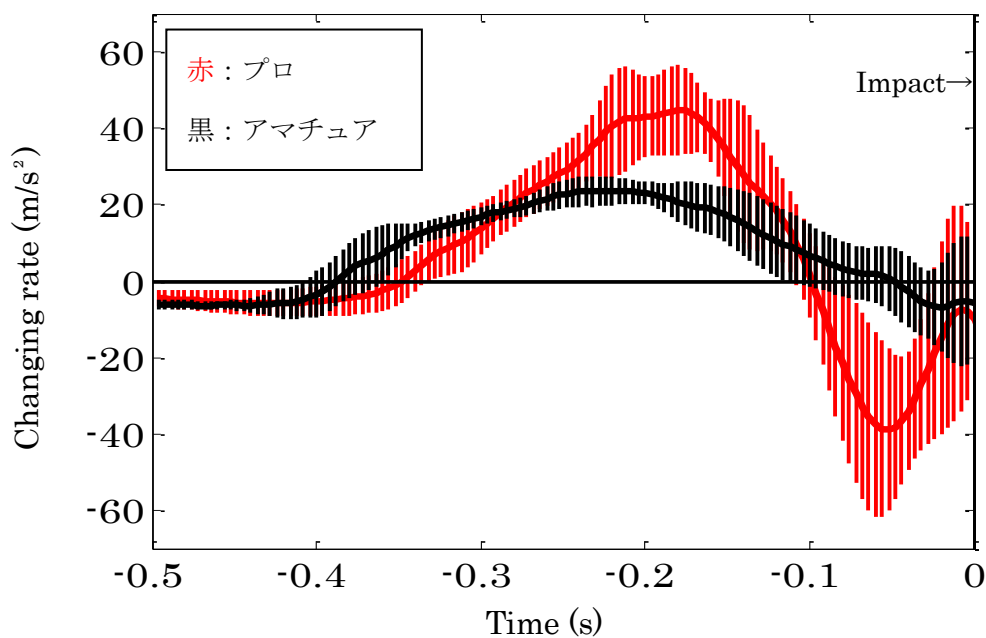


図 3-15 手首のスピード変化率

手首のスピード変化率は両群で異なる傾向を示しており、プロは最大値を迎えた後急激に減少し、インパクト直前で上昇した。アマは、最大値の後に緩やかな減少を示した。

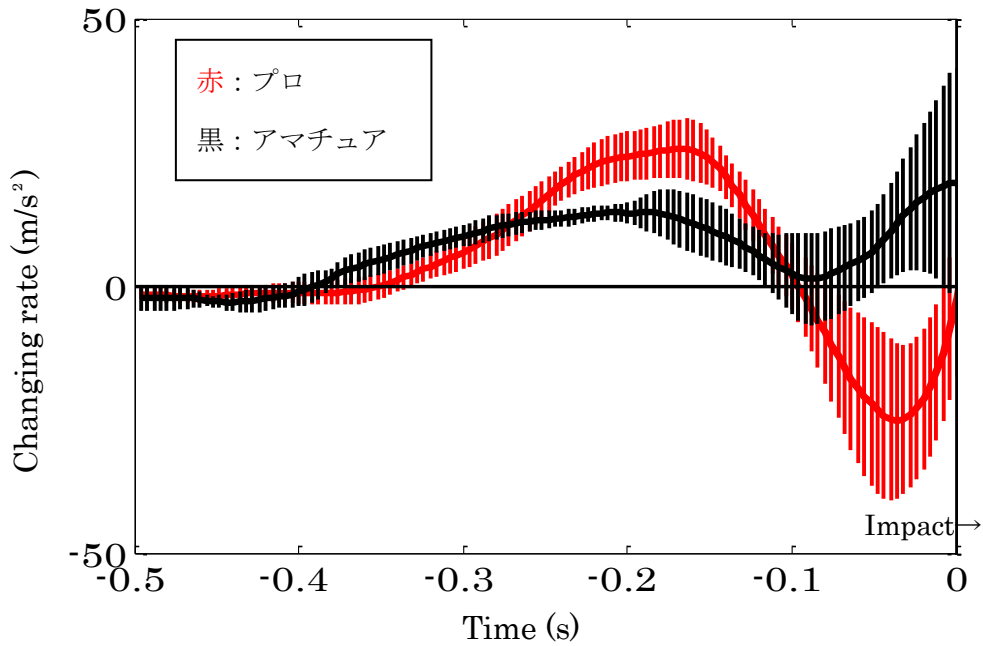


図 3-16 肘のスピード変化率

肘のスピード変化率はプロとアマで、インパクト前約 0.1 秒から正負逆の傾向を示した。プロが負の値となり減速傾向を示し、アマは正の値となり加速傾向を示した。

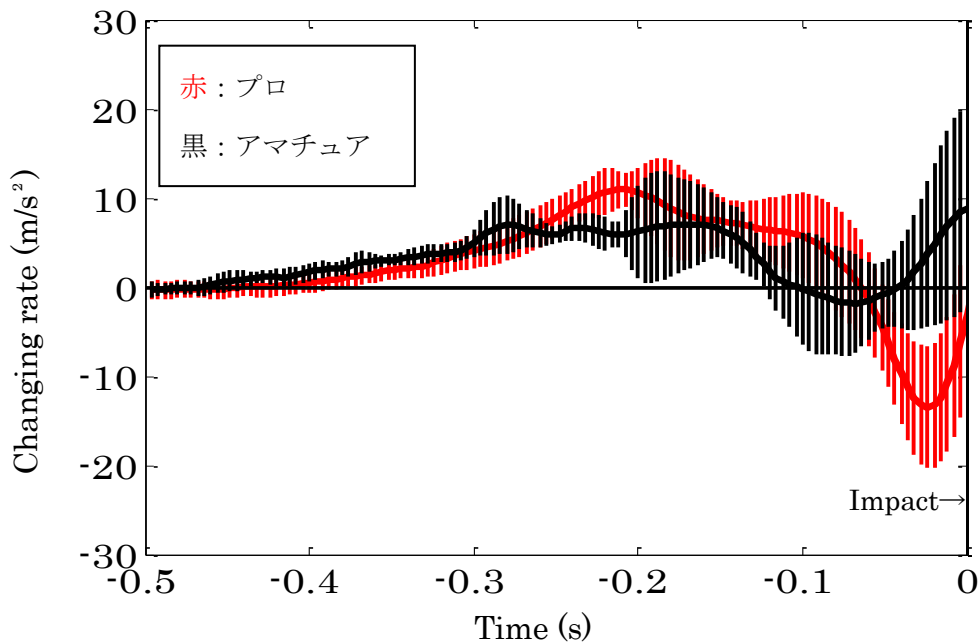


図 3-17 肩のスピード変化率

肩のスピード変化率は、インパクト前約 0.05 秒から正負逆の傾向を示した。肘と同様にプロが負の値となり減速傾向を示し、アマは正の値となり加速傾向を示した。

プロとアマチュアにおけるクラブ、手首、肘、肩のスピード変化率の最大値を比較すると以下のようなになる。

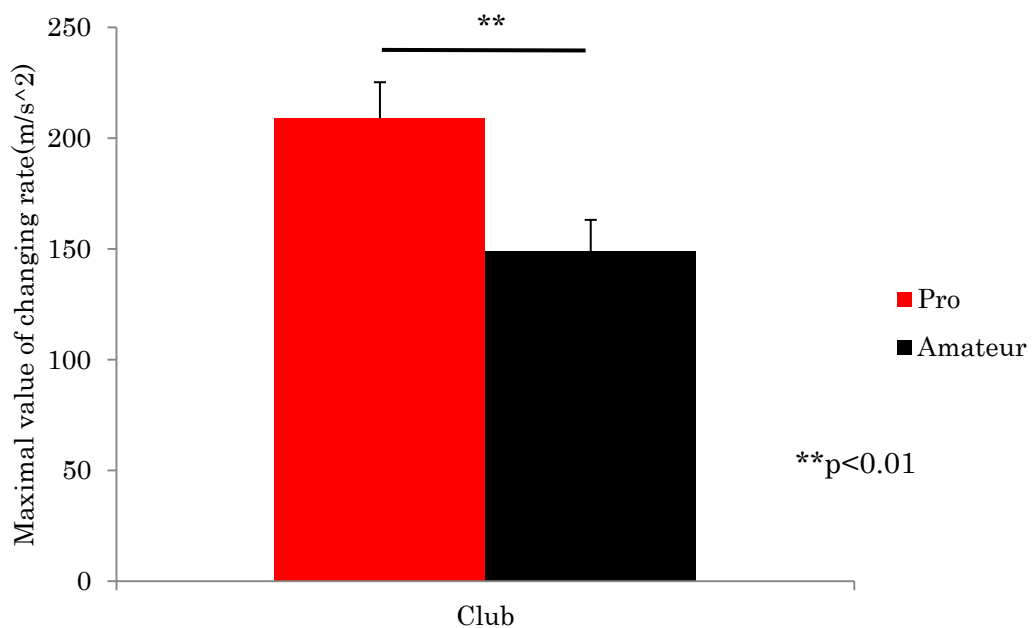


図 3-18 ヘッドスピードのスピード変化率最大値

プロとアマチュアで、ダウンスイング中におけるクラブヘッドのスピード変化率の最大値に有意な差が認められた( $p < 0.01$ )。

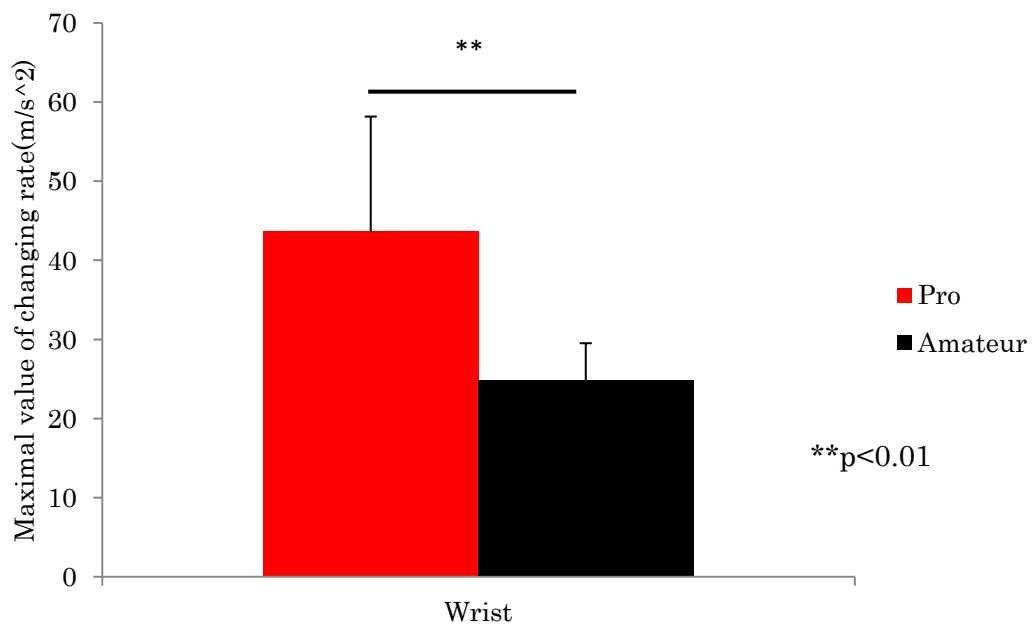


図 3-19 手首のスピード変化率最大値

クラブヘッドと同様にプロとアマチュアで、手首のスピード変化率の最大値に有意な差が認められた( $p < 0.01$ )。

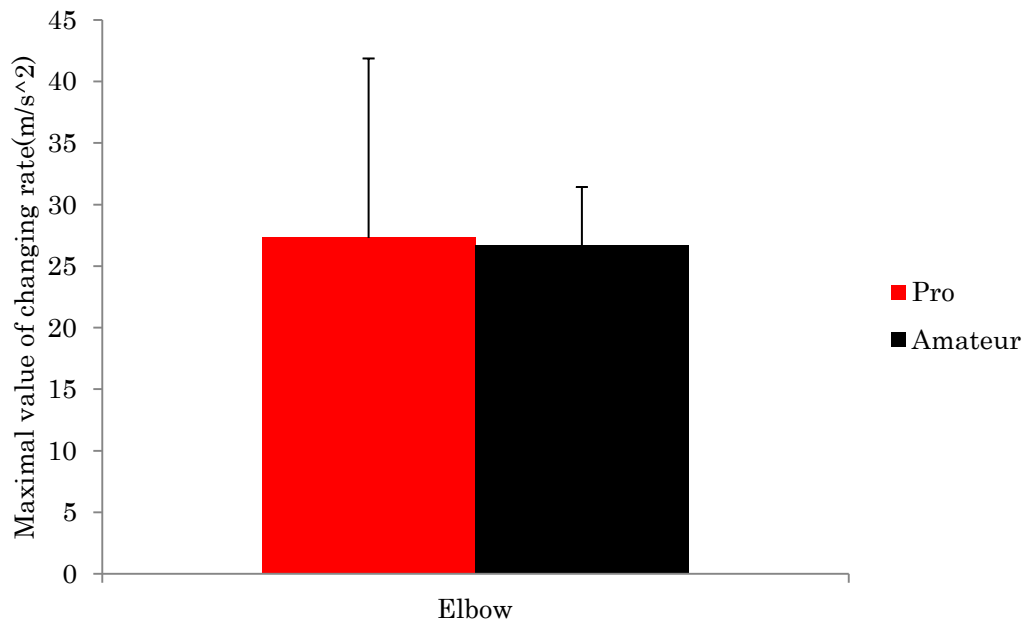


図 3-20 肘のスピード変化率最大値

肘のスピード変化率の最大値では、クラブヘッド、手首で見られたような有意な差は認められなかった。

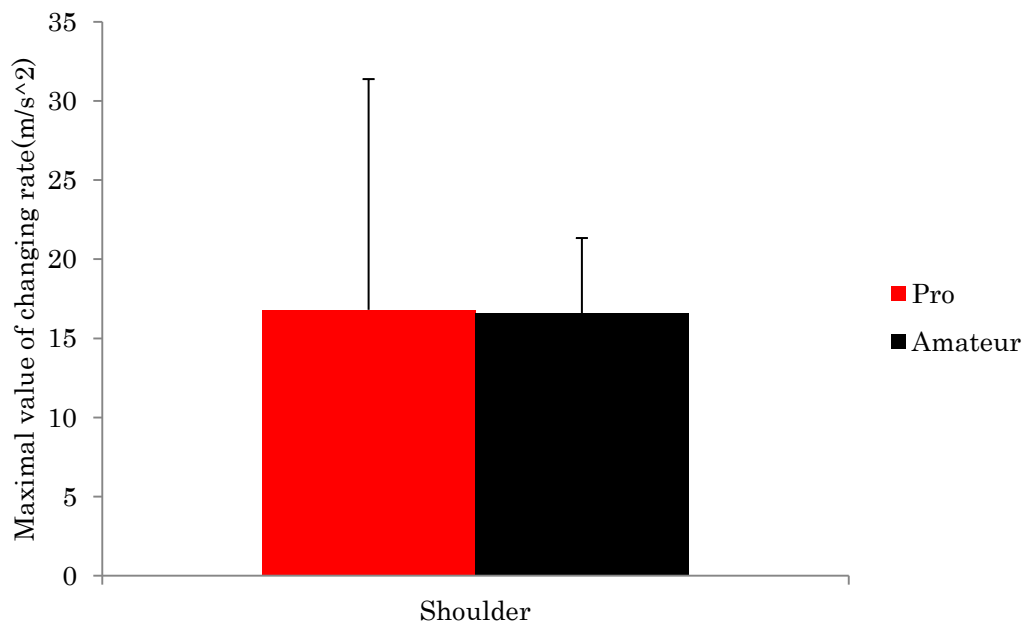


図 3-21 肩のスピード変化率最大値

肘と同様に肩のスピード変化率の最大値では、プロとアマチュアで有意な差は認められなかった。以上の結果から、クラブのヘッドスピード変化率、手首のスピード変化率の最大値には有意な差があり ( $p < 0.01$ )、肘と肩のスピード変化率の最大値には有意な差が無かったことが明らかとなった。

プロのスピード変化率の最大値に対するアマチュアの割合を示すと以下ようになる(表1)。結果は、クラブのヘッドスピード変化率で68.7[%]、手首のスピード変化率で56.9[%]、肘のスピード変化率で97.8[%]、肩のスピード変化率で98.8[%]を示した。プロに対するアマチュアの割合は、手首から肘にかけて急激に割合が大きくなっていった。また、肘と肩では100%近い値を示していた。

