

## 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

川上泰雄<sup>1)</sup>、井出敦夫<sup>2)</sup>、野澤むつこ<sup>3)</sup>、永吉俊彦<sup>4)</sup>、小林 海<sup>4)</sup>、  
小田俊明<sup>5)</sup>、千野謙太郎<sup>6)</sup>、栗原俊之<sup>7)</sup>、加藤えみか<sup>4)</sup>、福永哲夫<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>早稲田大学スポーツ科学学術院

<sup>2)</sup>生弓会

<sup>3)</sup>東京工業大学大学院社会理工学研究科

<sup>4)</sup>早稲田大学人間科学学術院

<sup>5)</sup>理化学研究所

<sup>6)</sup>国立スポーツ科学センター

<sup>7)</sup>東京大学大学院生命環境科学系

キーワード: 筋電図、動作分析、床反力、ヘッドスピード、インパクト

### 抄 録

プロゴルファー(プロ)のパフォーマンスの決定因子について明らかにする目的で、トーナメントプロ1名を対象として事例研究を行った。ドライバーを用いた打球を行ったときの筋電図を上肢、体幹、下肢の20 個の筋(左右10 個ずつ)より表面電極によって記録した。また、三次元動作分析によって重心の位置と速度を求めるとともに、左右の足に及ぼされる床反力を記録した。スイング中、体幹、肩、腕、手の筋群がインパクトに合わせて集中した活動を行っていた。また、インパクト前の右足加重によって身体重心にボール進行方向の速度を与えるとともに、インパクトに合わせて左脚が反動動作を用いた脚伸展を行っており、左右の脚の筋活動はこの動作と対応していた。本研究のプロのスイングは単に回転運動のみではなく、並進運動と上下運動が組み合わされたものであり、このことがヘッドスピードを高める効果を有しているものと考えられた。比較のために計測したアマチュア1名においてはこのような筋活動が認められず、むしろテイクバック時やインパクト後に不必要な筋活動を行っていた。得られた結果をもとに、一般的にレッスンで使用される表現のもつ意味について考察した。

スポーツ科学研究, 3, 18-29, 2006年, 受付日:2005年12月6日, 受理日:2006年3月20日

連絡先: 川上泰雄 〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島2-579-15 早稲田大学スポーツ科学学術院

## 緒言

ゴルフは幅広い年齢層にわたって人気の高いスポーツである。ゴルフの特徴として、「見る」のみならず「する」スポーツとしての意識が高い点を指摘することができ、レクリエーションレベルから競技レベルまで、幅広いレベルのプレーヤーが存在する(Pink ら, 1990)。わが国においても、ゴルフ人口は一千万人を超え、レッスン書のたぐいも数多い。しかし、ゴルフスイング中の身体の動きに対する科学的なアプローチは他のスポーツに比べてそれほど多くはない。ゴルフスイングは下肢、体幹、上肢の大きな筋活動が要求される動作である(Jobe ら, 1986)。スイング中の筋活動について調べた先行研究はこれまでもみられるものの、肩関節まわり(Jobe ら, 1986; Pink ら, 1990)、体幹(Watkin ら, 1996)、下肢(Bechler ら, 1995)など、部位別に検討されているのみであり、全身の筋活動を総合的に検討したものはほとんどみられない。また、身体動作を計測し、筋活動との関連性を詳細に調べた研究はこれまでになく、レッスン書にみられるゴルフスイング理論には科学的裏付けが乏しいのが現状である。

スイング動作は①テイクバック(takeaway)、②ダウンスイング前半(forward swing)および③後半(acceleration)、④フォロースルー前半(early follow-through)および⑤後半(late follow-through)に分けられている(Jobeら, 1986)。これまでに報告されたスイング分析の多くはこの分類に基づくものである(Bechler ら, 1995; Pink ら, 1990; Watkins ら, 1996)。これらの先行研究は、インパクト(クラブヘッドがボールに衝突する瞬間)の瞬間を独立して取り上げることはなく、フォロースルー前半の開始点、という認識でのみインパクトをとらえている。しかし、ボールに対してエネルギーを与えるのはインパクトの瞬間のみであり、インパクト周辺の身体動作を理解することがゴルフパフォーマンスを考えるうえで大変重要であると考えられる。

本研究では、プロゴルファー(以下、プロ)のスイング中の全身の主要筋群の筋活動の特徴を明らかにし、

特にインパクト前後のスイング動作と筋活動との対応関係を調べることによって、スイングのパフォーマンスの規定因子を探ることを目的とした。1名のプロを対象とした事例研究であり、今後の発展的な研究への足がかりとして実施した。プロとの比較のために、アマチュア(アマ) 1名の筋活動の記録例も報告する。

## 方法

被験者はJPGA トーナメント・ツアー・プロ, 1名(26歳、178cm、77kg; 国内ツアー参戦4年目、右利き、以下被験者P)であった。被験者P はツアー参戦4年目にして若手の中でも注目されている有力選手であり、国内2勝、全英オープン出場などの戦歴を有していた。また、比較のためにアマチュアゴルファー 1名(32歳、170cm、70kg、右利き、以下被験者A)について、筋電図の計測のみ行った。被験者A は平均スコアが90 であり、専門とするスポーツ種目はサッカー(元Jリーグ選手)であったが、ゴルフのレッスン書には通曉しており、わが国で流布している典型的なゴルフレッスンのポイントを把握している者として被験者に選定した。実験は被験者の同意のもと行われた。スイングには各自が通常使用しているドライバークラブを使用した。

