

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 7 日現在

機関番号：34315

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2015～2016

課題番号：15H06396

研究課題名(和文) 様々なスポーツ選手の疾走における加速能力の評価に関する研究

研究課題名(英文) Evaluation of sprint acceleration ability in various sports

研究代表者

篠原 康男 (SHINOHARA, Yasuo)

立命館大学・共通教育推進機構・嘱託講師

研究者番号：50755535

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,800,000円

研究成果の概要(和文)：これまで、疾走能力については、疾走中の最高速度を用いて評価されてきた。しかし、最高速度に至るまでの加速の仕方やその能力について、客観的に評価することは難しい。本研究では、疾走速度変化を数式化することにより、疾走における加速能力を評価する手法を提案した。そして、加速能力と疾走能力の関係や、競技特性の異なるスポーツ種目における加速の特徴について検討を行った。本研究で得られた結果は、加速の仕方によって、数式の係数の値は異なることを示していた。したがって、疾走速度変化を数式化することにより、個々の選手やスポーツ種目ごとの疾走の特徴を評価・検討することが可能なものと考えられた。

研究成果の概要(英文)：The sprint running ability has been evaluated using the maximum running speed. However, it is difficult to evaluate how to accelerate to the maximum speed. We proposed a method for evaluating sprint acceleration ability by approximating the changes in running speed using the exponential equations. And, we examined the relationship between sprint acceleration ability and sprint running ability by using this method. Furthermore, we investigated the acceleration characteristics in different sports. Our results showed that the values of the coefficients of the exponential equations were different depending on the patterns of acceleration. Therefore, it is possible to evaluate and examine the characteristics of the sprint acceleration characteristics of each athlete and sports by approximating the changes in running speed using the exponential equations.

研究分野：スポーツ科学

キーワード：スポーツ科学 疾走速度変化 理論式 最高速度 加速 疾走

1. 研究開始当初の背景

走運動は人間の基本運動の1つであり、これまでに様々な観点から研究が行われてきた。中でも、疾走速度に関する研究は古くから行われてきており、疾走能力の分析には欠かせない視点となっている (Marey, 1895; Furusawa et al., 1927; 猪飼ほか, 1963)。特に、陸上競技の短距離走などの競走種目においては、レース中の疾走速度変化から一流競技者のレースパターンやその特性に関する検討が数多く行われてきた (阿江, 1994)。中でも、レース中の最高速度はゴールタイムと有意な強い負の相関関係にあることが報告されており (松尾ほか, 2010)、出し得る最高速度の大きさをを用いて、疾走能力の発達や向上に関する研究が取り組まれている (宮丸, 2001)。しかし、疾走は静止した状態から始まるため、最高速度に達するまでの疾走速度変化、つまり、疾走速度の漸増方法としての加速方法も疾走能力を検討する上で、不可欠な要因であると言える。その一方で、加速の仕方や加速能力について、定量的な評価を試みた研究はほとんどない。これは、疾走能力が最高速度の大きさによって能力の高低を評価することが可能であるのに対し、加速能力は疾走速度がゼロの状態から最高速度へと変化する一部始終を対象としているため、定量的な数量に置き換えることが困難であったことが挙げられる (図1)。

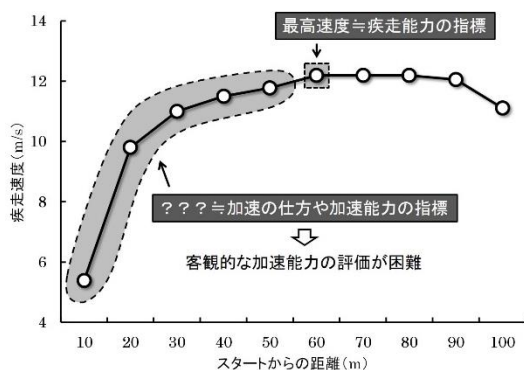


図1 疾走速度変化の検討に関する観点

この加速の特性について、Furusawa et al. (1927) は疾走速度の時間変化を表す理論式を立て、疾走速度変化全体を数式化することにより分析を試みている。また、この理論式中の a は時定数とされ、疾走速度変化の立ち上がりに影響し、個人によって大小の差異があるとされている (猪飼ほか, 1963)。したがって、この a の値は、走者の加速の仕方や能力を表す可能性がある。しかし、この理論式を用いた加速に関する検討は、猪飼ほか (1963) の報告以降、 a の値の大きさではなく最高速度の 63% に到達するまでの距離を報告 (高橋ほか, 2013) しているに過ぎない。また、疾走速度変化を数式化する際の理論式は Furusawa et al. (1927) 以外にも報告されているが (Prendergast, 2001; Morin et al., 2006)、各理論式の特徴を比較検討したもの