表 3-1 プロに対するアマのスピード変化率最大値の割合

Club[%]	Wrist[%]	Elbow[%]	Shoulder[%]
68.7	56.9	97.8	98.8

以上の結果から、プロとアマチュアの身体各部位のスピード変化率において比較すると、肘まではアマチュアもプロと同等に加速が行えているが、肘から先でアマチュアの加速がプロの身体部位におけるスピードに及ばないことが明らかとなった。これは、プロとアマチュアで肘の動作の違いによって上腕部の加速に違いが現れていると考えられる。実際にプロとアマチュアの上級者、初級者の3群におけるダウンスイング中の手首、肘、肩のスピードを重ねて比較すると、結果は以下ようになった(図 3-22)。

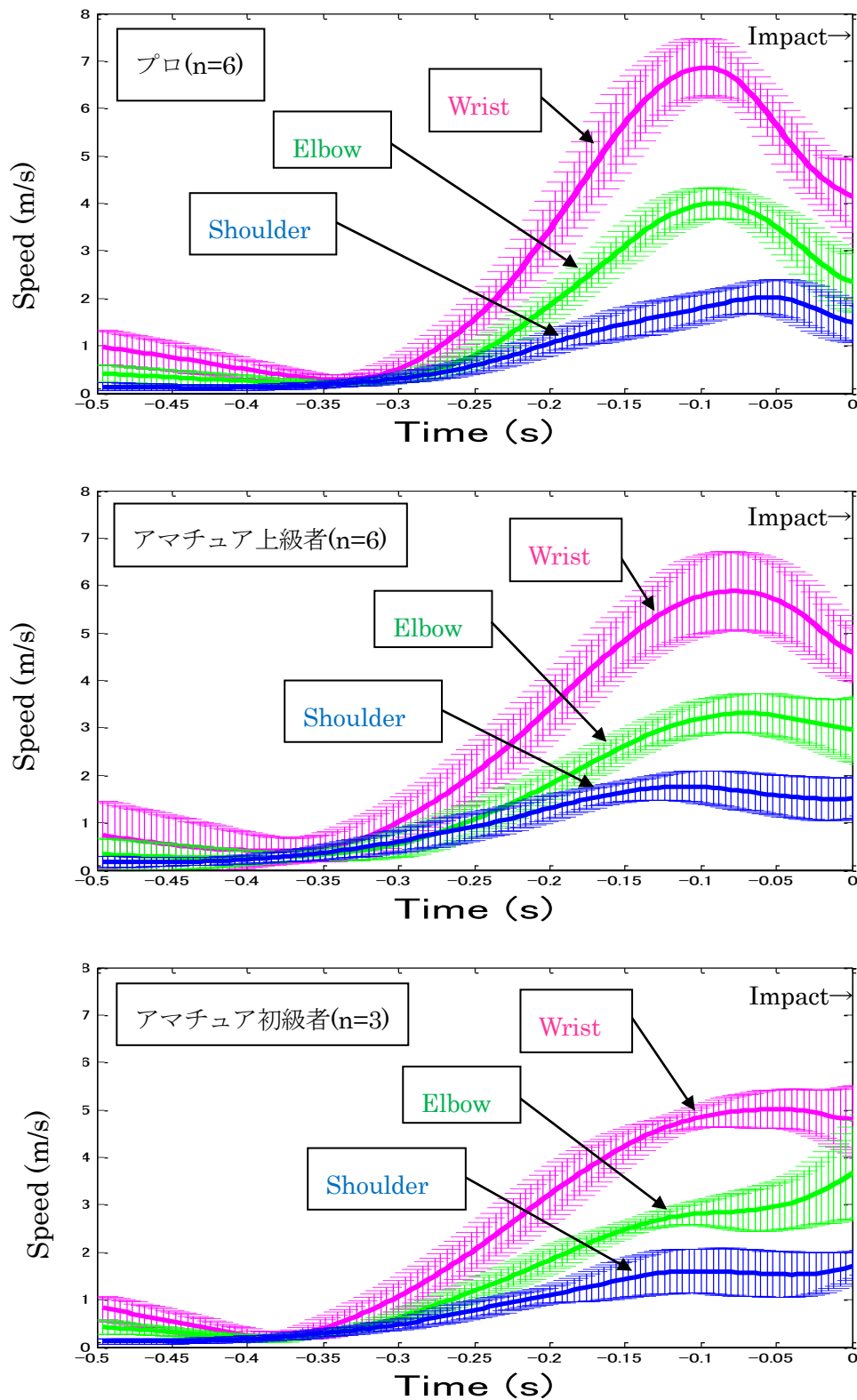


図 3-22 プロとアマ(上級者と初級者)の手首、肘、肩のダウンスイングにおけるスピード変化

プロとアマ(上級者と初級者)全群においてクラブヘッドスピードと同様に手首、肘、肩のスピードは、-0.4~-0.3秒のトップのあたりで0に近い値を取っており、ダウンスイン

グ開始とともに手首、肘、肩が加速していた。そして、ダウンスイングが進むにつれて、手首、肘、肩の順にスピードが大きくなっていった。そして、アマチュア初級者の肘と肩以外は、最大値を迎えた後インパクトまで減少する傾向が見られた。プロは、ダウンスイング中に手首、肘、肩の順番でピークを迎えていた。最大値を迎えた後には手首と肘のスピードは急激に減少し、肩は緩やかに減少した。アマチュアは、身体各部位のすべてにおいてプロに比べて低い最大値を示した。プロは、インパクト前に肩、肘、手首の全てを減速させていたが、アマチュアの上級者から初級者へと技術レベルの変化に伴って、その傾向が異なっていた。アマチュア上級者では、手首のスピードはインパクト前に減速しているが、肘のスピードはプロほど大きな減速はみられなかった。アマチュア初級者では、手首の減速がさらに小さくなり、肘と肩に関してはインパクト直前で加速していることが明らかとなった。

インパクト直前における身体各部位のスピードは以下の結果となった(図 3-23)。

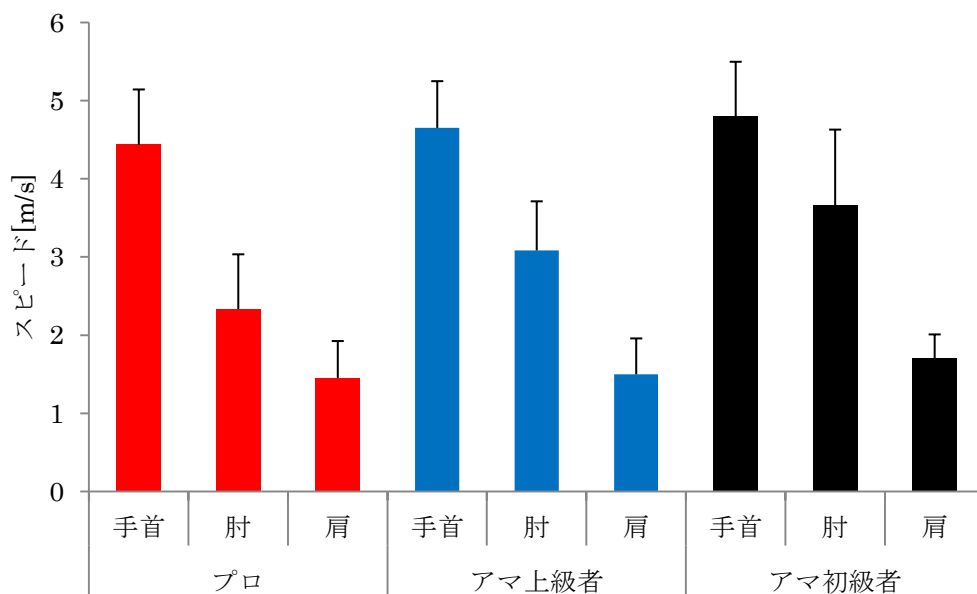


図 3-23 インパクト直前の身体各部位のスピード

インパクト直前における身体各部位のスピードでは、手首、肘、肩の順に小さい値を示しており、この傾向はすべての群で同様であった。身体各部位のスピードについて群ごとの比較した結果は以下のようになった。

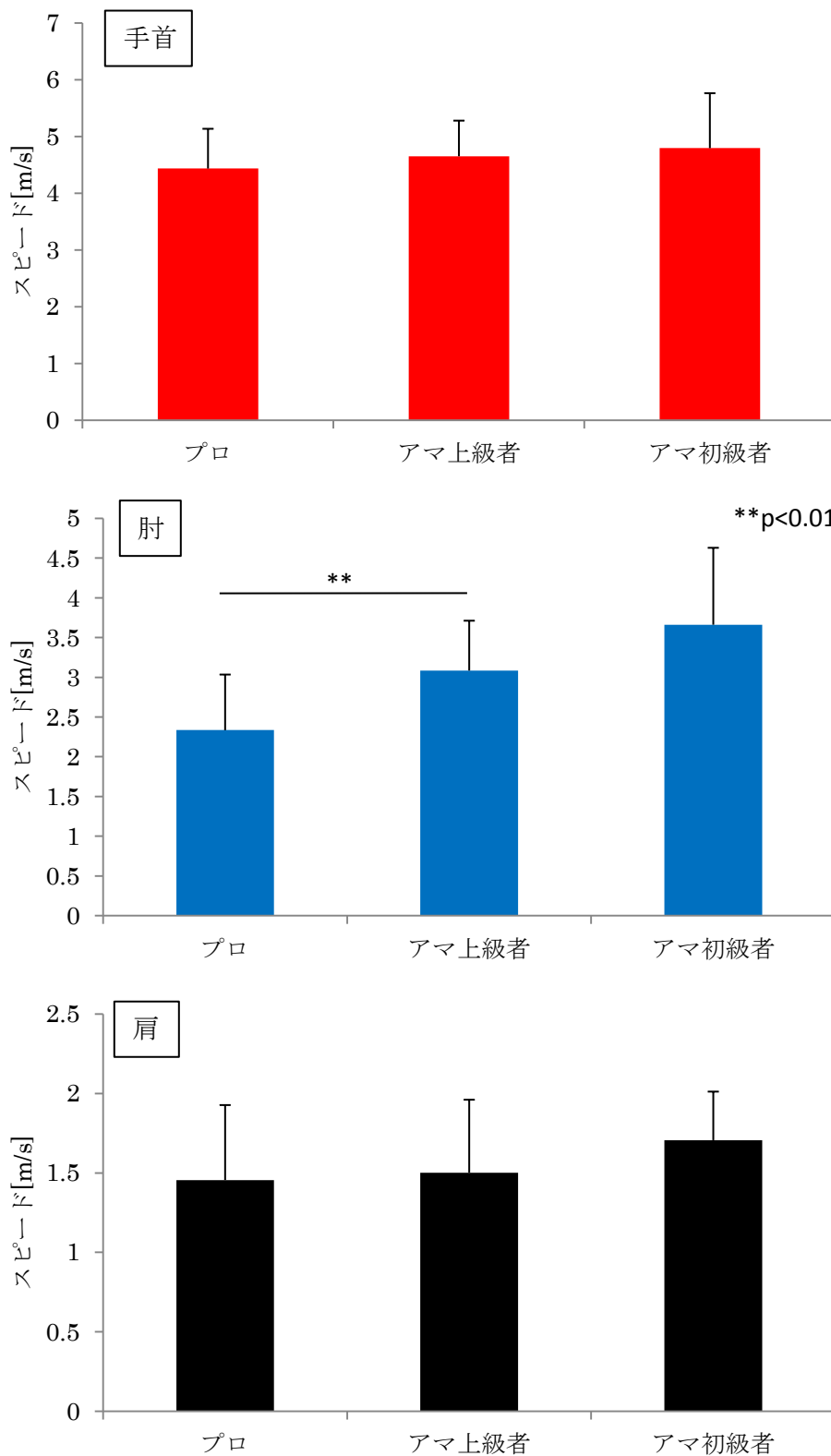


図 3-24 インパクト直前の身体各部位のスピード

インパクト直前における身体各部位のスピードを、それぞれの群で比較した結果、プロ群とアマ群の上級者の肘のスピードで有意な差が認められた( $p<0.01$ )。



### 3.4 考察

第3章前半では、パフォーマンスの指標としてヘッドスピードが妥当であるかを明らかにするために、クラブヘッドの動きをエネルギー学的観点から検討した。そして、クラブヘッドの並進運動エネルギー、回転運動エネルギー、位置エネルギーを求めた結果、並進の運動エネルギーの占める割合が非常に大きいことが明らかとなった。このことから、ヘッドスピードに着目することの妥当性が示された。クラブヘッドの回転によってエネルギーを蓄え、ボールを飛ばすことは正確性を必要とされるゴルフにおいては難しいと考えられ、ボールに対してクラブヘッドが並進的にインパクトを迎えることによって、その正確性が向上すると考えられる。そのため、ゴルフスイングにおいて、クラブヘッドのエネルギーは回転運動エネルギーが小さく、並進運動エネルギーが大きな割合を占めると考えられる。

第3章後半では、ヘッドスピード向上の決定要因についてスピード変化率と身体各部位のスピードから検討を行った。スピードの変化率について、まずクラブヘッドに関してその最大値は、プロ群( $1098.6 \pm 74.5$ [J/s])とアマ群( $755.2 \pm 86.3$ [J/s])で有意な差があったことから、その時の最大値がインパクト時のヘッドスピードに関係していることが考えられる。クラブヘッドから左手首、左肘、左肩と遠位から近位に各スピードの変化率を求めた結果、手首まではプロとアマチュアで有意な差( $p < 0.01$ )があったが肘からは差がなくなっていた。このことから、ダウンスイングでの肘関節の動作の中にプロゴルファーがクラブヘッドをより加速させている、もしくは、アマチュアゴルファーの非効率な動作の要因があることが考えられる。

ヘッドスピード向上に関して最も重要となるのは、身体から生み出されるエネルギーをいかにクラブヘッドに伝えられるかであり、ゴルフの技術レベルが下がるにつれてスイング中の非効率な動作も大きくなり、クラブヘッドへのエネルギー伝達を阻害していると考えられる。Winter(1978)は、力学的非効率の主な要因を共収縮、重力に抗した等尺性収縮、関節におけるエネルギーの生成と吸収、ぎこちない動作の4つとしており、アマチュアのスイングには非効率な動作が含まれているため、クラブヘッドまでエネルギーが十分に伝わらないことが示唆される。

プロゴルファーとアマチュアゴルファーの上級者と初級者の身体各部位のスピードの比較を行ったところ、プロゴルファーの身体動作の特徴としてダウンスイング中に肩、肘、手首を最大に加速させた後に急激に減速をさせていることが明らかとなった。身体の近位

から遠位にかけて減速が顕著に見られ、これは上肢を二重振り子の原理によってスイング中に肩や肘、手首などに急激なブレーキをかけることで、その末端のスピードを上げていることが考えられる。二重振り子の原理は、支点と重りの間にもう一点の支点を設けることで、その支点から先の運動スピードが上昇する原理である。つまり、プロゴルファーはダウンスイング中に支点(肩)と重り(クラブヘッド)の間に新しい支点(肘、手首)を作ることによってさらなる加速を生み出していると考えられる。一方アマチュアゴルファーは、身体各部位を最大に加速させたあと、慣性に従ってスピードを維持しているため、肩とクラブヘッドとの間に新しい支点を作れず、上肢全体が単振り子のように運動していると考えられる。そのため、クラブヘッドが最大に加速しきらずにインパクトを迎えていると考えられる。この傾向は、アマチュアゴルファー間でもその技術レベルによって現れており、アマチュア上級者は、インパクト前に手首のスピードの減速が見られたが、肘の減速は顕著には現れなかった。アマチュアの初級者については、手首の減速が見られず、肘に関してはプロと逆の傾向を示し加速していた。プロゴルファーのように高いヘッドスピードを得るためには、二重振り子運動を利用し、クラブヘッドを加速させる必要があることが示唆された。特にインパクト前約 0.1 秒からの肘におけるスピード変化率の傾向の違いが顕著に現れており、これは、アマチュアはゴルフスイングのインパクト直前で左肘にブレーキをかけることが出来ずに体の回転と共に流れてしまっていることが考えられる。上肢の運動連鎖を活用するために、肘にブレーキをかけ二重振り子理論を利用することで、さらなるヘッドスピードの向上が期待できると考えられる。

## 第4章 女子プロゴルファーにおけるドライバーショットのエネルギー変換効率

### 4.1 目的

第3章では、ダウンスイングにおけるクラブヘッドの加速に関する身体動作の特徴を明らかにした。第4章では、最大に加速したクラブヘッドがインパクトで、どの程度ボールにエネルギーを伝えられるかに着目し、インパクトにおけるクラブヘッドからボールへのエネルギー変換効率から、その特徴を明らかにすることを目的とした。

### 4.2 実験方法

被験者は女子プロゴルファー6名(年齢  $41.4 \pm 7.4$  歳、身長  $163.6 \pm 3.4$ cm、体重  $60.2 \pm 5.4$ kg、右打ち)と女子アマチュアゴルファー6名(年齢  $47.8 \pm 5.2$  歳、身長  $159.5 \pm 5.3$ cm、体重  $51.5 \pm 5.5$ kg、平均スコア  $82.8 \pm 3.1$ 、右打ち)とした。

実験は室内で行い、3メートル四方の打球ネットを設置し、ゴルフ用のマットとゴム製のティーを使用し、被験者にドライバーショットを打たせた(図3-1)。使用クラブは、各自が普段使用しているドライバーとし、ボールは実球を用いた。実験前に十分に練習をさせて、環境に慣れさせてから10回のドライバーショットの測定を行った。被験者への指示は、実際にゴルフ場で打つ時のようにストレートボールを打つように指示をした。

クラブヘッドのエネルギーは、第3章と同様にクラブヘッドに貼り付けたマーカーから並進運動エネルギー、回転運動エネルギー、位置エネルギーをそれぞれ算出した。

ボールのエネルギーについては、ハイスピードカメラ(MEMRECAM fkK5)を使用し、スイング計測時に、正面からインパクトの瞬間を撮影し、ボール打ち出し直後と0.001秒後の画像からボール位置をデジタイズし、インパクト直後のボールの初速を計算し、以下の式より並進運動エネルギーを求めた。



図 4-1 ハイスピードカメラによる撮影

ボールの並進運動エネルギー

$$TE = \frac{1}{2}mv^2$$

m : ボール質量 (m = 0.046[kg])

v : ボールスピード[m/s]

エネルギー変換効率は、インパクト時のクラブヘッドのエネルギー減少量におけるボールの並進運動エネルギーの割合と定義した。エネルギー減少量は、インパクト前後のクラブヘッドのエネルギー変化から、インパクトでボールとの衝突によって減少したエネルギー量とした(図 4-2)。

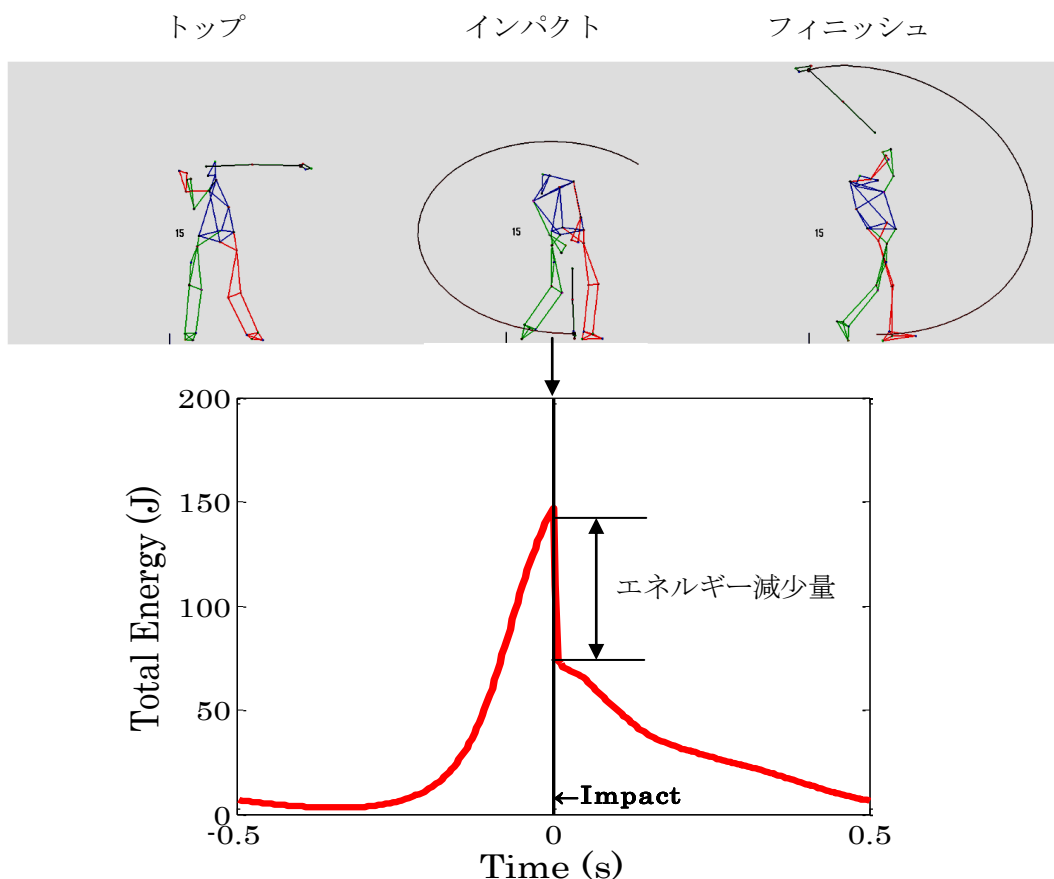


図 4-2 インパクト前後のクラブヘッドのエネルギー変化

以下のようにボールの並進運動エネルギーをクラブヘッドのエネルギー減少量で除することでエネルギー変換効率を求めた。

$$\text{エネルギー変換効率(\%)} = \frac{\text{ボールの並進運動エネルギー(J)}}{\text{クラブヘッドのエネルギー減少量(J)}} \times 100$$