各被験者はスイングスピードを高めるように意識しながら、ティーアップされたボールを打球した。被験者Pの実験ではボールは実球とスポンジボールの2種類を使用した。被験者Aの実験では、安全性の観点から実球は使用せず、スポンジボールを使用した。試行は被験者Pが8 回および被験者A が10 回行い、ヘッドスピードを計測した(ヘッドスピード計測器、プロギア、ブリジストン、日本)。計測は以下の項目について行った。

### ◆ 筋電図

表面電極を用い、双極誘導により被験者Pおよび被験者A の筋電図を導出した。電極の直径は4mm、電極間距離は20mm とした。上肢、体幹、下肢より、左右、10 個ずつ、全身20 個にわたる筋(表1)につい

て、各筋の筋腹中央部の皮膚上から計測した。筋電信号は増幅(MEG-61、16およびWEB-5000、日本光電、東京)後A/D 変換し(PowerLab, AD Instruments オーストラリア; サンプルング周波数 1000Hz もしくは 2000Hz)、実験中にモニタ上で波形を確認するとともに、パーソナルコンピュータに保存後、分析に供した。分析にあたっては筋電信号を全波整流し、あらかじめ計測した各筋の最大随意等尺性筋活動(MVIC)

中の平均振幅(筋放電が最大値付近で安定している 100 ミリ秒間の平均)で正規化した。各筋のMVIC のための動作は表1に示した通りである。電池式の電気回路を組み、途中の導線をアルミホイルにしてボールの真下、ティーに接触する形で配置し、筋電図とともに信号を記録した。インパクト時にアルミホイルが切れ、回路からの信号が途絶えた瞬間をインパクトとした。

表1 筋電図の導出部位

部位	被験筋名称	最大随意等尺性筋活動の計測	
上肢	右浅指屈筋	左浅指屈筋	中指・薬指・小指の最大屈曲
	右上腕二頭筋	左上腕二頭筋	肘関節屈曲、90° 肢位
	右上腕三頭筋	左上腕三頭筋	肘関節伸展、90° 肢位
体幹	右三角筋	左三角筋	肩関節外転、45° 肢位
	右大胸筋	左大胸筋	肩関節水平屈曲、90° 肢位
	右外腹斜筋	左外腹斜筋	体幹の回旋 (それぞれ、左・右方向)
	右広背筋	左広背筋	肩関節内転、45° 肢位
下肢	右外側広筋	左外側広筋	膝関節伸展、90° 肢位
	右大腿二頭筋	左大腿二頭筋	膝関節屈曲、90° 肢位 (股関節0°)
	右腓腹筋	左腓腹筋	足関節底屈、0° 肢位

◆ 動作分析

Vicon 動作解析システム(Oxford Metrics、イギリス)を用い、10 台の赤外線高速度カメラ(200 コマ/秒)によって被験者P の各試技を撮影した。身体上の35 点(頭部・体幹・左右上肢・左右下肢)に反射マーカーを貼付し、各関節の動きの計測を試みたが、動きが複雑であり、しかも急激な動作のために、上肢のマーカーの動きを正確にとらえることができなかった。したがって、本研究では計測に成功した頭部、体幹部および下肢の位置変化から、これらのセグメントの合成重心位置を求めた。重心位置の計算にあたってはソフトウエア(ARMO、ジースポート、日本)を用い、阿江ら(1992)の身体部分係数を使用した。画像からはトップ(クラブヘッドを上げきった瞬間)およびインパ

クトのタイミングも計測した。被験者A については、2 台の高速度ビデオカメラ(HSV-500、NAC、日本)によってスイング動作を撮影(250 コマ/秒)し、画像からトップおよびインパクトのタイミングを求めた。

◆ 床反力

床反力計(AMTI OR6、AMTI、アメリカ)を用いて、被験者P の左右の足に作用する床反力(飛球方向、前後方向、鉛直方向)を計測した。また、左右の床反力計の出力から、足圧中心の経時変化を求めた。床反力計の出力は200Hz でサンプルングし、動作分析データを同期させた。なお、筋電図信号と動作分析・床反力はインパクトの瞬間の画像で同期させた。

試技の際の被験者Pのヘッドスピードは 47.4～

50.1m/秒の範囲であり、被験者A は34.7～43.3m/秒であった。この中で、被験者 P (実球、スポンジボールの2 条件)、被験者 A (スポンジボールのみ)ともに最もヘッドスピードの高かった試行 (被験

者P: 実球50.1m/秒、スポンジボール47.4m/秒; 被験者A: 43.3m/秒)を選び、上述の分析を行った。

図1に被験者P の実験風景を示す。



図1 実験風景

[ビデオ画像 A \(Real Player\)](#)

Player  
Download



[ビデオ画像 \(Flash Player\)](#)

