

2017 シーズンにおける男女100mのレース分析および瞬間速度と瞬間加速度

松尾彰文¹⁾ 広川龍太郎²⁾ 柳谷登志雄³⁾ 松林武生⁴⁾ 高橋恭平⁵⁾ 小林海⁶⁾ 杉田正明⁷⁾
1) 鹿屋体育大学 2) 東海大学 3) 順天堂大学 4) 東京経済大学
5) 熊本高等専門学校 6) 日本スポーツ振興センター 7) 日本体育大学

緒言

100m レースでは、最高速度が記録との関係が密接(松尾ら、2016)であるが、この最高速度はスタートからの力発揮の累積の結果である。そこで、スタートから最高速度までの加速過程におけるピッチ・ストライドと速度との関係を見るのが最高速度向上の参考になると考え、これらの関係について検討した(松尾ら、2016)。その結果、ストライドは走速度の増加に伴い直線的な増加傾向が全員にみられたが、ピッチでは、全体的な傾向は明確ではなく、個別にみると、直線傾向があるアスリートがいたり、ほぼ一定の値を示すアスリートがいたりした。このような変化は、時々刻々と変化する神経系や筋活動による力発揮の累積であることから、瞬間速度および瞬間加速度にすることで、時々刻々と変化する速度に対応した指標が必要であろう。

従来の速度分析では、レーザー式速度測定装置の計測値のばらつきを減少させるために用いるデジタルフィルターの遮断周波数の影響を少なくするため、10m 区間ごとの平均速度としてきた(松尾ら、2010、2011、2015、2016)。この方法によると最高速度、最高速度が到達した10mの区間、加速過程の評価でも区間ごとの速度変化であった。そこで、スタートから時々刻々と疾走速度、加速度は変化に対応するため瞬間的な速度や加速度を算出する数学的な方法を試みることにした。

そこで、2017年シーズンにおいて科学委員会として行った男女100mレース分析結果の報告とともに、10mごとの通過タイムから、10mごとの瞬間速度および瞬間加速度の評価法について提案することとした。

方法

1. 2017 シーズンの分析

織田記念(織田)、セイコーゴールデングランプリ(GGP)、布勢スプリント(布勢)、日本選手権(NCA)、ロンドン世界選手権大会(WCA)、および国民体育大会(NSF)をレース分析対象の大会とした。ハードルの設置位置を示すマーキングを参考にし、スローモーション撮影(120fps~300fps)ができるカメラ(HSV)を6台から11台(大会により異なる)でスタート時の閃光からフィニッシュまでをパンニング撮影を行った。

2. 速度、ピッチ・ストライドの分析

スタンドに設置したHSVで撮影した映像から、10mごとの通過タイム、区間平均速度、スタートから4ステップごとのピッチおよびストライドを従来の方法(松尾ら、2010、2015、2016)により分析した。

2.1. 区間通過タイム、平均区間速度

ホームストレッチのハードル位置を示すマーキングを参考に、通過時間を分析し、時間と距離の関係から10mごとの通過時間を内挿法により算出した。さらに、区間ごとの通過時間、平均速度、最高速度、最高速度到達区間、速度逓減率を求めた。

2.2. 通過地点の瞬間速度と瞬間加速度の計算

10mごとの通過地点の瞬間速度および瞬間加速度は、通過地点のスタートからの距離時間の関係を時間で微分することで算出した。瞬間速度を求めようとする地点(x1)とその前後1点(x0、x2)ずつをあわせた3点の時間とスタートからの距離から最小二乗法近似により2次の多項式(式1)を求める。さらに、式1のx1時点における接線の傾きが速度に相当するので、式1を微分した導関数からx1時

