

令和 元 年 6 月 24 日現在

機関番号：82632

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2018

課題番号：17K13181

研究課題名(和文) ゴルフスイングにおける全身の力学的エネルギーフロー

研究課題名(英文) Mechanical energy flow of the whole body during the golf swing

研究代表者

高木 斗希夫(Takagi, Tokio)

独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター・スポーツ研究部・契約研究員

研究者番号：50592367

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,000,000 円

研究成果の概要(和文)：ゴルフスイング中の全身のエネルギーの流れを、関節間に作用する力の発生要因も加味して明らかにするとともに、エネルギーの発生と伝達に着目して、その力学的メカニズムについて検討することを目的とした。その結果、クラブヘッドスピードには、エネルギー伝達能力よりもむしろエネルギー発生能力の方が大きく関係すること、骨盤、胸郭、上肢の角速度は、連鎖的よりもむしろ同時にピークを迎えた方が、エネルギー伝達にとっては効果的である可能性などが示唆された。また、スイング中に大きなエネルギーを獲得する骨盤回旋動作は、主に右股関節伸展・外転筋群、左股関節屈曲・内転筋群の活動によって生成されていることが明らかとなった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、ゴルフスイング中の全身のエネルギーの流れを明らかにした。また、クラブへのエネルギー伝達の力学的メカニズムを探るため、クラブに作用する力の動力学的成分を明らかにするとともに、クラブに作用するパワーに対して関節運動がどのように関与するのかを定量的に示した。さらに、大きなエネルギーをもつ骨盤の回旋運動を生成する下肢の力学的な作用を定量的に明らかにした。これらの成果は、ゴルフ選手の技術評価や指導を行う上で有益な情報になると考える。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to clarify energy flow of the whole body considering the dynamic components of the joint force, during the golf swing. Sixteen skilled golfers performed swings with the driver. The 3D kinematic data and ground reaction forces were collected using a motion capture system and two force platforms. Joint powers as well as the dynamic components of the pelvis motion were calculated. There was a correlation between the energy generation of the whole body and clubhead speed, but not between the ability of energy transfer and clubhead speed. The present results indicate that simultaneously maximizing the angular velocities of the pelvis, lumbar, and shoulder joints produces an effective energy transfer to the club. The dynamic analysis revealed that the left (lead) hip flexor and adductor torques as well as the right (trail) hip extensor and abductor torques were identified as the main contributors to pelvis axial angular velocity.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：力学的エネルギー 関節力パワー 関節トルクパワー 骨盤回旋 エネルギー伝達 動力学 力学的仕事 ゴルフスイング

様 式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19（共通）

## 1．研究開始当初の背景

(1) ゴルフスイングは、地面に力を加え、これを全身の回転運動に変えてクラブヘッドを加速させるダイナミックな身体動作である。競技現場においては、クラブヘッドスピードの大きさは、打球の飛距離を増大させるため、パフォーマンスに直結する重要な技術要素となる。クラブヘッドスピードを増大させるためには、身体で大きなパワーを生成し、大きなエネルギーをクラブに効果的に伝える必要があるだろう。

(2) 先行研究においては、身体各関節で生成されたパワーや仕事の値が明らかにされており、セグメント間のエネルギーの流れが明らかにされている。しかし、エネルギーを効果的にクラブに伝える技術については、十分に明らかにされているとは言えない。ゴルフも含めた、野球の投球動作や、サッカーのキック動作などの四肢末端部の速度を高めるスイング動作においては、運動連鎖に代表される関節運動の協調性が重要視されてきた。これらの関節運動の協調性はエネルギー伝達にも影響を及ぼすことが示唆されている。したがって、クラブに作用するパワーと関節運動との関係性を分析することは、妥当なことから考えられる。

(3) さらに、ゴルフスイングにおけるエネルギーの分析において、関節間に作用する力（関節力）の要因については明らかにされていない。関節力は、身体部分の重力や求心力などといった、様々な力の総和として表されるものであるため、関節力の要因を明らかにすることは、エネルギー伝達における力学的要因を理解する上で重要であるといえる。

