

## 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

松尾彰文<sup>1)</sup> 持田尚<sup>2)</sup> 法元康二<sup>3)</sup> 小山宏之<sup>4)</sup> 阿江通良<sup>4)</sup>

1) 国立スポーツ科学センター 2) 横浜スポーツ医科学センター 3) 茨城県立医療大学  
4) 筑波大学

### 緒言

陸上競技短距離レースの分析では、スピード変化について、ビデオカメラやレーザー方式のスピード計測装置で数多く行なわれており、レース中の最大スピードが100mのタイムと相関が高いことがわかっている(松尾ら, 2009)。疾走のスピードはストライドの長さ×頻度の積として表され、同じスピードでもストライド長とストライド頻度の組み合わせ方は多種多様である。世界のトップ加速局面、最大スピード局面やフィニッシュ直前局面のそれぞれで、ストライド頻度とストライド長の組み合わせ方を探ることは、レース戦略をたてる場合の基礎的な資料となるであろう。

世界のトップクラスが集まる世界選手権では、レース戦略を探る絶好の機会である。2009年8月ベルリンで行われた陸上競技世界選手権に日本陸連科学委員会では国立スポーツ科学センターとともにレース分析ができるような映像データの収集をおこなった。

本研究では、世界記録が出た男子100mにおけるスピード、ストライドの頻度と長さ、接地時間や空中時間について、決勝の上位3名と日本人選手を分析してレースパターンについて検討することを目的とした。

### 方法

世界選手権の男子100mレースを1次予選から決勝まで、ハイスピードのビデオ映像が撮影できるデジタルカメラ(CASIO; EXILIM PRO EX-F1およびEX-FH20)にて毎秒299.7コマまたは毎秒209.79コマで、スタート付近、フィニッシュライン付近、バックスタンド中央、直走路正面の4カ所から撮影した。

分析は、決勝レースの上位3名と日本選手のこの大会でタイムが最もよかったレースを対象とした。

決勝レースのボルトとパウエルのスピードは公式に発表された10mごとのラップタイムデータを用いた([http://berlin.iaaf.org/mm/Document/Development/Research/05/31/54/20090817073528\\_httpostedfile\\_Analysis100mMenFinal\\_Bolt\\_13666.pdf](http://berlin.iaaf.org/mm/Document/Development/Research/05/31/54/20090817073528_httpostedfile_Analysis100mMenFinal_Bolt_13666.pdf))。ゲイ選手および日本選手の10mごとのラップタイムはトラックにつけられたマークやハードル位置のマークを参考にその上をトルソーが通過するタイムとした。ベルリンの競技場では、ハードルのマークが大きく、カメラを設置したこの位置からでも確認できた。10mごとのマークがなかった70mと80m付近では100mハードル(72.5mと81m)のマークを参考にして通過タイムを分析し、距離時間の関係から70mおよび80mの通過タイムをスプライン関数にて推定した。

スタートからゴールまでのつま先の着地および離地のタイミングをビデオ映像のコマ数より分析した。299.7コマ/秒では、0.003秒の分解能、209.79コマ/秒では0.005秒であった。

つま先の着地をもとに、1ステップを右足着地から次の左足着地までの右-左ステップと左足着地から次の右足着地までの左-右ステップとした。また、ストライドとして右足から次の右足の着地までを右ストライド、左足着地から次の左足着地までを左ストライドとした。それぞれのステップおよびストライドで、接地時間の差の逆数を頻度、着地位置の差を長さとした。

着地位置は、各ステップの着地時間と10mごとに計測した通過時間と距離の関係から、スプライン関数を用いて補間し、着地時のトルソーの位置を推定した値とした。したがって、この方法で推定したステップ長およびストライド長はそれぞれのトルソー

