

競技会における男子 400m 走のレース分析

山本真帆¹⁾ 松尾彰文²⁾ 広川龍太郎³⁾ 柳谷登志雄⁴⁾ 松林武生¹⁾ 貴嶋孝太¹⁾
渡辺圭佑⁴⁾

1) 国立スポーツ科学センター 2) 鹿屋体育大学 3) 東海大学 4) 順天堂大学

1. はじめに

現在, 100m 走, 200m 走における走速度, ピッチおよびストライドの分析に関しては, 数多くのデータが報告されているが, 400m 走に関してはあまり報告されていない. その原因の一つには, 測定・分析の難しさがあると考えられる.

400m 走は 100m 走と違い, 直線と曲線を含む種目であるため, 分析にレーザー式の走速度測定器(広川ら, 2007)を用いることはできず, 映像を用いた分析に頼らざるを得ない. 映像を用いた 400m 走の分析方法として, 400mH 走の映像と 400m 走の映像を重ね合わせる Overlay 表示技術(持田ら, 2007)を用いた方法がある. これは 400mH のハードル位置を基準に通過タイムや区間走速度を算出するものである. 本報告では, この Overlay 表示技術を用いて, 2011 年~2012 年の日本トップレベル 400m 選手および 2009 年の世界選手権 400m 決勝 3 選手のレース分析を行なったので, その結果を報告する.

2. 対象

対象競技会は, 第 95 回日本陸上競技選手権大会(2011 年 6 月 10 日~12 日), 第 96 回日本陸上競技選手権大会(2012 年 6 月 8 日~10 日), 第 67 回国民体育大会(2012 年 10 月 5 日~9 日)および, 日本人選手との比較として, 第 12 回世界陸上競技選手権大会(2009 年 8 月 15 日~23 日)における男子 400m 走のレース分析を行なった.

対象選手は, 上記 4 大会で決勝に進出し, かつ分析可能であった選手 17 名(のべ 23 レース; 日本人選手 20 レース, 外国人選手 3 レース)とした. 記録は, 44.06 秒から 47.66 秒であり, 平均記録は 46.33 ± 0.88 秒であった.

2. 方法

2.1 撮影方法

400m 走および 400mH 走のレース映像の撮影は, 三脚に取り付けたデジタルビデオカメラ(Casio Exilim EX-F1 29.97fps)を 4 台用いて, 第一曲走路・バックストレート・第二曲走路・フィニッシュラインの各延長のスタンドから行なった. スタートピストルの閃光を撮影した後, 全選手がフィニッシュするまで追従撮影を行なった.

2.2 分析項目

全ての分析は 400mH のハードル間の距離を基準に行なった(以下, 分析区間とする).

撮影した映像は, 映像再生・編集ソフト(QuickTimePro7, Apple USA)を使用し, ピストルの閃光をゼロフレーム目に編集した後, Overlay 表示技術で各ハードルの位置を選手が通過した瞬間のフレーム数を確認した. Overlay による分析には, 表計算ソフトウェア(MS-Excel 2010)の Visual Basic for Application を用いて開発した映像分析プログラムを用いた.

通過に要したフレーム数をフレームレートで除すことで通過タイムを算出し, これを 400mH のハードル間の距離で除すことにより, 分析区間の平均走速度を算出した. 持田らの報告に倣って, 最高走速度をレース前半の走速度の代表値とし, 325-360m 区間(400mH の 9 台目から 10 台目の間)の走速度をレース後半の走速度の代表値とした(持田ら, 2007).

ピッチの算出は, 分析区間ごとに選手の足が接地する瞬間のフレーム数と, 分析区間内の歩数を読み取った. 歩数は, 左右差の影響をなくするために偶数歩とした. 各歩数に要したフレーム数を区間内の歩数で除すことにより, 区間の平均ピッチを算出した.

