

【研究資料】

熟練男子ゴルファーのドライバースイングの標準動作モデルについて

阿江 通良¹⁾, 木原 裕二¹⁾, 小林 育斗²⁾, 井上 雄貴³⁾, 柏木 悠⁴⁾, 船渡 和男⁵⁾

¹⁾ 日本体育大学コーチング系

²⁾ 北海道教育大学

³⁾ 株式会社ゼット

⁴⁾ 専修大学

⁵⁾ 日本体育大学体育スポーツ科学系

The standard motion model of the driver swing for skilled male golfers

AE Michiyoshi, KIHARA Yuji, KOBAYASHI Yasuto,
INOUE Yuhki, KASHIWAGI Yu and FUNATO Kazuo

Abstract: Since golf is one of the popular worldwide sports, a lot of biomechanical and/or motor learning research on the golf swing have been done. However, information of a good motion pattern of the driver swing is likely to be sporadic. The present paper intended to create a standard motion model of the driver swing and to identify critical points in the driver swing, based on coefficient of variation of segment direction angles. Twenty-five skilled male golfers performed a driver swing for the maximum distance with full effort in a laboratory setting. Their swing motions were captured by Vicon MX+ system with 12 cameras to obtain three-dimensional coordinate data of body segments and golf club. The averaged motion model of the driver swing was created as a standard motion model by the method of Ae et al. (2007), and coefficients of variation of direction angles for body segment and club vectors were calculated.

The findings obtained were summarized as follows.

- 1) The created standard motion model was similar to that of sequential pictures illustrated in textbooks and manuals for the golf swing, which would imply that the standard motion model could be used as a tool for learning of the driver swing.
- 2) The upper torso's rightward rotation started around mid downswing, followed by the forward rotation during the downswing and follow-through phases through ball impact.
- 3) The magnitude and change in the direction angle for the upper limbs during the swing were larger than those of the lower limbs and trunk.
- 4) The coefficients of variation in the lower limbs and upper and lower torsos were smaller than that of the upper limbs, which indicated the motions for these body segments were critical in teaching and evaluating the driver swing.
- 5) The coefficients of variation in the shaft and head of the club increased around ball impact because both mean and standard deviation in the direction angle for the club were small around ball impact, which implied to be a critical point.

The coefficients of variation would be one of criteria to identify critical points in the driver swing. However, as the means of direction angle and coefficients of variation tended to be contrary to each other, it should be considered that the coefficient of variation could become large in the phase in which the mean of direction angle was small. In this case, mean and standard deviation of direction angles for body segments should be referred in identifying critical points.

要旨: ゴルフは世界中で人気のあるスポーツの1つであり、ゴルフスイングに関するバイオメカニクスや運動学習の研究が多く行われている。しかし、ヨイゴルフスイングの動作パターンに関する情報は散見される程度である。本論文は、ドライバースイングの標準動作モデルを作成するとともに、動作変動度に基づいてドライバースイングにおいて重要なポイントを明らかにすることを試みたものである。25名の熟練男子ゴルファーに飛距離をねらいとする全力でのドライバースイングを行わせ、身体各部、

クラブの計測点の3次元座標データをVicon MX+システムを用いて収集した。得られた3次元座標データからAeら(2007)の方法によりシングの平均動作(標準動作という)を作成するとともに、身体各部およびクラブベクトルの方向角および変動係数を算出した。

得られた知見をまとめると、以下のようなになる。

- 1) ドライバースイングの標準動作モデルの動作パターンは、指導書で記述されている基本シングと大きな相違はなく、本研究で作成した標準動作モデルは指導用動作モデルとして活用できると考えられる。
- 2) 上胴の回転はダウンスイング中間点あたりから始まり、さらに前方回転が加わり、インパクトを経てフォロースルーまで続いた。
- 3) シング中の上肢の方向角の大きさや変化は下肢や上胴、下胴よりも大きかった。
- 4) 下肢および上胴、下胴の変動係数は上肢のものよりも小さかった。このことはこれらの部分がドライバーシングの指導では重要な点であることを示している。
- 5) クラブシャフトおよびヘッドの変動係数はインパクトあたりで増加したが、これはこれらの方向角の平均値と標準偏差が小さいためであり、インパクトが重要なポイントであることを示唆する。

変動係数はドライバーシングにおいて重要なポイントを一層明らかにする指標になり得ると考えられる。しかし、方向角の平均値と変動係数は相反する傾向があるので、方向角の平均値が非常に小さい局面では変動係数が大きくなる場合があるので、重要なポイントを一層明らかにするには変動係数を手がかりとするが、身体各部の方向角の平均や標準偏差を参照する必要がある。

(Received: April 6, 2021 Accepted: June 21, 2021)

Key words: three-dimensional motion analysis, golf swing, direction angle, motion variation, technical training

キーワード: 3次元動作分析, ゴルフシング, 方向角, 動作変動度, 技術トレーニング

1. 緒 言

ゴルフは老若男女がだれでもが楽しめる、世界中で人気のあるスポーツの1つであるが(Hume and Keogh, 2017), 我が国ではオリンピック種目の1つに採用されたこともあって競技スポーツとしても注目されている(木原, 2016)。日本プロゴルフ協会のジュニア基本ゴルフ教本(2010b)では、ゴルフはティーインググラウンドからゴルフクラブで静止したボールを打ち、ゴール地点であるホールに入れるゲームであり、競技としてはいかに少ない打数でホールに入れるかを競うものであると説明されている。また遠くにボールを飛ばすこと、正確に狙うこと、新しいフォームの開発など、多くの可能性を秘めたスポーツでもあると言える(木原, 2016)。このようなゴルフの特性を踏まえながら、思い通りのシングができ、真にゴルフを楽しむためには、ゴルフシングの基本を身につける必要があると言われている(日本プロゴルフ協会, 2010a, b; 木原2016)。さらに、ゴルフシングは複雑で左右非対称な動きであるので、腰、膝、肘、手の障害を予防するためにも無理のないシング動作を身に付けることが重要である(Hume and Keogh, 2017; Kwon et al., 2013)。

ゴルフシングについては、一流選手の経験に基づく観察(例えば、ベン・ホーガン, 1974)、分解写真、高速度カメラやビデオなどにより記述、分析、評価されてきているが、最近では計測技術の進歩やスポーツ

バイオメカニクスの発展によりかなり詳細に研究されるようになってきている。ゴルフシングに関するスポーツバイオメカニクスの研究では、クラブヘッドスピードに関連する要因に着目したものが多く(Hume and Keogh, 2017; Keogh and Hume, 2012; Kwon et al., 2013)。これらには、体幹の捻りにみられる男女間の相違(Horan et al., 2010)、地面反力および圧力中心の変化から体重移動について論じたもの(Han et al., 2019, 井上, 2018)、シング中の関節トルクの推定を試みたもの(Nesbit and Serrano, 2005)、ゴルフシングで重要とされている体幹の捻りの指標であるXファクターに関するもの(Kwon et al., 2013)などがある。このうち、Nesbit(2005)、Nesbit and Serrano(2005)、Nesbit and McGinnis(2014)の一連の研究報告では、全身の剛体リンクモデルを構築し(Nesbit, 2005)、それにもとづいてのシング中の力学的仕事やパワーを算出し、シング中の手の軌跡の重要性を示唆している(Nesbit and Serrano, 2005)。そしてNesbit and McGinnis(2014)は、シング動作をコンピュータシミュレーションし、その結果からヘッドスピードを生み出すには手関節が重要であり、手部の軌跡と手関節でなされる力学的仕事が技能レベルと最も大きな関係があったとし、手の軌跡の重要性を強調している。またクラブの種類、性別、年齢、技能レベル、ゴルフ経験に着目した研究も行われ、研究対象も広がりつつある(Hume and Keogh, 2017)。

しかし、基本となるシングの習得の重要性が指摘

されている (Keogh and Hume, 2012; Kwon et al., 2013; 日本プロゴルフ協会, 2010a, b; 木原 2016) にもかかわらず, 分析的研究を主とするスポーツバイオメカニクス特性にもよると考えられるが, 基本スイングの動き, あるいは動作パターンを具体的, かつ指導において使えるような形で視覚的に提示したものはほとんどない。上述した Nesbit (2005), Nesbit and Serrano (2005), Nesbit and McGinnis (2014) の研究では, 望ましいスイング動作では協調した身体部分の動きが重要であるとしているが, 全身の動作パターンについては示していない。これらのことは, ゴルフの研究者は大きなヘッドスピードを生みだせるゴルフスイング動作の特性を追い求めているが, いまだに指導に役立つようなスイングの具体的な動作パターン (指導書では基本スイングあるいはスイングの基本) が示されていないことを意味するものであろう。