(4) また、ゴルフ選手は、体幹部の回旋運動によって大きなエネルギーを獲得しているものと思われることから、体幹部の回旋運動を生成する力学的要因を明らかにすることも技術指導につながるためには重要であろう。

## 2．研究の目的

本研究では、ゴルフスイング中の全身の力学的エネルギーの流れを、関節間に作用する力の発生要因も加味して明らかにするとともに、エネルギーの発生および伝達という、2つの能力に着目してゴルフスイングの力学的メカニズムについて検討することを目的とした。

## 3．研究の方法

### (1) データ収集

被験者は、競技レベルの高い16名のアマチュアゴルフ選手(ハンディキャップ: <10)とした。実験に際し、被験者には実験の同意を得た。なお、実験は国立スポーツ科学センター研究倫理委員会の承認を得た上で行われた。被験者は、十分なウォーミングアップを行った後、7m手前のネットに向かって、全7球、ドライバーショットを打った。各ショットの後、5段階評価で自身のスイングの内省評価を行った。身体およびクラブに赤外線反射マーカーを貼付するとともに、ボールを赤外線反射シールで覆った。光学式3次元自動動作分析装置(VICON MX, Vicon Motion Systems 社製, 500Hz)を用いて、赤外線反射マーカーおよびボールの3次元座標データを獲得した。被験者の足元に2台のフォースプレート(Kistler 9286BA Kistler 社製, 500Hz)を設置し、地面反力を計測した。被験者の内省評価の内、最も評価の高かった試技(1試技)を分析対象とした。

### (2) 動作時点と動作局面の定義

以下の動作時点と動作局面を定義した。バックスイング前半局面：バックスイング開始から骨盤の回旋角速度が最小値(バックスイング側への骨盤回旋角速度が最大)を示した時点(MBR)までの局面、バックスイング後半局面：MBRから、バックスイングが終了し、フォワードスイングに切り替わる時点(フォワードスイング方向への骨盤回旋が開始される時点)(TOP)までの局面、フォワードスイング前半局面：TOPから、骨盤の回旋角速度が最大に達する時点(MDR)までの局面、フォワードスイング後半局面：MDRからImpactまでの局面。

### (3) 上肢系の定義

ゴルフスイングでは、両手でクラブを握る閉ループ機構が構成されているため、両手に作用する力を別々に算出することができない。そこで、本研究では、両手、両前腕、両腕を上肢系と定義した。また、上肢系の角運動量と慣性テンソルを算出し、上肢系の角運動量に上肢系の慣性テンソルの逆行列をかけることで、上肢系の理論上の角速度を算出した。

### (4) クラブに作用するパワーの幾何学的成分分析

クラブに作用するパワーは、クラブに作用する力と力が作用する点(グリップ)の速度、およびクラブ角速度とクラブに作用するトルクの内積和によって表される。この内幾何学的成分、すなわちグリップ速度とクラブ角速度は、関節角速度の関数として表すことができる。本研究

では、クラブに作用するパワーを、各関節角速度の関数として表すことにより、パワーの幾何学的成分を算出した。

#### (5) 骨盤回旋動作およびクラブに作用する力の力学的要因

ゴルフスイング中の、骨盤回旋動作(角加速度)およびクラブに作用する力の動力学的成分を、Koike et al. (2017)の方法に基づいて算出した。なお、この際、骨盤回旋動作の分析は、下半身モデル(下肢および骨盤)を、クラブに作用する力の分析には、上半身モデルを、それぞれ用いた。動力学的分析は、対象とする動作あるいは力の成分を、全身の関節トルク、全セグメントの運動依存力(運動に依存する力、例えば求心力)、重力、の各成分に分配し、力の要因を明らかにしようとするものである。

