

《 論 説 》

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～

土江 寛裕

1 はじめに

2016年8月に開催されたリオデジャネイロオリンピックでは、陸上競技男子4x100mリレーにおいて銀メダルを獲得した。2008年の北京オリンピックの銅メダルに続き2回目のメダルで、日本だけでなく、世界からも注目された。また、100mにおいても、桐生祥秀選手（東洋大学）、山縣亮太選手（セイコーホールディングス）、ケンブリッジ飛鳥選手（ドーム）の3名が10秒の壁突破を目前にしている。

その中で桐生祥秀選手（以下桐生）は、高校3年次に10秒01の日本歴代2位の記録をマークし、一躍脚光を浴び、その後も9秒台に肉薄する記録を何度もマークしている。2016年シーズンまでに10秒0台を8回（うち2回は追い風参考記録）、2015年3月には追い風参考ながら9秒87をマークしているが、まだ公認での10秒の壁は突破できていない。

一方で世界記録はジャマイカのU Boltが2009年に9秒58をマークし、世界大会での決勝進出は9秒台が必須の条件となってきた。更にアジア記録も2007年にカタールのS Francisがアジア人初の9秒台、9秒99をマークすると、2015年には同じくカタールのF Ogunodeがアジア記録を更に9秒91にまで伸ばしている。ただし、このカタールの2名は帰化したアフリカ人である。2015年には中国のB Su（蘇炳添）がアフリカ出身以外のアジア人で初の10秒の壁を

突破した選手となった。世界やアジア、隣国の中国まで記録の向上が著しい中、日本人の100mは1998年10秒00をマークした伊東浩司選手以来、18年も更新されていない。それだけに、山縣選手、ケンブリッジ選手、そして桐生にかかる期待は大きい。

レース中の走速度の測定は、日本陸上競技連盟の科学委員会を中心に、レーザー式スピード計測装置（ラベッグ）を使って測定が多く行われており（松尾ら2009, 2011, 2014）、100mの記録と10mごとの区間速度の最高値との間に強い相関関係があることや、ビデオと同期させることにより、ピッチ、ストライドなどの詳細で正確な分析など、有用なデータをこれまでも報告している。しかし、専門的な機器を必要とする上、1機で1名しか測定できないため、すべてのレースを分析することは不可能である。

一方、ビデオを用いた簡易的な測定では、100mの総歩数を数えることで、100mの平均でのピッチとストライドの測定が可能で（土江2004）、レースの映像さえあればレースの内容を簡易的、客観的に分析できる。また、グラウンドのハードル設置用のマークを利用して、簡易的に区間速度を測定することも可能である。最近では簡単に撮影できるハイスピードビデオカメラも市販されており、それを用いれば接地時間や空中時間の分析も可能である。これらの比較的手軽な手法を用いて、数多くの選手、数多くのレースを分析することにより、記録向上の糸口を掴むことは可能だと思われる。

そこで本研究では、日本のスプリントをリードする選手の一人である桐生について、これまでのレースを撮影されたビデオから簡易的なバイオメカニクスの分析手法を用いて分析し、桐生の特長や、記録の変化に伴うそれらのパラメータの変化を明らかにすること、また、世界のトップ選手、日本のトップ選手などと比較することにより、桐生の特長や記録向上への可能性について検討することを目的とした。

2 データ採取および算出方法

2-1 100m 平均データ

100m 平均データは、総歩数、100m 全体を通しての平均ストライド、および平均ピッチを求めた。それぞれのレース映像（全て30fps）をPCに落とし込み、動画再生ソフト（Quicktime Player 7, Apple）を用いてスロー再生し、総歩数をカウントした。総歩数は最後の1歩がフィニッシュラインをどのように跨いだかを目視で1/4歩単位でカウントし、総歩数を決定した（図1）。

また、そのレースでの100m 公式記録（ゴールタイム）から、式1のように平均速度（ V_{ave} ）を求めた。

$$V_{ave} \text{ [m/sec]} = 100 / \text{ゴールタイム} \quad \cdot \cdot \cdot \text{(式1)}$$

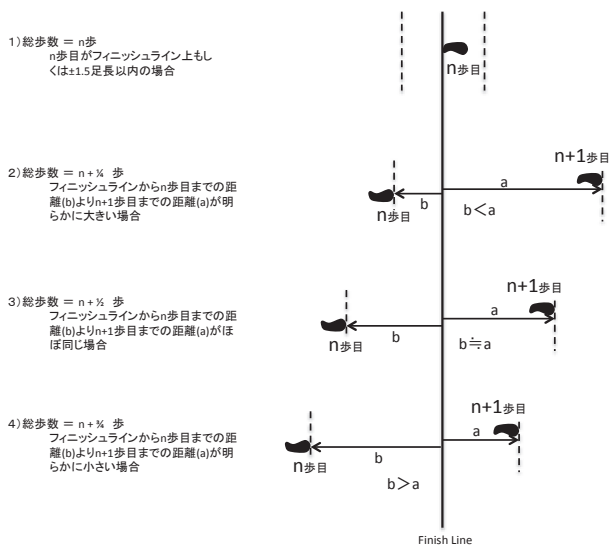


図1 総歩数の測定方法 フィニッシュライン付近での歩数をカウントし、1/4歩単位で最後の1歩を加算した

さらに100を通しての平均ピッチ (SF_{ave}) およびストライド (SL_{ave}) は式2, 3のように求めた.

$$SF_{ave} \text{ [stps/sec]} = \text{総歩数} / \text{ゴールタイム} \quad \cdot \cdot \cdot \text{(式 2)}$$

$$SL_{ave} \text{ [m]} = V_{ave} / SF_{ave} \quad \cdot \cdot \cdot \text{(式 3)}$$

