

## Overlay 表示技術を用いた陸上競技 400m 走レースの時間分析

持田 尚<sup>1)</sup> 松尾彰文<sup>2)</sup> 柳谷登志雄<sup>3)</sup> 矢野隆照<sup>4)</sup> 杉田正明<sup>5)</sup> 阿江通良<sup>6)</sup>  
1) 横浜市スポーツ医科学センター 2) 国立スポーツ科学センター 3) 順天堂大学  
4) 東京学芸大学大学院 5) 三重大学 6) 筑波大学体育科学系

A new method for determining section average running speed in the 400m competition race: feasibility, reliability and validity

Takashi Mochida<sup>1)</sup> Akifumi Matsuo<sup>2)</sup> Toshio Yanagiya<sup>3)</sup> Takateru Yano<sup>4)</sup>  
Masayuki Sugita<sup>5)</sup> Michiyoshi Ae<sup>6)</sup>  
1) Yokohama Sports Medical Center  
2) Japan Institute of Sports Sciences  
3) Juntendo University  
4) Tokyo Gakugei University  
5) Mie University  
6) University of Tsukuba

### Abstract

The purpose of this study was to compare the reliability of two methods of analyzing the each passing time and section average running speed of the runner in the 400m competition race. First was the method of analyzing the passing image of the runner who was videotaped in the every place point such as the 100m position, the 200m position and the 300m position (Video<sub>epp</sub>-method), second was the method of analyzing the time where the runner passes each hurdle position by using the technique which superimposes 400m competition race image to 400m-hurdle image (Overlay<sub>400mH</sub>-method). With regard to the Video<sub>epp</sub>-method, the largest difficulty when we apply this method is that it requires good number of the cameras and assistance. On the one hand, Overlay<sub>400mH</sub>-method is the epoch-making method because we are able to analyze each average running speed at 11 sections by only one camera.

In the 2006 Seiko Super Track & Field Meet in Yokohama, 400m competition race image and 400m hurdle image which is used as calibration image videotaped from the same place. The analysis object runner made the runner to 8 lanes from the inside 1 lane of the runner who participated.

The Root Mean Square error of passing time of the every place point in Overlay<sub>400mH</sub>-method was  $\pm 0.05$  second, it guaranteed the precision of 1/10 seconds. The result indicated that Overlay<sub>400mH</sub>-method is proper system of time analysis of 400m competition race. In addition, when change of each average step frequency and step length of 11 sections which are calculated from Overlay<sub>400mH</sub>-method was analyzed, it was achieved to catch the trend of strategy and circumstances of technical change of the runner. This many objective information means to expand the possibility where it can offer to the leader and the player. The largest feature of this method is we are able to obtain far more detailed data with far less assistance, in the future would like to propose Overlay<sub>400mH</sub>-method as standard method of time analysis for 400m competition race.

## I. 緒言

陸上競技に関する実際的な研究において、スプリント種目における競技会レースの時間分析は数多く行われている。100m走レースに関しては、レーザ方式による速度分析が最近行われるようになり、レース中の速度変化を詳細に捉えられるようになってきた (German Sports University Cologne/ Germany Institute for Athletics, 1997; 杉田ら, 2003a; 広川ら, 2006)。いっぽう、200m走, 400m走のように曲走路を含む種目については、方法論の問題でレーザ方式を用いず、区間ごとの通過タイムから分析する方法がとられている (沼澤ら, 1994; 杉田ら, 2003b; 杉田ら, 2003c)。曲走路を含む種目の時間分析では、内側と外側レーンの曲率が異なるといった問題があり、トラックの外側から撮影する場合は、レーンごとにマーク較正をしなければならず、求める分解能に応じて、人員・カメラ台数が多く必要になることが懸案事項となっている。日本陸上競技連盟科学委員会 (以下JAAF - SCとする) 活動による400m走レース分析においても、もう少し詳細なデータを取得したいところではあるが、現実的には前述する問題などから100m毎の通過タイム、時に350m地点の通過タイムを加えるところまでとどまっている (沼澤ら, 1994; 持田ら, 2003; 杉田ら, 2006)。しかしながら、400mハードル走も曲走路を含む種目ではあるものの、ハードルのタッチダウンタイムを利用することで、撮影時にあまり人手をかけずに11区間 (Start-45m, 45-80m, 80-115m, 115-150m, 150-185m, 185-220m, 220-255m, 255-290m, 290-325m, 325-360m, 360-Goal) という比較的高い分解能で平均疾走速度を求め、その変化から走者のレースパターンを分析し競技力向上に役立つ知見を報告している (森丘ら, 1996; 森丘ら, 1997; 森丘ら, 2000; 森丘ら, 2005)。

