

桐生祥秀選手が 10 秒の壁を突破するまでの 100 m レースパターンの変遷

小林海¹⁾ 大沼勇人²⁾ 高橋恭平³⁾ 松林武生²⁾ 広川龍太郎⁴⁾ 松尾彰文⁵⁾

杉田正明⁶⁾ 土江寛裕⁷⁾

- 1) 東京経済大学 2) 国立スポーツ科学センター 3) 熊本高等専門学校
4) 東海大学 5) 鹿屋体育大学 6) 日本体育大学 7) 東洋大学

100-m race patterns of Yoshihide Kiryu in his history attaining 9.98 seconds

Kai Kobayashi¹⁾ Hayato Ohnuma²⁾ Kyohei Takahashi³⁾ Takeo Matsubayashi²⁾ Ryotaro Hirokawa⁴⁾
Akifumi Matsuo⁵⁾ Masaaki Sugita⁶⁾ Hiroyasu Tsuchie⁷⁾

- 1) Tokyo Keizai University
2) Japan Institute of Sports Sciences
3) National Institute of Technology, Kumamoto College
4) Tokai University
5) National Institute of Fitness and Sports in Kanoya
6) Nippon Sport Science University
7) Toyo University

Abstracts

The purpose of this study was to investigate time-course change of the sprint kinematics about Yoshihide Kiryu who marked a new Japanese national record (9.98s) in 2017. Three to seven high-speed digital video cameras were placed at multiple positions overlooking the home straight to record 10 m splits analysis data. The cameras recorded at between 60 and 240 Hz with all sprinters filmed from a range of different angles. We calculated in each 10m split time, running velocity, step frequency, and step length from the passing times of the ground marks and the timing of the footmarks in each camera. Reviewing Kiryu's race patterns from the time he set his new national record suggests that he exhibit consistent step frequency and increasing step length and therefore he could achieve high running velocities in the middle and late phase of the race.

1. はじめに

2017年9月9日、福井で行われた天皇賜盃第86回日本学生陸上競技対校選手権大会（全日本インカレ）の男子100m決勝において、桐生祥秀選手（東洋大）が日本人ではじめて10秒の壁を破り、9.98秒（+1.8 m/秒）を記録した。これまでに、桐生選手は2013年の織田幹雄記念国際陸上競技大会（織田記念）予選において10.01秒（+0.9 m/秒）、2016年の日本学生陸上競技個人選手権準決勝において10.01秒（+1.8 m/秒）をそれぞれ記録しており、約4年間で0.03秒の記録を短縮したことになる。

これまでに、100 m走を含む短距離走について

は、走速度やピッチ、ストライドに関する研究は数多くなされてきた（Hommel 2012, 松尾ら 2016, Slawinski 2017など）。しかし、桐生選手のような日本代表レベルの100 mの記録向上に伴うキネマティクスの経年変化について検討した報告は少ない。複数年のレース分析結果を比較し、記録向上に資するキネマティクスの特徴を明らかにすることは、今後、日本の多くの短距離選手やその指導者が記録を向上させるための走法や指導方法を検討する上で有用な情報になると考えられる。

日本陸連科学委員会では、国内の主要レース（日本陸上競技選手権大会〔日本選手権〕や織田記念など）および国際大会（オリンピック競技大会〔オリ

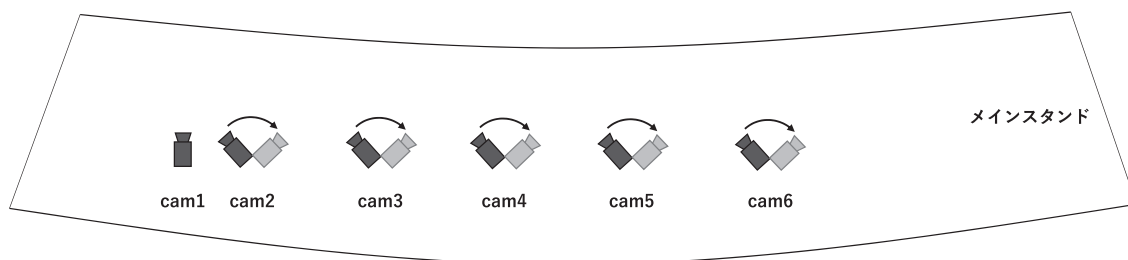
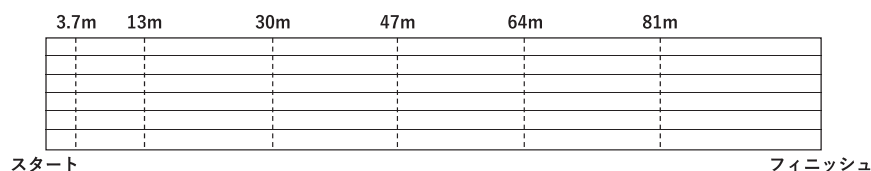