の移動距離に相当する。

## 結果

ボルト選手を含む6名の10mごとの通過タイム、区間の通過タイムと区間スピードを表1に、また、時間経過にともなうスピードの変化を図1に示した。ボルト選手の最大スピードは12.35m/sでもっとも速く、次いでゲイ選手の12.20m/sで、パウエル選手は11.90m/sであった。一方、日本選手は11.36m/sから10.91m/sであり、ボルト選手とは1m/s以上の差があった。また、最大スピードに達した区間をみると、ボルト選手とゲイ選手がともに60mから70m区間であったが、他の選手は50mから60mの区間であった。北京オリンピックのボルト選手の最大スピードは12.2m/sであったことから、さらに0.1m/s程速かったことが明らかになった。

表2には、ボルト選手の1歩目からフィニッシュまでの1歩ごとの着地時間とそのときの位置、およびピッチとストライドを示した。なお、最後の1歩としてつま先の着地位置をビデオ映像から分析すると長さは2.99mであった。頻度の最も高い値は右が20m付近で2.33s/sと左が40mから50mの2.29s/sであった。ストライド長でみると、フィニッシュ前で、右が5.73m、左が5.51mであった。

図2は、ボルト選手を含む上位3名と日本人選手のストライドの頻度と長さの変化である。Rは右ストライド、Lは左ストライドである。

ボルト選手のストライド頻度を見ると、スタートから15m付近(約2.5秒)までは増加し、その後、4秒後(35m付近)まで減少する。さらに、5秒後(50m付近)まで再び増加するがそのあと徐々に減少する傾向がみられた。最大スピード区間である60mから70mの手前では頻度が減少しているがストライドが伸びる傾向であることが明らかである。このようにレース中にストライド頻度には2つのピークがあり、最大スピード付近では頻度が減少し長さが伸びる傾向は91年のカールルイス選手(9.86秒当時世界記録)にも見られた傾向であった(阿江, 1994)。他の選手を見ると、頻度はスタートから2秒くらいまでに2.4s/sから2.5s/sまで増加し、7秒くらいまで頻度の値はこの範囲でばらつく傾向であった。その後、フィニッシュまでは、どの選手も徐々に減少した。

ボルト選手のストライド長をみると、スタートから15m付近(2.5秒)くらいまでは顕著に増加するが、その後は、フィニッシュまで徐々に増加したり、

あるいは変化しなかったりしていた。スタートから3秒過ぎから他の選手と差が大きくなる傾向がみられ、最大スピード付近ではゲイ選手やパウエル選手よりも0.5mほど長いし、日本選手よりも1m程度長かった。

レース経過ごとにストライドの頻度と長さを関連づけると以下のようなになる。

- (1) スタートから最大スピードまで  
0m～15m; ストライド長とストライド頻度ともに増加  
15m～30m; ストライド頻度が減少, ストライド長は増加  
30m～40m; ストライド頻度が増加, ストライド長はわずかに増加  
40m～65m; ストライド頻度が減少, ストライド長は増加し, 最大スピード区間へ
- (2) 最大スピード局面からフィニッシュまで  
65m～80m; スピード維持区間; ストライド頻度, ストライド長ともに変化は僅か  
80m～100m; フィニッシュ直前; ストライド頻度が減少, ストライド長は増加

特に、最大スピードに到達する直前の区間では頻度は減少しているが、ストライド長を伸ばしながら、スピードを上昇させていた。ストライド頻度と長さの組み合わせ方は多種多様であり、ボルト選手のようなパターンはその一例であると考えられる。

塚原選手の2次予選では、フィニッシュまでストライドの頻度と長さともに顕著な減少が見られなかった。フィニッシュ直前で先行する選手を追い越し4着と差0.01秒で3着となり、準決勝進出を決めることができたのは、ストライド長と頻度ともに維持されていたことが要因の一つではないかと考えられる。

日本選手と決勝上位3名と比べると、ストライド頻度よりもストライド長の差が顕著であることがわかる。塚原選手についてその後のスピード上昇にはストライド頻度をさらにあげるのか、長さを広げるのかの検討が必要であろう。江里口選手と木村選手ではスタートから3秒程のところでストライドが一度減少する局面が見られた。ボルト選手のパターンのようにスムーズなストライドの増加を求めるのか、頻度との関係も含めた検討が必要であろう。

