

原著論文

ゴルフスイング時のクラブヘッド速度と法線方向への
グリップ速度との関係について
Relationship between club head velocity and normal direction
grip velocity during golf swing

田邊 智¹⁾
Satoru Tanabe¹⁾

Abstract

The present study examined whether a golf player increased the club head velocity by pulling the club grip inward (normal direction) during the actual golf swing. The subjects were 18 male university golf players. These subjects were instructed to drive the ball as normal, during which time the three-dimensional coordinates of reflective markers attached to the subjects and their clubs were recorded by a motion capture system (250 Hz). The findings of this study are summarized as follows.

- 1) Golf players developed normal acceleration from the start of the downswing and at the same time increased normal power by pulling the grip to the normal direction, thus causing the club head to accelerate.
- 2) Golf players with higher club head velocities pulled the grip to the normal direction more vigorously from the start of downswing.
- 3) Golf players with higher club head velocities increased the normal acceleration by reducing the radius of curvature from the middle of downswing.
- 4) Golf players with higher club head velocities accelerated the club head by increasing the radius of curvature prior to ball impact.

キーワード 法線加速度, 法線パワー, パラメトリック加速
normal acceleration, normal power, and parametric acceleration

1. 緒言

ゴルフとはクラブでボールを打ち、いかに少ない打数でボールをカップに入れるかを競うスポーツである。そのため、ゴルフにおいてショットの飛距離を高めることは、高スコアを出すために重要な要素の1つと言える。

そのことから、多くのゴルフ選手や指導者たちはいつもクラブのヘッド速度を高める方法を探求している。

これまでゴルフのスイング動作のモデリングとして、二重振子モデルが一般的に用いられてきた(Williams, 1969)。しかし、Nesbit

¹⁾ 大阪産業大学

Osaka Sangyo University

(2005, p.499) や Nesbit and McGinnis (2009, p.235) は、ゴルフのスイング動作は非常に複雑なため、この二重振子モデルではゴルフのスイング動作を十分にモデル化することができないと言及している。Miura (2001) は、プロゴルフ選手がインパクトへ近づくとつれてグリップを上方へ引き付けていることをヒントに、ダブルリンクモデルにグリップを内側(法線方向に相当する)へ引き上げる要素を付け加えたダブルリンク+1アクチュエータモデルを考案し、ゴルフのスイング動作をシミュレーションした。その結果、インパクト直前にグリップを法線方向へ引くと、シャフトの回転加速度が上昇し、クラブヘッドが加速する「パラメトリック加速」が起きると報告している(Miura, 2001, p.81)。なお、ここで言う「パラメトリック加速」とは、パラメトリック励振による加速のことで、振子運動時に振子の支点をタイミングよく持ち上げると、振幅が大きくなる現象を指している。川上ほか(2006, p.28)はプロゴルフ選手を対象にスイング動作中の重心の動きと筋活動を調べ、プロゴルフ選手がインパクト直前に脚の伸展動作を使って重心を法線方向へ引き上げることで、パラメトリック加速を生み出していた可能性を示している。しかしながら、これまで実際のゴルフスイング動作を対象に、グリップを法線方向へ引くことでクラブヘッドが加速するかどうか詳しく調べた研究はない。

そこで本研究では、実際のゴルフスイングにおいても、Miura (2001) が行ったシミュレーションの結果と同様に、ゴルフ選手がグリップを法線方向へ引いてクラブヘッド速度を高めているのかを明らかにしようとした。

2. 方法

2.1 被験者

被験者は大学ゴルフ部に所属する男子18名であった(身長: 1.72 ± 0.05 m, 体重: 69.8 ± 11.5 kg, 年齢: 20.0 ± 1.2 歳, 競技歴: 6.1 ± 2.6 年)。被験者にはあらかじめ本研究の目的と内容を十分に説明し、協力の同意を得て

から実験を行った。

2.2 実験方法

被験者には実験の前に十分なウォーミングアップをさせた後、普段おりのドライバーショットを5本打つよう指示した。被験者の身体各部位に26個、ゴルフクラブに4個の反射マーカーを貼付し、スイング動作中のマーカーの3次元座標を、16台の赤外線カメラを用いた3次元リアルタイムモーション計測システム(VENUS3D, Nobby Tech社製)を使って250 Hzで計測した。本研究では、5本のドライバーショットの中からボールインパクト時の合成クラブヘッド速度が最も大きかった試技を分析の対象とした。なお、本研究では地面に水平で飛球方向をX軸の正、鉛直上方をZ軸の正とし、Z軸とX軸との外積によって得られた方向をY軸の正として、これらX, Y, Z軸からなる座標系を静止座標系と定義した。

2.3 データの平滑

3次元リアルタイムモーション計測システムによって得られた反射マーカーの3次元座標から残差分析法(Yu et al., 1999, pp.320-324)を用いて、各部位の3軸方向の最適遮断周波数を求め、4次のButterworth low-pass Digital Filterを使用して3次元座標を平滑した。