図1 100 m 走測定レイアウトの代表例

ンピック] や世界陸上競技選手権大会 [世界選手権] など) における 100 m のレースについて、ハイスピードデジタルビデオカメラで取得したレース映像やレーザー式位置測定装置で得られた位置情報をもとに、走速度およびピッチ、ストライドを分析してきた。これらのデータの中から、2013 年から 2017 年にかけて桐生選手のレースパターンの変化について検討した。

2. 方法

2-1. 分析対象レース

これまでに、日本陸上競技連盟科学委員会が測定、分析したレースのうち、全日本インカレを含め、各年の主要大会の 100 m レースを分析の対象とした。分析対象レースは以下の通りである。

2013 年

- ・第 47 回織田記念 予選 (10.01 秒, 風 +0.9 m/ 秒)

2014 年

- ・第 48 回織田記念 予選 (10.10 秒, 風 +2.0 m/ 秒)

2016 年

- ・布勢スプリント 2016 決勝 (10.09 秒, 風 -0.5 m/ 秒)
- ・第 31 回リオデジャネイロオリンピック競技大会 (リオデジャネイロオリンピック) 予選 (10.23 秒, 風 -0.4 m/ 秒)

2017 年

- ・第 51 回織田記念 A 決勝 (10.04 秒, 風 -0.3 m/ 秒)
- ・全日本インカレ 決勝 (9.98 秒, 風 +1.8 m/ 秒)

2-2. 測定方法

100 m 走の撮影には主に 5-7 台のハイスピードデ

ジタルビデオカメラ (240 または 300 Hz) を用い、各校正点 (110 m ハードル 1 台目, 100 m ハードル 1, 3, 5, 7, 9 台目のグラウンドマーク) が画角に収まるようにそれぞれのカメラをスタンドに配置した。上記の大会は撮影者の人数や撮影可能な位置がそれぞれ異なり、特に世界大会 (オリンピックや世界選手権) は撮影スタッフの人数やスタンド内の撮影位置に制限があったため、各レースにおける撮影人数や撮影可能な位置を考慮し、撮影位置が 100 m 内である程度等間隔になるように配慮しレース映像を取得した (図 1)。測定はスタート時のスターターの閃光を撮影した後、全選手がフィニッシュラインを通過するまでパニング方式でレース映像を撮影した。2017 年全日本インカレの男子 100 m については、3 台のデジタルビデオカメラ (10 m, 30 m, 60 m 地点 [60 Hz]) および 1 台のハイスピードデジタルビデオカメラ (90 m 地点 [120 Hz]) の映像を分析に用いた。

2013 年および 2014 年の走速度測定にはレーザー式位置計測装置 (LAVEG) を用いた。同装置による測定は選手の後方より選手にレーザーを照射し、スタートからフィニッシュまでの移動距離を 100 Hz で測定した。併せて、2 台のハイスピードデジタルビデオカメラ (240 または 300 Hz) をスタンド側方と前方に設置し、各ステップの足跡を測定した。

2-3. 分析方法

映像分析には動画再生および編集ソフト (QuickTimePro7, Apple, USA) を用い、いずれのレースにおいてもスターターの閃光をゼロとして、各校正点をトルソーが通過したトルソーが通過したフレーム数とカメラのサンプリングレート (Hz) の逆数との積から走速度を求めた。その後、先行研究