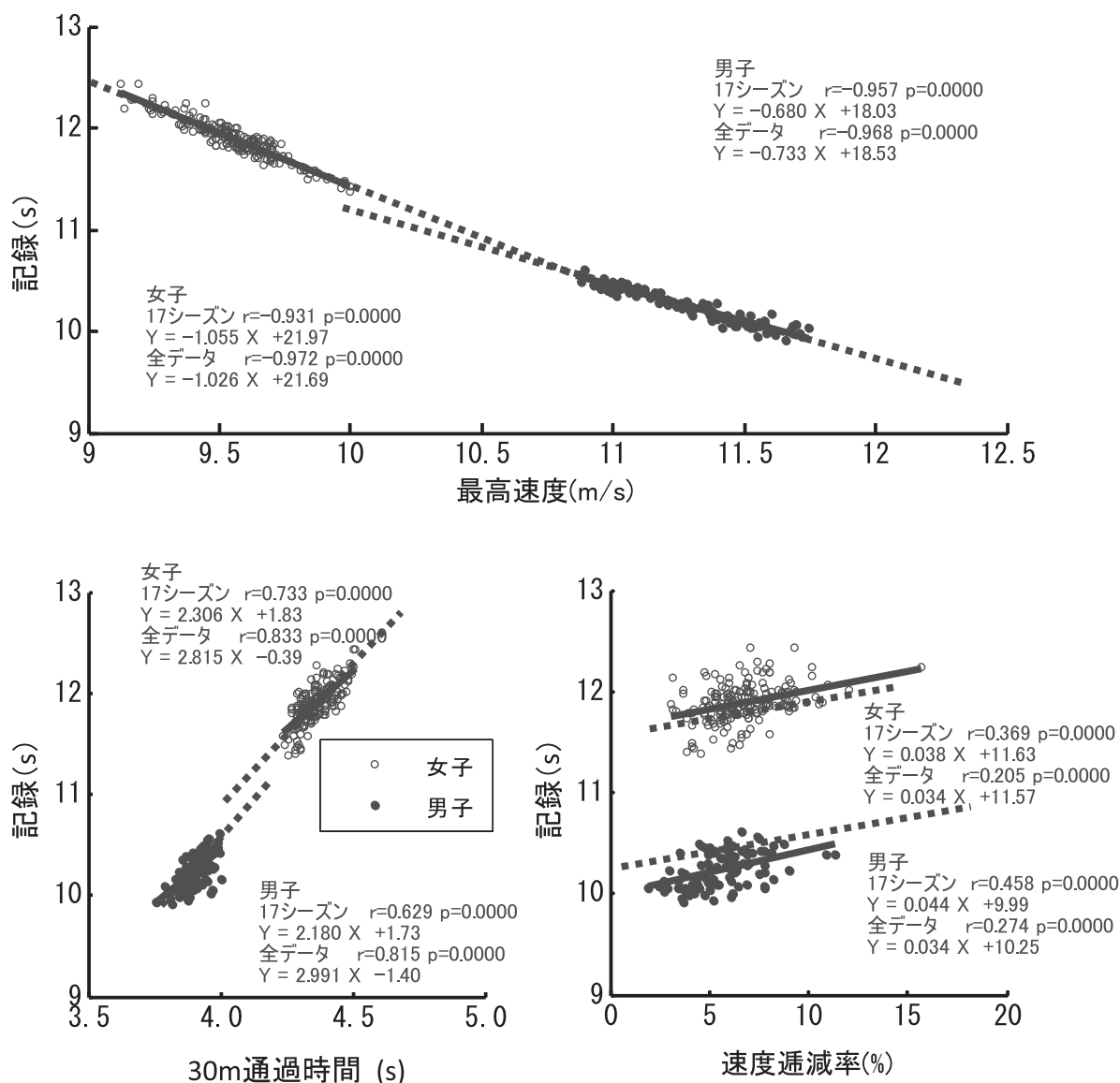


図1 2017シーズンにおける男女別に見た最高速度（上段）、30 mラップタイム（下段左）、速度逡減率（下段右）と記録との関係

点の傾きを求め、速度とした。瞬間加速度は、時間と速度の2次多項式を微分した導関数からx1時点の傾きとした。スタート地点およびフィニッシュ地点の速度と加速度は、10m地点の導関数もしくは90m地点の導関数を用いて時間ゼロ時点、フィニッシュ時点の値を算出した。

2.3. ピッチ・ストライド分析

速度分析で用いた映像から、主要な選手を対象にスタート1ステップ目からフィニッシュラインを通過した後のステップまでを4ステップごとにつま先が着地した時間を分析した（松尾ら、2011）。なお、100mに要したステップ数を求めるために、フィニッシュ直前と直後の1ステップの着地時間を分析した。着地時間から4ステップの平均ピッチ・ストライド、100mのステップ数、最高速度区間のピッチ・

ストライド、レース中の最大値を分析した（松尾ら、2011）。

結果と考察

2017シーズンの6大会で分析した人数は男子では102名、100mの記録の平均値と標準偏差が10.24秒±0.17秒、女子では148名、11.86秒±0.18秒であった（表1）。

