

平成 22 年 6 月 10 日現在

研究種目：若手研究 (B)  
 研究期間：2008～2009  
 課題番号：20700519  
 研究課題名 (和文) 一流トライアスロン競技者の走動作と下肢筋張力  
 ー形態との関係に着目してー  
 研究課題名 (英文) Running motion and muscle force of the lower leg in elite triathletes.

研究代表者  
 横澤 俊治 (YOKOZAWA TOSHIHARU)  
 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・スポーツ科学研究部・  
 研究員  
 研究者番号：80400670

## 研究成果の概要 (和文)：

トライアスロン世界一流選手と日本選手の走動作と筋張力を比較し、世界一流選手は接地前にハムストリングスの張力を高めるタイミングが早く、支持期の素早い大腿のスイッチングにより勢いよく離地して大きな非支持期距離を得ていたことが明らかになった。また、実験走とレースとの走動作の比較から、トライアスロンにおける疲労は主に支持期にあらわれると考えられた。トライアスロンという陸上競技者とは異なる形態、体力を有する競技でも、持久的な走行における技術には共通点が多いことが裏付けられた。

## 研究成果の概要 (英文)：

This study compared the running motion and muscle force in international elite and Japanese triathletes, and indicated that the international elite triathletes increased the muscle force of hamstrings earlier before the foot contact and swing the thigh faster during the support phase. On the other hand, comparisons the experimental run with the race produced the finding that the fatigue in triathlon seemed to appear mainly during the support phase. We suggested that the techniques of sub-maximal running were similar between triathlon and athletics.

## 交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	800,000	240,000	1,040,000
2009 年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
年度			
総計	1,300,000	390,000	1,690,000

研究分野：スポーツバイオメカニクス

科研費の分科・細目：スポーツ科学・スポーツバイオメカニクス

キーワード：バイオメカニクス、トライアスロン、走動作、下肢筋張力

## 1. 研究開始当初の背景

スポーツにおいて幅広い競技水準にわたってその動作を比較し重要な技術を見出すこ

とは、ジュニアから国内一流までの選手が今後のトレーニングの方向性を検討する際の指針として役立つと考えられる。人にとって

基本的な運動の一つに「走」が挙げられる。これまで陸上競技の国内外の一流選手の技術に関しては多くの研究が報告されており、短距離走では支持期において膝関節の伸展速度を小さくし、脚全体で素早くスウィングさせること、長距離走では回復期において両脚の股関節トルクを素早く立ち上げて両脚間の力学的エネルギーをスムーズに伝達させることなどが重要であると示唆されている (Williams and Cavanagh 1987, 伊藤ら 1998, 榎本ら 1999)。一方、トライアスロン競技は近年注目が高まっている競技の一つであるが、これまで同競技に関する研究は、レースシミュレーションにおける生理学、バイクからランへの移行に関するものがほとんどで (Vito et al. 1995, Guezennec et al. 1996, Millet and Vleck 2000)、最も勝敗を左右するランにおける走動作に関するバイオメカニクスの研究はほとんどない。また、3 種目の総合力が求められることから、陸上競技の長距離走者とは異なる形態的特徴 (身体部分の慣性特性や筋の太さなど) を有していると考えられる。したがってトライアスロン選手の走動作を分析することは、合理的な走動作が形態とどのように関連しているのかを検討するための重要な資料となり、スポーツバイオメカニクス分野における技術に対する見方を広げるものとなる。

## 2. 研究の目的

本研究の目的は、トライアスロン国内一流競技者の走動作および下肢筋張力をバイオメカニクス的に分析し、その特性を明らかにすることである。

この目的を達成するために、まず実際のトライアスロン競技のラン種目における走動作を日本選手と世界一流選手についてキネマティクス、キネティクス、推定筋張力の観点から比較することにより、トライアスロン競技のラン種目特有の走技術を明らかにしようとした。

続いて、トライアスロンジュニア選手、学生選手、国内一流選手の走動作を実験的に分析し、レースとの比較や、競技水準間の比較に着目しながら、走動作に関するトライアスロン競技のバイオメカニクスの特性とその要因を検討した。

## 3. 研究の方法

トライアスロンワールドカップ石垣大会およびワールドチャンピオンシップファイナル (オーストラリア・ゴールドコースト) における男女日本代表選手 14 名および世界一流選手 3 名 (両大会優勝者、五輪優勝者含む) を分析対象とした。高速度 VTR カメラによりランコース (3~4 周の周回コース) を通過する選手を 250Hz、または 300Hz でパンニ

