

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2011～2015

課題番号：23300228

研究課題名(和文) ダイナミックなスポーツ動作における体幹の捻転と軸の役割の究明

研究課題名(英文) Study of Torsional Rotation and Axis of Trunk in Dynamic Sport Motions

研究代表者

深代 千之 (FUKASHIRO, Senshi)

東京大学・総合文化研究科・教授

研究者番号：50181235

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,500,000円

研究成果の概要(和文)：スポーツ動作における体幹の利用や捻転軸の重要性は、これまで多く指摘されているものの、自然科学的に明らかになっているわけではない。そこで、本研究では、体幹の動きの機序を解明する一連の研究を行った。まず、体幹を上胴と下胴の2セグメントモデルに仮定し、立位中の回旋動作における体幹結合部のエネルギー伝播や発生と吸収の機械的仕事を同定した。また、体幹を上胴・中胴と下胴の3セグメントモデルを仮定し、歩行・走行動作で上部と下部体幹結合部の力学的機序を解明した。加えて、ある特定の選手が走・跳・投などの動作で自己パフォーマンスを超えるための身体各関節の発揮トルク・パワーを推定するシミュレーション方法を提案した。

研究成果の概要(英文)：The role of torsional rotation and axis of trunk have not been investigated from a viewpoint of biomechanics during dynamic sport motions, like sprint running, throwing, etc. Then, this study focused the mechanism of trunk motion in human. The 2-segment model which consists of upper and lower trunks was adopted to examine during trunk rotation in standing. In this study, the energy transfer and production/absorption of mechanical work at pin-joint of trunk were analyzed. The 3-segment model which consists of upper, middle and lower trunks was adopted to examine during walking and jogging. The mechanism of trunk was understood during human locomotion. Furthermore, the detail simulation method was developed to estimate the torque/power in each joint of the body, in order to improve the personal performance.

研究分野：スポーツバイオメカニクス

キーワード：スポーツ科学 3次元解析 体幹 回旋軸 捻転トルク

## 1. 研究開始当初の背景

近年、野球やサッカー、陸上・水泳競技、そしてスキー・スケートなどのスポーツで、多くの日本選手が世界の舞台上で活躍している。その大きな理由の一つは、日本のスポーツ科学が結実してきて、従来の芸術としてのコーチングを、科学を基にサポートできるようになってきたからである。中でも、ダイナミックな動作における体幹の活用は、指導者がその重要性を理解して、コーチングに応用して成功を治めている観点である。しかしながら、体幹の使い方や軸といったもの全てが、客観的な研究成果に基づいているわけではなく、間違った概念や指導が為されている場合もある。

身体運動は基本的に「体幹を使って」とか「軸を意識して」などと主観で構築されるが、その結果現れた動作が目的に合致した適切なものであるかどうかは、客観的に評価しなければならない。つまり、身体運動の構築は、感覚と科学、意識と事実、主観と客観、暗黙知と形式知などの対立軸を、両方から見なければならないのである。

スポーツバイオメカニクスは、ここ数十年、コンピュータを中心とした情報 IT 機器の発展に支えられ、なぜ一流スポーツ選手の動作が優れているのかという理由を、エビデンスを基に説明できるようになった。ただ、主な対象動作と解析視点は、上手投げや腕振りのような腕の動作を「手首→肘→肩関節」の順序で解く方法 (Hara ら 2006, 2008, 2008) と、スプリント走や跳躍の踏切のような脚の動作を「足首→膝→股関節」の順序で解く方法 (Fukashiro ら 2006)に限られた。その結果、体幹と四肢をつなぐ肩・股関節の重要性が明らかとなった。すなわち、我々は、これまで次のような視点でダイナミックな身体運動を解明してきた。

①腕動作の解明：垂直跳びの腕ふり動作を「手首→肘→肩関節」の順序で解く逆力学で解明し、腕ふりは下肢の反動効果と同等の役割があることを定量した (Hara, Fukashiro ら 2006, 2008, 2008)。

②脚動作の解明：スプリントの脚動作を「足首→膝→股関節」の順序で解く下肢関節トルクから股関節の重要性を指摘した (Fukashiro 1988, 深代ら 1999, 2004)。

③ダイナミックな身体運動の主働筋の筋

腱複合体の役割を、超音波法やコンピュータシミュレーションで同定した (Fukashiro ら 2006)。

これらの研究成果を基に、モーションキャプチャを用いた動作解析から、リアルタイムで身体の様々な筋張力を推定するモデルを開発してきた。しかしながら、ここで計算された筋張力はいくまで推定であり、どの程度が真の値なのかを別の系、つまり筋電図などを用いて検証しなければならない。そこで、本研究では、これまでに重要と認識されながら、手つかずであった体幹の捻転および軸について検討することとした。