はみられていない。疾走速度変化を数式化することで、疾走速度の推移を数式や式中の係数によって表すことが可能となれば、疾走速度全体を定量的に評価することができる。したがって、疾走速度変化の数式化に関して、用いる理論式の妥当性を比較検討することで、選手の加速能力を評価するための有益な知見が得られると考えられる。

2. 研究の目的

本研究の目的は、疾走における加速能力を定量的に評価する手法を確立することである。本研究では、静止状態から最高速度に至るまでの疾走速度変化を用いて、(1) 疾走における加速能力の評価手法を提案し、その妥当性の検証を行った後【実験1, 実験2, 実験3】、(2) 加速能力と疾走能力の関係や、競技特性の異なるスポーツ種目における加速の特徴を明らかにする【実験4】。

3. 研究の方法

【実験1】

被験者は学生短距離選手 15 名とし、静止状態からの最大努力での 70m 走を行わせた。疾走速度の測定にはレーザー式速度測定器 (LDM301S; JENOPTIK 社製) を用いて 100Hz で測定した。測定により得られたデータは、バターワース型ローパスデジタルフィルタを用いて 1.0Hz で平滑化した。得られた時間-速度変化データを用いて、Furusawa et al. (1927) の理論式を参考に、速度の立ち上がりを示す指標である時定数 a 、最高速度、疾走タイム、最高速度の到達時刻、疾走中の体重あたりの力およびパワーを算出した。

【実験2】

被験者は学生短距離選手 13 名とし、静止状態からの 100m 走を行わせた。各試技において、被験者が疾走を開始してから終了するまでの被験者の疾走速度を測定した。疾走速度の測定には、レーザー式速度測定器 (LDM301S; JENOPTIK 社製) を用いて 100Hz で測定した。測定により得られたデータは、バターワース型ローパスデジタルフィルタを用いて 1.0Hz で平滑化した。実測した疾走速度変化を用いて、理論式の異なる 5 つの評価手法により数式化した。

各評価手法で提案されている数式は、以下に示すとおりである。大別すると、静止した状態から疾走を開始し、最高速度に至るまでの範囲を数式化したもの (1: Furusawa et al., 1927) と、静止した状態から疾走を開始し、最高速度に至った後、疾走を終えるまでの疾走の一部始終を数式化したもの (2: Volkov and Lapin, 1979), (3: Morin et al., 2006), (4: Prendergast, 2001), (5, 6: Saito et al., 2008) の 2 種類に分けることができる。

$$V(t) = V_{\max} (1 - e^{-t/a}) \quad (1)$$

$$V(t) = V_0 (e^{-k_2 t} - e^{-k_1 t}) \quad (2)$$

$$V(t) = V_{\max} \left[e^{(-t+t_{\max})/\tau_2} - e^{(-t/\tau_1)} \right] \quad (3)$$

$$V(t) = A(1 - e^{-kt}) + F(1 - e^{-lt}) \quad (4)$$

$$V_a(t) = A(1 - e^{-kt}) \quad (5)$$

$$V_d(t) = A + F(1 - e^{l(t-t_{\max})}) \quad (6)$$

実測した疾走速度変化を各評価手法で数式化した後、実測値との差異を検討するために、実測値との差の2乗和について、疾走を開始してから最高速度に至るまで（以下、加速局面）と、最高速度に至ってから疾走を終えるまで（以下、減速局面）に分けて算出した。各評価手法間の差異の比較には、対応のある一元配置分散分析を用いた。多重比較検定には Bonferroni 法を用いて、有意水準は 5%未満とした。

【実験 3】

男子短距離選手 7 名に、(1) 疾走を開始した直後からできるだけ早く最高速度に達するように加速する疾走試技 (AC_{inst}) と (2) 試合における 100m 走を意識した加速を行う疾走試技 (AC₁₀₀) の加速が異なる 2 種類の疾走試技を行わせた。疾走速度の測定には、レーザー式速度測定器 (LDM301S; JENOPTIK 社製) を用いて 100Hz で測定した。測定により得られたデータは、バタワース型ローパスデジタルフィルタを用いて 1.0Hz で平滑化した。実測した疾走速度変化を、Saito et al. (2008) の手法を参考に数式化した。数式化した後、算出した最高速度や疾走開始直後の加速度、数式中の係数について、試技間の差異を対応のある t 検定により比較した。なお、有意水準は 5%未満とした。