表1 400mH ごとの通過タイム, 区間タイムおよび区間平均走速度

選手名	記録	大会	上段:通過タイム[s]		中段:区間タイム[s]			下段:区間平均走速度[m/s]						低下率 [%]
			45m	80m	115m	150m	185m	220m	255m	290m	325m	360m	400m	
MERRITT LaShawn	44.06	世界選手権 2009.8.21	5.61	9.14	12.68	16.32	19.95	23.62	27.39	31.20	35.10	39.24	44.06	14.55
			5.61	3.54	3.54	3.64	3.64	3.67	3.77	3.80	3.90	4.14	4.82	
			8.03	9.90	9.90	9.62	9.62	9.53	9.28	9.20	8.97	8.46	8.30	
WARINER Jeremy	44.60	世界選手権 2009.8.21	5.51	8.94	12.51	16.15	19.79	23.56	27.39	31.23	35.14	39.34	44.60	18.29
			5.51	3.44	3.57	3.64	3.64	3.77	3.84	3.84	3.90	4.21	5.26	
			8.17	10.19	9.80	9.62	9.62	9.28	9.12	9.12	8.97	8.32	7.60	
QUOW Renny	45.02	世界選手権 2009.8.21	5.97	9.58	13.34	17.08	20.85	24.59	28.36	32.17	36.10	40.24	45.02	12.93
			5.97	3.60	3.77	3.74	3.77	3.74	3.77	3.80	3.94	4.14	4.78	
			7.53	9.71	9.29	9.36	9.28	9.37	9.28	9.20	8.89	8.46	8.37	
金丸祐三	45.68	日本選手権 2011.6.11	5.57	9.04	12.48	16.02	19.69	23.52	27.56	31.70	35.94	40.37	45.68	18.82
			5.57	3.47	3.44	3.54	3.67	3.84	4.04	4.14	4.24	4.44	5.31	
			8.08	10.09	10.18	9.90	9.54	9.12	8.67	8.46	8.26	7.89	7.54	
中野弘幸	45.82	岐阜国体 2012.10.8	5.81	9.34	12.98	16.72	20.52	24.32	28.19	32.13	36.20	40.54	45.82	18.46
			5.81	3.54	3.64	3.74	3.80	3.80	3.87	3.94	4.07	4.34	5.28	
			7.75	9.90	9.62	9.37	9.20	9.20	9.04	8.89	8.60	8.07	7.58	
廣瀬英行	45.84	日本選手権 2011.6.11	5.81	9.31	12.91	16.58	20.25	24.12	27.99	31.93	36.07	40.47	45.84	16.67
			5.81	3.50	3.60	3.67	3.67	3.87	3.87	3.94	4.14	4.40	5.37	
			7.75	9.99	9.71	9.54	9.54	9.04	8.89	8.89	8.46	7.95	7.45	
金丸祐三	46.18	日本選手権 2012.6.9	5.54	9.01	12.45	16.05	19.85	23.86	27.93	32.13	36.44	40.84	46.18	15.97
			5.54	3.47	3.44	3.60	3.80	4.00	4.07	4.20	4.30	4.40	5.34	
			8.12	10.09	10.18	9.71	9.20	8.74	8.60	8.33	8.13	7.95	7.49	
石塚祐輔	46.20	日本選手権 2011.6.11	5.61	9.04	12.58	16.28	20.05	24.02	28.03	32.10	36.27	40.74	46.20	16.42
			5.61	3.44	3.54	3.70	3.77	3.97	4.00	4.07	4.17	4.47	5.46	
			8.03	10.18	9.90	9.45	9.28	8.81	8.74	8.60	8.39	7.83	7.33	
杉町マハウ	46.21	岐阜国体 2012.10.8	5.64	9.18	12.81	16.55	20.32	24.22	28.26	32.40	36.60	40.94	46.21	18.46
			5.64	3.54	3.64	3.74	3.77	3.90	4.04	4.14	4.20	4.34	5.27	
			7.98	9.90	9.62	9.37	9.28	8.97	8.67	8.46	8.33	8.07	7.59	
中野弘幸	46.23	日本選手権 2012.6.9	5.84	9.54	13.25	17.12	21.05	25.03	28.96	32.90	36.97	41.11	46.23	5.65
			5.84	3.70	3.70	3.87	3.94	3.97	3.94	3.94	4.07	4.14	5.12	
			7.71	9.45	9.45	9.04	8.89	8.81	8.89	8.89	8.60	8.46	7.81	
東佳弘	46.26	日本選手権 2012.6.9	5.77	9.41	12.98	16.68	20.52	24.42	28.43	32.47	36.64	40.97	46.26	13.10
			5.77	3.64	3.57	3.70	3.84	3.90	4.00	4.04	4.17	4.34	5.29	
			7.80	9.62	9.80	9.45	9.12	8.97	8.74	8.67	8.39	8.07	7.57	
