2016年度　修士学位論文

ゴルフスイング中の体重移動と体幹動作

身体重心・足圧中心の位置関係からみたスイングスタイルの類別と体幹部の3次元キネマティクス

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 博士課程前期課程 2回生

6232150003-5

泉本　洋香

ゴルフスイング中の体重移動と体幹動作

身体重心・足圧中心の位置関係からみたスイングスタイルの類別と体幹部の 3 次元キネマティクス

立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科 博士課程前期課程 2 回生　泉本洋香

要旨

キーワード：クラブヘッドスピード・身体重心と足圧中心の位置関係・胸部・腰部・並進動作・回転動作

【背景・目的】

ゴルフスイング中の体重移動および体幹動作は、ゴルフパフォーマンスの指標である高いクラブヘッドスピードを獲得するために必要な技術的要素である。そこで、高いゴルフパフォーマンスを得るために、ゴルフスイング中の体重移動（足圧中心の移動）の方法や、体幹部（胸部および腰部）の動作が個々の選手によって異なることが報告されている。しかし、体重移動において身体重心：Center of mass（COM）と足圧中心：Center of pressure（COP）の両方を評価し、体重移動の方法が異なる選手における体幹動作の特徴を明らかにした報告はない。そこで本研究では、①ゴルフスイング中の COM と COP の位置関係からゴルフスイング中の体重移動を評価すること、②COM と COP の位置関係の異なる選手におけるゴルフスイング中の体幹動作の特徴を明らかにすることを目的とした。

【方法】

被験者は右打ちの大学生ゴルフ選手 38 名を対象とした。すべての被験者におけるドライバーショット 10 球中の身体座標位置データを光学式 3 次元モーションキャプチャシステム（250Hz）により取得し、同時に 2 枚の床反力計（1000Hz）から床反力データを片足ずつ測定した。COM を 3 次元座標データ、COP を床反力データから算出し、体重移動の評価として COM と COP の位置関係を算出された左右方向の COM と COP を用

いて求めた。また、体幹動作の評価として 3 次元座標データから胸部および腰部の左右、前後、上下方向への移動位置・移動速度および、左右側屈、前後屈曲、左右回旋角度・角速度を算出した。

【結果・考察】

体重移動の評価において、インパクト時に COP が COM よりも飛球方向側に位置する選手（Front foot style : Ff 群）と、COP が COM よりも飛球方向と反対側の足付近に位置する選手（Reverse style : Rv 群）が存在し、スイングスタイル間にクラブヘッドスピードに有意な差がないことが明らかとなった。これらの結果から、Ff 群と Rv 群では、ゴルフスイング中の COM を制御する COP の移動方法は異なることが示唆された。

次に体幹動作の評価において、並進動作においては Ff 群と Rv 群の間に COM および COP の移動に対応して異なる点が確認されたものの、回転動作においては大きな違いが見られなかった。Ff 群においてクラブヘッドスピードと胸部および腰部の並進移動速度・回転角速度との間に有意な正の相関関係が認められたことから、Ff 群は素早く体幹部を移動・回転させることで、クラブヘッドスピードを増加させていることが示された。一方、Rv 群においてクラブヘッドスピードと体幹動作の間に有意な相関関係が確認されなかったことから、Rv 群は体幹動作以外の技術的要素を用いて高いクラブヘッドスピードを獲得していることが示唆された。

さらに、インパクト時の COM が COP よりも飛球方向側および飛球方向と反対側へ離れるほどそれぞれの選手において、胸部および腰部は異なる動作方法をとっていた。この結果から COM と COP の距離の大きさによって、体幹動作は変化することが明らかとなった。

【結論】

ゴルフスイング中の COM と COP の位置関係の異なる選手が存在し、それぞれの選手において高いゴルフパフォーマンスを獲得するためのスイングスタイルは異なることが示唆された。

Weight transfer strategies and trunk motion strategies during golf swing

6232150003-5 Youka Izumoto

Abstract

Keywords: Club head speed, Interaction between COP and COM, Thorax, Pelvis, Rotation kinematics, Linear kinematics

Introduction:

The weight transfer and trunk (thorax and pelvis) motion are important for successful golf shot. Although the weight transfer is usually explained by the center of pressure (COP) position relative to the whole body center of mass (COM) position, interaction between the COP and COM during golf swing is unclear. The weight transfer during golf swing is related to the trunk motion. However, there is no knowledge about the trunk motion strategies in golfers using different weight transfer strategies. The purpose of this study was to examine that the relative position between COP and COM during golf swing, and to investigate whether differences in kinematics of trunk motion exist between two weight transfer strategies.

Methods:

Thirty-eight collegiate golfers participated in this study. The subjects completed 10 driver shots. Ground reaction force of each foot was measured using two separate force plates at 1000 Hz, and a whole body kinematics and club head trajectory were obtained using three-dimensional motion capture system at 250 Hz during golf swing. The COP and COM position at ball impact were calculated by force plate data and three dimensional kinematics marker data. The thorax and pelvis linear and

angular kinematics (displacement and velocity) were calculated by three dimensional kinematics data.

Results & discussion:

For results of the weight transfer strategies, all subjects were separated into two groups whether the COP positioned in left foot side of the COM (Front foot style: Ff) or in right foot side of the COM (Reverse style: Rv) at impact. For the Ff group, the COP positioned left side of the COM. For the Rv group, the COP positioned right side of the COM.

For results of the trunk motion strategies, different linear kinematics of thorax and pelvis were appeared between the Ff and Rv groups. On the other hand, there were no significant difference in two groups about rotation kinematics of the thorax and pelvis. The angular velocity of the thorax and pelvis had significant correlation with club head speed in the Ff group, while no significant correlations were found in each trunk kinematics parameters and the club head speed in the Rv groups. These results suggest that the Ff golfers use the thorax and pelvis motion to promote greater club head speed, and the Rv golfers would use other swing strategies to promote greater club head speed.

Conclusion:

The COP position relative to the COM position and the thorax and pelvis motion during golf swing were difference in the Ff and Rv golfers. These results suggest that the Ff and Rv golfers use different swing strategies to promote greater golf performance.

目次

第 1 章　緒言 1

1-1 背景 1

1-1-1 ゴルフ競技について 1

1-1-2 ゴルフスイング 2

1-1-3 ゴルフスイングとパフォーマンス 3

1-1-4 ゴルフスイング中の体重移動について 3

1-1-5 ゴルフスイング中の体幹動作について 7

1-2 本研究の目的 9

1-2-1 目的 9

1-2-2 本論文の構成 9

第 2 章　ゴルフスイング中の体重移動 10

2-1 目的 10

2-2 方法 10

2-3-1 被験者 10

2-3-2 実験試技 11

2-3-3 データ収集 12

2-3-4 データ解析 12

2-3-5 統計処理 15

2-3 結果 20

2-4-1 足圧中心 20

2-4-2 身体重心 20

2-4-3 身体重心に対する足圧中心の位置関係 21

2-4 考察 29

第 3 章　スイングスタイルにおけるゴルフスイング動作の特徴 33

3-1 目的.....33

3-2 方法.....34

3-3-1 被験者.....34

3-3-2 実験試技.....35

3-3-3 データ収集.....35

3-3-4 データ解析.....35

3-3-5 統計処理.....37

3-3 結果.....39

3-4-1 各スイングスタイルにおける胸部および腰部の並進・回転動作.....39

3-4-2 各スイングスタイルにおける胸部および腰部の並進・回転動作とクラブヘッドスピード.....54

3-4 考察.....56

3-5-1 各スイングスタイルにおける胸部および腰部の並進・回転動作の比較.....56

3-5-2 各スイングスタイルにおける胸部および腰部の並進・回転動作とクラブヘッドスピードとの関係.....58

第 4 章　総合討論.....60

4-1 身体重心と足圧中心の位置・距離の違いと体幹動作の関係.....60

4-2 実践への示唆.....67

第 5 章　結論.....68

文献.....70

付録.....76

第 1 章　緒言

1-1　　背景

1-1-1　ゴルフ競技について

ゴルフとは、定められた距離の範囲内で、いかに少ない打数でボールを移動させ、カップに入れることができるかを競う競技である。ゴルフ選手は、まず始めにティーグラウンドからショットをし、次のセカンドショット以降からはフェアウェイやラフなどからグリーンに向かってボールを打つ。そしてグリーンにボールを乗せ、そこに存在するカップにボールを入れる。ここまで 1 ホールとし、ゴルフ競技では前半 9 ホール、後半 9 ホール行い、合計 18 ホールを 1 ラウンドとし、その合計スコアを競う。各ホールでは規定された打数が存在し、標準的な規定打数は 4 打であるが、各ホールの距離によって 5 打もしくは 3 打であったりする。一般的に規定打数が 5 打および 3 打のホールは 18 ホール中に 4 ホールずつ存在する。各ホールの距離は定められていることから、1 ホールあたりの打数をできるだけ少なくするために、ゴルフ選手には、できるだけボールを遠くへ飛ばす技術と、自分の意図する距離・方向・場所にボールをコントロールする技術が要求される。

ゴルフでは最多で 14 本のクラブを駆使し、プレーを行う。このクラブは選手が打ちたい距離や方向、またはボールの置かれている状況に応じて選択される。一番長く、高い飛距離を生みだすことができるのがドライバーと呼ばれる 1 番ウッドである。一般的にゴルフ選手は規定打数が 3 打のホール（1 ホールあたりの距離が短いホール）以外では、初回のショット時（ティーショット時）にカップまでの残り距離の大きな短縮を図るために、このクラブを使用する。つまり 1 ラウンド（18 ホール）中の約 14 ホールではドライバーを使用することになる。そのため、ドライバーショットは他のクラブで行うショットに比べて使用頻度が高い。また、遠くへ飛ばすために大きな力を発揮する必要があるため、他のクラブに比べて身体の筋放電量が大きく、身体動作範囲が大きい（Egret et al., 2006; Tinmark et al., 2010; Ball et al., 2011; Joyce et al., 2013）。また、ドライバーショットの高い飛距離と方向性はゴルフスコアと有意な相関関係にある（Wiseman et al., 2006）。ドライバーショットの飛距離と方向性を左右するものとしてクラブなどの

道具や地形・風などの環境からの外的要因に加えて、どのようにボールを打つのかというゴルフスイングを行う選手自身の内的要因がある。これらのことから、高い飛距離の獲得に関するドライバーを用いたゴルフスイングの解明の試みはゴルフの基本動作を理解し、ゴルフパフォーマンス向上につながると考えられる。

1-1-2　ゴルフスイング

ゴルフスイングは 4 つのポジション（アドレス・トップオブバックスイング（トップ）・インパクト・フィニッシュ）と 6 つのフェーズ（バックスイング初期・バックスイング後期・ダウンスイング初期・ダウンスイング後期・フォロースルー初期・フォロースルー後期）に分けることができる（図 1-1）。右打ちの場合、アドレスは飛球方向に対して平行に立ち、体幹部の前傾姿勢を保ったまま、クラブを飛球方向に対してボールよりも反対側に置いた状態のことを指す。バックスイングでは、そこから体幹の右回旋動作を行い、クラブを飛球方向と反対方向へ動かし、頭上へと移動させて振りかぶる。バックスイングが完了した地点をトップと呼び、その後、体幹部やクラブは飛球方向へ移動を開始する。そして、体幹部の強い左回旋と右側屈動作を伴ってクラブを振り降ろし（ダウンスイング）、ボールにクラブを衝突させる（インパクト）。インパクト後は、ダウンスイングと同じ方向への身体とクラブを動かしつつ、その動きは減速し、フィニッシュで完全に減速し終える。この一連の流れは約 3 秒という極めて短い時間で行われ、特にダウンスイングは 0.3～0.4 秒、インパクト時のボールとクラブの接触時間は 3~4/10000 秒であることが報告されており（Williams et al., 2002）、ほんのわずかな時間の間でパフォーマンスが決定する。

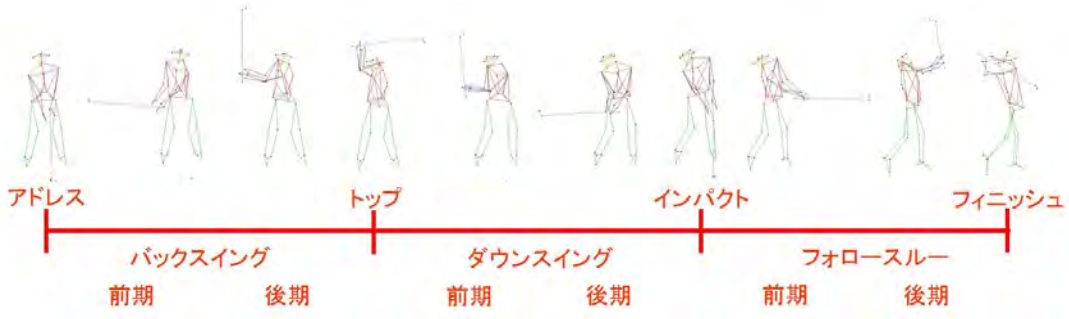


図 1-1 ゴルフスイング

1-1-3　ゴルフスイングとパフォーマンス

高い飛距離を獲得するためにはインパクト時に、グラブがボールに与える力を増加させる必要があり，そのためにはゴルフ選手自身のクラブヘッドスピードを向上させることが必要である（Hume et al., 2005; Gordon et al., 2009; Hellströma et al., 2009）。ゴルフの指導現場では、高いゴルフパフォーマンスを発揮するゴルフスイングを行うために、ゴルフスイング中の姿勢制御（体重移動）や体幹部の回転動作が重要な技術的要素であるとされている（Smith et al., 2015）。特に、高いクラブヘッドスピードを得るために、ゴルフスイング動作におけるダウンスイング中の体重移動、体幹部（胸部と腰部）の回転動作、手首のアンコック動作（ダウンスイング中に橈屈状態の手首を尺屈へ移行する動作）の遅延などのバイオメカニクス的な要因が上げられている（Chu et al., 2010; Smith et al., 2015）。

ゴルフスイング中の体重移動は、左右の足にかかる体重当たりの床反力の割合の変化や、床反力の作用点である足圧中心の移動によって評価されており、それらの移動距離や移動速度がクラブヘッドスピードを増加させることから、ゴルフパフォーマンス向上に重要な役割を担っている（Ball et al., 2007b; Jenkins et al., 2008）。体幹部の胸部および腰部の動作では、クラブヘッドスピードの速い選手は、ダウンスイング中の胸部および腰部の側屈・前後屈・回旋といった 3 軸周りの回転角速度が高いことが報告されている（Myers et al., 2008; Zheng et al., 2008b; Horan et al., 2010）。また、ゴルフスイング中の体幹動作を並進動作と回転動作に分けて考えたBurden et al.,（1998）、やBeak et al.,（2013）の先行研究によると、身体重心の並進移動速度はクラブヘッドスピードに影響を与えると報告している。したがって、クラブヘッドスピードには身体、特に体幹部の並進移動速度と回転角速度が影響を与えることが考えられる。以上のことから、ゴルフスイング中の体重移動や体幹動作の方法を理解することは選手のクラブヘッドスピードを向上させ、高いパフォーマンスの獲得につながると考えられる。

1-1-4　ゴルフスイング中の体重移動について

ゴルフの指導現場では、ゴルフ選手の左右の足にどの程度荷重させているかという意

味で体重移動という言葉が使われている（Ball et al., 2007a）。バックスイングで飛球方向と反対側の足（右打ちの場合は右足）へ荷重し、ダウンスイング開始とともに飛球方向へ荷重位置を移動させ、飛球方向側の足（右打ちの場合は左足）へ荷重したときにインパクトを迎える、という一連の流れがゴルフスイングにおける体重移動であり、指導現場ではゴールデンスタンダートであると言われてきた（Jenkins et al., 2008）。

一方で、ゴルフスイング中の体重移動を足圧中心の移動としたとき、その移動方法はプロゴルフ選手において、Front foot style と Reverse style の 2 種類存在することが明らかにされている（Ball et al., 2007a; Smith et al., 2016）。Ball et al.,（2007a）の先行研究では、ゴルフスイング中のポジションを 4 つからさらに細かく増やし、8 つのポジション（アドレス、バックスイング前期、バックスイング後期、トップ、ダウンスイング前期、ダウンスイング後期、インパクト、フォロースルー中期）における飛球方向（左右方向）の足圧中心を用いてクラスター分析を行い、群分けを行った。どちらのスイングスタイルもバックスイングで、足圧中心が飛球方向と反対側の足付近に移動する。その後、Front foot style はダウンスイングの開始と共に足圧中心が飛球方向側へ移動し、飛球方向側の足付近に足圧中心が移動した際にインパクト迎える。一方で Reverse style では、ダウンスイング前期では飛球方向へ足圧中心は移動するが、ダウンスイング後期で飛球方向と反対方向へと戻り、逆足付近に足圧中心が移動した際にインパクトを迎える。2 つのスイングスタイルの間にクラブヘッドスピードなどの競技力に有意な差はなく、クラブの種類によってスイングスタイルの変化がなかったことから、それぞれが独立したスイングスタイルであると報告されている（Ball et al., 2007b; 2011）。

Ball et al.,（2007a; 2007b; 2011）の先行研究ではプロのゴルフ選手を対象に群分けを行っていた。したがって、アマチュアのゴルフ選手におけるゴルフスイング中の足圧中心の移動位置は、Ball et al.,（2007a; 2007b）によって確認されているように、インパクト時に足圧中心が飛球方向側の足付近に位置する選手と、飛球方向と反対側の足付近に位置する選手が存在するかどうかについては検討されていない。そこで、筆者は、予備的な実験として、4 年以上のゴルフ競技歴を持つ大学生ゴルフ選手にゴルフスイング動作を行わせ、ゴルフスイング動作中の床反力データから足圧中心を算出した。その結果、インパクト時に足圧中心が飛球方向側の足付近に位置する選手（Front foot style）と、足圧中心が飛球方向と反対側の足付近に位置する選手（Reverse style）が存在した。したがって、アマチュア選手においても、足圧中心の移動からみたスイングスタイルは

Front foot style と Reverse style の 2 種類に分けられること、指導現場で提唱されてきたようにゴルフスイングにおける体重移動のパターンは 1 種類ではないことが示唆された（図 1-2、1-3）。

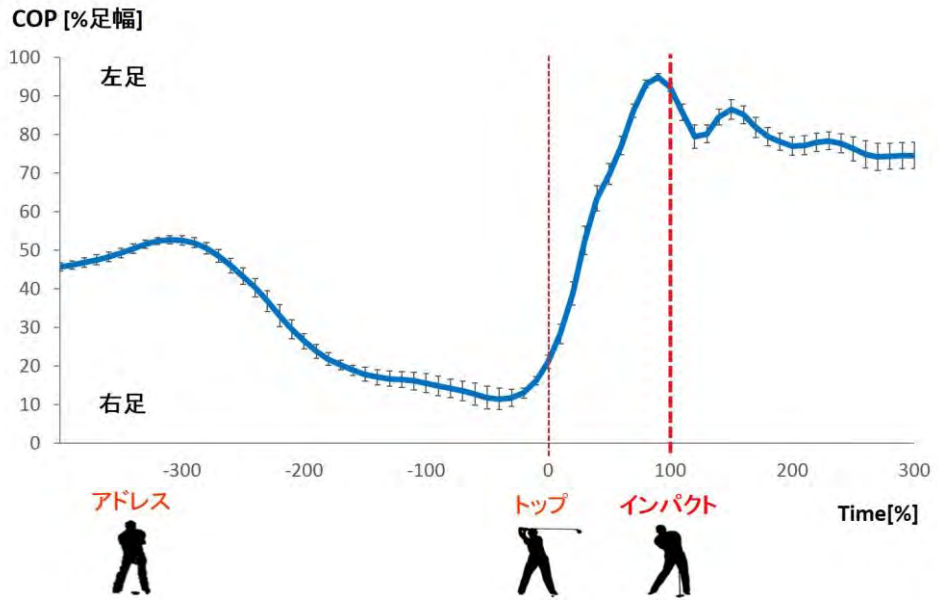


図 1-2 アマチュアゴルフ選手 1 名の足圧中心の移動（Front foot style）

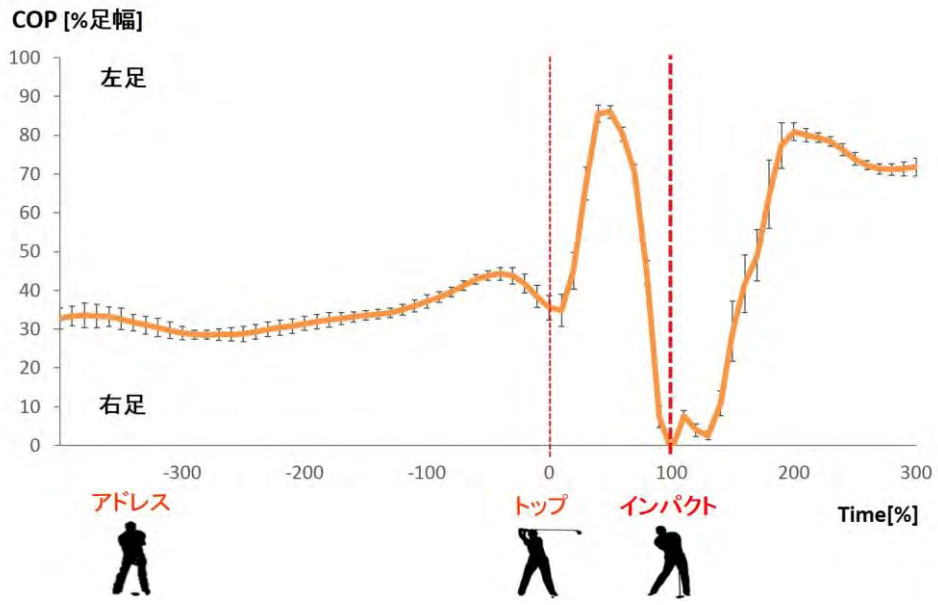


図 1-3 アマチュアゴルフ選手 1 名の足圧中心の移動（Reverse style）

ゴルフスイング動作は両足が地面に接地した状態で行うことから、体重移動を行うことにより、効果的なスイング動作を生み出す姿勢を作りだしていると考えられている（Choi et al 2016）。体重移動は床反力の作用点である足圧中心のような荷重位置の移動と、身体重心の移動が含まれ、一般的に床反力の作用点である足圧中心は身体重心に対する位置取りをコントロールすることで、転倒防止のための静的および動的なバランス制御を行っている（Winter et al., 1995）。身体が直立姿勢を保っている場合、足圧中心と身体重心の水平面上での位置は一致している。この足圧中心が身体重心よりも前方に位置すると身体重心は後方に加速し、足圧中心が身体重心よりも後方に位置すると身体重心は前方に加速する（Winter et al., 1995）。つまり、身体重心に対して足圧中心がどこに位置するかによって、身体重心の位置が変化し、それに伴い身体動作・姿勢が変化することが考えられるため、身体の姿勢制御には身体重心および足圧中心の位置関係が重要な意味を持つ。したがって、ゴルフスイングにおける体重移動は、足圧中心と身体重心の相互の位置関係から評価するべきであると考えられる。