【実験 4】

学生短距離選手 6 名および学生サッカー選手 6 名に、静止した状態からの最大努力での 70m 走を行わせ、疾走中の速度変化についてレーザー式速度測定器 (LDM301S; JENOPTIK 社製) を用いて測定した。測定により得られたデータは、バタワース型ローパスデジタルフィルタを用いて 1.0Hz で平滑化した。得られた時間-速度変化データを用いて、Saito et al. (2008) の手法を参考に、疾走速度変化の数式化を行った。その後、数式に含まれる係数の値から、先行研究を参考に、理論上の最高速度と疾走開始直後の最高加速度を算出した。短距離選手とサッカー選手の比較には、対応のある t 検定を用いた。なお、有意水準は 5%未満とした。

4. 研究成果

【実験 1】

分析の結果、個々人で時定数 a の値は異なっていた (図 2 左)。また、時定数 a と最高速度の間には有意な正の相関関係が認められた (r=0.631, p<0.05)。このことを踏まえ、最

高速度が同程度であっても時定数 a の値が異なる選手間や、時定数 a の値が同程度であっても最高速度が異なる選手間に着目したところ、疾走中の速度、力、パワーの時間変化はいずれも異なっていた (図 2 右)。したがって、時定数 a の値と最高速度の関係をみることは、個々人の疾走速度変化の特徴やスタート初期の速度の立ち上がり进行评估の際に有用な可能性があるものと考えられた。

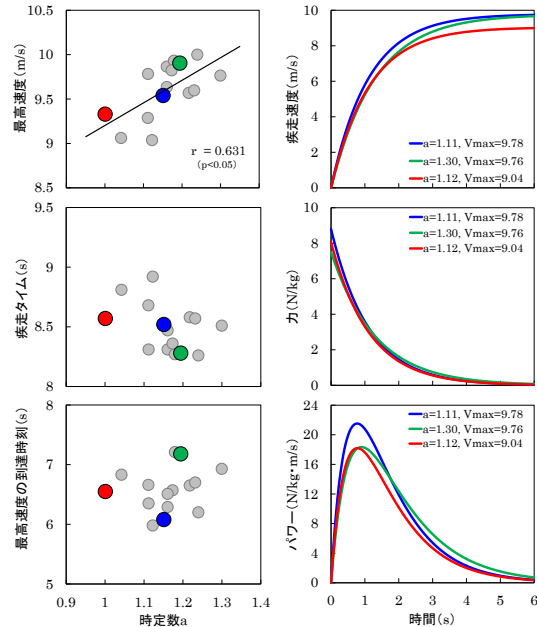


図 2 時定数 a と最高速度、疾走タイム、最高速度の到達時刻の関係 (左) および、時定数 a と最高速度が異なる被験者の疾走速度、力、パワーの時間変化 (右)

【実験 2】

図 3 は各評価手法を用いて実測した疾走速度変化を数式化したものである。図 4 と図 5 は、100m 走における実測した疾走速度変化と数式化した疾走速度変化の差の 2 乗和について、加速局面と減速局面に分けて比較したものである。図 4 をみると、加速局面において、数式 (1) と数式 (2) および数式 (3) の間、数式 (2) と数式 (5, 6) の間、数式 (3) と数式 (4) および数式 (5, 6) の間には有意な差が認められた。一方、図 5 をみると、減速局面においては、評価手法によって差がほとんどみられなかったものの、数式 (2) と数式 (5, 6) の間には有意な差が認められた。また、加速局面および減速局面の両方で、最も実測値との差の 2 乗和が小さかったのは、数式 (5, 6) であった。これらの結果には、数式 (5, 6) を用いた評価手法が、他の手法と比べて、最高速度に至るまでと、最高速度に到達して以降とで数式を別にして検討していることが影響しているものと推察される。しかし、数式 (5, 6) を用いた評価手法では、最高速度の出現地点での数式 (5) から (6) への移行において、値が連続したものとなっておらず実態に即していないことが問題点と