表1 2013年から2017年の上位3レースのタイム, およびその平均値と標準偏差

年	シーズンベスト [秒]			平均値±標準偏差 [秒]
	1st	2nd	3rd	
2013	10.01	10.17	10.19	10.12 ± 0.10
2014	10.05	10.10	10.15	10.10 ± 0.05
2015	10.09	10.19	10.19	10.16 ± 0.06
2016	10.01	10.08	10.09	10.06 ± 0.04
2017	9.98	10.04	10.04	10.02 ± 0.03

表2 2017年全日本インカレにおける各10mのスプリットタイムとラップタイム

	10m	20m	30m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m
10m スプリットタイム [秒]	1.85	2.92	3.87	4.77	5.64	6.50	7.36	8.22	9.09	9.98
10m ラップタイム [秒]	1.85	1.06	0.95	0.90	0.87	0.86	0.86	0.86	0.87	0.89

表3 2013年織田記念から2017年全日本インカレの最高走速度, 最高走速度発現地点, 走速度低下率, および最高走速度発現区間のピッチとストライドの経年変化

分析対象レース (年)	最高走速度 [m/秒]	最高走速度発現区間 [m]	走速度低下率 [%]	ピッチ [steps/秒]	ストライド [m]
織田記念 (2013)	11.64	50-60	9.8	4.97	2.34
織田記念 (2014)	11.51	60-70	4.9	5.09	2.26
布勢スプリント (2016)	11.38	40-50	5.3	5.05	2.25
リオ五輪 (2016)	11.20	50-60	5.0	4.97	2.25
織田記念 (2017)	11.42	50-60	3.8	4.99	2.29
全日本インカレ (2017)	11.67	60-70	3.7	4.97	2.34

(松尾ら 2011) をもとに, 各地点の通過時間をスプライン補間によって内挿することで, レース全体の時間-距離情報を取得し, 求めた通過時間と通過地点との比から10m区間ごとの走速度, 最高走速度発現区間, および走速度低下率を算出した. また, 通過フレーム数を求めた映像から, 4ステップごとの接地時のフレーム数を求め, 4ステップに要した時間の逆数により, 4ステップごとのピッチを算出した. 上記で算出した走速度をピッチで除すことで, ストライドを算出した.

レーザー式位置計測装置による測定では, 得られた位置情報から走速度を算出し, 映像分析度同様の方法で10m区間ごとの走速度, 最高走速度発現区間, 走速度低下率をそれぞれ算出した(松尾ら 2014, 松尾ら 2016). 得られた走速度データをもとに, 上記と同一の方法で10m区間ごとのピッチとストライドを求めた.

3. 結果および考察

表1には2013年から2017年までの各シーズンの中で最も100mタイムが良かった3レースのタイム,

および平均値と標準偏差を示したものである. 2017年シーズンはその他のシーズンと比較して, 3レースの平均値が低く(タイムが良い), 標準偏差も小さかったことから, 経年に伴い年間を通して100mの記録が向上していたことがわかる. 特に, 2017年シーズンの標準偏差が過去5年で最も小さかったことから, 2017年は安定して10秒0台で走ることができており, このことが10秒の壁を突破することができた要因の1つだと考えられる.

分析対象レースの10m区間ごとの走速度の変化(図2上図, 表2)をみると, 前半30mまでの走速度は9.98秒を記録した全日本インカレよりも, これまでのレースの方が高いことがわかる. 一方, レース後半の走速度は全日本インカレが最も高く, 高い走速度をフィニッシュまで維持できていた. 走速度の低下率をみても, 全日本インカレが他のレースと比較しても最も小さかった(表3)ことから, これらのことが9秒台でのフィニッシュを可能にした要因であるといえる. 全日本インカレと2017年の織田記念とを比較すると, 最高走速度に0.25m/秒の違いがみられ, また, 最高走速度発現区間も全日本インカレの方が後半(60-70m区間)で発現してい