Player  
Download



## 結果

### ◆ 筋電図

図2に分析した被験者P の試技中の各筋の筋電図を示す。参考として、被験者A の試技中の筋電図に

ついても示した。各筋電図には体動等による顕著な基線動揺は認められなかった。それぞれの筋の活動の特徴は以下のようにまとめられる。

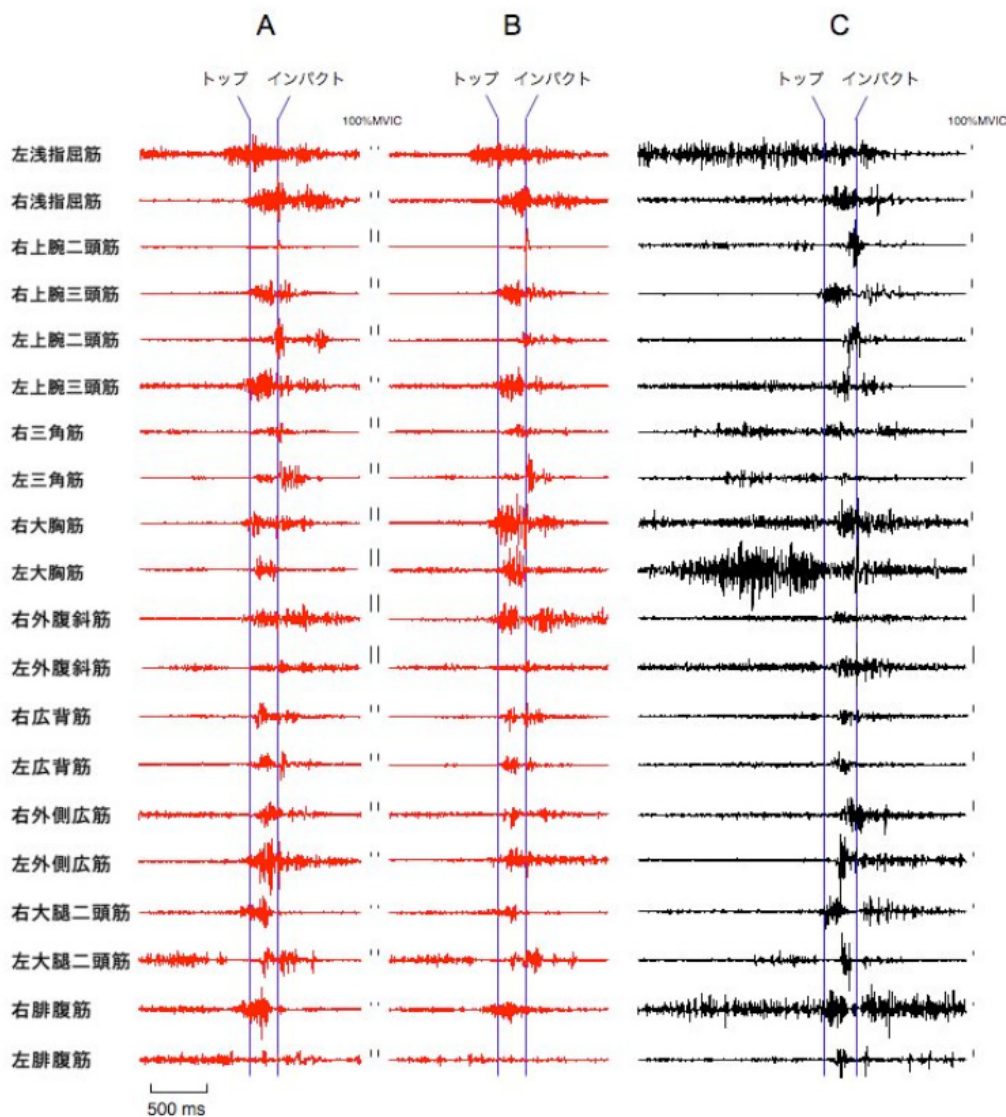


図2 試技中の筋電図

A: 被験者P(実球使用)、B: 被験者P(スポンジボール使用)、C: 被験者A(スポンジボール使用)。それぞれ、MVIC中の平均筋電図振幅で正規化。テイクバックの開始からスイングの終了までを示す。

### 1) 浅指屈筋

被験者Pの浅指屈筋はトップからインパクトにかけて強く長い放電を持続し、とくに左側の活動が大きかった。インパクトに向けて右浅指屈筋の活動が増加してゆき、インパクト直後に低下した。被験者Aの場合、テイクバックの時点から左浅指屈筋に強い活動が生じていたが、インパクト時はむしろ低下していた。実球に比べるとスポンジボールの場合の放電は少ない傾

向であったが、経時変化はほぼ同様であった。

### 2) 上腕二頭筋

インパクト時に被験者P(実球、スポンジボールとも)の右上腕二頭筋に瞬間的な活動(インパクト、10ミリ秒前から40ミリ秒間)が認められ、その前後では筋活動は極めて小さかった。これは被験者Aにも認められた傾向であったが、被験者Pに比べるとインパクト

時前後にも活動が認められた。被験者P の場合、左上腕二頭筋もインパクト前後に活動し、インパクトの瞬間に活動のピークがみられた。この筋活動はとくに実球で顕著であった。