1. レース分析結果

2017シーズンの測定結果を男女別に、分析結果から記録でみた上位30位までの速度およびピッチ・ストライドの値を表2（男子）、表3（女子）に示した。

男子の最速データはWCAにおけるGATLIN選手の9.92秒（風-0.8m/s）、最高速度が11.66m/sであった。

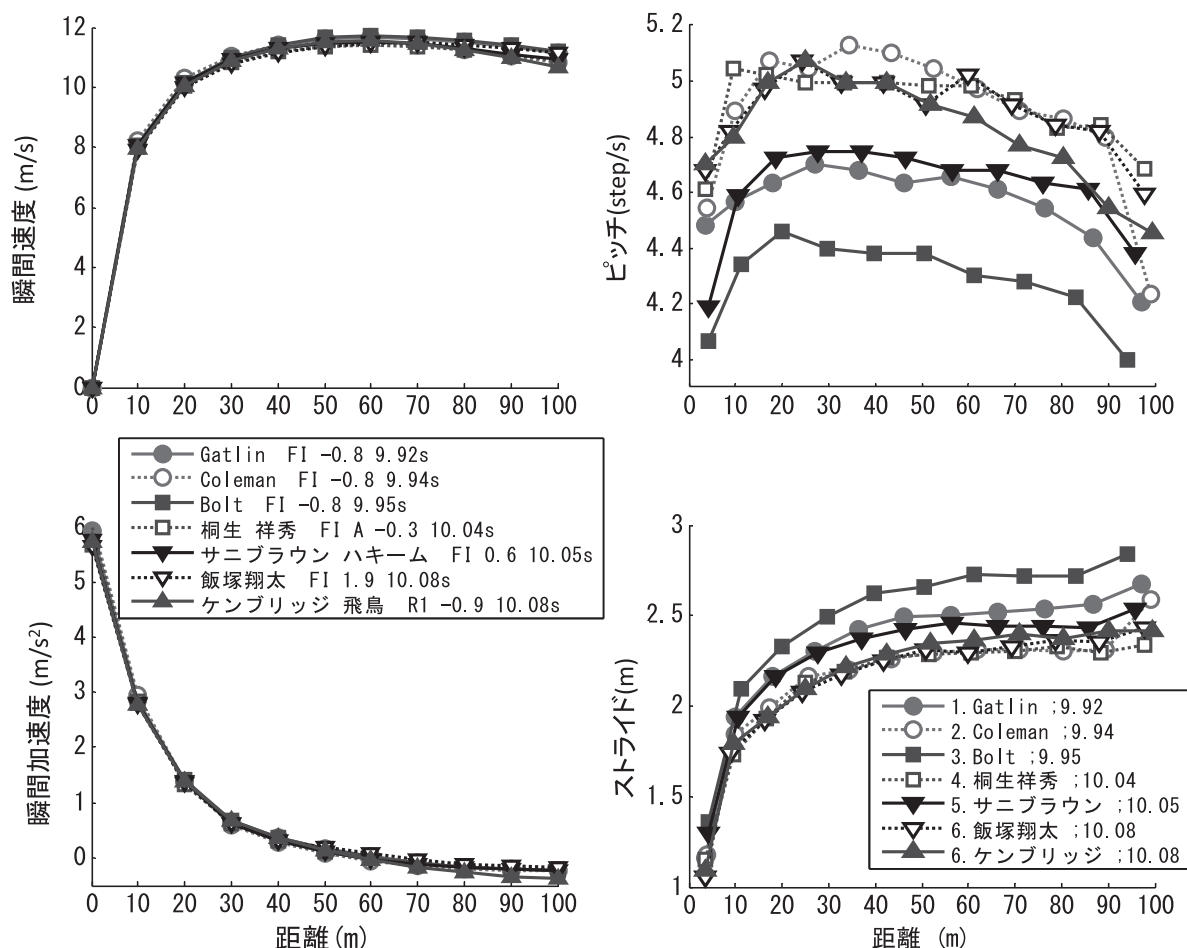


図2 2017シーズン男子における世界選手権上位3名と分析結果の日本選手上位4名の瞬間速度（上段左）、瞬間加速度（下段左）、ピッチ（上段右）およびストライド（下段右）のスタートからフィニッシュまでの変化

日本人最速データは織田の桐生選手の10.04秒（風-0.3m/s）、最高速度が11.42m/sであった（桐生選手の9.98秒は小林らが報告）。女子についてみると最速データは布勢における市川選手の11.38秒（風2.1m/s）、最高速度は10.00m/sであった。

2. 記録と最高速度、30m通過タイムおよび速度逓減率

記録と最高速度、30m通過時間、速度逓減率との関係をそれぞれで男女別にみたものが図1である。図中には、男女別に17シーズンと科学委員会の全データでみた回帰分析結果を示した。各図ともに、太線が17シーズンで点線が全データでみた回帰直線である。どの項目ともに記録とは統計的に有意な相関関係 ($p < 0.001$) がみられた。相関係数がかつとも高かったのは、最高速度でみられた負の相関係数（男子； $r = -0.957$ 、女子； $r = -0.931$ ）であり、ついで30m通過時間（男子； $r = 0.629$ 、女子； $r = 0.733$ ）、もっとも低い係数は速度逓減率（男子； $r = 0.458$ 、女子； $r = 0.369$ ）であった。最高速度と記

録、30m通過時間と記録との関係では、17シーズンの分布および回帰式はほぼ全データと同様の値であった。速度逓減率では、17シーズンと全データ

表1 2017シーズンにおいて大会別にみた分析人数と記録の平均値、標準偏差、最小値、最大値

大会	男子	女子	
織田記念(織田)	13	37	
ゴールデングランプリ(GGP)	5	8	
布勢スプリント(布勢)	16	26	
日本選手権(NCA)	19	29	
世界選手権(WCA)	36		
国民体育大会(NSF)	13	48	
合計	102	148	
記録(s)	平均	10.24	11.86
	標準偏差	0.17	0.18
	最小値	9.92	11.38
	最大値	10.61	12.44