ゴルフスイング中の身体重心の左右方向の移動方法について、Najafi et al.,（2015）や、Smith et al.,（2016）は、アドレスからトップにかけて、飛球方向と反対側の足付近へ移動したのち、ダウンスイング中に飛球方向側へ移動し、飛球方向側の足付近に身体重心が位置したときにインパクトを迎えることを報告している。また、Smith et al.,（2016）はゴルフスイング中の足圧中心と身体重心の移動パターンについて主成分分析を用いて選手間の足圧中心と身体重心の移動方法の特徴を明らかにした。そして足圧中心の左右方向の移動はダウンスイング中に、左足側へ移動する選手と右足側へ戻る選手が存在することを報告している。これは Ball et al.,（2007a; 2007b）と同様の結果であった。一方で、身体重心の左右の移動方向が変化し、飛球方向と反対側の足付近に位置してインパクトを迎える選手の存在は確認されていない。また、ゴルフスイング中の身体重心の移動について検討した先行研究が少なく、身体重心からみたゴルフスイング中の体重移動についての知見は不十分である。

ゴルフスイング中の足圧中心と身体重心の移動を検討した先行研究から、身体重心の移動は選手間に違いがなく、足圧中心の移動がダウンスイング中に飛球方向に進む選手と飛球方向と反対側へ戻る選手がいるということは、身体重心に対する足圧中心の位置関係は Front foot style の選手と Reverse style の選手によって異なることが推察される。身体重心に対して足圧中心の位置が異なることは、ゴルフスイング中の体重移動の方法

が異なることを示している。したがって、ゴルフスイング中の体重移動を評価するためには、足圧中心と身体重心の相互の位置関係を検討するべきであると考えられる。しかし、ゴルフスイング中の体重移動を評価した先行研究では、ゴルフスイング中の足圧中心のみで検討されており、身体重心の移動についての十分な知見はなく、ゴルフスイング中の身体重心に対する足圧中心の位置関係は明らかにされていない。

以上のことから、ゴルフスイング中の足圧中心の移動だけではなく、身体重心の移動方法についても評価し、身体重心に対する足圧中心の位置関係を検討することで、ゴルフスイング中の体重移動の方法を明らかにすることができると考えられる。

1-1-5　ゴルフスイング中の体幹動作について

ゴルフスイング動作はゴルフパフォーマンスの指標の一つであるクラブヘッドスピードに大きく影響を与える。ゴルフスイング動作におけるバイオメカニクス研究では上肢、体幹の動作について研究が行われている（Pickering et al., 1999; Horan et al., 2012）。特に、体幹部は体を構成する頭部や上肢・下肢セグメントが集まる部位であるため、体幹部は地面から受けた力をクラブへ伝える中継点としての役割を担う(Neal et al., 2007)。また、ダウンスイング中では身体の近位部（体幹部）から遠位部（手部）にかけて動作速度を増加させ、高いクラブヘッドスピードを得ることから、ゴルフスイング動作にとって体幹部は重要な役割を果たしている(Neal et al., 2007, Horan et al., 2012)。これらのことから、ゴルフスイング動作におけるバイオメカニクス研究では特に、体幹部の動作（並進動作および回転動作）とクラブヘッドスピードの関係について多く研究が行われている（Burden et al., 1998; Myers et al., 2008; Zheng et al., 2008b）。

体幹部は胸椎および腰椎から成る部分と骨盤部分が存在し、それぞれが可動域の異なる回転動作を行うことから、多くの研究では、体幹部を胸部（胸椎・腰椎から成る部分）と腰部（骨盤部分）に分け、バックスイング中、トップ、ダウンスイング中、インパクト時の回転角度、回転角速度、最大の回転角度変化、最大回転角速度などが検討されている。Hume et al.,（2005）は、ゴルフの技術力や使用クラブによって、トップ時に胸部は 78～102 度、腰部は 45～55 度の回旋を行っていることを示し、胸部および腰部の側屈・前屈動作も回旋動作を行うために重要であることを明らかにしている。また、体

重移動という観点から、ダウンスイング中に身体重心が飛球方向と反対側から飛球方向側へ移動することから、身体重心と近い位置に存在する胸部および腰部の並進動作、特にダウンスイング中の左右方向の大きな移動はクラブヘッドスピード向上に重要である（Horan et al., 2010; Beak et al., 2013）。

先述したゴルフスイング中の体幹動作に関する研究は、プロ選手とアマチュア選手（Okuda et al., 2010）、男性選手と女性選手（Zheng et al., 2008a; Horan et al., 2011）、若年のゴルフ選手と高齢のゴルフ選手（Kim et al., 2011）、というように競技レベル・性別・年齢の違うゴルフ選手における体幹動作の比較という形で行われてきた。性別や年齢による体幹動作を比較した研究では、性別や年齢は異なるが、それぞれ競技力の高い選手を対象としている（Zheng et al., 2008a; Horan et al., 2011; Kim et al., 2011）。つまり、高いパフォーマンスを生みだす体幹動作が 1 通りではなく、個々の選手特性によって異なった体幹動作方法が存在することを示している。

先述した足圧中心の移動から見たスイングスタイルが異なる選手（Front foot style と Reverse style の選手）では、クラブヘッドスピードに有意な差は認められていない（Ball et al., 2007a; 2007b）。ゴルフスイング中の足圧中心の移動方法が異なることは、その時のゴルフ選手の体幹動作も異なることが推察され、それらの違いが、高いクラブヘッドスピードを獲得するためスイング戦術の違いの 1 つであると考えられる。体幹動作はゴルフパフォーマンスの向上には重要な役割を担い、指導現場においてもゴルフスイング動作を指導するうえで必要不可欠な技術要素とされている。つまり、スイングスタイルによって適切な体幹動作が存在することが明らかとなれば、指導者にとっては選手に合ったスイング指導を行うことができ、選手にとっては高いパフォーマンスを発揮するためのスイング動作の獲得につながると考えられる。しかし、体重移動から見たスイングスタイルが異なる選手におけるゴルフスイング中の体幹動作に関する研究は行われていない。

1-2　本研究の目的

1-2-1　　目的

上述のように、高いゴルフパフォーマンスを獲得するにあたって、ゴルフスイング中の体重移動方法や体幹部の動作が個々の選手によって異なることが報告されている。しかし、体重移動において足圧中心と身体重心の両方を評価し、体重移動方法が異なる選手における体幹動作の特徴を明らかにした報告はない。

そこで本研究では、①ゴルフスイング中の体重移動の方法について、足圧中心および身体重心を同時に検討し、足圧中心と身体重心の位置関係を明らかにすること、②体重移動からみた 2 種類のスイングスタイルにおけるゴルフスイング動作の違いを体幹部に着目しキネマティクス解析を用いて明らかにすることを目的とした。そして最終的に、ゴルフスイング中の足圧中心と身体重心の位置関係による体幹動作およびゴルフパフォーマンスへの影響について明らかにする。

本研究成果は、ゴルフスイングの基本動作について多面的な知見を得ることができ、さらなるパフォーマンス向上を目指す選手や指導者に向けてより細かな指導方法の提示につながると考えられる。

1-2-2　　本論文の構成

本論文の構成は、以下の通りとする。まず、第 1 章で本研究の背景および目的を提示した。次に、第 2 章ではゴルフスイング中の足圧中心と身体重心の位置関係と、足圧中心および身体重心の移動方法も踏まえて、これらを用いて体重移動からみたスイングスタイルとして類別が可能かどうかを検討した。そして、第 3 章では 2 つのスイングスタイルにおけるゴルフスイング動作の特徴を体幹部に着目したキネマティクス解析を用いて検討した。最後に、第 4 章において、第 2 章・第 3 章の研究結果をもとに総合考察を行い、第 5 章では本研究の結論を記した。

第 2 章　ゴルフスイング中の体重移動

ゴルフスイング中の体重移動は指導現場において最も重要な要素の 1 つとされている（Smith et al., 2015）。一般的に人間は足圧中心の位置を操作して、身体重心の位置を制御し、バランスをコントロールしているため（Winter et al., 1995）、身体重心に対して足圧中心がどこに位置するかによって、身体重心の位置が変化し、それに伴い身体動作・姿勢が変化することが考えられる。したがって、ゴルフスイング中における身体重心および足圧中心の移動の位置関係により体重移動を評価するべきであると推察される。しかし、足圧中心の移動からみた 2 種類のスイングスタイルでは、それぞれのスイングスタイルにおける身体重心の移動方法や身体重心と足圧中心の位置関係の評価はされていない。また、体重移動の評価からゴルフ選手におけるスイングスタイルの類別を行うにあたって、従来の研究のような足圧中心の移動のみの評価では不十分であると考えられる。しかし、ゴルフスイング中の体重移動の評価として、ゴルフスイング中の足圧中心の移動を用いた研究は多く行われているが、身体重心の移動に関する研究は少なく、ゴルフスイング中の 2 種類のスイングスタイルにおける足圧中心と身体重心の位置関係に関する知見はない。

2-1　　目的

第 2 章における研究では、ゴルフスイング中の足圧中心および身体重心の移動を同時に検討し、足圧中心と身体重心の位置関係を検討することでゴルフスイング中の体重移動の方法、スイングスタイルの類別の可能性について明らかにすることを目的とした。

2-2　　方法

2-3-1　被験者

被験者は大学生ゴルフ選手 38 名を対象とした。その内、男性を 21 名、女性 17 名とし、被験者の身体特性等は以下の通りである（表 2-1）。

本研究では、実験に先立ち事前に承認を得た立命館大学びわこ・くさつキャンパスにおける人を対象とする研究倫理審査委員会が制定した「人を対象とする研究倫理」の規定に基づき、各被験者には実験を行う前に、研究の目的・実験の内容・安全性の説明を十分に行い、全ての被験者から書面による実験参加の同意を得た（承認番号：BKC-人-2015-017）。

表 2-1 被験者の身体特性

被験者数	38		
性別	男性: 21		
	女性: 17		
年齢 [歳]	20.1	±	1.1
身長 [cm]	167.0	±	7.1
体重 [kg]	62.8	±	9.9
平均スコア [打/ラウンド]	77.9	±	4.0
ゴルフ歴 [年]	10.3	±	3.3

2-3-2　実験試技

実験は室内にドライビングレンジを設置して行った。実験室中央にゴルフ用のマットとゴム製のティーを置き、そこから 2m先に打球の跳ね返りのない安全性を配慮した 3m四方の打球ネットを設置した（図 2-1）。実験前に十分な練習を各被験者に行わせて、実験環境に慣れさせた。その後、各被験者にドライバーショットを 10 球行わせた。使用クラブは、各被験者が普段使用しているドライバー（1 番ウッド）とし、ボールは試合球を用いた。アドレス時のボールの位置やスタンス幅は各被験者の任意とし、打つ球筋は、実際にゴルフコースでのティーグラウンドからのショットを行う時と同じ飛距離と方向性を意識させ、ストレートボールを打つように指示した。

2-3-3　データ収集

実験時に、被験者には 2 枚のフォースプレート（テック技販：TF-4060-B）の上に左右別に足を乗せて立たせた。それぞれのフォースプレートを用いて、ゴルフスイング中の床反力データをサンプリング周波数 1000Hz で左右の足から別々に取得した。各被験者のゴルフゴルフスイング動作は、サンプリング周波数を 250Hz に設定した 16 台（低位 8 台・高位 7 台・天井 1 台）の赤外線カメラを用いて撮影し、3 次元モーションキャプチャシステム（Motion Analysis 社：MOTION CAPTURE MAC 3D System: Raptor-E digital）により被験者の全身とクラブ、ボールに装着した合計 46 点の反射マーカーの位置情報を取得した（図 2-2)。被験者には解剖学的なランドマークに基づき直径 14mm の反射マーカーを体幹部 16 点、四肢 25 点装着し、クラブに 4 点、ボールに 1 点の直径 9mm の反射マーカーを装着した（図 2-3)。モーションキャプチャシステムとフォースプレートの同期は、音トリガーであるトリガーユニット（FASTEC IMAGING 社：ATRG-100）を用いて打球音によりボールインパクトを検出することにより行った。

グローバル座標系の座標軸は飛球方向（左右方向）と平行な軸を x 軸（飛球方向が正)、被験者がアドレス姿勢を取ったときつま先から踵への方向（前後方向）と平行な軸を y 軸（つま先から踵方向が正)、鉛直方向と平行な軸を z 軸とした（図 2-4)。

2-3-4　データ解析

全てのデータ算出においては、行列計算ソフト（Mathworks 社：MATLAB R2007b）を使用した。

2 枚のフォースプレートから取得したゴルフスイング中の床反力データは、4 次のバターワース型デジタルローパスフィルタを用いて、カットオフ周波数 8Hz で平滑化を行った。その後、左右足別の足圧中心（center of pressure: COP）を左右方向（COPx）および前後方向（COPy）において算出した（左足：L、右足：R)。

$$\mathrm{COPxL} = -\frac{MyL - FxL \times Z_0L}{FzL} \quad (1)$$

$$\mathrm{COPxR} = -\frac{MyR - FxR \times Z_0R}{FzR} \quad (2)$$

および

$$\mathrm{COPyL} = \frac{MxL + FyL \times Z_0L}{FzL} \quad (3)$$

$$\mathrm{COPyR} = \frac{MxR + FyR \times Z_0R}{FzR} \quad (4)$$

F：床反力

M：モーメント

x・y・z：グローバル座標系の軸方向

Z_0：センサからフォースプレートの表面までの距離

片足ずつの足圧中心を算出した後、合成した左右方向の足圧中心（COPx）と前後方向の床反力（COPy）を求めた。

$$\mathrm{COPx} = \frac{FzL \times COPxL + FzR \times COPxR}{FzL + FzR} \quad (5)$$

および

$$\mathrm{COPy} = \frac{FzL \times COPyL + FzR \times COPyR}{FzL + FzR} \quad (6)$$

身体に装着した反射マーカーから取得した 3 次元の座標位置データは 4 次のバターワース型デジタルローパスフィルタを用いて平滑化した。カットオフ周波数は 15Hz とした。

取得した 3 次元座標位置データから、15 セグメント（頭部・上胴・下胴・左上腕部・右上腕部・左前腕部・右前腕部・左手部・右手部・左大腿部・右大腿部・左下腿部・右

下腿部・左足部・右足部）からなる全身の身体モデルを作成し、それぞれのセグメント質量と質量中心位置から身体の重心位置（Center of mass: COM）を算出した。この際に使用した身体の慣性係数は阿江ら（1992）のデータを用いた。

算出された足圧中心（COPx・COPy）は Ball et al.,（2007a）の先行研究に則って被験者ごとに正規化を行った。身体重心に関しても足圧中心で用いた方法を採用した。左右方向の足圧中心（COPx）と身体重心（COMx）は、各被験者のアドレス時の足幅で正規化を行った。足幅は各被験者における左右のつま先と踵に装着したマーカーの x 座標の中点同士の長さとし、右足を 0%、左足を 100%とした（図 2-5a）。そして、前後方向の足圧中心（COPy）と身体重心（COMy）は、各被験者におけるアドレス時の支持基底面の前後方向の長さで正規化を行った。支持基底面の前後方向の長さは、左右のつま先および踵に装着したマーカーの y 座標の最大値と最小値から算出した。踵側を 0%、つま先側を 100%とした（図 2-5a）。また、鉛直方向の身体重心（COMz）に関してはアドレス時の鉛直方向での位置を 100%として正規化を行った（図 2-5b）。

身体重心に対する足圧中心の位置関係は、足幅で標準化した左右方向の足圧中心（COPx%）と身体重心（COMx%）を用いて、身体重心と足圧中心の距離として算出した（COPCOMx%）。

$$\mathrm{COPCOMx\%} = \mathrm{COPx\%} - \mathrm{COMx\%} \qquad (7)$$

算出された値が正の場合、足圧中心は身体重心よりも飛球方向側（左足側）に位置することとし、算出された値が負の場合、足圧中心は身体重心よりも飛球方向と反対側（右足側）に位置することとした。

全てのデータにおいてトップからインパクトまでのダウンスイングの時間によって正規化を行った（トップ時を 0%、インパクト時を 100%）。トップは腰部の回旋角度が、飛球方向と反対方向へ最大となった時点とし、インパクトはボールに装着したマーカーが動き始めた時点とした（Wheat et al., 2007; Horan et al., 2010; Joyce et al., 2010）。ダウンスイング中の各データを 101 点で区分的な 3 次スプライン補間を行った。その際

に使用した補間関数を用いてトップより前とインパクトより後のデータも補間を行い、スイング全体をダウンスイング時間によって正規化した。

クラブヘッドスピードを算出する際に、クラブヘッドに装着したマーカーは、クラブヘッドスピードのインパクトでの減少量を明確にするためにフィルタ処理を行っていない 3 次元の座標位置データを用いた。

$$V_{X_i} = (X_{i+1} - X_i)/\Delta t$$
$$V_{Y_i} = (Y_{i+1} - Y_i)/\Delta t$$
$$V_{Z_i} = (Z_{i+1} - Z_i)/\Delta t$$
$$V_i = \sqrt{{V_{X_i}}^2 + {V_{Y_i}}^2 + {V_{Z_i}}^2} \quad (7)$$

i：フレーム数

t：時間

V_{xi}・V_{yi}・V_{zi}：i フレームでの各軸方向の速度［m/s］

V_i：クラブヘッドスピード［m/s］

2-3-5　統計処理

各被験者における足圧中心および身体重心、身体重心と足圧中心の距離の 10 試技の平均値±標準偏差を求めた。インパクト時における左右方向の足圧中心位置の平均値を基に、平方ユークリッド距離で距離行列を求め、これを手掛かりとして Ward 法によるクラスター分析をケースに対して行い、ゴルフ選手を統計的に分類した。これをインパクト時における左右方向の身体重心位置の平均値、インパクト時の身体重心と足圧中心の距離の平均値においても同様に統計的に分類した。それぞれの変数においてクラスター分析によって分類された群の特徴を比較するために、群ごとの身長、体重、ゴルフ歴、平均スコア、クラブヘッドスピードの平均値および標準偏差を求め、これらに関して対応なしの t 検定を行った。

体重移動の方法の評価として、足圧中心位置・身体重心位置・身体重心と足圧中心の距離の 3 つのパラメーターを用いた。それぞれについてクラスター分析を用いたゴルフ選手の群分けが、その他のパラメーターについてクラスター分析を用いたゴルフ選手の群分けと妥当なものかを検証するために、判別分析（Discriminant Function Analysis：DFA）を用いた。足圧中心位置・身体重心位置・身体重心と足圧中心の距離のいずれかでクラスター分析を行った群分け結果に残りのパラメーターの値をあてはめることで、クラスター分析を用いて行った群分けで残りのパラメーターが群分け可能かどうかを検定した。