### 4.3 結果

実験方法に従ってモーションキャプチャとハイスピードカメラを用いて、各被験者のドライバーショット 10 回分を撮影し、ヘッドスピードとボールスピードを求めた結果、プロゴルファーとアマチュアゴルファーのそれぞれの結果は以下の表のようになった。ヘッドスピードの平均値と標準偏差は、プロが  $38.0 \pm 0.8[\text{m/s}]$  となり、アマチュアが  $34.9 \pm 1.0[\text{m/s}]$  となった。ボールスピードの平均値と標準偏差は、プロが  $50.3 \pm 1.9[\text{m/s}]$  となり、アマチュアが  $45.6 \pm 2.4[\text{m/s}]$  となった。ヘッドスピードとボールスピードの両方でプロとアマチュアに有意な差が認められた ( $p < 0.01$ )。

表 4-1 プロゴルファーのヘッドスピード(m/s)

	PH	PM	PN	PI	POK	PMA
1	38.4	38.5	37.0	37.2	38.2	38.1
2	39.0	38.5	36.9	37.5	38.0	38.3
3	38.5	38.5	36.3	37.3	38.6	38.2
4	38.6	38.8	37.5	37.7	38.7	38.2
5	39.4	38.4	37.1	37.0	38.4	38.4
6	38.5	38.3	37.2	37.1	38.9	38.2
7	38.7	38.3	36.7	36.9	39.1	38.2
8	38.1	38.5	36.2	37.2	38.9	38.2
9	39.0	39.0	36.3	36.9	39.0	38.2
10	38.9	38.3	36.3	36.8	39.1	38.0
mean	38.7	38.5	36.7	37.1	38.7	38.2
sd	0.36	0.22	0.45	0.28	0.38	0.11

表 4-2 アマチュアゴルファーのヘッドスピード(m/s)

	AS	AKU	AH	AMU	AM	AK
1	35.7	32.9	34.7	35.0	35.7	35.9
2	36.2	33.3	34.8	34.1	35.8	36.4
3	36.1	33.4	34.7	33.9	35.8	36.1
4	36.1	32.8	34.8	34.1	35.1	36.2
5	36.1	33.7	35.2	35.2	34.5	36.2
6	35.6	33.7	34.8	35.0	34.6	35.4
7	35.5	33.5	34.8	34.2	34.6	36.0
8	35.9	33.1	35.0	34.7	34.5	36.8
9	35.4	33.4	35.2	35.5	34.1	36.6
10	35.7	32.8	35.1	34.1	35.0	35.6
mean	35.8	33.3	34.9	34.6	35.0	36.1
sd	0.30	0.34	0.20	0.57	0.64	0.41

第3章で述べたとおり、ヘッドスピードはプロとアマチュアで有意な差が認められた(図3-11)( $p < 0.01$ )。また、各群の平均値と標準偏差から変動係数(標準偏差/平均値)を百分率で求めた結果、プロが  $0.79 \pm 0.33[\%]$ 、アマチュアが  $1.17 \pm 0.48[\%]$  となりプロとアマチュアの間には有意差が認められた( $p < 0.05$ )。以上の結果から、プロは10回のドライバーショットにおいてヘッドスピードが速いにもかかわらず、ばらつきがアマチュアより小さいことが明らかとなった。

表 4-3 プロゴルファーのボールスピード(m/s)

	PH	PM	PN	PI	POK	PMA
1	50.7	48.3	49.0	47.6	48.9	50.9
2	52.7	52.0	48.1	47.7	50.4	50.4
3	50.9	51.8	48.3	48.5	49.1	52.1
4	52.3	53.0	43.9	48.2	49.8	51.6
5	53.4	51.2	49.5	49.1	50.5	51.9
6	50.4	52.8	49.9	48.5	50.4	52.2
7	53.2	52.4	48.6	47.9	49.7	52.4
8	52.0	51.7	48.3	49.0	49.5	52.1
9	53.9	52.8	48.4	48.4	49.1	51.5
10	52.2	51.6	48.0	48.8	49.9	52.1
mean	52.1	51.8	48.2	48.4	49.7	51.7
sd	1.20	1.37	1.63	0.51	0.57	0.63

表 4-4 アマチュアゴルファーのボールスピード(m/s)

	AS	AKU	AH	AMU	AM	AK
1	49.4	41.8	47.9	42.2	46.4	45.6
2	48.1	42.2	44.8	43.1	45.7	43.1
3	47.7	41.6	47.4	44.6	46.2	46.3
4	49.1	41.3	46.8	45.3	46.6	45.3
5	48.7	42.2	47.9	47.5	45.3	44.4
6	48.5	41.3	47.9	46.1	44.4	42.0
7	47.8	43.0	49.1	46.0	46.2	46.8
8	48.1	43.1	48.8	45.3	42.5	46.8
9	48.3	42.4	47.4	43.1	45.5	47.4
10	49.0	42.2	48.0	44.3	45.3	45.2
mean	48.5	42.1	47.6	44.8	45.4	45.3
sd	0.57	0.63	1.19	1.63	1.21	1.73

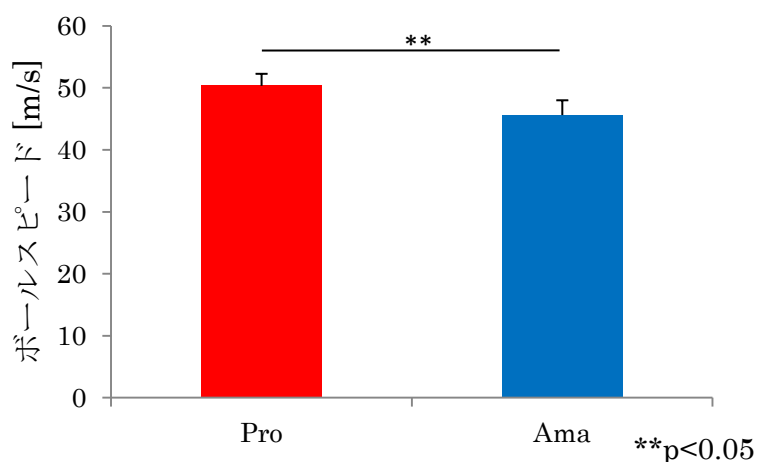


図 4-3 ボールスピードの比較

ボールスピードについても、プロとアマチュアで有意な差が認められた(図 4-3)( $p < 0.05$ )。また、各群の変動係数は、プロが  $1.96 \pm 0.96[\%]$  となり、アマチュアが  $2.55 \pm 1.08[\%]$  となった( $p = 0.22$ )。以上の結果から、ボールスピードについてもプロは 10 回のドライバーショ

ットにおけるばらつきがアマチュアより小さい傾向があることが明らかとなった。

ヘッドスピードとボールスピードについて相関は以下のようになった。

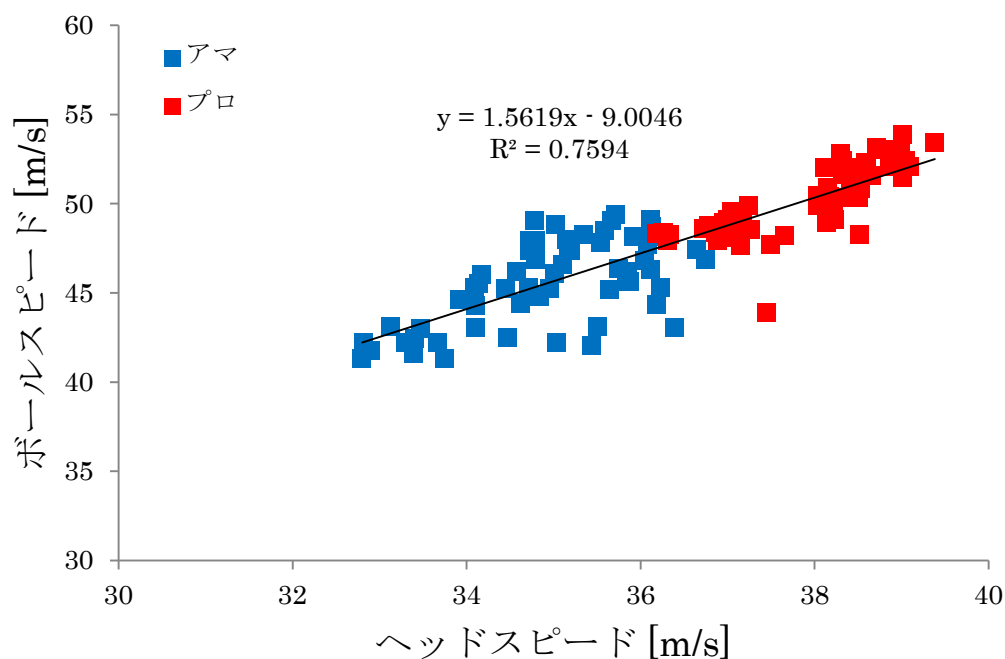


図 4-4 ヘッドスピードとボールスピードの相関

ヘッドスピードとボールスピードには高い正の相関関係があり、ヘッドスピードが高い人ほどボールスピードも高くなる傾向を示した。

プロとアマにおけるインパクト前後 0.5 秒のクラブヘッドのエネルギー変化は図 3.8 に示したとおりであり、第 3 章で述べたようにインパクト前後におけるクラブヘッドのエネルギーは並進運動エネルギーが 99%以上を占めているため、エネルギーの減少はヘッドスピードの減少であり、ボールとの衝突により引き起こされるものである。インパクト直前のクラブヘッドのエネルギーは、プロが  $146.1 \pm 6.8[\text{J}]$  となり、アマチュアが  $126.3 \pm 10.5[\text{J}]$  となった。また、インパクト直後は、プロが  $70.3 \pm 5.7[\text{J}]$  となり、アマチュアが  $55.3 \pm 8.1[\text{J}]$  となった。インパクトでのプロゴルファーとアマチュアゴルファーのエネルギー減少量と、ボールの並進運動エネルギーは、以下のようになった。



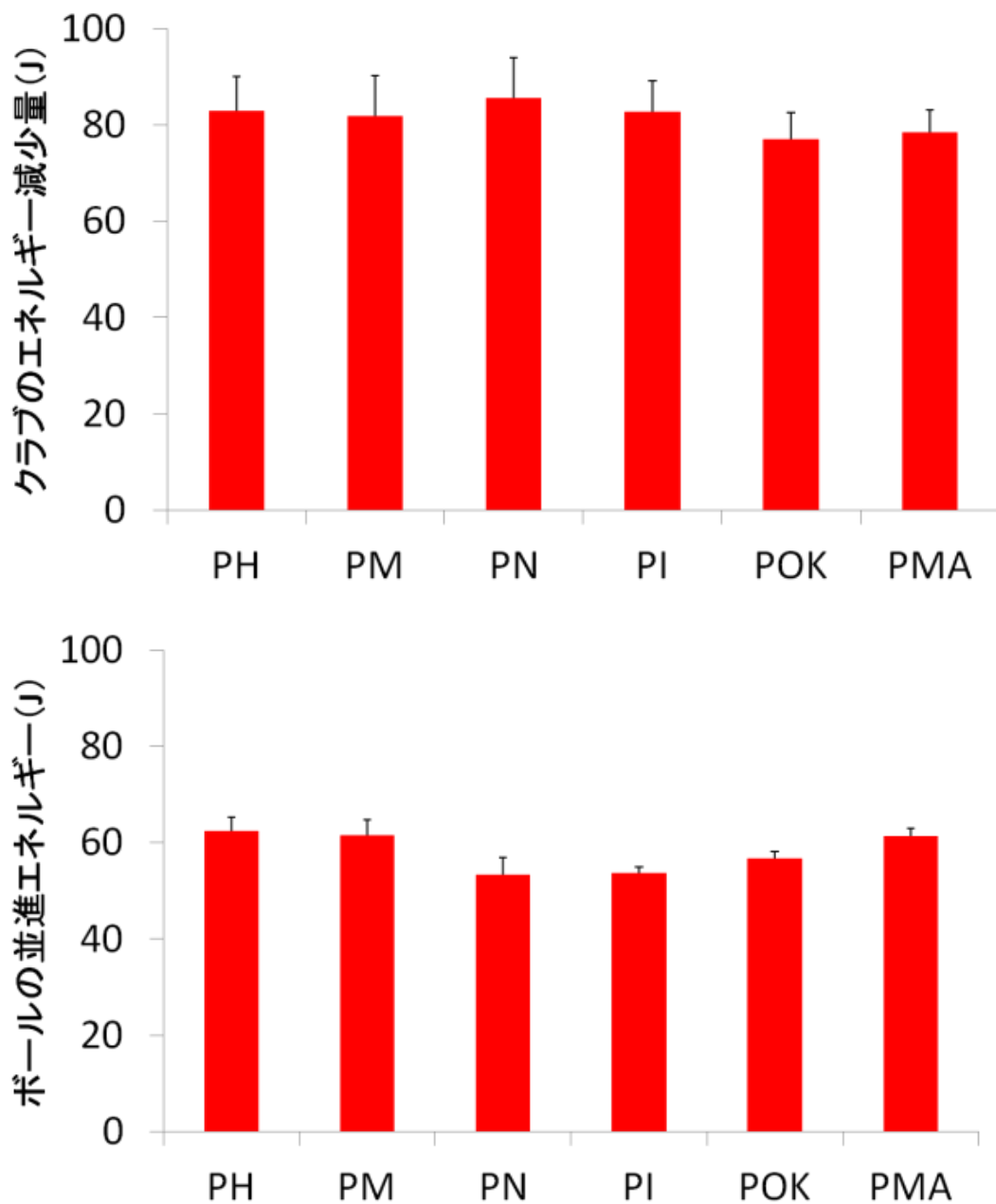


図 4-5 プロゴルファーのエネルギー減少量とボールの並進エネルギー

プロのインパクトにおけるクラブヘッドのエネルギー減少量は、 $81.4 \pm 7.2$ [J]であり、ボールの並進運動エネルギーは、 $58.2 \pm 4.5$ [J]となった。また、それぞれの平均値と標準偏差から変動係数を求めた結果、エネルギー減少量が  $8.1 \pm 1.7$ [%]となり、ボールの並進運動エネルギーが  $3.9 \pm 1.9$ [%]となった。