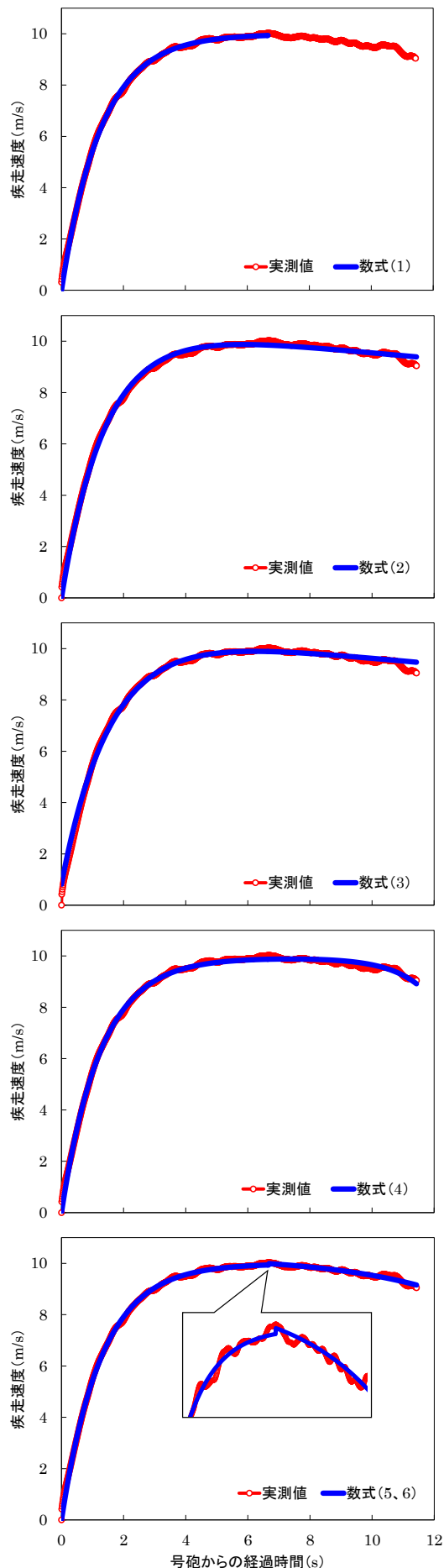


図 3 実測値と数式化した疾走速度変化の例

して挙げられる (図 3)。そのため、疾走全体を数式化の際に、より実測値との一致度を高めるには、数式 (6) を数式 (7) のように修正する必要があると考えられる。

$$V_d(t) = A(1 - e^{-kt_{\max}}) + F(1 - e^{l(t-t_{\max})}) \quad (7)$$

一方、疾走速度変化における加速局面のみを数式化の際には、数式 (1) も数式 (5) と同様に実測値との差の 2 乗和が小さかったことから、数式 (1) を用いての評価も可能であるといえる。

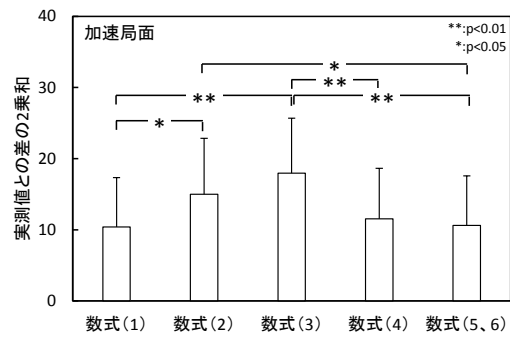


図 4 実測値と数式化した疾走速度変化の差異 (加速局面)

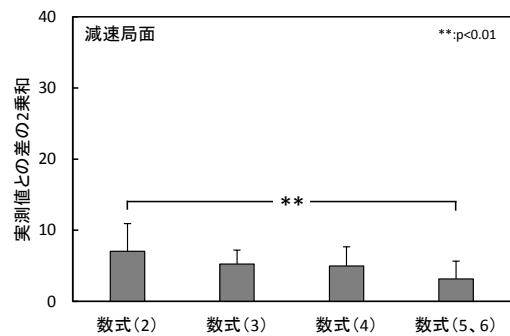


図 5 実測値と数式化した疾走速度変化の差異 (減速局面)