#### (6) 統計処理

パワーの幾何学的成分が最大値に達してからインパクトまでの所要時間を、パワーの各成分間で比較するため、反復測定分散分析を行った。

### 4. 研究成果

#### (1) 力学的エネルギーの流れ

図1は、ダウンスイング中に各関節でなした仕事を、図2はゴルフスイング中の力学的エネルギーの流れ(局面平均パワーが150W以上のものを図示している)を模式的に示したものである。図1より、特に両股関節および肩関節で大きなエネルギーを生成し、これを上肢・クラブに伝えていることが示唆された。図2より、下肢では主としてエネルギーの発生が、体幹部・上肢では、主としてエネルギーの伝達が行われていることが示唆された。

本研究では、エネルギー発生能力を、ダウンスイング中に全関節でなした仕事量の総和、エネルギー伝達能力を、ダウンスイング中の、全身・クラブ系のエネルギーの変化(仕事量)に対する、クラブのエネルギー変化(仕事量)の割合と定義した。エネルギー発生能力および伝達能力とクラブヘッドスピードとの関係性では、エネルギー発生能力とクラブヘッドスピードとの間に強い正の相関関係が認められた( $p<0.01$ )。一方、エネルギー伝達能力とクラブヘッドスピードとの間には相関関係は認められなかった。エネルギー発生能力の大きな被験者は、特に両股関節および肩関節において大きなエネルギーを発生させていた。

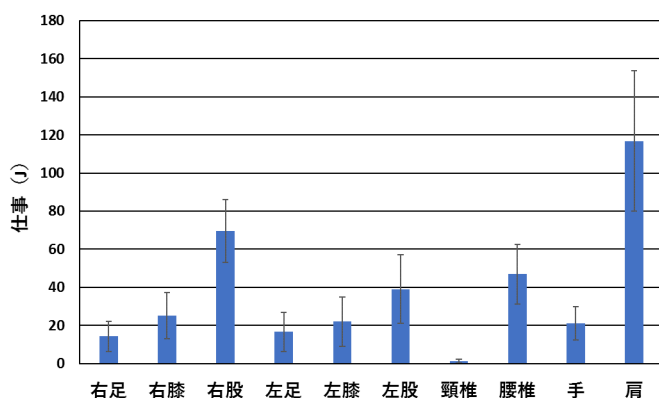


図1 ダウンスイング中に各関節でなした仕事

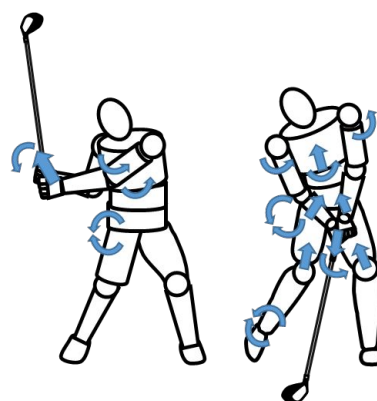


図2 フォワードスイング前半(左図)および後半(右図)におけるエネルギーフロー

#### (2) クラブに作用する力の力学的要因

図3は、クラブに作用する力の動力学的要因を、典型例を用いて示したものである。なお、他の被験者も同様の結果を示した。図3より、特に運動依存力(主に求心加速度による成分)が、クラブに作用する力の主な成分であることがわかった。さらにその内訳を見てみると、クラブ角速度の求心加速度成分が運動依存力の主たる成分であった。すなわち、クラブの角速度が大きくなるに従い、クラブに作用する力も増加することを示している。