すべての統計処理には SPSS Statistics 19（IBM Co., USA）を用いた。なお、有意水準は 5%未満とした。

図 2-1 実験風景

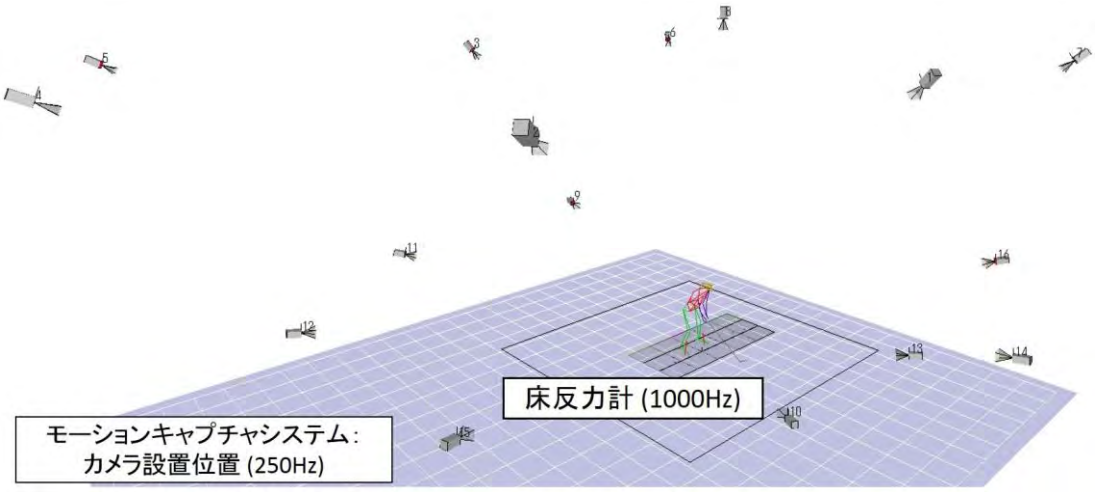


図 2-2 モーションキャプチャシステムと床反力計

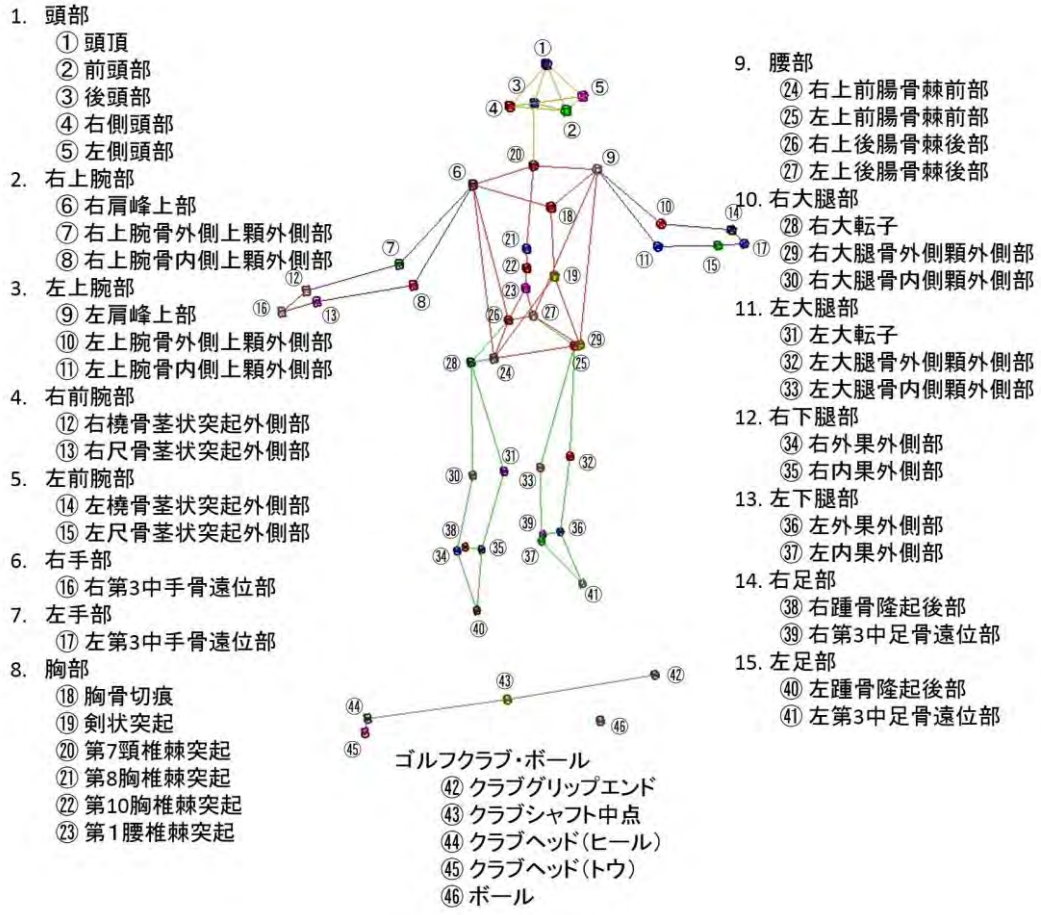


図 2-3 マーカーの貼り付け位置

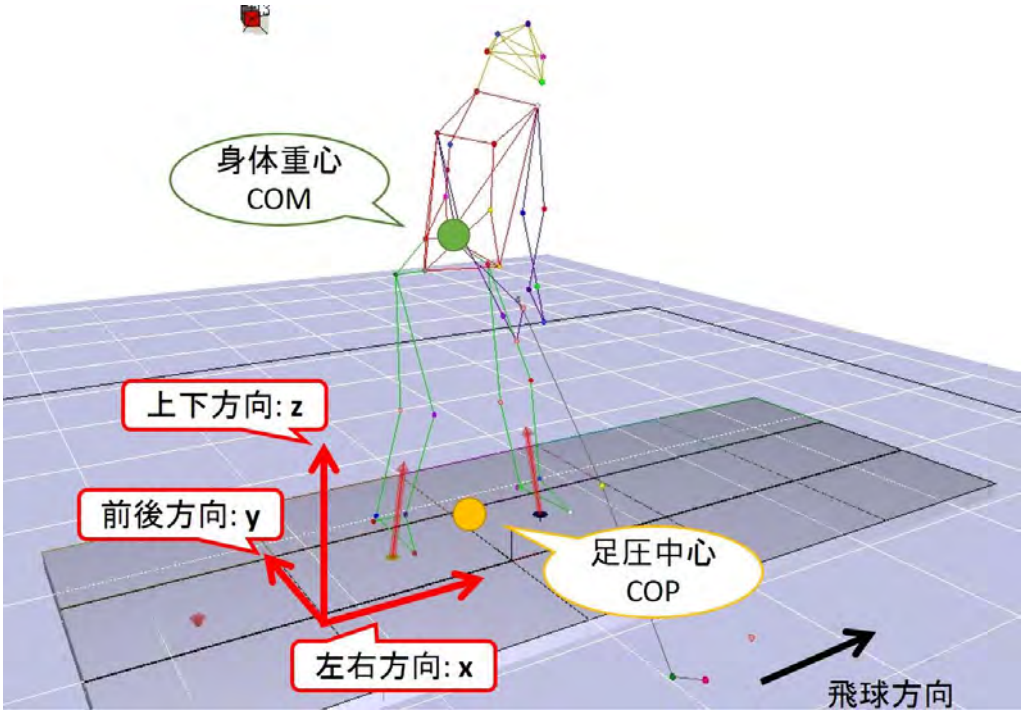
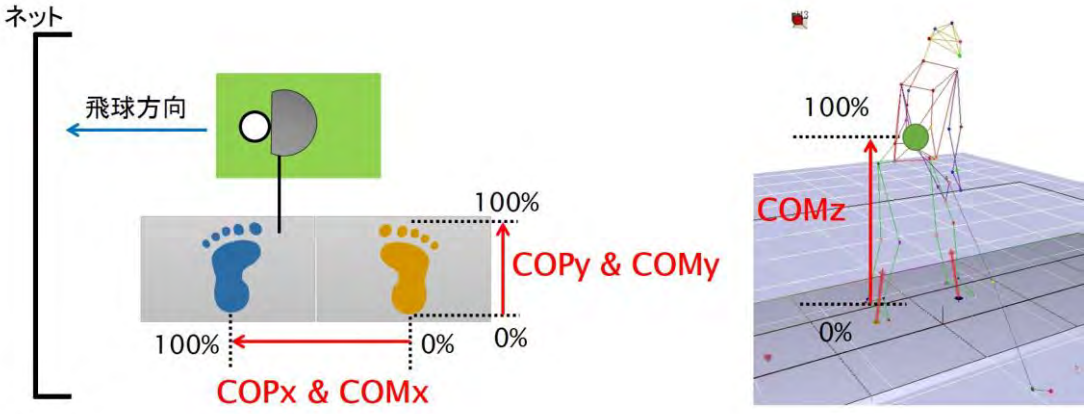


図 2-4 グローバル座標系の設定



a) 左右方向：x、前後方向：y　　b) 上下方向：z

図 2-5 身体重心と足圧中心の正規化

2-3　　結果

算出されたインパクト時の足圧中心の位置、身体重心の位置、身体重心に対する足圧中心の位置関係を用いて Ward 法によるクラスター分析を、それぞれ実施した結果、全ての変数においてクラスターが大きく分かれる点で 2 つの群に分けられた。

2-4-1　足圧中心

インパクト時における左右方向の足圧中心の位置を用いてクラスター分析を実施した結果、左足側に足圧中心が位置するときにインパクトを迎える群（Front foot style：Ff 群）18 名と、右足側に足圧中心が位置するときにインパクトを迎える群（Reverse style：Rv 群）20 名に分けられた（78.1 ± 18.4 %足幅、31.2 ± 16.3 %足幅、$p < 0.01$）（図 2-6）。インパクト時における前後方向の足圧中心の位置は Ff 群より Rv 群の方がつま先側に位置していた（64.2 ± 14.7 %足長、80.4 ± 7.7 %足長、$p < 0.01$）（図 2-7）。インパクト時の左右方向および前後方向の足圧中心の位置を表 2-2a にまとめた。また、身長・体重・ゴルフ歴・平均スコア・クラブヘッドスピードについては、群間に有意な差は認められなかった（表 2-2b）。

今回のクラスター分析の群分けがどの程度、他のパラメーターに対して群分け能力をもっているかについて判別分析を行った結果、足圧中心の位置を用いた群分け結果を身体重心の位置および、身体重心と足圧中心の距離に当てはめても、それぞれのパラメーターにおいて 100%Ff 群と Rv 群に群分けが可能であるという結果となった。

2-4-2　身体重心

左足側に身体重心が位置するときにインパクトを迎える群（Front foot style：Ff 群）23 名と、右足側に身体重心が位置するときにインパクトを迎える群（Reverse style：Rv 群）15 名に分けられた（55.8 ± 5.2 %足幅、43.4 ± 4.6 %足幅、$p < 0.01$）（図 2-8）。インパクト時における前後方向の身体重心の位置は、Ff 群と Rv 群の間に有意な差はな

かった（58.8 ± 8.5 %足長、65.1 ± 9.9 %足長、$p > 0.05$）（図 2-9）。インパクト時における上下方向の身体重心の位置は、Ff 群と Rv 群の間に有意な差は認められなかった（100.9 ± 2.0 %アドレス、101.3 ± 1.9 %アドレス、$p > 0.05$）（図 2-10）。各群のインパクト時における左右・前後・上下方向の身体重心の位置は表 2-3a にまとめた。また、身長・体重・ゴルフ歴・平均スコア・クラブヘッドスピードについては群間で有意な差は認められなかった（表 2-3b）。

身体重心を用いて群分けした Ff 群および Rv 群の被験者は、足圧中心を用いて群分けした Ff 群および Rv 群の被験者と 7 名入れ替わっていた。今回のクラスター分析の群分けがどの程度、他のパラメーターに対して群分け能力をもっているか、判別分析を行った結果、身体重心における群分け結果を足圧中心の位置および、身体重心と足圧中心の距離に当てはめても、それぞれのパラメーターにおいて 100%Ff 群と Rv 群に群分けが可能であるという結果となった。

2-4-3　身体重心に対する足圧中心の位置関係

インパクト時の身体重心に対する足圧中心の位置関係を用いてクラスター分析を実施した結果、足圧中心が身体重心よりも左足側に位置する群 19 名と、足圧中心が身体重心よりも右足側に位置する群 19 名に分けられた（21.5 ± 15.4 %足幅、-15.8 ± 13.9 %足幅、$p < 0.01$、図 2-11）。各群のインパクト時における身体重心に対する足圧中心の位置を表 2-4a にまとめた。また、身長・体重・ゴルフ歴・平均スコア・クラブヘッドスピードについては群間で有意な差は認められなかった（表 2-4b）。

足圧中心が身体重心よりも左足側に位置していた群の被験者は足圧中心を用いて群分けした Ff 群および Rv 群の被験者は 1 名を除き一致していた。今回のクラスター分析の群分けがどの程度、他のパラメーターに対して群分け能力をもっているか、判別分析を行った結果、身体重心と足圧中心の距離における群分け結果を足圧中心の位置および、身体重心の位置に当てはめても、それぞれのパラメーターにおいて 100%Ff 群と Rv 群に群分けが可能であるという結果となった。

表 2-2 足圧中心を用いた群分け結果

a）インパクト時の足圧中心位置

	Front foot style	Reverse style	*p*
被験者数	18	20	
COPx% [%足幅]	78.1 ± 18.4	31.2 ± 16.3	< 0.01
COPy% [%足長]	64.2 ± 14.7	80.4 ± 7.7	< 0.01

平均値 ± 標準偏差

b）群分けされた被験者の身体特性

	Front foot style	Reverse style	P
被験者数	18	20	
性別	男性: 9 女性: 9	男性: 12 女性: 8	
年齢 [歳]	20.2 ± 1.2	20.1 ± 0.9	n.s
身長 [cm]	168.1 ± 7.5	166.1 ± 7.0	n.s
体重 [kg]	63.1 ± 7.8	63.0 ± 11.6	n.s
平均スコア [打/ラウンド]	79.0 ± 4.4	76.8 ± 3.5	n.s
ゴルフ歴 [年]	9.5 ± 2.9	11.2 ± 3.3	n.s
ヘッドスピード [m/s]	42.1 ± 5.0	42.3 ± 4.4	n.s

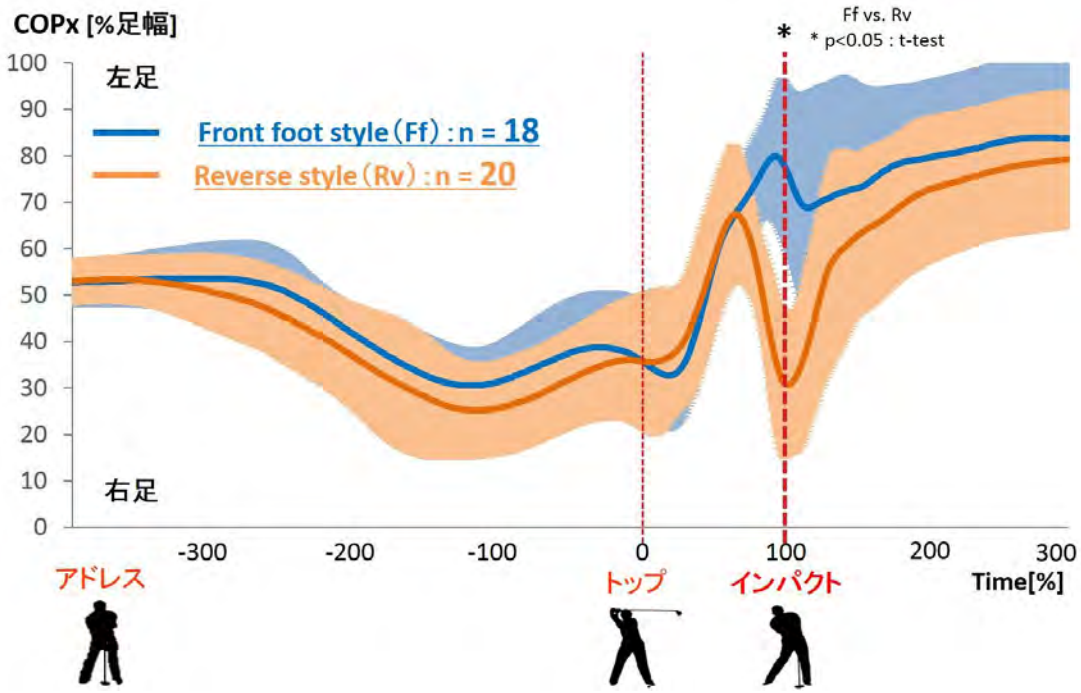


図 2-6 ゴルスイング中の足圧中心の移動（左右方向：COPx %足幅）

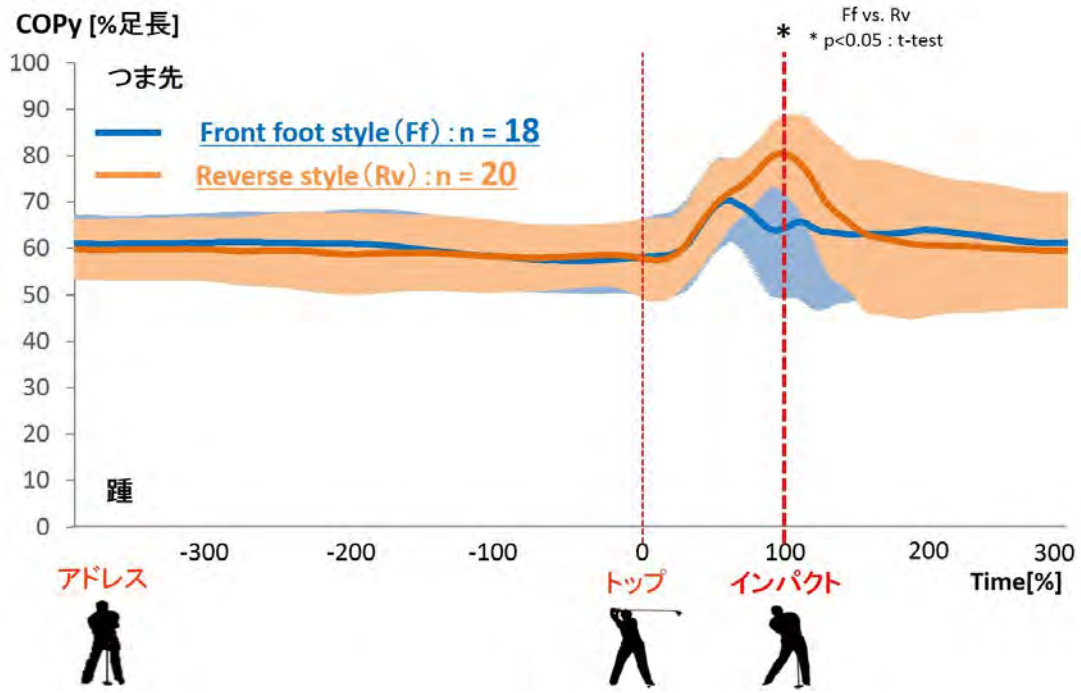


図 2-7 ゴルフスイング中の足圧中心の移動（前後方向：COPy %足長）

表 2-3 身体重心による群分け結果

a）インパクト時の身体重心の位置

	Front foot style	Reverse style	*p*
被験者数	23	15	
COMx% [%足幅]	55.8 ± 5.2	43.4 ± 4.6	< 0.01
COMy% [%足長]	58.8 ± 8.5	65.1 ± 9.9	n.s.
COMz% [%アドレス]	100.9 ± 2.0	101.3 ± 1.9	n.s.

平均値 ± 標準偏差

b）群分けされた被験者の身体特性

	Front foot style	Reverse style	P
被験者数	23	15	
性別	男性: 14 女性: 9	男性: 7 女性: 8	
年齢 [歳]	20.3 ± 1.0	19.9 ± 1.2	n.s
身長 [cm]	168.3 ± 6.4	165.0 ± 8.3	n.s
体重 [kg]	64.7 ± 9.5	59.7 ± 10.2	n.s
平均スコア [打/ラウンド]	78.1 ± 4.3	77.5 ± 3.8	n.s
ゴルフ歴 [年]	9.5 ± 3.1	11.4 ± 3.4	n.s
ヘッドスピード [m/s]	42.9 ± 4.8	41.0 ± 4.1	n.s

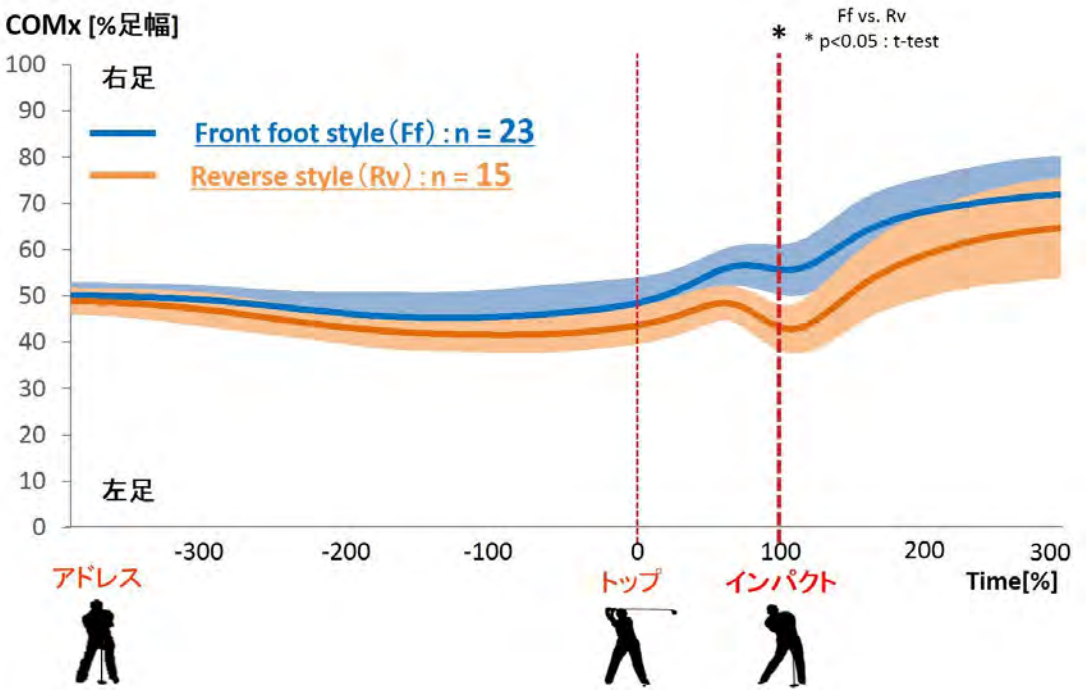


図 2-8 ゴルフスイング中の身体重心の移動（左右方向：COMx %足幅）

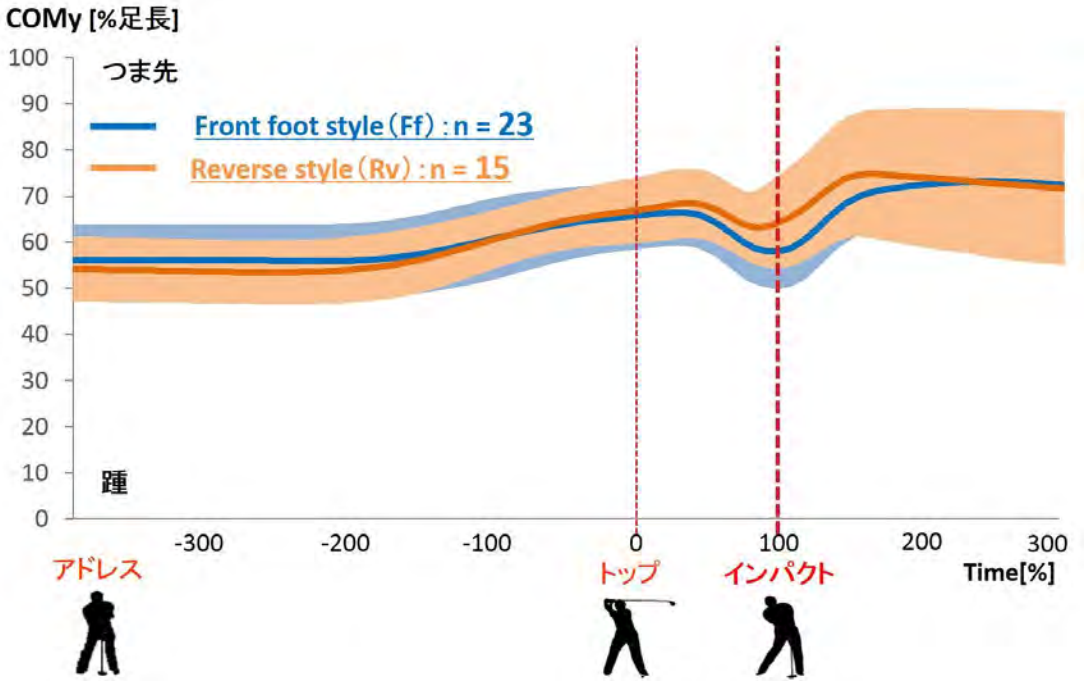


図 2-9 ゴルフスイング中の身体重心の移動（前後方向：COMy %足長）

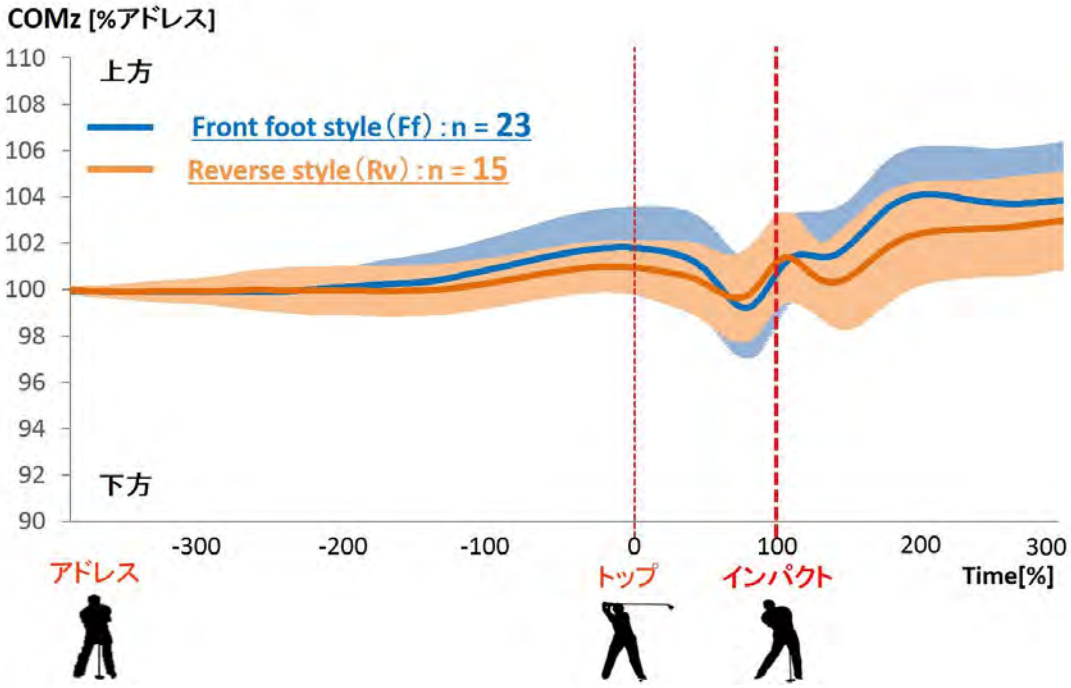


図 2-10 ゴルフスイング中の身体重心の移動（上下方向：COMz %アドレス）

表 2-4 身体重心に対する足圧中心の位置関係による群分け

a）インパクト時の身体重心と足圧中心の距離

	Front foot style	Reverse style	*p*
被験者数	19	19	
COPCOMx% [%足幅]	20.9 ± 15.2	- 15.8 ± 13.9	< 0.01