【実験 3】

図 6 は、 AC_{inst} と AC_{100} における疾走速度と加速度の時間変化の平均パターンを示したものである。また、表 1 は AC_{inst} と AC_{100} における各分析項目を比較したものである。 AC_{100} は AC_{inst} に比べて、疾走中に達する最高速度の限界値 (数式中の A) が有意に高かった。一方、加速の定数 (数式中の k) は、 AC_{inst} の方が AC_{100} に比べて値が大きく、疾走開始直後の加速度も AC_{inst} の方が AC_{100} に比べて有意に大きかった。加速の定数 k は、値が大きいほど急峻な加速となるとされており、 AC_{inst} の方が AC_{100} に比べて速度の立ち上がりが急であったといえる (図 6)。これらの結果は、加速の意図によって疾走速度変化が影響されることを示している。

【実験 4】

短距離選手はサッカー選手に比べて、理論上の最高速度は有意に高かったものの (図 7)、疾走開始直後の最高加速度は両者の間で有意な差はみられなかった (図 8)。また、理論上の最高速度と疾走開始直後の最高加速度の関

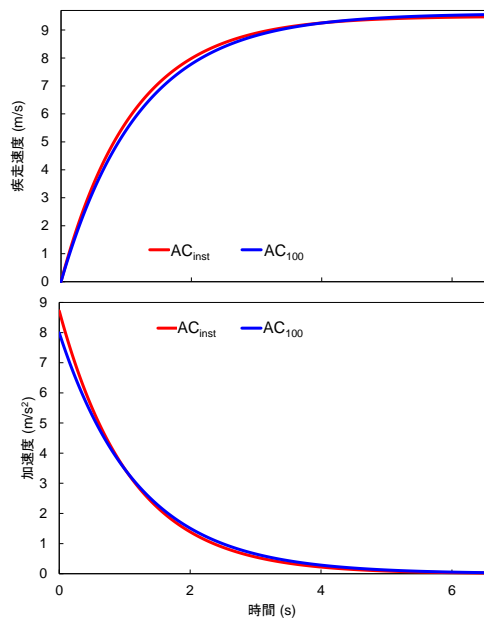


図 6 AC_{inst}とAC₁₀₀における疾走速度(上)と加速度(下)の時間変化の平均パターン

表 1 AC_{inst}とAC₁₀₀の比較

	最高速度 (m/s)		最高速度の出現時刻 (s)		A		k		疾走開始直後の加速度 (m/s ²)	
	AC _{inst}	AC ₁₀₀	AC _{inst}	AC ₁₀₀	AC _{inst}	AC ₁₀₀	AC _{inst}	AC ₁₀₀	AC _{inst}	AC ₁₀₀
被験者 1	9.87	9.98	6.29	6.43	9.78	9.87	0.88	0.86	8.65	8.46
被験者 2	9.93	10.02	7.21	6.67	9.86	9.99	0.87	0.79	8.54	7.85
被験者 3	9.82	9.80	6.57	6.72	9.58	9.74	0.92	0.79	8.84	7.70
被験者 4	9.57	9.64	6.65	6.62	9.45	9.60	0.92	0.79	8.05	7.33
被験者 5	9.33	9.42	6.55	6.88	9.18	9.25	0.85	0.76	9.65	9.16
被験者 6	9.60	9.55	6.70	6.95	9.49	9.48	1.05	0.99	7.96	7.36
被験者 7	9.06	9.29	6.83	7.04	8.95	9.06	0.84	0.78	8.94	8.33
平均値	9.60	9.67	6.69	6.76	9.47	9.57	0.92	0.84	8.66	8.02
標準偏差	0.31	0.28	0.28	0.21	0.32	0.33	0.08	0.09	0.57	0.66
比較	n.s.		n.s.		AC _{inst} < AC ₁₀₀ *		AC _{inst} > AC ₁₀₀ *		AC _{inst} > AC ₁₀₀ *	

*: p<0.05, n.s.: no significant

係を検討した結果、有意な相関関係はみられなかった(図9)。これらのことから、短距離走に取り組んでいる選手はサッカー選手に比べて、疾走開始後により高い速度まで加速し、疾走する能力を有していると考えられた(図10)。一方、サッカー選手は短距離選手に比べて、出し得る最高速度は低いものの、静止した状態から速度を立ち上げる能力に短距離選手と大きな差があるわけではないものと推察された。

【実験 1, 実験 2, 実験 3】および【実験 4】のまとめ

本研究をまとめると、疾走速度変化を数式化することにより、得られた係数の値や最高速度との関係から、個々の選手やスポーツ種目ごとの疾走の特徴を評価・検討することが可能なものと考えられた。しかし、実測した疾走速度変化を数式化する際には、実測値との差が小さくなるようにするだけでなく、実態に即した形となるように数式化する必要があることが示された。

