

〔原著〕

高校生男子の 400m ハードル走における記録低下に伴う レースパターンの変化

尾 崎 雄 祐 *
上 田 毅 *
稲 井 達 也 *
木 戸 恵 理 *
成 迫 大 樹 *

Change in race patterns associated with decline of records in the high school male 400 m hurdles runner

Ozaki Yusuke

(Hiroshima University, Graduate School of Education)

Ueda Takeshi

(Hiroshima University, Graduate School of Education)

Inai Tatsuya

(Hiroshima University, Graduate School of Education)

Kido Eri

(Hiroshima University, Graduate School of Education)

Narisako Daiki

(Hiroshima University, Graduate School of Education)

Abstract

The purpose of this study was to clarify the characteristics of changes in race pattern with decline of records from Inter-high school competition (IH) to National Sports Festivals in Japan (NS) in high school 400 m hurdles. The races held in 2008, 2009, 2011, 2012, and 2015 were videotaped from the start to finish. Each time at touch-down, immediately after hurdling from the start, the number of steps in each section were obtained. Each parameter between IH and NS was compared in all subject and type of race patterns in IH. Each section was defined as follows: Section 1 (S1) was from the start to the second hurdle (H2), S2 was H2-5, S3 was H5-8, and S4 was H8 to the finish. Our results are as follows:

- 1) Overall, the running speed was slower in S1, S3, and S4, and the rate of deceleration was higher in S2-S3 in NS.
- 2) Speed maintenance type (n=19) was slower in S4, with a slower relative pace in S4 and a faster pace during S2 in NS.
- 3) Speed reduction type (n=12) was faster in the first half of the race in NS, but it was not significant.

These results indicated that the section should prevent the speed decline different for each type of race patterns.

* 広島大学大学院教育学研究科

I. 緒言

陸上競技の400mハードル走(以下,400mH)は,セバレートレーンに35m間隔で設置された10台のハードル(高さ男子:0.914m,女子:0.762m)を越えながら走る種目である。この種目は,曲走路でのハードリング,ストライド調整,歩数の切り替え,逆足でのハードリングなど,直線ハードル種目の110mハードル走やハードルの無い400m走とは異なる技術を要する。また,この種目はハードルを越えながら高い疾走速度を獲得するための筋力や瞬発力,400mを走りきるための持久力など,多くの体力要素が求められる。さらに,400mHは,男子で50秒程度,女子で60秒程度の時間を要し,スタートからゴールにわたって全力疾走,最大速度を維持することは困難である。したがって,好記録達成のためには,技術や体力レベルに応じた最適なペース配分(Abbiss and Laursen, 2008; Hirvonen et al., 1992; Sprague and Mann, 1983)やインターバルでの歩数配分(ストライドパターン)を行う必要があり,戦術性にも富んだ種目である。

400mHは,ハードルを跳んだ後の着地の瞬間を基にしたタッチダウタイムを用いることで,簡易的にレースパターン分析を行うことができる(以下,客観的なレース中の速度推移を「レースパターン」,選手自身の主観的な出力のコントロールを「ペース配分」とする)。これまでにも,国内外の競技会において多くの分析が行われている(Ditroilo and Marini, 2001; 森丘ほか, 2005; 森田ほか, 1994; 長澤, 1995; 安井ほか, 2008)。安井ほか(2008)は,広範なレベルの選手(48秒台-59秒台)のレースパターン分析を行い,第7ハードル(以下,各ハードルを,H1,H2…H10とする)からH8までの区間タイムが記録と最も強い相関関係を示したことから,この付近の速度向上の重要性を述べている。また,初心者レベル(54秒台-71秒台)では後半の速度維持能力が記録に強く関係し(長澤, 1995),世界トップレベル(47秒台-49秒台)では記録の良い選

手ほど,H5からH8の速度低下が小さい(森丘ほか, 2005)。さらに,実際の記録向上時,レース全体の速度低下の小さい「速度維持型」の選手はレース前半の速度改善が,レース全体の速度低下の大きい「速度低下型」の選手ではレース後半の速度改善がみられている(尾崎ほか, 2018a)。