### 3) 上腕三頭筋

被験者P の上腕三頭筋には上腕二頭筋と拮抗的な筋活動が認められた。また、トップからダウンスイングの開始と左右の上腕三頭筋の活動増加の開始が一致していた。上腕二頭筋との拮抗的な活動は被験者A にも認められたが、被験者A では左上腕三頭筋にテイクバック時から活動が認められた。

### 4) 三角筋

インパクト前に被験者P の右側の三角筋の活動が増加し、インパクトを境に左側の活動が高まるという切り替えが認められ、このパターンは実球、スポンジボールに共通していた。被験者A ではインパクト時にはほとんど三角筋の活動がみられず、むしろテイクバック時の活動の方が高かった。

### 5) 大胸筋

被験者P はダウンスイング中、インパクトの瞬間まで左右ほぼ同時(右の活動開始がわずかに先行)に活動が高まり、インパクト後に活動が低下した。筋放電の振幅は実球よりもむしろスポンジボールで大きい傾向であった。被験者A はテイクバック時に非常に大きな活動(特に左側)が認められ、インパクト後も活動が持続していた。

### 6) 外腹斜筋

被験者P の右側の外腹斜筋がインパクト前後に活動し、インパクトの瞬間は活動が低下した。また、左外腹斜筋の活動レベルは低かった。このパターンは実球、スポンジボールに共通していた。被験者A は特に左外腹斜筋においてインパクト前後の活動が被験者P よりも大きかった。

### 7) 広背筋

実球、スポンジボールともに、インパクト前後に被験者P の左右の広背筋ともに集中した放電を示した。被験者A ではインパクト前に大きく活動し、インパクト時やインパクト後は低下した。

### 8) 外側広筋

被験者P では右外側広筋はインパクト前に活動し、インパクト時には活動が低下した。一方被験者A はインパクト時に活動し、インパクト後の活動も大きかった。逆に、左外側広筋は被験者P がインパクトをはさんで大きく活動し、被験者A はインパクト前に集中した活動を示した。被験者P の外側広筋の活動は左右ともに実球の方がスポンジボールよりも大きかった。

### 9) 大腿二頭筋

外側広筋と同様に、被験者P の右大腿二頭筋がインパクト直前に活動してインパクト時には活動が低下し、左大腿二頭筋はインパクトをはさんで活動していた。被験者A は左右ともにインパクト時の活動は少なく、右大腿二頭筋のインパクト後の活動が大きかった。

### 10) 腓腹筋

被験者P の右腓腹筋はダウンスイング中に大きく活動し、インパクトに向けて活動が低下した。一方、左腓腹筋はほとんど活動していなかった。このパターンは実球、スポンジボールに共通していた。被験者A はテイクバックを含めて右腓腹筋に大きな活動が持続し、インパクト前およびインパクト後に左腓腹筋に集中した放電が認められた。

## ◆ 動作分析および床反力

図3に被験者P の実球のスイング中の床反力のベクトル線図を示す。アドレスで左右均等加重だった状態がトップで右足主体の加重となり、インパクトでは主として左足、フィニッシュではほぼ左足加重となっていることがわかる。インパクトでは左足の床反力がほ

ば最大になっていた(図4)。左足の鉛直方向の加重はインパクト前に最下点を迎えた後、一気に増加し、インパクト直後に最大値(1000N)を示した。右足の加

重はダウンスイング開始直後に最大値をとった後、インパクトに向かって減少してゆき、インパクト後にさらに減少して床反力がゼロになった。

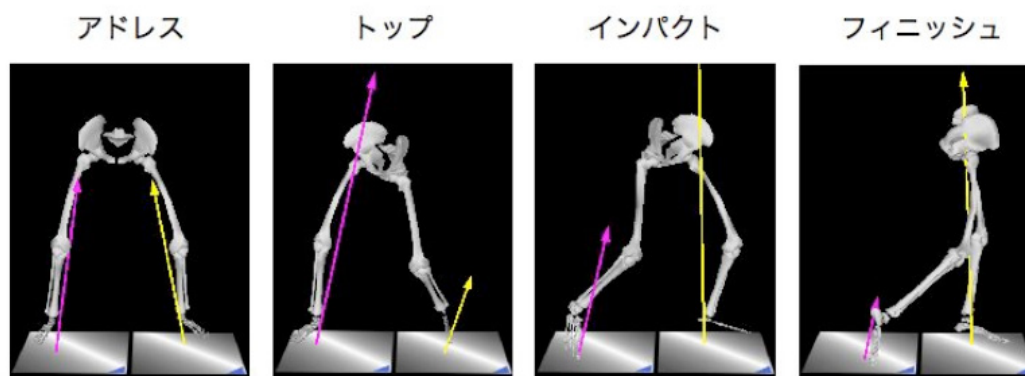


図3 被験者Pのスイング中(実球)の床反力ベクトル線図

矢印の方向が床反力の方向を、長さが力の大きさを示す。インパクトの左足の床反力は矢印が画像に入りきらず、はみ出している。

図4には左右の外側広筋および大腿二頭筋の筋電図も示した(実球条件)。ダウンスイング直後に右足の鉛直方向床反力が増加する時点では右の外側広筋および大腿二頭筋の活動が高まり、その後急激に左足の加重が増加してインパクトを迎えるときに左側の両筋の活動が高まっていた。