多くのスポーツ動作の指導の場では, 通常, 指導者の経験などに基づくよい動きのイメージや技能に優れた選手の動きなどをモデルにして評価したり, 学習者等に目標とする手本としての動作モデルを示すことがほとんどである (Hay and Reid, 1982; Ae, 2020)。日本プロゴルフ協会の基本ゴルフ教本 (2010a) でも, ドライバースイング動作についてアドレスからフィニッシュまでの分解図を用い, 経験則も交えながら, 詳しく記述している。しかし, これらの記述や例示されている動作パターンは指導者や一流ゴルファー個々の経験や主観, モデルとしたゴルファーの特性に大きく依存し, モデル選択の科学的根拠は非常に脆弱である (Hay and Reid, 1982)。このようにゴルフにおいても, 多くは一流選手等をモデルとして示すにとどまっておき, 基本スイングのスタンダードあるいは標準値と呼べるものがないのが現状であろう。

Ae et al. (2007), Murata et al. (2008) は, 熟練者の平均動作を標準動作モデルと呼び, 走高跳や疾走動作を事例に変動係数をもとに動きの要点を抽出し, 動作をバイオメカニクス的に評価する手法を提案している。小林ら (2012) は, 標準動作モデルを用いて小学生の投動作の特徴を明らかにして, 小学校の各学年や男女に応じてどのような点に着目して指導すべきかを提案している。小口 (2021) は Ae et al. (2007) の方法を世界レベルのスケルトン選手のスタート動作に適用してスタート動作の指導用動作モデルを作成し, 日本選手のスタート動作のトレーニングに用いてスタート1歩目のステップ長やそりを押す肩関節の動作に改善が見られたことを報告している。また Ae (2020) は, 空間における身体各部ベクトルの傾きを方向余弦で表し, その時系列変化の平均値, 標準偏差, 変動係数を算出し, 標準偏差や変動係数の小さい身体部分や動作

時点を共通性が高い重要なポイントあるいは動作の要点と考えるという提案を行っている。

そこで, 本研究では, 熟練男子ゴルファーのドライバースイング動作の標準動作モデルを Ae et al. (2007) の方法により作成し, 変動係数を指標にドライバースイング動作において共通性の高い身体部分を明らかにすることを試みた。

II. 方 法

2.1 被験者

被験者はプロゴルファーおよび大学ゴルフ部に所属する男子学生ゴルファーの計 25 名 (年齢: 24.1±1.3 歳, 身長: 1.73±0.06 m, 体重: 70.4±8.0 kg, ベストスコア: 67.2±2.5, 全員右利き) であった。被験者のベストスコアから, 本研究の被験者は一般のゴルフ愛好者のための動作モデル (手本) とするに値する技能を有していたと判断される。

被験者は所属する部の責任者の了解を得て計測に参加し, 被験者には計測に先立って研究のねらい, 計測手順, データの取り扱い, 安全性に関する説明を行い, 計測参加の同意を得た。なお, 本研究は N 大学研究倫理審査委員会の承認 (第 017-H085 号) を得ている。

2.2 計測試技

被験者は各自の方法で通常のウォーミングアップを行った後, 室内計測室に設置したティーから 2 m 離れたゴルフ用標的に向けて, ティー上のゴルフボールをドライバーで実打した。被験者には, 各自のドライバーを用いて最大の飛距離をねらいとして全力でショットするように指示し, 本人の内省および大学のゴルフ指導者の評価が 5 段階評価で 4 以上の試技が 3 回得られるまで打たせた。そして, 最も大きなボールスピードが得られた 1 試技を分析試技とした。なお, 疲労を考慮して試技間には被験者の任意で十分な時間をおいた。

2.3 データ収集

被験者のドライバーショット動作を 3 次元動作分析するため, 光学式動作データ収集システム (VICON MX+, Vicon Motion System 社製) の赤外線カメラ (サンプリング周波数 200 Hz) 12 台を用いて, 反射マーカーを貼付した身体計測点 47 点 (Figure 1), ゴルフクラブ 6 点 (グリップエンド, シャフト 3 点, ヘッド先端およびヒール), ボール 1 点 (位置およびインパクト時点をとらえるためにボール全体に反射シートを貼付) の 3 次元座標データを収集した。

鉛直方向を Z 軸, ティーから標的に向かう方向 (打球方向) を Y 軸, Y 軸に直交する方向を X 軸とする右手座標系を静止座標系として定義した。



1 Right 3rd metacarpal	17 Right toe	33 Left knee medial side
2 Right styloid process of radius	18 Right 5th metatarsal	34 Left trochanter major
3 Right styloid process of ulna	19 Right 1st metatarsal	35 Top of head
4 Right elbow lateral side	20 Right calcaneus	36 Right ear
5 Right elbow medial side	21 Right malleolus lateralis	37 Left ear
6 Right shoulder anterior side	22 Right malleolus medialis	38 Sternum anterior side
7 Right shoulder posterior side	23 Right knee lateral side	39 Sternum posterior side
8 Right acromion	24 Right knee medial side	40 Right rib
9 Left 3rd metacarpal	25 Right trochanter major	41 Left rib
10 Left styloid process of radius	26 Left toe	42 Xiphoid process anterior side
11 Left styloid process of ulna	27 Left 5th metatarsal	43 Xiphoid process posterior side
12 Left elbow lateral side	28 Left 1st metatarsal	44 Right anterior superior iliac spine
13 Left elbow medial side	29 Left calcaneus	45 Left anterior superior iliac spine
14 Left shoulder anterior side	30 Left malleolus lateralis	46 Right posterior superior iliac spine
15 Left shoulder posterior side	31 Left malleolus medialis	47 Left posterior superior iliac spine
16 Left acromion	32 Left knee lateral side	

Figure 1 Position of body reflective markers

2.4 データ処理

Vicon MX+の専用ソフトウェア (VICON NEXUS) で得た3次元座標データをMATLAB(MathWorks社)で作成した動作分析ソフトウェアに入力してデータ処理を行なった。算出した身体各部位(25点)およびゴルフクラブ(6点)の3次元座標は、Butterworth digital filterを用いて遮断周波数20 Hzで平滑化した。分析対象区間は、クラブヘッド先端が後方(打球方向とは逆方向)へ動き出した時点からバックスイング、ボールインパクトを経て、フォロースルーでクラブヘッド先端の速度がゼロになるまで(フィニッシュ)とした。

本研究では、Ae et al. (2007)の方法により標準動作モデルを作成するため、一連のスイング動作を後述するようにバックスイング局面、ダウンスイング局面、フォロースルー局面に分け、スイング動作時間を100%として各動作局面時間比の平均値(それぞれ58, 13, 29%)で動作データを規格化した。

2.5 動作区分点および動作局面の定義

本研究では、Han et al. (2019)の動作区分点を参考にして、下記のように動作区分点および動作局面を定義した。

1) 動作区分点

- ①スイング開始(アドレス, breakaway): クラブヘッド先端が後方(打球方向とは逆方向)へ動き出した時点
- ②バックスイング中間点(mid backswing): クラブシャフトが地面と平行になった時点
- ③トップオブバックスイング(top of backswing): バックスイングでクラブヘッドの速度がゼロになった時点
- ④ダウンスイング中間点(mid downswing): ダウンスイングでクラブが地面と平行になった時点
- ⑤ボールインパクト(ball impact): ボールとヘッドが接触した時点。ボールが動き始めた時点の1コ

マ前 (0.005 秒前)。

- ⑥ フォロースルー中間点 (mid follow-through) : インパクト後にクラブが地面と平行になった時点
- ⑦ フォロースルートップ (top of follow-through) : フォロースルーでクラブが地面に垂直になった時点
- ⑧ フィニッシュ (finish) : フォロースルーでクラブヘッド先端の速度がゼロになった時点

2) 動作局面

- ① バックスイング局面 : 動作区分点①から③
 - 〃 前半 : 動作区分点①から②
 - 〃 後半 : 動作区分点②から③
- ② ダウンスイング局面 : 動作区分点③から⑤
 - 〃 前半 : 動作区分点③から④
 - 〃 後半 : 動作区分点④から⑤
- ③ フォロースルー局面 : 動作区分点⑤から⑧
 - 〃 前半 : 動作区分点⑤から⑥
 - 〃 後半 : 動作区分点⑥から⑧

2.6 標準動作モデルの作成

標準動作モデルを構成する身体各部 25 点およびクラブ 6 点の 3 次元座標は Ae et al. (2007) の方法を用いて下記の式により算出した。

$$r_i = R_i - R_{rp}$$

$$\bar{r}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{r_{i,j}}{H}$$

$$\bar{R}_{rp} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{R_{rp,j}}{H}$$

$$\bar{R}_i = \bar{r}_i + \bar{R}_{rp}$$

これらの式において、 R_i は動作局面の時間で規格化された部位 i の座標、 R_{rp} は時間で規格化された基準点 rp (身体重心) の座標、 r_i は基準点 rp に対する部位 i の相対座標、 H は身長、 j は被験者、 n は被験者数、 \bar{r}_i は身長で規格化された部位 i の相対座標、 \bar{R}_{rp} は身長で規格化された基準点 rp の座標、 \bar{R}_i は規格化・平均された部位 i の座標である。