平均値 ± 標準偏差

b）群分けされた被験者の身体特性

	Front foot style	Reverse style	P
被験者数	19	19	
性別	男性: 9 女性: 10	男性: 12 女性: 7	
年齢 [歳]	20.1 ± 1.3	20.2 ± 0.8	n.s
身長 [cm]	167.8 ± 7.3	166.2 ± 7.1	n.s
体重 [kg]	62.6 ± 7.9	63.5 ± 11.7	n.s
平均スコア [打/ラウンド]	78.9 ± 4.3	76.7 ± 3.6	n.s
ゴルフ歴 [年]	9.5 ± 2.9	11.3 ± 3.3	n.s
ヘッドスピード [m/s]	42.0 ± 4.8	42.4 ± 4.4	n.s

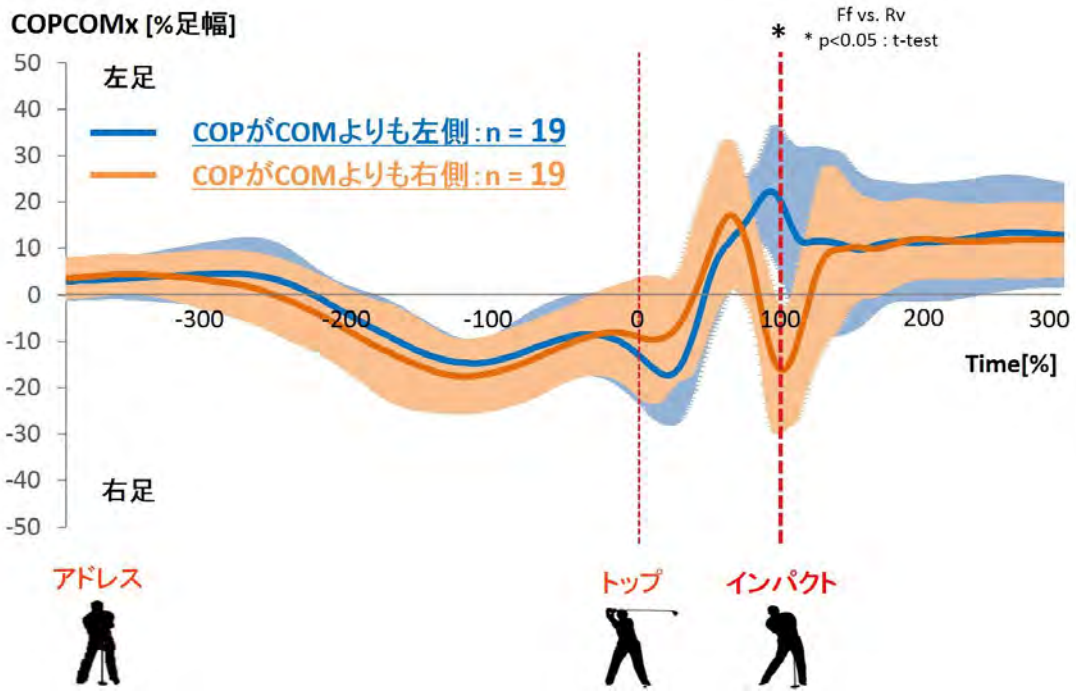


図 2-11 ゴルフスイング中の身体重心と足圧中心の位置関係

（左右方向：COPCOMx %足幅）

2-4　　考察

第 2 章ではゴルフスイング中の足圧中心および身体重心の移動を同時に評価し、足圧中心と身体重心の位置関係を検討することでゴルフスイング中の体重移動の方法、スイングスタイルの類別の可能性について明らかにすることを目的とした。実験では大学生ゴルフ選手にドライバーショットを 10 球打たせ、10 球中の足圧中心、身体重心、身体重心に対する足圧中心の位置関係を算出し、それぞれの算出項目において、インパクト時の左右方向の位置を用いてクラスター分析による群分けを行った。

ゴルフスイング中の左右方向の足圧中心位置が左足付近に位置する群と右足側に位置する群に類別され、クラブヘッドスピードに有意な差は見られなかった。これらの結果は Ball et al.,（2007a; 2007b）の結果と同様であった。一方で、Ball et al.,（2007a; 2007b）の先行研究では前後方向の足圧中心の移動については検討されていない。本研究では、両群ともに前後方向の足圧中心位置は、バックスイングでは踵側へ移動し、ダウンスイング開始とともにつま先側へ移動する。その後、どちらの群の選手も足長の 50%位置よりもつま先側でインパクトを迎えるが、Rv 群の方が Ff 群よりもさらにつま先側に足圧中心が位置していた。したがって、Ff 群は左足かつ、足長に対して中央あたりに足圧中心が位置するときにインパクトを迎えており、Rv 群は右足かつ、つま先付近に足圧中心が位置しているときにインパクトを迎えていることが明らかとなった。

ゴルフスイング中の身体重心の移動方法は足圧中心と同様に 2 種類に群分けされた。Ff 群と Rv 群における左右方向の身体重心の移動方法は、Ff 群と Rv 群における左右方向の足圧中心の移動方法と同様に、バックスイング中に右足付近に移動し、ダウンスイング開始とともに左足方向へ移動し始め、その後、Ff 群はそのまま左足付近に身体重心が位置したときにインパクトを迎えていた。一方、Rv 群は再び身体重心が右足付近に戻り、そこでインパクトを迎えていた。これら結果は、Smith et al.,（2016）の先行研究とは異なったが、その理由として、Ff 群と Rv 群において左右方向の身体重心のインパクト付近以外での移動方法が極めて似ていることと、Smith et al.,（2016）の先行研究とは異なる手法で身体重心を評価していたためであると考えられる。ゴルフスイング中の身体重心の移動パターンを分析した Smith et al.,（2016）の研究では、ダウンスイング中の左右方向の身体重心位置は右足側から左足側へ移動する選手のみであり、ダウ

ンスイング中に左右の移動方向を変化させ、左足側から右足側へ移動させていた選手は確認されていない。この先行研究は主成分分析を用いてアドレスからフォロースルーまでの連続した身体重心の移動パターンを比較している。本研究ではインパクト時の身体重心の位置のみを検討しており、インパクト前後以外のポジション（アドレスおよびトップなど）においては、Ff 群と Rv 群で身体重心の位置に大きな違いがみられなかった。また、両足が地面に接地している場合、身体重心の動揺は足圧中心ほど大きく変化しないため、Smith et al.,（2016）の先行研究では移動パターンに差が検出されず、身体重心によるスイングスタイルの類別が行えなかったと考えられる。結果では、インパクト時の左右方向の身体重心位置には Ff 群と Rv 群で有意な差が認められた。本研究では群分けの指標をインパクト位置の値に絞ったことで、顕著に 2 群の違いが現れる場所を対象とできたため、2 群に群分けできたのだと考える。以上のことから、体重移動の方法の評価としてインパクト時の身体重心位置を用いることでも、2 種類のスイングスタイルに群分け可能であると示唆された。

ゴルフスイング中の足圧中心と身体重心の位置関係を検討したところ、足圧中心が身体重心より左足側に位置するときにインパクトを行う選手の群と、右足側に位置するときにインパクトを迎える選手の群に類別された。足圧中心が身体重心よりも左足側に位置するときにインパクトを迎える群の選手と、足圧中心および身体重心を用いて類別を行ったときの Ff 群の選手において数名の入れ替わりが起こった。また、足圧中心が身体重心よりも右足側に位置するときにインパクトを迎える群内の選手と、足圧中心および身体重心を用いて類別を行ったときの Rv 群の選手において数名の入れ替わりが起こった。身体重心に対する足圧中心の位置関係を用いて類別された Ff 群・Rv 群に、足圧中心および身体重心位置をあてはめたとしても 100%類別されたことが判別分析により証明されたことから、インパクト時に Front foot style の選手は身体重心に対して足圧中心が左足側に位置し、Reverse style の選手は足圧中心が身体重心よりも右足側に位置することが明らかになった（図 2-12）。

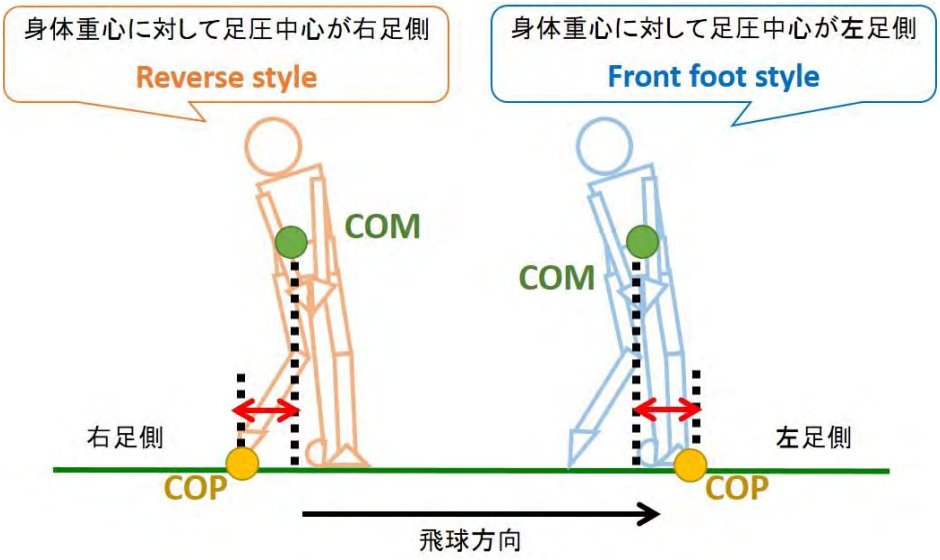


図 2-12 身体重心に対する足圧中心の位置関係とスイングスタイル

足圧中心が常に身体重心に先行して動き、身体重心の位置をコントロールすることで身体バランスを保つことから、ゴルフスイング中に身体重心に対して足圧中心が左右のどちら側に位置するかで、身体重心の動揺に与える影響が変わってくる（Winter et al., 1995)。両足を地面に接地したままの状態で 1 歩も動かず身体バランスを保つ際に、足圧中心が身体重心よりも左足側に位置するということは、左足の床反力が右足よりも大きくなり、それらを合成した際に身体重心を右足側へ移動させようと働くことが考えられる。ゴルフスイング中の鉛直方向の床反力を検討している Okuda et al.,（2010）の研究では、インパクト時の左足の鉛直方向の床反力が右足よりも有意に大きいことを報告している。したがって、Ff 群の場合、ダウンスイング中に右足側から左足側へ移動する身体重心が、支持基底面の外へ出ないように左足を踏ん張ることで、足圧中心を身体重心よりも左足側に位置させ、身体重心の左足方向への移動に対しての減速をはかっていることが考えられる。また、同様に両足を地面に接地した状態で身体バランスを保つとき、足圧中心が身体重心よりも右足側にあるということは、右足の床反力が左足よりも大きく、それらを合成したときに身体重心を左足側へ移動させようと働くことが考えられる。反対に、Rv 群の場合、ダウンスイング後半に再び右足側へ移動する身体重心を支持基底面の外へ出さないように右足を踏ん張ることで、足圧中心を身体重心よりも右側へ位置させ、身体重心の右足側への移動に対して減速をはかっていることが示唆される。

判別分析の結果から、スイングスタイルの類別は足圧中心の位置・身体重心の位置・身体重心と足圧中心の距離のうち、いずれのパラメーターを用いても可能であった。各パラメーターで類別された被験者は、パラメーターごとに群間で数人の入れ替わりが生じた。足圧中心および身体重心を用いて群分けを行った場合に、被験者の入れ替わりが起こった理由として、類別の基準となる足圧中心および身体重心の位置が、集まった被験者の中に左足付近もしくは右足付近でインパクトを迎える人が多いか少ないかによって変化し、類別される Ff 群と Rv 群が変わることが考えられる。また、足圧中心と身体重心の関係性から、足圧中心のみでは身体重心の動揺が、身体重心のみでは足裏の荷重状態が、それぞれ不明であるため、ゴルフスイング中の体重移動を明確にするには不十分あると考えられる。身体重心に対する足圧中心の位置関係を用いて類別する場合は、足圧中心が身体重心の左右どちら側に位置するのかという明確な指標が存在し、その位置関係によってその選手の体重移動方法を知ることができる。したがって、ゴルフ選手における体重移動からみたスイングスタイルを類別するためには足圧中心位置と身体重心位置をそれぞれ個別に検討するのではなく、身体重心に対する足圧中心の位置関係を見る必要があると示唆された。

以上のことから、ゴルフスイング中の足圧中心および身体重心、足圧中心および身体重心の左右方向の位置のうち、いずれを用いた群分けにおいても、インパクト時に足圧中心および身体重心が左足側に位置する Front foot style と、右足側に位置する Reverse style に分けることが可能であった。さらに、Front foot style の選手は身体重心よりも足圧中心の位置が左足側に位置し、Reverse style の選手は身体重心よりも足圧中心の位置が右足側に位置していることが明らかとなった。

第 3 章　スイングスタイルにおけるゴルフスイング動作の特徴

第 2 章の結果から、ゴルフスイング中の身体重心や身体重心と足圧中心の位置関係が、同じ競技レベルの選手においてそれぞれ異なり、スイングスタイルとして 2 群に類別できることが明らかとなった。

ゴルフスイング中の体重移動と同様に、パフォーマンス向上や指導現場において最も重要な要素と考えられているものが、ゴルフスイング中の体幹部（胸部・腰部）の動作である（Smith et al., 2015）。ゴルフスイング中の胸部および腰部の動作のバイオメカニクス研究では、プロのゴルフ選手とアマチュアのゴルフ選手、男性と女性、若年者と高齢者の比較といった、競技レベル・性別・年齢によって群分けを行っている。そして、それぞれの体幹動作の特徴について明らかにすることで、異なる身体特性を持つ選手において高いゴルフパフォーマンスを実現させるための体幹動作について報告している（Okuda et al., 2010; Zheng et al., 2008a; Horan et al., 2011; Kim et al., 2011）。第 2 章の結果を踏まえると、Front foot style と Reverse style の選手では身体重心に対する足圧中心の位置関係が異なることから、体幹動作においてもそれぞれの Front foot style と Reverse style の選手によって異なることが考えられる。しかし、スイングスタイルの違いによる、ゴルフスイング中の体幹動作の違いについては検討されていない。

3-1　　目的

そこで、第 3 章における研究では、体重移動からみた 2 種類のスイングスタイルにおけるゴルフスイング動作の違いを体幹部に着目し、キネマティクス解析を用いて明らかにすることを目的とした。

3-2　　方法

3-3-1　被験者

第 3 章では、第 2 章と同様に 38 名の大学生ゴルフ選手を被験者の対象とし、被験者のスイングスタイルの群分けは、第 2 章において、身体重心に対する足圧中心の位置関係によるクラスター分析の結果を用いて行った。Front foot style（Ff 群）は 19 名、Reverse style（Rv 群）は 19 名であった。各群の被験者の身体特性等は以下の通りであり、身長・体重・ゴルフ歴・平均スコアに有意な差はみられなかった（表 3-1）。また、クラブヘッドスピードは、Ff 群が 47.2 ± 2.6 m/s、Rv 群が 44.4 ± 1.9 m/s であり、ダウンスイング時間には、Ff 群が 0.4 ± 0.1 s、Rv 群が 0.4 ± 0.1 s であり、どちらも群間に有意な差は認められなかった。

本研究では、実験に先立ち事前に承認を得た立命館大学びわこ・くさつキャンパスにおける人を対象とする研究倫理審査委員会が制定した「人を対象とする研究倫理」の規定に基づき、各被験者には実験を行う前に、研究の目的・実験の内容・安全性の説明を十分に行い、全ての被験者から書面による実験参加の同意を得た（承認番号：BKC-人-2015-017）。

表 3-1 被験者の身体特性

	Front foot style	Reverse style	*p*
被験者数	19	19	
性別	男性: 9 女性: 10	男性: 12 女性: 7	
年齢 [歳]	20.1 ± 1.3	20.2 ± 0.8	n.s.
身長 [cm]	167.8 ± 7.3	166.2 ± 7.1	n.s.
体重 [kg]	62.6 ± 7.9	63.5 ± 11.7	n.s.
平均スコア [打/ラウンド]	78.9 ± 4.3	76.7 ± 3.6	n.s.
ゴルフ歴 [年]	9.5 ± 2.9	11.3 ± 3.3	n.s.
ヘッドスピード [m/s]	42.0 ± 4.8	42.4 ± 4.4	n.s.
ダウンスイング時間 [s]	0.4 ± 0.1	0.4 ± 0.1	n.s.

平均値 ± 標準偏差

3-3-2　実験試技

実験試技を行ったドライビングレンジの設定、実験試技、被験者への指示等は、第 2 章と同様のものとした。

3-3-3　データ収集

実験時の床反力計、3 次元モーションキャプチャシステム、被験者に装着するマーカーの数・位置、床反力計およびモーションキャプチャシステムの同期を行う音トリガー（トリガーユニット）の設定は第 2 章と同様にした（図 2-1 ～ 2-4）。

グローバル座標系の座標軸も第 2 章と同様に、飛球方向（左右方向）と平行な軸を x 軸（飛球方向が正）、被験者がアドレス姿勢を取ったときつま先から踵への方向（前後方向）と平行な軸を y 軸（つま先から踵方向が正）、鉛直方向と平行な軸を z 軸とした（図 2-4）。

3-3-4　データ解析

すべてのデータ算出においては、行列計算ソフト（Mathworks 社：MATLAB R2007b）を使用した。

身体に装着した反射マーカーから取得した 3 次元の座標位置データは 4 次のバターワース型デジタルローパスフィルタを用いて平滑化した。カットオフ周波数は 15Hz とした。第 2 章で作成した、15 セグメント（頭部・上胴・下胴・左上腕部・右上腕部・左前腕部・右前腕部・左手部・右手部・左大腿部・右大腿部・左下腿部・右下腿部・左足部・右足部）からなる全身の身体モデルを用いて、その上胴を胸部、下胴を腰部とし、それぞれのセグメント中心位置を算出した。この際に使用した身体の各部位の慣性係数は、阿江ら（1992）のデータを用いた。体幹部における胸部および腰部のそれぞれのセグメント中心位置の移動速度は以下の式を用いて算出した。

$$TV_{X_i} = (TX_{i+1} - TX_i)/\Delta t \quad (8)$$

$$TV_{Y_i} = (TY_{i+1} - TY_i)/\Delta t \quad (9)$$

$$TV_{Z_i} = (TZ_{i+1} - TZ_i)/\Delta t \quad (10)$$

および

$$LV_{X_i} = (LX_{i+1} - LX_i)/\Delta t \quad (11)$$

$$LV_{Y_i} = (LY_{i+1} - LY_i)/\Delta t \quad (12)$$

$$LV_{Z_i} = (LZ_{i+1} - LZ_i)/\Delta t \quad (13)$$

i：フレーム数

t：時間

TV_{xi}・TV_{yi}・TV_{zi}：i フレームでの胸部における各軸方向の速度［m/s］

LV_{xi}・LV_{yi}・LV_{zi}：i フレームでの胸部における各軸方向の速度［m/s］

本研究において、胸部および腰部のローカル座標系（Local coordinate system : LCS）は International Society of Biomechanics（ISB）の推奨に基づいて作成した（胸部：Wu et al., 2002、腰部：Wu et al., 2005）。胸部 LCS は、T8 から C7 に向かうベクトルを Ty 軸とし、C7 から胸骨切痕に向かうベクトルを Tx'軸として、Ty 軸と Tx'軸が直交するベクトルを Tz 軸として設定した。そして、Ty 軸と Tz 軸が直交するベクトルを Tx 軸として定義した（図 3-1a）。腰部 LCS は、右 ASIS から左 ASIS へ向かうベクトルを Pz 軸とし、右 PSIS と左 PSIS の中点を求め、右 ASIS から PSIS の中点へ向かうベクトルを Px'軸として、Pz 軸と Px'軸の直交するベクトルを Py 軸として設定した。そして、Pz 軸と Py 軸が直交するベクトルを Px 軸として設定した（図 3-1b）。