重心の変位においても、トップからインパクトの間に

右側から左側へのシフトが観察された。右から左へのシフトはボールの進行方向に対応するが、この方向の重心の並進速度はインパクト直前に最大となり、インパクト時までほぼ維持され、インパクト後に低下していた。鉛直方向の重心速度についてみると、上向き速度をもった状態でインパクトを迎えていた。

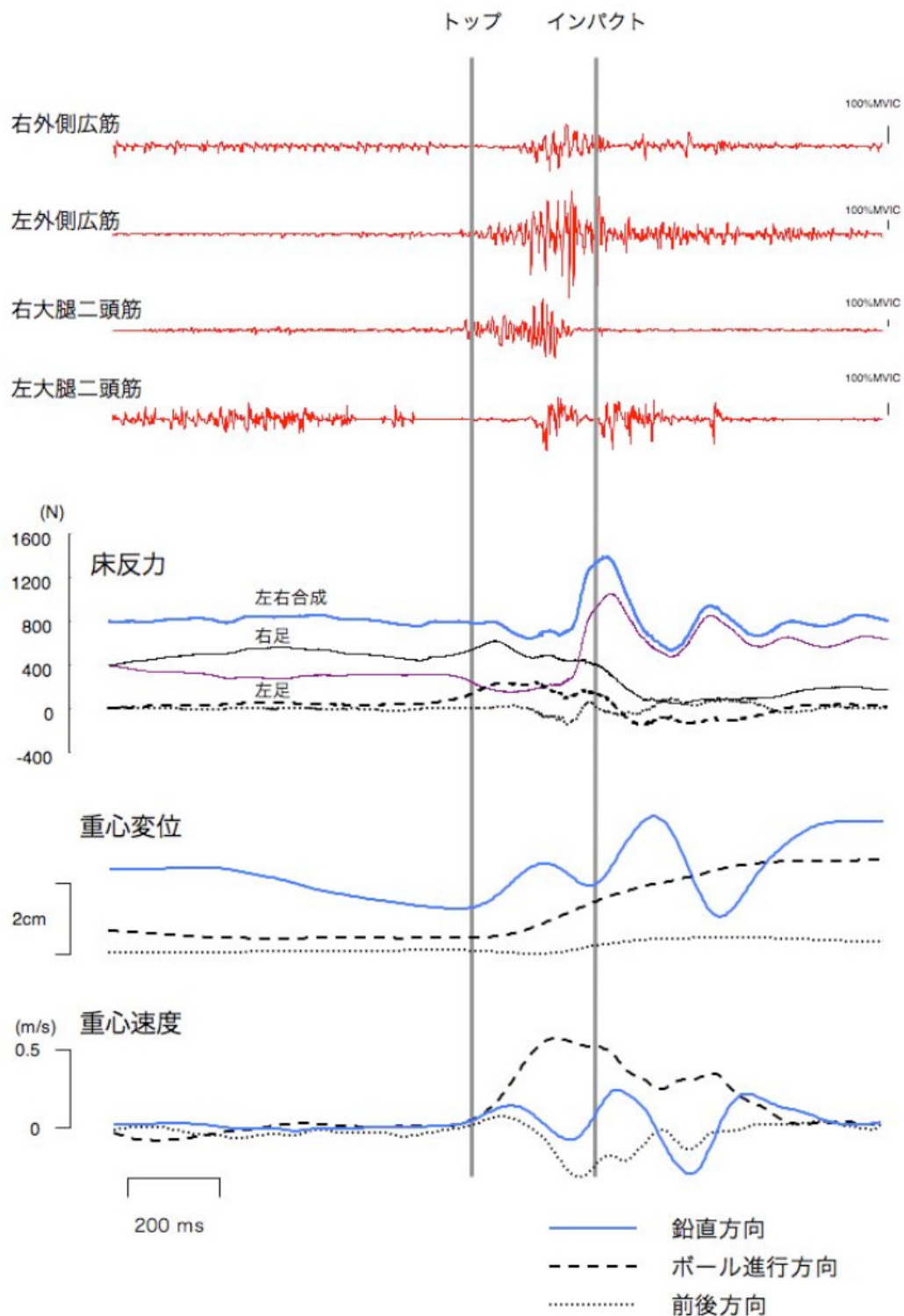


図4 被験者P のスイング中(実球)の床反力の各成分(上)、重心変位(中)、重心速度(下)  
 実線が鉛直方向、波線がボール進行方向、点線が(被験者の)前後方向を示す。床反力の鉛直方向成分については右足および左足のデータも示す。床反力は鉛直方向上向き・ボール進行方向・被験者の前方が正方向、重心変位および速度は鉛直方向が下から上・ボール進行方向・被験者の前方の向きに増加。重心変位の初期値は任意の値である。図の上部に左右の外側広筋および大腿二頭筋の筋電図も示す。