2.7 身体部分ベクトルの方向角の算出

Figure 2 は身体各部、クラブのシャフトおよびヘッドのベクトルの定義を、Figure 3 は方向角 (direction angle) の定義を示したものである。身体部分の動きを表すために関節角度が用いられることが多いが、関節角度は 2 つの身体部分の相対位置を示すもので、個々の身体部分の空間における傾きを示すためには適切ではない。そこで、本研究では、空間における身体部分ベクトルの方向 (傾き) を示す方法として、方向余弦 (direction cosine) から得られる角度 (方向角, 身体ベクトルと静止座標系 3 軸とのなす角度) を用いた。通常、空間における身体ベクトルと静止座標系の相対位置関係を示す方法の 1 つとして方向余弦が用いられる (阿江と藤井, p. 31, 2015)。しかし、本研究において方向角を用いたのは、後述するように身体部分の変動係数を算出する際に方向余弦を用いると、その定義域 (± 1) から身体部分の方向余弦の平均値がゼロあるいはゼロに近くなりゼロ除算に近い状態が生じる恐れがあるが、方向角 (定義域: $0 \sim 180$ 度) を用いれば、このような問題が回避できると考えたためである。

なお、本研究では Figure 3 の角 α , β , γ をそれぞれ

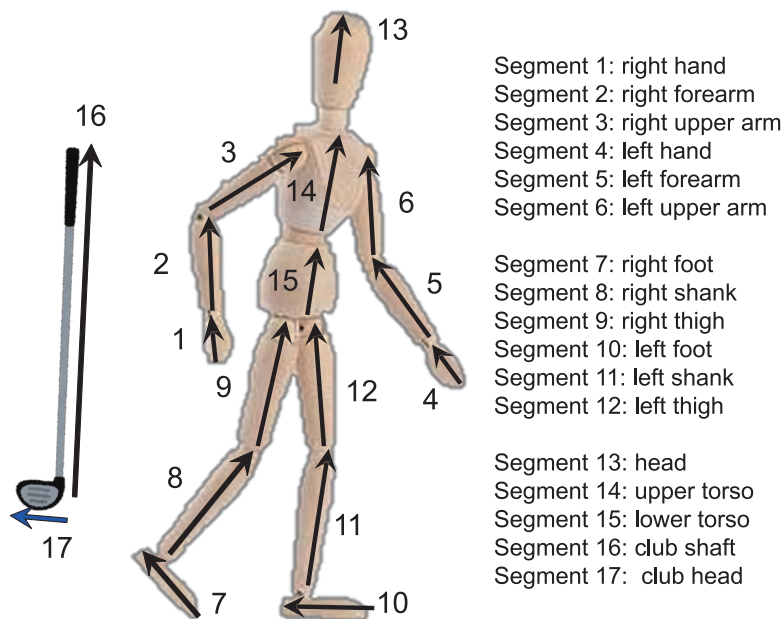


Figure 2 Definition of body segment and golf club vectors

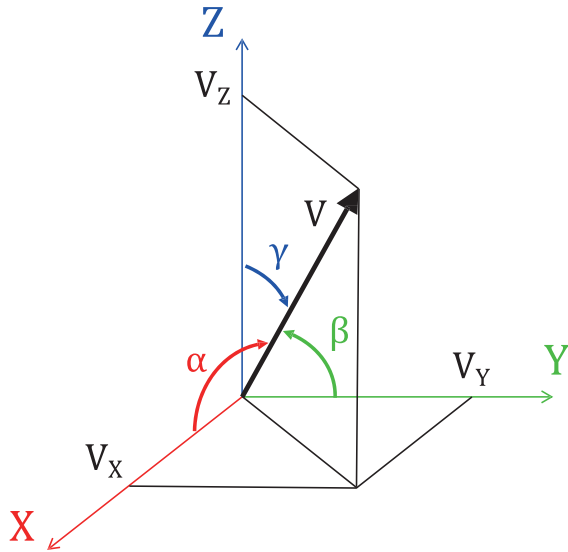


Figure 3 Definition of direction angles X, Y and Z

方向角 X, Y, Z と呼ぶことにする。例えば、直立している場合の大腿ベクトル（膝から大転子, Figure 2）の方向角 X は大腿ベクトルと X 軸がなす角度であり 90 度, 方向角 Y は大腿ベクトルと Y 軸がなす角度で 90 度, 方向角 Z は大腿ベクトルと Z 軸（鉛直軸）がなす角度であり 0 度となる。またアドレスにおける上腕ベクトル（Figure 2 の身体部分 14）の方向角 X, Y, Z がそれぞれ 65 度, 95 度, 25 度であるとすれば, 上腕が 25 度前傾し（X 軸とのなす角度は 65 度）, 右へ 5 度傾いていることを示す。

2.8 変動係数の算出

本研究では、被験者間の身体部分およびクラブの傾き（方向角）のばらつきの大きさを指標として規格化時間 1% ごとに身体各部およびクラブの方向角の変動係数を次式により算出した。

$$CV = \frac{SD}{Mean} \times 100$$

ここで、CV (coefficient of variation) は変動係数, Mean は方向角の平均値, SD (standard deviation) は方向角の標準偏差である。

III. 結果と考察

3.1 ドライバースイングの標準動作モデル

被験者のインパクト時のヘッド先端のスピードは 48.1 ± 2.2 m/s であった。これは、10 名以上の熟練男子ゴルファーを対象とした研究の値 (46.25 ± 2.84 m/s, Nesbit, 2005 ; 45.48 ± 2.85 m/s, Kwon et al., 2013 ; 48.3 ± 2.5 m/s, Han et al., 2019) と同様であり、本研究の被験者が大きなヘッドスピードを生み出せる熟練し

た水準にあったことを示すものであろう。

Figure 4 および 5 は熟練男子ゴルファーのドライバーイングの標準動作を動作区分点（下に規格化した % 時間を示す）のスティックピクチャーで示したものであり、黒は右の腕、脚、体幹およびゴルフクラブ、赤は左側である。Figure 4 はゴルファーの正面（静止座標系 X 軸方向）から、Figure 5 は後方（静止座標系 Y 軸の負方向）から見た場合である。

これらの図をもとに標準動作モデルの動作的特徴をまとめると、以下になる。

- ①アドレス (Figure 4, 0% 時) では、左つま先をわずかに開き肩幅よりもやや広いスタンスをとっており、ゴルファーは身体の中央よりもやや左（大転子の正面あたり）にボールをセットしていた。
- ②バックスイング中間点 (Figure 4, 31% 時) では、下腕を後方へ回転させ、クラブを後方へ振り上げていた。その後、右前腕が地面に平行近くなり (39% 時)、さらに下腕の回転が続いて、正面からみてクラブが地面に垂直近くなっていた (42% 時)。また、後方から見ると (Figure 5)、バックスイング中間点 (31% 時) からトップオブバックスイング (58% 時) までは、右下腿の動きは小さいが、左下腿は大きく前傾していた。なお、トップオブバックスイングまで両足全体は地面に接地していたが、日本プロゴルフ協会の教本 (2010a) では、左踵がわずかに挙がる場合があると述べている。
- ③トップオブバックスイングが近づくと、下腕の回転は止まるが (Figure 4, 54%)、上腕はわずかに回転を続けヘッドも動き続けて、また左膝が少し内側に入りトップオブバックスイング (58% 時) を迎えた。肩と腰の捻り角 (簡便法による X-factor) は 48.9 ± 7.8 度で、Kwon et al. の報告 (57.1 ± 11.2 度, 2013) よりも小さかった。また左肘関節角度は、 140.7 ± 10.8 度で肘が伸び切った状態ではなかった。なお、日本プロゴルフ協会の教本 (2010a) では、これを「肘を突っ張らないように」と表現している。
- ④その後、ダウンスイングが始まり、クラブが振り出されクラブヘッドが高く上がった (Figure 4 および 5, 65% 時)。またダウンスイング前半 (Figure 5, 58 ~ 68% 時) では、屈曲していた左膝がわずかに伸展し、前傾していた左下腿が起きて両脚がそろっていた。なお、Han et al. (2019) は、この辺りの時点から左足の地面反力が大きくなり、身体重心を通る X 軸まわりに体幹を右へ回転させる力のモーメントが急増するため、体幹が右へ傾斜し始めると述べている。