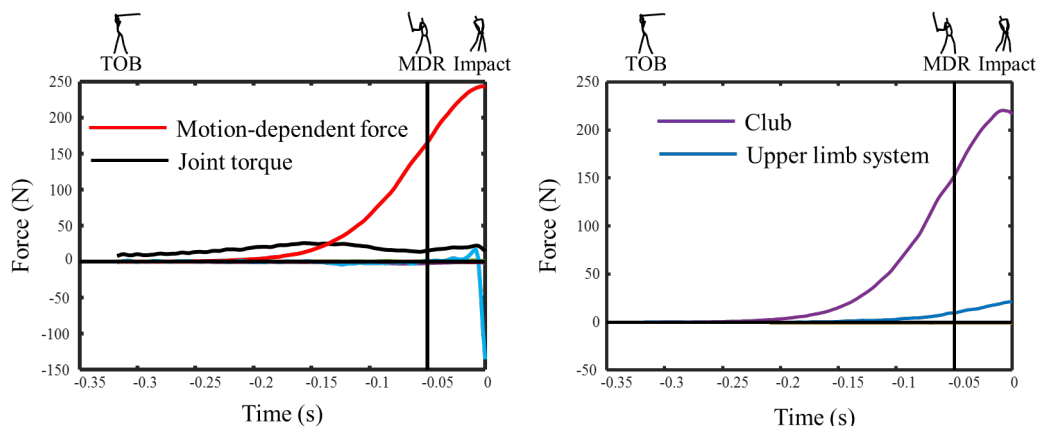


図3 クラブに作用する力の動学的要因．左図は，クラブに作用する力の動学的成分を，右図は，運動依存力（求心加速度による成分）の内訳をそれぞれ示している．

### (3) パワーの幾何学的成分分析

クラブに作用するパワーに関節角速度がどのように関与しているのかを表す，パワーの幾何学的成分分析を行った結果，関節角速度に起因するパワーのピークタイミングに有意差は認められなかった（図4）．また，（図示していないが）骨盤，胸郭，上肢の角速度は，ほぼ同様のタイミングでピークを迎えていた．これらの結果は，指導の現場でたびたび言及されてきた，骨盤，胸郭，上肢の角速度が，連鎖的にピークを迎えることが必ずしも理想的というわけではなく，むしろこれらの角速度は同時にピークを迎えた方が，クラブへのエネルギー伝達にとっては効果的である可能性を示唆している．

クラブにした仕事では，骨盤の角速度に起因する仕事量が，全仕事量の42%で最も大きく，次いで，腰椎関節（23%），肩関節（24%）の順に大きな値を示した（表1）．このことは，骨盤を基底する体幹部の回旋運動が，クラブへのエネルギー伝達に少なからず影響を及ぼしていることを示唆している．

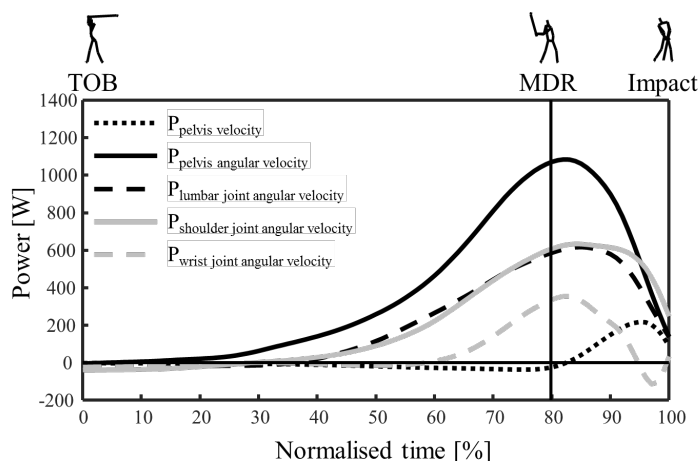


図4 パワーの幾何学的成分．全被験者の平均値を示す．Pはパワーを，下付き文字はパワーの幾何学的成分を示す．

表1 各パワーの幾何学的成分の積分値（仕事量）

	Work (J)	%
$Work_{\text{pelv}}$	$8.9 \pm 2.8$	3%
$Work_{\text{pel}}$	$141.8 \pm 24.5$	42%
$Work_{\text{lum}}$	$78.1 \pm 18.6$	23%
$Work_{\text{sh}}$	$80.4 \pm 25.5$	24%
$Work_{\text{wr}}$	$24.7 \pm 8.2$	7%

pelv, pel, lum, sh, wr は，順に骨盤の並進速度および角速度，腰椎，肩，手首関節角速度を示す．%は，クラブにした総仕事量に対する割合を示す．

### (4) 骨盤回旋運動を生成する力学的要因

図5は，ゴルフスイング中の骨盤回旋角加速度の動学的成分を示したものである．図5より，特にフォワードスイング前半局面においては，両股関節の股関節伸展／屈曲軸および内転／外転軸まわりの関節トルクが大きな貢献を示した．同局面においては，右股関節伸展・外転および左股関節屈曲・内転トルクが発揮されていた．これらのことから，ゴルフスイングにおいて重要とされる骨盤回旋運動は，主として右股関節伸展・外転筋群および左股関節屈曲・内転筋群の活動によって生成されていることが示唆された．