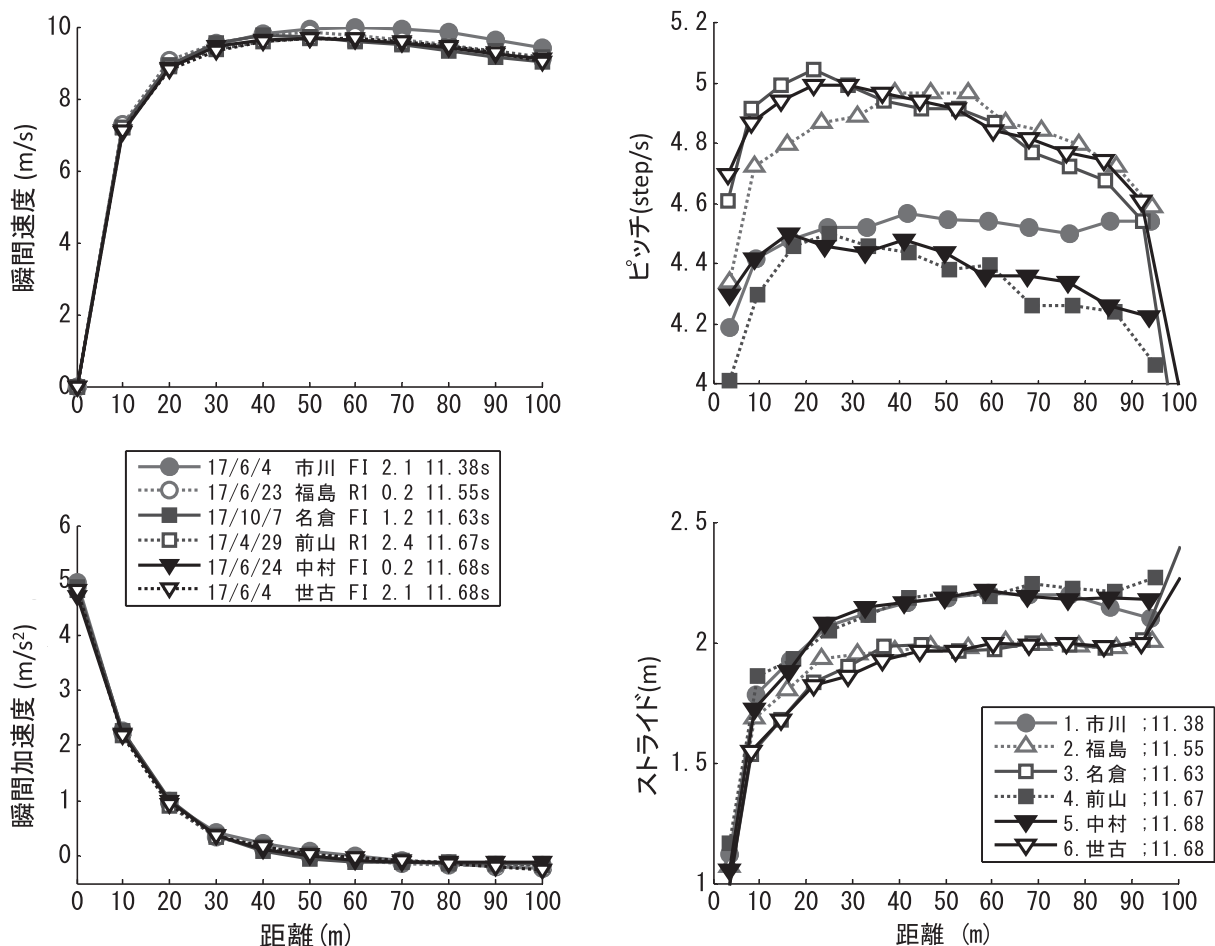


図3 2017シーズン女子における日本選手上位6名の瞬間速度（上段左）、瞬間加速度（下段左）、ピッチ（上段右）およびストライド（下段右）のスタートからフィニッシュまでの変化

の比べると、男子では17シーズンの値が、記録が良い方に分布しており、女子では逆に記録が悪い方に分布する傾向であった。

3. 瞬間速度、瞬間加速度、ピッチ・ストライドの変化

瞬間速度（左上）、瞬間加速度（左下）、ピッチ（右上）・ストライド（右下）のスタートからの距離で見た変化を、男子について示したものを図2、女子を図3に示した。

瞬間速度の変化をみると、男女ともに従来から報告してきた平均速度と、概ね同様の变化傾向であった。一方、瞬間加速度を見ると、0m地点がもっとも大きく、急激に減少し、概ね瞬間最高速度に達する50mから70m付近からは負の値になる。0m地点の瞬間加速度は、0m、10mと20m地点のデータから算出されたもので、実際の0m地点のものとは異なると思われる。詳細な検討が必要である。