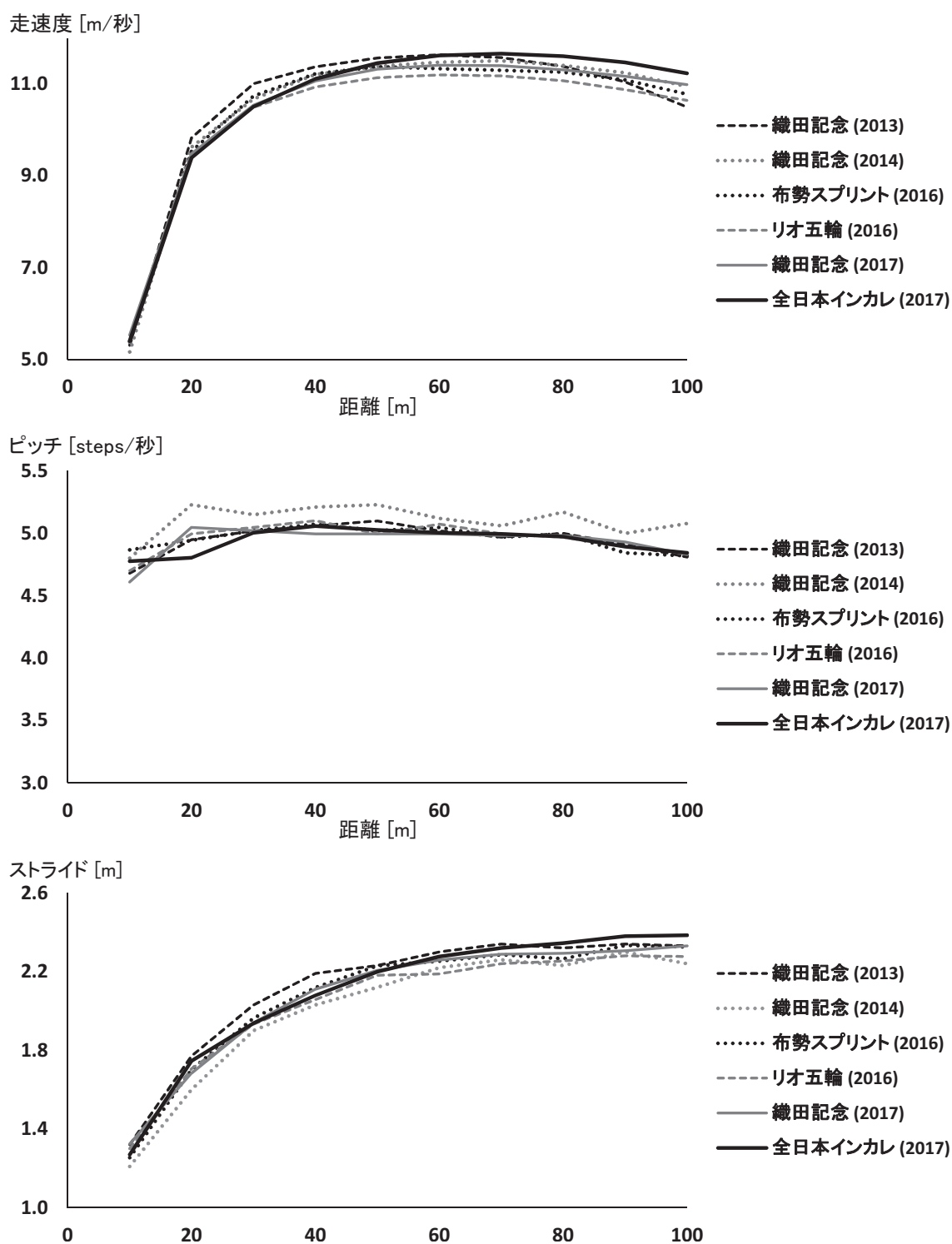


図2 2013年織田記念から2017年全日本インカレの走速度（上図），ピッチ（中図），およびストライド（下図）の比較

た．高い走速度は100 mのフィニッシュタイムを短縮するうえで不可欠な要素である一方で（松尾ら 2014, 松尾ら 2016 など），2013年の織田記念のように前半で高い走速度で疾走することで走速度の低下率も増加させる可能性も増大する．さらに，全日本インカレの最高走速度はレース後半に発現したことで，走速度が大きく低下することなくフィニッシュを迎えたと考えられる．オリンピックや世界選