各セグメントの回転角度を、ローカル座標に対する胸部および腰部セグメントの 3 軸周りの回転角度として、オイラー角を用いて算出した（図 3-1a）。軸の回転順序は z 軸 → x 軸 → y 軸（前後屈 → 左右側屈 → 左右回旋）に統一した。また、胸部セグメントおよび腰部セグメントとの回旋角度、側屈角度、回旋角度の差として、腰部セグメントに対する胸部セグメントの Pz 軸周りの角度を算出した（図 3-1b）。軸の回転順序は Pz 軸 → Px 軸 → Py 軸（前後屈 → 左右側屈 → 左右回旋）とした。算出された胸部セグメントおよび腰部セグメント、腰部に対する胸部の回転角度において、正の値は、右方向へ

の側屈、前屈、左方向への回旋を表し、負の値は、左方向への側屈、後屈、右方向への回旋を表すものとした。角速度に関しては、胸部および腰部セグメント、腰部に対する胸部セグメントにおける回転行列の角速度ベクトルからの x 軸、y 軸、z 軸の 3 軸周りの角速度を算出し、それぞれを側屈、前後屈曲、回旋角速度とした。

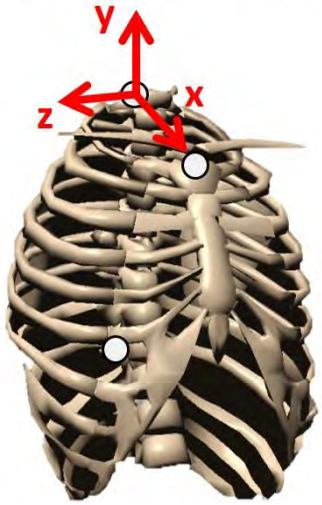
全てのデータにおいてトップからインパクトまでのダウンスイングの時間によって正規化を行った（トップ時を 0%、インパクト時を 100%）。トップは腰部セグメントの回旋角度が、飛球方向と反対方向へ最大となったコマとした。インパクトはボールに装着したマーカーが動き始めたコマとした（Wheat et al., 2007; Horan et al., 2010; Joyce et al., 2010）。ダウンスイング中の各データを 101 点で区分的な 3 次スプライン補間を行った。その際に使用した補間関数を用いてトップより前とインパクトより後のデータも補間を行い、スイング全体をダウンスイング時間によって正規化した。

3-3-5　統計処理

算出された全てのデータにおいて、各被験者の 10 試技の平均値±標準偏差を求めた。並進動作（左右・前後・上下方向への移動位置）および回転動作（側屈・前後屈曲・回旋角度）については、トップおよびインパクト時の値を胸部および腰部において対応なしの t 検定を用いて群間比較を行った。また、並進動作速度（左右・前後・上下方向への移動速度）および回転動作速度（側屈・前後屈曲・回旋角速度）については、インパクト時およびダウンスイング中の最大値を各セグメントにおいて対応なしの t 検定を用いて群間比較を行った。Ff 群と Rv 群における体幹動作とゴルフパフォーマンスの関係を調べるために、クラブヘッドスピードと胸部・腰部の 3 軸方向へのインパクト時の並進動作速度、クラブヘッドスピードと胸部・腰部の 3 軸周りのインパクト時の回転角動作速度、クラブヘッドスピードと胸部・腰部の 3 軸方向へのダウンスイング中の最大並進動作速度、クラブヘッドスピードと胸部・腰部の 3 軸周りのダウンスイング中の最大回転角速度の値との相関関係をピアソンの積率相関係数を用いて検定した。

統計解析は SPSS Statistics 19（IBM Co., USA）を用いて分析し、有意水準は 5%未満とした。

a）胸部セグメントのローカル座標系



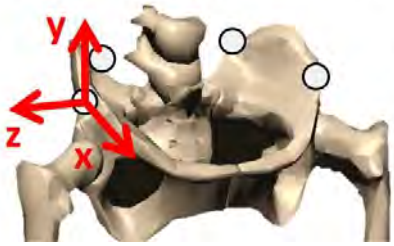
Tx軸：Ty軸とTz軸が直交するベクトル

Ty軸：T8からT7へ向かうベクトル

Tz軸：Ty軸とTx'軸が直交するベクトル

Tx'軸：C7から胸骨切痕へ向かうベクトル

b）腰部セグメントのローカル座標系



Px軸：Pz軸とPy軸が直交するベクトル

Py軸：Pz軸とPx'軸が直交するベクトル

Pz軸：右ASISから左ASISへ向かうベクトル

Px'軸：右ASISから左右のPSISの中点へ向かうベクトル

図 3-1 胸部および腰部のローカル座標系

3-3　　結果

第 2 章において、身体重心に対する足圧中心の位置関係を用いたクラスター分析によって群分けされた Ff 群 19 名および Rv 群 19 名を対象とし、そして、Ff 群および Rv 群におけるクラブヘッドスピードと体幹動作のピアソンの積率相関係数を算出した。

3-4-1　各スイングスタイルにおける胸部および腰部の並進・回転動作

ゴルフスイング中の体幹部の並進動作として、トップおよびインパクト時における胸部および腰部の左右・前後・上下方向への移動位置、インパクト時の移動速度およびダウンスイング中の最大移動速度を算出し、体幹部の回転動作として、トップおよびインパクト時おける胸部・腰部・腰部に対する胸部の左右側屈・前後屈曲・左右回旋角度、インパクト時の角速度、およびダウンスイング中の最大角速度を算出したのち、対応なしの t 検定により群間比較を行った。

並進動作

Ff 群および Rv 群の胸部および腰部のトップおよびインパクト時における移動位置を表 3-2、インパクト時の移動速度および最大移動速度を表 3-3 にまとめ、時系列での変化を胸部の移動位置は図 3-2a,b,c、移動速度は図 3-3a,b,c に示し、腰部の移動速度は図 3-4a,b,c、腰部の移動速度は図 3-5a,b,c に示した。

トップ時において、胸部は Ff 群が Rv 群よりも上方に位置していた（96.6 ± 1.6 %アドレス、95.1 ± 1.8 %アドレス、$p < 0.05$）。その他の方向への胸部および腰部の移動位置に Ff 群と Rv 群で有意な差は見られなかった。インパクト時において、胸部および腰部ともに左右方向の移動位置は、Ff 群が Rv 群よりも左足側に位置していた（40.6 ± 10.7 %足幅、30.8 ± 7.8 %足幅、$p < 0.05$）。胸部の前後方向への移動位置は、Ff 群が Rv 群よりも踵側に位置していた（52.4 ± 12.5 %足長、61.4 ± 10.2 %足長、$p < 0.01$）。腰部の上下方向の移動位置は、Ff 群の方が Rv 群よりも下方に位置していた（98.7 ± 2.2 %アドレス、10.1 ± 2.5 %アドレス、$p < 0.05$）。

インパクト時および、ダウンスイング中の最高速度において、胸部および腰部のすべ

ての方向への移動速度は群間に有意な差が認められなかった。

回転動作

Ff 群および Rv 群の胸部･腰部のトップおよびインパクト時における回転角度を表 3-3、インパクト時の角速度および最大角速度を表 3-4 にまとめ、時系列での変化を胸部の角度は図 3-6a,b,c、角速度は図 3-7a,b,c に示し、胸部の角度は図 3-8a,b,c、腰部の角速度は図 3-9a,b,c に示した。腰部に対する胸部の角度は図 3-10a,b,c、腰部に対する胸部の角速度は図 3-11a,b,c に示した。

トップ時において、胸部および腰部のすべての軸周りの回転角度は群間に有意な差が認められなかった。インパクト時において、胸部の前屈角度が Ff 群の方が、Rv 群よりも小さかった（-41.1 ± 6.8 deg、-46.9 ± 5.3 deg、$p < 0.05$）。その他の胸部および腰部における軸周りの回転角度に Ff 群と Rv 群で有意な差は見られなかった。

インパクト時および、ダウンスイング中の最高角速度において、胸部および腰部のすべての軸周りの角速度は群間に有意な差が認められなかった。

表 3-2 トップおよびインパクト時における胸部および腰部の

左右方向・前後方向・上下方向の移動位置［%足幅・%足長・%アドレス］

			Front foot style			Reverse style			*p*
トップ	胸部	左右	57.0	±	6.1	55.1	±	7.8	n.s.
		前後	88.0	±	8.6	93.4	±	9.3	n.s.
		上下	**96.6**	±	**1.6**	**95.1**	±	**1.8**	**< 0.01**
	腰部	左右	57.8	±	6.5	52.8	±	5.8	n.s.
		前後	37.8	±	8.7	37.4	±	10.9	n.s.
		上下	96.5	±	1.3	96.1	±	1.5	n.s.
インパクト	胸部	左右	**40.6**	±	**10.7**	**30.8**	±	**7.8**	**< 0.05**
		前後	**52.4**	±	**12.5**	**61.4**	±	**10.2**	**< 0.05**
		上下	99.0	±	1.8	100.1	±	1.9	n.s.
	腰部	左右	**57.2**	±	**10.9**	**48.6**	±	**6.8**	**< 0.05**
		前後	24.1	±	13.9	25.7	±	10.3	n.s.
		上下	**98.7**	±	**2.2**	**101.1**	±	**2.5**	**< 0.05**

平均値 ± 標準偏差

表 3-2 インパクト時における胸部および腰部の

左右方向・前後方向・上下方向への移動速度および、最大移動速度［mm/s］

			Front foot style			Reverse style			*p*
インパクト	胸部	左右	- 903.0	±	286.1	- 958.8	±	272.3	n.s.
		前後	- 170.0	±	203.0	- 196.3	±	206.5	n.s.
		上下	- 10.4	±	200.1	- 120.2	±	205.1	n.s.
	腰部	左右	- 93.0	±	220.6	- 157.1	±	226.3	n.s.
		前後	- 371.0	±	157.0	- 290.1	±	117.8	n.s.
		上下	251.9	±	199.9	170.1	±	190.0	n.s.
最大値	胸部	左右	330.3	±	138.8	272.9	±	132.9	n.s.
		前後	843.3	±	134.3	853.6	±	203.8	n.s.
		上下	425.9	±	231.4	545.4	±	169.9	n.s.
	腰部	左右	335.3	±	170.8	295.5	±	125.4	n.s.
		前後	439.0	±	119.9	405.9	±	113.1	n.s.
		上下	351.4	±	195.4	413.8	±	152.2	n.s.

平均値 ± 標準偏差

表 3-3 トップおよびインパクト時における

胸部および腰部の左右側屈・前後屈曲・左右回旋角度［deg］

			Front foot style			Reverse style			*p*
トップ	胸部	側屈	12.3	±	5.9	12.9	±	9.5	n.s.
		前後屈	- 22.6	±	9.4	- 28.0	±	1.0	n.s.
		回旋	- 96.7	±	10.3	- 97.3	±	11.5	n.s.
	腰部	側屈	8.2	±	9.4	10.2	±	6.9	n.s.
		前後屈	- 20.9	±	6.7	- 23.2	±	5.9	n.s.
		回旋	- 58.2	±	8.5	- 59.0	±	6.9	n.s.
	腰部に対する胸部	側屈	0.9	±	6.3	- 2.1	±	11.0	n.s.
		前後屈	- 4.7	±	14.6	- 4.5	±	15.3	n.s.
		回旋	- 38.1	±	8.2	- 39.0	±	7.6	n.s.
インパクト	胸部	側屈	6.1	±	7.6	5.5	±	6.3	n.s.
		前後屈	**- 41.1**	±	**6.8**	**- 46.9**	±	**5.3**	**< 0.05**
		回旋	33.5	±	9.1	35.5	±	12.2	n.s.
	腰部	側屈	2.5	±	7.0	2.2	±	4.9	n.s.
		前後屈	- 4.9	±	5.2	- 8.0	±	5.0	n.s.
		回旋	55.1	±	13.2	55.6	±	17.0	n.s.
	腰部に対する胸部	側屈	30.9	±	6.5	32.4	±	5.7	n.s.
		前後屈	- 18.5	±	11.9	- 20.5	±	12.1	n.s.
		回旋	- 19.8	±	9.1	- 16.1	±	9.2	n.s.

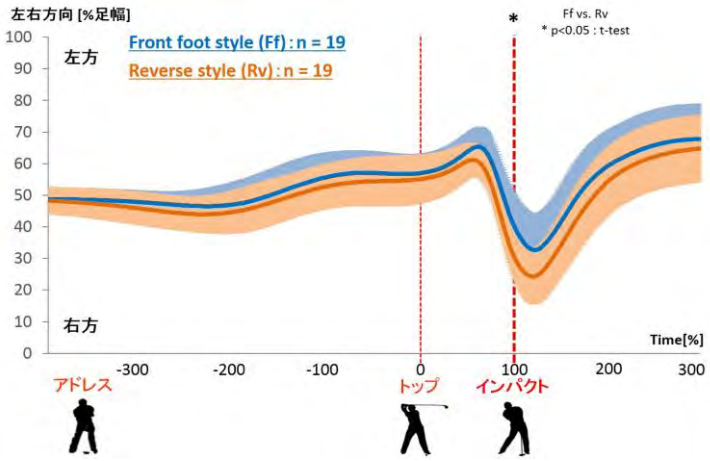
平均値 ± 標準偏差

表 3-4 インパクト時の胸部および腰部における

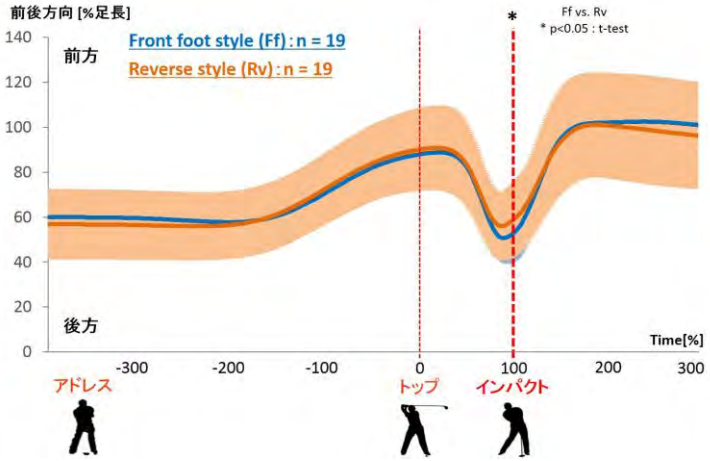
左右側屈・前後屈曲・左右回旋角速度および、最大角速度［deg/s］

			Front foot style			Reverse style			*p*
インパクト	胸部	側屈	- 40.4	±	63.1	- 75.8	±	52.1	n.s.
		前後屈	97.5	±	67.0	77.2	±	57.5	n.s.
		回旋	472.3	±	95.3	507.8	±	70.7	n.s.
	腰部	側屈	-3.1	±	73.9	- 0.3	±	54.2	n.s.
		前後屈	42.6	±	52.6	52.4	±	61.0	n.s.
		回旋	258.3	±	84.2	270.9	±	81.8	n.s.
	腰部に対する胸部	側屈	77.7	±	58.2	55.5	±	69.4	n.s.
		前後屈	141.0	±	67.0	130.7	±	71.8	n.s.
		回旋	247.1	±	65.7	267.5	±	61.1	n.s.
最大値	胸部	側屈	33.5	±	29.4	18.3	±	25.4	n.s.
		前後屈	108.7	±	64.9	94.8	±	49.7	n.s.
		回旋	676.8	±	59.3	695.8	±	53.8	n.s.
	腰部	側屈	50.6	±	74.7	60.8	±	52.1	n.s.
		前後屈	142.8	±	35.9	153.5	±	40.4	n.s.
		回旋	501.9	±	66.4	531.6	±	77.5	n.s.
	腰部に対する胸部	側屈	136.9	±	44.9	122.7	±	45.2	n.s.
		前後屈	156.4	±	67.0	147.0	±	72.1	n.s.
		回旋	303.8	±	78.7	304.4	±	57.9	n.s.