ング撮影した。

身体分析点をデジタル化し、バンニング DLT 法により得られた二次元座標をもとに、下肢キネマティクスおよび下肢関節トルク、パワー、スティッフネスなどのキネティクス変量を算出した。筋張力推定については、身体の三次元座標および関節トルクデータを筋骨格モデルに取り込み、さらに最適化手法によって関節トルクを個々の筋に分配し、筋張力、活性度、収縮速度などを算出した。筋骨格モデルは、筋骨格モデリングソフトウェア SIMM (MusculoGraphics 社製) により構築し、最適化計算については、MATLAB

(MathWorks 社製) を用いてプログラムを作成した。なお、レースの分析では地面反力は計測できないためキネティクスおよび筋張力に関しては回復脚のみ算出した。

実験走については、トライアスロンジュニア選手、学生選手、国内一流選手計 19 名の実験走を側方から撮影し、同時に地面反力を計測した。また、レース時と同様の走速度で実験的に走らせ、その動作を側方から撮影し、レースと実験走における走動作を比較した。なお、実験走と比較するためのレースのデータは上述の大会に加え、日本選手権についても同様の手法で収集した。反射マーカ位置をもとに構築した身体の二次元座標および地面反力データから、下肢キネマティクス、キネティクス (関節トルク、関節スティッフネスなど)、下肢筋群の張力、収縮速度などを算出した。

## 4. 研究成果

男女ともに世界一流競技者は、日本選手と比べて走速度、ステップ長、非支持期距離が大きく、支持時間が小さかった。図 1 は、支

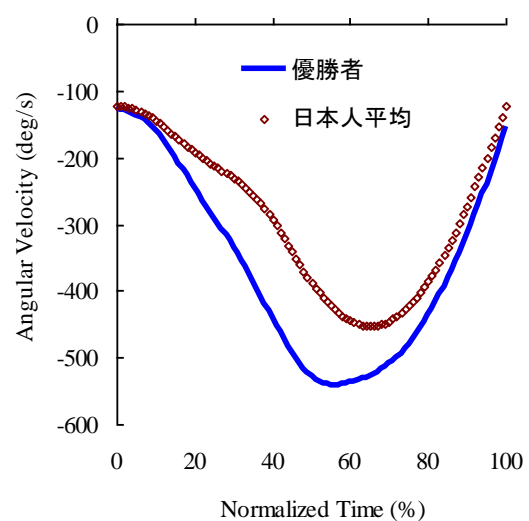


図1 支持期における大腿角速度 (大会優勝者と日本人との比較)

持期における大腿の角速度を女子の国際大会優勝者および同大会の女子日本選手平均について示したものである。負の値は後方へスウィングしていたことを示す。優勝者は、支持期前半から中盤にかけて大腿の後方への角速度が大きかった。男女ともに世界一流競技者は、下腿が鉛直に近い姿勢で接地後、支持期において大腿角速度が大きく、膝関節の屈曲と身体重心の下降が小さかった。回復期では、世界一流選手のほうが股関節伸展トルクによる正仕事と膝関節屈曲トルクによる負仕事が大きかった。

図2は、回復期（対象とする脚の離地から接地まで）におけるハムストリングス（半腱様筋、半膜様筋、大腿二頭筋長頭の和）の筋張力を、女子の国際大会優勝者および同大会の女子日本選手平均について示したものである。筋張力のピーク値には両者に顕著な相違はなかったが、日本選手が接地直前に大きな張力を発揮していたのに対し、優勝者はそれよりも早いタイミングで張力を増加させていた。

以上のことから、世界一流選手の技術の一要素として、接地前に早いタイミングでハムストリングスの活動を高め、股関節伸展と膝関節屈曲を強調して下腿の振り出しを抑制して接地することが挙げられると考えられる。さらに、世界一流選手は、接地後素早い大腿のスウィングにより身体重心の下降を抑えながら、短時間で勢いよく離地して大きな非支持期距離を得ていたことが明らかになった。このような優勝者の走動作は合理的と考えられ、日本選手の動作モデルの一つと成り得よう。世界一流競技者の走動作は陸上競技の長距離走における技術と類似してお

