

「股関節でとらえる」動作を探る
——ゴルフのダウンスイングにおける左足地面反力の分析——

奥 田 功 夫

東京国際大学論叢 人間科学・複合領域研究 第1号 抜刷
2016年（平成28年）3月20日

「股関節でとらえる」動作を探る

——ゴルフのダウンスイングにおける左足地面反力の分析——

奥 田 功 夫

A study of “Catching Weight Shift through the Hip Joint”: Analysis of the Changes for the Left Foot Ground Reaction Force during the Downswing Phase in Golf Swing

OKUDA, Isao

Abstract

The purpose of this study was to clarify the motion of “catching weight shift through the hip joint” during a golf swing. Six learner golfers (LG) and six skilled golfers (SG) who were claimed by an experienced professional coach to be “catching weight shift through the hip joint” participated in this study. A three dimensional motion analysis system including eight high-speed cameras and two force platforms was used for the data collection. Selected variables were analyzed during the downswing motion to reveal the differences between the two groups. The variables included 1) maximum left foot ground reaction force (LGRF) and timing of its appearance, 2) direction of LGRF vector relative to the hip joint, 3) velocity of LGRF vector dissecting onto the horizontal plane of the pelvis at the left hip joint level.

The results were as follows: 1) The SG showed earlier timing and higher magnitude of developing the maximum LGRF than the LG; 2) Most of the SG showed similar patterns for the LGRF vector dissecting onto the horizontal plane of the pelvis at the hip joint level. In particular, the LGRF vector moved an oval or a linear fashion with its longer axis parallel to the anterior-posterior direction of the pelvis; 3) The velocity of the LGRF vector dissecting onto the horizontal plane of the pelvis at the hip joint level that was faster than 8 cm/sec and slower than 4 cm/sec appeared significantly longer period of time in the late downswing motion in the SG than the LG.

Further investigation is needed to promote a better understanding of the motion of “catching weight shift through the hip joint” by utilizing advanced analytical methods and increasing the number of participants.

Key words: timing, kinematic chain, golf skill

キーワード：タイミング，運動連鎖，ゴルフスキル

目 次

- I. 諸言
- II. 方法
 - 1. 被験者
 - 2. 実験
 - 2.1 試技と測定方法
 - 2.2 スイングの局面分け
 - 2.3 データの算出項目と方法
 - 2.3.1 座標系の定義
 - 2.3.2 地面反力
 - 2.3.3 XYプロット図とその図上での速度変化
 - 2.4 統計処理とデータの表記
- III. 結果
 - 1. ダウンスイング時間と地面反力の最大値
 - 2. XYプロット図とその図上での速度変化
- IV. 考察
- V. まとめ

I. 緒 言

身体動作のコツやその動作のよしあしを表現する言葉として腰にまつわる言語は多く、「腰を入れる」や「腰を切る」などは広く使われている。スポーツ界においても、運動における動作の力強さや速さを表す言葉として、それらの言葉は度々使われることがある。そのようなことから、腰の使い方はスポーツ運動中の身体動作の良し悪しを決定するひとつの要因であると言える。腰は解剖学的には、左右の寛骨と仙骨から形成される骨盤を指すが、骨盤そのものは剛体であり、腰が動くためには骨盤を下方より支えている大腿骨と骨盤との間にある股関節には動きが生じる。股関節は球関節であることから、屈曲・伸展、外転・内転、内旋・外旋と多方向への動きが可能であり、動きの方向性において自由度が高いことが特徴である。しかし、その反面そのような自由度が高いことや球関節であることがゆえに、スポーツ活動においては正確に動作をコントロールすることの難しさが伴うと考えられる。

これまでに、ゴルフスイング運動におけるスイングパフォーマンスの優劣を決定する要素の一つとして、下肢の動作を適切に行うことの重要性が多くの研究により報告されてきた。Bunn (1972) はスイング運動において、地面に近い下肢から運動を始動させること、そしてそこで得られた力を上肢やゴルフクラブに伝達することで、より速いスイングスピードが得られることを“Summation of speed principal theory”によって提唱した。ゴルフではティショット（そのホール

の一番最初に打つショット)で大きな飛距離を得ることは良いスコアを達成するための重要な要素であり、そのときに主に使われる1番ウッド(ドライバー)を使用した時のスイングスピードを高めるための先行研究は多い。下肢による仕事量の総和がゴルフスイングのクラブヘッドスピードを決定する重要な因子であることや(McNally *et al.*, 2014), ボールの飛距離を伸ばすには比較的大きな床反力を得ることが重要であること、そのためのスイングパワーの多くが下肢に由来することなどが明らかにされてきた(Hume *et al.*, 2005)。これらの研究からも、ゴルフスイング動作においては、下肢の動作方法がスイングパフォーマンスの優劣を決定する重要な要因であることがいえる。

そのように、スイング運動においては腰を含めた下肢の動きが重要であるにも関わらず、下肢と上肢をつなぐ股関節の動きや力の伝達に関する運動学および動力学的なデータは少ない。プロゴルファー(全員が右利き)を対象としたゴルフスイング中の下肢の動作特性では、ダウンスイング中の左膝関節の中心と左大転子の飛球方向への変位の大きさと速度はインパクト直前まで右側のそれらを先行していることや、左股関節におけるトルク発揮はダウンスイング前半では屈曲と外転であるが中期以降は伸展と内転へ変化しているとの報告がある(野澤むつこ他, 2009)。同様にプロゴルファーを対象とした研究報告では、スイング動作中の股関節と腰椎がスイングの回旋運動に果たす役割を明らかにしているが、股関節がダウンスイング中に果たす役割はバックスイング中のそれよりも大きいことが明らかにされた(Mun *et al.*, 2015)。