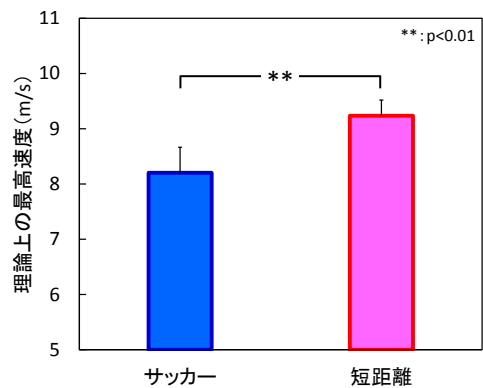


図 7 短距離選手とサッカー選手の理論上の最高速度

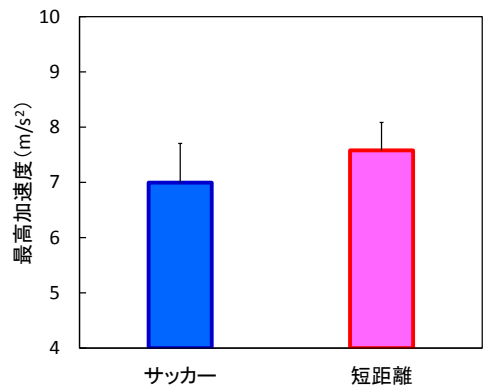


図 8 短距離選手とサッカー選手の疾走開始直後の最高加速度

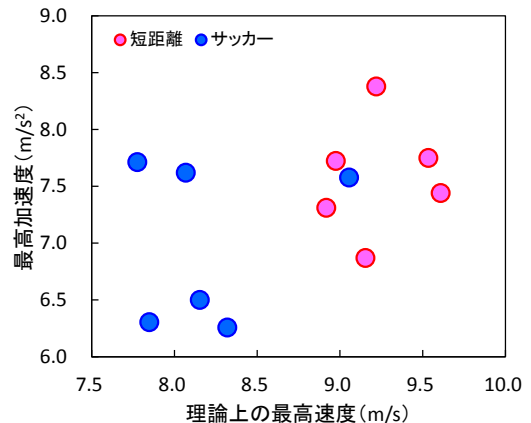


図 9 理論上の最高速度と疾走開始直後の最高加速度の関係

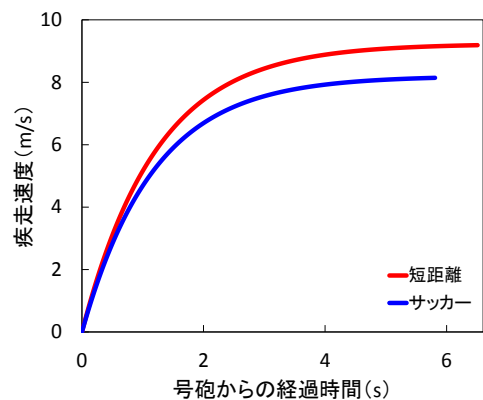


図 10 短距離選手とサッカー選手の疾走速度変化の平均モデル

5. 主な発表論文等

[学会発表] (計 5 件)

- ①篠原 康男、前田 正登、100m 走におけるレースパターンの定量的評価に関する検討、日本陸上競技学会第 15 回大会、2016.12.17、環太平洋大学 (岡山県・岡山市)
- ②篠原 康男、前田 正登、疾走速度変化に着目した競技種目の特性に関する検討、第 29 回日本トレーニング科学会大会、2016.10.30、横浜桐蔭大学 (神奈川県・横浜市)
- ③篠原 康男、前田 正登、疾走速度変化の定量的評価に関する検討、第 24 回日本バイオメカニクス学会、2016.9.14、立命館大学 (滋賀県・草津市)
- ④Yasuo SHINOHARA、Masato MAEDA、Sprint runners' intentions during acceleration and changes in their running speed、ISBS2016、2016.7.19、Tsukuba University (Ibaraki, Japan)
- ⑤篠原 康男、前田 正登、疾走速度変化の評価に関する再検討、第 28 回日本トレーニング科学会大会、2015.11.15、鹿屋体育大学 (鹿児島県・鹿屋市)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

篠原 康男 (Shinohara, Yasuo)

立命館大学・共通教育推進機構・嘱託講師

研究者番号：50755535

(2) 研究協力者

前田 正登 (Maeda, Masato)

神戸大学・大学院人間発達環境学研究科・教授

研究者番号：90209388