図3には選手別に見た時間経過にともなうスタートからフィニッシュまでの接地時間(上段)と滞空時間(下段)の変化を示した。接地時間はスタート直後では0.14から0.19秒であるが、スピード上昇にともない減少し、スタートから4秒もしくは5秒

表 1. 男子 100m の 10m ごとのラップタイム, 区間通過タイム, 区間スピード

ボルト選手とパウエル選手のデータは大会ホームページで公開されたものである。

ガイ選手と日本人選手はビデオ映像からトラックのマークを参考に分析した。トラックのマークは 10m から 60m までは 10m ごとのマーカーを参照した。70m 付近と 80m 付近は 100m ハードルのマーカーを 90m はリレーゾーンのラインを参照した。

name	round	wind m/s	finish time s	max speed m/s	max speed distance m	item	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
							time(s)	lap(s)	speed(m/s)	time(s)	lap(s)	speed(m/s)	time(s)	lap(s)	speed(m/s)	time(s)	lap(s)
Usain Bolt	FI	0.9	9.58	12.35	65	time(s)	1.89	2.88	3.78	4.64	5.47	6.29	7.10	7.92	8.75	9.58	
							lap(s)	1.89	0.99	0.90	0.86	0.83	0.82	0.81	0.82	0.83	0.83
								speed(m/s)	5.29	10.10	11.11	11.63	12.05	12.20	12.35	12.20	12.05
Tyson Gay	FI	0.9	9.71	12.2	65	time(s)	1.91		2.93	3.85	4.71	5.55	6.38	7.20	8.03	8.86	9.71
							lap(s)	1.91	1.02	0.92	0.86	0.84	0.83	0.82	0.83	0.83	0.85
								speed(m/s)	5.24	9.80	10.87	11.63	11.90	12.05	12.20	12.05	12.05
Asafa Powell	FI	0.9	9.84	11.9	55	time(s)	1.87		2.90	3.82	4.70	5.55	6.39	7.23	8.08	8.94	9.84
							lap(s)	1.87	1.03	0.92	0.88	0.85	0.84	0.84	0.85	0.86	0.90
								speed(m/s)	5.35	9.71	10.87	11.36	11.76	11.90	11.90	11.76	11.63
Naoki Tsukahara	QF	0.4	10.15	11.36	55	time(s)	1.90		2.95	3.90	4.80	5.70	6.58	7.46	8.34	9.23	10.15
							lap(s)	1.90	1.05	0.95	0.90	0.90	0.88	0.88	0.88	0.89	0.92
								speed(m/s)	5.28	9.46	10.55	11.07	11.19	11.36	11.36	11.31	11.22
Masashi Eriguchi	R1	-0.2	10.38	11.14	55	time(s)	1.94		2.97	3.94	4.86	5.76	6.66	7.56	8.47	9.41	10.38
							lap(s)	1.94	1.03	0.97	0.92	0.90	0.90	0.90	0.91	0.94	0.97
								speed(m/s)	5.16	9.68	10.34	10.88	11.05	11.14	11.13	10.91	10.69
Shintaro Kimura	R1	-0.4	10.47	10.91	55	time(s)	1.93		2.97	3.92	4.85	5.77	6.69	7.61	8.55	9.49	10.47
							lap(s)	1.93	1.04	0.95	0.93	0.92	0.92	0.92	0.94	0.94	0.98
								speed(m/s)	5.18	9.63	10.45	10.78	10.89	10.91	10.84	10.68	10.56