スイング運動中のバランスや体重移動の方法について、これまでの先行研究では、身体運動中のバランスを評価する方法として足圧中心を測定する方法が一般的に用いられてきた。足圧中心のスイング中における移動の速さとクラブヘッドスピードには相関性があることや(Ball and Best, 2007), スイング中の足圧中心と身体重心点の変化では、プロゴルファーとアマチュアゴルファーを比較した場合、プロゴルファーの動的バランスが優れていることが明らかにされている(Choi *et al.*, 2015)。これらの先行研究から、スイング技術の要素として身体重心を動かすタイミングと身体重心の支え方が重要であると考えられる。

ゴルフスイング中の身体重心は、基本的に、アドレス時に身体のほぼ中央にあり、バックスイング動作中に右足方向に移動し(右利きの場合)、そのままトップオブバックスイングをむかえ、ダウンスイング動作の開始に伴って左足方向に移動し、ボールインパクトを迎える。ゴルフスイングは両足を地面に着けたまま行う運動であるために、他のスイングスポーツと比較して大きくはないが、並進運動による重心の移動を運動エネルギーとして活用することによって大きな運動量を得ることができる。これについて宮下らは(1992)「並進運動を前足で止めるときに、体の重心を外れた力が地面から足に働き重心を減速させることで上肢を効率的に回転させている」と述べている。つまり、スイング動作の中で右足から左足へ移動する重心を左足で受け止める技術は、スイング運動の中で非常に重要な要素であるといえる。

スポーツの動作を習得する上で、指導者が運動中の動作感覚を言語で表すことは一般的である。その中のひとつとして、打撃動作においては、「身体の左側に壁を作る」という言葉がある。増田は、「身体の左側に壁を作る動作」を、質量のある道具と身体が同じ方向に動き、そののちに身体だけが動かない壁にぶつかると、運動量保存の法則から身体の運動量は道具へと転化されると説明している(増田正美, 1995)。つまり、スイング運動において身体の回旋運動を急激に止めることによって、道具のヘッドスピードは増すのである。

「身体の左側に壁を作る」と類似する言葉としてゴルフの指導書や雑誌等に度々見られる「股関節でとらえる」という表現もスイング動作における運動のコツを表す言葉の一つとして使われて

いる。これはスイングの指導において、股関節に焦点を当て、その使い方と体重移動の方法を伝えるときに使われる指導言語である。ゴルフスイング運動中の前足の役割として、宮下や増田が指摘するように後ろ足から前足へ重心が移動する並進運動を止める働きがある。そこで本研究では、「股関節でとらえる」という言葉が持つ意味を、股関節を基準として地面反力ベクトルの方向が変化する方向と速度を科学的手法によって分析し明らかにする。「股関節でとらえる」ことができていないゴルファーは、スイング動作のダウンスイング期において左足からの地面反力を効率的に運動エネルギーへと転換できていると考えられることから、地面反力ベクトルの方向が変化する方向と速度には「股関節でとらえる」ことができていないゴルファーと比較して違いがあると考えられる。本研究の仮説として、「股関節でとらえる」ことを習得している上級者では、ダウンスイングの前半では骨盤を素早く回旋運動させるために左足地面反力ベクトル方向の速度変化は早くなると考えた。また、ダウンスイングの後半では左足地面反力ベクトルの方向の速度変化は重心移動を受け止めるために左股関節回りで遅くなると考えた。

Ⅱ. 方 法

1. 被験者

本研究の趣旨である「股関節でとらえる」技術をゴルファーが習得しているかについては、東京国際大学ゴルフ部コーチの判断を参考として実験参加者を2つのグループに分けた。2つのグループは、ゴルフスイングを習得中の男性ゴルフ初級者6名（以下初級者群とする）（年齢20.5歳±1.1歳、身長174.6 cm±2.7 cm、体重64.3 kg±8.7 kg、全員が右利き）と大学ゴルフ部に所属する男性ゴルフ上級者6名（以下上級者群とする）（年齢20.8歳±1.4歳、身長172.6 cm±6.0 cm、体重66.0 kg±8.5 kg、全員が右利き）である。初級者6名は、高校生までに野球やテニス等のスイングスポーツに部活動として参加をした経験がないこと、さらに大学体育実技のゴルフクラスを取得もしくは取得中であることを条件とした。研究の参加者には、研究の目的とその参加に伴うリスクについて十分説明し、同意が得られる場合に研究参加の同意書に署名・捺印した上で実験に参加してもらった。参加者には未成年者が含まれたことから、未成年に対する対応を含め、東京国際大学「学術研究倫理審査」（承認番号：H27-11）の承認を得て実施した。なお、本研究に用いた動作分析の測定手法は全て非接触型の測定であること、また、この測定への参加は強制ではなく一旦引き受けても、途中で辞退できる旨を説明した。なお、全ての参加者の身長、体重は、実験開始時に測定した。

2. 実験

2.1 試技と測定方法

実験は、東京国際大学ゴルフサイエンスラボラトリーを使用した。実験設備のスイングエリアは床にマットが敷かれ、防護ネットで周囲が覆われていることから参加者が安全にスイングできる環境であった。実験で使用したゴルフクラブは、初級者グループは研究者によって準備されたドライバーとし、上級者では本人が普段使用しているドライバーとした。ボールはR&A（全英ゴルフ協会）の規格に合格したものを使用した。服装は、カメラがマーカをしっかりと捉えるために、身体にフィットする運動着を着用することで着衣によってマーカへの撮影を妨げないように配慮した。