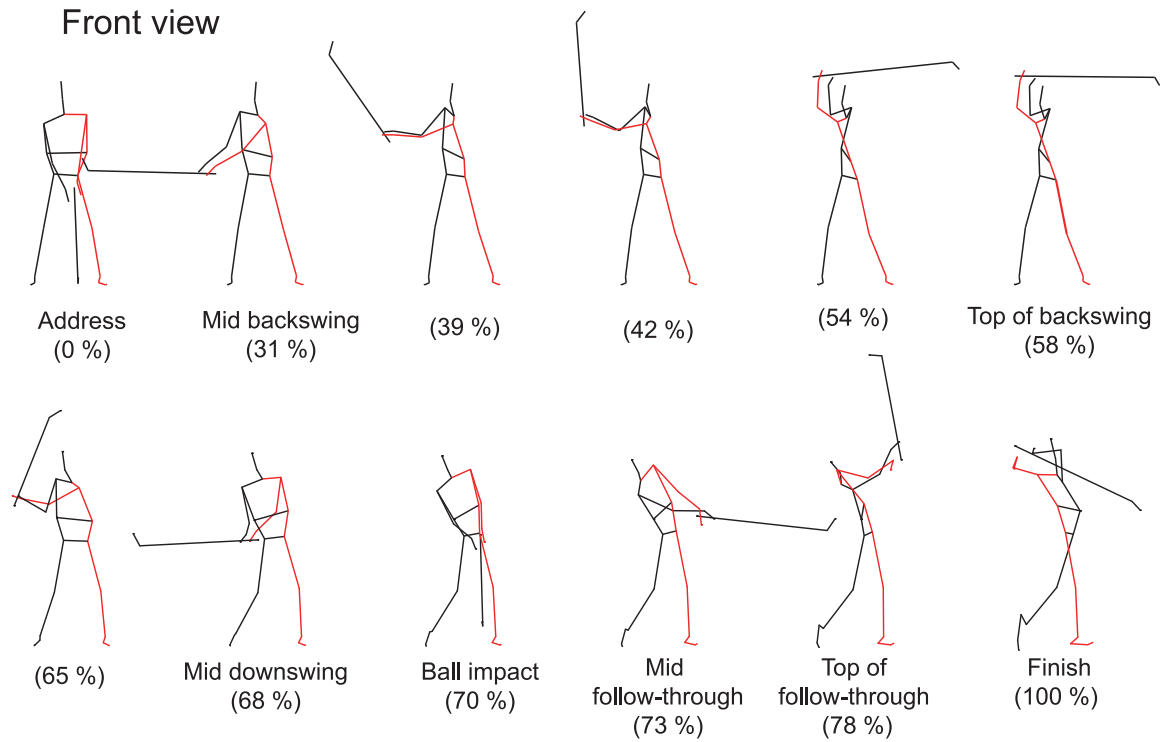


Figure 4 Front view of stick pictures of the standard motion model of the driver swing for skilled male golfers. The black color indicates the right side of the body and club, and the red one indicates the left side.

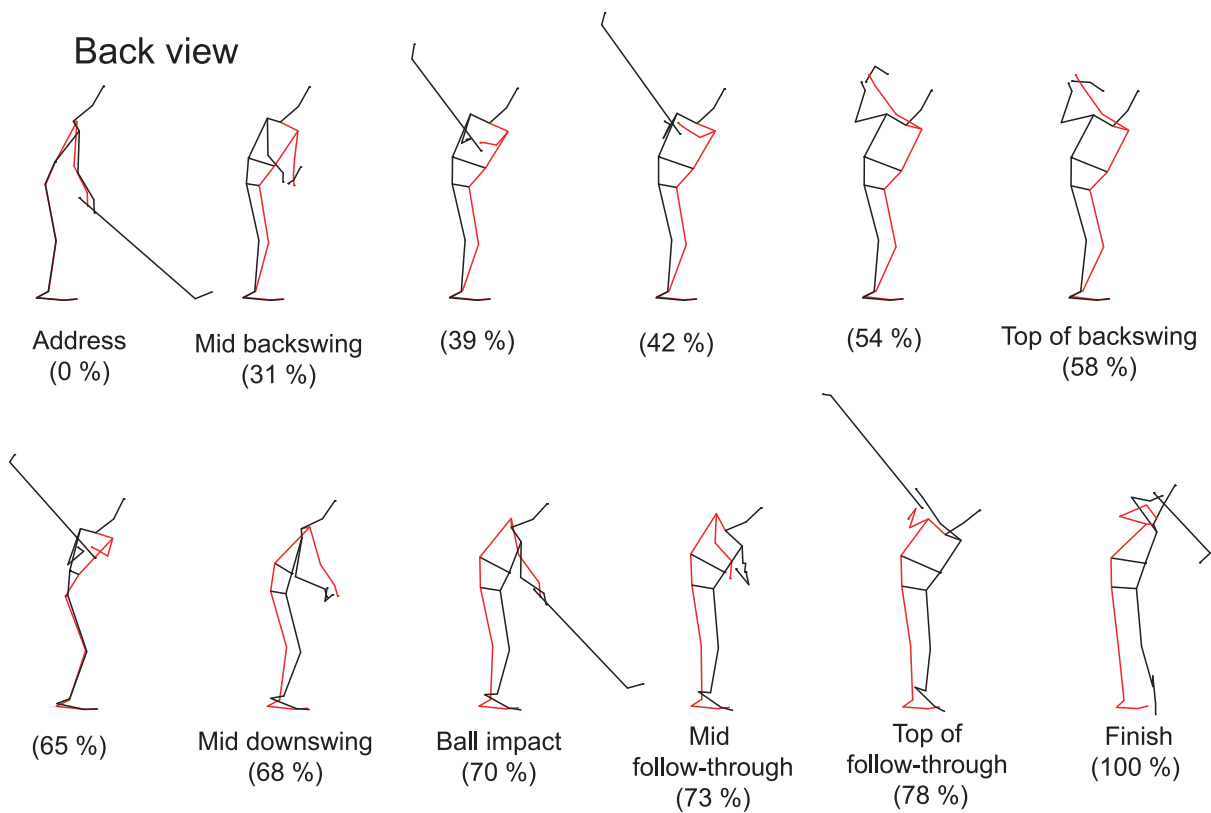


Figure 5 Back view of stick pictures of the standard motion model of the driver swing for skilled male golfers. The black color indicates the right side of the body and club, and the red one indicates the left side.

- ⑤後方から見ると、ダウンスイング中間点 (Figure 5, 68%時) では、右下腿は前傾し右踵が拳がっていることがわかる。下胴は前方に回転し、続いて体幹全体は右に回転した。またクラブは水平近くまで振り下げられていた。
- ⑤インパクト (Figure 4, 70%時) 近くになると、左脚の動きは小さくなるが、上胴はさらに右傾を続け、かつ前方に回転しながら、クラブが高速で振り下げられインパクトを迎えた。また後方から見ると、両腕とクラブが直線に沿うようにそろっていた。
- ⑥フォロースルー中間点 (Figure 4 と 5, 73%時) まで上胴の右傾と前方回転が続き、クラブは水平まで振り上げられた。Figure 5 の 70 ~ 78%時では上胴の右傾が見られ、その大きさは後出の Figure 19 の上胴の方向角 Y の変化からみると、ダウンスイング後半から急激に大きくなり、インパクト (70%時) では約 20 度に (方向角 Y は約 110 度)、その後フォロースルー局面では 30 度以上 (方向角 Y は 120 度以上) になった。
- ⑦その後、クラブはさらに振り上げられ、体幹は右傾を保ってフィニッシュ (100%時) を迎えた。

上述したドライバースイングの標準動作モデルの動作パターンは、指導書 (日本プロゴルフ協会, 2010a, 木原, 2016) で説明されている基本スイングと大きな相違はなく、本研究で作成した標準動作モデルは指導用動作モデルとして活用できると考えられる。また、動作モデルの情報 (身体計測点の 3 次元座標) がデジタル形式で得られるので、様々な方向にスティックピクチャーを回転させたり、練習者のビデオ画像に重ね描きして比較できるという利点もある。なお、本研究の被験者の年齢が 24.1±1.3 歳であることを考えると、本標準動作モデルを被験者より高い年齢の一般ゴルフ愛好者の指導に用いる場合には、フィニッシュで見られる身体の反りや体幹の右傾が小さくなる可能性があることに留意する必要がある。

3.2 身体各部の方向角の変化

Figure 6 ~ 8 は、アドレスからフィニッシュまでの身体各部およびクラブの方向角の変化を平均値で示したもので、Figure 6 は方向角 X の、Figure 7 は方向角 Y の、Figure 8 は方向角 Z を示す。各図の上から順に右肢、左肢、上胴、下胴およびクラブ (シャフトとヘッド) である。なお、図中の 2 本の細い縦線は左からそれぞれトップオブバックスイング (58%時) とインパクト (70%時) の時点を示す。

本研究では、2.7 で先述したように、静止座標系と身体部分ベクトル (Figure 2) の空間内での傾きを示す

指標として方向角を用いた。ゴルフスイング中の空間における身体部分の傾きや動きをとらえる場合には、方向角 X はゴルファーの前後および Y 軸まわりの回転、方向角 Y は左右および X 軸まわりの回転、方向角 Z は Z 軸からの傾きおよび前後左右を総合した動きの指標と考えることができる。

Figure 4 および 5 に示したスティックピクチャーを参照しながら、これらの図をもとに、身体部分の方向角およびその変化についてまとめると、以下のようになろう。