男子の瞬間速度、瞬間加速度をみると、スタート時にGatlin選手が高い値を示していることと、最高速度到達後の瞬間速度の低下と瞬間加速度に個人

差がみられた。一方の女子では市川選手では瞬間速度の変化で見ると40mから他の選手に比べて高い値であった。瞬間加速度を見ると40mから60mで高い値がみられたがそのあとは他の選手とほぼ同水準の値であった。このことは後半の疾走速度の差は、40mから60mの加速度によるものであろうと推察できる。

ピッチおよびストライドは4ステップごとの値である。変化を見ると、男女ともにスタートから20m付近までは増加したのちフィニッシュまで減少するパターン、もう一度増加しフィニッシュまで減少するパターン、また、福島選手やColeman選手のように30mから40m付近で最高値となったあと減少するパターンもあった。共通していることがらは、フィニッシュ付近でピッチは減少する傾向にあることがわかった。また、多くの選手で、瞬間速度が最高値に達する前にピッチでは最高値に到達する傾向が見られた。

ストライドをみると10m付近までは顕著な増加傾向であるが次第に増加は少なくなり、最高速度が出現した後でもわずかであるが増加する傾向が見られ

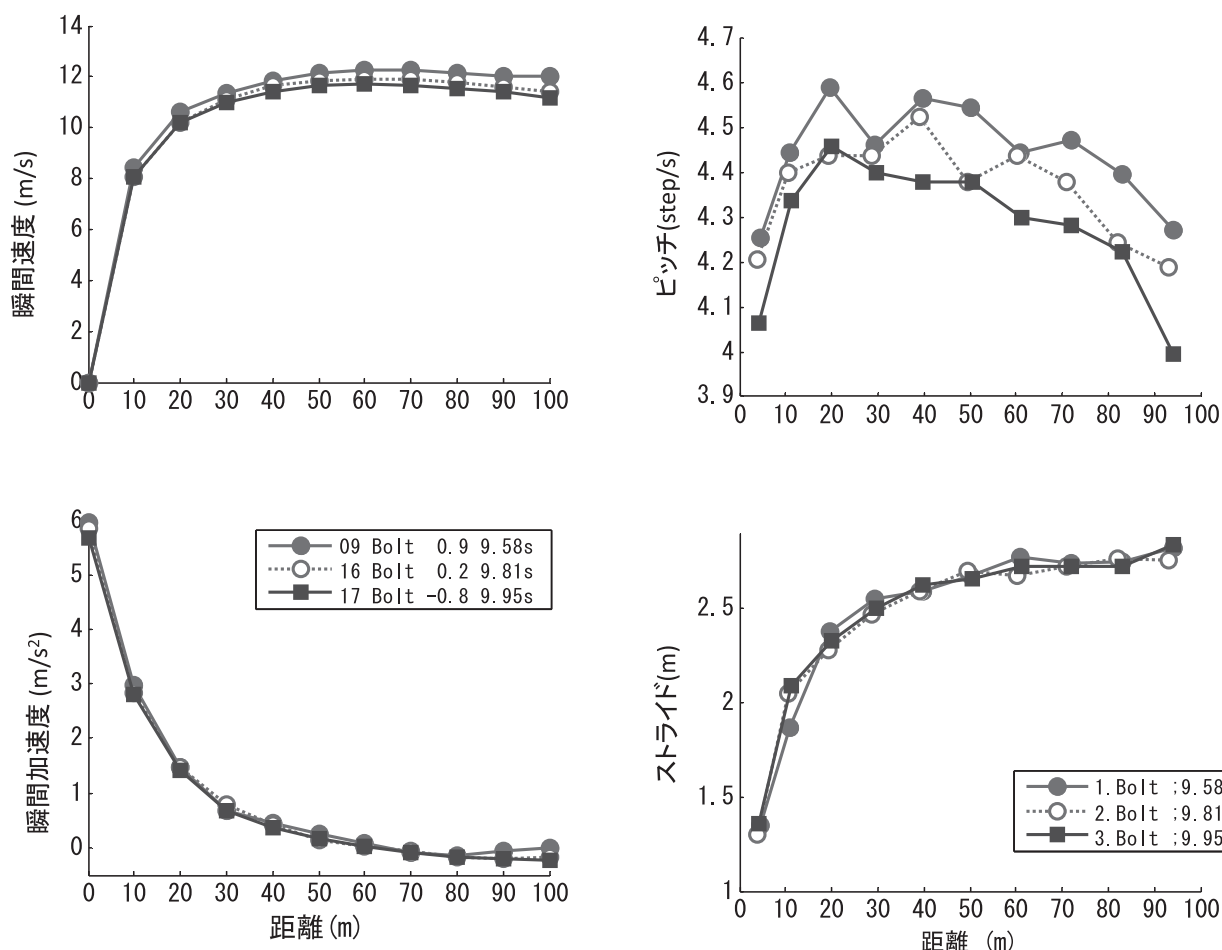


図4 Bolt選手のベルリン世界選手権(09)、リオオリンピック(16)およびロンドン世界選手権(17)の瞬間速度(上段左)、瞬間加速度(下段左)、ピッチ(上段右)およびストライド(下段右)のスタートからフィニッシュまでの変化