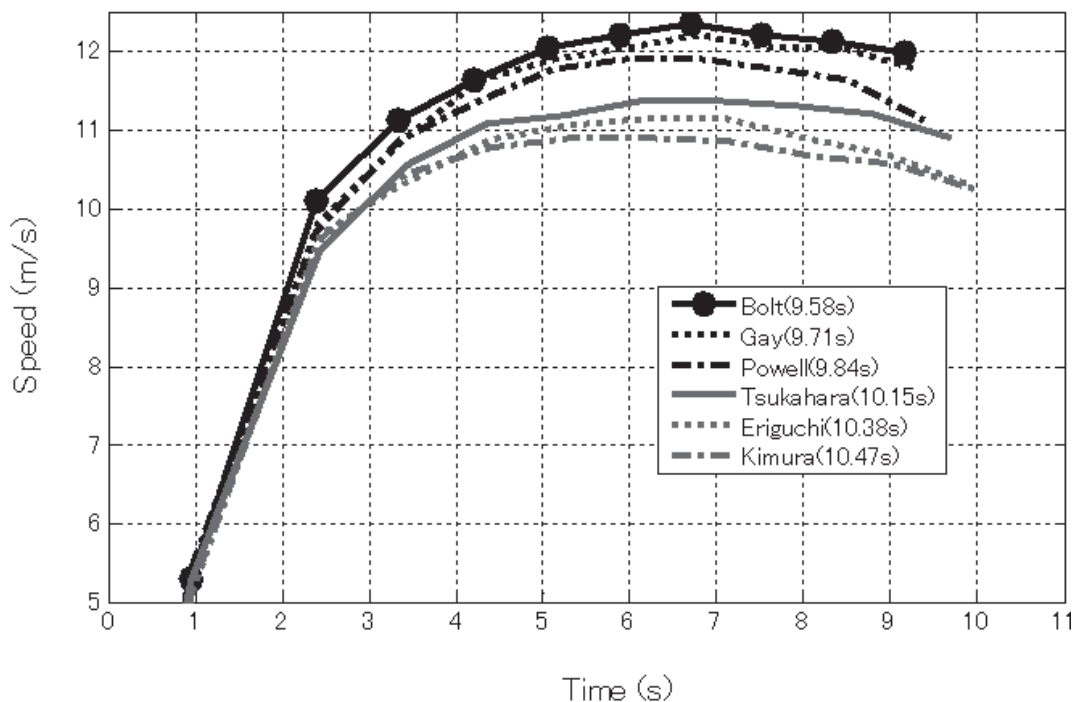


図 1. 10m 区間平均スピード変化

表2. ボルト選手のスタートからフィニッシュまでの左右別にみたすべてのステップにおける着地時間，スタートからの着地位置，ピッチおよびストライド

着地位置は10m ごとのトルソーの通過タイムと距離の関係をもとに着地時の位置を推定したものである。したがって、ここでいう着地位置は、足跡を実測したものではなく、ストライドはトルソーの移動距離に相当する。ビデオ映像から分析した最後に1歩は3.00mであった。

bolt 9.58 sec								
	Right				Left			
	time s	distance m	frequency s/s	length m	time s	distance m	frequency s/s	length m
1	0.56	1.14			0.77	2.03		
2	1.03	3.44	2.11	2.30	1.25	4.86	2.08	2.83
3	1.50	6.69	2.14	3.25	1.72	8.49	2.14	3.63
4	1.96	10.66	2.16	3.97	2.17	12.65	2.21	4.16
5	2.40	14.94	2.28	4.28	2.61	17.11	2.28	4.46
6	2.83	19.45	2.33	4.51	3.05	21.82	2.28	4.71
7	3.27	24.28	2.26	4.84	3.49	26.70	2.27	4.88
8	3.71	29.25	2.26	4.97	3.94	31.79	2.23	5.09
9	4.17	34.44	2.21	5.19	4.39	37.01	2.22	5.22
10	4.61	39.64	2.26	5.20	4.82	42.19	2.29	5.18
11	5.04	44.83	2.31	5.19	5.26	47.45	2.29	5.27
12	5.48	50.08	2.31	5.25	5.70	52.79	2.27	5.34
13	5.92	55.51	2.24	5.43	6.14	58.20	2.26	5.41
14	6.37	60.98	2.24	5.47	6.59	63.74	2.22	5.54
15	6.82	66.59	2.21	5.60	7.04	69.26	2.24	5.52
16	7.27	72.09	2.24	5.50	7.49	74.74	2.24	5.48
17	7.72	77.54	2.24	5.45	7.93	80.16	2.24	5.42
18	8.17	83.02	2.21	5.48	8.39	85.67	2.19	5.51
19	8.63	88.52	2.19	5.50	8.85	91.17	2.19	5.50
20	9.09	94.07	2.17	5.55	9.30	96.68	2.19	5.50
21	9.56	99.80	2.10	5.73				