1) 方向角 X (Figure 6)

上肢の方向角およびその変化はともに下肢に比べて大きく、特にフォロースルー局面 (70%時以降) では変化が大きかった。一方、下肢の方向角の変化はスイング全体としてみると小さいが、インパクト前後では大きくなる傾向があった。上胴はバックスイング局面では 60 度前後 (約 40 度の前傾) で、インパクトではわずかに増加するが、大きな変化は見られなかった。シャフトやヘッドについては変化が大きく、インパクトあたりのシャフトの方向角は約 120 度であり、シャフトが水平と約 60 度になっていることを示す。

2) 方向角 Y (Figure 7)

方向角 X と同様の傾向がみられるが、バックスイング局面 (0 ~ 58%時) における上肢の方向角の変化は

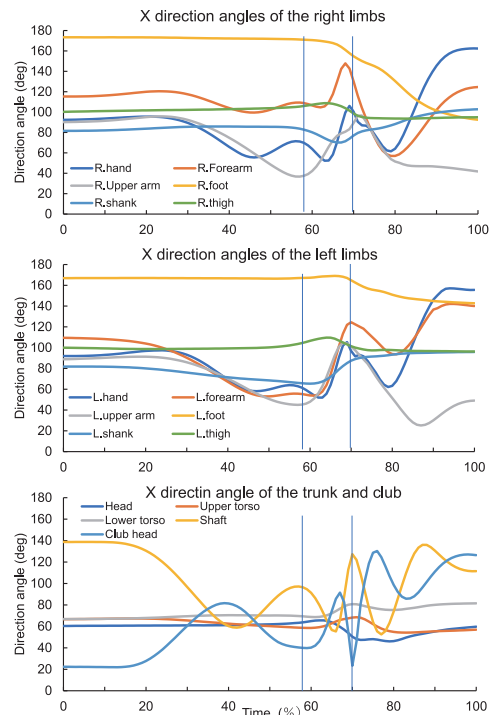


Figure 6 Change in X direction angles of body segment and club vectors during the driver swing. The vertical thin lines represent instants of top of backswing and ball impact from the left, respectively.

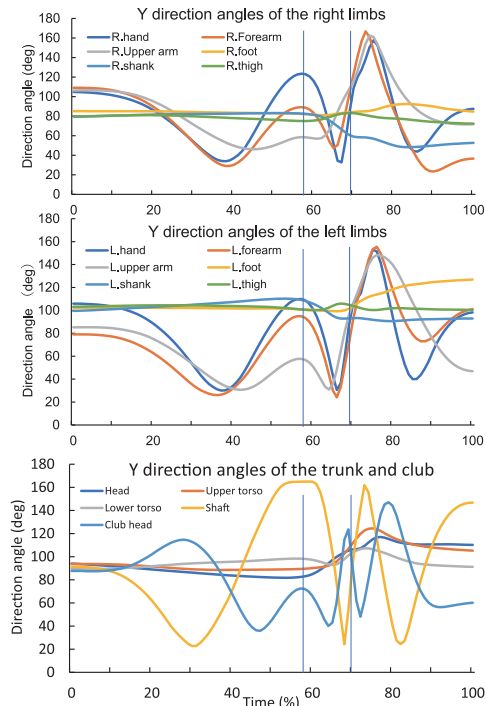


Figure 7 Change in Y direction angles of body segment and club vectors during the driver swing. The vertical thin lines represent instants of top of backswing and ball impact from the left, respectively.

左右とも下肢と比べて大きかった。また右前腕の方向角はインパクトあたりで約90度になっている。フォロースルー局面では上肢の変化が非常に大きかった。

3) 方向角Z (Figure 8)

上肢の方向角をみると、左右ともにアドレス、バックスイング前半の約20%時までは方向角、その変化とも小さいが、バックスイング後半、トップオブバックスイング時点(58%時)では方向角は非常に大きく、右前腕は160度近くになっていた。これは、これらの局面では上肢の末端(手、前腕)が高く挙げられ、これらの部分が逆さまになっているためである。その後、ダウンスイング局面では上肢が振り下ろされるため急激に減少し、インパクト前後では部分によるが20~60度まで減少し、フォロースルー局面では再び増加していた。一方、下肢、上脛、下脛の方向角Zの大きさやその変化はともに小さかった。指導書(日本プロゴルフ協会, 2010b)ではアドレスやバックスイング前半では体幹の前傾を30度程度に保つことを勧めているが、本研究でも上脛の方向角Zは25度前後であった。なお、インパクト前の右足の方向角Zの変化は他の下肢部分よりも大きい。これは先述したようにダウンスイング後半、インパクト、フォロースルー局面において踵が拳がったためである。

ここでは、各軸の方向角の平均値に着目して身体部

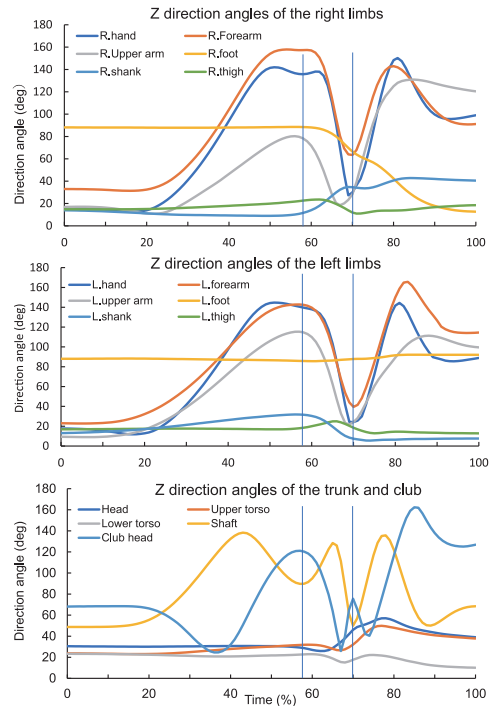


Figure 8 Change in Z direction angles of body segment and club vectors during the driver swing. The vertical thin lines represent instants of top of backswing and ball impact from the left, respectively.

分およびクラブの動きを見たが、これらには被験者の特性に起因するとみられる個人差、あるいは個人間のばらつきの影響が含まれていることに注意しておく必要がある。

3.3 身体各部の方向角の変動係数の変化

緒言で述べたように、Murata et al. (2008) や Ae (2020) は、個人間の動作のばらつきを手がかりにしてスポーツ動作を評価する方法を提案している。本研究では、ドライバーズイングにおける身体各部の方向角の変動係数を個人間のばらつきの指標として標準動作における動作の共通性や要点を検討することにした。

個人間に見られる動作のばらつきは、関節角度や動作軌跡などの範囲、標準偏差、変動係数などで評価できる。すなわち、ある同一の課題をもつ動作を複数の熟練者が行った場合、関節角度、方向角、速度、関節トルクなどのバイオメカニクスの項目に関して個人間のばらつき(標準偏差や変動係数で評価)が小さい身体部分や動作局面・時点は熟練者間の共通性が高く、重要な部分と考えられる。一方、ばらつきが大きい場合には、共通性が低く、個人的特性が許容できる部分か、あるいは逆にパフォーマンスを左右する部分と解釈できる。この場合には、さらにパフォーマンスとの関係を検討して、許容可能か、成績の決定要因かを明

らかにする必要がある (Murata et al., 2008; Ae, 2020)。

Figure 9 ~ 11 は, Figure 6 ~ 8 と同様の方法で方向角 X, Y, Z の変動係数の変化を平均値で示したものであり, Figure 12 はスイング全体における変動係数の平均と標準偏差を示したものである。

これらの図から以下のことがわかるであろう。

- 1) 方向角 X (Figure 9) : アドレスからバックスイング局面前半 (0 ~ 31%時) までは多くの身体部分の変動係数は小さかった。バックスイング後半からトップオブバックスイング (31 ~ 58%時), ダウンスイング前半 (58 ~ 68%時) では上肢の変動係数が大きい, 下肢では小さかった。その後, インパクトまで減少したが, フォロースルーでは再度増加していた。またクラブはインパクト前で急増していた。
- 2) 方向角 Y (Figure 10) : スイング全体としてみると, 方向角 X と類似の変化を示し, 上肢の変動係数は非常に大きく, 下肢では小さかった。しかし, 上肢でもバックスイング中間点 (31%時) からトップオブバックスイング (58%時) で減少しており, その後ダウンスイング前半までに増加したが, インパクトに向かって減少し, フォロースルーでは増加していた。シャフトは, 上肢に近い変化を示すが, 変動係数は上肢よりも大きく, インパクト前に急増した。
- 3) 方向角 Z (Figure 11) : スイング全体としてみると, 方向角 X, Y よりも変動係数が大きい傾向にあった。上肢では, 方向角 X および Y よりもやや早いタイミングで増加し始め, バックスイング前半でピークに達した。これは上肢の動作のばらつきが大きいことを示している。また, 他の方向角と同様に, 下肢の変動係数は小さいが, 右足についてはトップオブバックスイングまでは大きさ, 変化とも小さく, ダウンスイング後半からインパクトまで急増した。さらに, 左右の手と上腕および左下腿ではインパクトに向けて増加しており, 他の部分とは異なる変化を示した。またクラブヘッドでは方向角 X と同様にインパクト前に急増していた。
- 4) 変動係数のスイング全体の平均値 (Figure 12) をみると, 上述した変動係数の時系列変化を反映して, 方向角 X の大きい部分は左右の上腕, 左手, 小さい部分では右の下腿と大腿, 左大腿であり, 方向角 Y では左右の手と右前腕が大きく, 左右の大腿と左下腿が小さかった。また方向角 Z では左右の手と左下腿が大きく, 右前腕, 左右の足で小さかった。左の下腿や大腿が大きいにも関わらず, 左足は著しく小さかった。なお, ゴルフクラブは方