## 考 察

本研究はプロ1名を対象とした事例研究であるが、対象とした被験者は技術レベルが高く、スイングの安定性やドライビングディスタンスには定評があり、わが国を代表する選手であると考えた。ヘッドスピードも安定しており、実球とスポンジボールの際の筋活動も極めて類似していた。筋電図についてはアマ1名からもデータを取得したが、被験者A はかつてはサッカー選手であり、身体感覚に秀でており、近年はゴルフにも熱心に取り組んでいることから、アマチュアゴルファーの典型像を探るうえで適切な被験者であると考えた。ただし、1名のみであり、ヘッドスピードの変動も大きいと、被験者A のデータの考察は参考程度にとどめるものとする。

インパクト前後の各筋の筋活動において、被験者P には特徴的な筋活動が認められた。この結果について、各筋の機能や使用ボールの違いを考慮しながら、また、被験者P の動作分析および床反力の計測結果と合わせて考察を進めてゆく。

### ◆ 上肢と体幹部の筋群の活動について

浅指屈筋は小指を屈曲させるために使われている。このことは、グリップを保持し、スイング中にクラブが飛び出さないようにするばかりではなく、インパクト時の衝撃に上肢全体で耐えることにつながる。被験者P の場合、これらの効果を最大限に発揮するための活動をしていたと考えられる。一方、被験者A の場合は、テイクバックからダウンスイングの間に浅指屈筋を活動させるものの、インパクトでは筋活動が低下していた。これは、被験者A が「左の小指を締める」という一般的なアドバイスに忠実なあまり、必要以上に早くから筋活動を開始してしまい、肝心のインパクトまでその活動を維持できなかったことを示している。プロゴルファーはインパクトの瞬間に小指、薬指、中指の屈曲力が強く、熟練度が低いほどインパクト直前に指先の力を緩めてしまう(川島, 1989)ことはこれまでも報告されている。

右肘関節はダウンスイングからインパクトに向かって

屈曲位から伸展される。被験者P の上腕三頭筋の活動はこの動きに対応していた。しかし、インパクトで上腕三頭筋の活動が低下し、上腕二頭筋の活動が高まった。このことは、インパクトの瞬間に肘関節の伸展にブレーキをかけ、その結果肘関節よりも遠位のセグメントのスピードを増す(桜井, 1992)ことにつながるものと考えられる。この傾向は被験者A にも認められたが、注目すべきは、被験者P の右上腕二頭筋の筋活動が非常に短時間(40 ミリ秒)であった点である。これは、筋活動がスイング中の意識によってではなく、脳内のプレプログラムによるフィードフォワードの結果もたらされることを示唆する。上肢への衝撃が格段に少ないスポンジボール条件の右上腕二頭筋の放電がむしろ大きかった結果は、この筋活動がボール衝撃のアーチファクトではないことを強く示唆する。逆に、インパクト時の左上腕二頭筋の集中放電はスポンジボールよりも実球で顕著であり、後述する大胸筋の活動とも合わせて、被験者P が実球とスポンジボールの衝撃をあらかじめ予測して筋活動レベルを調節した可能性がある。被験者A の場合は、ダウンスイング中の上腕二頭筋の活動時間が長く、早くから肘関節伸展にブレーキをかける結果になってしまっていたものと推測される。

スイングにおいては、肩関節が腕の回転の支点となり、上腕の保持、上げ下げや回転に関わる三角筋の活動が重要であると考えられるが、先行研究(Jobe ら, 1986; Pink ら, 1990)においてはそれほど重視されてこなかった。被験者P の左三角筋の活動は、インパクトの前後に、左上腕の外旋を行う動作を反映しているものと予想される。活動レベルが非常に高いので、被験者のスイングにおいて重要な要素となることが示唆される。被験者A の場合はテイクバック時の体幹・上肢の回旋を意識するあまり、三角筋の活動が高まった可能性がある。

インパクトの前後に大胸筋が大きく活動することはこれまでも報告されている(Jobe ら, 1986; Pink ら, 1990)。被験者P がインパクトの瞬間に合わせて大胸筋を活動させるのは、上腕の内転および内旋動作を

通じて体幹部のもつ運動エネルギーを腕に伝達する効果をもつ(Pink ら, 1990)。また、インパクトの瞬間に大胸筋、三角筋、上腕二頭筋、浅指屈筋の放電が高まることは、上肢のスティフネスを高めることにつながり、インパクトの衝撃を上肢全体で受け止めるとともに、クラブと上肢を一体化させ、ボールに加える運動量を大幅に高める効果を有する(池上, 2004)。インパクト前の上肢の減速はヘッドスピードを上げるのに有効であることがわかっている(Bechler ら, 1995; Burden ら, 1998; Miura, 2000)が、被験者P は上肢筋群の同時活動によってこれを達成しているのであろう。一方、被験者A の場合はテイクバックの段階から大胸筋を激しく活動させていた。一般に言われる「テイクバックでは左右の腋を締める」というアドバイスを意識するあまり、無駄な筋活動をしてしまっている可能性がある。一方、被験者P のテイクバック中の上肢・体幹の筋活動は極めて小さかった。なお、被験者P のスポンジボール条件の左右大胸筋の活動は実球条件よりも大きく、被験者P が前述のような球種の違いによる何らかの調節をしていたことを示唆する。この結果は被験者P の「スポンジボールは怖くて打ちたくない」という実験後の内省と併せて興味深い点である。