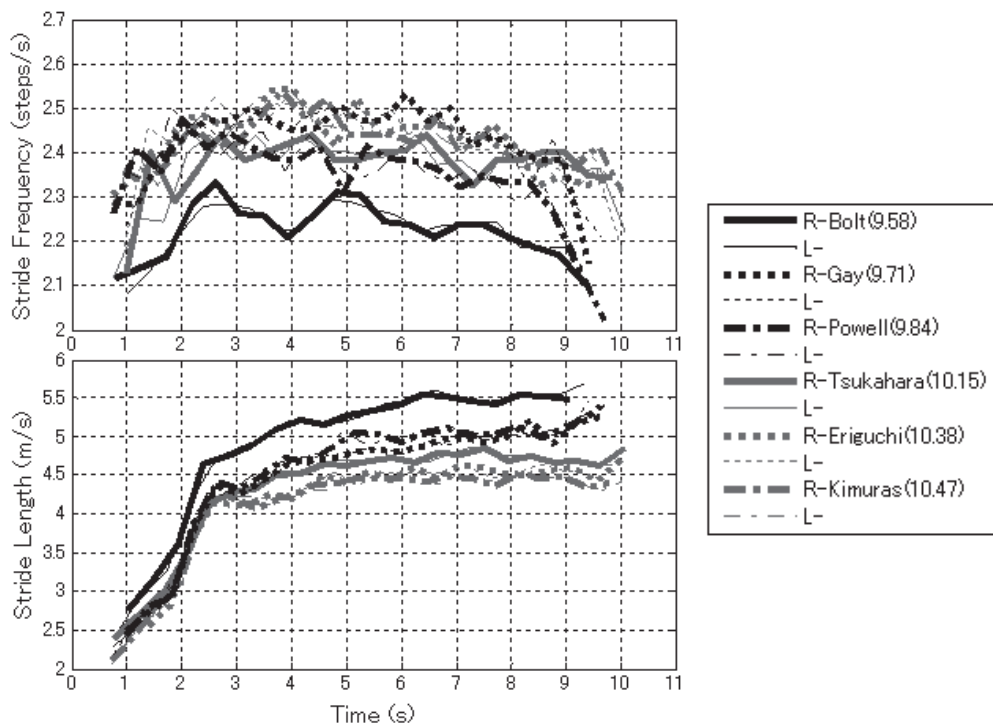


図2. 選手別に見た時間経過にともなうスタートからフィニッシュまでのストライド頻度（上段）とストライド長（下段）の変化

くらいで0.08秒から0.1秒くらいまで減少する傾向である。ストライド頻度が他の選手よりも明らかに少なかったボルト選手は、0.17秒くらいから最大スピード付近で0.09秒まで短くなった。この時間は他の選手と比べても特別長いことはなかった。空中時間をみるとスタート直後は0.04秒であるが、しだいに長くなり、4秒から5秒くらいで0.1秒から0.14秒ほどに達し、フィニッシュまでほぼそのままの選手と、ゲイ選手やボルト選手と塚原選手のように長くなる傾向の選手もいた。ボルト選手はストライド頻度は他の選手よりも明らかに少ないが、接地時間では、特別に長いというほどではなかったが、滞空時間では、もっとも長い値を示す傾向がみられた。

表3では、決勝 (Final) での上位3選手と1次予選 (1Round) または準々決勝 (Q-Final) における日本選手3名の身長 (Height), 体重 (Weight), ラウンド (round), フィニッシュタイム (Finish time), 風速 (wind), スタート局面 (start), 最大スピード局面 (max), フィニッシュ直前局面 (finish) におけるスピード (speed), ステップ頻度 (step frequency), ステップ長 (step length) と接地時間 (contact) を示した。局面の数値は4ステップの平均値とした。また%では、最大区間に対するフィニッシュ直前区間の数値の比を示した。スピードの低下は、ボルト選手の3%がもっとも少なく、パウエル選手と江里口選手の7%がもっとも大きかった。