## 2. 研究の目的

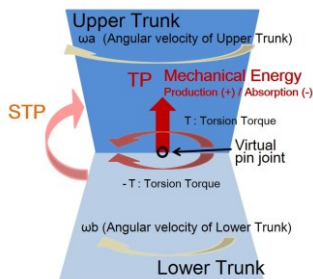
四半世紀前に申請者が国際バイオメカニクス学会 ISB で指摘した「スポーツ動作における体幹の重要性 (Fukashiro, 1988)」は、現在、ダイナミックな運動のパフォーマンスを高める核として一般に認知されるに至った。これによって例えば、北京オリンピック陸上男子 400m リレーの銅メダル獲得のように、日本選手が世界で戦える土台を作った。しかしながら、指導現場における体幹の利用や捻転軸の定義は未だ感覚に基づくものが多く、自然科学的に明らかになっているわけではない。そこで、本研究では、走・跳・投・打・蹴などのダイナミックな体幹の動きを、次の 2 点から客観的に究明することを目的とする。1：逆ダイナミクスを用いて、体幹の捻転トルクと主働筋張力を解析する、2：各動作の肩と骨盤それぞれの回転軸を明らかにする。

## 3. 研究の方法

走・跳・投・打などのダイナミックな身体運動を対象に、モーションキャプチャ・フォースプレートおよび無線筋電計によってデータ取得する。そして、①軸：上胴（体幹の上部）と下胴（体幹の下部）の回転軸を肩および骨盤の回転軸を計算する。②捻転トルク：上胴と下胴の発揮トルクを推定する。③筋張力：トルクを最小にする筋張力を最適化法で推定する。④筋放電：体幹の主働筋の働きを筋電図によって明らかにする。これらの実験手法で出力された結果を、⑤コンピュータシミュレーションで比較検証する。

#### 4. 研究成果

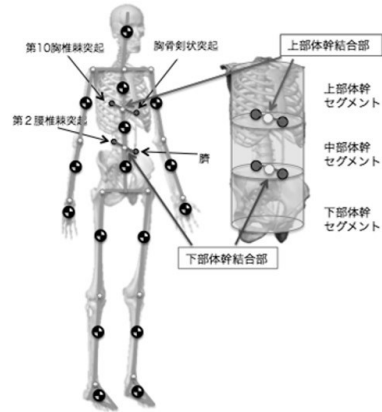
(1) 体幹を上胴と下胴の2セグメントモデルを仮定し、体幹結合部は身体の前面における第十肋骨下端の左右2点の midpoint と、その midpoint と同じ高さの胸椎上の点の2点の midpoint とを仮想の関節とした。実験では、上体の動きを制限するために棒を肩にかついだ状態で、被験者に次の2条件の最大努力の回旋動作を課した。条件1：その場での回旋、条件2：脚の踏み出しによる並進運動を伴った回旋、である。条件2の踏み出しを用いると、条件1の用いない場合に比べて、上胴の角速度と体幹結合部の稔転トルクが増加し、体幹結合部のセグメントトルクパワーつまり下胴が上胴に対して発揮した仕事が増加した。その一方で、体幹結合部が発揮したトルクパワーの正味の仕事は減少した。このように体幹を2セグメントモデルに仮定することによって、体幹稔転の機序が客観的に明らかにすることができた（下図）。



(2) 体幹を胸部部・腹部・骨盤部の3セグメントモデル(体幹内の結合部は2点、下図)を用いて歩行における体幹の動き、特にセグメントの長軸周りの回旋について検討した。その結果、上部と下部体幹結合部とは、それぞれ下方のセグメントが上方のセグメントに対して左脚接地期には左回旋、右脚接地期には右回旋していた。つまり、体幹が下肢の動きに連動して下から順に段階的な回旋を行っていた。また、セグメントそれぞれの回旋角度変化を相互相関分析した結果、下部体幹が下肢に連動して動いているのに対して上部体幹は上肢と連動して動いていた。

逆力学解析の結果、歩行中の体幹は上部・下部体幹結合部の両方で、より上方のセグメントに対して負の仕事を行い、両脚接地期に肩関節および股関節がそれぞれ上部体

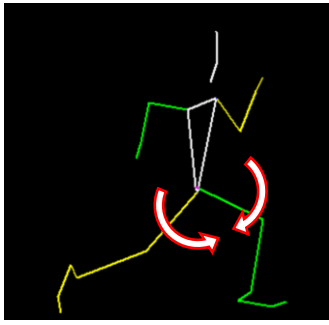
幹、下部体幹に対して正の仕事を行っていた。これらの結果から、歩行中は上肢と下肢の能動的な動きによって体幹が捻られ、体幹は上肢と下肢の動きに連動する下部体幹セグメントと上部体幹セグメントを伸張性に収縮させながら体幹全体の動きを制動していることが考えられた。