2-2 最大速度付近のデータ

最大速度付近のデータは、2015年世界陸上競技選手権（北京）および、2015年日本学生選手権（大阪）において、100m 走路の50m 付近のスタンド上から、ハイスピードビデオカメラ（EX-ZR200, CASIO）を用いて240fpsで撮影した映像を用いて分析を行った。動画再生ソフト（Quicktime Player 7, Apple）を用いてコマ送り再生し、トラック上にある女子ハードル設置用の5台目、6台目のマーキング（5台目47m地点、6台目55.5m地点の2点）の2点を通過する時間を1/100秒単位でビデオのコマ数から算出し、この区間の走速度を求めた。これまでのデータから、男子100m走において、50-60m付近で最高走速度が発現することが多いため、47-55.5mの区間を最高走速度に近い速度が出ていたと仮定し、この区間の走速度を最高走速度区間 (V_{max}) として分析を行った。

また、この最高速度区間における最初の接地から、3回目の接地までの1サイクル（2歩、すなわち左右1歩ずつ）の時間 (T_{cycle}) を求め、そこから最高速度区間におけるピッチ (SF_{max})、ストライド (SL_{max}) を式4, 5のように求めた。

$$SF_{max} \text{ [stps/sec]} = 1 / (T_{cycle} / 2) \quad \cdot \cdot \cdot \text{(式 4)}$$

$$SL_{max} \text{ [m]} = V_{max} / SF_{max} \quad \cdot \cdot \cdot \text{(式 5)}$$

さらに、最高速度区間での1サイクル中に起こった2回（すなわち左右それぞれ1回ずつ）の接地時間の平均値を最高速度区間における接地時間 (T_{con})、空中時間を最高速度区間における空中時間 (T_{air}) とした。そして、接地時間

に対する空中時間の比率を式6のように求め、接地空中比 (Air Ratio, AR) とした。

$$AR [\%] = T_{air} / T_{con} \times 100 \quad \cdot \cdot \cdot (式6)$$

また、 V_{max} および T_{air} , T_{con} から、最高速度区間における接地中の平均移動距離 (SL_{con}) と、空中での平均移動距離 (SL_{air}) を以下のようにして求めた。

$$SL_{con} [m] = T_{con} \times V_{max} \quad \cdot \cdot \cdot (式7)$$

$$SL_{air} [m] = T_{air} \times V_{max} \quad \cdot \cdot \cdot (式8)$$

2-3 統計処理

最大速度区間のデータについて、世界陸上決勝の映像から得られた世界トップ選手群と、日本学生選手権の映像から得られた日本学生トップ群の2群に分け、それぞれで得られたパラメータを対応のない t 検定を用いて比較した。有意水準は5%未満とし、5%, 1%, 0.1%の3段階で表記した。

3 結果およびその考察

3-1 100m 平均データからみた桐生の特長

表1および図2は桐生の高校時の主なレースと、大学入学以降すべてのレース(全58レース)の記録、風速、総歩数、平均ピッチ (SF_{ave})、平均ストライド (SL_{ave}) を、追い風参考記録(表中には“W”で表記)も含めて表したものである。また、図2はそれらを図示したものである。最も記録の良いものは、大学2年時(2015年)のテキサスリレーで、追い風参考記録(追い風3.3m)ながら9秒87(2015年_春)であった。その時の SL_{ave} は2.13m, SF_{ave} は4.76stp/s であった。風速が公認範囲での最高記録は10秒01で、高校3年時(2013年)と大学3年(2016年_春)の2回マークしている。高校3年時は SL_{ave} 2.12m, SF_{ave} 4.72stp/s, 大学3年時は SL_{ave} 2.13m, SF_{ave} 4.70stp/s であり、高3時はややピッチに依存し、大3時はややストライド依存であると言えるが、これは総歩