被験者P の右外腹斜筋はインパクト後にも使われていたが、左外腹斜筋はスイングを通して非常に低い筋活動であった。被験者A は、右腹斜筋をテイクバックから活動させ、左外腹斜筋はダウンスイングからインパクト後まで大きく活動していた。これらの結果は、被験者P のスイングは体幹の回旋を強調したものではないことと、被験者A は逆に回旋を非常に意識したスイングとなっていることを示唆している。被験者P はむしろインパクト前後の広背筋の活動が高く、これは、姿勢の制御(Watkins ら, 1996)に関係するとともに、以下に述べる下半身の動きとの連動を反映している可能性がある。

#### ◆ 下肢の筋群の活動について

被験者P においては、右外側広筋、右大腿二頭筋、

右腓腹筋ともにダウンスイングに入り、インパクト前まで大きく活動していたが、インパクト時やインパクト後は活動が低下し、代わりに左側の同名筋の活動が高まった。これは、右から左への加重のシフトが行われていることを示しており、実際に床反力にもそのことがあらわれていた。右足の加重はダウンスイングの開始直後にピークとなり、その後は漸減してインパクトを迎えていた。右脚の活動は重心の右から左へ、すなわちボールの進行方向へのシフトを生じさせ、重心の並進速度をヘッドスピードに結びつける効果をもっている(兵頭, 2001; Kawashima, 1998; 川島, 2004)ものと考えられる。

左足の鉛直方向の加重はダウンスイング直後に低下し、インパクト直前に急激に大きくなっていった。つまり、左脚については、抜重-加重のシーケンスで脚伸展が行われていた。ダウンスイング開始時はクラブを合わせた上肢が上方から落下することで重心位置が下がる。このときに左脚の筋活動は低く抑え、インパクト直前に床反力が高まってくる時相に合わせて筋活動を高めることで、ちょうど反動ジャンプを行うような効果もたらされているものと考えられる。インパクト時の左足加重は1000N に達し、この時点で非常に強度の高い反動動作が行われていることが示唆される。反動ジャンプの効果は抜重と加重の連携が重要であり、下肢の場合はこのときに生じる筋腱相互作用を通じてパワーを高めることができる(Kawakami ら, 2002)。被験者P はダウンスイング時に上肢および左脚の活動を抑え、インパクト時に上肢+クラブ、および重心の自由落下を最大限に活かした反動つき脚伸展動作を行っているものと推察される。股関節伸筋群や膝関節伸筋群は骨盤の回旋のために下肢を安定化させ(Bechler ら, 1995)、「左側の壁をつくる」ことによって身体の打球方向の運動エネルギーをクラブに転移させる(桜井, 1992)のに用いられるが、インパクト時の脚伸展にも関係していることが明らかになった。

インパクト前後の脚伸展によって重心の鉛直方向上向き速度が与えられる(図4)と、インパクト時にクラ

ブを上方、すなわち回転の中心方向へと引きつける力(遠心力)が発生する。遠心力を高めることによって、回転している物体の軌道接線方向の速度を高めることができ、これはパラメータ加速と呼ばれている(Miura, 2001)。パラメータ加速はハンマー投げにおいて回転速度を上げたり、ブランコの振幅を大きくしたりするために用いられる方法である。ゴルフでもパラメータ加速が有効な方策となり得ることが理論上示されているが、そのための動作については明らかにされていない(Miura, 2001)。本研究で対象となった被験者Pは左脚の伸展によってヘッドのパラメータ加速を行っている可能性が高い。すなわち、インパクト前後に上半身の回転と、重心の右から左への移動ばかりではなく、重心の上下動を利用したヘッドの加速を行っていることでヘッドスピードを高めていると考えられる。股関節・膝関節伸筋群が非常に重要であることはこれまでも指摘されており(Bechler, 1995; Watkinsら, 1996)、下肢のプライオメトリックトレーニングがヘッドスピードを高めるのに有効である(Fletcherら, 2004)ことがわかっている。これらのことは上述のヘッドスピード増加機構がその背景にあるものと考えることができる。「インパクトで沈み込んで打つ」「ボールに体重を乗せて打つ」「ロングヒッターは下半身のバネがある」という指導上の表現にはこのような意味があるのではないだろうか。ダウンスイング開始時に左脚伸展筋群の活動を抑え、抜重ー加重の反動動作(Kawakamiら, 2002)を利用することでパラメータ加速の効果を最大限に引き出しているのが被験者Pの swingsの大きな特徴であるといえよう。左右の外側広筋の活動はスポンジボールに比べて実球で顕著であることから、被験者Pは実球の全力打球(いわゆる、マン振り)において膝関節を含めた脚伸展を積極的に利用しているものと推察される。本研究で記録された被験者Pの床反力最大値を上回る値がこれまでに報告されている(Kawashima, 1998)ので、パラメータ加速を被験者Pよりも積極的に用いるプロゴルファーが存在する可能性がある。タイガー・ウッズはその著書(Woods, 2001)の中で、インパクト前後の身

体の動きについて、「オーソドックスな動きではないが、パワーアップのために」とことわったうえで、「Let gravity rule.」「I let the club "fall" into position nearly in the downswing.」「for extra distance, I straighten that left leg as quickly as I can on the through-swing」と表現し、ダウンスイング時の抜重とインパクト時の脚伸展動作を強調している。この見解は、彼がヘッドスピード向上のために反動動作にもとづくパラメータ加速を重視したスイングを行っていることを示唆するものである。