2.4 測定項目

2.4.1 クラブヘッドの法線加速度、グリップの法線速度、クラブヘッドの法線パワーの算出

本研究では、まずクラブヘッドの3次元座標を時間微分することで、静止座標系上のクラブヘッド速度および加速度を計算した。次に、 $i-1$ フレーム目と $i+1$ フレーム目のクラブヘッドの合成速度ベクトルとを外積することで、2つのベクトルで作られる面に垂直なベクトルを求めた。そして、そのベクトルと i フレーム目のクラブヘッドの合成速度ベクトルとを外積することで得られるベクトルの方向を、 i フレーム目の法線方向と定義した。本

研究では、座標変換行列（和達，1983，pp.49-54）を用いて、各フレームの静止座標系上のクラブヘッド加速度を座標変換し、法線方向の加速度を算出した。また、左手中手骨末端部に貼付したマーカーの静止座標系上の速度を、同じく座標変換行列を用いて座標変換し、その時の法線方向への成分をグリップの法線速度とした。そして、先行研究（Miura, 2001, p.80）を参考に、クラブヘッドの法線加速度とグリップの法線速度の積をクラブヘッドの法線パワーと定義した。

2.4.2 クラブヘッドの曲率半径，曲率半径の伸縮速度，回転中心点の算出

本研究では、求心力を算出する式1を改変した式2からクラブヘッドの曲率半径を求めた（坂東ほか，2006，p.507）。

$$F = ma = \frac{mv^2}{r} \quad \text{式1}$$

$$r = \frac{v^2}{a} \quad \text{式2}$$

なお、ここで F は求心力（法線方向の力に相当する）、 m はクラブヘッドの質量、 a はクラブヘッドの法線方向の加速度、 v はクラブヘッドの接線方向の速度（合成速度）、そして r はクラブヘッドの曲率半径を表している。また、この曲率半径を時間微分することで、曲率半径の伸縮速度を算出した。そして、クラブヘッドから法線方向へ曲率半径の長さに位置する点を回転中心点として求めた。

2.5 分析区間と標準動作の算出

本研究では、被験者によってバックスイングの大きさが異なったため、ダウンスイング開始後、クラブのシャフトがXZ平面上で水平となった瞬間をダウンスイング開始とし、ダウンスイング開始からボールインパクトまでをスイング動作の分析区間とした。そして、その区間の時間を100%となるように、3次のスプライン関数を用いた内挿補間によって規格

化した。また、Ae et. al. (2007, p.7) の方法を参考に、規格化した3次元座標値から、インパクト時の合成クラブヘッド速度（以下、単純に「クラブヘッド速度」と略す）が大きかった上位6名（身長：1.74 ± 0.05 m，体重：78.8 ± 13.8 kg，年齢：19.3 ± 1.0 歳，競技歴：5.2 ± 2.6 年，以下「高速群」と略す）と下位6名（身長：1.72 ± 0.05 m，体重：63.8 ± 8.2 kg，年齢：20.2 ± 1.0 歳，競技歴：6.0 ± 3.1 年，以下「低速群」と略す）の両大転子中点に対する相対座標を算出し、それを被験者の身長で除したものをそれぞれ平均化することで、高速群および低速群の標準動作を求めた。さらに、回転中心点についても同様の手法を用いて、高速群および低速群の平均値を計算し、標準化した。

2.6 統計処理

本研究では、インパクト時にクラブヘッド速度の大きかった被験者がどのような動作をしていたのかを調べるために、各被験者のボールインパクト時のクラブヘッド速度と、ダウンスイング開始からボールインパクト時までのクラブヘッド速度、クラブヘッドの法線加速度、グリップの法線速度、クラブヘッドの法線パワー、曲率半径、そして曲率半径の伸縮速度との関係を、規格化時間の1%ごとにPearsonの積率相関係数を算出することで求めた。また、ボールインパクト時のクラブヘッド速度と、クラブヘッドの法線加速度、グリップの法線速度、クラブヘッドの法線パワー、そして曲率半径の伸縮速度の最大値出現時刻(%)との関係についても、Pearsonの積率相関係数を用いて調べた。なお、本研究では統計的有意水準を5%と定義した。

3. 結果

3.1 ボールインパクト時のクラブヘッド速度について

Fig. 1は高速群および低速群のダウンスイング開始からボールインパクト時までのクラブヘッド速度の変化曲線を示している。図の

横軸は規格化された時間を、実線は高速群を、破線は低速群を、そしてスティックピクチャーは高速群の標準動作を表している。また、インパクト時のクラブヘッド速度との間に有意な相関関係が認められた場合には、記号（正の相関：△）を示した。なお、視認性を考慮して標準偏差の表記は省略した。

高速群および低速群ともにダウンスイング開始後、ボールインパクトへ向けてクラブヘッド速度は増大し、インパクト時にピーク値を迎えた。本研究の被験者全員のボールインパクト時のクラブヘッド速度の平均値は 46.0 ± 3.0 m/s で、速度の範囲は 41.9 – 52.0 m/s であった。また、高速群のクラブヘッド速度の平均値は 49.4 ± 1.9 m/s、速度の範囲は 47.1 – 52.0 m/s で、低速群のクラブヘッド速度の平均値は 43.0 ± 1.0 m/s、速度の範囲は 41.9 – 44.2 m/s であった。また、インパクト時のクラブヘッド速度との相関関係を調べた結果、ダウンスイング開始からボールインパクト直前までのクラブ