実験を始める前には、ウォームアップとしてストレッチ運動と練習スイングの時間を20分設け、

実験参加者の準備が整ってから測定を行った。実験参加者にはゴルフスイングを5試行行わせ、その中で参加者の主観的な観点からスイング動作が最も良かったと思われる1試行を実験データとして選択した。

動作学的データを測定するために、リアルタイムモーションキャプチャシステム Oqus System (Qualisys AB社製) を使用し、8台のハイスピードカメラ (Qualisys AB 社製) によってサンプリング周波数500 Hzでスイングデータを収集した。なお、データの収集を行う前にはキャリブレーションを行い、モーションキャプチャシステムの座標位置の範囲の精度が全て1 mm以下であることを確認してから測定を行った。動作学的データを収集するうえで必要となる反射マーカ―は、直径13 mmの球形反射マーカ―をゴム製の台座に取り付けたものを両面テープで参加者の身体に貼り付けた。マーカ―を貼り付けた身体部位は、解剖学モデルに倣い、以下の20点とした(左第1中足骨骨頭、右第1中足骨骨頭、左第5中足骨骨頭、右第5中足骨骨頭、左踵骨後面、右踵骨後面、左外果、右外果、左内果、右内果、左大腿骨内側上果、右大腿骨内側上果、左大腿骨外側上果、右大腿骨外側上果、左大転子、右大転子、左上前腸骨棘、右上前腸骨棘、左上腕骨外果、左橈骨茎状突起)。反射マーカ―はその他にも、左右の脚の大腿部と下腿部にそれぞれ、クラスターマーカ―セット(4つの反射マーカ―をプラスチック板に貼り付けたもの)をゴムバンドによって巻きつけた(Fig. 1)。取り付け位置は大腿部では大腿骨の大転子と外果の中心点となる大腿部の外側、下腿部では大腿骨外果と踝外果の中心点となる下腿部の外側とした。さらに、ゴルフク



Fig. 1 Reflective marker placement for this study.

ラブのシャフト上で、グリップの最下部からから10 cmの位置と、クラブヘッド最上部からから10 cmの位置、クラブヘッドの上面の中心点にマーカーを取り付けた。本実験ではゴルフクラブのクラブヘッドとボールがスイング中に接触するタイミングを確認する必要があることから、ゴルフボール全体に反射シートを貼り付けてひとつのマーカーとして定義した。実験参加者に取り付けられたマーカーの合計は42個であった。

スイング運動中の力学的データの測定には2台のフォースプラットフォーム（ベルテック社製）を用い、サンプリング周波数2000Hzで右、左それぞれの脚からの地面反力データを収集した。なお、3次元座標と地面反力のデータはモーションキャプチャーシステムに付属するA/Dボードを介してQualisys Track Manager（QTM, Qualisys AB社製）ソフトを用いて同期した。

2.2 スイングの局面分け

本研究ではダウンスイング動作に焦点を当てて解析を行うことが目的であることから、ダウンスイング動作中のデータのみを分析した。ゴルフスイングでは、アドレスの静止位置からバックスイングの始動が行われ、その最終局面であるトップの位置が現れるが、クラブヘッドがバックスイング運動のトップの位置で切り返しをするときの静止位置からクラブヘッドがボールに接触した時点のボールインパクトまでをデータとして使用した。はじめに、記録された画像データをもとに統合分析ソフトSMARTAnalyzer（BTS社製）を用いて、ダウンスイング運動中のデータを取り出した。次に、それぞれの実験参加者がダウンスイングに要した時間について算出した。さらに、ダウンスイング動作に要した時間がそれぞれの参加者で異なることから、ダウンスイングに要した時間を100%としてデータを規格化し統計処理を行った。

2.3 データの算出項目と方法

2.3.1 座標系の定義

運動学的なデータは、モーションキャプチャーシステムで得られた画像データからQTMを用いて42箇所の反射マーカーに対する座標データの定義付けをおこなった。その後DLT（Direct linear transformation: 直接線形変換）法を用い、3次元座標データを算出した。QTMによって得られたデータはc3dファイルに置き換えられ、SMARTAnalyzerを用いて左足地面反力と左股関節との関係について分析を行った。動作分析をする際のセットアップにおいて、参加者の身体の前方向をX軸（前がプラス、後ろがマイナス）、打撃方向をY軸（打撃方向をプラス、打撃と反対方向をマイナス）、鉛直方向をZ軸（上方向をプラス、下方向をマイナス）するグローバル座標系を設定した。

測定された3次元座標値をもとに骨盤座標系を構築し、さらにその骨盤座標系をもとに以下のDavisプロトコルを用いて股関節の仮想マーカーを構築した（Vaughan *et al.*, 1999）（Fig. 2）。

$$P_{\text{Hip}} = P_{\text{Sacrum}} + (0.598)(\text{ASIS Breadth})U_{\text{Pelvis}} + / - (0.344)((\text{ASIS Breadth})V_{\text{Pelvis}} - (0.290)((\text{ASIS Breadth})W_{\text{Pelvis}})$$

Davisプロトコルにおける仙骨（Sacrum）マーカーを作成するために、本研究では左上後腸骨棘及び右上後腸骨棘を用いて、その中点を仙骨マーカーとした。さらに、骨盤座標系の水平面と平行かつ左股関節仮想マーカーの中心点と交差する面（以下、股関節XY面（XY plane at the hip joint）とする）をSMARTAnalyzer上で構築した（Fig 3）。SMARTAnalyzerにはフォースプラットフォームからの地面反力ベクトル上で任意に指定した距離に点を作成する機能を有していること