ストライド長で身長比をみるともっとも大きかったのは、ボルト選手の140%であり、もっとも小さいのが塚原選手と木村選手の131%であった。このことは、ボルト選手は身長が高い以上に長いストライドで走っていたことを示す結果である。このように長いストライドは、長身長の足の長さで得られるだけではなく、地面への出力も長いストライドを得るために有効に行なわれた結果と考えられる。接地時間をみても0.09秒と日本人選手とほぼ同じ水準であった。このことから接地中、秒速で1m/sの差は接地中の地面への出力に大きな差があり、それが、ストライドの差になって現れたものと考えられる。

## まとめ

2009年8月の世界陸上競技選手権ベルリン大会における世界記録9.58秒のボルト選手を含む男子100m決勝レースの上位3名と日本人選手3名を対

象にレース中のスピード、ストライド頻度およびストライド長を大会中に撮影した高速のビデオ映像から分析した。ベルリンのトラックには、ハードル等のマークが大きく、また、ほぼ10mごとにマークやラインが引かれてあった。これらのマークはビデオ映像からも認識することができたので、精度の高い分析ができた。

1. ボルト選手についてみるとスタートからフィニッシュまで他の選手に比べ、ストライドは長く、最大スピード区間では2.75mに達しており、身長比でみると140%で、他の選手よりも高い値であった。また、フィニッシュ時のステップは2.99mであった。
2. ボルト選手のピッチは他の選手よりも遅く、最大スピード区間では4.48s/sであり、もっとも速かったゲイ選手の4.9s/sよりも0.42s/s少なかった。
3. 接地時間では最大スピード区間でも0.09秒で他の選手と同水準であったが滞空時間をみると、他の選手よりも長かった。
4. ボルト選手についてみると、レース中ストライドの頻度と長さは以下のように変化した。特に、最大スピードに到達する直前の区間では頻度は僅かに減少しながら、ストライドが長くなる傾向であった。