表1 桐生の高校時の主なレースと大学入学以降のすべてのレースの総歩数, 平均ピッチ・ストライド

学年	日付	記録	風速	Vave	総歩数	SFave	SLave	大会名	ラウンド
高2	2012/10/5	10.21	+0.1	9.79	48.00	4.70	2.08	国体	決勝
高2	2012/11/3	10.19	+0.5	9.81	49.00	4.81	2.04	エコパトラックゲームズ	決勝
高3	2013/4/29	10.01	+0.9	9.99	47.25	4.72	2.12	織田記念	予選
高3	2013/4/29	10.03	+2.7W	9.97	47.00	4.69	2.13	織田記念	決勝
高3	2013/6/7	10.28	+0.9	9.73	48.00	4.67	2.08	日本選手権	予選
高3	2013/6/8	10.25	+0.7	9.76	47.50	4.63	2.11	日本選手権	決勝
高3	2013/6/14	10.17	-0.2	9.83	47.25	4.65	2.12	近畿高校	決勝
高3	2013/7/31	10.19	+0.1	9.81	48.00	4.71	2.08	全国高校総体	決勝
大1	2014/4/20	10.26	+0.6	9.75	49.75	4.85	2.01	出雲陸上	決勝
大1	2014/4/20	10.33	+1.8	9.68	49.75	4.82	2.01	出雲陸上	予選
大1	2014/4/29	10.10	+2.0	9.90	49.00	4.85	2.04	織田記念	予選
大1	2014/5/11	10.46	-3.5	9.56	49.50	4.73	2.02	セイコー-GGP	決勝
大1	2014/5/16	10.36	-0.6	9.65	48.75	4.71	2.05	関東インカレ	予選
大1	2014/5/17	10.25	+3.6W	9.76	48.50	4.73	2.06	関東インカレ	準決勝
大1	2014/5/17	10.05	+1.6	9.95	48.00	4.78	2.08	関東インカレ	決勝
大1	2014/6/7	10.15	+1.4	9.85	48.50	4.78	2.06	日本選手権	予選
大1	2014/6/8	10.21	-0.5	9.79	48.50	4.75	2.06	日本選手権	準決勝
大1	2014/6/8	10.22	+0.6	9.78	48.75	4.77	2.05	日本選手権	決勝
大1	2014/7/23	10.40	-0.5	9.62	48.25	4.64	2.07	世界ジュニア	予選
大1	2014/7/23	10.34	-0.6	9.67	49.00	4.74	2.04	世界ジュニア	決勝
大1	2014/7/23	10.38	0.0	9.63	48.75	4.70	2.05	世界ジュニア	準決勝
大2	2015/3/28	9.87	+3.3W	10.13	47.00	4.76	2.13	テキサスリレー	
大2	2015/4/18	10.40	-0.2	9.62	48.00	4.62	2.08	織田記念	決勝
大2	2015/4/18	10.36	-0.1	9.65	48.00	4.63	2.08	織田記念	予選
大2	2015/5/15	10.33	0.0	9.68	46.75	4.53	2.14	関東インカレ	予選
大2	2015/5/15	10.37	-0.1	9.64	47.75	4.60	2.09	関東インカレ	準決勝
大2	2015/9/11	10.40	+0.8	9.62	47.00	4.52	2.13	日本インカレ	予選
大2	2015/9/11	10.30	+0.5	9.71	47.00	4.56	2.13	日本インカレ	準決勝
大2	2015/9/12	10.19	+0.5	9.81	48.00	4.71	2.08	日本インカレ	決勝
大2	2015/9/22	10.40	-1.9	9.62	47.00	4.52	2.13	関東新人	予選
大2	2015/10/18	10.09	+2.4W	9.91	47.50	4.71	2.11	布勢スプリント	一次
大2	2015/10/18	10.09	+0.3	9.91	47.75	4.73	2.09	布勢スプリント	二次
大2	2015/9/22	10.19	-0.5	9.81	47.50	4.66	2.11	関東新人	決勝
大3	2016/4/2	10.24	-1.4	9.77	48.00	4.69	2.08	テキサスリレー	
大3	2016/5/8	10.27	-0.4	9.74	47.75	4.65	2.09	川崎 GP	
大3	2016/5/19	10.47	-1.7	9.55	47.25	4.51	2.12	関東インカレ	予選
大3	2016/5/20	10.27	-0.2	9.74	47.25	4.60	2.12	関東インカレ	準決勝
大3	2016/5/20	10.35	-1.4	9.66	48.00	4.64	2.08	関東インカレ	決勝
大3	2016/6/5	10.21	-0.6	9.79	47.00	4.60	2.13	布勢スプリント	一次
大3	2016/6/5	10.09	-0.6	9.91	47.50	4.71	2.11	布勢スプリント	二次
大3	2016/6/11	10.17	+1.2	9.83	46.75	4.60	2.14	学生個人	予選
大3	2016/6/11	10.01	+1.8	9.99	47.00	4.70	2.13	学生個人	準決勝
大3	2016/6/11	10.10	-0.3	9.90	48.00	4.75	2.08	学生個人	決勝
大3	2016/6/24	10.37	-1.3	9.64	47.75	4.60	2.09	日本選手権	予選
大3	2016/6/24	10.29	-1.4	9.72	48.25	4.69	2.07	日本選手権	準決勝
大3	2016/6/25	10.31	-0.3	9.70	48.00	4.66	2.08	日本選手権	決勝
大3	2016/7/15	10.20	-1.1	9.80	47.75	4.68	2.09	イエテボリ	予選
大3	2016/7/15	10.34	-1.6	9.67	49.00	4.74	2.04	イエテボリ	決勝
大3	2016/7/18	10.17	+1.9	9.83	47.75	4.70	2.09	セーケスフェヘルバル	
大3	2016/8/13	10.23	-0.4	9.78	48.00	4.69	2.08	リオデジャネイロ	予選
大3	2016/9/2	10.26	+0.4	9.75	45.75	4.46	2.19	日本インカレ	予選
大3	2016/9/3	10.12	-0.8	9.88	46.75	4.62	2.14	日本インカレ	準決勝
大3	2016/9/3	10.08	+1.1	9.92	47.00	4.66	2.13	日本インカレ	決勝
大3	2016/9/13	10.35	-1.9	9.66	47.25	4.57	2.12	マルセイユ	