中野弘幸	46.31	日本選手権 2011.6.11	5.67	9.31	13.01	16.78	20.59	24.56	28.56	32.60	36.67	41.01	46.31	12.69
			5.67	3.64	3.70	3.77	3.80	3.97	4.00	4.04	4.07	4.34	5.30	
			7.93	9.62	9.45	9.28	9.20	8.81	8.74	8.67	8.60	8.07	7.54	
高瀬慧	46.48	岐阜国体 2012.10.8	5.57	9.01	12.51	16.05	19.69	23.52	27.59	31.77	36.14	40.64	46.48	23.70
			5.57	3.44	3.50	3.54	3.64	3.84	4.07	4.17	4.37	4.50	5.84	
			8.08	10.18	9.99	9.90	9.62	9.12	8.60	8.39	8.01	7.77	6.85	
渡邊和也	46.62	岐阜国体 2012.10.8	5.67	9.34	12.98	16.75	20.55	24.42	28.43	32.63	36.90	41.31	46.62	17.42
			5.67	3.67	3.64	3.77	3.80	3.87	4.00	4.20	4.27	4.40	5.31	
			7.93	9.54	9.62	9.28	9.20	9.04	8.74	8.33	8.19	7.95	7.53	
初木勝吾	46.83	日本選手権 2012.6.9	5.64	9.24	12.81	16.48	20.32	24.29	28.29	32.37	36.60	41.11	46.83	16.71
			5.64	3.60	3.57	3.67	3.84	3.97	4.00	4.07	4.24	4.50	5.72	
			7.98	9.71	9.80	9.54	9.12	8.81	8.74	8.60	8.26	7.77	6.99	
本塩遼	46.89	日本選手権 2012.6.9	5.61	9.24	12.85	16.62	20.52	24.59	28.73	32.90	37.17	41.54	46.89	12.24
			5.61	3.64	3.60	3.77	3.90	4.07	4.14	4.17	4.27	4.37	5.35	
			8.03	9.62	9.71	9.28	8.97	8.60	8.46	8.39	8.19	8.01	7.48	
柳澤純希	46.89	岐阜国体 2012.10.8	5.81	9.48	13.21	16.92	20.72	24.62	28.73	32.87	37.20	41.57	46.89	16.03
			5.81	3.67	3.74	3.70	3.80	3.90	4.10	4.14	4.34	4.37	5.32	
			7.75	9.54	9.37	9.45	9.20	8.97	8.53	8.46	8.07	8.01	7.53	
初木勝吾	47.02	岐阜国体 2012.10.8	5.61	9.18	12.85	16.55	20.35	24.29	28.40	32.57	36.90	41.37	47.02	20.15
			5.61	3.57	3.67	3.70	3.80	3.94	4.10	4.17	4.34	4.47	5.65	
			8.03	9.80	9.54	9.45	9.20	8.89	8.53	8.39	8.07	7.83	7.09	
渡邊和也	47.05	日本選手権 2012.6.9	5.71	9.41	13.08	16.88	20.79	24.76	28.83	33.00	37.30	41.71	47.05	12.51
			5.71	3.70	3.67	3.80	3.90	3.97	4.07	4.17	4.30	4.40	5.34	
			7.89	9.45	9.54	9.20	8.97	8.81	8.60	8.39	8.13	7.95	7.49	
安井一樹	47.13	日本選手権 2012.6.9	5.94	9.64	13.31	17.08	20.99	24.92	28.86	32.97	37.27	41.68	47.13	12.91
			5.94	3.70	3.67	3.77	3.90	3.94	4.10	4.30	4.40	5.45		
			7.58	9.45	9.54	9.28	8.97	8.89	8.89	8.53	8.13	7.95	7.33	
浦野晃弘	47.20	岐阜国体 2012.10.8	5.84	9.38	13.05	16.85	20.69	24.52	28.56	32.70	37.04	41.51	47.20	20.90
			5.84	3.54	3.67	3.80	3.84	3.84	4.04	4.14	4.34	4.47	5.69	
			7.71	9.90	9.54	9.20	9.12	9.12	8.67	8.46	8.07	7.83	7.03	
木村和史	47.38	岐阜国体 2012.10.8	6.04	9.74	13.51	17.38	21.25	25.16	29.20	33.27	37.57	41.98	47.38	15.91
			6.04	3.70	3.77	3.87	3.87	3.90	4.04	4.07	4.30	4.40	5.40	
			7.45	9.45	9.28	9.04	9.04	8.97	8.67	8.60	8.13	7.95	7.40	
廣瀬英行	47.66	日本選手権 2012.6.9	5.71	9.31	12.95	16.68	20.55	24.52	28.56	32.77	37.20	41.81	47.66	17.42
			5.71	3.60	3.64	3.74	3.87	3.97	4.04	4.20	4.44	4.60	5.85	
			7.89	9.71	9.62	9.37	9.04	8.81	8.67	8.33	7.89	7.60	6.84	