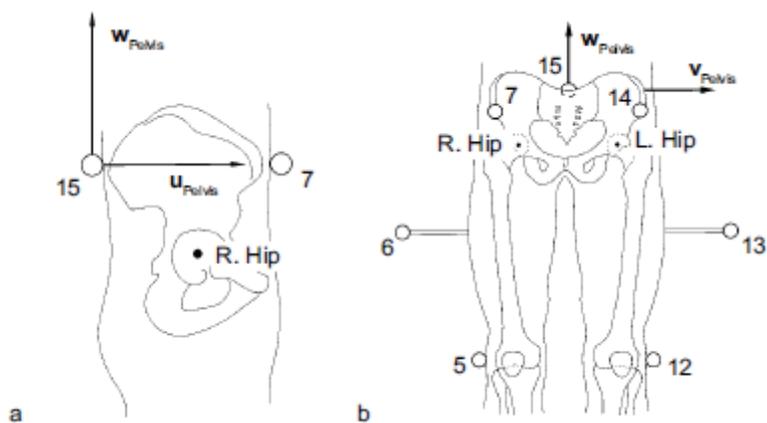


Fig. 2 The three makers (7: RASIS, 14: LASIS, 15: Sacrum) which define the position of the pelvis in 3-D space: (a) lateral view, (b) anterior view. The uvw reference system may be used to predict the position of the right and left hip. (Reproduced from Vaughan *et al.* 1999)

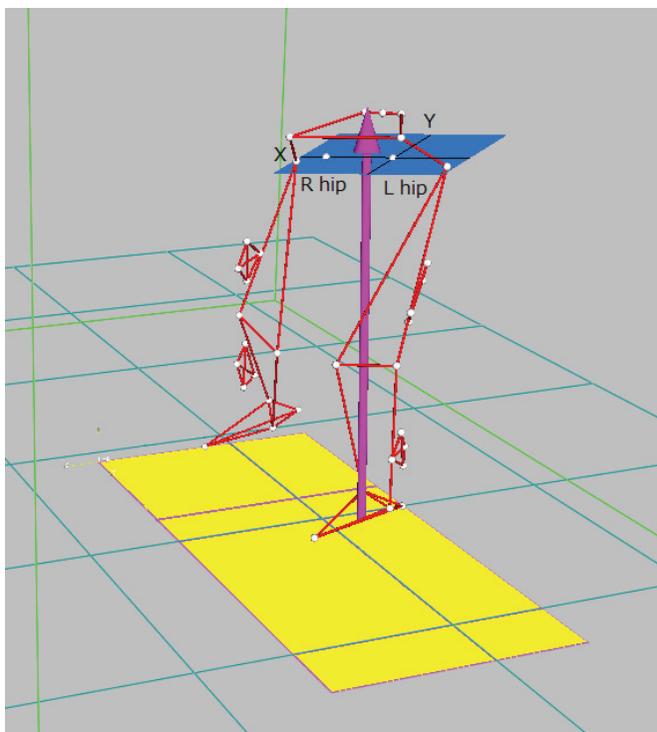


Fig. 3 Schematic representation of the XY plane at the hip joint (L hip: Virtual left hip joint, R hip: Virtual right hip joint)

から、まずフォースプラットフォームの足圧中心（点P0）から地面反力ベクトルの向きに2 mの距離の位置に点を作成した（点P1）。その後、点P0と点P1を骨盤座標系のXY面に投射し、点P0と点P1の座標を絶対座標系から骨盤座標系に座標変換を行った。骨盤座標系に於ける点P0および点P1のX座標とY座標は、それぞれZ座標を独立変数とした1次方程式で表せることから、点P0-1と点P1-1を通る直線の骨盤座標系に於ける傾きと切片を求めた。さらに、上記の1次方程式の独立変数（Z座標）に、Davis プロトコルから $[-(0.290) \times (\text{左右のASIS間の距離})]$ 切片を求めて代入し、股関節面上のXおよびY座標を算出した。データ処理の際には構築された股関節仮想マーカーの中心点を股関節中心として定義した。

2.3.2 地面反力

実験参加者には左右の足をそれぞれに対応したフォースプラットフォームの上でスイング動作を行わせ地面反力の測定をした。地面反力の大きさは測定値を体重で規格化した値とした。左足からの地面反力の値が最大を示した時を左足地面反力最大値とした。

2.3.3 XYプロット図とその図上での速度変化

ダウンスイング動作中における左足地面反力の方向の変化を分析するために、左足地面反力ベクトルが股関節XY面と交差する点の時系列変化を求めた。左足地面反力ベクトルが股関節XY面と交差する点を算出するように、SMARTAnalyzerを用いてプログラムを作成した。SMARTAnalyzerでは算出されたデータは、左股関節中心を原点として身体の左右方向をX軸（股関節から左方向つまり体の外側がマイナス、右方向つまり体の中心がプラス）、前後方向をY軸（前方向がプラス、後ろ方向がマイナス）とする座標上にスイングの時系列に従ってプロットした（以下、プロットした点をXYプロット点、プロットした図をXYプロット図とする）。骨盤座標系の基準となる骨盤は、ダウンスイング運動中には、前後、左右、及び上下方向へ動いていることから、この股関節XY面も骨盤の動きに同調して動いているが、本研究では左足地面反力の向きと股関節XY面との相対的な位置関係を分析した。それぞれの実験参加者において股関節XY面にプロットをした点は、ダウンスイングに要した時間を規格化したことから0から100の101点となった。