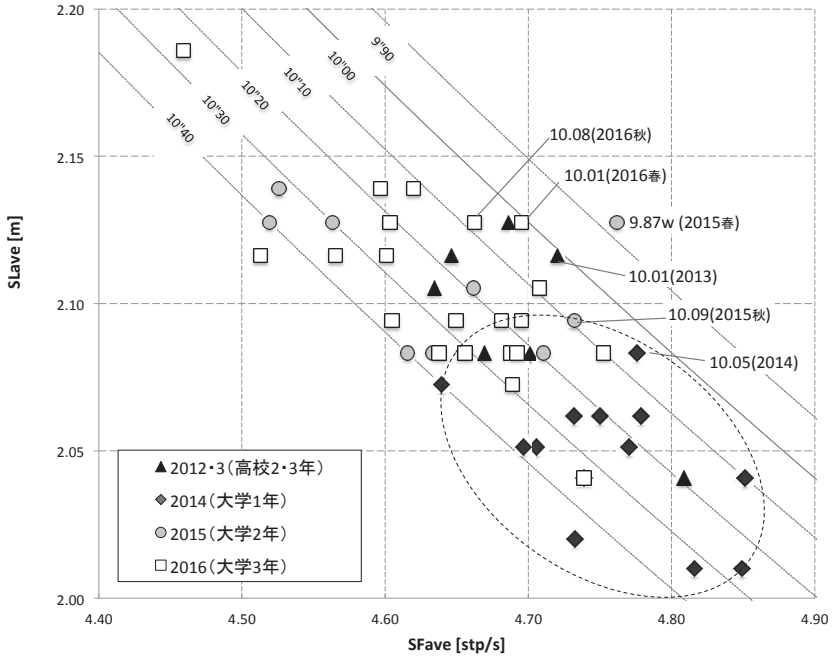


図2 桐生の高校時の主なレースと大学入学以降のすべてのレースの平均ピッチ (SFave) ・ストライド (SLave)

数にして $1/4$ 歩分の小さな差であり、ほぼ同じピッチとストライドの組み合わせであったと言える。2015年のテキサスリレーでの9秒87と、高3時および大3時の10秒01を比較すると、ストライドはほぼ同じレベル ($SL_{ave} = 2.12 \sim 2.13m$) であるが、ピッチが高く ($SF_{ave} = 4.76stp/s$)、記録の違いはピッチの差によるものであると言える。一方で、2014年のシーズンベストとなった10秒05や、2015年のシーズンベストとなった10秒09 (2015秋) は、ピッチはさらに高く (2014年 $SF_{ave} = 4.78stp/s$, 2015秋 $SF_{ave} = 4.73stp/s$)、一方でストライドは小さかった (2014年 $SL_{ave} = 2.08m$, 2015秋 $SL_{ave} = 2.09m$)。このことから2014年と2015年秋は、ストライドを抑えてピッチに依存した走りであったと言える。

桐生の全データ (図2) を俯瞰してみると、高校時は2012年 (高2時) に10秒19をマークした1レースのみ、ピッチに大きく依存しているものの、その他

のレースは SL_{ave} が 2 m10前後, SF_{ave} は4.70前後に集まっている。2013年(大学1年時)はほとんどが図の中では右下にプロットされており(図2 中点線の円), ストライドを犠牲にしてピッチで速度を稼いでいたことが見受けられる。大学2年以降はストライドが高校時レベルに回復し, そのストライドレベルを維持した状態で, かつピッチが伴った場合に好記録がマークされていることがわかる。ここでは細かい主観的な走技術に関する言及は避けるが, 大学1年次に一度別の走りのコンセプトを試し, 1年次の後半から元の走りに戻したという経緯が影響していると思われる。また, これまでのレースでは, SL_{ave} が 2 m13前後, すなわち総歩数で47歩前後のレベルを維持しながら, ピッチを高めることができた時に好記録がマークされていることがわかる。

3-2 100m 平均データによる, 世界歴代トップ選手と桐生との比較

表2は桐生の各年の主なレース, および世界および日本歴代トップ選手の記録と風速, そのレースの総歩数, SF_{ave} , SL_{ave} を表し, 図3はそれら図示したものである。

宮代ら(2013)による, 身長と記録からみた標準的なピッチ・ストライドの組み合わせと照らし合わせてもややピッチが高いことがわかる。また, ここに挙げた15名(世界トップ10名(A~J), 日本トップ5名(V~Z))の選手と比較しても, 桐生はピッチ型の選手であるといえる。図2に示した桐生個人内でのピッチ・ストライドのばらつきの範囲は, 図3においては右下の小さい範囲内(図3内右下の長方形部分)であることがわかる。桐生と同様にピッチに依存したスプリンターは, 日本トップW, 日本トップX, 世界トップJなどのであろう。世界トップE, Hは, 桐生と同レベルのピッチでありながら, SL_{ave} がおおよそ5cm大きいことが, パフォーマンスの差を生んでいるといえる。日本人選手では, 日本トップY, Zは, 記録的には桐生と同レベルであるが, 桐生と比較してストライドがやや大きく, ピッチがやや低い。日本記録を持つ日本トップVは, 他の日本人選手と比較して, ピッチは低い, ストライドは顕著に大きく, 世界トップレベルの選手と遜色ないストライドで走って