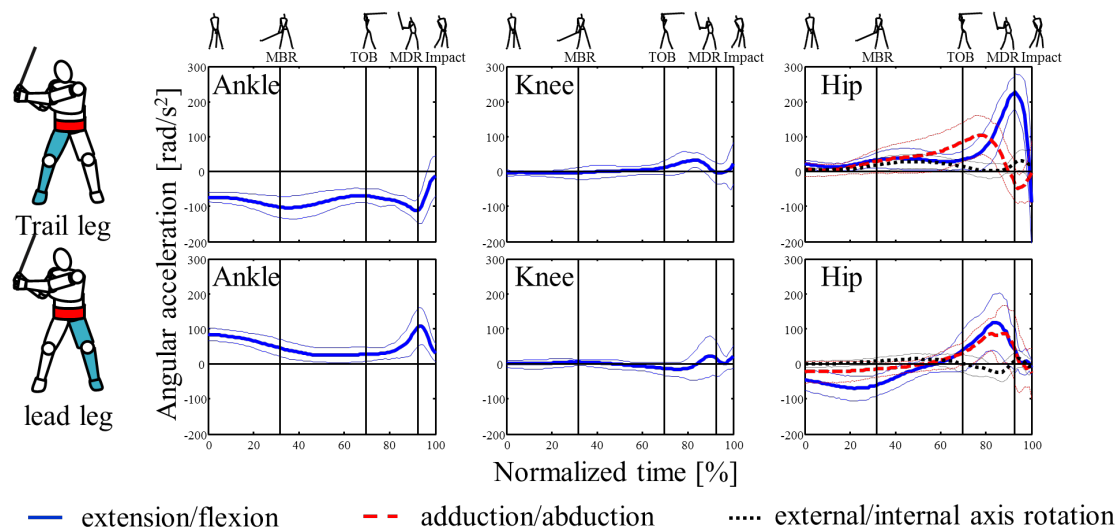


図5 骨盤回旋動作（角加速度）の動力学的成分

#### <引用文献>

Sekiya Koike, Seigo Nakaya, Hiroto Mori, Tatsuya Ishikawa., & Alexander P. Willmott., Modelling error distribution in the ground reaction force during an induced-acceleration analysis of running in rear-foot strikers, *Journal of Sports Sciences*, 35, 2017, 968–979

#### 5 . 主な発表論文等

##### 〔雑誌論文〕(計1件)

Takagi Takagi, Murata Munenori, Yokozawa Toshiharu, Shiraki Hitoshi, Dynamics of pelvis rotation about its longitudinal axis during the golf swing, *Sports Biomechanics*, 査読有, 2019  
doi: 10.1080/14763141.2019.1585472

##### 〔学会発表〕(計1件)

Tokio Takagi, Joint motions affecting the energy transfer to the club during the golf swing, The 36th Conference of International Society of Biomechanics in Sports (ISBS2018), 査読あり, Auckland, Newzealand, 2018.9.

##### 〔図書〕(計0件)

##### 〔産業財産権〕

##### ○出願状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年：  
国内外の別：

##### ○取得状況(計0件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
取得年：  
国内外の別：

##### 〔その他〕

ホームページ等

<https://www.jpnsport.go.jp/jiss/>

## 6．研究組織

### (1)研究分担者

研究分担者氏名：

ローマ字氏名：

所属研究機関名：

部局名：

職名：

研究者番号（8桁）：

### (2)研究協力者

研究協力者氏名：

ローマ字氏名：

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。