次に、ダウンスイング動作中における左足地面反力の方向の速度を分析するために、上述の101点を用いてダウンスイングを時間上で100の等分された区間に分けた。XYプロット図上の各点が次の点まで移動した距離（cm）をその移動に費やした時間（ダウンスイング時間の100分の1秒）で割ることによって、それぞれの区間の速度を求めた。それぞれの実験参加者における最大速度と最小速度、速度が毎秒8 cm以上になった区間の数と毎秒4 cm以下になった区間の数についてダウンスイングの前半（0～50%）と後半（51～100%）に分けて両群の間で比較した。

2.4 統計処理とデータの表記

初級者群と上級者群での違いを明らかにするために、測定されたデータはそれぞれの群で平均値を求めt検定法を行った。なお、統計学的有意水準は5%以下とし、統計処理には、IBM SPSS Statistics Version 23を用いた。

Ⅲ. 結 果

1. ダウンスイング時間と地面反力の最大値

ダウンスイングに要した時間や最大地面反力の大きさとそれが現れるタイミングには両群間に有意な差が見られた（Table 1）。上級者群ではダウンスイングに要した時間が平均0.28秒であっ

Table 1 Downswing time and Maximum LGRF. (LGRF: Left Foot Ground Reaction Force)

	Learner (n=6)	Skilled(n=6)	P	SD
Downswing Time (sec)	0.47±0.05	0.28±0.03	0.001	*
Downswing Percent Time at Maximum LGRF (%)	89.7±0.09	68.9±0.06	0.001	*
Maximum LGRF by Body Weight (BW)	1.05±0.20	1.37±0.19	0.018	*

* P < 0.05

たのに対して、初級者群では平均0.48秒であった。また、ダウンスイングを開始して地面反力が最大値に達するタイミングでは、上級者群ではダウンスイング動作中の平均68.9%で現れるが、初級者群ではそのタイミングが遅れ89.7%で現れた。さらに、地面反力の最大値も、上級者群では体重比で平均1.37倍の力が発揮されているが、初級者群においては体重比1.05倍であった。

2. XYプロット図とその図上での速度変化

左足地面反力ベクトルが股関節XY面と交差する面の上で交わった点について、その時系列的変化をダウンスイング開始（図中：Top）からボールインパクト（図中：Im）までの時間を百分分してデータをプロットし、XYプロット図を作成した。XYプロット図の例を上級者群および初級者群から1例ずつ示す（Fig. 4, Fig. 5）。

実験参加者全員のプロット図を作成し両群の間で比較すると、それぞれの群にはいくつかの特徴があることが確認された。Fig. 4に上級者の1例を示す。ここでは、地面反力ベクトルの向きは股関節を基点として、ダウンスイング開始から、骨盤の後方（Y-）及びやや左外側方向（X-）に向かう。その後は急激なカーブを描いてY軸上で正負の成分が反転し、骨盤の前方（Y+）及び中心（X+）に向かう。さらにそのまま移動を続けて左股関節の中心点をかすめ、最後にボールインパクトを迎える。上級者群では、ベクトルの方向が変化するパターンは類似しており、Y軸方向に長くX軸方向に短い楕円形、もしくはY軸方向に長い直線的な図形となる。Y軸上で正負が転じる際のカーブの大きさやその方向が変わるタイミング等に違いはあるが、上級者群6名の中でFig. 3と同様のパターンを示したものは5名であった。

一方、初級者群のXYプロット図では6名に共通するパターンは見受けられなかった。Fig. 5に初級者のXYプロット図の1例を示す。地面反力ベクトルの向きはダウンスイング開始から上級者群と同様に骨盤の後方に向かうが（Y-）、上級者とは反対に（X+）中心に向かって移動する。その後は急激にカーブを描いてY軸での正負の成分が反転し、骨盤の前方（Y+）及び左外側方向（X-）に向かう。その後はX軸で骨盤の中心（X+）に向かい、そのまま進行を続けて股関節の中心点をかすめ、最後にボールインパクトを迎える。初級者群においても上級者群のXYプロット図例（Fig. 4）と同様のパターンを示す者が1名いたが、左足地面反力ベクトルが最大値に達するタイミングはダウンスイング中の103%、つまりボールインパクト後であった。

Fig. 6に、ダウンスイングの0%から100%におけるXYプロット図の速度の時系列的な変化を示した。上級者群では、すべての実験参加者がダウンスイング前半で8 cm/sec以上に達し、その後に速度は低下する傾向を示した。また、ダウンスイングの後半では再びその移動速度は8 cm/sec以上に達し70%～90%付近で速度が減じている。一方、初級者群においては、ダウンスイング前半で8 cm/sec以上に達するものは1例だけであった。また、ダウンスイングの後半では8 cm/sec以上に達したあと速度は減じているが、そのタイミングは上級者群と異なり85%付近であった。全般的に速度の変化を観察しても、ダウンスイング後半での速度の変化はあまり見られず、上級者群の多くが示したような二峰性を示す者は1例のみであった。

XYプロット図上での速度に関する統計学的データをTable 2に示す。その最大速度および最小速度には両群の間には統計学的には有意な差が見られなかった。しかし、ダウンスイングの前半に、その速度が連続的に8 cm/sec以上になった区間の数は上級者群においては平均で16.5区間であったのに対して、初級者群では0.5区間であり、統計学的に有意な差を示した ($p = 0.005$)。ま