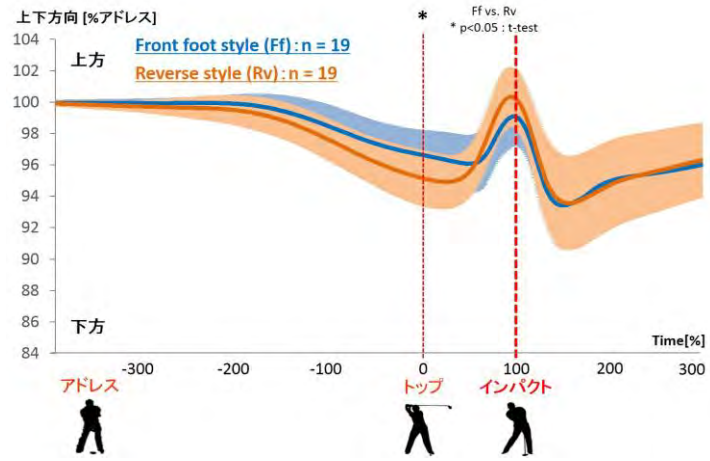
平均値 ± 標準偏差



a）左右方向の移動

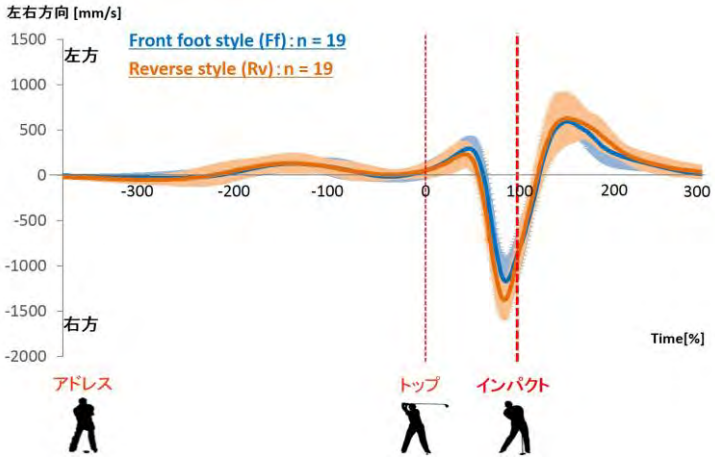


b）前後方向の移動

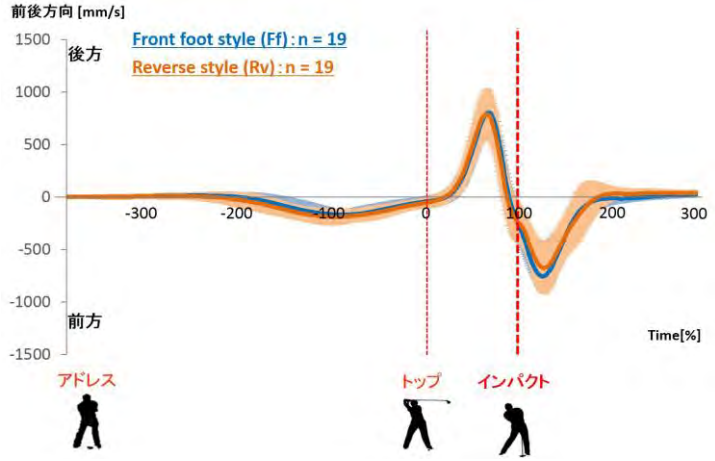


c)上下方向の移動

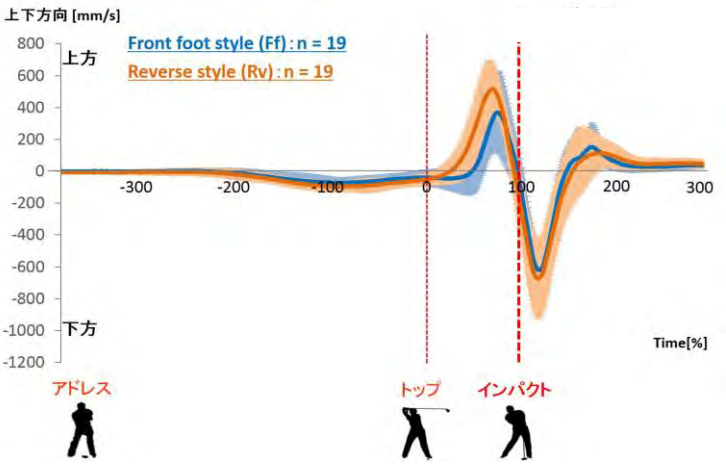
図 3-2 ゴルフスイング中の胸部の移動位置



a）左右方向への移動速度

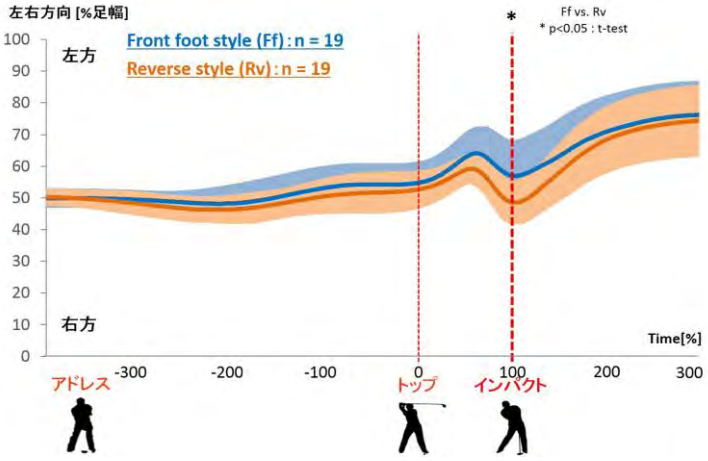


b）前後方向への移動速度

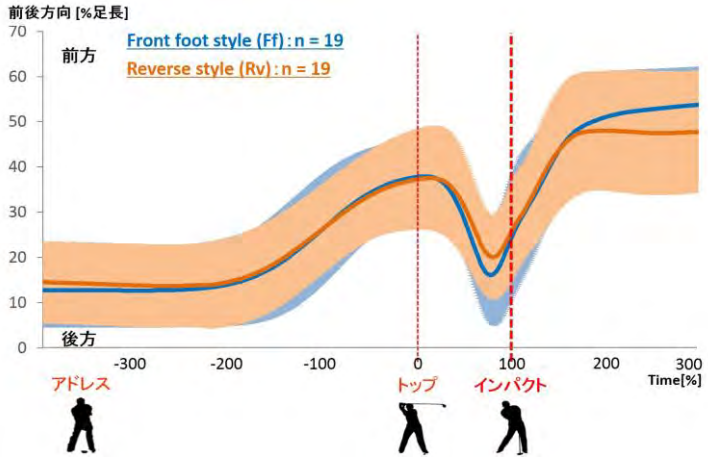


c）上下方向への移動速度

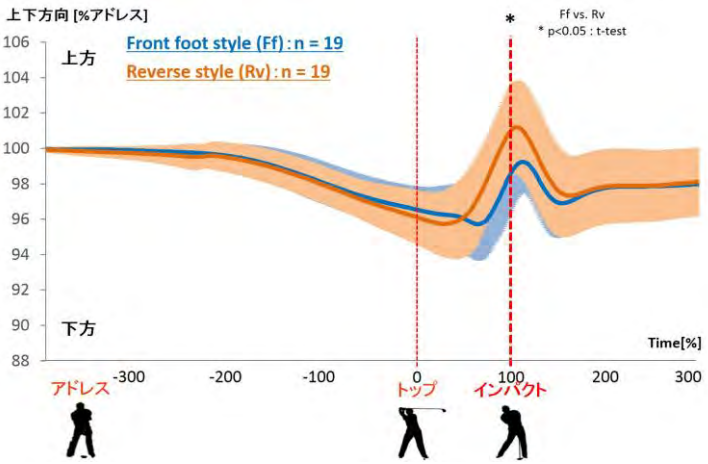
図 3-3 ゴルフスイング中の胸部の移動速度



a）左右方向の移動

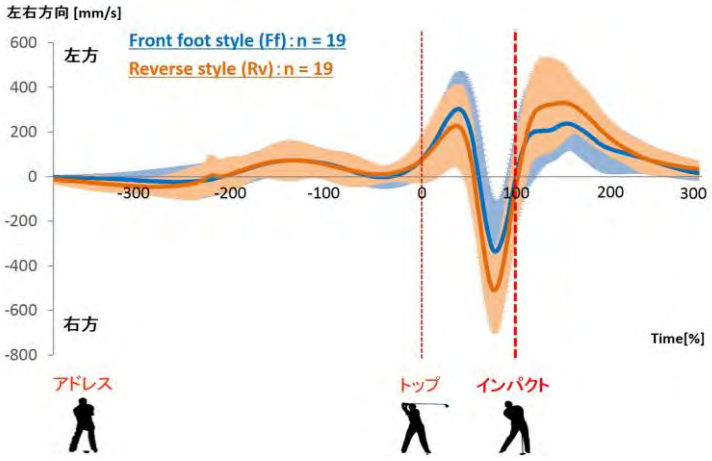


b）前後方向の移動

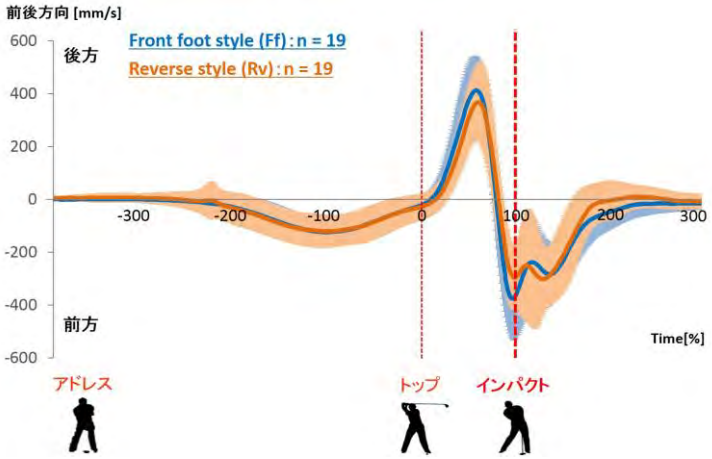


c）上下方向の移動

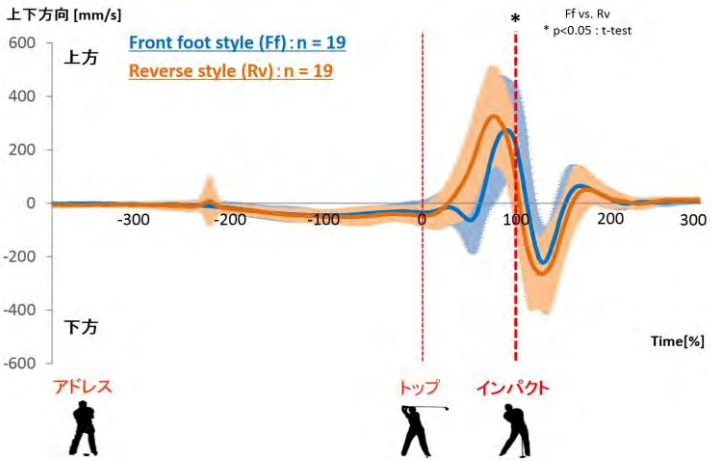
図 3-4 ゴルフスイング中の腰部の移動位置



a）左右方向の移動速度

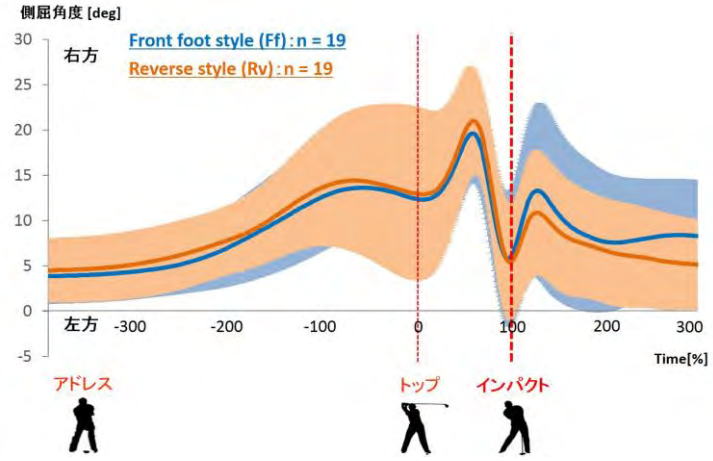


b）前後方向の移動速度

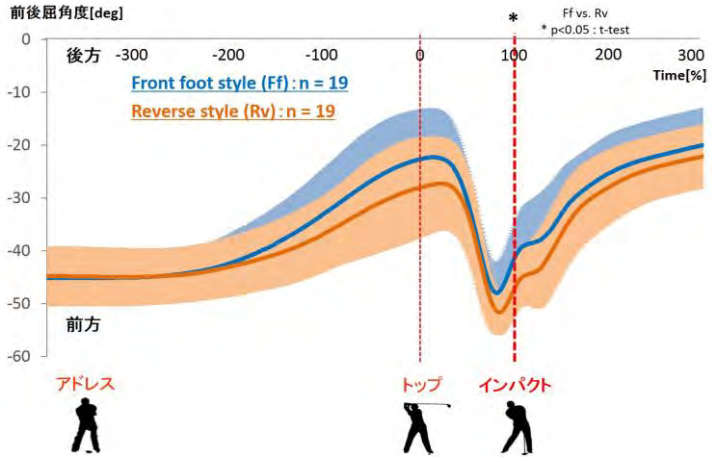


c）上下方向の移動速度

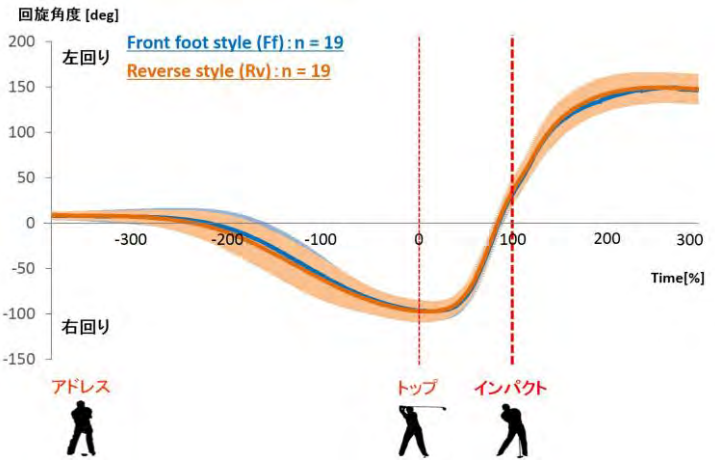
図 3-5 ゴルフスイング中の腰部の移動速度



a）左右側屈角度

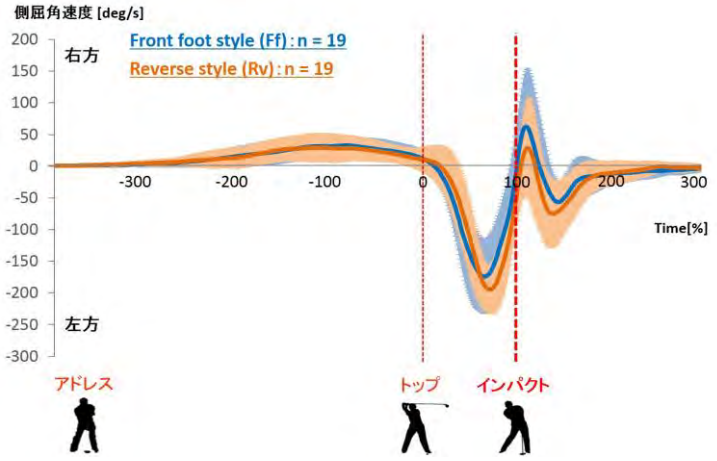


b）前後屈曲角度

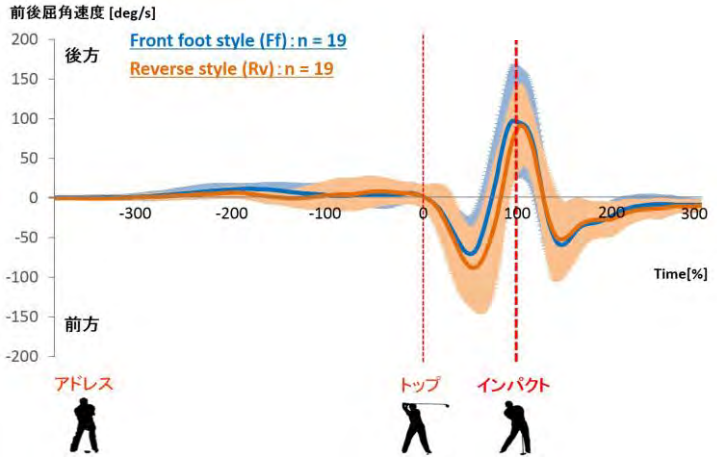


c）左右回旋角度

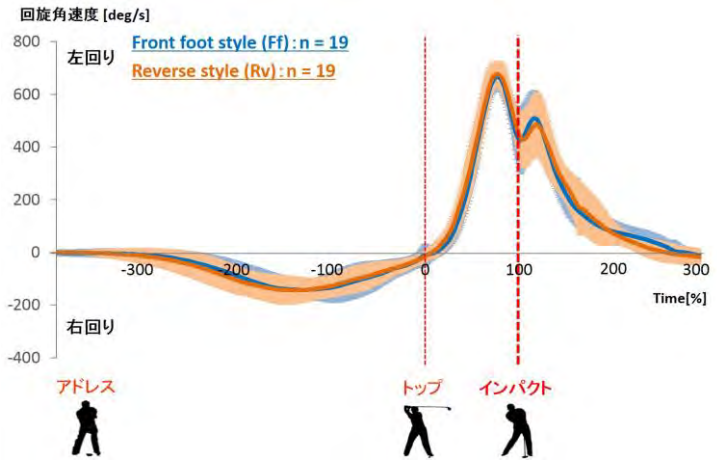
図 3-6 ゴルフスイング中の胸部の角度



a）左右側屈角速度

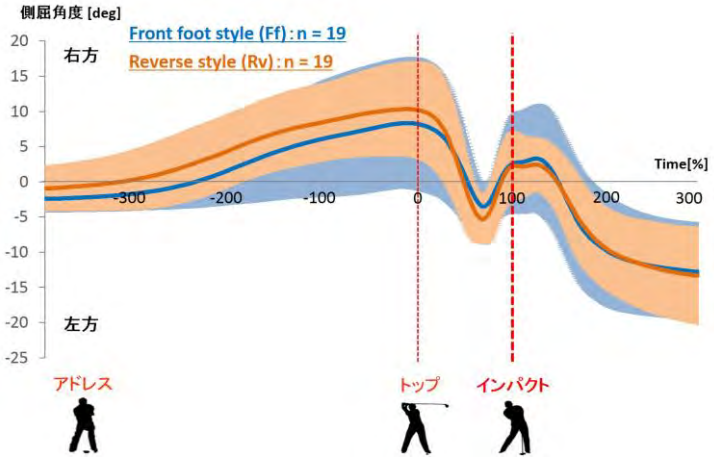


b）前後屈曲角速度

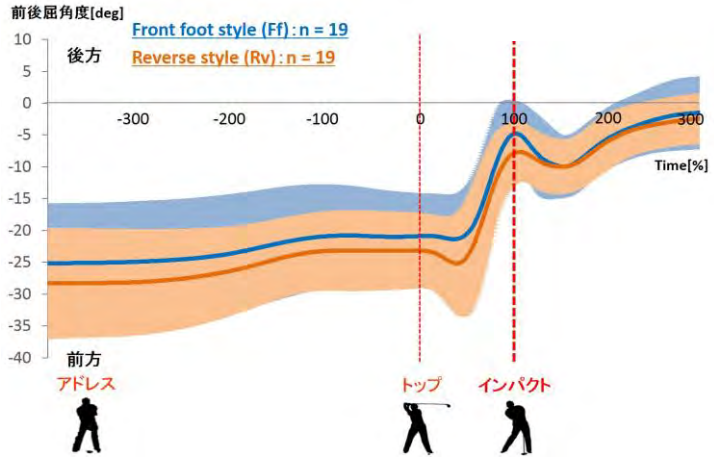


c）左右回旋角速度

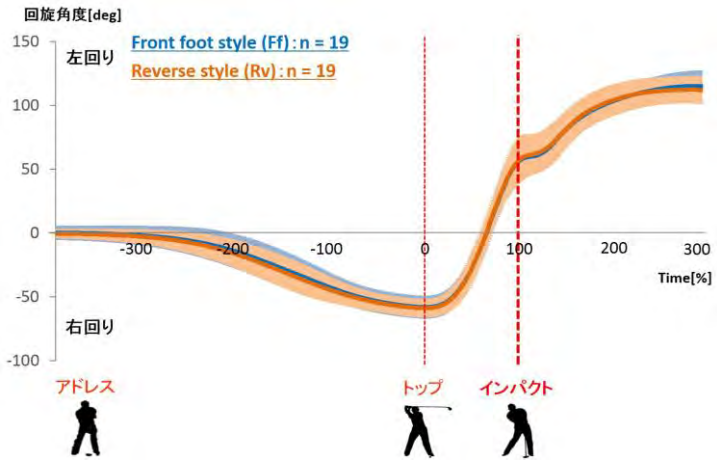
図 3-7 ゴルフスイング中の胸部の角速度



a）左右側屈角度

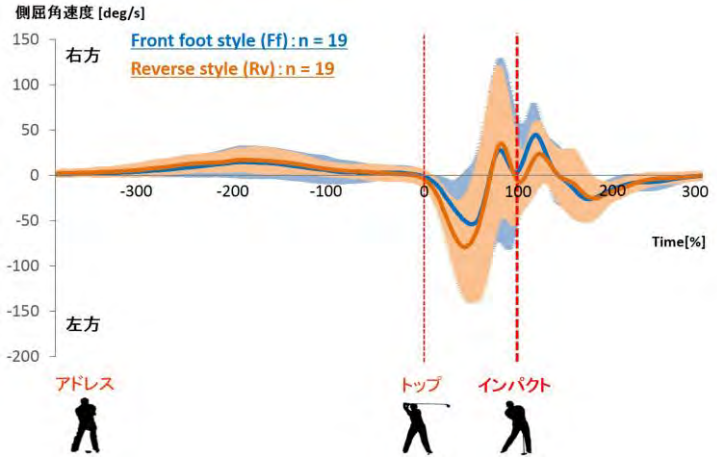


b）前後屈曲角度

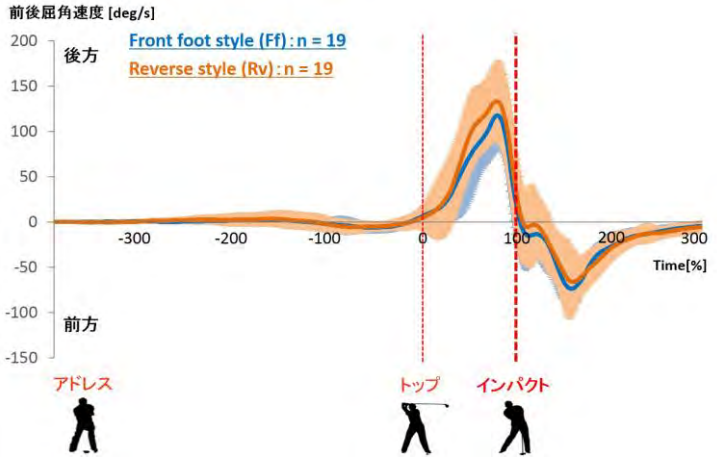


c）左右回旋角度

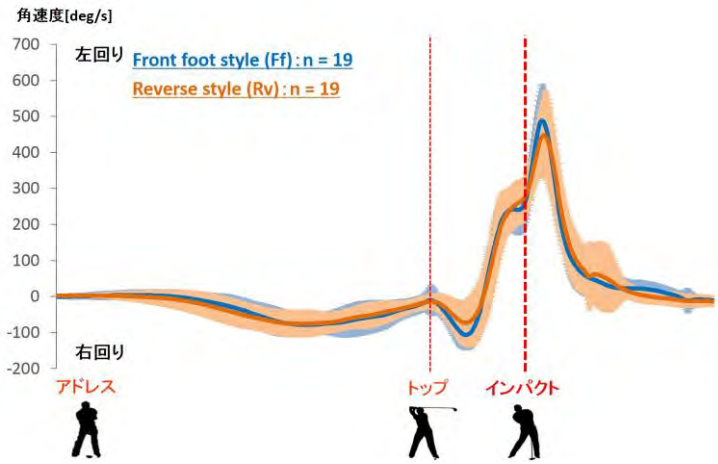
図 3-8 ゴルフスイング中の腰部の角度



a）左右側屈角速度

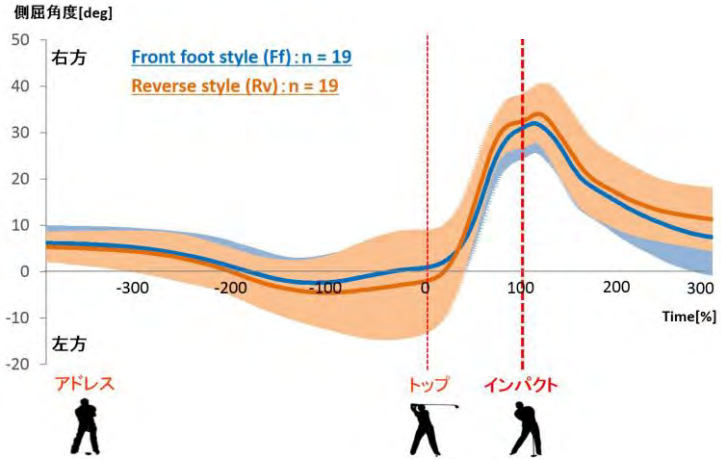


b）前後屈曲角速度

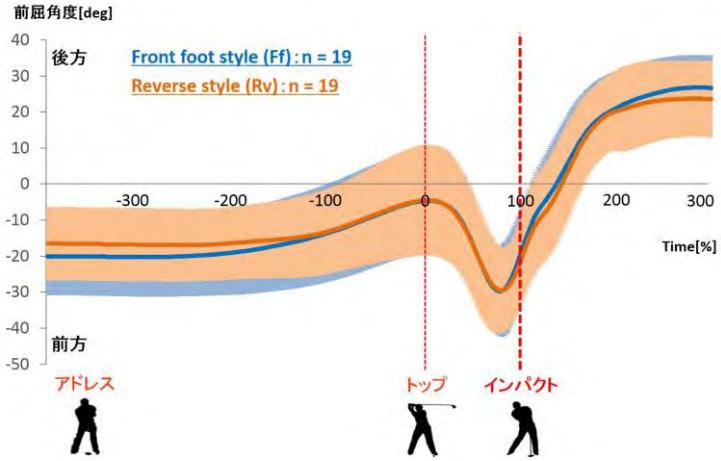


c）左右回旋角速度

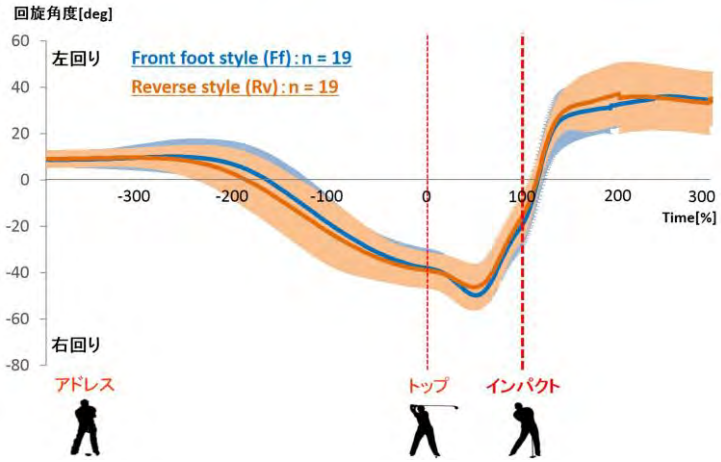
図 3-9 ゴルフスイング中の腰部の角速度



a）左右側屈角度

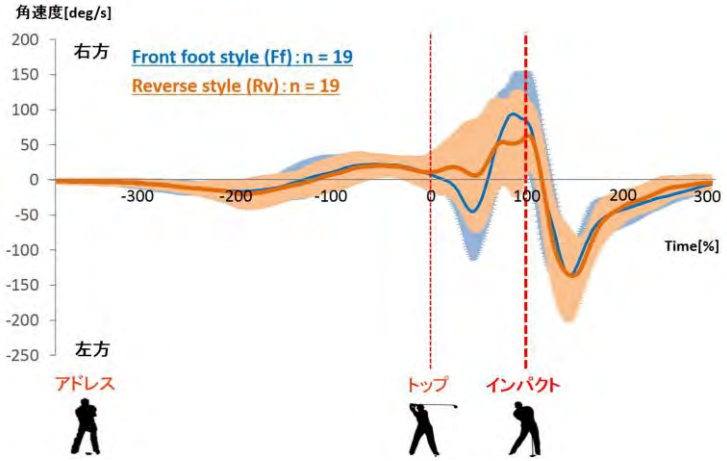


b）前後屈曲角度

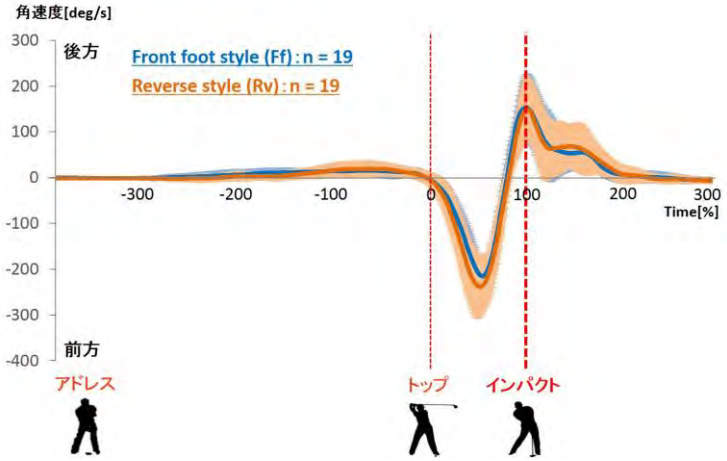


c）左右回旋角度

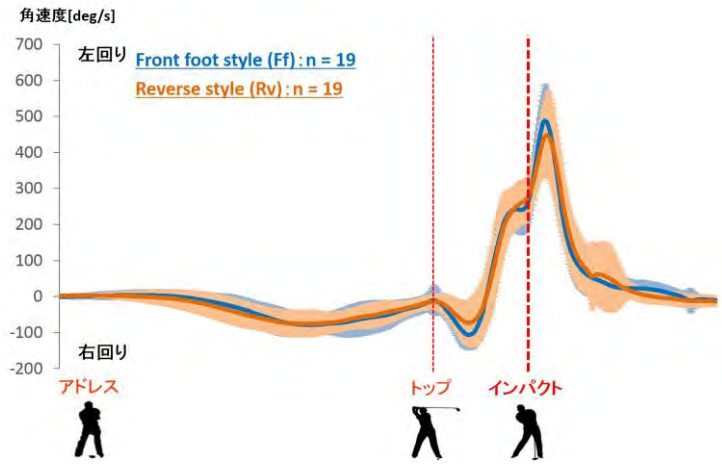
図 3-10 ゴルフスイング中の腰部に対する胸部の角度



a）左右側屈角速度



b）前後屈曲角速度



c）左右回旋角速度

図 3-11 ゴルフスイング中の腰部に対する胸部の角速度

3-4-2　各スイングスタイルにおける胸部および腰部の並進・回転動作とクラブヘッドスピード

各スイングスタイルにおける並進移動速度および回転角速度のインパクト時の値および最大値とクラブヘッドスピードとの相関関係を検定した結果を表 3-6、3-7 に示した。