Resultant velocity of the club head (m/s)

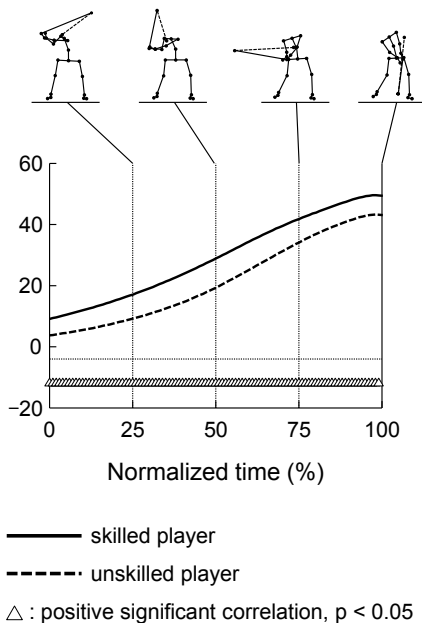


Fig.1 Changes in mean resultant velocity of the club head from the start of down-swing to ball impact for the skilled and unskilled players.

ヘッド速度との間に有意な正の相関関係が見られた。

3.2 回転中心点について

Fig. 2 にダウンスイング開始からボールインパクト時までの高速群および低速群の標準動作を 10 % ごとに示した。図の上段は XZ 平面上（以下、飛球方向を「前方」と定義し、「側方から見た」と略す）の標準動作を、下段は YZ 平面上（以下「前方から見た」と略す）の標準動作を示しており、図の左側は高速群、真ん中は低速群を表している。また、図の右側に高速群と低速群の回転中心点の軌跡をインパクト時のクラブヘッドの位置で重ね合わせて表示したが、回転中心点の軌跡はより細かい動きを示すために 5 % ごとに表してある。図の白色の丸は高速群の回転中心点を、灰色の丸は低速群の回転中心点を示し、黒色の丸はクラブヘッドを表している。そして、黒色の実線は回転中心点の軌跡を、黒色の破線はクラブヘッドと回転中心点を結んだ曲率半径を示している。なお、視認性を考慮して、上半身の動きは左上肢および左手とクラブヘッドを結んだ線分だけを、下肢についてはインパクト時のものだけを薄い灰色色で表示した。

側方から見た回転中心点の軌跡は、高速群の方が低速群に比べ 10% 付近から丸みを帯びており、より左側を通る傾向が見られた。また、高速群および低速群ともに、80% 付近からインパクト（100%）にかけて回転中心点が右上方へ移動する様子が確認された。前方から見た軌跡は 20% 付近から 80% 付近にかけて高速群の方が低速群に比べ縦（垂直）に近く、より左側を通る傾向が見られた。また、高速群および低速群ともに 80% 付近からインパクトへかけて回転中心点が右上方へ移動する様子が観察された。