た。その後、フィニッシュまではほぼ一定の値もしくは長くなる傾向が見られている。このような傾向は、従来から報告されているものとほぼ同様のものであった(松尾ら、2010)。

図4にはBolt選手のベルリン世界選手権(2009)の9.58秒、リオオリンピック(2016)の9.81秒とロンドン世界選手権(2017)の9.95秒のときの瞬間速度、瞬間加速度、ピッチとストライドの変化を示した。瞬間速度をみると9.58秒のときは10mから高い値を示しており、フィニッシュ手前でも減少がすくなく、それが明らかである。瞬間加速度をみると0m地点、10m地点、40m~60m地点で高く、最後の90mと100mでも高い値であった。これらのことから、Bolt選手の9.58秒では、スタート付近と中間で加速が特徴的あり、フィニッシュ手前でも減速していなかったことが明らかである。ピッチとストライドをみると、9.58秒の 때가全体的にピッチが高く、ついで9.81秒、そして9.95秒のときがもっとも低い値であった。ストライドをみると9.58秒のときは10m付近では小さな値であるが、20m~

30m、最高速度付近の60m付近では明らかに長いストライドである。これら3つの例から、Bolt選手はストライドよりもピッチで記録が影響されていたようだ。

4. 最高速度時のピッチ・ストライドの関係

最高速度時のピッチとストライドの関係を男子について見たものが図5であり、女子について見たものが図6である。図中の斜めの線は等速度曲線で、男子では10.0m/sから12.5m/sまで、女子では9.0m/sから11.0m/sまでの速度を示した。また、2017シーズンのデータには氏名と記録を示し、比較対象のデータを小さな●で示した。さらに、ピッチとストライドのトップアスリートの平均値と標準偏差(松尾ら、2016)を横軸と縦軸に値とラインで示した。

男子では、世界選手権上位3名と分析した日本選手上位10名をプロットした。さらに、Bolt選手の9.58秒(世界記録)のプロットを明示した。ピッチで1標準偏差よりも速いのは、九鬼選手、遅いのはBolt選手であった。ストライドでみると1標準