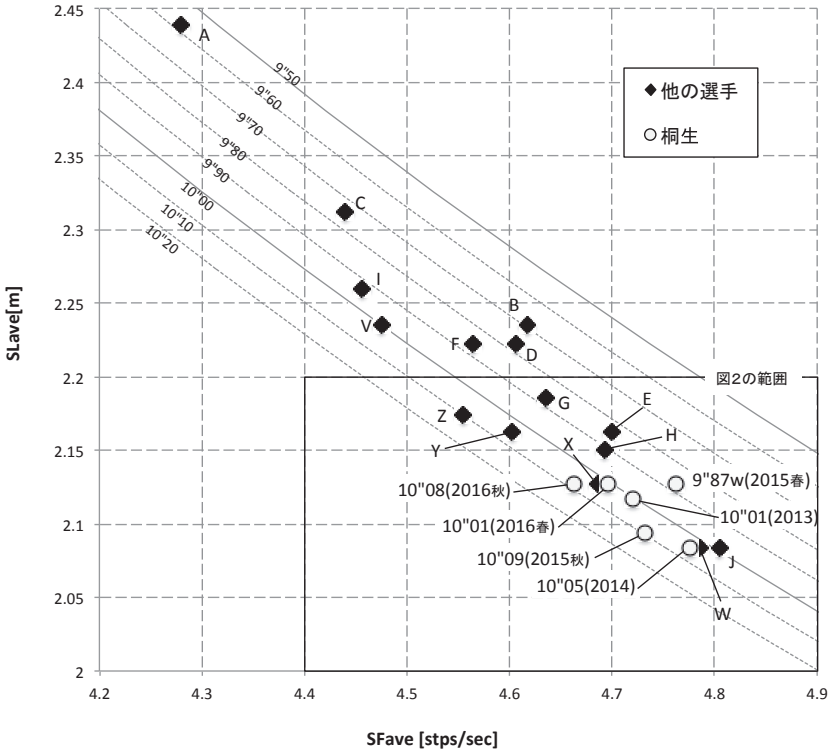


図3 桐生及び世界歴代トップ選手、日本歴代トップ選手の平均ピッチと平均ストライド

いたことがわかる。

また、世界の歴代トップ選手は、桐生と比較すると左上の位置にプロットされる選手が大半である。特に9秒58の世界記録保持者の世界トップAは、SL_{ave}が2m44, 100mを総歩数41歩で走り抜ける、その他の世界トップ選手と比較してもずば抜けて大きなストライドを持っているといえる。桐生やその他の日本人選手と比較して、世界のトップ選手はストライドが大きく、その差がパフォーマンスの差の決定的な要因であるといえる。日本人選手はその違いをピッチで埋めようとしているが十分ではなく、世界トップレベルのパフォーマンスには達していないと言える。その中で日本トップVのみが世界

表2 桐生の各年の主なレースと世界歴代トップ及び日本歴代トップ選手の記録とその時の総歩数, 平均ピッチ, ストライド

選手名	身長	体重	記録	風速	総歩数	SFave	SLave	年
桐生 祥秀	175	68	10.01	+0.9	47.25	4.72	2.12	2013年
			10.05	+1.6	48.00	4.78	2.08	2014年
			9.87	+3.3 ^参	47.00	4.76	2.13	2015年(春)
			10.09	+0.3	47.75	4.73	2.09	2015年(秋)
			10.01	+1.8	47.00	4.70	2.13	2016年(春)
			10.08	+1.1	47.00	4.66	2.13	2016年(秋)
選手	身長	体重	記録	風	総歩数	SFave	SLave	
世界トップ A	195	94	9.58	+0.9	41.00	4.28	2.44	2009年
世界トップ B	178	77	9.69	+2.0	44.75	4.62	2.23	2009年
世界トップ C	185	83	9.74	+0.9	43.25	4.44	2.31	2015年
世界トップ D	190	87	9.77	+1.5	45.00	4.61	2.22	2006年
世界トップ E	175	71	9.84	+1.6	46.25	4.70	2.16	2016年
世界トップ F	188	88	9.86	+0.9	45.00	4.56	2.22	1991年
世界トップ G	176	80	9.87	-0.3	45.75	4.64	2.19	2000年
世界トップ H	178	72	9.91	+0.2	46.50	4.69	2.15	2016年
世界トップ I	177	73	9.93	+2.0	44.25	4.46	2.26	2003年
世界トップ J	172	65	9.99	-0.4	48.00	4.80	2.08	2015年
日本トップ V	180	72	10.00	+1.9	44.75	4.48	2.23	1998年
日本トップ W	177	70	10.03	+0.5	48.00	4.79	2.08	2016年
日本トップ X	178	68	10.03	+2.0	47.00	4.69	2.13	2003年
日本トップ Y	179	75	10.05	+1.4	46.25	4.60	2.16	2002年
日本トップ Z	180	76	10.10	+0.7	46.00	4.55	2.17	2016年

トップに近いピッチとストライドの組み合わせで走っていたと言える。このことが20年にわたって日本記録を保持し続けている要因の一つといえることができる。

3-3 最大速度区間データからみた桐生の特長

表3は、2015年世界陸上北京大会100m決勝と、同年日本学生選手権決勝で撮影されたハイスピード映像(240fps)の分析から得られたデータである。前述の通り、トラック上の女子100mハードル設置用のマーキングを利用し、47m~55.5mの区間の速度(V_{max})及びピッチ(SF_{max})、ストライド(SL_{max})、接地中の移動距離(SL_{con})、空中での移動距離(SL_{air})、接地時間に対する空中時間の比、Air Ratio (AR)を算出し示している。100mの速度変化は多くの

表3 桐生と世界トップ選手, 日本トップ選手の最大速度時のピッチ (SFmax) およびストライド (SLmax), その他の項目の比較

選手	身長 [cm]	体重 [kg]	記録 [sec]	風 [m/s]	Vmax [m/s]	SFmax [stp/s]	SLmax [m]	Tcon [msec]	Tair [msec]	AR [%]	SLcon [m]	SLair [m]
桐生 祥秀	175	68	10.19	+0.5	11.42	5.04	2.27	82	117	143%	0.93	1.33
世界トップ A	195	94	9.79	-0.5	11.92	4.36	2.73	100	125	125%	1.19	1.49
世界トップ B	178	77	10.00	-0.5	11.62	4.80	2.42	92	113	123%	1.07	1.31
世界トップ C	185	83	9.80	-0.5	11.95	4.71	2.54	98	121	123%	1.17	1.45
世界トップ D	190	87	10.00	-0.5	11.69	4.66	2.51	96	119	124%	1.12	1.39
世界トップ E	175	71	9.92	-0.5	11.65	4.71	2.48	88	121	138%	1.03	1.41
世界トップ H	178	72	9.92	-0.5	11.72	4.85	2.42	88	123	140%	1.03	1.44
世界トップ J	172	65	10.06	-0.5	11.56	5.11	2.26	83	113	136%	0.96	1.31
世界トップ K	170	76	9.94	-0.5	11.72	4.80	2.44	92	115	125%	1.08	1.35
世界トップ L	184	76	10.00	-0.5	11.69	4.95	2.36	94	111	118%	1.10	1.30
世界トップ平均 (n = 9)	180.8	77.9	9.94		11.72	4.77	2.46	92	118	128%	1.08	1.38
SD	8.3	8.8	0.09		0.13	0.21	0.13	5.4	5.0	7.7%	0.07	0.07
日本学生トップ平均 (n = 6)	174.2	67.2	10.38	+0.5	11.20	4.93	2.27	90	113	125%	1.01	1.26
SD	5.2	4.8	0.13		0.15	0.12	0.06	5.2	5.5	12.1%	0.05	0.07
世界 vs 日本学生 有意差	ns	*	***		***	ns	**	ns	ns	ns	ns	**