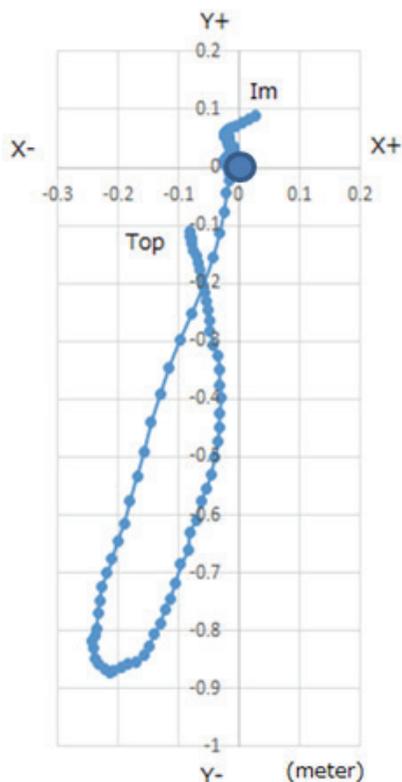


Fig. 4 An example of LGRF vector dissecting onto the horizontal plane of the pelvis at the hip joint level in a skilled golfer. (Top: Top of the back swing, Im: Ball impact, ●: Hip joint)

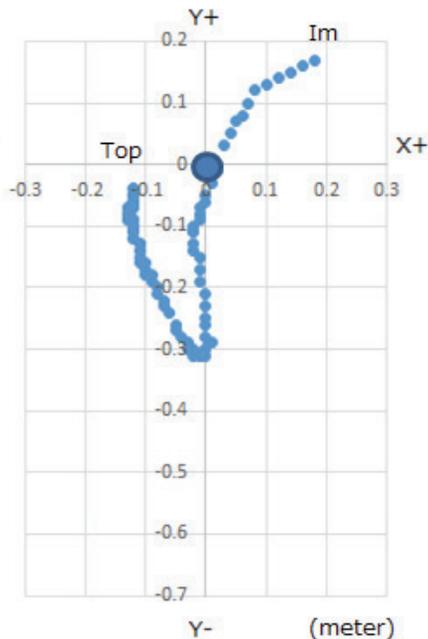


Fig. 5 An example of LGRF vector dissecting onto the horizontal plane of the pelvis at the hip joint level in a leaner golfer. (Top: Top of the back swing, Im: Ball impact, ●: Hip joint)

Table 2 Variables of the velocity on the XY plot diagram.

	Learner (n=6)	Skilled (n=6)	P	SD
Maximum Velocity on XY Plot (cm/s)	9.21±3.89	15.41±6.1	0.062	
Minimum Velocity on XY Plot (cm/s)	1.73±0.89	1.09±1.27	0.338	
Number of XY Plot Velocity Higher Than 8cm/sec before 50%	0.50±1.22	16.50±8.14	0.005	*
Number of XY Plot Velocity Higher Than 8cm/sec after 50%	4.33±5.39	13.16±4.91	0.014	*
Number of XY Plot Velocity Lower Than 4cm/sec after 50%	6.66±7.09	20.16±10.81	0.029	*

* P< 0.05

た、ダウンスイングの後半に、その速度が連続的に8 cm/sec以上になった区間の数は上級者群においては平均で13.2区間であったのに対して、初級者群では4.3区間であり、統計学的に有意な差を示した ($p = 0.014$)。さらに、ダウンスイングの50%以降の時間帯において、その速度が連続的に4 cm/sec以下になった区間の数は上級者群においては20.2区間であったのに対して、初級者群では6.7区間であり統計学的に有意な差を示した ($p = 0.029$)。

IV. 考 察

はじめに、ダウンスイングの時間と左足地面反力ベクトルの最大値、及びそれが現れるタイミングにおいては、先行研究同様に上級者と初級者の間には違いがあるという結果を得た。スイングの技術と最大地面反力が現れるタイミングには関連性があること (Okuda *et al.*, 2010, Queen *et al.*, 2013) や、スイング中の足圧中心の移動の速さとクラブヘッドスピードには相関性があること (Ball and Best, 2007) が報告されているが、本研究結果からも左足地面反力の最大値と、それがダウンスイング動作の中で現れるタイミングがスイング動作における重要な一因であることが確認された。

次に、股関節XY面上において左足地面反力の方向が変化するパターンにおいて、上級者群の5名には一定の特徴があることが明らかにされた。地面反力ベクトルの方向は、上級者群ではダウンスイングを開始したあと、左足地面反力の方向は股関節XY面上で骨盤後方に大きく移動しながら骨盤の左外側に楕円を描くようにカーブをして骨盤前方へ向きを変えて股関節中心に向かう。上級者の1名については方向が変化するとき、楕円形ではなく直線的であったが、ダウンスイングの中期あたりでY軸の上で正負の成分が逆転をしていた。野沢らによると、プロゴルファーの左股関節におけるトルク発揮はダウンスイング前半では屈曲と外転であるが中期以降は伸展と内転へ変化していると報告されている (野澤むつこほか, 2009)。また、Lynn (2012) らはダウンスイング動作における地面反力のせん断力の前後および左右成分がゴルフのレベルによって違いがあることを指摘しており、上級者ではダウンスイングの前半にせん断力は身体の後方および左外側に向かいそののちに身体の内側に向かうと報告している。本研究の結果はこれらの報告と一致しており、ダウンスイングの前半と後半では左足地面反力は左股関節に対して骨盤の前後方向において正反対の力を与えていることが理解できる。これらのことからダウンスイング動作中の左足には、ダウンスイングの前半と後半では異なる役割があることが推察できる。