このように,競技レベルや発達段階の違いに応じたレース分析や,記録向上過程の変化を捉えた研究から得られた知見は,個々の選手の特性を把握し,短期的なトレーニング課題を明らかにすることや,より高い競技レベルのレースパターンの傾向とレースイメージをつかむための手掛かりとして,トレーニング現場に活かされている(森丘ほか, 2002)。一方で,森丘ほか(2000)は,好記録を達成した成功レースのみでなく,失敗レースにおけるレースパターンの検討の必要性を述べている。多様な技術や体力を要し,戦術性の高い400mHにおいて,選手やコーチは記録向上のために様々な策を講じるが,その全てが記録向上に至るとは限らない。逆に記録が低下したケースの特徴を把握し,その原因を探究することからも,競技指導の現場に資する有益な知見が得られると考えられる。しかし,先行研究において,選手の記録低下に伴うレースパターンの変化の特徴を検討したものは見当たらない。そこで,本研究では,競技歴が比較的短く,身体も発達段階にあることから,技術,体力,戦術的な変化が多く期待できる男子高校生に着目し,実際の記録低下に伴うレースパターンの変化を明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. 対象者と撮影

対象者は,2008,2009,2011,2012,2015年のいずれかの年に,全国高校総体(以下,IH)と国民体育大会(以下,国体),両大会の400mHに出場した選手述べ126名とした。対象者のIHと国体の400mHのレースを出発信号からゴールまで,ハードルクリア後の着地瞬間が映るよう数台のビデオカメラを用いて追従撮影した(撮影速

度：60 field/s)。予選，準決勝，決勝と複数記録のある者は，最も記録の良かったレースを扱った。このうち，国体において記録の向上がみられた選手，ハードルクリア後の着地瞬間が鮮明にビデオに映らなかった選手，レース中の転倒により大幅な遅れをとった選手は除外した。また，IHで本来の実力を十分に発揮できず，尚且つ国体においても記録を低下させてしまった選手，IHでは実力を十分に発揮できたが，国体においては記録が低下した選手とでは，そのレースパターンの変化の特徴は異なる可能性がある。本研究では，実力を十分に発揮できた成功レースと，実力を十分に発揮できなかった失敗レースについて検討するため，IHで自己最高記録に近いかそれ以上の記録をマークし，国体において記録低下がみられた選手を研究の対象とした。そのため，IH以前の自己最高記録に対し，IHでの記録達成率が98%未満だった選手は分析の対象から除外し，残った31名を分析対象とした。尚，対象者の自己最高記録，IHと国体での記録は，陸上競技記録検索Webサイト（陸上競技ランキング，ベースボール・マガジン社）を用いて収集した。また，複数年度でこれらの条件に合致した分析対象者はいなかった。本研究は広島大学教育学研究科倫理委員会の承認を得た。

2. 区間定義

Fig.1に，本研究における400mH走の区間定義を示した。本研究では400mHを以下の定義により区間分けした。スタートからH1までをアプローチ区間，各ハードル間をインターバル，H10からゴールまでをランイン区間とした。森丘ほか（2005）を参考に，スタートから加速し，トップスピードが多く出現するH2までをSection 1（以下，S1），H2からH5までをSection 2（以下，S2），H5からH8までをSection 3（以下，S3），H8からゴールまでをSection 4（以下，S4）とした。

3. 分析項目

出発信号から各ハードルのタッチダウンタイムを，レース映像をコマ送りし計測した。各ハードルのタッチダウンタイムを基に，アプローチ区間，各インターバルで要したタイムを算出した。ランイン区間のタイムは公式タイムからH10のタッチダウンタイムを減じて求めた。アプローチ区間，各インターバル，ランイン区間の各距離を，要したタイムで除すことで各区間の速度を求めた。各Sectionにおける速度をそれぞれ V_{S1} ， V_{S2} ， V_{S3} ， V_{S4} とした。

区間速度の最高値と最低値を基に，レース全体の速度低下率を示す指標を全体速度低下率（以下，

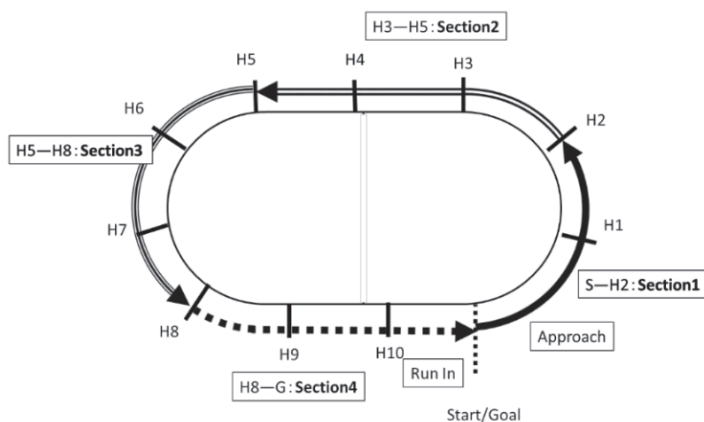


Figure 1 本研究の区間定義

$D_{\min/\max}$)として、以下の式より求めた。

$$\begin{aligned} & \cdot D_{\min/\max} (\%) \\ & = [1 - (\text{最低速度} / \text{最高速度})] \times 100 \end{aligned}$$