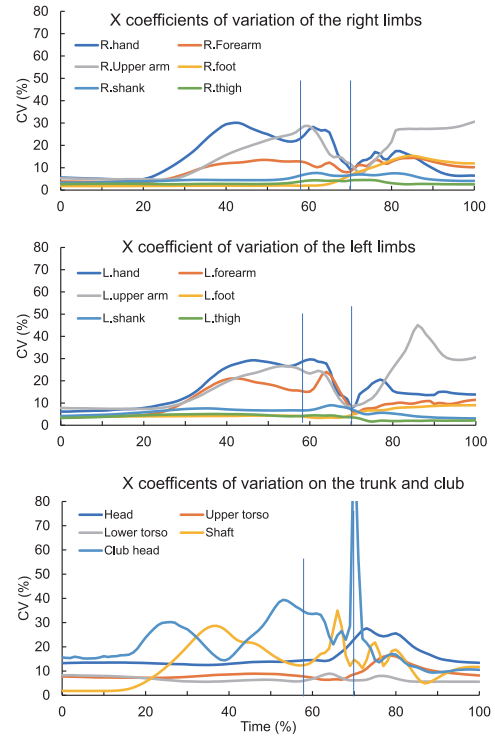


Figure 9 Change in X coefficients of variation of body segment and club vectors during the driver swing. The vertical thin lines represent instants of top of backswing and ball impact from the left, respectively.

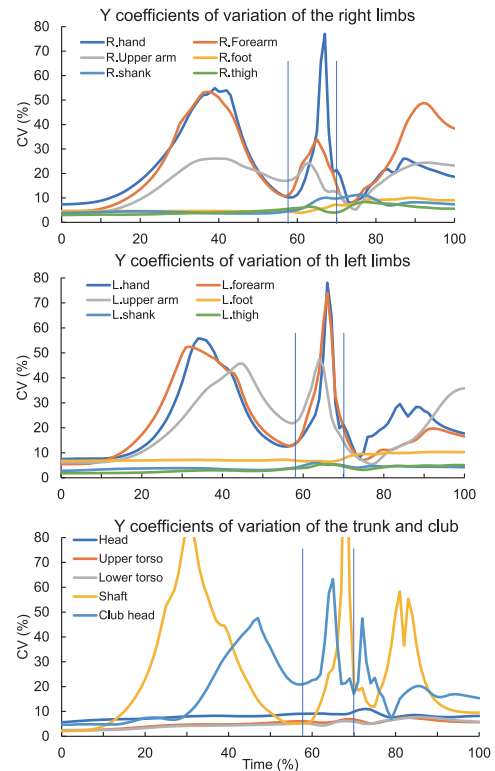


Figure 10 Change in Y coefficients of variation of body segment and club vectors during the driver swing. The vertical thin lines represent instants of top of backswing and ball impact from the left, respectively.

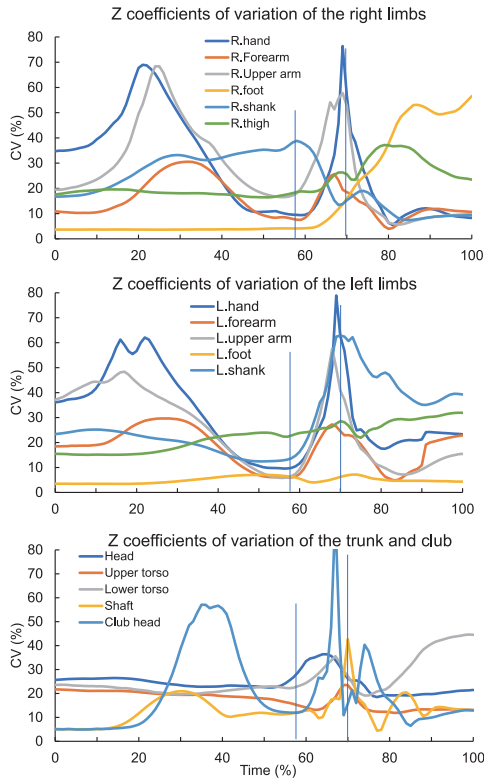


Figure 11 Change in Z coefficients of variation of body segment and club vectors during the driver swing. The vertical thin lines represent instants of top of backswing and ball impact from the left, respectively.

向角Zのシャフトを除くと、いずれも大きかった。上述した身体各部およびクラブの変動係数の変化をまとめると、以下になる。

- ① 上肢の変動係数はフォロースルーでは大きいことから、この局面の上肢の動きには共通性が低く、個人的特性に依存すると考えられる。
- ② 下肢、特に足の変動係数は小さく、その動きには共通性が高い。
- ③ 体幹では、上胴、下胴ともに変動係数は小さく、この部分の共通性は高い。
- ④ クラブの変動係数は上肢と同様に大きく、特にインパクト前後では急増する。

このように下肢の変動係数が小さいことから、下肢の動きは上肢やクラブほどには大きくないが、共通性が高いことから、ゴルファーの指導や評価ではまず下肢の動きに着目する必要があると示唆できる。一方、スイングにおいて主要な役割を果たすと考えられる上肢やゴルフクラブの変動係数が大きいことは、スイングの主要部分のばらつきが大きく、共通性が低いと解釈ができるであろう。しかし、変動係数は標準偏差をその時点の平均値で除して算出されるので、ある部分の方向角の標準偏差が小さくても、平均値が小さい場合には変動係数が大きくなる場合があることに注意する必要がある。

そこで、次に方向角の平均値と変動係数の関係を検討することにする。

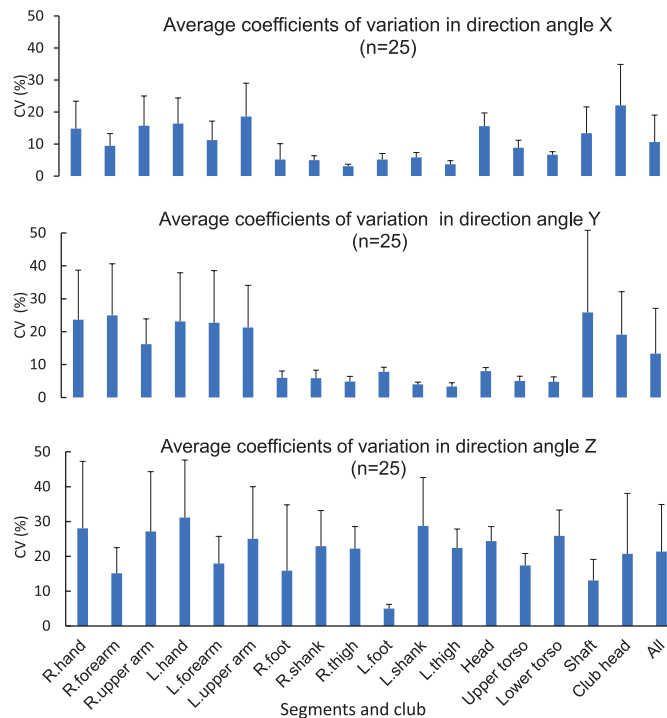


Figure 12 Average coefficients of variation in direction angles of body segment and club vectors. Label “All” on the abscissa indicates the average of all body segment and club vectors.