***: p < 0.001, **: p < 0.01, *: p < 0.05

レースで測定され報告されているが、多くの場合、50~60mの区間で最大速度が記録される。世界トップ選手のようにトップスピードが大きい選手は60~70m区間などのレースの比較的后半部分でトップスピードが記録されることがあり、また逆に日本人選手などでスタートを得意とする選手は40~50m区間などのレース前半で記録される選手もみられる。厳密には今回撮影された2レースにおいてもこの測定区間前後で最大速度が記録された選手もいる可能性は十分あるが、この測定区間でもほぼトップスピードと同等のスピードで走っていたと推測できるため、本研究ではこの区間を最大速度区間と仮定して分析および考察を行った。

(1) 最大速度区間でのピッチとストライド

図4は最大速度区間でのピッチ (SF_{max}), ストライド (SL_{max}) を表している。SF_{max} と SL_{max} の積が走速度 (V_{max}) であり、図中の斜めの点線は同じ走速度を結んだラインを示している。世界陸上においては、この区間では1/100秒差で2位であった世界トップCが最も高いV_{max} = 11.95m/sを示し、続いて優

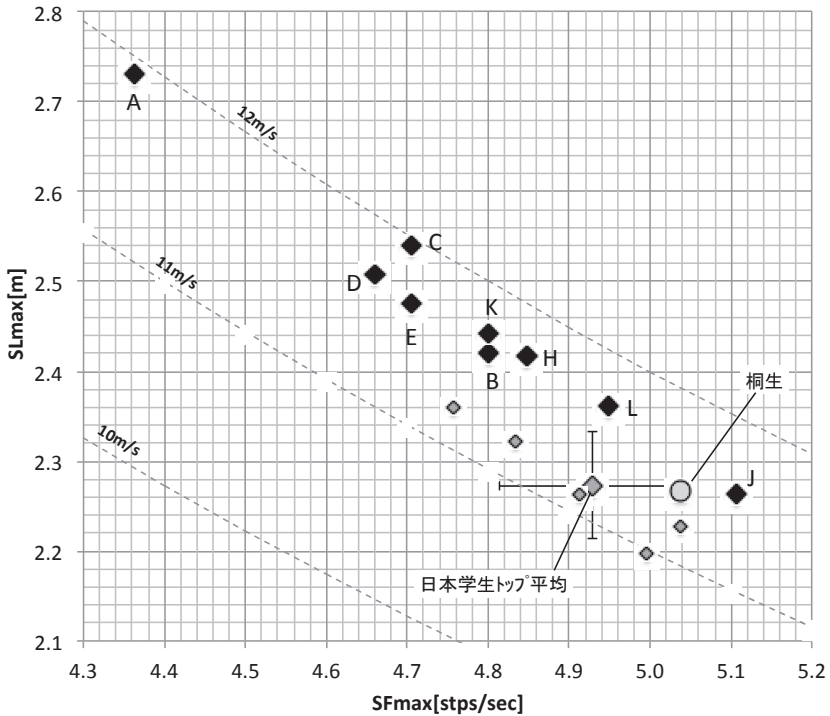


図4 桐生および世界トップ選手，日本学生トップ選手における，最大速度時のピッチ (SFmax)，ストライド (SLmax) の比較

勝した世界トップ A が11.92m/s をマークしている。世界トップ A はこれまでのデータでも60～70m 付近もしくはそれ以降でトップスピードをマークすることが多く，おそらく後の区間でトップスピードが出ていたものと推測される。しかしながらこの区間においても12m 近くの速度をマークしており， SL_{max} は2.73m に達している。松尾ら (2014) が報告した最大速度と記録との回帰式から算出すると，10秒00が出る最大速度は11.66m/s となり，9秒台に入るにはそれ以上のトップスピードが必要であるといえるが，世界陸上のレースにおいては，9名中8名がそのスピードを超えていた。

桐生は日本学生トップ選手の平均値と比較すると， SL_{max} はほぼ同値である

が、 SF_{max} は大きい。そのため、桐生は、学生の選手の中でピッチがより高いことで、より高い速度を実現していると言える。一方で、世界トップ選手たちと比較すると、世界トップJを除いて桐生より SL_{max} が大きく、それにより桐生より高い速度を実現している。これは前述の100m 平均データでの比較と同様の結果であり、桐生と世界トップとの差はストライドの差によるものといえる。