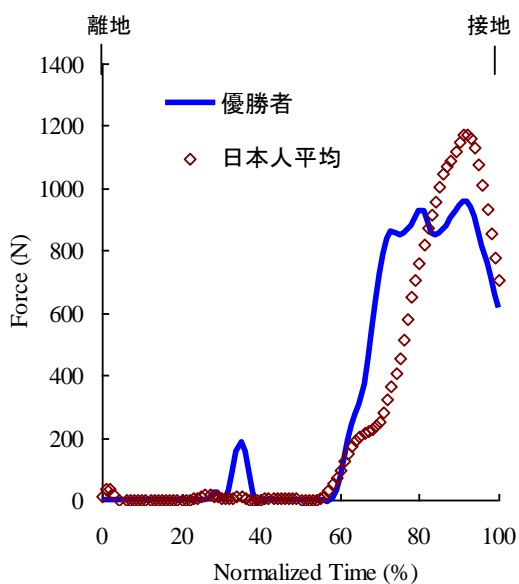


図2 回復期におけるハムストリングスの筋張力  
(大会優勝者と日本人との比較)

り、陸上競技とトライアスロンという形態、体力が異なる競技であっても、持続的な走行における技術には共通点が多いことが裏付けられた。

一方、レースと実験走における走動作の比較の結果、実験走では非支持時間が長く、接地時間が短かったこと、支持期後半の身体重心の上昇が大きかったことが分かった。図3は、接地時と離地時における身体重心の鉛直速度をレースと実験走について比較したものである。実験走では、接地時の下方への速度および離地時の上方への速度が大きく、支持期の鉛直速度の変化が大きかったことを示している。運動量と力積の関係から、実験走は接地時間が短かったにもかかわらず鉛直の力積が大きかったと推察されよう。さらに、実験走はレースと比較して、支持期後半の股関節および膝関節の伸展速度が大きかったこと、接地前の股関節伸展トルクによる正パワーが小さかったことが分かった。

実験走において競技水準と走動作の関係をみてみると、レース同様、競技水準が高く、ランの記録が良い選手では、接地前に股関節伸展筋群と膝関節屈曲筋群の活動が強調されていたこと、支持期において大腿の角速度が大きいことなどが明らかになった。

以上のことからトライアスロンにおける疲労は主に支持期にあらわれ、レースになると接地時に身体を受け止めて上前方へ脚を伸展させる動作ができなくなると考えられる。また、疲労がない時なら世界一流選手の走動作に近くなるとも言えず、普段から技術的課題を有していることが明らかになった。しかし、疲労をとまなっていない実験走においても走技術としてはレースと著しく異なるものではなく、形態、体力が長距離走選手と異なるトライアスロン選手においても、高

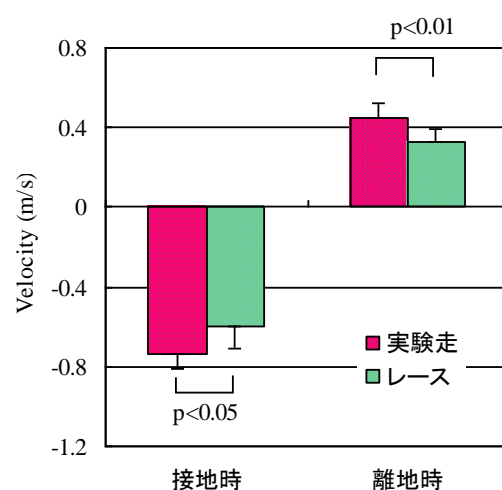


図3 接地時および離地時の身体重心鉛直速度  
(実験走とレースとの比較)

い走速度を得るための技術や筋活動には共通点が多いことが示唆された。

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計3件)

- ①横澤俊治、本間俊行、池田祐介、高松潤二、  
世界一流女子トライアスリートの走動作の  
バイオメカニクスの特徴、トレーニング  
科学、査読有、21巻、2009、389-397
- ②横澤俊治、榎本靖士、長距離走—世界一流  
選手の走動作の特性—、体育の科学、査読  
無、58巻、2008、765-769
- ③横澤俊治、筋骨格モデルを用いた長距離走  
における下肢筋活動の分析、陸上競技研究、  
査読無、74巻、2008、2-10

[学会発表] (計1件)

- ①横澤俊治、本間俊行、松林武生、高松潤二、  
トライアスロン競技者のレースと実験走  
における走動作の比較、第60回日本体育  
学会大会、2009年8月28日、広島大学

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

横澤 俊治 (YOKOZAWA TOSHIHARU)  
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・スポーツ科学  
研究部・研究員  
研究者番号：80400670

### (2) 研究分担者

( )  
研究者番号：

### (3) 連携研究者

本間 俊行 (HOMMA TOSHIYUKI)  
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・スポーツ科学  
研究部・研究員  
研究者番号：90392703