3.3 クラブヘッドの法線加速度，グリップの法線速度，クラブヘッドの法線パワーについて

Fig. 3 から Fig. 5 は高速群および低速群のダ

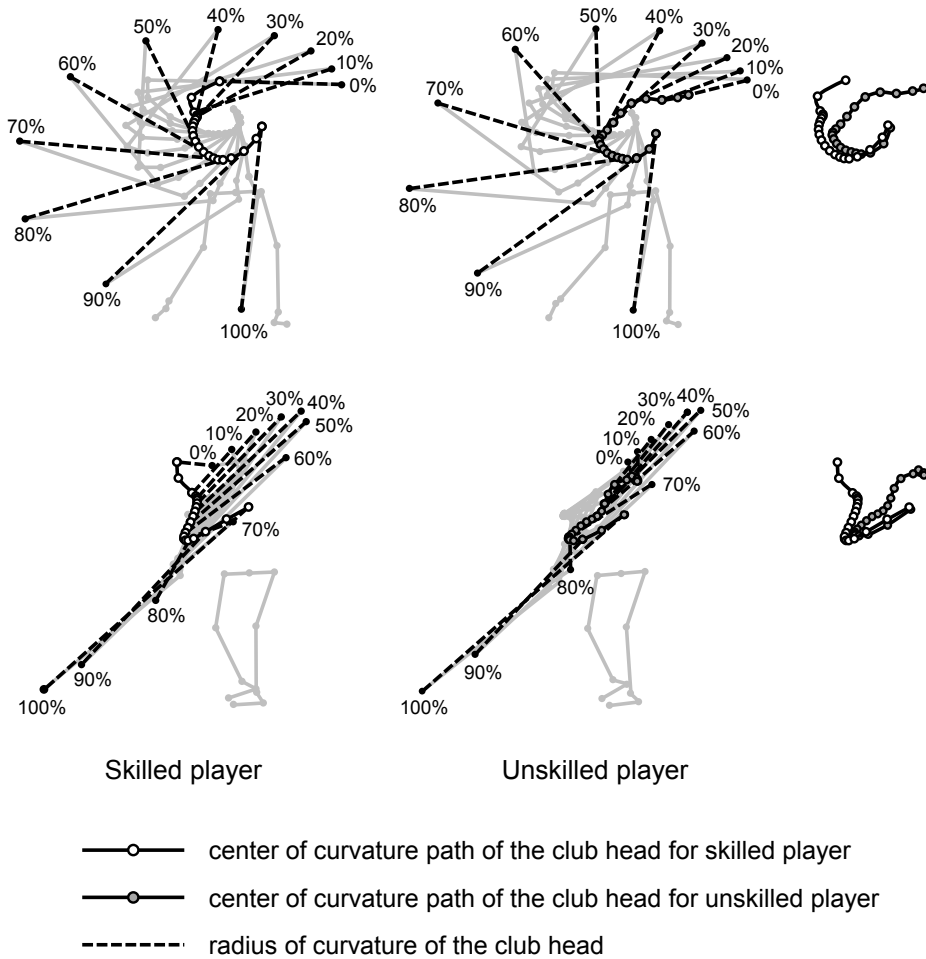


Fig.2 Standard motion of the golf swing from the start of down-swing to ball impact for the skilled and unskilled players.

ウンスイング開始からボールインパクト時までのクラブヘッドの法線加速度 (Fig. 3), グリップの法線速度 (Fig. 4), そして, クラブヘッドの法線パワー (Fig. 5) の変化曲線を示している。なお, 図の線および記号等の仕様は Fig. 1 と同様である。

クラブヘッドの法線加速度は高速群および低速群ともにダウンスイング開始後, ボールインパクトへ向けて急激に増加し, 85% 付近から 95% 付近でピーク値を迎えていた (Fig. 3)。インパクト時のクラブヘッド速度との相関関係を調べたところ, ダウンスイング開始からボールインパクト時までのすべての法線加速

度との間で有意な正の相関関係が認められた。また, グリップの法線速度は高速群および低速群ともにダウンスイング開始後, ボールインパクトへ向けて増加し, 50% 付近から 75% 付近で最大値に達した後, 減少しながらインパクトを迎えていた (Fig. 4)。インパクト時のクラブヘッド速度との相関関係を調べた結果, ダウンスイング開始直後から 45% 付近までのグリップの法線速度との間に有意な正の相関関係が見られた。クラブヘッドの法線パワーは高速群および低速群ともにダウンスイング開始後, インパクトへ向けて急激に増加し, 70% 付近から 85% 付近でピーク値を迎えていた

Normal acceleration of the club head (m/s²)

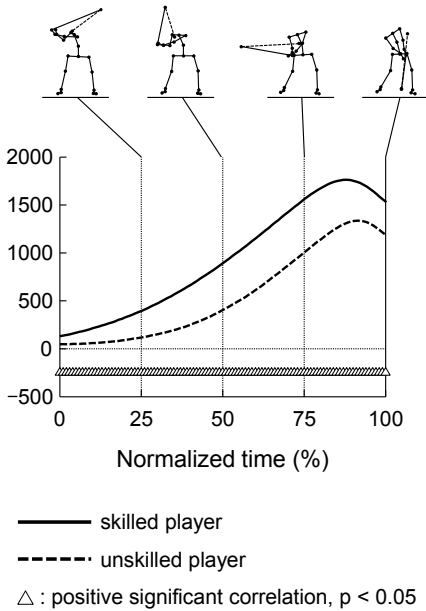


Fig.3 Changes in mean normal acceleration of the club head from the start of down-swing to ball impact for the skilled and unskilled players.

Normal power of the club head (W/kg)

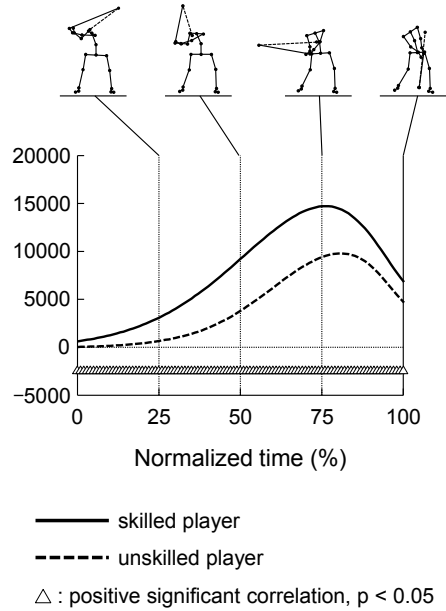


Fig.5 Changes in mean normal power of the club head from the start of down-swing to ball impact for the skilled and unskilled players.