平均ストライドは、平均走速度を平均ピッチで除すことにより算出した。

走速度の低下率は、最高走速度から 325-360m 区間の走速度を引いた値を最高走速度で除すことにより求めた。

2.3 選手へのフィードバック

選手には、走速度、ピッチ、ストライドのスタートからフィニッシュまでの変化をフィードバックした。通過タイムについては、400mH のハードル位置の通過タイムを直線回帰から 50m 毎の通過タイムに換算してフィードバックした。この換算法の精度は、 ± 0.05 秒であるとすでに報告されている (持田ら, 2007)。

2.4 統計処理

2 変量間の相関関係は、ピアソンの相関係数を用いて分析した。有意水準は 5% とした。

3. 結果と考察

3.1 走速度の変化

表 1 には、400mH のハードル区間を基にした通過タイム、区間タイムおよび区間平均走速度を示した。

図 1 には、日本人選手と外国人選手の走速度の変化を示した。ほとんどの選手が、走速度は 80m 付近で最高に到達し、その後走速度はフィニッシュまで低下した。図 2 には、前半の走速度および後半の走速度とフィニッシュタイムとの関係を示した。前半の走速度の平均値は、日本人選手が 9.49 ± 0.33 m/s であり、外国人選手が 9.93 ± 0.24 m/s であった。後半の走速度の平均値は、日本人選手