XYプロット図の速度の変化からは、上級者群では8 cm/sec以上の速度を連続的に記録した区間の数はダウンスイングの前半と後半ともに、また4 cm/sec以下の速度を連続的に記録した区間の数も後半においてその数が有意に多いことが明らかとなった。これは上級者群においては、ダウンスイング運動中に早く動く時期とゆっくり動く時期をコントロールしている結果であると考えられる。上級者では初級者と比較してダウンスイングの時間が短く、重心移動のタイミングも早く行われており (Queen *et al.*, 2013, Hume *et al.*, 2005), より短い時間の中でダウンスイング動作における並進運動や身体の回旋運動を行っていることが推測できる。本研究結果からも、上級者群ではダウンスイングの前半において地面反力の向きの変化は早く連続し、後半にゆっくりと連続しているという特徴を示した。一方、初級者群においてはダウンスイングの前半に速度が毎秒8 cm以上になる区間の数は少なかった (6名中5名は0区間)。

ダウンスイング後半に見られるXYプロット図上での速度の減少は、すべての実験参加者の結果に見られる特徴であった。しかし、上級者群においてはXYプロット図の速度が毎秒4 cm以下に

なった区間が有意に多いことや、Fig. 6にあるようにそれが主に70～90%の区間に見られた。一方、初級者群においてはXYプロット図の速度が毎秒4 cm以下になった区間が有意に少ないことや、Fig. 7にあるようにそれが主に85%の区間に見られた。これらのことから、ダウンスイング後半に地面反力ベクトルの向きの変化を安定させる時間の長さやタイミングにおいて違いがある

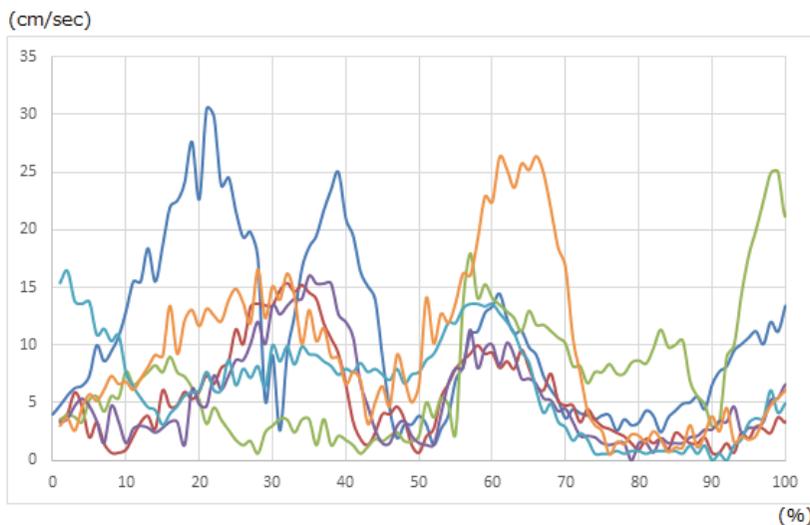


Fig. 6 Changes for the velocity of LGRF on the horizontal plane of the pelvis at the hip joint level in the skilled group.

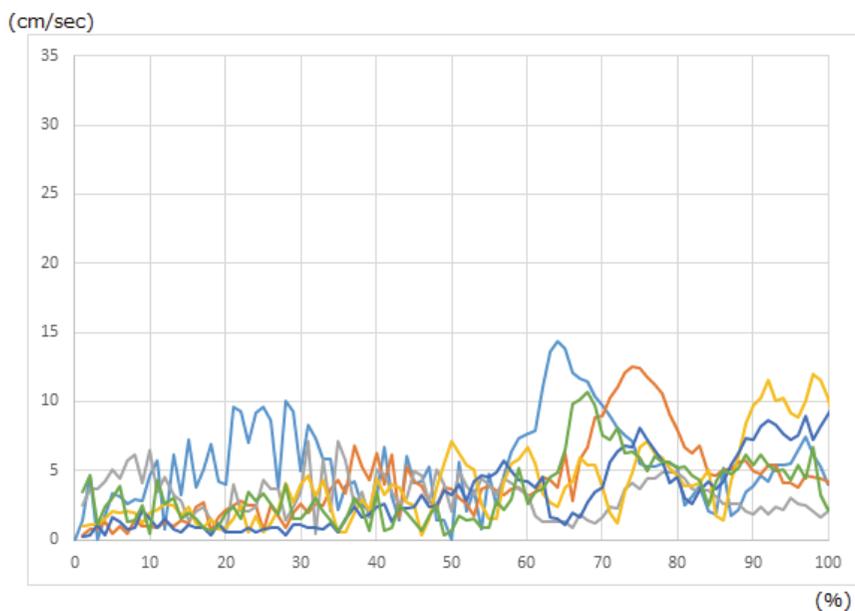


Fig. 7 Changes for the velocity of LGRF on the horizontal plane of the pelvis at the hip joint level in the learner group.

ことが明らかとなった。

ゴルフのダウンスイング動作中の左足には並進運動を止めることでスイング運動の運動効率を上げる役割があるが、骨盤とその上部に位置する上半身をスイング方向に回旋する動きにも左足の役割が大きく関与していると考えられる。ダウンスイングをはじめた直後に上級者は骨盤をスイング方向に回旋させるが、その時に股関節は屈曲位から伸展方向に動き、足関節の底屈と膝関節の伸展を伴いながら足部で地面を前方（つま先方向）に力を与える。それは、上級者群においてダウンスイング前半でのXYプロット図の速度が連続的に毎秒8 cmなる区間の長さに表示されていたと考えられる。さらに、ダウンスイング後半ではそのように骨盤の後方に向けられた力を短時間の間に股関節近辺に戻して並進運動による運動エネルギーを受け止めていたと考える。つまり、上級者において地面反力の方向はダウンスイングの前半で骨盤の後方に大きく離れるが（Fig. 4の例では90 cmほど）、その位置では並進運動による運動エネルギーを受け止めることはできず、股関節付近の力を受け止められる位置に戻さなければならない。これらの動きがXYプロット図上のダウンスイング後半における、早い速度の区間と遅い速度の区間の数の差に表れていたと考える。