Normal velocity of the grip (m/s)

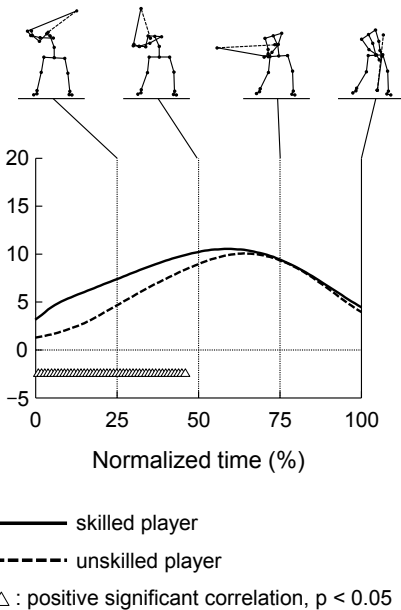


Fig.4 Changes in mean normal velocity of the grip from the start of down-swing to ball impact for the skilled and unskilled players.

(Fig. 5). インパクト時のクラブヘッド速度との相関関係を調べたところ、ダウンスイング開始からボールインパクト時までのすべての法線パワーとの間で有意な正の相関関係が確認された。

3.4 クラブヘッドの曲率半径および曲率半径の伸縮速度について

Fig. 6 は高速群および低速群のダウンスイング開始からボールインパクト時までの曲率半径の変化曲線を、Fig. 7 は曲率半径の伸縮速度の変化曲線を示している。図の線および記号等の仕様は Fig. 1 と同じであるが、インパクト時のクラブヘッド速度との間に有意な負の相関関係が認められた場合には、記号 (▼) を示した。

クラブヘッドの曲率半径は高速群および低速群ともにダウンスイング開始後、30% 付近から緩やかに増加し、その後、85% 付近から急激に増大して、ボールインパクト時に最大

値に達した。インパクト時のクラブヘッド速度との相関関係を調べた結果、ダウンスイング開始から20%付近と、90%付近からボールインパクト直前までの曲率半径との間で有意な正の相関関係が観察された。曲率半径の伸縮速度は高速群および低速群ともに30%付近から低い速度で上下した後、高速群は75%付近から、低速群85%付近から急激に増加し、90%付近からボールインパクト直前にかけてピーク値を迎えた。インパクト時のクラブヘッド速度との相関関係を調べたところ、5%付近と20%付近の伸縮速度との間で有意な負の相関関係が、また80%付近から95%付近までの伸縮速度との間で有意な正の相関関係が認められた。

Radius of curvature of the club head(m)

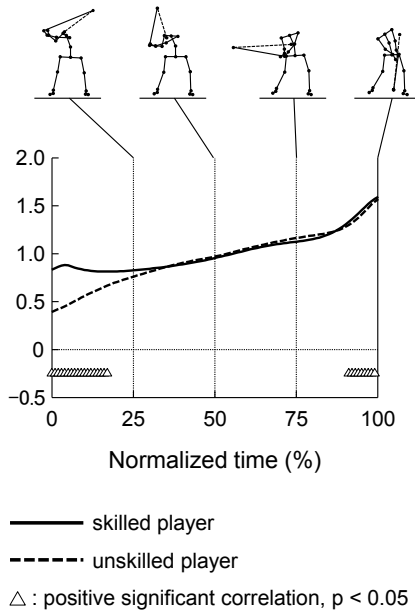


Fig.6 Changes in mean radius of curvature of the club head from the start of down-swing to ball impact for the skilled and unskilled players.

Stretch velocity of curvature of the club head (m/s)

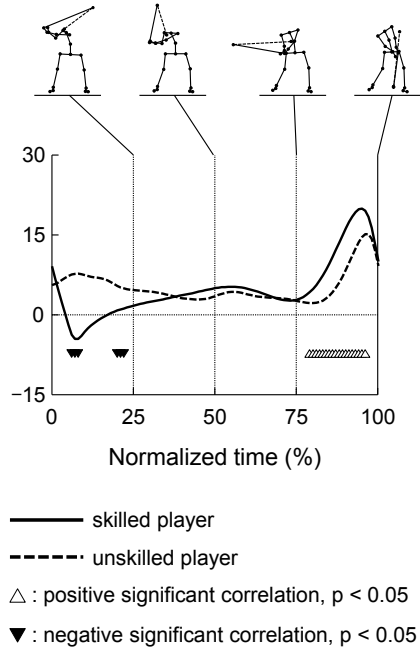


Fig.7 Changes in mean stretch velocity of curvature of the club head from the start of down-swing to ball impact for the skilled and unskilled players.

3.5 クラブヘッドの法線加速度, グリップの法線速度, クラブヘッドの法線パワー, 曲率半径の伸縮速度の最大値出現時刻について

本研究の被験者は全員、インパクト時のクラブヘッド速度に関係なく、グリップの法線速度、クラブヘッドの法線パワー、クラブヘッドの法線加速度、そして曲率半径の伸縮速度の順番でそれぞれの最大値が出現した。そこで、インパクト時のクラブヘッド速度と、それぞれの最大値出現時刻(%)との相関関係を調べた結果、クラブヘッドの法線加速度および曲率半径の伸縮速度の最大値出現時刻との間に有意な負の相関関係が認められた (Fig. 8).