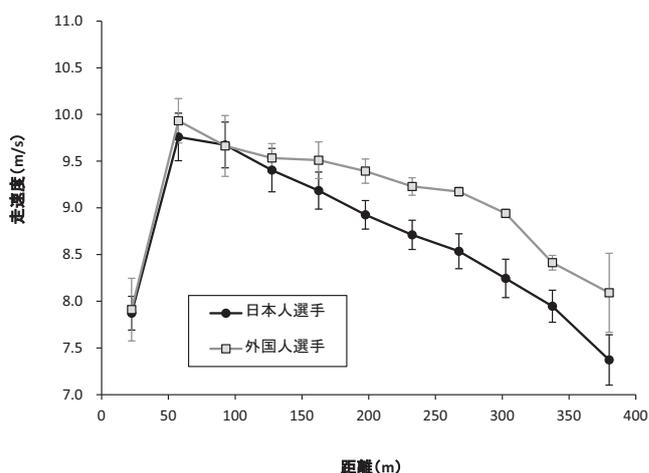


図 1 日本人選手と外国人選手の 400m レースにおける走速度の変化

が 7.95 ± 0.17 m/s であり、外国人選手が 8.41 ± 0.08 m/s であった。前半および後半の走速度ともにフィニッシュタイムと有意な相関関係が認められたが、相関関係の強さは、後半の走速度の方が強かった。100m や 200m は、最高走速度とフィニッシュタイムとの間に有意な相関関係が報告されている (沼沢ら, 1994. 松尾ら, 2011. 土江ら, 2002) ことから、短距離レースにおいてフィニッシュタイムと走速度は、切り離して考えることは難しい。400m 走についての走速度とフィニッシュタイムの関係については、持田ら (2007) が、世界トップレベルの選手 (43.18 秒 ~ 45.40 秒) に焦点をあてると、走速度とフィニッシュタイムとの関係に有意な相関関係は見られなかったと報告している。今回の分析結果が持田らの報告と一致しなかったのは、フィニッシュタイムの幅が広がったからであると考えられた。