手権といった国際大会の決勝では60m以降に最高走速度が発現する選手も多く（Hommel 2012, 松尾ら 2014, 松尾ら 2016, Watts et al. 2011 など），全日本インカレの走速度変化パターンは海外の選手と類似した傾向にあったといえる．総じて，全日本インカレにおいて高い走速度の獲得とレース後半の走速度の低下率の抑制を両立できたことが，はじめての9秒台の樹立につながったと考えられる．

短距離走におけるレースでは、レース中の風向きや風速がレース結果に少なからず影響する。現状では、風速の影響を除外した疾走中のキネマティクスに関する分析を行うことはできないが、レースにおけるキネマティクスの変数については風の影響を念頭に置く必要がある。今回分析対象としたレースにおいても、レースによって風が一定でなく、2017年全日本インカレの決勝においても追い風(+1.8 m/秒)を記録していた。このことが最高走速度やその発現地点、走速度の低下率に少なからず影響を及ぼしていたと推察される。一方、2014年織田記念の予選では、2017年全日本インカレの決勝よりも強い追い風(+2.0 m/秒)を記録していたにも関わらず、100 mのフィニッシュタイムは2017年全日本インカレの決勝の方が短かった。これらのことを考慮すると、2017年全日本インカレの決勝レースにおける9.98秒という記録は必ずしも追い風の影響だけによるものではないことが理解できる。

全日本インカレのピッチについて、中盤(50 m)以降は2014年の織田記念を除く他のレースとほぼ同一で推移していたが(図2 中図)、10-20 m区間のピッチが他のレースと比較して低かった。一方、全日本インカレのストライドはレース後半からフィニッシュまで増加し続ける傾向にあった。これらの結果から、レース後半の最高走速度の発現と走速度低下率の抑制はこれまでのレースと同様に高いピッチを維持しつつ、レース後半にかけてのストライドに増加によるものといえる。10-20 m区間のピッチがこれまでと比較して低かったことを考慮すると、レース前半にピッチの増加を抑えたことで、レース後半まで走速度を維持することができた可能性も考えられる。走速度の低下率について検討した研究では、走速度の低下は主にピッチの減少によることが報告されており(遠藤ら 2008)、ストライドが増加し続けたレース後半でもこれまでのレースと同等のピッチを維持できたことが、結果的に100 m全体のタイム短縮に貢献したと推察される。

全日本インカレの決勝の後、桐生選手のコーチである東洋大学の土江寛裕氏は、桐生選手が左脚に(ケガの)不安を抱えており、決勝の直前まで決勝レース出場の可否を同コーチと話し合っていたことを明かしている。走加速度が高いスタートからレース前半では筋の発揮張力も大きく、筋に高負荷がかかるため、全日本インカレでは、意図的でないにせよピッチの過度な増加を抑えていた可能性も考えられる。スプリントにおける主観的な努力度に関する先行研究においても、最大下努力でのスプリントでは

最大努力でのスプリントと比較してピッチが低下することが報告されている(村木ら 1999, 太田と有川 1998)。全日本インカレにおける桐生選手の走りはケガのリスクを最小限にとどめるためにピッチを制御していた可能性があり、このことがレース後半まで高い走速度を維持することができた要因の1つになったと推察される。

桐生選手の100 mレース中のピッチ(約5 steps/秒)は国内外の選手の中でも高い水準にあり、今後、大幅なピッチの増加による走速度の増加は望めない(福田ら 2013, 土江 2017, 土江ら 2010)。全日本インカレの結果を鑑みると、桐生選手がこれまで以上に記録を更新するためには、これまでのピッチを維持しつつ、ストライドを増加させることが必要になるであろう。特に、リオデジャネイロオリンピックでは、ピッチは国内レースとほぼ同等であったが、レース中盤からフィニッシュまでのストライドが小さかった(図2 下図)。国際大会においても、特にレース中盤以降で全日本インカレのようにストライドを増加させることができれば、決勝進出の可能性が高まるといえる。

選手の体格や走り方によって100 mのピッチやストライドの変化パターンには違いがあるが、全日本インカレにおける桐生選手のレースパターンは他の選手が参考にすべき点も多い。短距離選手にとって、練習や試合時における主観的な感覚は不可欠だが、客観的なデータを考え合わせることで、記録の向上につながることもある。これまでのデータや今後のレース分析結果が一助となり、2020年の東京オリンピックやその後の国際大会に向けて多くの選手が自己記録を更新することを期待する。