ところで、最近、映像分析ソフトウェアの開発・普及により (Video Analysis Software Dartfish ProSuite, DartFish社製; Form analytic software FORM FINDER, 株式会社 インク社製; SiliconCOACH Pro, siliconCOACH社製など)、多くのスポーツ場面において2つの映像を重ね合わせるOverlay表示技術が活用されている。例えば、スポーツ指導現場においては一流選手の映像と重ね合わせることで、技術的な違いを視覚的に確認させたり、あるいは練習前と練習後の動きを比較し、変化を確認させたりするツールとして活用されてい

る。現在のソフトウェア上では、この技術进行操作することは非常に簡便で、ほぼ同じ方向から撮影した映像であれば、ブレンド(blend)調整、スライド(slide)・ズーム(zoom)調整などを行えば、大きさの異なる映像もほぼ一致させることができる。また、その機能には時間表示機能も備わっており、映像の時系列管理も可能である。

そこで本研究では、実際の400m走競技会レースにおいて少ない人員と少ないカメラ台数で、より詳細な平均疾走速度を求めるための工夫として、Overlay表示技術を活用し、400mハードル走レースの映像と重ね合わせることで、11区間の平均疾走速度を求めることが可能かどうか検討することにした。

## II. 方法

### 1. 分析対象レースと選手

セイコースーパー陸上2006ヨコハマ (The 2006 Seiko Super Track & Field Meet in Yokohama) で行われた男子400m走レースを分析対象レースとし、そのレースに出場した8名 (45秒77~46秒88) を分析対象選手とした (表1)。

### 2. Overlay表示技術を活用した測定方法 (以下Overlay分析とする)

1台のVTRカメラを用いて、較正用映像としての400mハードル走レースおよび分析対象レースである男子400m走レースを、1レーンから8レーンまで走者が全員映るように同一の場所から追従撮影をした (カメラスピード: 60 fields/s, シャッタースピード: 1/500s~1/1000s)。尚、レース撮影の際にはスタートの閃光も映しこむように撮影をした (シャッタースピード: 1/60s)。そして、較正用映像を『Layer1』, 分析対象レースの映像

表1 分析対象者と400m走記録

Subjects	Lane number	400m走記録(秒)
L1	1	46.59
L2	2	46.37
L3	3	46.18
L4	4	45.99
L5	5	46.05
L6	6	46.88
L7	7	45.77
L8	8	46.41

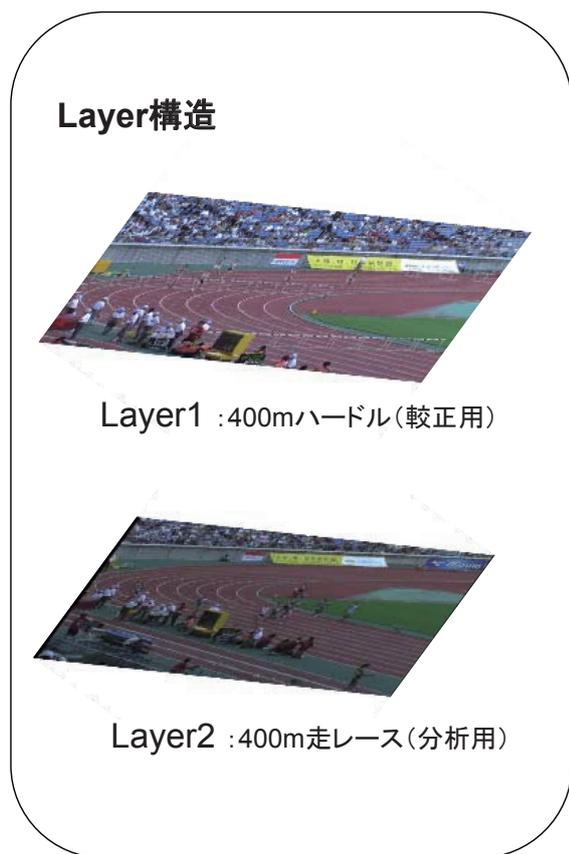


図1 デジタル保存した2つの映像

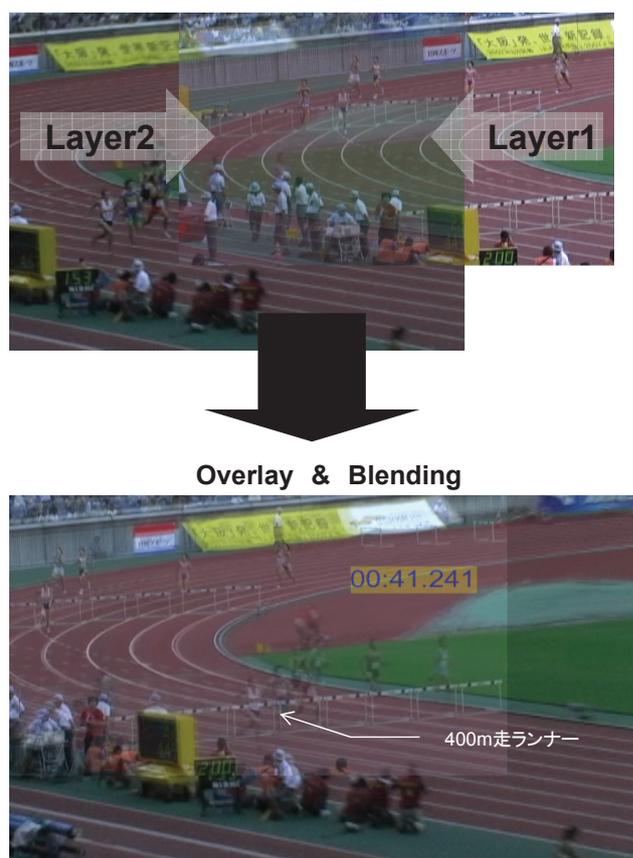


図2 2つの映像のOverlay表示

を『Layer2』としてデジタル (DV NTSC 60images/sec : AVI形式) 保存した (図1) . 各通過タイムは、2つの映像をVideo Analysis Software Dartfish ProSuite (DartFish社製) を用いてOverlay表示させ適度にブレンド (Blend) した映像から、スタートピストル閃光時を基準にLayer1映像の各ハードル位置をLayer2映像の400m走レース走者のトルソーが通過する時刻を読み取ることで求めた. 2つの映像の位置合わせは、レース映像とともに映しこまれたレーンライン、掲示機器、広告などを参考にス

ライド・ズーム機能を使用しながら調整した (図2) . 尚、400mハードルを基準とした通過位置と区間の定義については図3に示した.

### 3. 検証用データの測定方法

100m地点用に3台 (1~3レーン用, 4~6レーン用, 7~9レーン用), 200m地点用に2台 (1~4レーン用, 5~9レーン用), 300m地点用に1台 (1~9レーン用) を配置し、スタートピストルの閃光を映しこんだ後 (シャッタースピード:

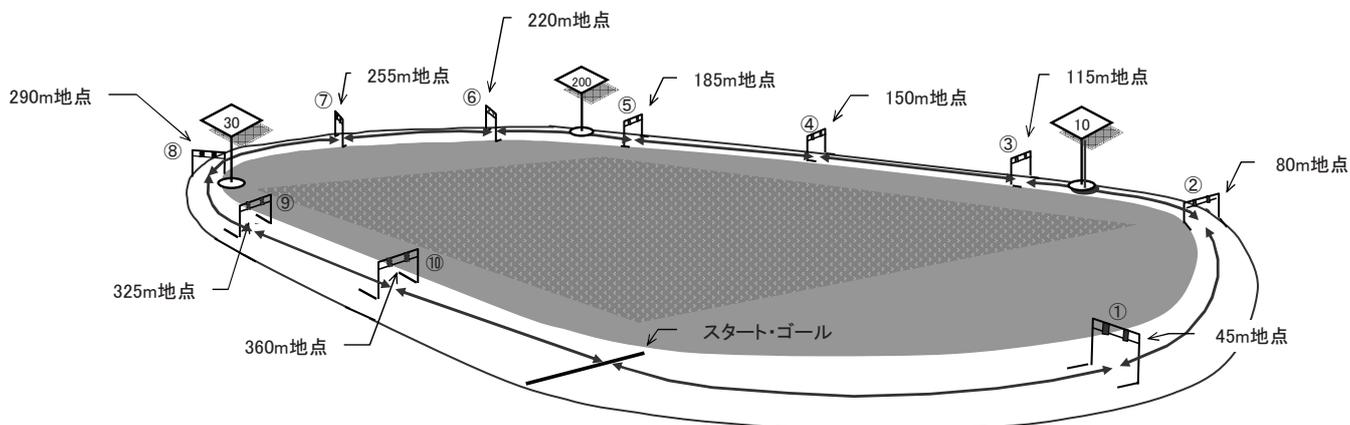


図3 400mハードルを基準とした通過位置と区間の定義

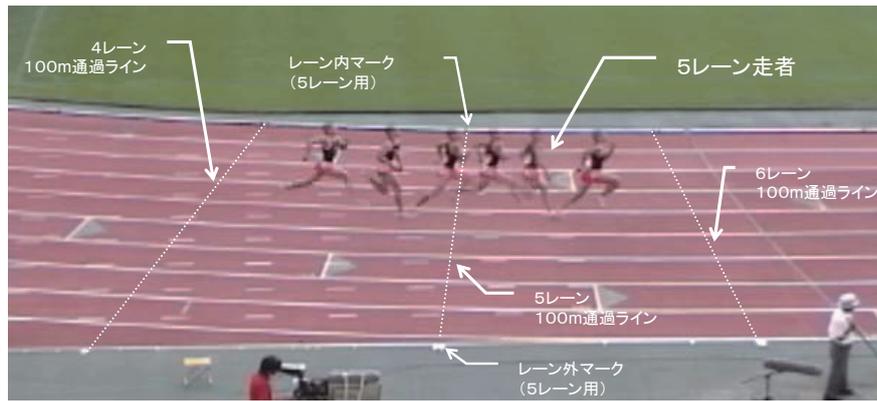


図4 検証用データ100m地点(4~6レーン)通過映像の例

1/60s), それぞれの地点でトラックの内・外に貼付した較正用マークと走者を映しこむよう撮影した(カメラスピード: 60 fields/s, シャッタースピード: 1/500s~1/1000s) (図4)。

それぞれの区間タイムは, デジタル保存した映像ファイル(DV NTSC 60images/sec: AVI形式)を再生し, レーンごとに較正用マークを結ぶ線上を走者のトルソーが通過する瞬間のimageを探索し, スタートピストルの閃光が映っているimageを基準として, それぞれの区間image数に $60^{-1}$ s/imageを乗じ, 時間に換算することで求めた。

#### 4. 検証方法

Overlay分析で求めた通過タイムの精度とその妥当性について検証するために, 各通過タイムと距離の直線回帰から100m地点, 200m地点, 300m地点の通過タイムを内挿することで求め, その値と検証用データから計測したそれぞれの通過タイムとの誤差と誤差の二乗平均平方根( $RMS_{error}$ )を求めることを行った(図5)。

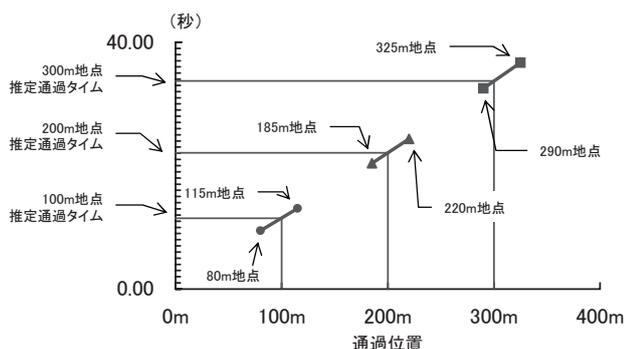


図5 推定通過タイムの算出方法

(1)

$$RMS_{error} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N e^2} \quad e = Y_1 - Y_2$$

ただし  $Y_1$ : 検証用データ  $Y_2$ : Overlay分析データ  $N$ : サンプル数

#### 5. 疾走速度変化, ピッチ, ストライド算出方法

Overlay分析で求めた通過タイムから, 11区間の平均疾走速度( $\bar{V}_{zone}$ : m/sec), 平均ステップ頻度( $SF_{zone}$ : steps/sec), 平均ステップ長( $SL_{zone}$ : m/step)を求めた。尚,  $SF$ は35m区間内6~7サイクル(12~14steps)に要した時間から平均1ステップ時間を求め, その逆数とした。また,  $SL_{zone}$ は,  $\bar{V}_{zone}$ を $SF_{zone}$ で除すことで求めた。尚,  $SF_{zone}$ と $SL_{zone}$ のレース中の変化については, 最高速度出現区間における値を基準(0)として, その差分( $\Delta$ )として示した。最高速度出現区間の値より高く, 長ければ正(+値), 低く, 短い場合は負(-値)とした。

### III. 結果および考察

#### 1. Overlay分析で求めた通過タイムの精度とその妥当性

表2には, 検証用データから求めた100m, 200m, 300m地点通過タイム( $Y_1$ )と, Overlay分析から推定した各通過タイム( $Y_2$ )およびその推定誤差( $e$ )を示した。併せて100m, 200m, 300m地点を挟む2点の直線回帰式の傾き(a), 切片(b)を示してある。各3地点における $RMS_{error}$ は $\pm 0.05$ 秒の範囲であり, Overlay分析のデータは1/10秒レベルの精度は確保していると思われる。そしてこの結果は400m走レースの通過タイム分析にOverlay分析を用いることの妥当性を示したと言えよう。

#### 2. レース中の疾走速度, ピッチ, ストライドの変化分析対象者のうち接戦を演じた上位3名(L4,

表2 Overlay方式による通過タイム推定誤差とRMSerror

100m地点		RMS <sub>error</sub> =0.05			
Sub.	Y <sub>1(sec)</sub>	Y <sub>2(sec)</sub>	e <sub>(sec)</sub>	a	b
L1	11.45	11.46	-0.01	0.1034	1.1210
L2	11.40	11.41	-0.01	0.1034	1.0687
L3	11.48	11.53	-0.04	0.1025	1.2771
L4	11.33	11.25	0.08	0.1015	1.1049
L5	11.08	11.11	-0.02	0.1006	1.0463
L6	10.97	11.04	-0.07	0.1006	0.9803
L7	11.32	11.29	0.02	0.1053	0.7646
L8	11.32	11.38	-0.06	0.1053	0.8486

200m地点		RMS <sub>error</sub> =0.05			
Sub.	Y <sub>1(sec)</sub>	Y <sub>2(sec)</sub>	e <sub>(sec)</sub>	a	b
L1	22.02	22.07	-0.05	0.1125	-0.4291
L2	22.23	22.30	-0.07	0.1173	-1.1556
L3	22.32	22.37	-0.06	0.1154	-0.7067
L4	22.18	22.19	-0.01	0.1168	-1.1657
L5	21.58	21.64	-0.05	0.1130	-0.9637
L6	21.70	21.74	-0.04	0.1111	-0.4756
L7	22.08	22.10	-0.02	0.1115	-0.1984
L8	22.22	22.24	0.03	0.1120	-0.1553

300m地点		RMS <sub>error</sub> =0.05			
Sub.	Y <sub>1(sec)</sub>	Y <sub>2(sec)</sub>	e <sub>(sec)</sub>	a	b
L1	33.63	33.72	-0.08	0.1192	-2.0447
L2	33.87	33.89	-0.02	0.1187	-1.7199
L3	34.03	34.06	-0.03	0.1220	-2.5393
L4	33.87	33.89	-0.02	0.1197	-2.0186
L5	33.35	33.38	-0.03	0.1235	-3.6716
L6	33.30	33.22	0.08	0.1282	-5.2383
L7	33.30	33.31	-0.01	0.1169	-1.7566
L8	33.87	33.80	0.07	0.1215	-2.6484

<Abbreviation>  
Y<sub>1</sub>:検証用データ Y<sub>2</sub>:Overlay分析データ e(推定誤差):Y<sub>1</sub>-Y<sub>2</sub>  
a:2点回帰の傾き b:2点回帰の切片  
<小数点以下の端数処理>  
タイム算出については、小数点以下2桁に丸めた。

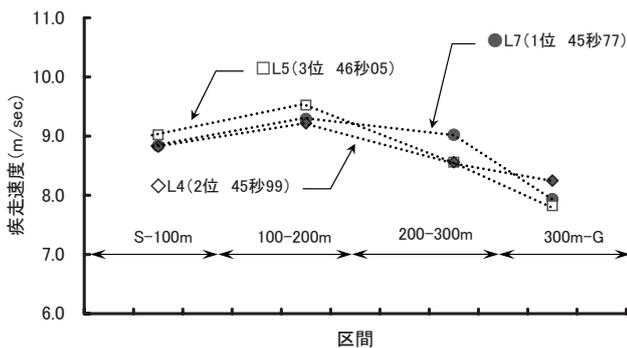


図6 上位3名の疾走速度変化(4区間:100mごと)

L5, L7)の疾走速度変化について、レースを4区間(100m毎)に分けたものを図6に、そして11区間(Overlay分析400mH基準)に分けたものを図7に示した。11区間に分けたものは、4区間に分けたものより、情報量の多さからレース展開を想起させるものとなっている。例えば、最高疾走速度出現については、4区間に分けたものでは100-200m区間

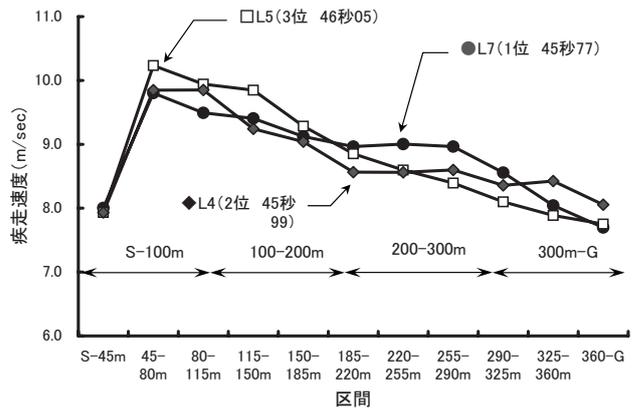
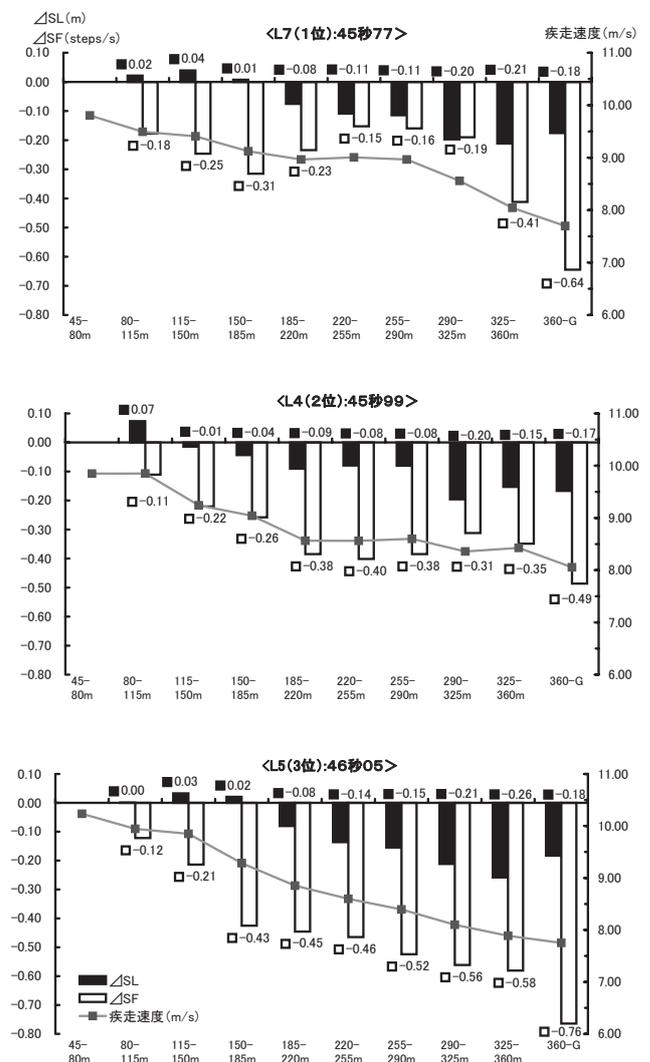


図7 上位3名の疾走速度変化(11区間:Overlay分析400mH基準)



最高速度出現区間(3名とも45-80m区間)を基準とした差(Δ)の変化で示した。+:増加 -:減少 左軸:ピッチ(ΔSF)とストライド(ΔSL) 右軸:疾走速度

図8 上位3名のレース中における疾走速度、ピッチ(SF)、ストライド(SL)の変化

で出現しているが、11区間では45-80m区間での出現が確認できることや、220-250m区間以降での速

度維持，低下の様子などでは、走者が逃げ切る様子や追い越そうとしている様子を伺わせてくれる。

さらに，L4とL7の選手を観察するとどちらも185m～290m付近（3区間）において疾走速度を維持している特徴があった。L4の3区間疾走速度は，8.56(m/s)，8.56(m/s)，8.60(m/s)であり，L7は8.97(m/s)，9.00(m/s)，8.97(m/s)であった。そして，その区間のSF<sub>zone</sub>とSL<sub>zone</sub>の様子では（図8），L4は $\Delta$ SF<sub>zone</sub>が-0.38(steps/sec)，-0.40(steps/sec)，-0.38(steps/sec)，そして $\Delta$ SL<sub>zone</sub>が-0.09(m/step)，-0.08(m/step)，-0.08(m/step)と，ともに変化させないようにしながら速度維持をしていたが，L7は短縮してしまいがちなSL<sub>zone</sub>を-0.08(m/step)→-0.11(m/step)→-0.11(m/step)となるべく短くならないよう耐えながらも，SF<sub>zone</sub>を-0.23(steps/sec)，-0.15(steps/sec)，-0.16(steps/sec)と前半区間レベルに戻すよう高めつつ速度を維持しており，両者の速度維持への技術的対応は異なっていた。以上のように，400m走レースを11区間に分けて分析したデータは，レース中における戦術的・技術的課題を明らかにすることができるなど走者のレースパターンを理解するうえで有益な情報を提供しうるものであった。