3.4 方向角と変動係数の関係

Figure 13～18はFigure 12で示した各方向角の変動係数の平均値が最も大きかった3身体部分と最も小さかった3身体部分について、Figure 19は上腕について方向角の平均値と ± 1 標準偏差の範囲(図の左縦軸)およびその変動係数(右縦軸)の変化を重ねて示したものである。なお、Figure 13は方向角Xの変動係数の平均値が大きかった右上腕、左手、左上腕を、Figure 14は小さかった右下腿、右大腿、左大腿を、Figure 15は方向角Yの変動係数の平均値が大きかった右手、右前腕、左手を、Figure 16は小さかった右大腿、左下腿、左大腿を、そしてFigure 17は方向角Zの変動係数の平均値が大きかった右手、左手、左下腿を、Figure 18は小さかった右前腕、右足、左足を示す。

これらの図から、以下のことがわかる。

- ①いずれの身体部分の方向角においても、方向角の変化が大きい身体部分(例:Figure 13, 15, 17のバックスイング後半からダウンスイング、インパクト前後など)では変動係数の変化も大きかった。
- ②前述したように、変動係数が大きい身体部分や局面(例:Figure 13のトップオブバックスイング前後、Figure 15のバックスイング前半、インパクト前、Figure 17ではバックスイング前半およびイン

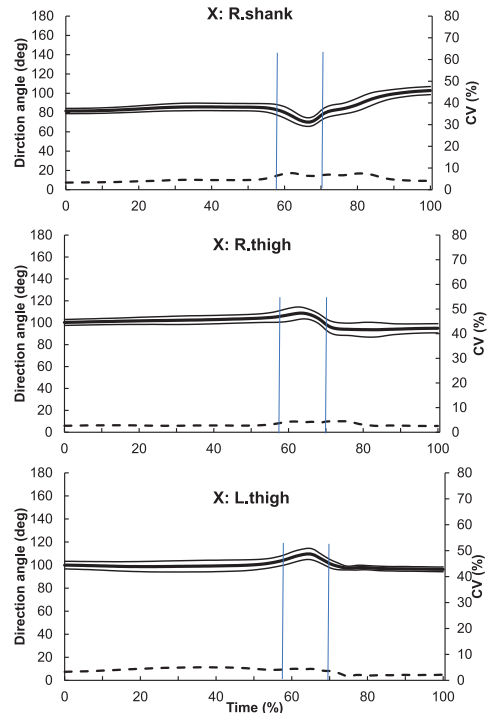


Figure 14 Changes in means (thick solid line) and ± 1 standard deviations (thin solid lines) of X direction angles and coefficients of variation (broken line) for the right shank, right thigh and left thigh. The vertical thin lines represent instants of top of top of backswing and ball impact from the left, respectively.

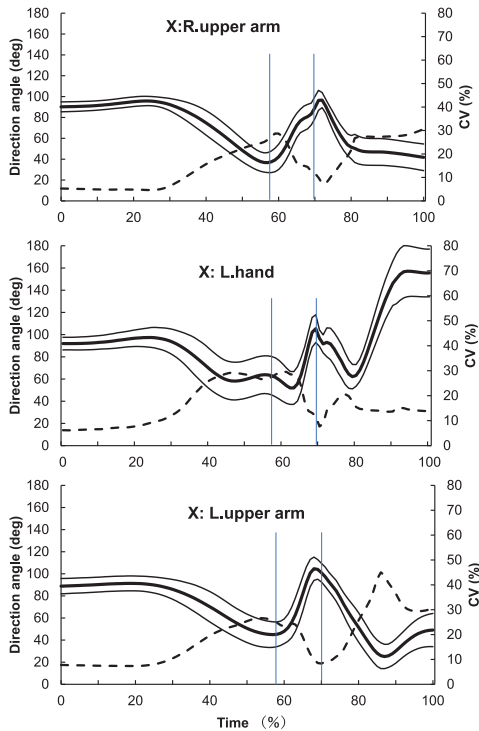


Figure 13 Changes in means (thick solid line) and ± 1 standard deviations (thin solid lines) of X direction angles and coefficients of variation (broken line) for the right upper arm, left hand and left upper arm. The vertical thin lines represent instants of top of backswing and ball impact from the left, respectively.

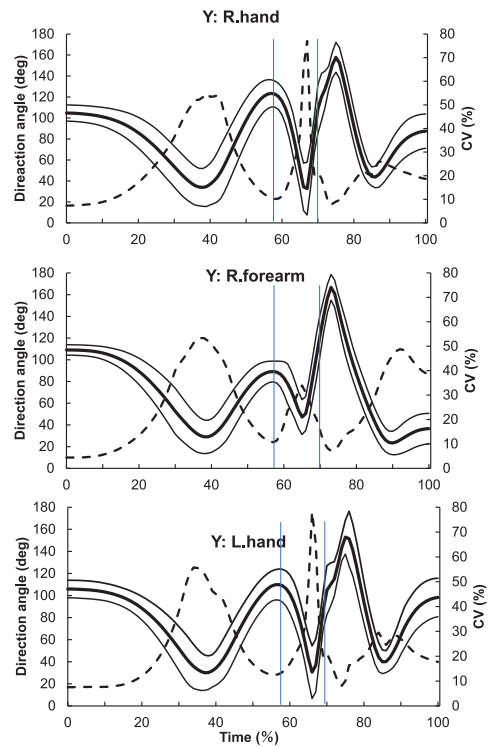


Figure 15 Changes in means (thick solid line) and ± 1 standard deviations (thin solid lines) of Y direction angles and coefficients of variation (broken line) for the right hand, right forearm and left hand. The vertical thin lines represent instants of top of backswing and ball impact from the left, respectively.

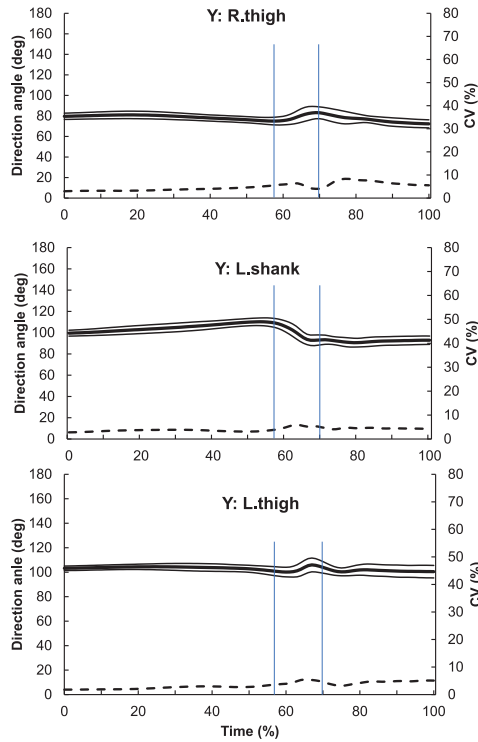


Figure 16 Changes in means (thick solid line) and ± 1 standard deviations (thin solid lines) of Y direction angles and coefficients of variation (broken line) for the right thigh, left shank and left thigh. The vertical thin lines represent instants of top of backswing and ball impact from the left, respectively.

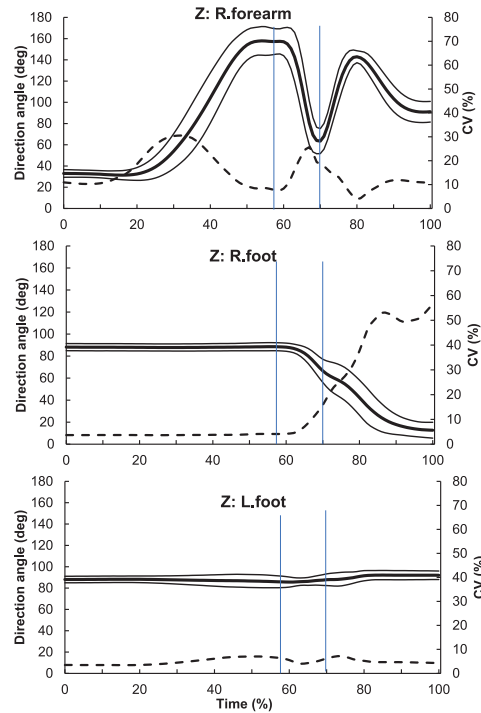


Figure 18 Changes in means (thick solid line) and ± 1 standard deviations (thin solid lines) of Z direction angles and coefficients of variation (broken line) for the right forearm, right foot and left foot. The vertical thin lines represent instants of top of backswing and ball impact from the left, respectively.

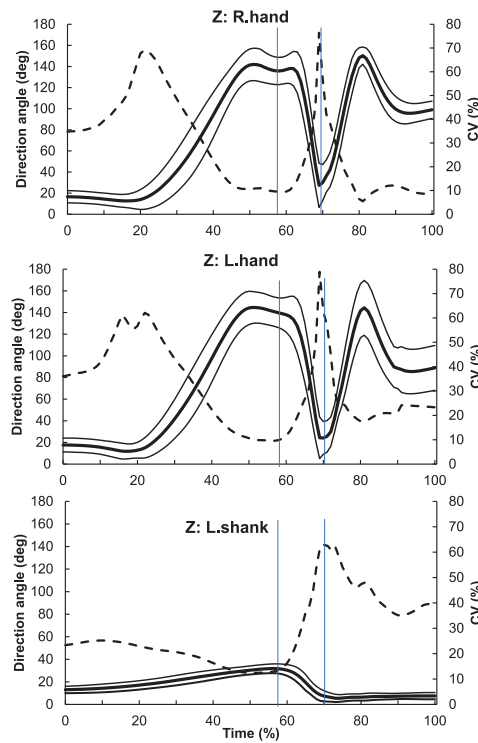


Figure 17 Changes in means (thick solid line) and ± 1 standard deviations (thin solid lines) of Z direction angles and coefficients of variation (broken line) for the right hand, left hand and left shank. The vertical thin lines represent instants of top of backswing and ball impact from the left, respectively.