### (1) スタートから最大スピードまで

0m - 15m ; ストライドとピッチを同時に増加

15m - 30m ; ピッチが減少, ストライドは増加

30m - 40m ; ピッチが増加, ストライドの変化はわずか

40m - 65m ; ピッチが減少, ストライドが増加し, 最大スピード区間へ

### (2) 最大スピード局面からフィニッシュまで

65m - 80m ; スピード維持区間 ; ピッチ, ストライドを保持

80m - 100m ; フィニッシュ直前 ; ピッチが減少, ストライドが増加

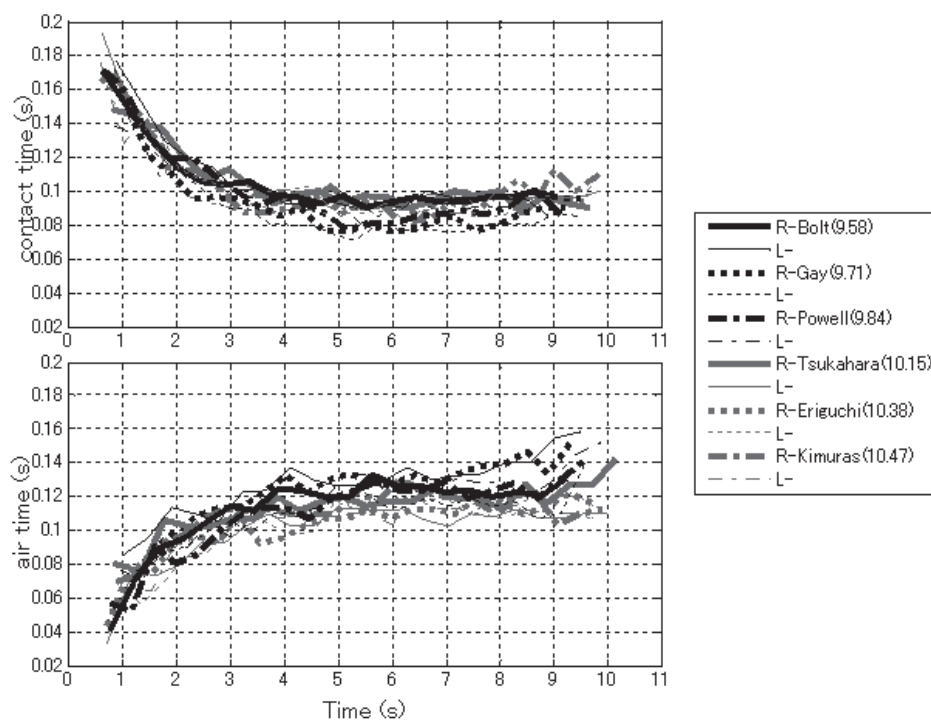


図3. 選手別に見た時間経過とともにスタートからフィニッシュまでの接地時間（上段）と滞空時間（下段）の変化

表3. 男子 100m 決勝 (Final) における上位3選手と1次予選 (1 Round) または準々決勝 (Q-Final) における日本選手3名の身長 (Height), 体重 (Weight), ラウンド (round), フィニッシュタイム (Finish time), 風速 (wind), スタート局面 (start), 最大スピード局面 (max), フィニッシュ直前局面 (finish) におけるスピード (speed), ステップ頻度 (step frequency), ステップ長 (step length) と接地時間 (contact)

局面別の数値は、それぞれの局面での4ステップの平均値とした。各指標で、最大スピード局面とフィニッシュ直前局面との比率をみた。また、ストライドについては、最大スピード局面での身長比も示した。

Athlete		Usain Bolt	Tyson Gay	Asafa Powell	Naoki Tsukahara	Masashi Eriguchi	Shintaro Kimura
Height (cm)		196	183	190	180	170	171
Weight (kg)		95	73	88	75	60	68
round		Final	Final	Final	Q-Final	1 Round	1 Round
finish time(s)		9.58	9.71	9.84	10.15	10.38	10.47
wind(m/s)		0.9	0.9	0.9	0.4	-0.2	-0.4
speed (m/s)	start	5.29	5.24	5.35	5.28	5.16	5.18
	max	12.35	12.2	11.9	11.36	11.14	10.91
	finish	11.98	11.76	11.11	10.91	10.31	10.24
	%	97	96	93	96	93	94
Step frequency (s/s)	start	4.29	4.57	4.67	4.37	4.67	4.7
	max	4.48	4.9	4.75	4.82	4.82	4.89
	finish	4.29	4.54	4.17	4.6	4.67	4.75
	%	96	93	88	95	97	97
Step length (m)	start	1.35	1.21	1.21	1.28	1.14	1.14
	max	2.75	2.48	2.51	2.36	2.28	2.23
	finish	2.81	2.61	2.66	2.37	2.24	2.19
	%	102	105	106	100	98	98
	max/ht	140	135	132	131	134	131
contact (s)	start	0.16	0.16	0.15	0.16	0.15	0.15
	max	0.09	0.07	0.08	0.09	0.09	0.09
	finish	0.09	0.09	0.1	0.09	0.1	0.1
	%	99	118	113	101	106	110
start; start=10m		max; maxSpeed		finish; 90m-100m		% ; finish/max	

## 参考文献

1. 阿江通良・鈴木美佐緒・宮西智久・岡田英孝・平野敬靖 (1994) 世界一流スプリンターの100mレースパターンの分析-男子を中心に-, 世界一流陸上競技者の技術. ベースボール・マガジン社: 東京, 14-28.
2. 松尾彰文・広川龍太郎・柳谷登志雄・杉田正明 (2009) 2008年男女100m, 110mハードルおよび100mハードルのスピード分析. 陸上競技研究紀要, 5: 50-62.