図 3 には、走速度の低下率とフィニッシュタイム

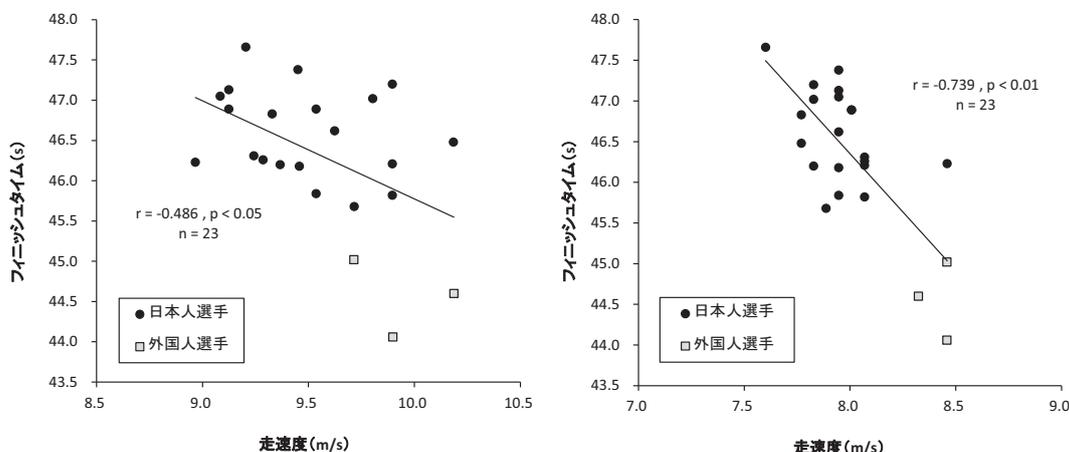


図 2 前半走速度および後半走速度とフィニッシュタイムの関係
左：前半走速度 右：後半走速度

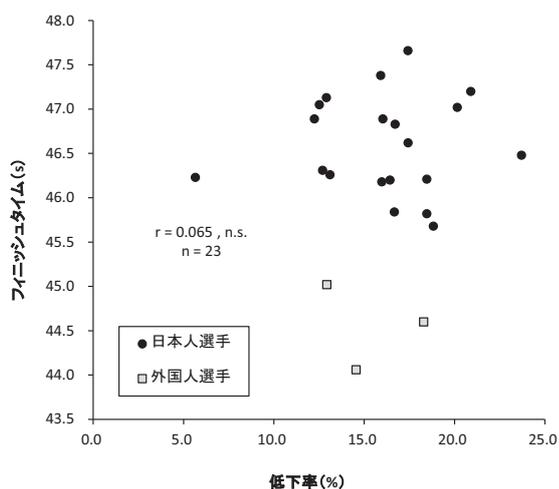


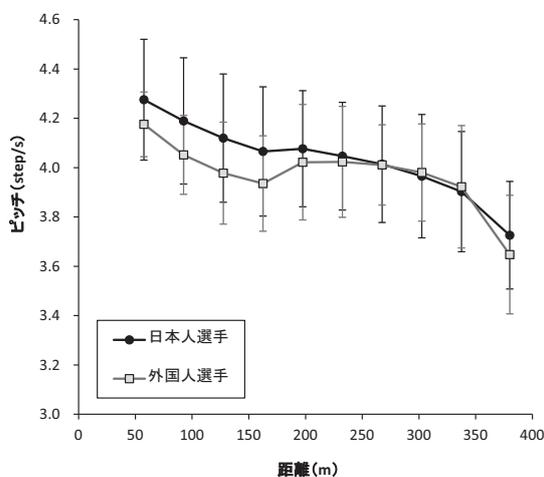
図3 走速度低下率とフィニッシュタイムの関係

との関係を示した。前半から後半への走速度の低下率は、日本人選手が $16.11 \pm 3.89\%$ であり、外国人選手が $15.25 \pm 2.75\%$ であった。日本人選手と外国人選手との間に顕著な差は認められなかった。

本報告の結果から、国内トップレベルの大会で決勝に進出するためには、16%程度の走速度の低下率で、レース後半も走速度が 8.0m/s を大きく下回らないことが、一つの目安になるだろう。また、国際大会で戦うためには、前半の走速度を維持したまま後半の走速度を高めることが重要になるだろう。

3.2. ピッチおよびストライドの変化

図4には、ピッチおよびストライドの変化を示した。ピッチは、200m付近の直線からカーブに変化する区間で少し上昇する選手もいたが、レース全体を通しては、スタートからフィニッシュにかけて減少傾向にあった。日本人選手と比べて外国人選手は、レース前半で低下したピッチがレース後半に上昇し



ていた(図4, 左)。ストライドは、日本人選手も外国人選手も $\pm 30\text{cm}$ 程度の変化量であり、ほぼ一定に保って疾走していた(図4, 右)。外国人選手は、ストライドはほぼ一定に保ったまま200m以降ピッチが高まっていた。そのため後半の走速度の維持は、ピッチの貢献が大きいと考えられた。

3.3 100m ごとのスプリットタイムと記録の関係

図5には、直線回帰から推定した100m, 200m, 300mの推定通過タイムとフィニッシュタイムとの関係をそれぞれ示した。100mとフィニッシュタイムの間には、有意な相関関係は認められなかった。200mおよび300mとフィニッシュタイムの間には有意な相関関係が認められた。その関係は、300mのほうがより強い関係であった。46.0秒のフィニッシュタイムを目標とする場合の300m通過タイムの目安は、33.3秒前後となった。

44秒台で走った2選手のデータをみると、300mの通過タイムはともに32秒台前半であった。300mを32秒台前半で通過することは、44秒台を目指す上で重要になるだろう。

4. まとめ

本報告では、Overlay表示技法を用いて2011年～2012年に開催された日本選手権および国民体育大会の400m決勝に出場した選手のレース分析を行った。また日本人選手との比較として、2009年に開催された世界選手権に出場した3名の選手のレース分析を同様の方法で行った。その結果、以下のことが明らかになった。