並進動作

- Ff 群では、クラブヘッドスピードとインパクト時の腰部の左右方向、胸部および腰部の上下方向への移動速度との間に有意な正の相関関係が確認された（$r = 0.68, p < 0.01$、$r = 0.66, p < 0.01$、$r = 0.54, p < 0.05$）。
- Ff 群ではクラブヘッドスピードと胸部の左右、前後、上下方向への最大移動速度との間に有意な正の相関関係が認められた（$r = 0.54, p < 0.05$、$r = 0.65, p < 0.01$、$r = 0.47, p < 0.05$）。
- Rv 群では、クラブヘッドスピードとインパクト時の腰部の前後方向への移動速度との間に正の相関関係が認められた（$r = 0.48, p < 0.05$）。
- Rv 群では、クラブヘッドスピードと胸部・腰部におけるすべての方向への最大移動速度との間に有意な相関関係は認められなかった。

回転動作

- Ff 群では、クラブヘッドスピードとインパクト時の胸部の前後屈および回旋、腰部の側屈、腰部に対する胸部の回旋角速度との間に有意な正の相関関係が認められた（$r = 0.52, p < 0.05$、$r = 0.55, p < 0.05$、$r = 0.58, p < 0.01$、$p = 0.51$、$p < 0.05$）。また、胸部の側屈角速度においては正の相関傾向が見られた（$r = 0.44, p = 0.06$）。
- Ff 群では、クラブヘッドスピードと胸部の側屈、前後屈曲、回旋角速度、および腰部の側屈角速度、腰部に対する胸部の回旋角速度のダウンスイング中の最大角速度との間に有意な正の相関関係が認められた（$r = 0.65, p < 0.01$、 $r = 0.59, p < 0.01$、 $r = 0.54, p < 0.05$、 $r = 0.48, p < 0.05$、 $r = 0.54, p < 0.05$）。
- Rv 群では、クラブヘッドスピードとインパクト時の腰部の側屈角速度との間に有意な正の相関関係が確認され（$r = 0.62, p < 0.01$）、胸部の回旋角速度との間に正の有意傾向が確認された（$r = 0.41, p = 0.08$）。

- Rv 群では、クラブヘッドスピードと胸部・腰部におけるすべての軸周りの最大角速度との間に相関関係は認められなかった。

表 3-6 クラブヘッドスピードと胸部および腰部の
インパクト時の並進移動速度および最大移動速度の相関係数

		Front foot style		Reverse style	
		インパクト	最大値	インパクト	最大値
胸部	左右	- 0.33	**0.54***	- 0.15	- 0.18
	前後	0.35	**0.65****	0.16	0.24
	上下	**0.66****	**0.47***	0.02	- 0.03
腰部	左右	**0.68****	0.37	0.28	- 0.03
	前後	- 0.12	0.10	**0.48***	0.13
	上下	**0.54***	0.29	0.08	- 0.04

#: $p < 0.10$, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

表 3-7 クラブヘッドスピードと胸部および腰部の
インパクト時の回転角速度および最大回転角速度の相関係数

		Front foot style		Reverse style	
		インパクト	最大値	インパクト	最大値
胸部	側屈	**0.44**$^{\#}$	**0.65****	- 0.18	- 0.14
	前後屈	**0.52***	**0.59****	0.08	0.04
	回旋	**0.55***	**0.54***	**0.41**$^{\#}$	- 0.06
腰部	側屈	**0.58****	**0.48***	**0.62****	0.25
	前後屈	0.33	- 0.04	0.32	0.04
	回旋	0.09	0.29	0.17	0.04
腰部に対する胸部	側屈	0.01	0.15	- 0.25	- 0.10
	前後屈	0.33	0.31	0.17	0.21
	回旋	**0.51***	**0.53***	0.13	0.03

#: $p < 0.10$, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

3-4　　考察

第 3 章では、体重移動からみた 2 つのスイングスタイルにおけるゴルフスイング動作の違いを体幹部、とくに胸部と腰部の動作に着目しキネマティクス解析を用いて明らかにすることを目的とした。第 2 章において、身体重心に対する足圧中心の位置関係を用いて群分けされた Ff 群 19 名、および Rv 群 19 名の、ゴルフスイング中の胸部・腰部の左右・前後・上下軸方向への移動距離・移動速度、左右側屈・前後屈曲・左右回旋角度・角速度を算出し、群間比較を行った。また、各群においてクラブヘッドスピードと、並進動作速度および回転動作速度の相関関係を検定した。

3-5-1　各スイングスタイルにおける胸部および腰部の並進・回転動作の比較

トップおよびインパクト時において並進動作および回転動作を比較した結果、トップ時においては Ff 群と Rv 群の間に胸部および腰部の並進・回転動作に違いはなかった。並進動作については、インパクト時の胸部および腰部の移動位置には Ff 群と Rv 群で大きな違いがみられ、インパクト時およびダウンスイング中の最大移動速度は胸部および腰部ともに Ff 群と Rv 群で有意な差は認められなかった。回転動作については、インパクト時の腰部の前後屈角度を除き、その他では有意な差はみられなかった。また、インパクト時およびダウンスイング中の最大角速度は胸部および腰部ともに Ff 群と Rv 群で有意な差は認められなかった。

胸部および腰部の左右方向への移動に関しては、インパクト時の胸部および腰部が、Ff 群の選手は左足側、Rv 群の選手は右足側に位置していた。図 3-4a より、ダウンスイング開始とともに、Ff 群は腰部を左足方向へ移動するが、Rv 群は逆に腰部を右足方向へ移動させていることが分かる。このような、腰部の左右方向の移動は、第 2 章で明らかとなった身体重心の左右方向の移動（図 2-8）と類似していることから、Front foot style と Reverse style の体幹動作における特徴・決定要因として、腰部の移動が関係していることが考えられる。胸部は両群ともにインパクト時には腰部よりも大きく右足側へ移動するが（表 3-2、図 3-2a）、腰部のインパクト時の左右位置が異なる（表 3-2、図 3-4a）

ため、胸部のインパクト時の絶対的な左右位置にも差が生まれたと考えられる。

胸部および腰部の前後方向の移動に関しては、腰部では差がなかった。胸部では両群ともに踵側に位置していたが Ff 群の方が Rv 群よりも踵側に位置していた。第 2 章の結果から、インパクトにおける Rv 群の前後方向に関する身体重心の位置は、Ff 群の身体重心よりも、つま先側に位置している。加えて、胸部のインパクト時の前屈角度が Rv 群の方が Ff 群よりも大きかったことを踏まえると、胸部の前屈が、胸部のつま先側への移動を促していることが考えられる。つまり、前後方向への身体重心の移動は、身体重心の左右方向への移動とは異なり、胸部の前後方向への移動と前屈角度の影響を受けていることが示唆された。

インパクト時およびダウンスイング中の最大並進速度・回転角速度において、胸部および腰部ともに Ff 群と Rv 群で有意な差は認められなかった理由として、クラブヘッドスピードとダウンスイング時間に群間で有意な差は見られなかったことが考えられる。クラブヘッドスピードが速い選手のダウンスイング中の胸部および腰部の最大回転角速度やインパクト時の回転角速度は、クラブヘッドスピードの遅い人と比べて大きいことが明らかにされている（Myers et al., 2008; Zheng et al., 2008b）。また、Burden et al.,（1998）や Beak et al.,（2013）の先行研究によると、ダウンスイング中の胸部および腰部の並進移動速度はクラブヘッドスピードに影響を与えることを報告している。同様に、クラブヘッドスピードの速い選手は、ダウンスイング時間が短いことも確認されている（Horan et al., 2010）。これらのことから、Ff 群と Rv 群の選手の間に胸部および腰部におけるインパクト時の並進速度・回転角速度、最大並進速度・回転角速度に有意な差が認められなかったことが考えられる。

以上のことから、同じ競技レベルの選手におけるゴルフスイング中の体幹動作は、ゴルフスイング中の体重移動からみた 2 種類のスイングスタイルによってそれぞれ異なることが示唆された。

3-5-2　各スイングスタイルにおける胸部および腰部の並進・回転動作とクラブヘッドスピードとの関係

Ff 群の並進動作速度では、クラブヘッドスピードとインパクト時の胸部の上下方向への移動速度、胸部・腰部の左右方向への移動速度、胸部のすべての方向への最高移動速度に有意な正の相関関係が認められた。加えて、Ff 群の回転動作速度では、クラブヘッドスピードとインパクト時の胸部の側屈以外の回転角速度、腰部の側屈角速度、腰部に対する胸部の回旋角速度に有意な正の相関関係が認められ、最大回転角速度ではインパクト時に加えて胸部の側屈動作にも有意な正の相関関係が認められた。これらの結果から、Front foot style の選手は胸部および腰部の移動速度・回転速度を増加させることで高いクラブヘッドスピードを獲得していることが考えられる。Okuda et al.,（2010）はクラブヘッドスピードの速いプロ選手は、アマチュア選手と比べて大きく左右方向へ体重移動を行ったことを報告しており、Burden et al.,（1998）や Beak et al.,（2013）の先行研究によると、クラブヘッドスピード向上に、ダウンスイング中の胸部および腰部の並進移動に伴う、身体重心の移動速度の重要性を示している。Horan et al.,（2010）の先行研究では、クラブヘッドスピードの速い男性選手において、インパクト時の胸部および腰部の右側屈・後屈方向への回転角速度や、ダウンスイング中のそれらの角速度が女性選手よりも大きいことを明らかにしている。また、腰部に対する胸部のインパクト時の左回旋角速度および、ダウンスイング中の最大左回旋角速度が高い選手ほど高いクラブヘッドスピードを生み出すことができることも確認されている（Joyce et al., 2016）。また、ゴルフスイング中の体幹部の回転動作の重要性は指導現場においても確認されている（Smith et al., 2015）。つまり、Front foot style の選手は、先行研究でも明らにされ、従来の指導において重要視されているように、体幹部の素早い並進および回転動作を獲得することによりパフォーマンスを向上させていることが示唆された。

Rv 群では、クラブヘッドスピードとインパクト時の腰部における後方向への移動速度および側屈角速度との間に有意な相関関係が認められたが、その他のインパクト時の並進移動速度・回転角速度および最大移動速度・回転角速度においてクラブヘッドスピードとの間に、Ff 群のような、有意な相関関係は認められなかった。これら結果から、Reverse style の選手において体幹部の素早い動作は高いヘッドスピードを得るための

手段ではないことが考えられる。Kwon et al.,（2013）は腰部に対する胸部の回旋角速度は直接的にクラブヘッドスピードを増加させる要因とならないと述べている。したがって、Reverse style の選手は、体幹動作において従来提唱されてきた方法とは別の方法で、高いクラブヘッドスピード、Front foot style の選手と同等のクラブヘッドスピードを獲得していることが示唆された。

クラブヘッドスピードを向上させる要因に体重移動や体幹動作のほかに、上肢の動作が挙げられる（Pickering et al., 1999; Chu et al., 2010）。Pickering et al.,（1999）および Springers, et al.,（2000）の先行研究では、手首のコッキング（クラブを両手で握ったまま手首を橈屈させた状態のこと）を利用し、ダウンスイングの前期までアンコッキング（クラブを両手で握ったまま手首を尺屈させること）のタイミングを操作し、ダウンスイング後期において、手首の回転トルクを増加させることで、クラブヘッドスピードが向上することを報告している。また、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、二重振り子の理論を用いて、クラブ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 et al., 1982）。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。そして、橋本（2011）は、プロゴルフ選手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、上肢の近位部から遠位部にかけて顕著な減速が確認しており、プロ選手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）を作り、急激なブレーキをかけることで、末端にあるクラブヘッドスピードを上げていることを明らかにしている。したがって、クラブヘッドスピードの向上に貢献する技術要素は、上肢や下肢にも含まれ、Reverse style の選手において高いクラブヘッドスピードを獲得するためのスイング戦略について明らかにするためにはさらなる動作解析が必要である。

以上のことから、同等のクラブヘッドスピードを発揮できる選手の中でも、その選手の体重移動方法によって高いクラブヘッドスピードを得るための体幹動作は異なり、Front foot style の選手は胸部と腰部の回転角速度を大きくすること、Reverse style の選手は体幹動作以外のスイング戦略を用いていることが示唆された。

第 4 章　総合討論

第 2 章では、ゴルフスイング中の足圧中心と身体重心の移動を同時に検討し、身体重心に対する足圧中心の位置関係を明らかにした。その結果、足圧中心および身体重心の左右方向の位置を用いたクラスター分析による群分けにおいても、左足側に位置する Ff 群と、右足側に位置する Rv 群に分けることが可能であった。さらに、Ff 群は身体重心よりも足圧中心の位置が左足側に位置し、Rv 群は身体重心よりも足圧中心の位置が右足側に位置していることが明らかとなった。第 3 章では、第 2 章において Ff 群および Rv 群に群分けされた選手を対象に体幹部の並進動作と回転動作の分析を行い、2 種類のスイングスタイルにおけるゴルフスイング動作、特に体幹部の動作方法の特徴について明らかにした。その結果、身体重心の位置に応じてインパクト時の並進動作には差がみられたものの、インパクト時の回転動作において群間に大きな差はないことが示された。また、Ff 群および Rv 群において、高いクラブヘッドスピードを発揮させるためのスイング動作戦略が異なることが示唆された。

第 2 章の結果より、Ff 群および Rv 群におけるインパクト時の身体重心と足圧中心の距離にはばらつきが大きいことから、足圧中心が身体重心に対して遠くに位置している選手やほとんど同様の場所に位置する選手がいることが分かる（表 2-4a、図 2-11）。つまり、身体重心に対する足圧中心の位置だけでなく距離によっても動作が変化する可能性があると考えられる。

そこで、第 4 章では、第 2 章と第 3 章を総合的に検討し、ゴルフスイング中の足圧中心と身体重心の位置・距離の違いと、ダウンスイング中の体幹動作の関係について検討する。

4-1　　身体重心と足圧中心の位置・距離の違いと体幹動作の関係

本研究において、ピアソンの積率相関係数を用いて、第 2 章にて算出されたすべての被験者における身体重心と足圧中心の距離とクラブヘッドスピード、身体重心と足圧中心の距離と第 3 章にて算出された胸部および腰部の 3 軸方向への並進移動位置、身体重心と足圧中心の距離と 3 軸周りの回転角度の相関関係を検定した（表 4-1）。すべての変

数はインパクト直前の値を用いた。統計解析は SPSS Statistics 19（IBM Co. USA）を用いて分析し、有意水準は 5%未満とし、5%以上 10%未満を有意傾向とした。その結果を以下に示す。

- 身体重心と足圧中心の距離と、クラブヘッドスピードとの間に有意な相関関係は認められなかった。また、身体重心と足圧中心の距離と Ff 群のクラブヘッドスピードとの間に正の相関傾向が見られた（$r = 0.43$, $p = 0.07$）が、Rv 群では相関関係は見られなかった（図 4-1）。

並進移動位置

- 身体重心と足圧中心の距離と、胸部および腰部の左右方向の移動位置との間に有意な正の相関関係が認められた（胸部：$r = 0.63$, $p < 0.01$、腰部：$r = 0.62$, $p < 0.01$）（図 4-2、4-3）。
- 身体重心と足圧中心の距離と胸部の前後方向の移動位置との間に有意な負の相関関係が認められた（$r = -0.45$, $p < 0.01$）（図 4-4）。
- 有意な相関関係は認められなかったものの、身体重心と足圧中心の距離と腰部の上方向の移動位置との間に負の相関傾向がみられた（$r = -0.29$, $p = 0.07$）（図 4-5）。

回転角度

- 身体重心と足圧中心の距離と胸部の前後屈曲角度との間に有意な正の相関関係が認められた（$r = 0.57$, $p < 0.01$）（図 4-6）。
- 有意な相関関係は認められなかったものの、身体重心と足圧中心の距離と胸部の回旋角度との間に負の相関傾向がみられた（$r = -0.31$, $p = 0.06$）（図 4-7）。
- 有意な相関関係は認められなかったものの、身体重心と足圧中心の距離と腰部に対する胸部の側屈角度との間に負の相関傾向がみられた（$r = -0.31$, $p = 0.06$）（図 4-8）。

本章の結果では、身体重心と足圧中心の距離が左足側へ離れるほど、腰部が左足付近かつ、胸部が踵付近に位置していた。また、身体重心と足圧中心の距離が右足側へ離れるほど、腰部が右足付近かつ、胸部がつま先付近に位置することが明らかとなった。そして、身体重心と足圧中心の距離が右足側へ離れるほど胸部の前屈角度が大きく、胸部

の回旋角度および胸部に対する腰部の側屈角度が大きくなる傾向にあった。つまり、足圧中心に対して身体重心の位置と距離によって、ゴルフスイング動作は変化し、左足側へ離れている選手ほどインパクト時に比較的起き上がった姿勢をとっており、右足側へ離れている選手ほど体幹部を大きく回転させていることが示された。

身体重心に対して足圧中心が右足側へ離れていた選手ほど、インパクト時の胸部および腰部の回旋角度、前屈角度が大きく、腰部に対する胸部の側屈角度が大きかった。この理由として、腰部のセグメント中心の位置とボールの位置が関係していると考えられる。アドレス時のボールに対する選手の立ち位置は任意としていたが、Ff 群と Rv 群の間に立ち位置の違いはなかった。しかし、インパクト時に足圧中心が身体重心に対して右足側へ離れていた選手ほど、腰部の左右方向の位置がアドレス時よりも右足側に位置していたことから、その選手はアドレス時の前屈および回旋角度ではボールにクラブが届かないことが推察される。このことから、身体重心に対して足圧中心が右足側へ離れるほど、体幹部をより前屈かつ回旋させて、ボールを打っていることが考えられる。また、前屈角度が大きいほど、回旋動作を行った際の回旋方向と逆方向への側屈角度が増加することから、身体重心と足圧中心の距離が右足側へ離れるほど、腰部に対する胸部の側屈角度が大きいことが示唆される。

以上のことから、身体重心に対する足圧中心の位置および距離と体幹動作を合わせて検討することで、ゴルフ選手におけるゴルフスイング中の体重移動方法を用いたスイングスタイルの類別化だけではなく、身体重心と足圧中心の位置関係の違いによる体幹動作の変化を簡易的に明らかにすることができた。そして、ゴルフパフォーマンスに関係する足圧中心の身体重心に対する位置および距離は、身体重心に対して足圧中心が左右どちら側の足付近に位置しているか、またどの程度身体重心と離れているかによって異なることが示唆された。

表 4-1 身体重心と足圧中心の距離と

クラブヘッドスピード・体幹動作との相関係数

		r
クラブヘッドスピード	全体	0.07
	Front foot style	**0.43**$^{\#}$
	Reverse style	0.10
胸部	左右	**0.63****
	前後	**- 0.45****
	上下	- 0.01
	側屈	0.19
	前後屈	**0.57****
	回旋	**- 0.31**$^{\#}$
腰部	左右	**0.61****
	前後	0.00
	上下	**- 0.29***
	側屈	- 0.15
	前後屈	0.23
	回旋	- 0.18
腰部に対する胸部	側屈	**- 0.31***
	前後屈	0.19
	回旋	- 0.16