(3) 次に、歩行やジョギングといった比較的強度の低い移動運動ではなく、スプリント全力走を対象に、体幹の役割をキネティクスの観点から検討した。対象者は、陸上競技短距離種目を専門とする競技者10名である。被験者に身体分析点47点に直径20mmの反射マーカを貼付し、スタンディングスタートからの50m全力疾走を課した。そして、スタート後の40m地点に埋没したフォースプラットフォームを通過する動作を対象とした。

人体を14関節により連結された15の剛体リンクセグメントモデルとしてモデル化し、各関節は摩擦のないピンジョイントとし、自由度は3とした。本研究では腰仙関節により、体幹を骨盤と脊柱に分割するモデルを採用した。この3次元キネティクス解析により、全力疾走中の骨盤の動態が明らかになった。

(4) さらに、③の実験データを元に、特別に当研究室で開発したシミュレーションを行った。つまり、ある特定の選手が自己パフォーマンスを超えるための具体的な変数を特定するシミュレーションである。具体的には、走・跳・投などの動作を対象に、モーションキャプチャで取得した3次元データの時間軸を変更することにより、目標とする動作スピードを得るための身体各関節の発揮トルク・パワーを推定するというものである。



例えば、100m 走で 10"43 の選手が 10"00 で走るためには、股関節トルクを 40%・パワーを 60%増大させなければならない、と推定できた（上図）。この推定結果は、元々の個人の特徴が反映されるために、個人差が生じる。すなわち、このシミュレーションは特定された個人がどのようにしたら自己パフォーマンスを改善できるかという手法で、個人差を考慮したトレーニング示唆として極めて具体的で、実践的であるといえる。

#### 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕（計 8 件）

- ①Suzuki, T., Chino, K., Fukashiro, S. Gastrocnemius and soleus are selectively activated when adding knee extensor activity to plantar flexion. Hum. Mov. Sci., 36, 35-45, 2014. 「査読の有」
- ②Yoshioka S, Nagano A, Hay DC, Tabata I, Isaka T, Iemitsu M, Fukashiro S. New method of evaluating muscular strength of lower limb using MEMS acceleration and gyro sensors. Journal of Robotics and Mechatronics, Vol.25(1): pp.153-161, 2013.2 「査読の有」
- ③Inaba Y, Yoshioka S, Iida Y, Hay DC, Fukashiro S. A Biomechanical Study of Side Steps at Different Distances. Journal of Applied Biomechanics, 29(3), 336-345, 2013. 「査読の有」
- ④Yoshioka S, Nagano A, Hay DC, Fukashiro S. The minimum required muscle force for a sit-to-stand task. Journal of Biomechanics, Vol.45:pp.699-705, 2012.2 「査読の有」

- ⑤Yoshioka,S., Ueda, K., Morita, Y., Morita,T. Fukashiro, S.: Kinetic features of sliding walk in Nogaku. Journal of Trainology 2012;1:10-13 「査読の有」
- ⑥Inaba Y, Yoshioka S, Iida Y, Hay DC, Fukashiro S.: A Biomechanical Study of Side Steps at Different Distances. J Appl Biomech. 2012 Aug 22. PMID: 22923416 「査読の有」
- ⑦Yoshioka S, Nagano A, Hay DC, Fukashiro S. The effect of bilateral asymmetry of muscle strength on the jumping height of squat jump: a computer simulation study. Journal of Sports Sciences, 29(8): 867-877, 2011.4 「査読の有」
- ⑧Abe, T., Y. Harada, K. Kawamoto and S. Fukashiro: Relationship between body composition and 100-m running time in an elite female sprinter: A 7-year retrospective study. Medicina Sportiva 15(4):201-203, 2011 「査読の有」

〔学会発表〕（計 0 件）

〔図書〕（計 3 件）

- ①深代千之：＜知的＞スポーツのすすめ。東京大学出版会 2012. pp. 208.
- ②深代千之：日本人は 100 メートルを 9 秒台で走れるか。祥伝社, 2014. pp. 168.
- ③深代千之：骨・関節・筋肉の構造と動作のしくみ。ナツメ社, 2014. pp. 258.

〔産業財産権〕

○出願状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

出願年月日：

国内外の別：

○取得状況（計 0 件）

名称：

発明者：

権利者：

種類：

番号：

取得年月日：

国内外の別：

〔その他〕

ホームページ

<http://webpark1227.sakura.ne.jp/>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

深代 千之 (FUKASHIRO Senshi)

東京大学・大学院総合文化研究科・教授

研究者番号：50181235

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし