

## 2015年主要競技会における男女400m走のレース分析

山元康平<sup>1) 8)</sup> 高橋恭平<sup>2)</sup> 広川龍太郎<sup>3)</sup> 松林武生<sup>4)</sup> 小林海<sup>5)</sup> 松尾彰文<sup>6)</sup>  
柳谷登志雄<sup>7)</sup>

- 1) 筑波大学大学院 2) 熊本高等専門学校 3) 東海大学 4) 国立スポーツ科学センター  
5) 日本スポーツ振興センター 6) 鹿屋体育大学 7) 順天堂大学  
8) 日本学術振興会特別研究員DC

### 1. はじめに

本稿では、2015年度に日本陸上競技連盟科学委員会の活動として行われた国内外の主要競技会における男女400m走のレース分析結果について報告する。

### 2. 方法

#### 2-1. 対象競技会

下記の5つの競技会を分析対象とした。

- ①第99回日本陸上競技選手権大会（以下、日本選手権、2015年6月26日～28日）
- ②第68回全国高等学校陸上競技対校選手権大会（以下、インターハイ、2015年7月29日～8月2日）
- ③第15回世界陸上競技選手権（以下、世界選手権、2015年8月22日～30日）
- ④第70回国民体育大会（以下、国体成年および国体少年A、2015年10月2日～6日）
- ⑤第31回日本ジュニア陸上競技選手権大会（以下、日本ジュニア、2015年10月16日～18日）
- ⑥第9回日本ユース陸上競技選手権大会（以下、日本ユース、2015年10月16日～18日）

#### 2-2. 対象選手

各競技会における男女決勝進出者を分析対象とした。レース中の転倒や明らかな疲労困憊などによって著しくパフォーマンスの低かった者は分析対象から除外した。また、日本選手権および世界選手権においては、記録の良かった者や日本人競技者を対象に、適宜予選および準決勝の分析も行った。

その結果、分析対象者数は、男子延べ88名（400m

走記録：46.40 ± 1.59秒）、女子延べ95名（同：53.22 ± 2.10秒）であった。

#### 2-3. レースの撮影

3-5台のデジタルビデオカメラ [Exilim (EX-F1, CASIO, JAPAN, 29.97fps), Lumix (FZ200, Panasonic, JAPAN, 59.94fps) スポーツコーチングカメラシステム (GC-LJ25B システム, JVC, JAPAN, 59.94fps)] をスタンドに設置し、レースを撮影した。スタートピストルの閃光または発煙を撮影した後、競技者を追従撮影した。主な撮影場所は、第1曲走路、バックスタンド中央付近、第4曲走路、ホームスタンドのフィニッシュラインの付近であった。後述するOverlay分析（持田ほか、2007）における距離較正のために、同じ位置から400mHのハードルが設置された映像を撮影した。

#### 2-4. データ処理

400mHのハードル設置位置（45m, 80m, 115m, 150m, 185m, 220m, 255m, 290m, 325m および 360m）の通過タイムを、Overlay方式（持田ほか、2007）を用いて算出した。表計算ソフト（MS-Excel 2010）のVisual Basic for Applicationを用いて開発した専用の映像分析プログラムを用い、分析対象の400m走のレース映像と、距離較正用のハードル映像を合成表示し、競技者が各地点を通過するタイムを読み取った。映像の合成表示は、グラウンド上のラインや観客席などを手掛かりに、2つの映像を重ね合わせた。

50m毎の各地点の通過タイムを、各地点を挟む前後2地点の通過タイムを基にした直線回帰により求めた（持田ほか、2007）。さらに、100m毎の区間タイム、レース後半200mの区間タイム（以下、後半

表1 男子 通過タイム, 区間タイムおよび走スピード低下率

選手名	競技会名	日付	記録 [s]	通過タイム [s]							区間タイム [s]				低下率 [%]		
				50m	100m	150m	200m	250m	300m	350m	400m	100-200m	200-300m	300-400m		200-400m	前後半差
金丸祐三	日本選手権決	2015.6.28	46.10	6.17	11.20	16.42	21.84	27.58	33.41	39.55	46.10	10.64	11.57	12.69	24.26	2.42	19.54
佐藤孝太郎	日本選手権決	2015.6.28	46.12	6.36	11.32	16.38	21.72	27.29	33.16	39.35	46.12	10.40	11.45	12.96	24.40	2.69	22.73
田村朋也	日本選手権決	2015.6.28	46.58	6.36	11.64	17.08	22.54	28.19	33.81	39.86	46.58	10.90	11.27	12.77	24.04	1.50	15.71
北川貴理	日本選手権決	2015.6.28	46.67	6.24	11.34	16.58	22.16	27.89	33.73	40.00	46.67	10.82	11.58	12.94	24.51	2.36	21.77
堀井浩介	日本選手権決	2015.6.28	46.74	6.26	11.25	16.38	21.94	27.80	33.74	39.98	46.74	10.69	11.81	13.00	24.80	2.87	21.37
小林直己	日本選手権決	2015.6.28	47.11	6.31	11.33	16.52	21.95	27.59	33.58	40.14	47.11	10.62	11.64	13.53	25.16	3.22	27.08
木村和史	日本選手権決	2015.6.28	47.35	6.44	11.73	17.05	22.55	28.05	33.81	40.17	47.35	10.82	11.26	13.54	24.80	2.26	18.68
廣瀬英行	日本選手権決	2015.6.28	47.49	6.24	11.28	16.43	21.93	27.62	33.66	40.16	47.49	10.64	11.73	13.83	25.56	3.64	24.73
金丸祐三	日本選手権予	2015.6.27	45.22	6.37	11.39	16.49	21.69	27.17	32.87	38.89	45.22	10.31	11.18	12.35	23.53	1.84	16.47
北川貴理	日本選手権予	2015.6.27	45.52	6.32	11.36	16.59	21.97	27.51	33.13	39.11	45.52	10.60	11.16	12.39	23.55	1.58	18.82
佐藤孝太郎	日本選手権予	2015.6.27	45.58	6.35	11.50	16.59	21.78	27.18	32.89	39.01	45.58	10.28	11.11	12.69	23.80	2.02	18.15
堀井浩介	日本選手権予	2015.6.27	45.85	6.29	11.48	16.75	22.29	28.11	33.81	39.67	45.85	10.81	11.52	12.04	23.56	1.27	11.84
小林直己	日本選手権予	2015.6.27	45.91	6.32	11.42	16.58	21.92	27.53	33.13	39.18	45.91	10.50	11.21	12.78	23.99	2.07	18.01
廣瀬英行	日本選手権予	2015.6.27	45.94	6.29	11.28	16.42	21.76	27.42	33.23	39.32	45.94	10.48	11.47	12.71	24.18	2.42	20.85
木村和史	日本選手権予	2015.6.27	45.96	6.57	11.75	17.12	22.53	28.10	33.61	39.47	45.96	10.78	11.08	12.35	23.43	0.90	14.40
田村朋也	日本選手権予	2015.6.27	46.07	6.17	11.18	16.25	21.48	27.15	32.89	39.12	46.07	10.31	11.40	13.18	24.59	3.10	22.22
ウオルシュティアン	日本選手権予	2015.6.27	46.11	6.24	11.34	16.53	21.77	27.23	33.17	39.40	46.11	10.43	11.40	12.94	24.34	2.58	19.25
油井快晴	日本選手権予	2015.6.27	46.36	6.39	11.54	16.70	22.04	27.59	33.43	39.59	46.36	10.50	11.39	12.93	24.32	2.27	18.32
渡邊和也	日本選手権予	2015.6.27	46.03	6.25	11.42	16.60	21.96	27.57	33.33	39.45	46.03	10.53	11.38	12.70	24.07	2.12	17.56
石塚祐輔	日本選手権予	2015.6.27	46.30	6.18	11.29	16.43	21.81	27.49	33.36	39.57	46.30	10.52	11.55	12.94	24.49	2.68	19.25
船戸大輔	インターハイ決	2015.7.29	47.06	6.50	11.56	16.80	22.29	28.12	34.14	40.41	47.06	10.73	11.85	12.92	24.77	2.48	21.51
大良浩輝	インターハイ決	2015.7.29	47.32	6.59	11.81	17.18	22.81	28.63	34.75	40.96	47.32	11.00	11.94	12.57	24.51	1.70	16.22
江藤拓都	インターハイ決	2015.7.29	47.46	6.57	11.95	17.52	23.23	29.06	34.97	41.04	47.46	11.29	11.74	12.49	24.23	1.00	13.28
佐々木愛斗	インターハイ決	2015.7.29	47.55	6.40	11.74	17.32	23.19	29.12	35.08	41.18	47.55	11.44	11.90	12.47	24.36	1.18	12.99
染谷翔	インターハイ決	2015.7.29	48.29	6.71	12.12	17.68	23.48	29.39	35.38	41.59	48.29	11.36	11.90	12.91	24.81	1.33	14.07
中机陽彦	インターハイ決	2015.7.29	49.03	6.64	12.05	17.70	23.72	29.82	36.10	42.49	49.03	11.66	12.38	12.93	25.31	1.59	16.10
三浦歩	インターハイ決	2015.7.29	49.10	6.69	12.21	17.88	23.81	29.88	36.16	42.62	49.10	11.60	12.35	12.94	25.29	1.48	15.13
松原秀一郎	インターハイ決	2015.7.29	50.98	6.55	12.04	17.72	23.65	29.93	36.59	43.58	50.98	11.61	12.95	14.39	27.33	3.69	23.59
金丸祐三	世界選手権予	2015.8.23	43.65	6.15	11.13	16.25	21.60	27.21	33.02	39.20	43.65	10.47	11.42	12.63	24.05	2.46	21.29
VAN NIEKERK	世界選手権決	2015.8.26	43.48	6.02	10.73	15.65	20.76	25.95	31.36	37.17	43.48	10.03	10.60	12.12	22.72	1.95	21.69
MERRITT	世界選手権決	2015.8.26	43.65	6.06	10.73	15.68	20.87	26.21	31.65	37.40	43.65	10.14	10.78	12.00	22.78	1.90	21.63
JAMES	世界選手権決	2015.8.26	43.78	6.21	10.99	15.90	21.00	26.26	31.73	37.50	43.78	10.01	10.73	12.05	22.78	1.79	19.51
SANTOS	世界選手権決	2015.8.26	44.11	6.36	11.23	16.23	21.32	26.56	32.05	37.89	44.11	10.09	10.73	12.06	22.79	1.47	18.15
MAKWALA	世界選手権決	2015.8.26	44.63	6.14	10.91	15.85	20.98	26.22	31.71	37.80	44.63	10.06	10.73	12.92	23.65	2.67	25.38
YOUSIF	世界選手権決	2015.8.26	44.68	6.28	11.35	16.47	21.74	27.21	32.80	38.64	44.68	10.39	11.06	11.88	22.94	1.19	14.52
CEDENIO	世界選手権決	2015.8.26	45.06	6.34	11.41	16.52	21.84	27.32	33.03	38.88	45.06	10.44	11.19	12.03	23.22	1.37	13.82
MASRAHI	世界選手権決	2015.8.26	45.15	6.25	11.11	16.15	21.41	26.90	32.63	38.55	45.15	10.31	11.22	12.52	23.74	2.33	20.16
小林直己	国体成年決	2015.10.3	46.87	6.33	11.61	17.15	22.93	28.72	34.53	40.54	46.87	11.32	11.61	12.34	23.94	1.02	14.84
田村朋也	国体成年決	2015.10.3	46.92	6.23	11.41	16.98	22.88	28.60	34.33	40.37	46.92	11.47	11.44	12.59	24.04	1.15	18.08
木村賢太	国体成年決	2015.10.3	47.11	6.39	11.52	16.92	22.63	28.43	34.30	40.44	47.11	11.12	11.67	12.81	24.48	1.84	19.77
渡邊和也	国体成年決	2015.10.3	47.17	6.27	11.49	17.00	22.82	28.66	34.61	40.76	47.17	11.33	11.80	12.56	24.35	1.54	17.94
加藤修也	国体成年決	2015.10.3	47.28	6.63	12.10	17.73	23.64	29.57	35.38	41.21	47.28	11.54	11.74	11.90	23.64	-0.01	8.06
矢野琢斗	国体成年決	2015.10.3	47.68	6.44	11.65	17.15	22.95	28.87	34.92	41.14	47.68	11.29	11.97	12.76	24.73	1.79	18.80
堀井浩介	国体成年決	2015.10.3	47.80	6.30	11.64	17.30	23.28	29.31	35.34	41.42	47.80	11.63	12.07	12.46	24.52	1.24	14.06
石塚祐輔	国体成年決	2015.10.3	48.31	6.30	11.56	17.13	23.02	29.06	35.25	41.55	48.31	11.46	12.23	13.06	25.29	2.28	19.10
染谷翔	国体少年A決	2015.10.3	47.64	6.65	12.37	18.03	23.73	29.62	35.48	41.47	47.64	11.36	11.74	12.16	23.91	0.17	6.32
伊藤聖生	国体少年A決	2015.10.3	47.68	6.53	12.01	17.63	23.51	29.52	35.55	41.53	47.68	11.50	12.03	12.13	24.17	0.66	11.37
松浦和希	国体少年A決	2015.10.3	47.74	6.57	11.99	17.63	23.48	29.42	35.31	41.32	47.74	11.49	11.83	12.43	24.26	0.78	13.90
中机陽彦	国体少年A決	2015.10.3	47.93	6.61	12.02	17.55	23.39	29.38	35.50	41.58	47.93	11.37	12.11	12.43	24.54	1.15	12.06
江藤拓都	国体少年A決	2015.10.3	48.06	6.65	12.16	17.77	23.51	29.45	35.37	41.54	48.06	11.35	11.86	12.69	24.55	1.03	12.21
樋口一馬	国体少年A決	2015.10.3	48.26	6.62	12.00	17.58	23.34	29.27	35.48	41.73	48.26	11.34	12.14	12.78	24.92	1.58	16.54
河内光起	国体少年A決	2015.10.3	49.38	6.66	12.10	17.63	23.39	29.44	35.63	42.22	49.38	11.29	12.24	13.75	25.99	2.60	23.05
ウオルシュティアン	日本ジュニア決	2015.10.16	46.54	6.24	11.35	16.60	22.05	27.68	33.66	39.94	46.54	10.71	11.60	12.88	24.49	2.43	20.97
松原秀一郎	日本ジュニア決	2015.10.16	47.00	6.38	11.63	16.97	22.71	28.63	34.61	40.69	47.00	11.07	11.90	12.39	24.29	1.59	14.06
小淵瑞樹	日本ジュニア決	2015.10.16	47.36	6.52	11.85	17.33	23.00	28.78	34.72	40.78	47.36	11.15	11.72	12.64	24.36	1.37	14.01
山本賢志	日本ジュニア決	2015.10.16	47.46	6.38	11.54	16.77	22.36	28.16	34.25	40.63	47.46	10.82	11.88	13.21	25.10	2.73	21.03
太田和希	日本ジュニア決	2015.10.16	47.51	6.21	11.46	16.82	22.55	28.50	34.63	40.93	47.51	11.08	12.08	12.88	24.96	2.42	17.74
片山雄斗	日本ジュニア決	2015.10.16	47.62	6.34	11.57	16.97	22.68	28.52	34.55	40.83	47.62	11.10	11.88	13.07	24.94	2.27	19.40
三浦歩	日本ジュニア決	2015.10.16	48.11	6.43	11.65	17.18	22.93	28.83	35.08	41.51	48.11	11.28	12.16	13.0			

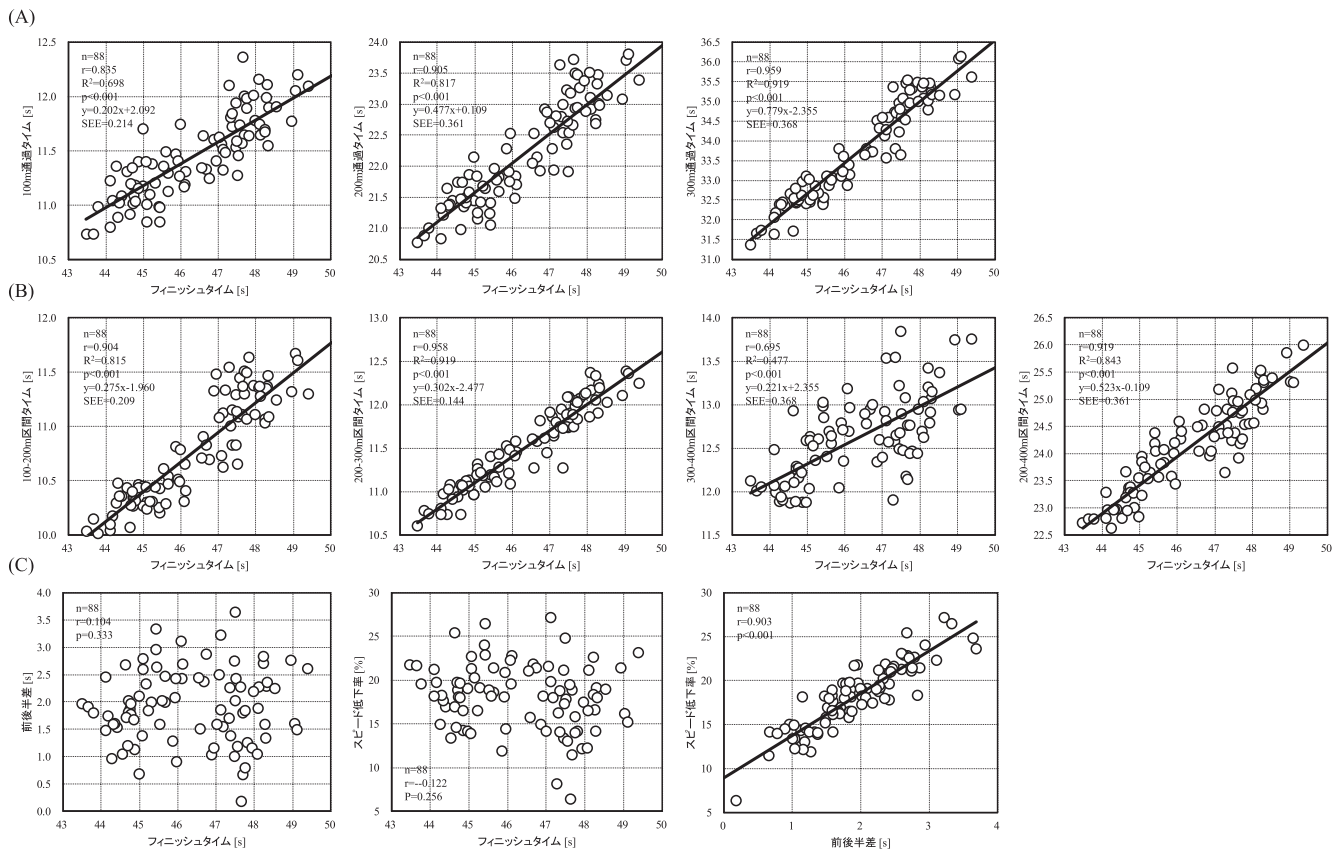


図1 400m走におけるフィニッシュタイムと(A) 通過タイム (B) 区間タイム (C) スピード低下指標との関係 (男子)

y : 各地点通過タイムおよび区間タイム (秒) x : 400m走フィニッシュタイム (秒)

SEE : 推定値の標準誤差 (秒)

区間タイムおよび後半200mタイム、(C) 前後半差および走スピード低下率との関係を示したものである。また、前後半差と走スピード低下率との関係も併せて示した。(A) (B) については、フィニッシュタイムと各タイムとの回帰式および推定の標準誤差(SEE)も算出した。

フィニッシュタイムと各地点の通過タイムおよび各区間タイムとの間に有意な相関関係が認められた。300-400m区間タイムは、他の区間と比較して相関係数が低い傾向にあり、個人差が大きい傾向が見られた。

回帰式は、400m走フィニッシュタイムを独立変数、各地点の通過タイムおよび各区間タイムを従属変数としており、目標とする400m走タイムから、各通過タイム、区間タイムの目安を求めることが可能である。また、推定の標準誤差は、各タイムの個人差の範囲と解釈することもできるであろう。回帰式から求められる五輪参加標準記録45.40秒のモデル通過タイムは、100m11.3秒、200m21.8秒、300m33.0秒となる。また、日本記録ならびに世界選手権・五輪における決勝進出の目安となる44.7

秒のモデル通過タイムは、100m11.1秒、200m21.4秒、300m32.5秒となる。これらの値は、トレーニングにおける目標値や、レースを評価する上での指標として活用できると考えられる。

走スピード低下の指標である前後半差および走スピード低下率とフィニッシュタイムの間には、いずれも有意な相関関係は認められず、いずれのパフォーマンスレベルにあってもばらつきが大きかった。また、前後半差と走スピード低下率の間には有意な相関関係が認められ、レース前半と後半の200mのタイムから、レース全体の走スピードの低下を簡易的に評価できることが示された。なお、前後半差の対象者全体の平均値は1.91 ± 0.71秒であり、400mのパフォーマンスレベルが43-50秒の範囲の男子競技者においては、1.2~2.6秒程度が前後半差(走スピード低下)の目安となると考えられる。

### 3-1-2. 競技レベル別にみた走スピード、ピッチおよびストライドの変化

図2は、走スピード、ピッチおよびストライドの

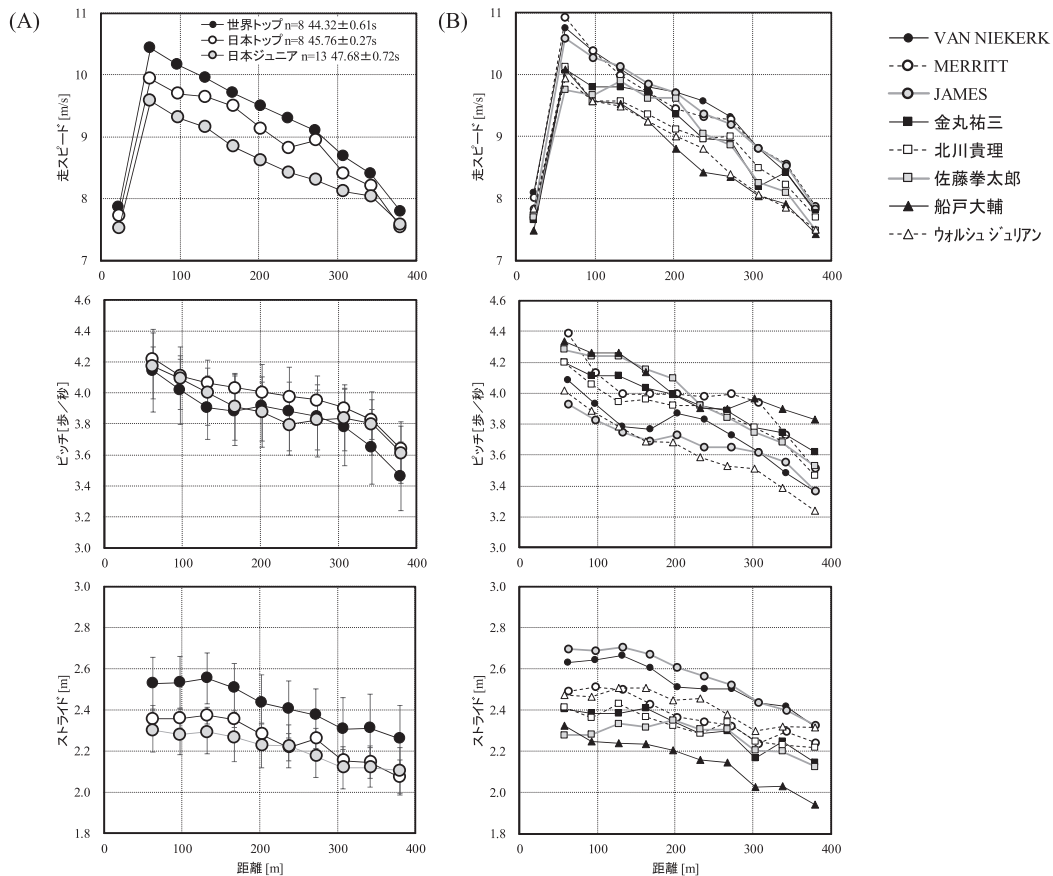


図2 競技レベル別にみた走スピード、ピッチおよびストライドの変化（男子）  
 (A) 各レベルの平均パターン (B) 各レベルの代表的競技者のデータ

変化について (A) 世界トップレベル、日本シニア  
 トップレベルおよび日本ジュニアトップレベルの平均  
 値、(B) 各レベルの代表的競技者について示した  
 ものである。世界トップレベルについては、世界選  
 手権の決勝レース (n=8, 400m 走タイム 44.32 ± 0.61  
 秒)、日本シニアトップレベルについては、好記録  
 であった日本選手権の予選レース (n=8, 400m 走タ  
 イム 45.76 ± 0.27 秒)、日本ジュニアトップレベル  
 については、インターハイおよび日本ジュニア、日  
 本ユースの決勝レース (n=13, 400m 走タイム 47.68  
 ± 0.72 秒) を対象とした。

走スピードについては、多くの競技者で最高走ス  
 ピードが出現する 45-80m 区間においてレベル間の  
 差が顕著であった。250m 以降ではレベル間の差が  
 小さくなる傾向が見られた。ピッチについては、レ  
 ベル間で顕著な差は認められなかったが、日本シニ  
 アトップレベルは、世界トップレベルと比較して、  
 ピッチが高い傾向が認められた。一方、ストライド  
 については、世界トップレベルが顕著に大きく、日  
 本トップレベルと日本ジュニアトップレベルとの差  
 は小さかった。

個々人の特徴については、世界選手権金メダリス

トの VAN NIEKERK 選手は、レース全体にわたって満  
 遍なく走スピードが高く、大きなストライドが特徴  
 であった。銀メダリストの MERRITT 選手、銅メダリ  
 ストの JAMES 選手はともに 190cm を越える長身であ  
 るが、MERRITT 選手は、ストライドは平均的な値で  
 ピッチが高く、一方 JAMES 選手は、ピッチは低い  
 が顕著にストライドが大きく、対照的な傾向を示した。

### 3-2. 女子

#### 3-2-1. 400m 走記録と通過タイム、区間タイムおよ びスピード低下との関係

表 2 は、女子の主要な分析対象レースにおける  
 50m 毎の通過タイム、100m 毎の区間タイム、後半  
 200m タイム、前後半差および走スピード低下率を  
 示したものである。

図 3 は、男子と同様に、フィニッシュタイムと各  
 項目との関係を示したものである。

男子と同様に、フィニッシュタイムと各地点の通  
 過タイムおよび各区間タイムとの間に有意な相関関  
 係が認められた。男子と比較すると、300-400m 区  
 間タイムとフィニッシュタイムの関係が強い傾向が  
 見られた。

表2 女子 通過タイム, 区間タイムおよび走スピード低下率

選手名	競技会名	日付	記録[s]	通過タイム[s]						区間タイム[s]					低下率 [%]		
				50m	100m	150m	200m	250m	300m	350m	400m	100-200m	200-300m	300-400m		200-400m	前後半差
青木沙弥佳	日本選手権決	2015.6.27	53.05	6.84	12.66	18.72	25.00	31.71	38.57	45.58	53.05	12.34	13.57	14.48	28.05	3.05	19.19
藤沢沙也加	日本選手権決	2015.6.27	53.14	6.73	12.36	18.18	24.44	31.18	38.19	45.39	53.14	12.08	13.75	14.95	28.70	4.26	23.86
石塚晴子	日本選手権決	2015.6.27	53.44	7.07	12.84	18.85	25.11	31.75	38.76	45.94	53.44	12.27	13.65	14.68	28.33	3.21	21.45
武石この実	日本選手権決	2015.6.27	53.58	6.85	12.67	18.72	25.09	31.97	39.05	46.18	53.58	12.42	13.96	14.53	28.49	3.40	18.79
千葉麻美	日本選手権決	2015.6.27	53.65	6.85	12.71	18.79	25.07	31.87	38.83	45.97	53.65	12.36	13.76	14.82	28.58	3.50	20.13
新宅麻未	日本選手権決	2015.6.27	53.78	7.07	13.03	19.05	25.21	31.77	38.53	45.68	53.78	12.18	13.32	15.25	28.57	3.37	19.87
佐藤日奈子	日本選手権決	2015.6.27	54.00	7.17	12.95	18.95	25.20	31.76	38.82	46.13	54.00	12.25	13.62	15.18	28.80	3.61	24.12
松本奈葉子	日本選手権決	2015.6.27	54.31	7.23	13.15	19.20	25.55	32.37	39.48	46.70	54.31	12.40	13.93	14.83	28.76	3.21	18.81
石塚晴子	インターハイ決	2015.7.29	53.30	6.91	12.75	18.82	25.07	31.62	38.49	45.70	53.30	12.33	13.42	14.81	28.23	3.15	21.82
岩田優奈	インターハイ決	2015.7.29	54.37	7.05	13.16	19.39	25.83	32.52	39.51	46.71	54.37	12.67	13.68	14.86	28.54	2.71	16.67
青木りん	インターハイ決	2015.7.29	54.74	7.21	13.29	19.49	26.00	32.84	39.90	47.05	54.74	12.71	13.90	14.84	28.74	2.74	15.61
池崎愛里	インターハイ決	2015.7.29	55.08	7.15	13.04	19.22	25.73	32.59	39.78	47.17	55.08	12.69	14.05	15.30	29.35	3.62	21.94
松本扶弥	インターハイ決	2015.7.29	55.68	6.98	13.15	19.59	26.19	33.06	40.28	47.71	55.68	13.04	14.09	15.40	29.49	3.30	18.59
上杉悠菜	インターハイ決	2015.7.29	55.74	7.12	13.27	19.50	26.12	33.09	40.38	47.88	55.74	12.86	14.26	15.36	29.62	3.50	19.75
江田涼	インターハイ決	2015.7.29	55.82	6.91	13.05	19.37	25.99	32.97	40.24	47.81	55.82	12.94	14.25	15.58	29.83	3.84	20.81
吉田紗弓	インターハイ決	2015.7.29	55.97	7.34	13.44	19.72	26.35	33.26	40.39	47.94	55.97	12.91	14.04	15.58	29.62	3.27	21.50
FELIX	世界選手権決	2015.8.27	49.26	6.29	11.46	17.15	23.34	29.46	35.67	42.24	49.26	11.88	12.32	13.59	25.92	2.57	24.10
MILLER	世界選手権決	2015.8.27	49.67	6.78	12.24	17.90	23.84	30.01	36.14	42.65	49.67	11.60	12.30	13.53	25.83	3.98	19.00
JACSON	世界選手権決	2015.8.27	49.99	6.80	12.14	17.63	23.45	29.56	36.03	42.79	49.99	11.31	12.58	13.96	26.54	1.09	23.26
DAY	世界選手権決	2015.8.27	50.14	6.94	12.61	18.42	24.37	30.40	36.62	43.17	50.14	11.77	12.25	13.52	25.77	1.40	14.44
MCPHERSON	世界選手権決	2015.8.27	50.42	6.78	12.41	18.18	24.27	30.36	36.58	43.19	50.42	11.86	12.31	13.84	26.15	1.88	16.07
WILLIAMS-MILLS	世界選手権決	2015.8.27	50.47	6.79	12.37	18.02	23.96	30.13	36.57	43.37	50.47	11.59	12.61	13.90	26.51	2.56	18.25
FRANCIS	世界選手権決	2015.8.27	50.51	6.74	12.28	17.93	23.94	30.23	36.64	43.34	50.51	11.67	12.70	13.87	26.57	2.62	18.15
OHURUOGU	世界選手権決	2015.8.27	50.63	6.68	12.10	17.77	23.76	29.92	36.29	43.07	50.63	11.66	12.54	14.34	26.87	3.12	21.99
青山聖佳	国体成年決	2015.10.3	53.75	6.94	12.80	19.14	25.70	32.42	39.34	46.40	53.75	12.90	13.64	14.41	28.05	2.34	20.60
松本奈葉子	国体成年決	2015.10.3	54.69	7.20	13.60	20.27	26.98	33.71	40.48	47.41	54.69	13.38	13.49	14.21	27.71	0.72	10.54
千葉麻美	国体成年決	2015.10.3	54.74	7.01	13.24	19.84	26.64	33.45	40.27	47.36	54.74	13.40	13.64	14.47	28.10	1.47	16.72
西田文香	国体成年決	2015.10.3	55.10	7.09	13.27	19.85	26.64	33.60	40.53	47.63	55.10	13.38	13.89	14.57	28.46	1.82	16.78
青木沙弥佳	国体成年決	2015.10.3	55.14	6.89	13.03	19.62	26.40	33.28	40.24	47.54	55.14	13.37	13.84	14.90	28.74	2.34	20.38
佐藤日奈子	国体成年決	2015.10.3	55.23	7.17	13.78	20.62	27.33	33.94	40.75	47.81	55.23	13.55	13.42	14.48	27.90	0.57	9.70
新宅麻未	国体成年決	2015.10.3	55.40	7.28	13.64	20.27	27.07	33.80	40.60	47.70	55.40	13.43	13.53	14.80	28.33	1.27	14.61
久保倉里美	国体成年決	2015.10.3	55.47	7.00	13.28	19.99	26.81	33.71	40.67	47.85	55.47	13.53	13.86	14.80	28.66	1.85	16.29
岩田優奈	国体少年A決	2015.10.3	54.28	7.19	13.44	19.84	26.41	33.19	40.10	47.08	54.28	12.97	13.69	14.18	27.87	1.47	11.90
石塚晴子	国体少年A決	2015.10.3	54.44	6.99	12.97	19.29	25.77	32.44	39.43	46.76	54.44	12.80	13.66	15.01	28.67	2.89	21.90
青木りん	国体少年A決	2015.10.3	55.41	7.20	13.34	19.70	26.42	33.43	40.60	47.73	55.41	13.08	14.17	14.81	28.99	2.57	15.79
松本扶弥	国体少年A決	2015.10.3	55.79	7.19	13.48	20.07	26.88	33.76	40.86	48.14	55.79	13.40	13.98	14.93	28.91	2.04	15.03
中島藍梨	国体少年A決	2015.10.3	55.85	7.11	13.32	19.72	26.49	33.37	40.55	47.99	55.85	13.17	14.06	15.30	29.36	2.88	21.36
柴田知香	国体少年A決	2015.10.3	56.04	7.24	13.49	19.94	26.61	33.54	40.58	48.01	56.04	13.12	13.97	15.46	29.43	2.82	19.69
芝田望笑	国体少年A決	2015.10.3	56.46	7.07	13.10	19.47	26.28	33.40	40.74	48.37	56.46	13.18	14.47	15.72	30.18	3.91	23.17
藤井彩乃	国体少年A決	2015.10.3	57.24	7.33	13.57	20.00	26.81	33.88	41.23	48.91	57.24	13.24	14.42	16.01	30.43	3.62	21.15
岩田優奈	日本ジュニア決	2015.10.16	53.79	7.05	13.01	19.10	25.54	32.17	39.06	46.26	53.79	12.53	13.53	14.73	28.25	2.72	19.02
石塚晴子	日本ジュニア決	2015.10.16	54.21	7.04	12.97	19.10	25.51	32.17	39.14	46.44	54.21	12.54	13.64	15.07	28.70	3.19	20.65
松本扶弥	日本ジュニア決	2015.10.16	54.93	7.07	13.11	19.39	26.02	32.86	39.96	47.27	54.93	12.92	13.94	14.97	28.91	2.89	18.89
中島藍梨	日本ジュニア決	2015.10.16	55.10	7.10	13.01	19.44	26.18	33.05	40.13	47.45	55.10	13.17	13.94	14.97	28.92	2.74	21.94
柴田知香	日本ジュニア決	2015.10.16	55.18	7.25	13.41	19.84	26.52	33.21	40.15	47.38	55.18	13.11	13.63	15.03	28.66	2.14	17.48
椎谷佳奈子	日本ジュニア決	2015.10.16	55.91	7.31	13.43	19.89	26.67	33.62	40.82	48.21	55.91	13.24	14.14	15.09	29.24	2.56	18.39
荒島夕理	日本ジュニア決	2015.10.16	56.16	7.40	13.60	20.07	26.95	33.87	40.96	48.29	56.16	13.35	14.01	15.20	29.21	2.26	18.21
岡部唯香	日本ジュニア決	2015.10.16	56.40	7.13	13.12	19.40	26.06	33.01	40.34	48.09	56.40	12.94	14.28	16.06	30.34	4.28	25.15
島田雪菜	日本ユース決	2015.10.16	54.85	7.22	13.42	19.87	26.47	33.29	40.38	47.66	54.85	13.04	13.91	14.47	28.38	1.92	16.34
青木りん	日本ユース決	2015.10.16	54.87	7.04	12.98	19.24	25.78	32.64	39.79	47.14	54.87	12.80	14.00	15.08	29.09	3.31	20.97
小山佳奈	日本ユース決	2015.10.16	55.59	7.27	13.52	20.00	26.74	33.56	40.54	47.76	55.59	13.22	13.80	15.05	28.85	2.11	15.91
芝田望笑	日本ユース決	2015.10.16	55.88	7.09	13.05	19.44	26.20	33.15	40.47	48.06	55.88	13.15	14.28	15.41	29.68	3.49	24.53
戸谷湧海	日本ユース決	2015.10.16	55.94	7.23	13.23	19.47	26.06	32.95	40.25	47.87	55.94	12.83	14.18	15.69	29.88	3.82	23.44
秦野南美	日本ユース決	2015.10.16	56.07	7.39	13.80	20.35	27.14	34.16	41.34	48.61	56.07	13.34	14.20	17.73	28.93	1.79	12.56
藤井彩乃	日本ユース決	2015.10.16	56.13	7.50	13.96	20.55	27.35	34.36	41.48	48.68	56.13	13.39	14.14	14.65	28.78	1.44	10.96
江成みなみ	日本ユース決	2015.10.16	56.78	7.15	13.23	19.60	26.41	33.45	40.92	48.64	56.78	13.18	14.51	15.86	30.37	3.97	23.55

男子と同様に、400m走タイムから各地点の通過タイムおよび区間タイムを予測する回帰式を算出した。回帰式から求められる五輪参加標準記録52.20秒のモデル通過タイムは、100m12.6秒、200m24.8秒、300m37.8秒となる。推定誤差を考慮すると、300m地点を37.5-38.0秒程度で通過することが、参加標準記録突破の目安となると考えられる。参考までに、日本記録保持者である千葉麻美選手(旧姓、丹野)が、2007年大阪世界選手権準決勝において、51.81秒を記録したレースにおける各地点の通過タイムは、100m12.58秒、200m24.76秒、300m37.63秒であったと報告されている(持田・杉田, 2010)。

走スピード低下の指標である前後半差および走スピード低下率とフィニッシュタイムとの間には、いずれも有意な相関関係は認められなかった。このことは、男子同様に、いずれのパフォーマンスレベルにあっても走スピード低下のばらつきが大きいことを示している。また、前後半差と低下率との間には、男子と同様に有意な相関関係が認められた。前後半差の対象者全体の平均値は2.66 ± 0.78秒であり、

男子よりわずかに大きい傾向が見られた。400mのパフォーマンスレベルが49-57秒の範囲の女子競技者においては、1.9~3.4秒程度が前後半差(走スピード低下)の目安となると考えられる。

### 3-2-2. 競技レベル別にみた走スピード、ピッチおよびストライドの変化

図4は、走スピード、ピッチおよびストライドの変化について、男子と同様に(A)3つのレベルの平均値、(B)各レベルの代表的競技者について示したものである。世界トップレベルについては、世界選手権の決勝レース(n=8, 400m走タイム50.14 ± 0.44秒)、日本シニアトップレベルについては、日本選手権の決勝レース(n=8, 400m走タイム53.62 ± 0.39秒)、日本ジュニアトップレベルについては、インターハイおよび日本ジュニア、日本ユースの決勝レース(n=10, 400m走タイム54.96 ± 0.81秒)を対象とした。

走スピードについては、男子同様レース前半から中盤において、レベル間の差が顕著であった。特に、

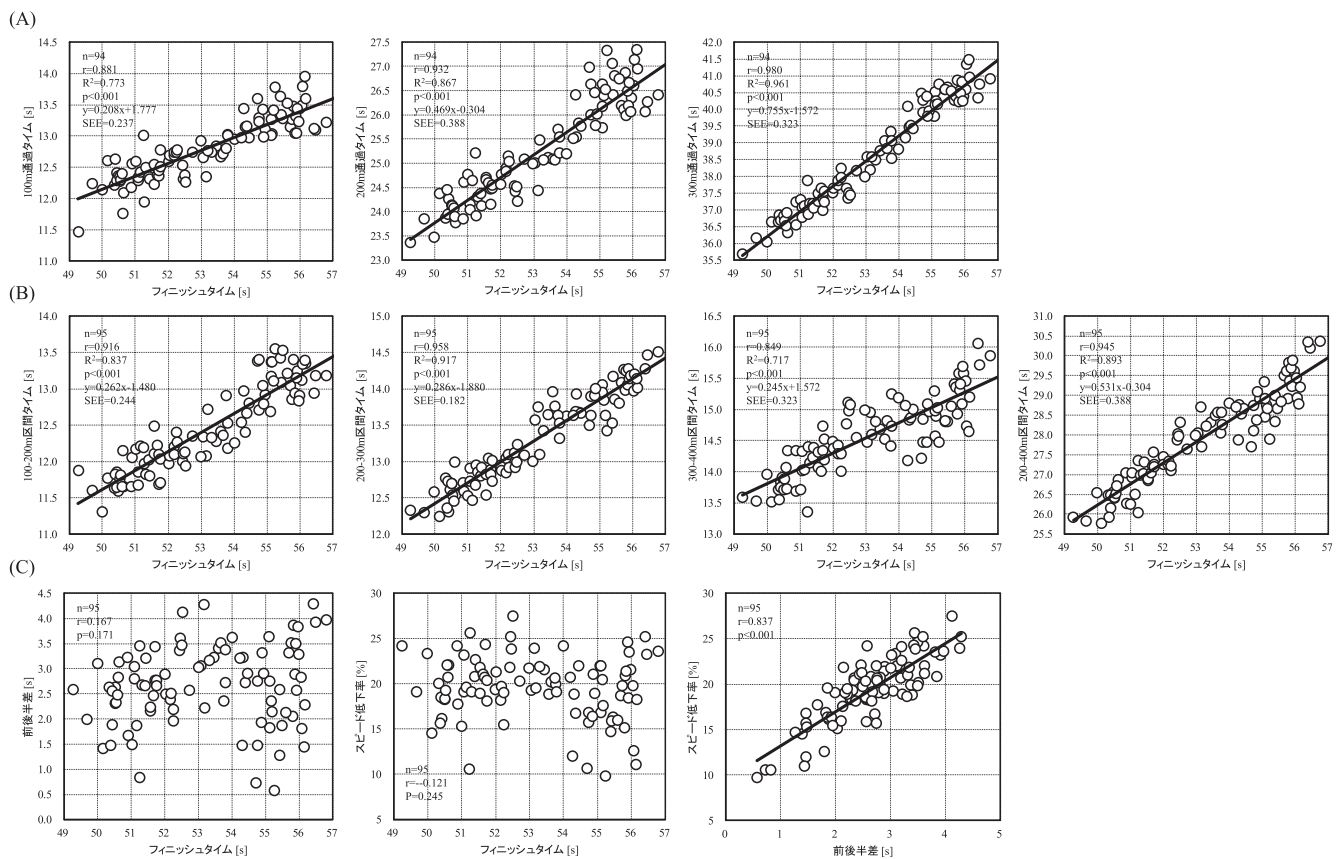


図3 400m走におけるフィニッシュタイムと(A) 通過タイム (B) 区間タイム (C) スピード低下指標との関係 (女子)

y : 各地点通過タイムおよび区間タイム (秒) x : 400m走フィニッシュタイム (秒)

SEE : 推定値の標準誤差 (秒)

世界トップレベルと日本トップレベルでは、レースの中盤 (200-300m 付近) において、走スピードの差が大きくなる傾向が見られた。

ピッチおよびストライドについては、男子と同様に、ピッチはレベル間の差が小さく、ストライドは世界トップレベルが顕著に大きい傾向を示した。また、日本シニアトップレベルは、世界トップレベルと比較してピッチが高い傾向にあること、日本トップレベルと日本ジュニアトップレベルではストライドが同程度である傾向も男子と同様であった。

個人の特徴について見ると、世界選手権金メダリストのFELIX選手は、最高走スピードが顕著に高く、レース中盤で一度大きく走スピードが低下した後、中盤から再び走スピードが増加する特徴的な二峰性の走スピード変化を示した。このような走スピードの変化とともに、ピッチおよびストライドも大きく変化していたが、特にピッチの変化が顕著であり、ピッチによって走スピードがコントロールされていると推察される。日本人選手では、藤沢選手はレース前半の走スピードが高い傾向が見られたが、中盤以降の走スピードの低下が顕著であった。一方青木

選手は、レース中盤以降の走スピードが高い傾向が見られた。

#### 4. まとめ

本稿では、2015年度の国内外の男女400m走レースを分析した。主な結果は以下のとおりである。

- ① 男女ともに400mフィニッシュタイムと100m毎の通過タイムおよび区間タイムとの間に有意な相関関係が認められた。前後半差および走スピード低下率との間には認められなかった。400m走タイムから各地点の通過タイム、区間タイムを推定する式を作成した。
- ② 世界トップレベル、日本シニアトップレベル、日本ジュニアトップレベルを比較すると、男女ともに世界トップレベルは、レース前半から中盤における走スピードが顕著に高く、ストライ

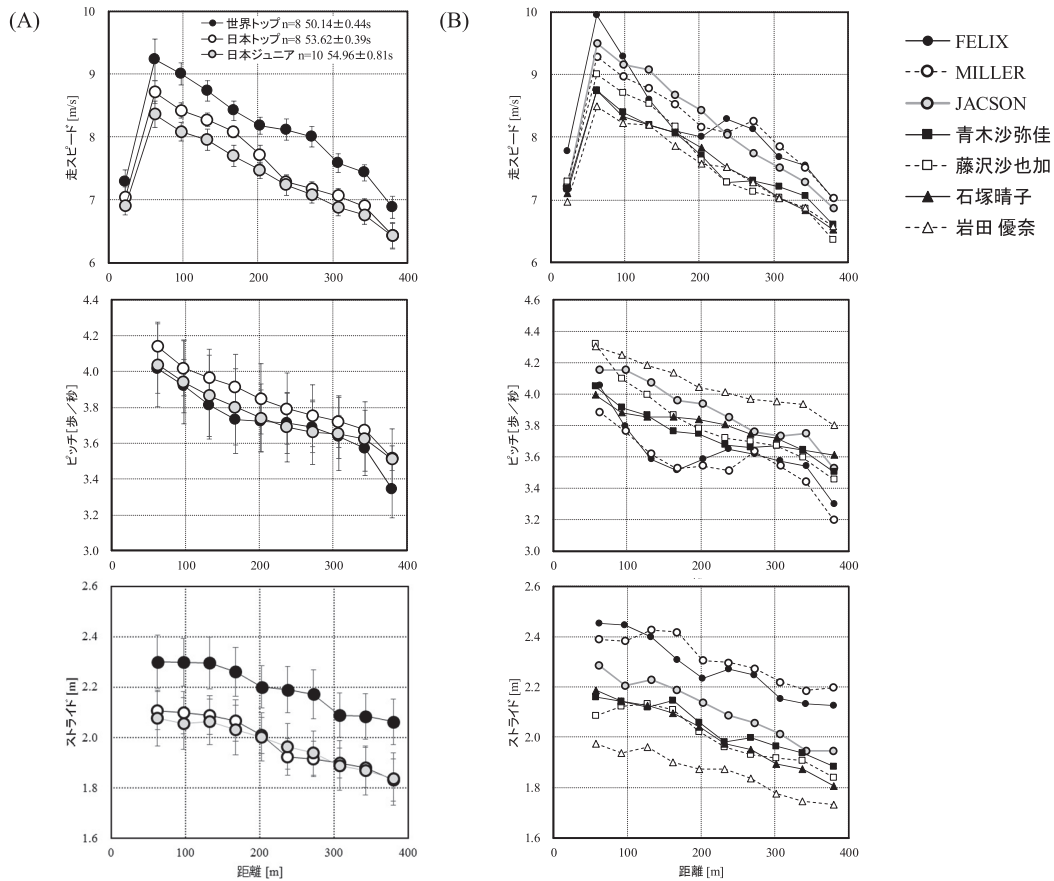


図4 競技レベル別にみた走スピード，ピッチおよびストライドの変化（女子）  
 (A) 各レベルの平均パターン (B) 各レベルの代表的競技者のデータ

ドが大きかった。日本シニアトップレベルは、ピッチが高い傾向が見られた。

## 文献

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。陸上競技研究紀要，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。第 11 回世界陸上競技選手権大会 日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班報告書 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術。財団法人日本陸上競技連盟：東京，pp. 51-75.

山本真帆・松林武生・山中亮・小林海・松尾彰文・柳谷登志雄・広川龍太郎・小山宏之・榎本靖士・岡崎和伸・門野洋介・山元康平（2014）2014 年度競技会における男子 400m 走のレース分析。陸上競技研究紀要，10：75-79.