1) 前半および後半の走速度とフィニッシュタイム

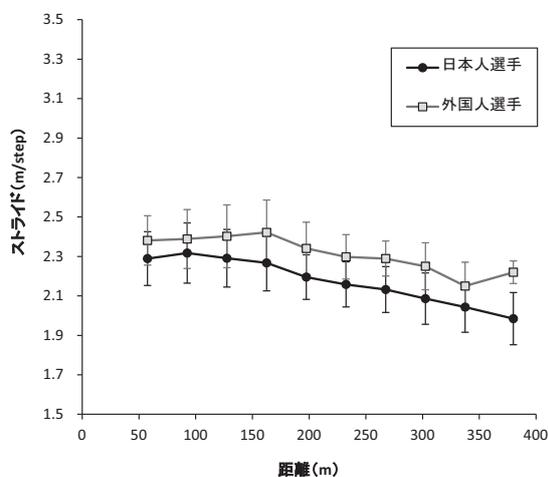


図4 日本人選手と外国人選手の400mレースにおけるピッチおよびストライドの変化
左:ピッチ 右:ストライド

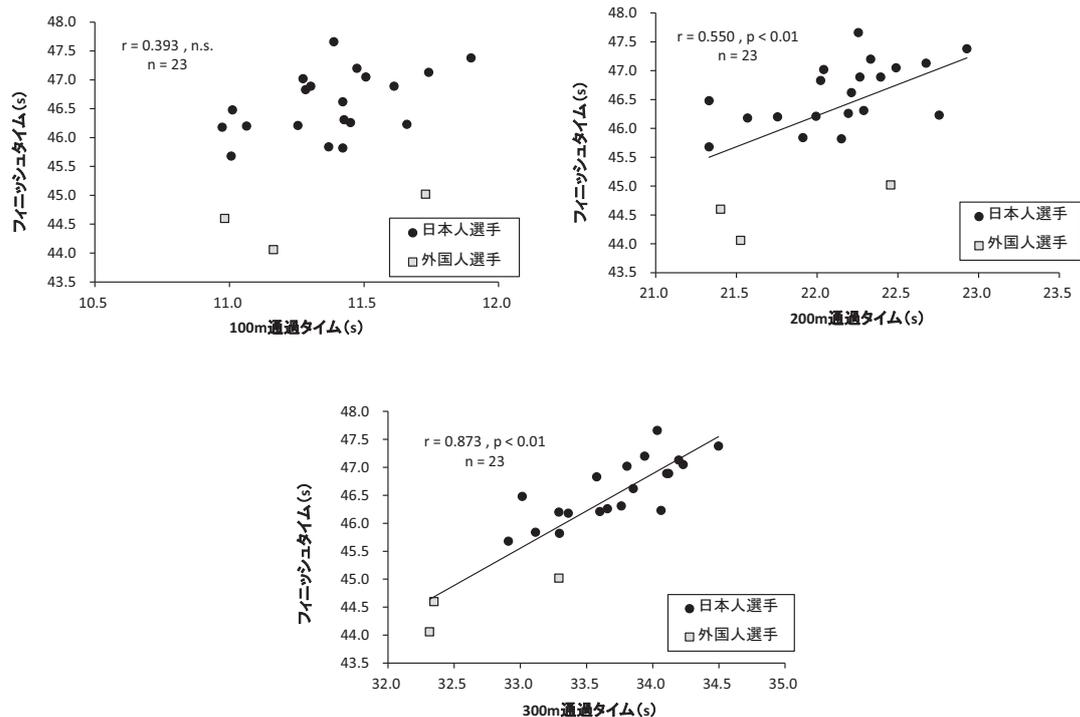


図5 100m ごとの推定通過タイムとフィニッシュタイムの関係

との間に有意な相関関係が認められた。

- 2) 前半から後半の走速度の低下率は、16%程度であった。
- 3) 外国人選手の後半の走速度の高さは、ピッチの貢献が大きい。
- 4) 300m 通過タイムとフィニッシュタイムとの間に有意な相関関係が認められた。

技研究紀要，3：9-15。

- 持田尚，杉田正明（2010）2007 世界陸上競技選手権大阪大会における決勝 400m 走レースのバイオメカニクス分析，日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班報告書，51-75。
- 沼沢秀雄，杉浦雄策（1994）200m，400m レースの時間分析，世界一流陸上競技者の技術 第3回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス研究班報告書，50-56。

参考文献

- 土江寛裕，中川博文，矢澤誠，佐々木秀幸（2002）200m 競走における 10m ごとの疾走速度とピッチ，ストライドの変化，陸上競技紀要，15：30-38。
- 広川龍太郎，杉田正明，松尾彰文，阿江通良，高野進，末續慎吾（2007）男子 100m 走における、国内 GP にて収集した外国人選手と末續慎吾選手の疾走速度の分析，日本陸上競技研究紀要，3：39-41。
- 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 ステップごとにみたスピード，ピッチおよびストライドの変化，日本陸上競技研究紀要，7：21-29。
- 持田尚，松尾彰文，柳谷登志雄，矢野隆照，杉田正明，阿江通良（2007）Overlay 表示技術を用いた陸上競技 400m 走レースの時間分析，日本陸上競