4. まとめ

日本人としてはじめて9秒台を記録した桐生選手のレースパターンの特徴は以下の通りである。

- 2017年シーズンはこれまでのシーズンよりも、安定して高いパフォーマンスを発揮していた
- 9.98秒を記録した全日本インカレでは、これまでのレースと比較して最高走速度が高く(11.67 m/秒)、最高走速度発現区間も後半(60-70 m区間)に発現しており、走速度の低下率も小さかった
- 全日本インカレは、ピッチはこれまでのレースとほぼ同一で推移していたが、ストライドがレース後半まで増加し続けていたことから、レース後半の最高走速度の発現と走速度低下率の抑制は主にストライドの増加によるものといえる

桐生選手を含め、多くの選手が世界大会の舞台を9秒台で走ることができれば、国際大会の100 mレースでの決勝進出や4 × 100 mリレーで日本代表が表彰台に立てる可能性が一層高まる。今後、それらの可能性を高める一助として、国内外のレースにおけるキネマティクスデータの収集と分析、そしてコーチや選手へのフィードバックを継続する必要がある。

参考文献

遠藤俊典, 宮下憲, 尾縣貢 (2008) 100m 走後半の速度低下に対する下肢関節のキネティクスの要因の影響. 体育学研究, 53 : 477-490.

福田厚治, 木嶋孝太, 浦田達也, 中村力, 山本篤, 八木一平, 伊藤章 (2013) 一流短距離選手の接地期および滞空期における身体移動に関する分析. 陸上競技研究紀要, 9 : 56-60.

Hommel H. (Ed.) (2012) Scientific research project biomechanical analyses at the Berlin 2009. Available at: www.iaaf.org; accessed on 10.02, 3-6.

松尾彰文, 広川龍太郎, 柳谷登志雄, 松林武生, 高橋恭平, 小林海, 杉田正明 (2016) 2016 シーズンおよび全シーズンでみた男女 100m の速度分析とピッチ・ストライド分析について. 陸上競技研究紀要, 12 : 74-83.

松尾彰文, 広川龍太郎, 柳谷登志雄, 松林武生, 山本真帆, 高橋恭平, 小林海, 杉田正明 (2014) 男女 100m レースにおける記録と, スピード, ピッチおよびストライドの関係について. 陸上競技研究紀要, 10 : 64-67.

松尾彰文, 広川龍太郎, 柳谷登志雄, 持田尚, 杉田正明, 松林武生, 貴嶋孝太, 川崎知美, 荻部俊二, 土江寛裕, 清田浩伸, 麻場一徳, 中村宏之 (2011) 100m レースにおける4ステップごとにみたスピード, ピッチおよびストライドの変化. 陸上競技研究紀要, 7 : 21-29.

村木征人, 伊藤浩志, 半田佳之, 金子元彦, 成万祥 (1999) 高強度領域での主観的努力度の変化がスプリント・パフォーマンスに与える影響. スポーツ方法学研究, 12 (1) : 59-67.

太田涼・有川秀之 (1998) 短距離走における主観的強度と客観的強度の対応関係に関する研究—小学生から大学生を対象に—. 陸上競技研究, 32 (1) : 2-14.

Slawinski J., Termoz N., Rabita G., Guihem

G., Dorel S., Morin J.B., and Samozino P. (2017) How 100-m event analyses improve our understanding of world-class men's and women's sprint performance. *Scand. J. Med. Sci. Sports*, 27 (1): 45-54

土江寛裕 (2017) 日本人トップスプリンターのバイオメカニクス的特長とその変化 ~ 桐生祥秀選手の事例的研究 ~. *東洋法学*, 60 (3) : 23-40.

土江寛裕, 榎部静二, 平塚潤 (2010) 最大スプリント走時の走速度, ピッチ・ストライド, 接地・滞空時間の相互関係と, 競技力向上への一考察. *城西大学研究年報自然科学編*, 33 : 31-36.

Watts A.S., Coleman I., Nevill A.M. (2011) The changing shape characteristics associated with success in world-class sprinters. *J Sports Sci*, 30 (11) : 1085-1095.