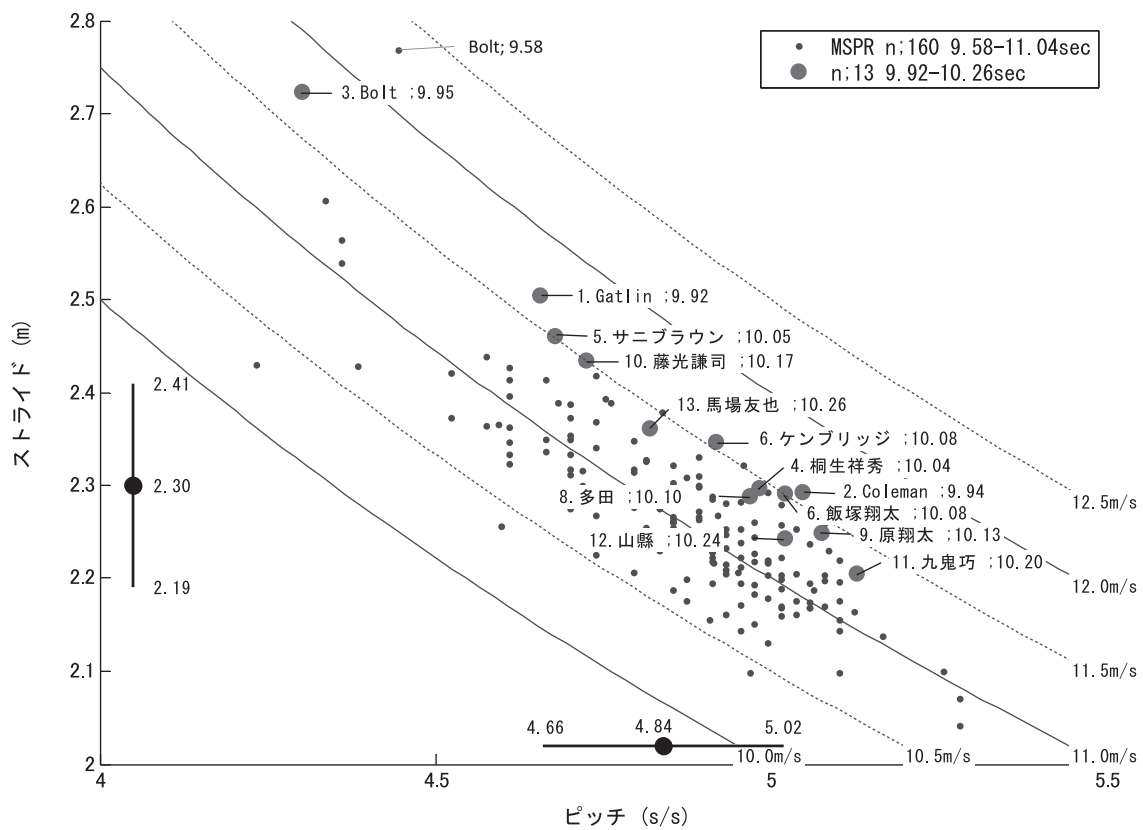


図5. 男子における世界選手権上位3名と日本選手上位10名の最高速度時のピッチとストライドの関係 横軸および縦軸の中央付近の値は平均値と±1標準偏差値 (松尾ら、2016)
 斜めの線は等速度線 (10.0 m / s ~ 12.5 m / s) であり、小さな点は9.58秒から11.04秒までのデータである。

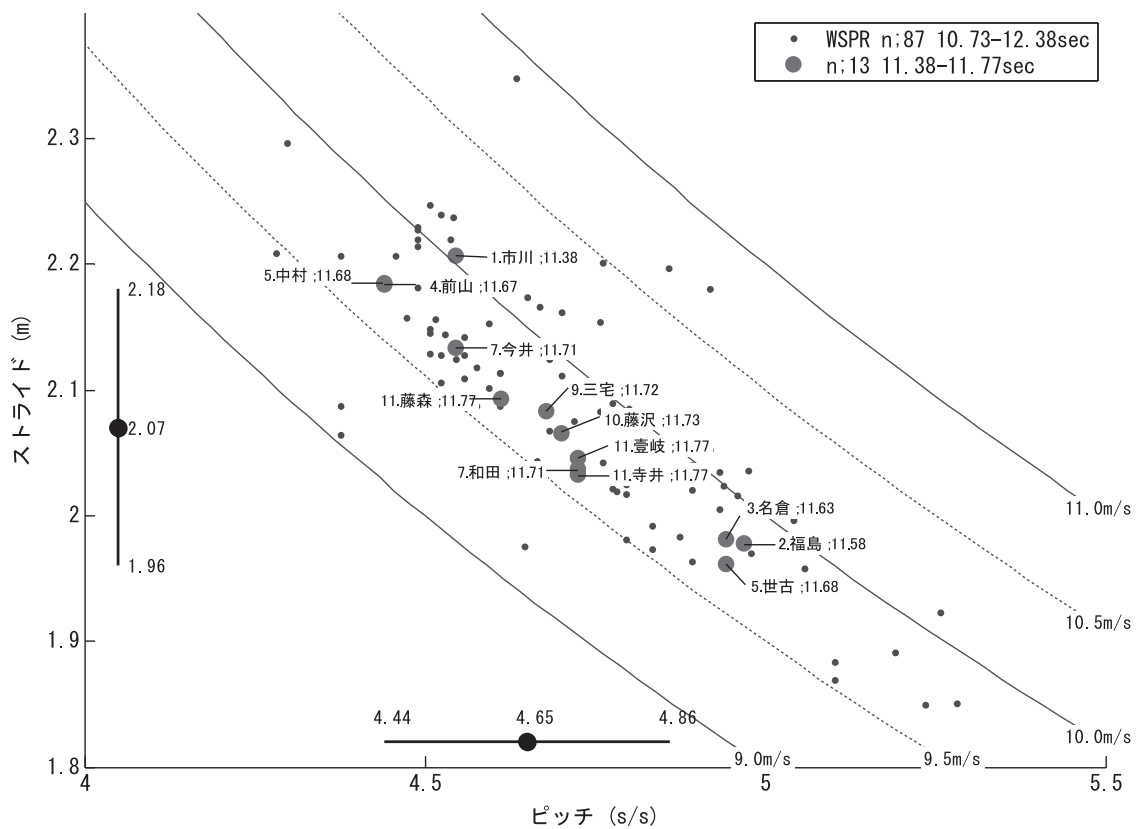


図6. 女子における日本選手上位13名の最高速度時のピッチとストライドの関係 横軸および縦軸の中央付近の値は平均値と±1標準偏差値 (松尾ら、2016)

偏差よりも長いのは Bolt 選手、Gatlin 選手、サニーブラウン選手と藤光選手であった。Bolt 選手のストライドはおよそ 4 標準偏差ほど長くて、ピッチは、3 標準偏差遅い値であった。このことから、Bolt 選手は、ピッチが遅いことよりも、ストライドが長いことの方が全体よりもかけ離れていたと考えることができる。