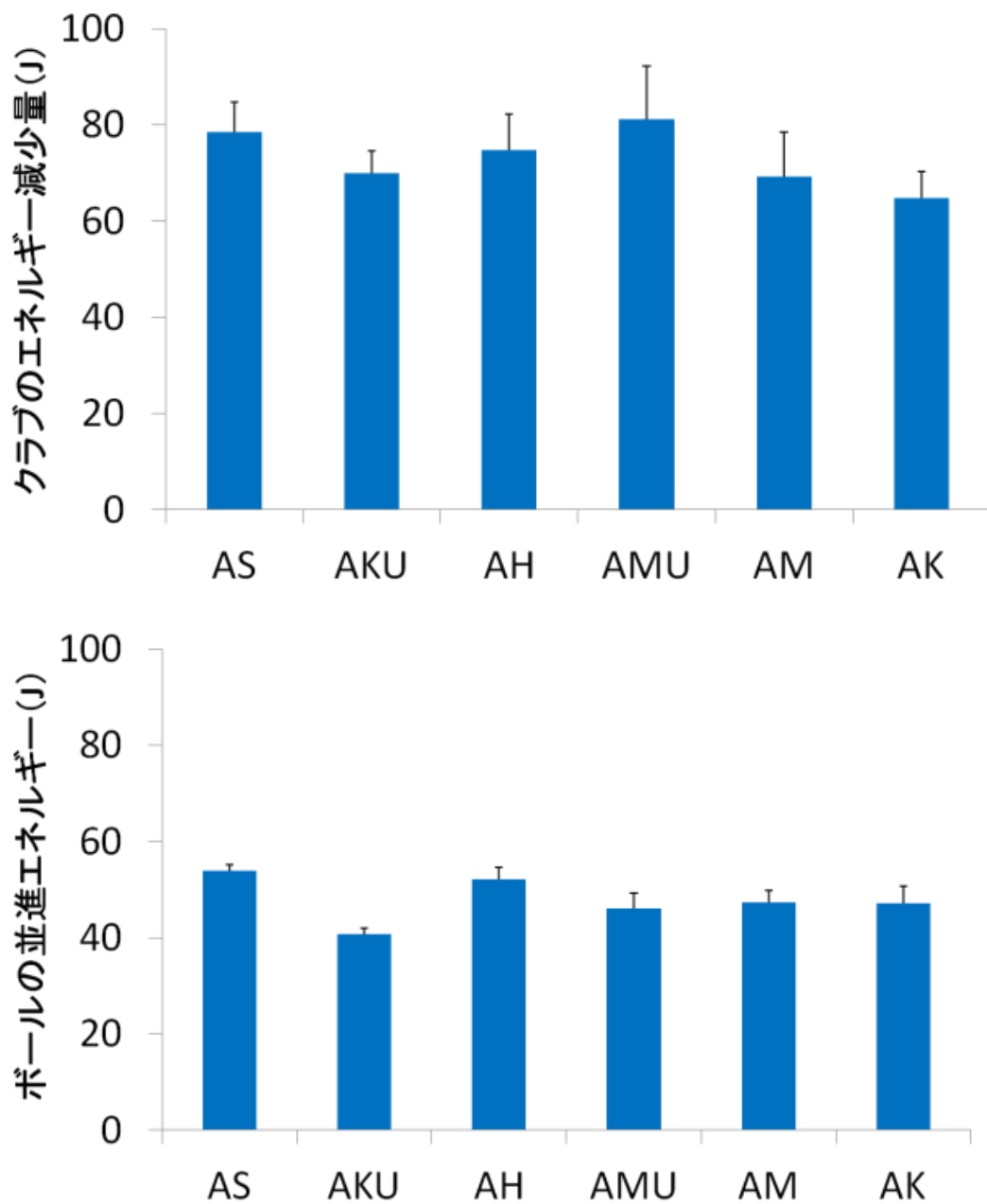


図 4-6 アマチュアのエネルギー減少量とボールの並進エネルギー

アマチュアのインパクトにおけるクラブヘッドのエネルギー減少量は、 $73.1 \pm 9.3$  [J]であり、ボールの並進運動エネルギーは、 $47.9 \pm 5.0$  [J]となった。また、それぞれの変動係数を求めた結果、エネルギー減少量が  $10.0 \pm 9.3$  [%]、ボールの並進運動エネルギーが  $5.0 \pm 2.1$  [%]となり、それぞれプロとアマチュアとの間に有意な差が認められた ( $p < 0.05$ )。また、プロとアマチュア両群でクラブのエネルギー減少量よりボールの並進運動エネルギーの方が、ばらつきが小さい点で共通していた。プロとアマチュアの 10 回分のエネルギー変換効率の結果は以下ようになった。

表 4-5 プロとアマチュアのエネルギー変換効率(%)

	Pro					
	PH	PM	PN	PI	POK	PMA
1	69.5	55.4	73.1	56.3	73.2	78.8
2	78.6	67.8	67.4	53.2	66.9	76.4
3	79.4	64.5	76.5	71.3	72.6	72.2
4	79.0	68.1	53.5	65.9	73.1	64.0
5	77.7	72.6	75.8	69.3	76.1	68.6
6	77.9	85.1	71.7	70.2	70.2	74.9
7	73.0	80.0	63.3	74.7	76.2	77.4
8	82.7	77.4	73.7	63.7	78.1	77.2
9	74.4	75.5	76.0	65.3	70.1	74.2
10	65.1	76.1	71.1	73.3	68.7	79.6
mean	75.7	72.2	70.2	66.3	72.5	74.3
sd	5.3	8.5	7.2	7.1	3.6	4.9

	Amateur					
	AS	AKU	AH	AMU	AM	AK
1	74.2	58.1	81.7	47.8	80.8	75.1
2	59.4	59.6	52.1	42.5	82.7	66.9
3	59.9	51.7	70.8	63.5	71.0	78.3
4	73.0	54.3	61.9	63.8	83.2	89.6
5	70.4	61.8	75.3	70.8	58.3	74.1
6	74.0	61.8	63.4	55.5	58.2	60.0
7	71.4	59.7	82.5	63.0	79.1	68.1
8	63.7	57.1	76.4	49.6	54.1	76.2
9	68.8	56.0	68.0	65.5	57.9	78.0
10	77.2	63.7	72.9	55.1	71.7	67.4
mean	69.2	58.4	70.5	57.7	69.7	73.4
sd	6.2	3.7	9.4	9.0	11.6	8.2

プロのエネルギー変換効率は  $71.9 \pm 6.8$  [%] となり、アマチュアのエネルギー変換効率は  $66.5 \pm 10.1$  [%] となった。変動係数の値は、プロが  $8.5 \pm 2.7$  [%] でアマチュアが  $12.0 \pm 4.0$  [%] となり、エネルギー変換効率に関しても、クラブヘッドのエネルギー減少量やボールの並進エネルギーと同様に、プロにおけるばらつきが小さい傾向を示した ( $p=0.18$ )。

プロとアマチュアの比較を行なった結果を以下に示す。

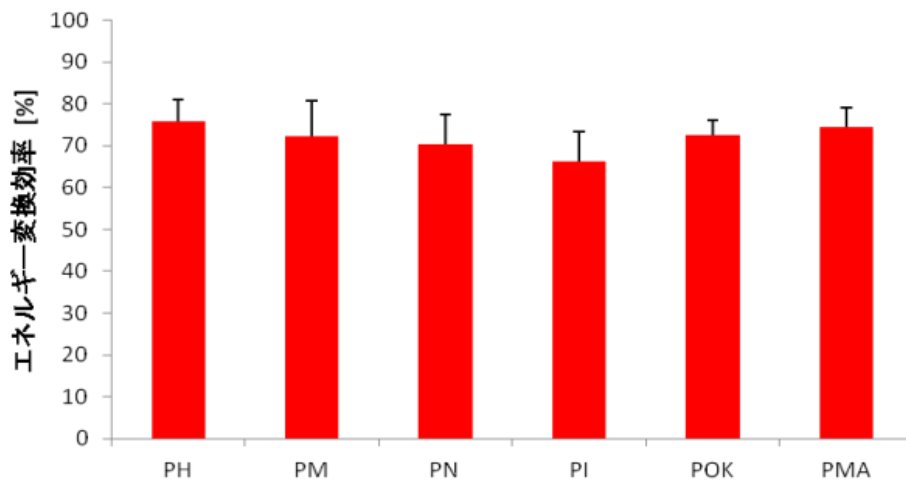


図 4-7 プロゴルファーのエネルギー変換効率

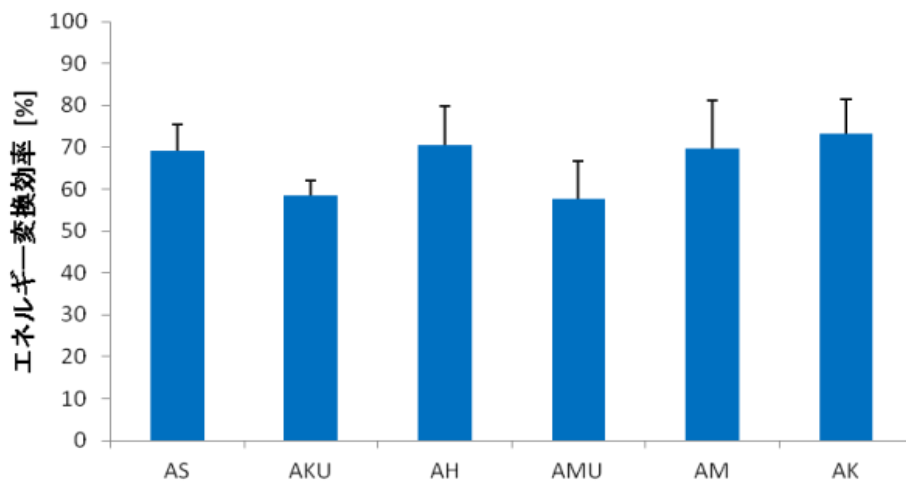


図 4-7 アマチュアゴルファーのエネルギー変換効率

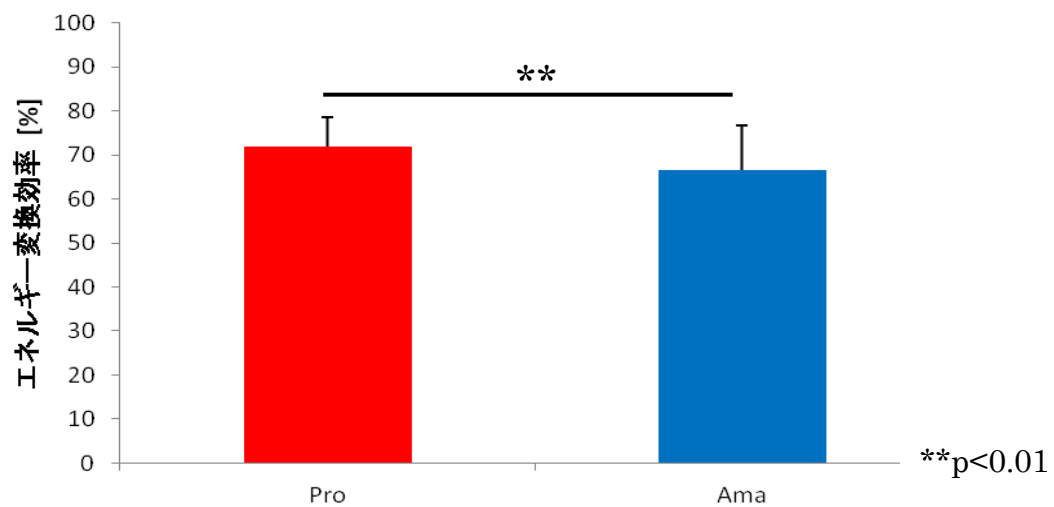


図 4-8 プロとアマのエネルギー変換効率の比較

プロのエネルギー変換効率(71.9±6.8[%])とアマチュアのエネルギー変換効率(66.5±10.1[%])との間に有意差(p<0.01)が認められた。エネルギー変換効率に関しては、ヘッドスピードほど大きな差は見られなかったが、インパクトにおけるエネルギーの伝達に関してもプロとアマチュアでその差があることが明らかとなった。