「股関節でとらえる」動作を探求した本研究の結果は、その感覚的な言語を科学的に説明した証明のひとつではないかと考えられる。本研究では、モーションキャプチャーシステムを用いてゴルファーの股関節の高さに水平面を構築し、地面反力のベクトルがその面と交差する点からプロット図を作成するという新たな研究方法を用いた。これにより、ゴルファーが左足を使って力を向けた方向とその時間やスピードの変化、力の方向と左股関節の位置関係が明らかにされたことは「股関節でとらえる」という動作を理解する上で重要な記録であると考えられる。今後の研究課題として、本研究で用いたXYプロット図の速度の変化に加え、地面反力の大きさが股関節からの距離においてどのように変化するかについても、ダウンスイングの時間系列の中で分析をすることが必要であると考えられる。また、本研究では若年層の男性ゴルファーを被験者として用いたが、その年代のゴルファーと比較してスイングスピードに劣る他の年齢層や女性においても本研究と同様の結果が得られるかは未知であり、引き続き検証することが望まれる。

V. まとめ

本研究においては「股関節でとらえる」動作を獲得しているゴルファー6名とそうでないゴルファー6名の動作分析を行った。その結果「股関節でとらえる」動作を獲得しているゴルファーには以下の3つの大きな特徴が明らかにされた。

- 1) ダウンスイング動作の中期から後期（63%～78%）にかけて左足からの地面反力が最大値を示し、体重比では1.1～1.5倍であった。
- 2) 左足からの地面反力ベクトルの向きの変化は特徴的であり、左股関節中心を基点として記録したプロット図上で、骨盤の前後方向と平行する楕円形または直線的な線を描く。
- 3) 左足地面反力ベクトルの方向が変化する速度は、ダウンスイングの前半では連続的に8 cm/sec以上になった区間の数が、また後半では連続的に8 cm/sec以上になった区間の数および連続的に4 cm/sec以下になった区間の数が有意的に多い。

謝 辞

本研究は、学校法人東京国際大学からの特別研究助成費を受けたものである。また、本研究のデータは、東洋大学理工学部准教授一川大輔氏の協力のもと収集された。東京国際大学ゴルフ部

監督の湯原信光氏及びゴルフ部コーチの淵脇常弘氏には、実験対象者の選定ならびにゴルフ技術論について多くの助言を頂きました。ここに記して感謝の意を申し上げます。

参考文献

- Ball, K.A. and Best R.J. (2007) Different centre of pressure patterns within the golf stroke II: group-based analysis. *J Sports Sci.* 25(7): 771-779.
- Bunn, J.W. (1972) *Scientific Principles of Coaching*, Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Choi, A., Sim, T., and Mun J.H. (2015) Improved determination of dynamic balance using the centre of mass and centre of pressure inclination variables in a complete golf swing cycle. *J Sports Sci.* Aug 12:1-9.
- Hume, P.A., Keogh J., and Reid D. (2005) The role of biomechanics in maximising distance and accuracy of golf shots. *Sports Med.* 35(5): 429-449.
- Lynn, S.K., Noffal, G.J., Wu, W. F.W., Vandervoort, A. (2012) Using principal components analysis to determined differences in 3D loading patterns between beginner and collegiate level golfers. *Int. J. of Golf Sci.* Aug (1): 25-41.
- 増田正美 (1995) ゴルフの物理, 裳華房, pp. 160-184.
- McNally, M.P., Yontz, N., and Chaudhari, A.M. (2014) Lower extremity work is associated with club head velocity during the golf swing in experienced golfers. *Int J Sports Med.* 35(9): 785-788.
- 宮下充正・平野祐一 (1992) 打つ科学, 大修館書店, pp. 27-32
- Mun, F., Suh, S.W., Park H.J., and Cho, A. (2015) Kinematic relationship between rotation of lumbar spine and hip joints during golf swing in professional golfers. *BioMed Eng Online.* 14: 41.
- Myers, J., Lephart, S., Tsai, Y.S., Sell, T., Smoliga, J., and Jolly, J. (2008) The role of upper torso and pelvis rotation in driving performance during the golf swing. *J Sports Sci.* Jan 15;26(2):181-188.
- 野澤むつこ・吉田康行・丸山剛生・須田和裕 (2009) ゴルフスイングにおける下肢の動作特性, 日本機学会学術シンポジウム講演論文集, 23-27.
- Okuda, I., Grrible, P., and Armstrong, C. (2010) Trunk rotation and weight transfer patterns between skilled and low skilled golfers. *J Sports Sci Med.* 2010 Mar 1;9(1):127-133.
- Queen, R.M., Butler R.J., Dai, B., and Barnes, C.L. (2013) Difference in peak weight transfer and timing based on golf handicap. *J Strength Cond Res.* Sep;27(9): 2481-2486.
- 田中秀道 (1997) 田中秀道の強烈股関節打法—小さな飛ばし屋の秘密がここにある, 学研, pp. 1-58.
- Tinmark, F., Hellström, J., Halvorsen, K., and Thorstensson, A. (2010) Elite golfers' kinematic sequence in full-swing and partial-swing shots. *Sports Biomech.* Nov;9(4):236-244.
- Vaughan, C.L., Davis, B.L., and O'Connor, J.C. (1999) *Dynamic of human gait (second edition)*. Human Kinetics, pp. 29.