女子では、分析日本選手の上位 13 名をプロットした。ここでも 1 標準偏差を基準にみても、ピッチが速いのが福島選手、名倉選手、世古選手らであり、ストライドが長いのは市川選手、前山選手と中村選手であった。また、三宅選手、藤沢選手や藤森選手は平均値に近い値であった。

このように、測定データ全体の平均値と比較することで個人特性の傾向を数値でみることもできるものと思われる。

5. ピッチ・ストライド、瞬間最高速度の到達距離と時間

瞬間速度の最高値は 50m ~ 70m 付近で達するが、これよりも前にピッチが最高値に達し、ストライドはこのあとにで最高値に達する傾向にある。そこで、17 シーズンを対象に、ピッチ・ストライドと瞬間最高速度が最高値に達する距離と時間を分析した結果を男女別に表 4 に示した。

到達距離の平均値をみるとピッチでは男子が 30m、女子が 25m、瞬間速度では男子が 57m、女子が 48m で、ストライドでは男子が 77m、女子が 68m であった。スタートからピッチが最高値に達し、次に瞬間速度が、最後にストライドが最高値に達する傾向にあることが明らかになった。男女差、t 検定でみると有意な差であり、女子の方がすべてスタート側で最高値に達していた。一方の到達時間でみると、ピッチ、瞬間最高速度、ストライドともに、男女差は有意ではなかった。これらのことから、100m では、スタートからまずピッチが最高値に達したあと、ストライドが伸びながら最高速度に達したのちに、レース後半になってストライドが最高値に達する傾向にあるが、距離では男女差がみられるが、時間でみると男女差がないことが明らかになった。

まとめ

2017 シーズンにおける織田記念、SGGP、布勢スプリント、日本選手権、世界選手権および国体においてビデオ方式にて撮影した動画から、男女 100m レース中の選手の疾走速度、ピッチ・ストライドを

スタートからフィニッシュまでの変化を分析した。

1. 2016 シーズンにおける分析結果をみると、男子では 102 例あり、最速は WCA における Gatlin 選手の 9.92 秒（風 -0.8m/s）、最高速度が 11.66m/s であった。女子では 148 例あり、布勢の市川選手の 11.38 秒（風 2.1m/s）、最高速度が 10.00m/s であった。
2. 2017 シーズンの分析結果では、100m の記録と最高速度、30m 通過時間、速度逓減率との関係を見るとどの項目ともに統計的に有意な相関関係 ($p < 0.001$) がみられ、全データとほぼ同様の傾向であった。速度逓減率では、17 シーズンと全データの比べると、男子の値は、記録が良い方に分布しており、女子では逆に記録が悪い方に分布する傾向であった。
3. 10m ごとの通過地点の瞬間速度、また、瞬間加速度を算出し、スタートからの変化についてみた。瞬間速度の変化は、従来からの区間ごとの平均速度とほぼ同様の傾向であった。瞬間加速度はスタート時が最も高く、最高速度以降は負の値を示す傾向であった。瞬間速度を時間で微分することで瞬間的な加速度変化を求めることが可能であることが示された。
4. 瞬間速度、ピッチおよびストライドのそれぞれで最高値に達する距離と時間を集計した。その結果、男女ともに、最初にピッチが最高値に達し、ついで瞬間速度、最後にストライドが最高値に達する傾向があった。また、男女で比較すると距離では明確な差が見られたが、時間では有意な差ではなかった。

参考文献

1. 松尾彰文、持田尚、法元康二、小山宏之、阿江通良、世界トップスプリンターのストライド頻度とストライド長の変化、陸上競技研究紀要、6、56-62、2010
2. 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、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、2011
3. 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、2015 シーズンと記録別にみた男女 100 m のレース分析について、陸上競技研究紀要、11、141-149、2015

4. 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 シーズンおよび全シーズンでみた男女 100 m 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、58-62、2016

表4 2017シーズンの男女別に見た瞬間速度、ピッチ、ストライドのそれぞれの最高値の到達距離と到達時間の平均値と男女平均値の検定結果

性別	項目	到達距離 (m)			到達時間 (秒)		
		ピッチ	最高瞬間速度	ストライド	ピッチ	最高瞬間速度	ストライド
男子 n=102	平均値	29.27	57.32	77.27	3.72	6.35	8.15
	標準偏差	10.18	3.92	11.46	0.96	0.35	1.03
	最小値	3.28	49.67	51.31	0.98	5.66	5.02
	最大値	50.81	68.02	95.18	5.94	7.29	9.77
女子 n=148	平均値	24.79	48.21	68.12	3.76	6.28	8.38
	標準偏差	9.04	4.10	17.45	0.98	0.44	1.85
	最小値	7.44	39.31	38.58	1.76	5.38	5.20
	最大値	54.70	65.22	94.97	6.87	8.16	11.33
男女差のt検定 p値		0.0003	0.0000	0.0000	0.7605	0.1336	0.2685