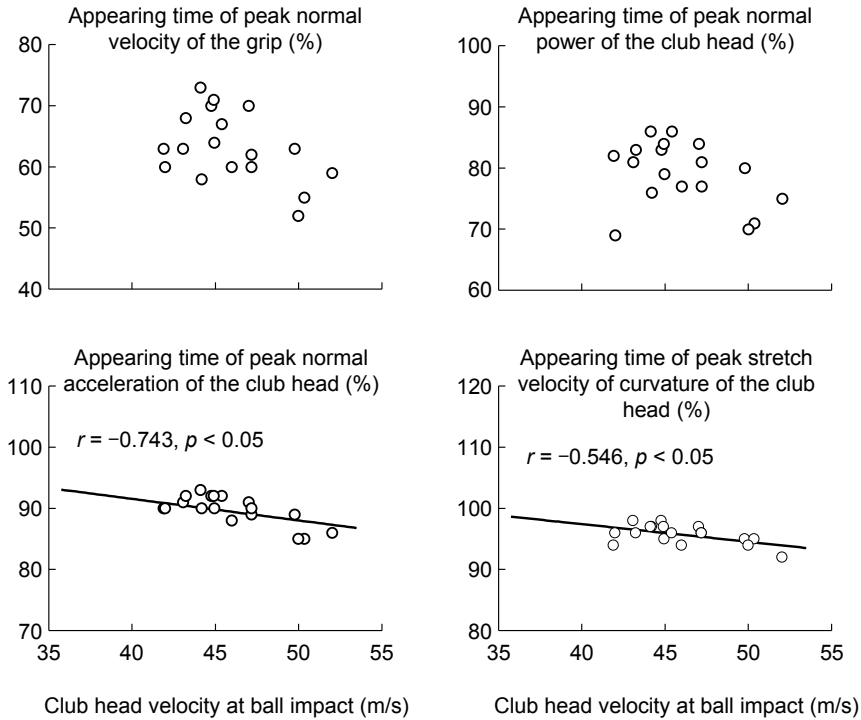


Fig.8 Relationship the appearing time of peak normal velocity of grip, peak normal power, normal acceleration, stretch velocity of curvature of the club head, and club head velocity at ball impact.

4. 考 察

Miura (2001) は、これまでゴルフのスイング動作のモデリングとして一般的に用いられてきた二重振子モデル (Williams, 1969) に、グリップを法線方向へ引き上げる要素を付け加えたダブルリンク + 1 アクチュエータモデルを使用し、ゴルフのスイング動作をシミュレーションした。その結果、インパクト直前にグリップを法線方向へ引くとパラメトリック加速が起き、グリップを法線方向へ引かなかった時に比べ、クラブヘッド速度が増加したと報告している (Miura, 2001, p.81)。そこで本研究では、男子大学ゴルフ選手 18 名を対象にスイング動作を 3 次元的に分析し、Miura (2001) が行ったシミュレーションの結果と同様に、ゴルフ選手がグリップを法線方向へ引くことでクラブヘッド速度を高めているのかを明らかにしようとした。

Miura (2001, p.85) は、このモデルを考える際、ゴルフクラブに対してパワーが入力されることでパラメトリック加速が起きると考えた。つまり、ここでいうパワーとは、クラブヘッドの法線方向への力とグリップを法線方向へ引く速度との積によって求められるもので、Miura (2001, p.85) はこれがクラブヘッドの運動エネルギーを変化させる原因になると述べている。本研究で算出したクラブヘッドの法線加速度にクラブヘッドの質量を掛け合わせると、この法線方向への力が算出される。本研究で計算したクラブヘッドの法線加速度は、高速群および低速群ともにダウンスイング開始後、ボールインパクトへ向けて急激に増加し、インパクト直前で最大値に達していた (Fig. 3)。インパクト時のクラブヘッド速度との相関関係を調べた結果、クラブヘッド速度の高かったゴルフ選手ほど、ダウンス

イング開始からボールインパクト時までのすべての法線加速度が有意に大きかった。また、グリップの法線速度は高速群および低速群ともにダウンスイング開始直後から増加し、ダウンスイングの中盤付近で最大値に達した後、インパクトへ向けて減少した (Fig. 4)。インパクト時のクラブヘッド速度との相関関係を調べたところ、インパクト時のクラブヘッド速度が大きいゴルフ選手ほど、ダウンスイング開始直後から45%付近までのグリップの法線速度が有意に高かった。本研究では、Miura (2001) の研究を参考に、クラブヘッドの法線加速度とグリップの法線速度との積を法線パワーと定義した。その結果、法線パワーもダウンスイング開始後、ボールインパクトへ向けて急激に増加し、インパクト前でピーク値を迎えた (Fig. 5)。インパクト時のクラブヘッド速度との相関関係を調べた結果、クラブヘッド速度が高かったゴルフ選手ほど、ダウンスイング開始からボールインパクト時までのすべての法線パワーが有意に大きかった。以上の結果から、Miura (2001) がシミュレーションによって示した結果と同様に、実際のゴルフのスイング動作においても、ゴルフ選手はクラブヘッドの法線加速度を高めるとともに、グリップを法線方向へ引くことで法線パワーを高め、クラブヘッドを加速させていることが明らかとなった。