次にエネルギー変換効率とヘッドスピードとの関係について、全試行分(各群 n=6、試技数 10回)を以下に示す。

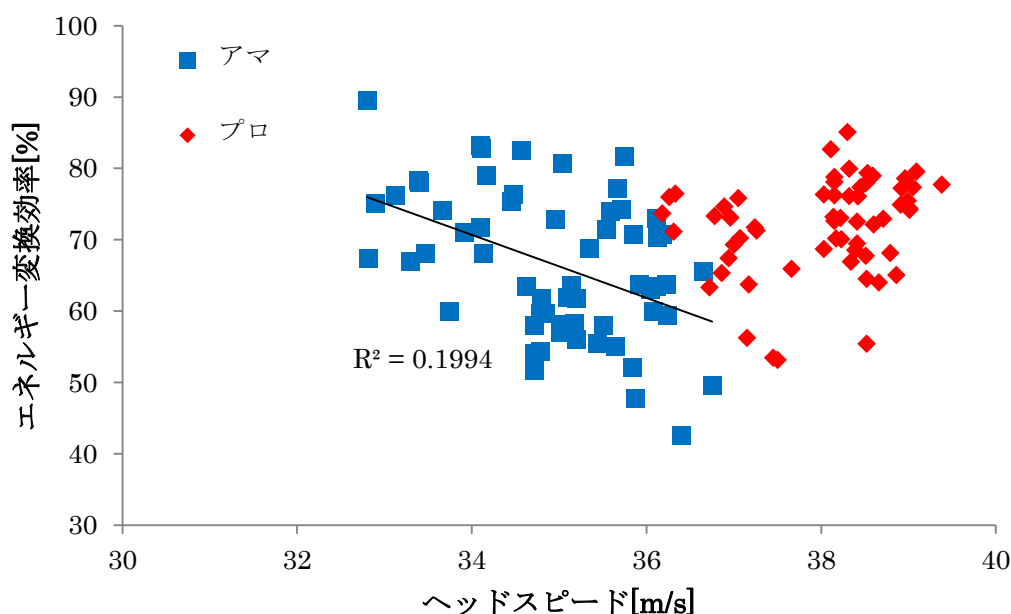


図 4-9 エネルギー変換効率とヘッドスピード

以上の結果から、ゴルフのインパクトにおけるエネルギー変換効率はヘッドスピードに比べ 40~90[%]と大きな幅を持つことが明らかとなった。

プロは、アマチュアよりヘッドスピードが高く、エネルギー変換効率のばらつきも小さかった。また両群におけるその分散において異なる傾向を示した。プロは、相関は見られなかったがヘッドスピードと共にエネルギー変換効率が増加する傾向を示し、ヘッドスピードの速さの違いに関わらず、エネルギー変換効率では高い値を示していた。一方アマチュアはヘッドスピードの増加とともにエネルギー変換効率下がっていた。この結果から、ドライバーショットにおいてそのパフォーマンスを高めるためには、ダウンスイング中にヘッドスピードを速くしてインパクトを迎えるだけでなく、インパクトにおけるエネルギー変換効率を高める技術と共にヘッドスピードの向上をすることが必要であることが明らかとなった。

#### 4.4 考察

第4章では、インパクト前後におけるクラブヘッドとボールの動きをエネルギー学的観点から検討することで、クラブヘッドからボールへのエネルギー変換効率を明らかにした。その結果、プロゴルファーはアマチュアゴルファーと比べて、ヘッドスピードが高く、さらにエネルギー変換効率も高い値を示し、インパクト時にボールに多くのエネルギーを伝えられていることが明らかとなった。プロはダウンスイング中にヘッドスピードとしてクラブヘッドに高いエネルギーを蓄えるだけでなく、インパクトにおいてもエネルギー変換効率を高める技術を持っていることが示唆された。

アマチュアはヘッドスピードが増加するにつれて、エネルギー変換効率が減少してしまう傾向が見られ、プロはヘッドスピードと共にエネルギー変換効率が上昇する傾向が見られた。このことから、ゴルフのパフォーマンスにおいてエネルギー変換効率を落とさずにヘッドスピードを高める技術が必要となることが示唆される。

エネルギー変換効率は、ヘッドスピードとは異なる新しいパフォーマンスの指標となることが考えられ、またエネルギー変換効率には、様々な決定要因があり、インパクトの当たる位置やクラブヘッドの回転によってエネルギーが失われていることが考えられる。その他にも、エネルギーロスの原因は、シャフトのしなりや身体によるエネルギーの吸収、クラブヘッドのフェース面とボールとの摩擦による熱エネルギー、微小ではあるがインパクトの際に発せられる音エネルギーも影響していると考えられる。また今回ハイスピードカメラを正面から撮影し、ボールに関しては飛球線方向のみの運動エネルギーを計算した。これはストレートボールを打つという指示に対していかに正確に再現できたかを見ることを可能にしていると考えられる。ボールの飛球方向が傾くことで、ボールの移動距離にロスが生じ、ボールの運動エネルギーも小さくなるためである。プロは実際のゴルフにおいてコースによってフェードボール(右曲がり)やドローボール(左曲がり)を使い分けることが可能であり、今回のストレートボールという指示を正確に再現したことも、エネルギー変換効率が高い値を示した理由の1つとして考えられる。すべての影響を考慮した上で、本研究で求めたエネルギー変換効率はゴルフのインパクトにおける技術的な要素の評価に有用であることが示唆された。しかし、エネルギー変換効率の大きさに関わらずヘッドスピードが小さければ、最大の飛距離は得られないため、ドライバーショットの飛距離を上げるには、どちらか一方ではなく、ヘッドスピード向上とともにエネルギー変換効率の向上も重要であることが示唆された。

## 第5章 総合討論

### 5.1 女子プロゴルファーの特性

本研究では、女子ゴルファーにおけるプロとアマチュアの比較を行った。女子プロゴルファーのドライバーショットの飛距離は、一般的な男子アマチュアゴルファーに匹敵するといわれている。体力や筋力では劣ると考えられるが、同等の飛距離を得るためには、クラブヘッドへ身体のエネルギーを効率よく伝えなくてはならない。女子プロゴルファーは、大きな身体動作から高いエネルギーを生み出すことを可能にしており、ダウンスイング中のクラブヘッドの加速期に身体各部位の動きが顕著に表れた。女子プロゴルファーのダウンスイング中の左肩、左肘、左手首の動きが、二重振り子運動になっており、その特徴は比較対象となったアマチュアゴルファーには見られず、ヘッドスピード上昇における新しい知見を得ることができた。本研究によって得られた女子プロゴルファーのヘッドスピードは  $38.0 \pm 0.8$  [m/s] となり、これまでの女子プロゴルファーについての研究の結果 (Horan et al. 2010, Brown J et al 2011) とほぼ近似した値で同等の結果となり、これは日本の女子プロゴルファーのレベルが国際的に同等なレベルにまで至っており、体力や筋力また技術力の差はないものと考えられた。

### 5.2 ダウンスイングの身体動作

本研究の結果からインパクト時のヘッドスピードを高めるために、左腕の肘、手首の減速が必要であり、二重振り子運動の利用が重要であることが明らかとなった。これまでの研究では、ダウンスイングの際の、手首のコックのみに着目し、ヘッドスピード向上のためのアンコックのタイミングなどが議論され、剛体リンクモデルにする際に肘関節の運動を考慮していないものが多かったが (Milburn PD. 1982, Pickering W. M., Vicker G. T. 1999)、本研究により、アマチュアのスイングにおいてプロと比較したところ、ヘッドスピードには手首の減速の影響も考えられるが、肘の減速による影響も大きいことが示唆された。この結果から、剛体リンクモデルを構築する際には、肘を支点とした二重振り子運動についても考える必要があることが示唆された。ヘッドスピードの異なる男性と女性のプロゴルファーを用いてスイングの比較を行った研究によると (Zheng N et al. 2008)、手首の角速度と共に、肘の角速度についても、男性の方が有意に高い値を示していることが報告されている。つまり、ヘッドスピードの加速には肘から手首への順次性に従った二重

振り子運動の利用が重要であることが考えられる。この結果からも、ヘッドスピード向上に関与するダウンスイング中の肘の動作について着目していく必要があることが示唆された。そして、左肘による二重振り子運動の積極的な利用がクラブヘッドスピードの加速につながることを示唆された。

### 5.3 インパクトのエネルギー変換効率

本研究では、ダウンスイング中の身体とクラブヘッドの運動から高いヘッドスピードを得るための動作を明らかにすると共に、インパクトでのエネルギー変換効率に着目してきた。エネルギー変換効率は、インパクトでのボールの当たる位置が関与していることが考えられる。実際にプロとアマチュアのドライバーショットを飛球方向からハイスピードカメラを用いてインパクトを撮影した画像から、プロとアマでクラブフェースの中心からの距離を求めた結果、アマチュアは中心から大きく離れる傾向にあった(付録)。プロはクラブヘッドのフェースを9等分したブロック図において、ほとんどがB2でインパクトしており、クラブヘッドをコントロールし正確に中心付近に当てることで、エネルギー変換効率を高めていると考えられる。またインパクトにおけるクラブヘッド、クラブシャフト、身体の姿勢もエネルギー変換効率に影響を与えると考えられる。インパクト時のフェース面の向きは、ボールの飛び出し方向に影響を与えるため、同じところに当たっていても飛球線方向に対してずれた分だけエネルギー変換効率も減少すると考えられる。またクラブヘッドのフェース面とボールの衝突は常に一定ではなく、クラブヘッドの軌跡によってもボールの飛び出しの方向は変化する。クラブフェースが向いている方向とクラブヘッドが移動する方向が、飛球線方向と一致したときエネルギー変換効率が最も高くなると考えられる。クラブシャフトに関しても、インパクトのときのしなりの影響によって力の伝わり方が異なることが考えられる。ダウンスイング中のクラブシャフトは1度スイングの回転方向と反対方向にしなり、インパクトではしなりが戻っていることが明らかとなっており(Nesbit SM, McGinnis R. 2010)、しなりの大きさはシャフトの硬さなどの特性によって変化する。またスイングのスピードによってもクラブヘッドに加わる遠心力が変化し、しなりに影響を与えることが考えられる。しなりの大きさによってグリップからクラブヘッドまでの直線距離は変化するため、ヘッドスピードのばらつきがインパクトの際のクラブヘッドの位置に影響し、エネルギー変換効率にも影響が現れる可能性が示唆された。



#### 5.4 ゴルフスイングの再現性

本研究では各被験者に 10 回のドライバーショットを行わせており、繰り返しの中での再現性についても検討することができた。ダウンスイング中のクラブヘッド、腕、胴体の軌跡から、そのばらつきを評価した研究では(Horan SA et al 2011)、ダウンスイング直後ではクラブヘッドや腕の軌跡はばらつくが、インパクトでは最小となることが報告されている。本研究においても、それぞれの群間ではスイングのばらつきは見られるが、個人の 10 回のドライバーショットでは大きなばらつきは見られなかった。しかし、プロとアマチュアで、ばらつきを示す変動係数を比較した結果では、ヘッドスピード、ボールスピード、エネルギー変換効率のすべてにおいてプロが小さい値を示しており、プロのスイングにおける高い再現性が確認された。アマチュアにおいて、スイングを改善するためには、自分のスイングがどの程度のパフォーマンスを示しているかを知り、上級者とのスイングの違いを理解することが上達するために必要であることが示唆された。プロのように高い再現性を有したドライバーショットを得るためには、繰り返し練習を行いヘッドスピードとエネルギー変換効率両方の向上が必要であると考えられる。

## 第6章 結論

### 6.1 本論文のまとめ

ゴルフスイングは、アドレス、バックスイング、トップ、ダウンスイング、インパクト、フォロースルー、フィニッシュの7つの動作局面に分けることができ、本研究ではクラブヘッドの加速期であるダウンスイングと、クラブヘッドとボールが衝突するインパクトに着目しゴルフのドライバーショットのパフォーマンス向上について検討を行った。そこで本論文では、ゴルフスイングにおけるヘッドスピード向上のための身体動作の特徴を、プロゴルファーとアマチュアゴルファーを比較することで客観的に明らかにし、またインパクト時にクラブヘッドに蓄えられたエネルギーをボールにどれだけ伝えられたかを表すエネルギー変換効率を明らかにすることを目的とした。

第3章では、ゴルフスイングの身体動作の特徴として、ダウンスイング時の左肩、左肘、左手首、クラブに着目し、プロとアマチュア上級者とアマチュア初級者に群分けし、比較を行った。モーションキャプチャシステムを使用して身体各部位とクラブのスピードを計測し、スイング動作の解析を行った。これらの結果、アマチュアゴルファーからプロゴルファーの技術レベルによるスイングの違いを明らかにすることができた。プロゴルファーはダウンスイング中に肘から減速させ、二重振り子運動を利用することによって、さらなる手首、クラブヘッドの加速を可能にしていることが考えられた。このようにして、プロゴルファーは身体から生み出されるエネルギーをクラブヘッドに効率よく伝達し、クラブヘッドスピードを高めていることが示唆された。