#: $p < 0.10$, *: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$

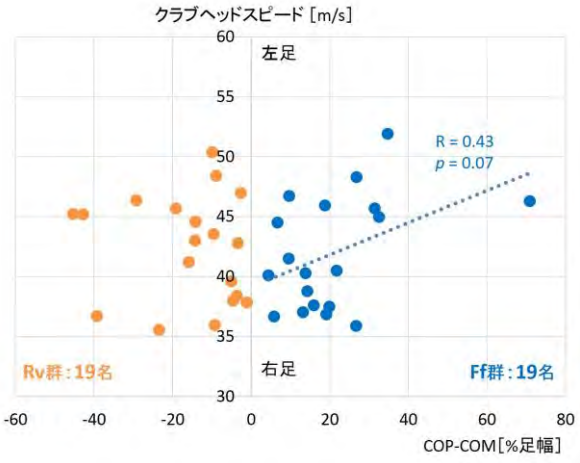


図 4-1 身体重心と足圧中心の距離とクラブヘッドスピードとの関係

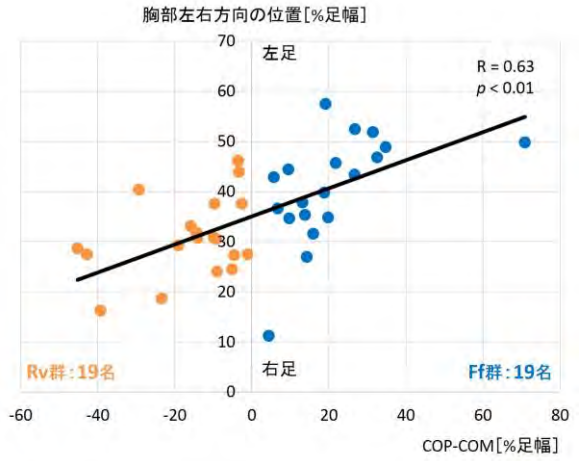


図 4-2 身体重心と足圧中心の距離と胸部の左右方向への移動位置との関係

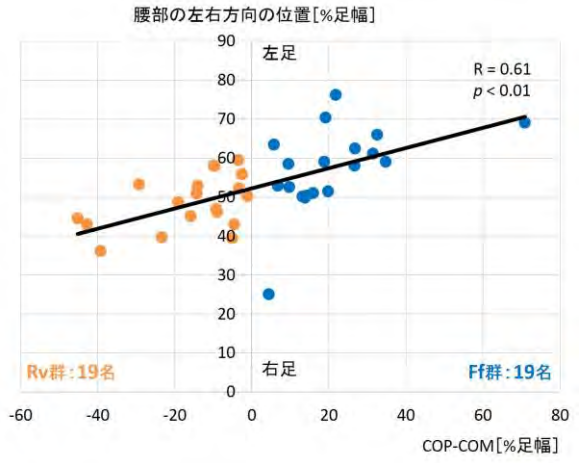


図 4-3 身体重心と足圧中心の距離と腰部の左右方向への移動位置との関係

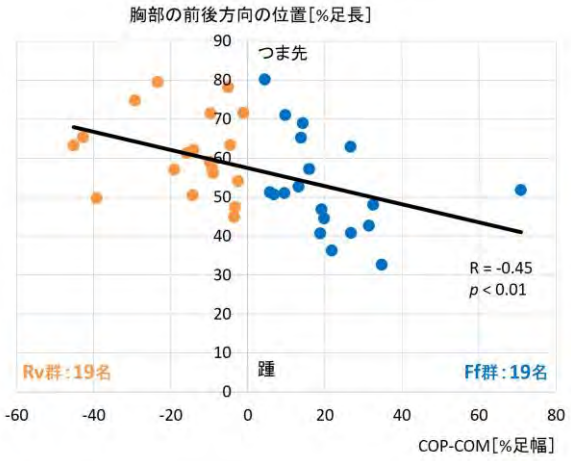


図 4-4 身体重心と足圧中心の距離と胸部の前後方向への移動位置との関係

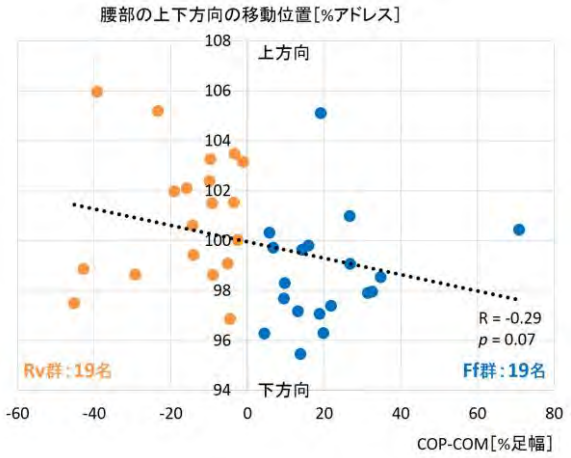


図 4-5 身体重心と足圧中心の距離と腰部の上下方向への移動位置との関係

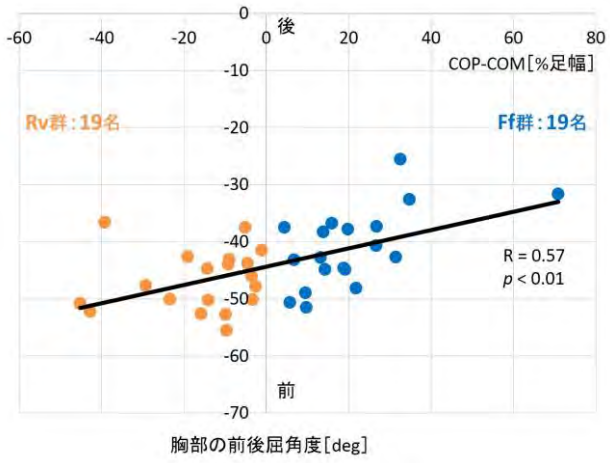


図 4-6 身体重心と足圧中心の距離と胸部の前後屈角度との関係

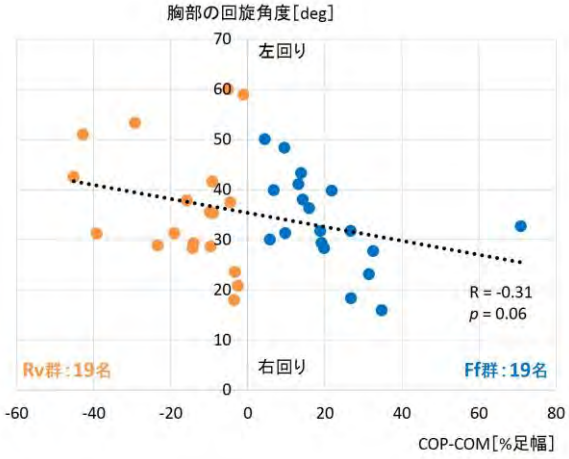


図 4-7 身体重心と足圧中心の距離と胸部の回旋角度との関係

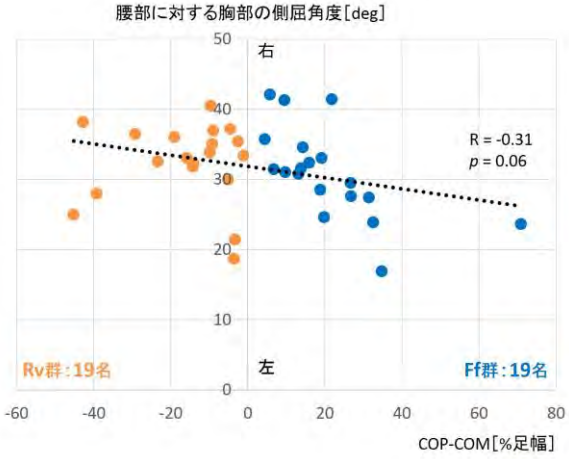


図 4-8 身体重心と足圧中心の距離と腰部に対する胸部の側屈角度との関係

4-2　　実践への示唆

これまで、ゴルフスイング中の体重移動の方法と身体の動かし方は個々に研究が進められており、それぞれは競技レベルや性別、年齢によって異なることが明らかにされている（Okuda et al., 2010; Zheng et al., 2008a; Horan et al., 2011; Kim et al., 2011）。しかし、スイング中の体重移動と体幹動作について同時に検討し、体重移動方法の違いと体幹動作の関係性について同競技レベルの選手を比較した研究は行われてこなかった。本研究の結果から、身体重心に対する足圧中心の位置やそれらの距離が異なることでスイング動作が変化することが示された。体重移動によって体幹動作を変化させることは、同じ競技レベルの選手において、高いパフォーマンスを獲得するためのゴルフスイング動作戦略がそれぞれ異なることを意味する。実際に Front foot style と Reverse style の選手では、高いクラブヘッドスピードを獲得するためのスイング動作の戦略が異なることが示された。したがって、そのパフォーマンスを評価するうえで、検討するべき体幹動作の項目を選手の身体重心と足圧中心の位置関係によって変える必要があることが示唆された。ゴルフ選手にとってゴルフパフォーマンスを向上させるためにはそれぞれの選手の特性に合ったゴルフスイング動作の獲得が重要であり、指導者は指導を行う選手に合わせたゴルフスイング動作の指導を行うことが必要である。そのため、指導者は指導する選手のスイングスタイルを知り、そのスタイルに合わせた体重移動や体幹動作方法を習得させるべきである。その意味でも、ゴルフスイング中の体重移動方法の違いと体幹動作の特徴を明らかにした今回の研究結果は、今後のゴルフ指導現場において有益なデータを提供できると考える。

第 5 章　結論

本研究では、ゴルフスイング中の足圧中心と身体重心の位置関係による体幹動作およびゴルフパフォーマンスへの影響について明らかにすることを最終目的とし、①ゴルフスイング中の体重移動の方法について、足圧中心と身体重心を同時に評価し、足圧中心と身体重心の位置関係を明らかにすること、②体重移動からみた 2 種類のスイングスタイルにおけるゴルフスイング動作の違いを体幹部の動作に着目しキネマティクス解析を用いて明らかにすることを目的とした研究を行った。

1. ゴルフスイング中の体重移動の方法は、足圧中心および身体重心はともに、インパクト時に飛球方向側の足付近に位置する選手（Front foot style）と、飛球方向と反対側の足付近に位置する選手（Reverse style）が存在し、いずれのパラメーターにおいてもスイングスタイルの類別が可能であり、スイングスタイル間にクラブヘッドスピードに差がないことが明らかとなった。また Front foot style の選手のインパクト時の足圧中心が身体重心よりも左足側に位置し、Reverse style の選手のインパクト時の足圧中心が身体重心よりも右足側に位置していることが示唆された。

2. Front foot style および Reverse style の選手におけるゴルフスイング中の並進動作は、胸部および腰部の移動位置には、身体重心および足圧中心位置に対応して群間に違いがあったものの、移動速度や、回転動作に関しては群間に大きな違いがないことが明らかとなった。Front foot style の選手は体幹部の移動速度・回転角速度を増加させることによって高いクラブヘッドスピードを獲得しているが、Reverse style の選手には、Front foot style の選手のような特徴は当てはまらなかったことから、体幹部の移動速度・回転角速度とは別の方法を用いて高いクラブヘッドスピードを獲得していることが示唆された。

3. インパクト時の足圧中心が身体重心よりも飛球方向側および飛球方向と反対側へ離れるほどそれぞれの選手における体幹動作の違いは顕著であったことが明らかとなった。また、インパクト時の身体重心と足圧中心の距離とクラブヘッドスピ

ードには相関関係が見られなかったが、足圧中心が身体重心よりも飛球方向側に位置している選手においては、足圧中心が身体重心よりも飛球方向側へ離れるほど、クラブヘッドスピードは増加する傾向にあることが明らかになった。

以上のことから、ゴルフスイング中の足圧中心と身体重心の位置関係の異なる選手が存在し、それぞれの選手において高いゴルフパフォーマンスを獲得するためのスイングスタイルは異なることが示唆された。

文献

1. 阿江通良, 湯海鵬, 横井孝志. (1992). 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定(1 部 形態と運動の計測). *バイオメカニズム*(11), 23-33.
2. Ball, K. A. & Best, R. J. (2007a). Different center of pressure patterns within the golf stroke I: Cluster analysis. *Journal of Sports Sciences*. 25(7), 757-770.
3. Ball, K. A. & Best, R. J. (2007b). Different center of pressure patterns within the golf stroke II: Group-based analysis. *Journal of Sports Sciences*. 25(7), 771-779.
4. Ball, K. A. & Best, R. J. (2011). Golf styles and center of pressure patterns when using different golf clubs. *Journal of Sports Sciences*. 29(6), 587-590.
5. Ball, K. A. & Best, R. J. (2012). Center of pressure patterns in golf swing: individual-based analysis. *Sports Biomechanics.* 11(2). 175-189.
6. Beak, S., Choi, A., Chio, S., Oh, S. E., Mun, J. H., Yang, H., Sim, T., & Song, H. (2013). Upper torso and pelvis liner velocity during the downsing of elite golfers. *BioMedical Engineering OnLine*. 12(13).
7. Burden, A. M., Grimshaw, P. N., & Wallace, E. S. (1998) Hip and shoulder rotations during the golf swing of sub-10 handicap players. *Journal of Sports Sciences*. 16, 165-176.
8. Choi, A., Sim, T., & Mun, J. H. (2016). Improved determination of dynamic balance using the center of mass and center of pressure inclination variables in a complete golf swing cycle. *Journal of Sports Sciences*. 34(10), 906-914.
9. Chu, Y., Sell, T. C., & Lephart, S. M. (2010). The relationship between biomechanical variables and driving performance during the golf swing. *Journal of Sports Sciences*. 28(11), 1251–1259.
10. Egret, C. I., Nicolle, B., Dujaedin, F. H., Weber, J., & Chollet, D. (2006). Kinematic Analysis of the Golf Swing in Men and Women Experience Golfers. *International Journal of Sports Medicine*. 27, 463-467.
11. Gordon, B. S., Moir, G.L., Davis, S. E., Witmer, C. A., & Cummings, D. M. (2009). An Investigation into the Relationship of Flexibility, Power, and

Strength to Club Head Speed in Male Golfers. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 23(5), 1606-1610

12. 橋本啓樹. (2011). 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ェティック解析. *2011 年度 スポーツ健康科学研究科修士学位論文*
13. Hellströma, J. (2009). Competitive Elite Golf -A Review of the Relationships between Playing Results, Technique and Physique-. *Sports Medicine*. 39(9), 723-741.
14. Horan, S. A., Evans, K., Morris, N. R., & Kavanagh, J. J. (2010). Thorax and pelvis kinematics during the downswing of male and female skilled golfers. *Journal of Biomechanics*. 43, 1456-1462.
15. Horan, S. A., Evans, K., & Kavanagh, J. J. (2011). Movement variability in the golf swing of male and female skilled golfers. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 43, 1474-1483.
16. Horan, S. A., & Kavanagh, J. J. (2012). The control of upper body segment speed and velocity during the golf swing. *Journal of Biomechanics*. 11(2), 165–174.
17. Hume, P. A., Keogh, J., & Reid, D. (2005). The Role of Biomechanics in Maximizing Distance and Accuracy of Golf Shots. *Sports Medicine*. 35(5), 429-449.
18. Jenkins, S. (2008). Weight Transfer, Golf Swing Theory and Coaching. *Annual Review of Golf Coaching*. 29-51.
19. Joyce, C., Burnett, A., & Ball, K. (2010). Methodological Considerations for the 3D Measurement of the X-Factor and Lower Trunk Movement in Golf. *Sports Biomechanics*. 9(3), 206-221
20. Joyce, C., Burnett, A., Ball, K., & Cochrane, J. (2013). Three-dimensional trunk kinematics in golf: Between-club differences and relationships to club head speed. *Sports Biomechanics*. 12(2), 108–120.
21. Joyce, C., Chivers, P., Sato, K., & Burnett, A. (2016a). Multi-segment trunk models used to investigate the crunch factor in golf and their relationship with selected swing and launch parameters. *Journal of Sports Sciences*.

22. Joyce, C. (2016). An examination of the correlation amongst trunk flexibility, x-factor and clubhead speed in skilled golfers. *Journal of Sports Sciences*. Nov. 4, 1-7.
23. Kim, T. H., Jagacinski, R. J., & Lavender, S. A. (2011). Age-Related Differences in the Rhythmic Structure of the Golf Swing. *Journal of Motor Behavior*. 43(6), 433-442.
24. Kwon, Y. H., Han, K. H., Como, C., Lee, S., & 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.
25. Milburn, P. D. (1982). Summation of segmental velocities in the golf swing. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 14(1), 60-64.
26. Myers, J., Lephart, S., Tsai, Y. S., Sell, T., Smoliga, J., & Jolly, J. (2008). The role of upper torso and pelvis rotation in driving performance during the golf swing. *Journal of Sports Sciences*. 26(2), 181-188.
27. Najafi, B., Lee-Eng, J., Wrobel, J. S., & Goebel, R. (2015). Estimation of Center of Mass Trajectory using Wearable Sensors during Golf Swing. *Journal of Sports Sciences and Medicine*. 14, 354-363.
28. Neal, R., Lumsden, R. G., Holland, M., & Mason, B. (2007) Body Segment Sequencing and Timing in Golf. *Annual Review of Golf Coaching*. 2, 25-36
29. Okuda, I., Gribble, P., & Armstrong, C. (2010). Trunk rotation and weight transfer patterns between skilled and low skilled golfers. *Journal of Sports Science and Medicine*. 9, 127-133.
30. Pikering W. M., & Vicker G. T. (1999). On the double pendulum model of the golf swing. *Sports Engineering*. 2, 161-172.
31. Smith, A., Roberts, J., Wallace, E., Kong, P. W., & Forrester, S. (2015). Golf Coaches' Perceptions of Key Technical Swing Parameters Compared to Biomechanical Literature. *International Journal of Sports Science & Coaching*. 10, 739-755.
32. Smith, A. C., Roberts, J. R., Kong, P. W., & Forrester, S. E. (2016). Comparison

of center of gravity and center of pressure patterns in the golf swing. *European Journal of Sport Science*.

33. Sprigings, E. J., & Neal, R. J. (2000) An insight into the importance of wrist torque in driving the golf ball: A simulation study. *Journal of Applied Biomechanics*. 16, 356-366
34. 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
35. Wada, O., Tateuchi, H., & Ichihashi, N. (2014). The correlation between movement of the center of mass and the kinematics of the spine, pelvis, and hip joints during body rotation. *Gait & Posture.* 39, 60-64.
36. Wheat, J. S., Vernon, T., & Milner, C. E. (2007). The measurement of upper body alignment during the golf drive. *Journal of Sports Sciences*. 25(7), 749-755
37. Williams, K. R., & Shi, B. L. (2002). Changes in golf clubface orientation following impact with the ball. *Sports Engineering*. 5, 65-80.
38. Winter, D. A. (1995). Human balance and posture control during standing and walking. *Gait & Posture*. 3(4). 193-214.
39. Wiseman, F., & Chattrtjee, S. (2006). Comprehensive Analysis of Golf Performance on The PGA Tour 1990-2004. *Perceptual and Mortar Skills.* 102, 109-117.
40. Wu, G., Siegler, S., Allard, P., Kirtley, C., Leardini, A., Rosenbaum, D., Whittle, M., D'Lima, D. D., Cristofolini, L., Witte, H., Schmid, O., Stokes, I. (2002). ISB recommendation on definitions of joint coordinate system of various joints for the reporting of human joint motion—part I: ankle, hip, and spine. International Society of Biomechanics. *Journal of Biomechanics, 35*(4), 543-548.
41. Wu, G., Helmb, F. C. T., Veeger, H.E.J., Makhsouse, M., Royf, P. V., Angling, C., Nagelsh, J., Kardunai, A. R., McQuadej, K., Wangk, X., Wernerl, F. W., & Buchholz B. (2005). ISB recommendation on definitions of joint coordinate

systems of various joints for the reporting of human joint motion—Part II: shoulder, elbow, wrist and hand. *Journal of Biomechanics*. 38, 981-992.

42. Zheng, N., Barrenting, S. W., Fleisig, G. S., & Andrews, J. R. (2008a). Swing Kinematics for Male and Female Pro Golfers. *International Journal of Sports Medicine*. 29, 965-970.
43. Zheng, N., Barrenting, S. W., Fleisig, G. S., & Andrews, J. R. (2008b). Kinematic Analysis of Swing in Pro and Amateur Golfers. *International Journal of Sports Medicine*. 29, 487-493

謝辞

本研究を遂行し修士学位論文を作成するにあたり、多くのご支援とご指導を賜りました、指導教員である伊坂忠夫教授に感謝の意を表します。また、修士学位論文のご指導を下さった副査の藤田聡教授、小沢道紀教授に深く感謝を致します。そして修士学位論文のみならず、研究計画・実験設定・データ算出・データ分析・学会発表の資料作成に至るまで、本研究すべてにおいて丁寧かつ手厚いご指導をいただきました栗原俊之助教に心から感謝致します。

さらには、ご多忙にもかかわらず実験のご理解を頂き快く被験者を引き受けてくださった大阪学院大学および立命館大学の体育会ゴルフ部の皆さまならびに、監督、コーチの皆さまに深く感謝致します。そして、本研究に関する事務処理やスケジュール調整などにおいて多くのお世話をして頂きました秘書の奥村悦子氏、多くのご助言を頂きましたスポーツ健康科学部の教員の皆様、そして実験にご協力頂いた伊坂研究室の皆様に厚くお礼を申し上げます。

付録

研究結果国際学会発表

- Youka Izumoto, Toshiyuki Kurihara, Mutsuko Nozawa, Tadao Isaka. ”Excursion Pattern on Center of pressure and trunk motion during golf swing in collegiate golfer”. World Scientific Congressof Golf V, #144, St. Andrews, UK, July 2016. 【口頭発表・査読有】
- Youka Izumoto, Michio Wachi, Tadashi Suga, Toshiyuki Kurihara, Tadao Isaka. ”Bilateral difference in trunk muscle volume in male collegiate golf players”, The 25th Congress of the International Society of Biomechanics, PO-0327, Glasgow, UK, July 2015. 【ポスター発表・査読有】

研究成果国内学会発表

- 泉本洋香、栗原俊之、伊坂忠夫「ゴルフスイング中の足圧中心移動からみたスイングスタイルは意図的に変更できるか？」、第 24 回日本バイオメカニクス学会大会、P1-8、滋賀県、立命館大学びわこ・くさつキャンパス、2016 年 9 月、【口頭発表・査読有】
- 泉本洋香、栗原俊之、野澤むつこ、伊坂忠夫「熟練ゴルファーにおけるスイング中の足圧中心移動パターン」、スポーツ工学・ヒューマンダイナミクス 2015、E-29、滋賀県、立命館大学びわこ・くさつキャンパス、2015 年 11 月、【口頭発表・査読有】
- 泉本洋香、栗原俊之、伊坂忠夫「大学生ゴルフ選手におけるゴルフスイング中の足圧中心移動パターンとその再現性」、第 70 回日本体力医学会、O-02-1D-05、和歌山県、和歌山県民文化会館・ホテルアパローム紀の国、2015 年 9 月、【口頭発表・査読有】
- 泉本洋香、栗原俊之、菅唯志、和智道生、伊坂忠夫「男子大学生ゴルフ選手における体幹筋体積の左右非対称性の検討」、京都滋賀体育学会第 144 回大会、250-2-06、京都府、立命館大学衣笠キャンパス、2015 年 3 月、【口頭発表・査読無】