Miura (2001, p.82) のシミュレーションでは、インパクトの瞬間のシャフトの角度を0度とすると、その直前の-30度から引き動作を始めていた。一方、本研究においては、高速群および低速群ともにダウンスイング開始直後からグリップを加速させており、ダウンスイングの中盤付近 (50%付近から75%付近) でピーク値を迎えていた (Fig. 4)。Miura (2001) の研究でいうシャフト角度-30度というのは、本研究ではグリップ速度が減速しているインパクトの直前 (98%付近) を指している (Fig. 2)。また、三浦 (2006, p.163) はグリップを法線方向へ引く速度が大きいほど、クラブヘッドは加速すると述べているが、本研究の結果

では、インパクト時のクラブヘッド速度とインパクト直前のグリップ速度との間で有意な相関関係は認められず、むしろダウンスイング前半 (グリップ速度がピーク値を迎える前) において有意な正の相関関係が見られた。これらの結果から、グリップを法線方向へ引くことはクラブヘッド速度を高めるために重要であるが、グリップを引くタイミングはMiura (2001) がシミュレーションで示したインパクト直前よりもずっと前であり、ダウンスイング開始直後から積極的にグリップを法線方向へ引くことが重要であることが示唆された。

ゴルフの初期のバイオメカニクス的研究では、スイング中の手の運動の軌跡は正円を描いていると考えられていた。しかし、Nesbit and McGinnis (2009, p.235) は4名のゴルフ選手のスイング動作を分析し、スイング中の手の軌跡は正円を描いておらず、被験者によって、その手の軌跡は異なると報告している。本研究では、曲率半径の大きさからクラブヘッドの回転中心点の軌跡を求めた。その結果、側方から見た時の回転中心点の軌跡は10%付近から高速群の方が低速群に比べ丸みを帯びて、より左側を通り、前方から見た時の回転中心点の軌跡は高速群の方が低速群よりも垂直に近く、より左側を通る傾向が見られた (Fig. 2)。なお、本研究の高速群のダウンスイング開始直後の回転中心点の軌跡が少し歪な形をしており、インパクト時のクラブヘッド速度と、ダウンスイング開始直後の曲率半径および回転半径の伸縮速度との間に有意な相関関係が見られたが、その理由として、高速群の内、2名の選手がダウンスイング開始直後にクラブヘッドを少し並進的に動かしていたため、曲率半径の変化が大きかったことが考えられた。三浦 (2006, p.163) はクラブヘッドの法線パワーを高めるためには、まず法線方向への力、つまり加速度が大きいことが大前提であると述べている。また、坂東ほか (2006) はハンマー投げの選手の動作を3次元的に分析し、ハンマーの法線加速度が増加する局面では曲率半径が短かったと報告している。ブランコの立

ち乗りで膝を曲げ伸ばしして身体重心を上下動させると、ブランコの振幅が大きくなるが、パラメトリック加速は振子運動時の振子の支点を持ち上げるだけでなく、曲率半径が変化する（ブランコでは、身体重心を上下動させることで、身体重心からブランコの支点までの距離が変化する）ことによって起きる（山田, 2011, pp.63-69）。求心力を算出する式1を改変すると、式3を導出することができる。

$$a = \frac{v^2}{r} \quad \text{式3}$$

ここで a はクラブヘッドの法線方向の加速度、 v はクラブヘッド速度、そして r はクラブヘッドの曲率半径を表しており、この式からクラブヘッドの法線加速度が曲率半径に反比例することが分かる。インパクト時のクラブヘッド速度との間で統計的に有意な相関関係は認められなかったものの、高速群の方が低速群よりも35%付近から85%付近までの曲率半径が短い傾向が見られたが、これはインパクト時のクラブヘッド速度が高かったゴルフ選手ほど、ダウンスイングの中盤付近から曲率半径を小さくすることによって、効果的に法線加速度を高めようとしていたのかもしれない。また、式1を改変すると、式4を導出することができる。

$$v = \sqrt{ar} \quad \text{式4}$$

この式からはクラブヘッド速度がクラブヘッドの曲率半径に比例することが分かる。本研究の結果、側方から見た時の回転中心点の軌跡は80%からインパクトへかけて右上方へ移動し、同様に、前方から見た時の回転中心点の軌跡も80%からインパクトへかけて右上方へ移動していた（Fig. 2）。そのため、曲率半径は85%付近から急激に増加し、インパクト時のクラブヘッド速度の高かったゴルフ選手ほど90%付近からボールインパクト直前までの曲率半径が有意に大きく（Fig. 6）、また、

80%付近から95%付近までの曲率半径の伸縮速度が有意に高かった（Fig. 7）。つまり、インパクト時のクラブヘッド速度が高かったゴルフ選手は曲率半径を小さくしてクラブヘッドの法線加速度を高めた後、急速に曲率半径を大きくすることで、クラブヘッドを効果的に加速させていたことが考えられた。