表3の最下段は、世界トップ選手群と日本学生トップ群を比較し、2群間で統計的な有意差の有無を示している。記録は世界トップ選手は平均9秒94±0秒09、桐生を含む日本の学生選手は10秒38±0秒13であり、統計的に有意な差 ($p < 0.001$) が認められた。さらに記録に強い相関がこれまで報告されている V_{max} (松尾ら2008, 2011, 2014) は、世界トップの平均が11.72±0.13m/s、日本学生トップが11.20±0.15m/sで、世界トップが有意に大きかった ($p < 0.001$)。日本学生トップで V_{max} が最も大きかった桐生でも11.42m/sで、世界陸上のレースで V_{max} が最も低かった世界トップJの値 (11.56m/s) よりも低かった。 SF_{max} と SL_{max} では、 SF_{max} では有意な差は見られなかったが、 SL_{max} では世界2.46m±0.13m、日本学生が2.27m±0.06mで、世界トップの方が有意に大きかった ($p < 0.01$)。これらのことから、世界トップと日本学生トップの間の V_{max} の差は、 SL_{max} の差によるものといえる。

(2) 接地時間・空中時間, AirRatio の比較

接地時間 (T_{con}) は世界トップが92ms±5.4ms、日本学生トップが90ms±5.2ms、空中時間 (T_{air}) は世界118ms±5.0ms、日本学生が113ms±5.5msで、それぞれ世界トップと日本学生トップの間には統計的な差は見られなかった。同様に、接地時間に対する空中時間の比率、AirRatio は世界128%±7.7%、日本学生125%±12.1%で、これも有意差は見られなかった。その中で桐生の接地時間は $T_{con} = 82ms$ で、今回の分析対象の選手の中でもっとも小さい値であったが、空中時間は $T_{air} = 117ms$ でほぼ平均値であったため、ARは143%と、突出して高い値を示した。このことから、桐生のピッチの高さは T_{con} が短いこと

により達成されているということがいえる。このように短い接地時間で大きな空中時間を得るには、接地時間中に地面に対して垂直（鉛直）に大きな仕事量を発揮する必要がある（Hay1993, 土江ら2010）。それは桐生が垂直方向への大きなパワーを発揮する能力を備えているということを意味しており、桐生のスプリント能力の高さの要因の一つと言えるであろう。

(3) 接地中・空中での移動距離

SL_{con} および SL_{air} は、 V_{max} と T_{con} 、 V_{max} と T_{air} の積によって求めた、1 ストライドにおける接地中の移動距離 (SL_{con}) と空中での移動距離 (SL_{air}) を表し、 SL_{con} と SL_{air} の和がストライド (SL_{max}) となる。図 5 は、 SL_{con} と SL_{air} の大きさを図示したものである。 SL_{con} は世界トップと日本学生トップの間に有意な差は見られなかったが、 SL_{air} については世界 ($SL_{air} = 1.38m \pm 0.07m$) と日本学生 ($SL_{air} = 1.26m \pm 0.07m$) との間で統計的に有意に世界トップの方が大きかった。前述の通り、 V_{max} における世界トップと日本学生トップの差は、 SL_{max} の差により生じると考えられるが、その差は SL_{air} の差によるものであるといえよう。

桐生の SL_{con} は $0.93m$ で、 T_{con} と同様に、今回の分析対象選手の中ではもっとも小さな値であった。もっとも大きかったのは世界記録を保持する世界トップ A で、世界トップ A と比較すると $26cm$ も短く、世界トップの平均値からも $15cm$ 、日本学生トップと比較しても $8cm$ も短い。これは桐生が地面を「点」で捉えるような走りをしていることを意味する。にもかかわらず、 SL_{air} は $1.33m$ で日本学生の平均 ($1.26 \pm 0.07m$) を $7cm$ も上回る。世界トップの平均値 ($1.38 \pm 0.07m$) と比較すると $5cm$ 短い。世界トップの中でも身長が同等の選手と比較すると遜色ない値であるといえよう。Hunter et al. (2004) は、ストライドは空中の移動距離、ここでいう SL_{air} と相関が高いことを報告しているが、桐生が短い接地時間でピッチを高めた上で一定のストライドを実現しているのは、 SL_{air} が十分大きいことによる（豊嶋ら2015）と考えられる。これは桐生の特長でもあり、それによって $10秒01$ という記録を実現していると