#### IV. まとめ

本研究では，競技会における陸上競技400m走レースの時間分析に新しい試みとして用いたOverlay方式の妥当性について検討するために，各地点にカメラ配置をする方法（従来方式）で分析した100m，200m，300m地点の通過タイムと，Overlay方式から推定した通過タイムを比較した。その結果，Overlay分析のデータは1/10秒レベルの精度は確保しており，400m走レースの通過タイム分析にOverlay分析を用いることは妥当であると結論付けた。そして，Overlay分析で求めた400mハードル位置の通過タイムから，レース中の疾走速度，ピッチ，ストライドの変化を求めたところ，走者の戦術的動向などの現象を捉えることができた。これは，いままでより多くの客観的情報を指導者と選手へ提供できる可能性を広げたことになる。JAAF-SCの活動においてトラックの内側から撮影できる場合には20mごとに分析するケースはあるが，ほとんどの主要競技会においてはトラックの外側からの撮影を余儀なくされる。そのような場合にも，今回の方法は人手と手間をかけずに詳細なデータを取得できる点が最大の利点であり，400mハードルを基準

としたOverlay分析を400m走レース時間分析の標準方法として提案したい。

#### 参考文献

- German Sports University Cologne/ Germany Institute for Athletics (1997) Scientific Bulletin 100m Sprint. IAF Biomechanics Research Project Athens 1997.
- 広川龍太郎，杉田正明，松尾彰文，金子太郎（2006）国内GPにて収集した外国人選手の疾走速度分析. 陸上競技研究紀要，2：90-91.
- 松尾彰文（1999）フィールドワークにおけるカメラワーク 陸上競技のフィールドワークトラック競技編. 体育の科学，49(3)：206-212.
- 松尾彰文，持田尚，杉田正明（2003）インターハイ男子100mのラップタイムとスピード変化. 日本陸連科学委員会研究報告，3（1）：9-18.
- 持田尚，松尾彰文，杉田正明，榎本靖士，小林寛道，阿江通良（2003）競技レベル別にみたジュニア400m走競技者の平均レースパターン. 日本陸連科学委員会研究報告，3（1）：27-29.
- 森丘保典，阿江通良，岡田英孝（1996）日本一流男子400mハードル選手のレースパターンの分析—'95ユニバーシアード福岡大会に注目して—，日本体育学会第47回大会号，357.
- Morioka Y, Ae M, Sugita M, Matsuo A, Kobayashi K (1997) Analysis of the race-patterns of men's 400-m hurdles —The races of the X XVI OLYMPIAD in Atlanta, 1996—. Book of Abstracts. XVIth Congress of International Society of Biomechanics (Eds), 206, University of Tokyo, Tokyo
- 森丘保典，杉田正明，松尾彰文，岡田英孝，阿江通良，小林寛道（2000）陸上競技男子400mハードル走における速度変化特性と記録との関係：内外一流選手のレースパターンの分析から. 体育学研究，45：414-421.
- 沼澤秀雄，杉浦雄策（1994）200m，400mレースの時間分析，佐々木秀幸，小林寛道，阿江通良（監修）世界一流陸上競技者の技術，ベースボールマガジン社，50-561.
- 杉田正明，榎本靖士，高野進，川本和久，阿江通良（2006）2005スーパー陸上の400m走におけるタイム分析について. 陸上競技研究紀要，2：92-94.
- 杉田正明，広川龍太郎，阿江通良（2003a）日本

選手権の男女100m走中のスピード分析. 日本陸連科学委員会研究報告, 3 (1) : 19-23.

杉田正明, 小林寛道 (2003b) 静岡国際陸上の200m走中のタイム分析. 日本陸連科学委員会研究報告, 2 (1) : 91-94.

杉田正明, 持田尚, 榎本靖士, 阿江通良, 小林寛道 (2003c) 日本選手権の100m, 200m走中のタイム分析. 日本陸連科学委員会研究報告, 2 (1) : 95-100.