インパクト時のクラブヘッド速度に関係なく、本研究の実験に参加したゴルフ選手は全員、グリップの法線速度、クラブヘッドの法線パワー、クラブヘッドの法線加速度、そして曲率半径の伸縮速度の順番でそれぞれの最大値が出現した。そこで、インパクト時のクラブヘッド速度と、それぞれの最大値出現時刻（%）との相関関係を調べたところ、クラブヘッド速度の高かったゴルフ選手ほど、クラブヘッドの法線加速度および曲率半径の伸縮速度における最大値の出現時刻が有意に早かった（Fig. 8）。一般的に、物体が急激に加速して最大加速度を迎えた後、最大速度に達するまでには多少の時間を要するが、クラブヘッド速度の高かったゴルフ選手は早い段階で法線加速度のピーク値を迎えることで、インパクトまでクラブヘッド速度を高めるための時間を確保し、インパクト時により高い速度を生み出そうとしていた可能性が考えられた。また、物体の運動は並進運動と回転運動の組み合わせによって行われるが、回転運動の要素が大きいと曲率半径は小さくなり、並進運動の要素が大きくなると曲率半径は大きくなる。つまり、インパクト時のクラブヘッド速度が大きかったゴルフ選手は、より早くクラブヘッドを並進運動に切り替えることで曲率半径を大きくし、クラブヘッド速度を効果的に高めるとともに、ボールを点ではなく線で捉えて、ミート率を高めようとしていたのかもしれない。

本研究では、結果には示していないが、ゴルフ選手がどのようにして回転中心点の位置を変化させているのかを調べようと、測定項目を身長やシャフト長で除したり、コック角や関節運動の違いなどを運動学的視点から調査

したりした。しかし、その詳しい原因を突き止めるまでには至らなかった。そのため、今後は被験者を増やすとともに、動力学的なデータを算出することで、その原因を明らかにする必要があると考えられた。

5. まとめ

本研究では、男子大学ゴルフ選手18名を対象にスイング動作を3次元的に分析し、実際のゴルフスイングにおいてゴルフ選手がグリップを法線方向へ引くことでクラブヘッド速度を高めているのかを明らかにしようとし、次のような結果を得た。

- 1) ゴルフ選手はダウンスイング開始直後から法線加速度を高めるとともに、グリップを法線方向へ引くことで法線パワーを高め、クラブヘッドを加速させていた。
- 2) クラブヘッド速度の高いゴルフ選手はダウンスイング直後からより積極的にグリップを法線方向へ引いていた。
- 3) クラブヘッド速度の高いゴルフ選手はダウンスイングの中盤から曲率半径を小さくすることで法線加速度を大きくしていた。
- 4) クラブヘッド速度の高いゴルフ選手はインパクト直前に曲率半径を大きくすることでヘッド速度を高めていた。

6. 参考文献

- Ae, M., Muraki, Y., Koyama, H., and Fujii, N. (2007) A biomechanical method to establish a standard motion and identify critical motion by motion variability: With examples of high jump and sprint running. *Bulletin of institute of health and sport sciences, University of Tsukuba*, 30: 5-12.
- 坂東美和子・田辺智・伊藤章 (2006) ハンマー投げ記録とハンマーヘッド速度の関係. *体育学研究*, 51 (4) : 505-514.
- 川上泰雄・井出敦夫・野澤むつこ・永吉俊彦・小林海・小田俊明・千野謙太郎・栗原俊之・加藤えみか・福永哲夫 (2006) ゴルフスイング中の筋活動およびキネティクス: プロゴルファーの事例研究. *スポーツ科学研究*, 3: 18-29.
- Miura K. (2001) Parametric acceleration - the effect of inward pull of the golf club at impact stage -. *Sports Engineering*, 4: 75-86.
- 三浦公亮 (2006) ゴルフ・スイングにおけるパラメトリック加速-ヘッド速度を増す力学の知恵-. *日本機械学会スポーツ工学シンポジウム・シンポジウムヒューマン・ダイナミクス講演論文集*, 160-163.
- Nesbit, S. M. (2005) A three dimensional kinematic and kinetic study of the golf swing. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4: 499-519.
- Nesbit, S. M., and McGinnis, R. (2009) Kinematic analyses of the golf swing hub path and its role in golfer/club kinetic transfers. *Journal of Sports Science and Medicine*, 8: 235-246.
- 和達三樹 (1983) 物理のための数学. 岩波書店, pp. 49-54.
- Williams, D. (1966) The dynamics of the golf swing. *Quarterly Journal of Mechanics and Applied Mathematics*, 20: 247-255.
- 山田憲政 (2011) トップアスリートの動きは何か違うのか スポーツ科学でわかる一流選手の秘密. 株式会社化学同人, pp. 63-69.
- Yu, B., Gabriel, D., Noble, L., and An, K. (1999) Estimate of the optimum cutoff frequency for the butterworth low-pass digital filter. *Journal of Applied Biomechanics*, 15 (3) : 318-329.
- (平成29年7月11日受付, 平成29年8月23日受理)