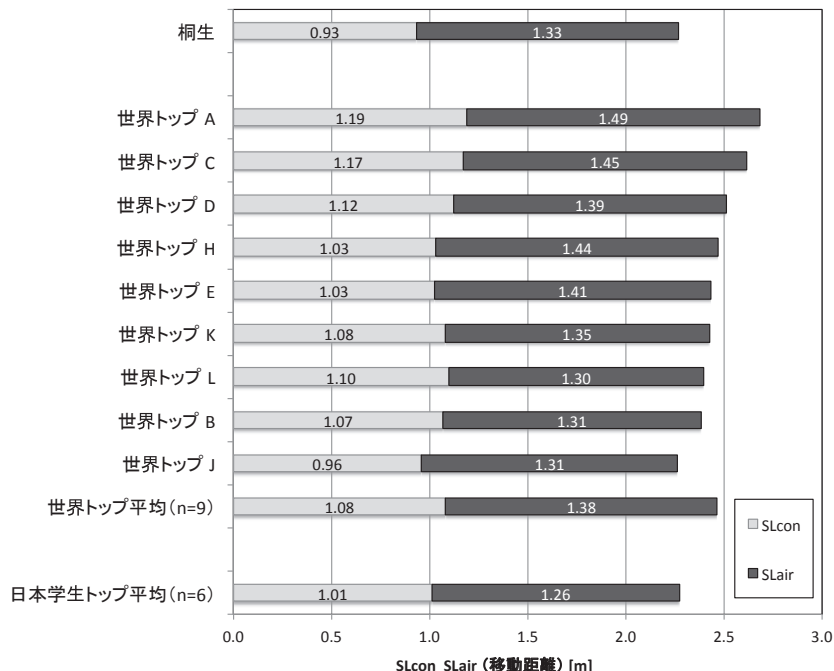


図5 桐生および世界トップ選手, 日本学生トップ選手における, 最大速度時の接地距離 (SLcon) と空中距離 (SLair) の比較

いえる。しかしながら, 今後さらなる記録向上を考えた時, この走り方の特徴のまま走速度が高まれば, SL_{con} が短いことにより, すでにかなり短い接地時間 (T_{con}) を更に短くする必要が出てくると考えられる。これまで観測されたデータの中でも, T_{con} が80msを下回る選手はほとんどなく (福田ら2013, 土江ら2010), それを目指すことは現実的ではないと思われる。したがって, 桐生が今後9秒台へパフォーマンスを引き上げるために必要なのは, $T_{con} = 83ms$ という短さを維持することによりピッチをキープしながら, SL_{con} を延長しストライドを延長することが必要であろう。仮に桐生が接地時間を82msのまま, SL_{con} を3cm伸ばし, 0.96mにすることができれば, 走速度は11.71m/sとなり, 今回得られた世界トップ選手の V_{max} の平均値と同等の速度を達成する

ことができることになる。

4 まとめ

本研究は、日本のスプリントをリードする選手の一人である桐生祥秀選手や、世界トップ選手、日本トップ選手のレースをビデオで撮影し、バイオメカニクスの手法を用いて分析を行った。それにより、桐生の特長や、記録の変化に伴う変化を明らかにし、世界のトップ選手などと比較することにより、世界のトップレベルの選手の中での桐生の特長や記録向上への可能性について検討を行った。その結果、以下のようなことが明らかになった。

4-1 100mの平均データより

- 1) 桐生は日本のトップ選手と比較してもピッチ型に分類でき、世界のトップ選手と比較するとピッチは高いが、ストライドが小さく、それによりパフォーマンスの差が生まれている。
- 2) 桐生は2013年と2016年に2度、自己ベストとなる10秒01をマークしているが、 SL_{ave} は2.12~13m、 SF_{ave} は4.70~72stp/sのほぼ同じピッチ・ストライドの組み合わせであった。また追い風参考で走った9秒87(2015)は、 SL_{ave} はほぼ同じで、ピッチが高いことにより達成していた($SF_{ave} = 4.66\text{stp/s}$)。
- 3) 桐生は大学1年時には一度ストライドを犠牲にしてピッチに偏る走りをしていたが、その後高校時のストライド($SL_{ave} = 2.11\sim 13$)に戻り、好記録はそのストライドの中でピッチが高い時に出る傾向があった。

4-2 最大速度区間でのデータより

- 4) 桐生は最高速度区間の分析でもピッチ型に分類でき、日本学生トップとはストライドはほぼ同レベルであったが、ピッチが高いことによりリードしていた。また、世界トップと比較すると、ピッチは高いがストライドが小さく、ストライドの差によりトップスピードの差が生まれていた。

- 5) 桐生は著しく接地時間が短く ($T_{con} = 82ms$), それにより高いピッチを達成していた.
- 6) 一方で空中時間は平均値であり ($T_{air} = 117ms$), したがって接地空中比 (AirRatio) は今回の対象選手の中で最も高い値であり ($AR = 143\%$), 桐生が地面に垂直に発揮するパワーの大きさを表している.
- 7) 桐生は接地中の移動距離も最も短く ($SL_{con} = 0.93m$), 世界記録を保持する世界トップ A 選手と比較して26cm, 世界トップの平均からも15cm 短い. 桐生が地面を「点」で捉えるような走りをしていることを表している.
- 8) 桐生の記録の向上を考えた時, 接地時間をこれ以上短くすることは現実的ではなく, 接地距離を伸ばすことにより, 接地時間を変えずにストライドを伸ばす方法が現実的であると思われる.

5 参考文献

1. 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.
2. Hay J.G (1993) The biomechanics of sports techniques, 4th Edition, Prentice Hall, New Jersey, pp396-412.
3. Hunter JP, Marshall RN, McNair PJ (2004) Interaction of Step Length and Step Rate during Sprint Running. Med. Sci. In Sport and Exerc., 36 (2):261-271.
4. 松尾彰文, 広川龍太郎, 柳谷登志雄, 土江寛裕, 杉田正明 (2008) 世界陸上アスリートのパフォーマンス—東京大会から16年後の大阪大会—男女100m レースのスピード変化. バイオメカニクス研究12 (2): 74-83.
5. 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, 苅部俊二, 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ステップごとに見たスピード, ピッチおよびストライド変化. 陸上競技研究紀要 7: 21-29.

6. 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: 64-74.
7. 宮代賢治, 山元康平, 内藤景, 谷川聡, 西嶋尚彦 (2013) 男子100m における身長別モデルステップ変数. スプリント研究22: 57-76.
8. 豊嶋陵司, 田内健二, 遠藤俊典, 磯繁雄, 桜井伸二 (2015) スプリント走におけるピッチおよびストライドの個人ない変動に影響を与えるバイオメカニクスの要因. 体育学研究60: 197-208.
9. 土江寛裕 (2004) オリンピックに向けての「走りの改革」の取り組み. スポーツ科学研究 1, 10-17.
10. 土江寛裕, 櫛部静二, 平塚潤 (2010) 最大スプリント走時の走速度, ピッチ・スライド, 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.

—つちえ ひろやす・法学部准教授—