第4章では、ダウンスイング時にクラブヘッドに蓄えられたエネルギーを、インパクトの瞬間にどれだけボールのエネルギーに変換できるかに着目した。これまでは、ゴルフスイングによってクラブヘッドを加速させ、インパクト前にどれだけヘッドスピードを上げられたかに着目されてきたが、実際にはボールのクラブヘッドからボールへのエネルギー伝達が重要となる。本研究によりインパクトにおけるエネルギー変換効率を求めた結果、プロゴルファーとアマチュアゴルファーには有意な差が認められた( $p < 0.01$ )。これは、ボールにエネルギーを伝える際のインパクトの瞬間に、ゴルフのレベルによって技術的な要因があることが考えられ、ゴルフのパフォーマンスに影響を与えていることが示唆された。

以上の結果から、プロゴルファーは、ダウンスイング中の肘や手首の減速によってヘッドスピードを高めるとともにクラブヘッドの運動を制御し、インパクトの際にボールをフ

ェース面の中心で捉えることにより、アマチュアゴルファー以上の高いヘッドスピードとエネルギー変換効率によって高いパフォーマンスを生み出していることが示唆された。

本研究により、技術レベルによるダウンスイング中の身体動作の違いから、ヘッドスピードの加速のメカニズムについて追究することができ、またボールインパクトでの変換効率を明らかにし、ドライバーショットにおける新たなパフォーマンスの指標を示すことができた。

## 6.2 今後の展望

本研究で、プロとアマチュア上級者とアマチュア初級者に群分けし、ゴルフスイングにおける主要な局面と部位である、ダウンスイング中の左肩、左肘、左手首のスピード変化の比較を行うことで、ヘッドスピードを向上させるためのスイングについてその要因を追究することができた。今後の展望としては、各ゴルファーのスイングにおいて、さらなるヘッドスピード向上を可能にするために、どのような身体動作が必要かを表示することができるようになることが考えられる。

またそれだけでなく、これまではゴルフスイングにおいてヘッドスピードが高いゴルファーほど良いとされてきたが、今後のゴルフスイングの評価は、ヘッドスピードとエネルギー変換効率を合わせることで、新しいゴルフのパフォーマンスの指標となることが考えられる。また、エネルギー変換効率とヘッドスピードについての関係性について、さらに被験者を増やし、ゴルフのレベルが上達するにつれ、ヘッドスピードのみが急激に上昇するか、もしくはエネルギー変換効率も同様に成長するののかについて、その傾向を検討する必要があると考えられる。また本研究によりプロは、インパクトの 3~4/10000 秒というわずかな時間に効率良くボールにエネルギーを伝える技術があることが明らかとなり、今後はエネルギー変換効率の決定因子について明らかにし、アマチュアがより高いパフォーマンスを獲得するためにエネルギー変換効率を向上させるための方法について検討することが望ましい。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導いただいた立命館大学スポーツ健康科学部 伊坂忠夫教授に深く感謝いたします。また、実験の際に、ご助言ご指導をいただいた立命館大学スポーツ健康科学部の教員の皆様、ならびに研究室の皆様に深く感謝します。

## 文献

- 1) 野澤むつこ、三浦郁奈子、丸山剛生、須田和裕. (2009) ゴルフスイング中の左右股関節トルクの発揮パターン—ゴルフスイングの股関節トルク—. トレーニング科学, 21(4), 377-388.
- 2) 野澤むつこ、須田和裕、金子公有(2003) ゴルフスイングの腰と肩の回転動作について, 日本機械学会シンポジウムと講演論文集, 11,8-9.
- 3) 川上泰雄,井出敦夫,野澤むつこ 他(2006) ゴルフスイング中の筋活動及びキネティクス: プロゴルファーの事例研究, スポーツ科学研究 3, 18-29.
- 4) 長野明紀, 吉岡伸輔. (2011) バイオメカニクス-人体運動の力学と制御, ラウンドフラット
- 5) Ball KA, Best R. (2011) Golf styles and centre of pressure patterns when using different golf clubs. J Sports Sci. 29(6):587-590.
- 6) Brown SJ, Nevill AM, Monk SA, Otto SR, Selbie WS, Wallace ES. (2011) Determination of the swing technique characteristics and performance outcome relationship in golf driving for low handicap female golfers. J Sports Sci. 29(14), 1483-91
- 7) Burden AM., Paul N. Grimshaw, Wallace ES. (1998) Hip and shoulder rotations during the golf swing of sub-10 handicap players. J of sports sciences. 16(2), 165-176.
- 8) Cheetham, P.J., Martin, P.E et al. (2001) The importance of stretching the "X-Factor" in the downswing of golf: The "X-Factor Stretch.". Optimising performance in golf (pp. 192-199).
- 9) Coleman S, Rankin A. (2005) A three-dimensional examination of the planar nature of the golf swing. J of sports sciences. 23(8), pp. 227-234
- 10) Coleman S, Anderson D. (2007) An examination of the planar nature of golf club motion in the swings of experienced players. J of sports sciences. 25(7), 739-748.
- 11) Egret C, Vincent O, Weber J, et al. (2003) Analysis of 3D kinematics concerning three different clubs in golf swing. Int J Sports Med ,24(6):465-70.
- 12) Farrally MR, Cochran AJ, Crews DJ, et al. (2003) Golf science research at the

- beginning of the twenty-first century. *J of sports sciences*. 21(9), 753-765.
- 13) Hellstrom J. (2009) Competitive elite golf: a review of the relationships between playing results, technique and physique. *Sports Med*. 39(9), 723-741.
  - 14) Horan SA, Evans K, Morris NR, Kavanagh JJ. (2010) Thorax and pelvis kinematics during the downswing of male and female skilled golfers. *J Biomech*. 43(8), 1456-62.
  - 15) Horan SA, Evans K, Kavanagh JJ. (2011) Movement variability in the golf swing of male and female skilled golfers. *Med Sci Sports Exerc*. 43(8), 1474-1483.
  - 16) Hume PA, Keogh J, Reid D. (2005) The role of biomechanics in maximising distance and accuracy of golf shots. *Sports Med*. 35(5), 429-449.
  - 17) Ian C. Kenny, Eric S. Wallace, Steve R. Otto. (2008) Influence of shaft length on golf driving performance. *Sports Biomechanics*. 7(3), 322-332
  - 18) Okuda I, Gribble P, Armstrong C. (2010) Trunk rotation and weight transfer patterns between skilled and low skilled golfer. *J of Sports Science and Medicine*, 9, 127-133
  - 19) Myers J, Lephart S, et al. (2007) The role of upper torso and pelvis rotation in driving performance during the golf swing. *J of Sports Sciences*. 26(2), 181-188
  - 20) Joyce C, Burnett A, Ball K. (2010) Methodological considerations for the 3D measurement of the X-factor and lower trunk movement in golf. *Sports Biomech*. 9(3), 206-221.
  - 21) Lindsay DM, Mantrop S, Vandervoort AA, (2008) A review of biomechanical differences between golfers of varied skill levels. *International J of Sports Science and Coaching*. 3, 187-197
  - 22) Milburn PD. (1982) Summation of segmental velocities in the golf swing. *Med Sci Sports Exerc*. 14(1), 60-64.
  - 23) Miura K (2001) Parametric acceleration – the effect of inward pull of the golf club at impact stage. *Sports Eng*. 4, 75-86.
  - 24) Neal RJ, Sprigings EJ. (1999) Optimal golf swing kinetics and kinematics. *Sports Medicine Australia*. p.32.
  - 25) Neal, R, Lumsden, R, Holland, M, Mason, B. (2007) Body Segment Sequencing and

- Timing in Golf. *International J of Sports Science & Coaching* . 2(0), 25
- 26) Nesbit SM. (2005) WORK AND POWER ANALYSIS OF THE GOLF SWING. *J of Sports Sci and Med*. 4, 520-533
- 27) Nesbit SM, McGinnis R. (2009) Kinematic analyses of the golf swing hub path and its role in golfer/club kinetic transfers. *J Sports Sci Med*. 8, 235-246.
- 28) Nesbit SM, McGinnis R. (2010) Golf Club Deflection Characteristics as a Function of the Swing Hub Path. *Sports SCI J*. 3, 155-164.
- 29) Pickering W. M., Vicker G. T. (1999) On the double pendulum model of the golf swing. *Sports Engineering*. 2, 161-172
- 30) Tinmark F, Hellstrom J, Halvorsen K, Thorstensson A. (2010) Elite golfers' kinematic sequence in full-swing and partial-swing shots. *Sports Biomechanics*, 9(4), 236-244
- 31) Wallace E. S., Otto S.R., Nevill A. (2007) Ball launch conditions for skilled golfers using drivers of different lengths in a testing facility. *J of sports sciences*. 25(7), 731-737.
- 32) Williams K. R. and Shi B. L.. (2002) Changes in golf clubface orientation following impact with the ball. *Sports Engineering*, 5, 65–80
- 33) Yungchien Chu, Timothy C. Sell, Scott M. Lephart. (2010) The relationship between biomechanical variables and driving performance during the golf swing. *J of Sports Sciences*. 28(11): 1251–1259
- 34) Zheng N., Barrentine W., Fleisig S., Andrews R. (2008) Swing Kinematics for Male and Female Pro Golfers. *Int J Sports Med* 2008; 29(12): 965-970

付録

クラブフェースのブロック図と、飛球方向から撮影したインパクトの瞬間（10回連続ドライバースhoot）の画像

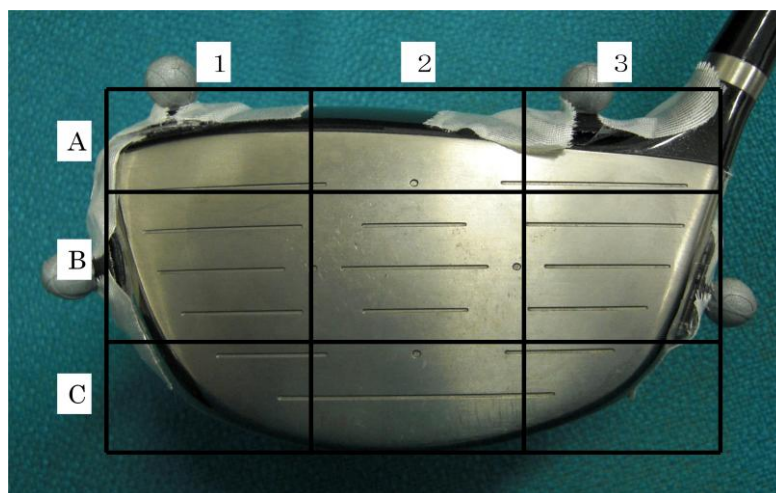


図1 フェース面のブロック図

表1 インパクトのブロックと中心距離

試行数	プロゴルファーPY		プロゴルファーPO	
	ブロック	中心距離	ブロック	中心距離
1	B2	1.0cm	B3	2.5cm
2	A2	1.5cm	B2	1.0cm
3	B2	0.5cm	B2	0.5cm
4	B2	0.5cm	B2	0.5cm
5	B2	1.5cm	B2	1.0cm
6	B2	1.0cm	B2	0.5cm
7	B2	1.0cm	B2	0.5cm
8	B2	0.5cm	B2	0.5cm
9	B2	1.0cm	B2	0.5cm
10	B2	0.5cm	B2	0.5cm

試行数	アマチュアゴルファーAY		アマチュアゴルファーAM	
	ブロック	中心距離	ブロック	中心距離
1	A1	4.0cm	A1	3.5cm
2	A2	2.0cm	A1	3.5cm
3	C2	2.5cm	A1	3.0cm
4	B2	3.5cm	A2	2.0cm