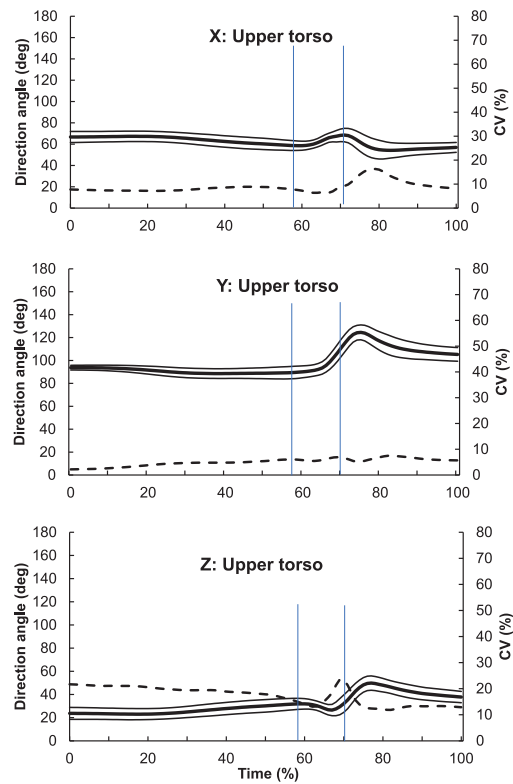


Figure 19 Changes in means (thick solid line) and ± 1 standard deviations (thin solid lines) of X, Y and Z direction angles and coefficients of variation (broken line) for the upper torso. The vertical thin lines represent instants of top of backswing and ball impact from the left, respectively.

バクト前など)では方向角が小さく標準偏差が大きかった。

③逆に変動係数が小さい場合(例:Figure 13のバックスイング前半, Figure 14および16の各部分, Figure 18の左足)では方向角の平均値が大きいが標準偏差は比較的小さかった。

④上脗(Figure 19)では, 3つの方向角の標準偏差の大きさは同様で, いずれも小さかった。しかし, 方向角Zの平均値(約20~60度)が他の方向角(X:約70~80度, Y:約90~130度)よりも小さいため, その変動係数が大きくなったと考えられる。

方向角の標準偏差が小さく変動係数も小さい場合には, 動作の共通性および重要性が高いと考えられる。しかし, 上述したように身体部分や時点によっては方向角と変動係数が相反する傾向もみられるので, 共通性や重要性の高低の判断には変動係数のみではなく, 方向角の平均値や標準偏差を考慮する必要がある。

IV. まとめ

本研究では, 熟練男子ゴルファー25名のドライバースイング動作を3次元動作分析して得られた身体各部およびクラブの3次元座標データを用いて, Ae et al. (2007)の方法により標準動作モデルを作成するとともに, 身体各部の方向角, 変動係数を算出して, スイング動作における身体各部の動作の共通性を明らかにすることを試みた。

得られた主な知見をまとめると, 以下ようになる。

- ①ドライバースイングの標準動作モデルの動作パターンは, 指導書に記述されている基本スイングと大きな相違はなく, 本研究で作成した標準動作モデルは指導用動作モデルとして活用できると考えられる。
- ②ダウンスイング前半で体幹の右傾が始まり, 同時に体幹が前方に回転し, フィニッシュまで身体の右傾が保たれていた。
- ③いずれの部分の方向角およびその変化とも, 上肢では下肢に比べて大きかった。一方, 下肢および体幹(上脗および下脗)の方向角の変化はスイング全体としてみると小さいが, インパクト前後では大きくなる傾向があった。
- ④上肢の方向角の変動係数はフォロースルーでは大きいことから, この局面の上肢の動作には共通性が低く, 個人的特性に依存すると考えられた。
- ⑤下肢の方向角の変動係数は小さく, その動作は共通性が高いと考えられた。
- ⑥上脗の方向角の標準偏差が小さいことから, 上脗の動作は共通性が高いと考えられた。

⑦クラブの方向角の変動係数は上肢と同様に大きく, 特にインパクト前後では急増した。

このように下肢や体幹の変動係数が小さいことは, これらの動きには共通性が高いことを意味し, ドライバースイング動作の指導や評価では着目すべき重要な部分であると考えられる。一方, 上肢の方向角の変動係数は下肢や体幹に比べて大きい傾向にあり, 上肢の動作は個人的特性などを反映する場合があることにも留意しておく必要がある。また, 方向角と変動係数は相反する傾向があり, 方向角が小さいために変動係数が大きくなる場合もあるので, 共通性や重要性の高低の判断には変動係数のみではなく, 方向角の平均値や標準偏差を考慮する必要がある。

文 献

- Ae, M., Muraki, Y., Koyama, H., and Fujii, N. (2007) A biomechanical method to establish a standard motion and identify critical motion by motion variability: With example of high jump and sprint running. *Bulletin of institute of health and sport sciences, University of Tsukuba*, 30: 5-12.
- 阿江通良・小林育斗(2011)動作分析から動作の共通性と個性を考える. *バイオメカニクス研究*, 15(3): 88-95.
- 阿江通良・藤井範久(2015)スポーツバイオメカニクス 20講. 朝倉書店:東京, p. 31.
- Ae, M. (2020) The next steps for expanding and developing sport biomechanics. *Sports Biomechanics*, 19(6): 701-722.
- ベン・ホーガン:水谷 準訳(1974)モダン・ゴルフ. ベースボール・マガジン社, 東京.
- Hay, J. G. and Reid, J. G. (1982) *The anatomical and mechanical bases of human motion*. Prentice-Hall, New Jersey, pp. 261-278.
- Han, K. H., Como, C., Kim, J., Lee, S., Kim, J., Kim, D. Y., and Kwon, Y. H. (2019) Effect of the golfer-ground interaction on clubhead speed in skilled male golfers. *Sport Biomechanics*, 18(2): 115-134.
- Horan, A. S., Evans, K., Morris, N. R., and Kavanagh, J. J. (2010) Thorax and pelvis kinematics during the downswing of male and female skilled golfers. *Journal of Biomechanics*, 43: 1456-1462.
- Hume, P. A. and Keogh, J. (2017) Movement analysis of the golf swing. *Handbook of Human Motion*, Mueller, B. and Wolf, S. I. (eds), Springer International Publishing AG, pp. 1-18.
- 井上 雄貴(2018)男子プロとアマチュアゴルファーのスイング中の地面反力及び動作の比較. 平成29年度日本体育大学大学院体育科学研究科 修士学位論文.
- Keogh, J. and Hume, P. A. (2012) Evidence for biomechanics and motor learning research improving golf performance. *Sport Biomechanics*, 11(2): 288-309.
- 小林育斗・阿江通良・宮崎朋世・藤井範久(2012)優れた投能力をもつ小学生の投動作の特徴とその標準動作. *体育学研究*, 57: 613-629.

- 木原裕二 (2016) スポーツテキスト ゴルフの基本 日体大編. 日本体育大学運動方法ゴルフ研究室.
- Kwon, Y. H., Han, K. H., Como, C., Lee, S. and Singhal, K. (2013) Validity of the X-factor computation methods and relationship between the X-factor parameters and clubhead velocity in skilled golfers. *Sports Biomechanics*, 12(3): 231-246.
- Murata, K., Ae, M., Uchiyama, H., and Fujii, N. (2008) A biomechanical method to quantify motion deviation in the evaluation of sports techniques using the example of a basketball set shot. *Bulletin of Institute of health and Sport Sciences, University of Tsukuba*, 31: 91-99.
- Nesbit, S. M. (2005) A three dimensional kinematic and kinetic study of the golf swing. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4: 499-519.
- Nesbit, S. M. and Serrano, M. (2005) Work and power analysis of the golf swing. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4: 520-533.
- Nesbit, S. M. and McGinnis, R. S. (2014) Kinetic constrained optimization of the golf swing hub path. *Journal of Sports Science and Medicine*, 13: 859-873.
- 日本プロゴルフ協会 (2010a) PGA 基本ゴルフ教本. 社団法人 日本プロゴルフ協会. 初版.
- 日本プロゴルフ協会 (2010b) PGA ジュニア基本ゴルフ教本. 社団法人 日本プロゴルフ協会.
- 小口貴久 (2021) : 男子スケルトン選手のスタート動作の改善に関する研究 : 一流選手のスタート動作の分析と即時フィードバックの効果. 令和2年度日本体育大学大学院体育科学研究科コーチング学専攻 博士論文.

<連絡先>

著者名 : 阿江通良

住 所 : 東京都世田谷区深沢 7-1-1

所 属 : 日本体育大学コーチング系

E-mail アドレス : ae@nittai.ac.jp