一方、被験者Aはインパクト時には左右の外側広筋、大腿二頭筋、腓腹筋の活動が低く、インパクト後に右側のこれらの筋群の活動が高まった。このことは、被験者Aは右から左への筋活動のシフトを十分に行っていないことを示している。被験者Aは上半身の回転を意識するあまり、上述の機構を有効に利用できなかつたものと予想される。被験者Pと被験者Aのヘッドスピードの差には、このような筋活動の違いに基づく技術的な要因が大きく関係しているものと考えられるが、この点については被験者数を増やして今後検討を進める必要がある。

本研究の結果、被験者となったプロのインパクト前後のスイングには次の特徴があることが示された。

- 1) 上半身では、体幹、肩、腕、手の筋群がインパクトに合わせて集中した活動を行っていた。このことは、スティフネスの増加や遠位のセグメントの速度増加を通じてヘッドスピードを高める効果をもっているものと推察される。
- 2) 下半身では、インパクト前の右足加重によって身体重心にボール進行方向の速度を与えると同時に、インパクトに合わせて左脚が反動ジャンプに類する動作を行っていた。これらのことがヘッドスピードを高めている可能性がある。

スイング中の筋活動から判断すると、本研究の対象となったプロは上述のメカニズムを体得し、プログラム化することで、意識では制御しきれない繊細な動作を

達成しているものと考えられる。

### 謝 辞

本研究を行うに当たり、(株)ゴルフトゥデイ社 今泉純子氏、プロゴルファー 谷原秀人氏、サッカー解説者 水内 猛氏、プロゴルファー 小林浩美氏、元東京工業大学大学院 矢澤周一郎氏、インターリハ(株) 中川紀一氏 に多大なご協力をいただきました。ここに記して感謝いたします。

### 参考文献

- 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. バイオメカニズム, 1, 1, 23-33.
- 2) Bechler, J. R., Jobe, F.W., Pink, W., Perry, J., Ruwe, P.A. (1995) Electromyographic analysis of the hip and knee during the golf swing. Clin. J. Sport Med., 5, 162-166.
- 3) Burden, A. M., Grimshaw, P. N., Wallace, E. S. (1998) Hip and shoulder rotations during the golf swing of sub-10 handicap players. J. Sports Sci., 16, 165-176.
- 4) Fletcher, I. M., Hartwell, M. (2004) Effect of an 8-week combined weights and plyometrics training program on golf drive performance. J. Strength Cond. Res., 18, 59-62.
- 5) 兵頭俊夫 (2001) 考える力学. 学術図書出版, 東京, pp.248-254.
- 6) 池上久子 (2004) ゴルフスイングの力と運動. バイオメカニクス, 金子公宥, 福永哲夫編, 杏林書院, 東京, pp. 310-317.
- 7) Jobe, F. W., Moynes, D. R., Antonelli, D. J. (1986) Rotator cuff function during a golf swing. Am. J. Sports Med., 14, 388-392.
- 8) Kawakami, Y., Muraoka, T., Ito, S., Kanehisa, H., Fukunaga, T. (2002) In vivo muscle-fibre behaviour during counter-movement exercise in human reveals significant role for tendon elasticity. J. Physiol., 540, 635-646.
- 9) 川島一明 (1989) ゴルフスイングにおける各手指の応力と加速度曲線の検討. ゴルフの科学, 2, 28-32.
- 10) Kawashima, K. (1998) A kinetic analysis of foot force exerted on the soles during the golf swing among skilled and unskilled golfers. Science and Golf III, Farrally, M. R. and Cochran, A. J. (eds.), Human Kinetics, Champaign, pp. 40-45.
- 11) 川島一明 (2004) ゴルフクラブで打つ. バイオメカニクス, 金子公宥, 福永哲夫編, 杏林書院, 東京, pp. 306-309.
- 12) Miura, K. (2000) Accelerating and decelerating phases of the wrist motion of the golf swing. Engineering Sports, 3, 455-463.
- 13) Miura, K. Parametric acceleration - the effect of inward pull of the golf club at impact stage. Sports Engineering, 4, 75-86.
- 14) Pink, M., Jobe, F. W., Perry, J. (1990) Electromyographic analysis of the shoulder during the golf swing. Am. J. Sport Med., 18, 137-, 140.
- 15) 桜井伸二 (1992) 投げる科学. 大修館書店, 東京, pp. 61-138.
- 16) 田口正公, 梶山彦三郎, 北原滋夫, 川上貢, 中原一, 片峯隆 (1990) ゴルフにおける技術習得のバイオメカニクスの研究 - ゴルフ実習におけるスイング技術の獲得について - ゴルフの科学, 3, 82-93.
- 17) Watkins, R. G., Uppal, G. S., Perry, J., Pink, M., Dinsay, J. M. (1996) Dynamic electromyographic analysis of trunk musculature in professional golfers. Am. J. Sports Med., 24: 535-538.
- 18) Woods, T. (2001) How I play golf. Golf Digest (ed.), Warner Books, NewYork.