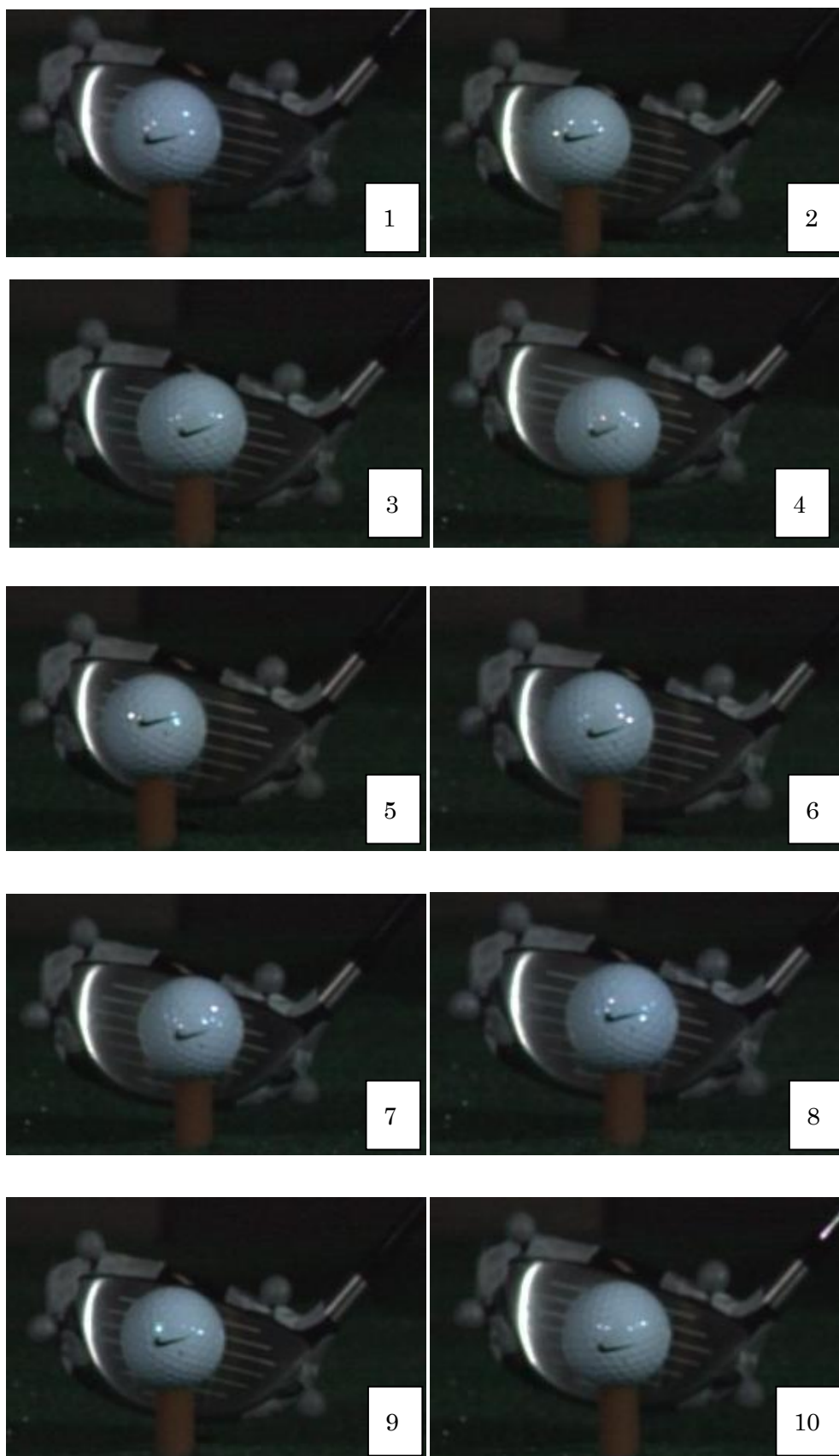


図2 プロゴルファーPYの正面からのインパクトの画像

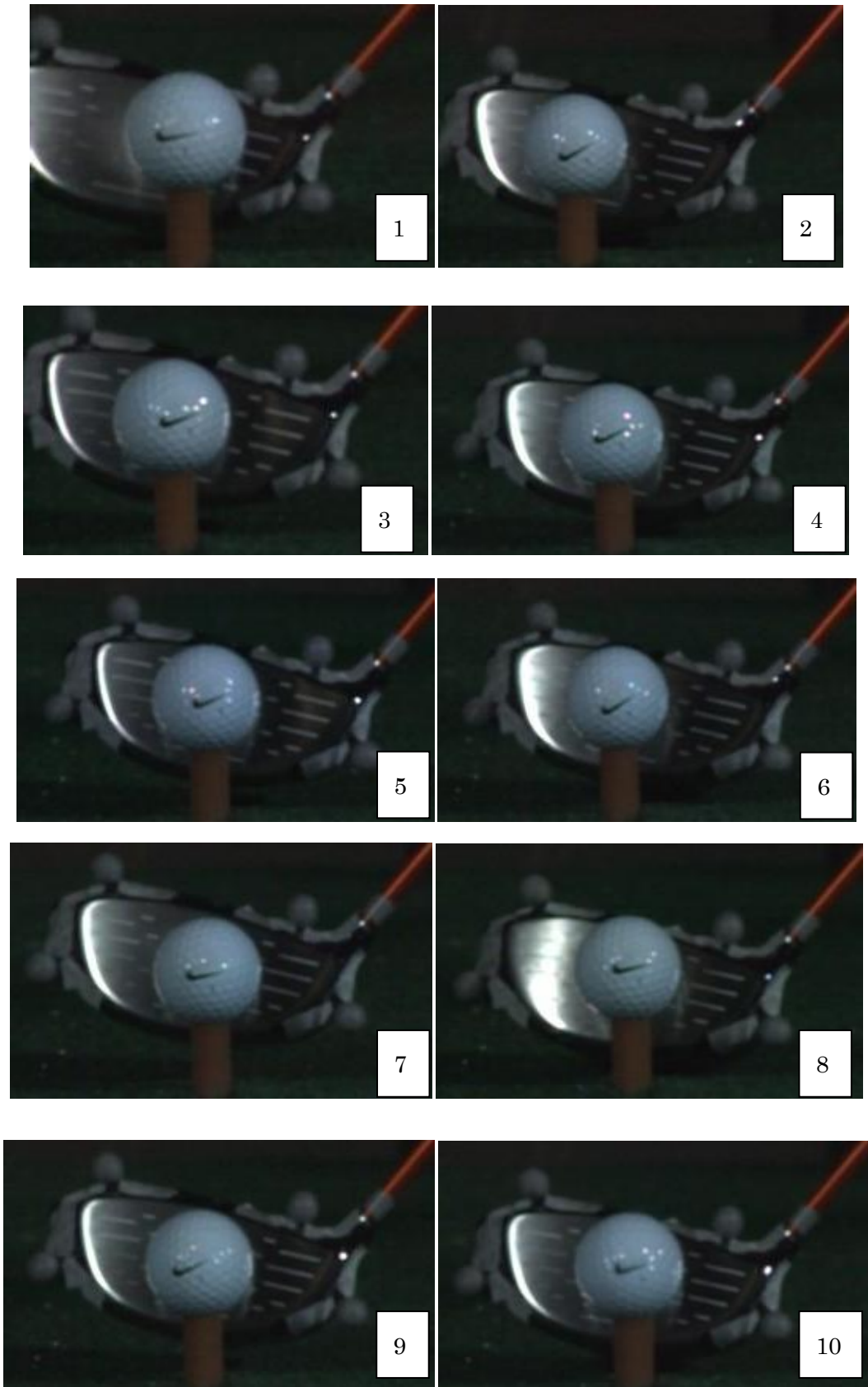


図3 プロゴルファーPOの正面からのインパクトの画像

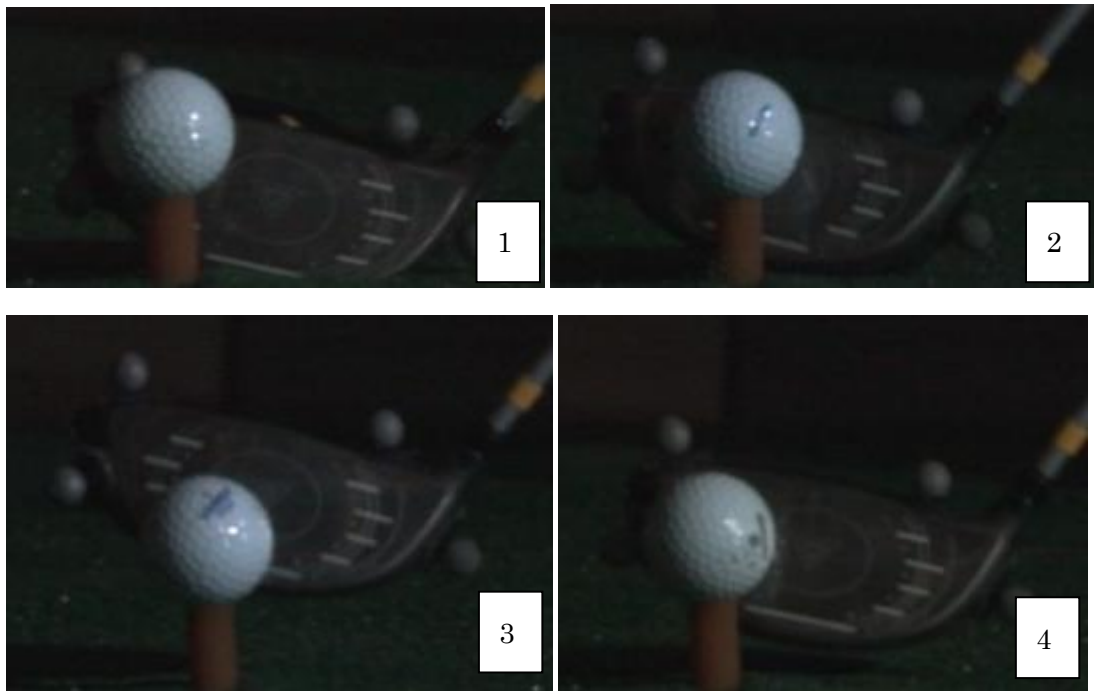


図4 アマチュアゴルファーAYの正面からのインパクトの画像

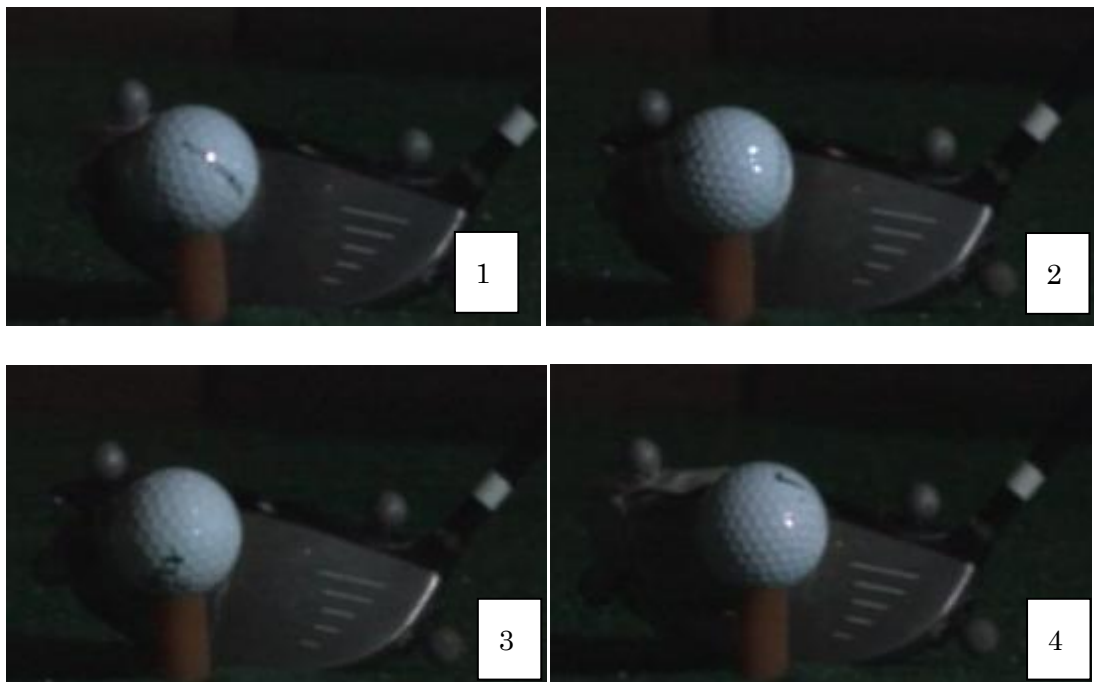


図5 アマチュアゴルファーAMの正面からのインパクトの画像

フェースの各ブロックにおけるインパクト位置と中心からの距離を示す。

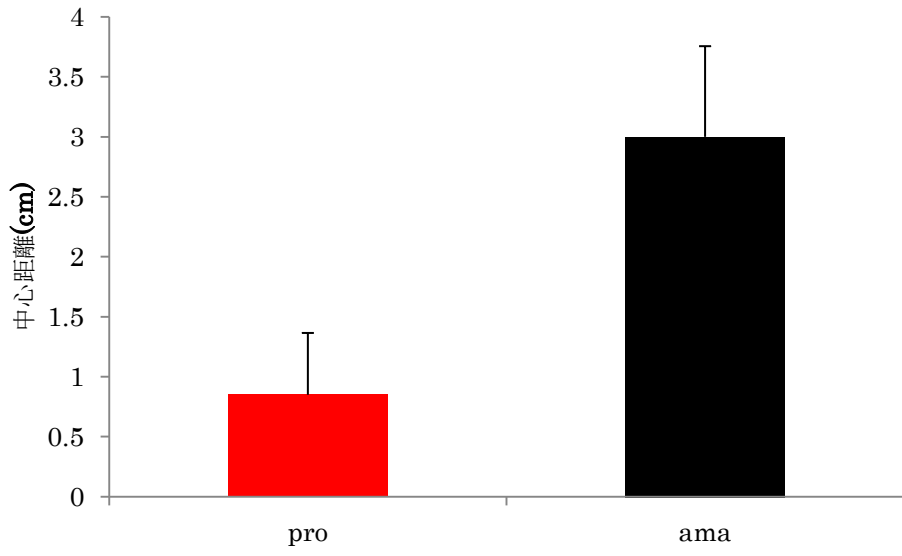


図6 プロとアマチュアの比較