S1 - S2, S2 - S3, S3 - S4の区間速度低下率を、それぞれ DS_2/S_1 , DS_3/S_2 , DS_4/S_3 として、以下の式により求めた。

$$\begin{aligned} & \cdot \text{区間速度低下率} (\%) \\ & = [1 - (\text{後の区間速度} / \text{前の区間速度})] \times 100 \end{aligned}$$

また、選手の絶対的な速度に左右されないペース配分の指標(森丘ほか, 2005; 山元ほか, 2014)として、その区間に要した時間が記録の何%を占めるかを表す、区間タイム比を、それぞれ $\%S_1$, $\%S_2$, $\%S_3$, $\%S_4$ として、以下の式により算出した。

$$\begin{aligned} & \cdot \text{区間タイム比} (\%) \\ & = (\text{区間タイム} / \text{レース記録}) \times 100 \end{aligned}$$

さらに、アプローチ区間、各インターバルで要した歩数を計測し、それぞれ S_{approach} , S_{H1-2} , $S_{H2-3} \dots S_{H9-10}$ とした。各Sectionで要した歩数をそれぞれ SS_1 , SS_2 , SS_3 , SS_4 とした(歩数をコントロールする技術に速度が左右されないランイン区間の歩数は除いた)。また、各インターバルにおける歩数の切り替え回数を T_{switch} とした。

3. 統計処理

IHと国体の各分析項目について、対応のあるt検定を行い、対象者全体の前後レースの比較を行った。また、対象者をIHでのレースパターンのタイプ別に分類するため、IHでの区間タイム比に対し、変量を標準化した平方ユークリッド距離を求めた。これを手がかりとしてWard法によるクラスター分析を対象者に対して行った(尾崎ほか, 2018a; 松田ほか, 2010; 内藤ほか, 2013; 山元ほか, 2014)。得られたレースパターンのタイプ別にIHと国体レースの各分析項目を比較するため、各タイプにおけるIHと国体の分析項目について、2元配置の分散分析を行った。交互作用が有意だった項目には、レースパターンのタイプにおける、IHと国体の分析項目における単純主効果の検定を行った。本研究ではレース

パターンのタイプ別にIHから国体での変化を検討することが目的であったため、レースにおけるレースパターンのタイプの単純主効果の検定は実施しなかった。それぞれの有意性の判定には危険率5%を採用した。尚、各分析項目の統計量は、平均±標準偏差で示した。

Ⅲ. 結果

Table 1, 2に全対象者のIHと国体の各分析項目の値とその前後比較の結果を示した。Fig. 2に全対象者のIHと国体の区間速度推移を示した。

IHでの記録は平均で 52.59 ± 1.19 秒 ($n = 31$)だった。IH以前の選手の自己最高記録に対する記録の達成率は、平均で $100.01 \pm 1.04\%$ であり、99%以上が25名、そのうち100%以上が15名を占めた。国体での記録は、平均で 53.32 ± 1.34 秒 ($n = 31$)であり、IHよりも有意に低下した($p < 0.001$)。IH時に対する記録の達成率は平均で $97.96 \pm 1.50\%$ だった。各Sectionにおける速度は、 V_{S1} , V_{S3} , および V_{S4} において、IHと比較して国体で有意に低下した(V_{S1} , $V_{S2} : p < 0.001$, $V_{S4} : p < 0.05$)。各区間速度は、アプローチ区間、H6 - 9, ランイン区間において、有意に低下した(アプローチ区間, ランイン区間 : $p < 0.05$, H6 - 9 : $p < 0.001$)。また、国体ではIHと比較して、 DS_3/S_2 が増加した($p < 0.05$)。

IHでの区間タイム比を基にしたクラスター分析の結果、クラスターが大きく分かれた点で、対象者は2つのタイプに分類できた。各タイプのIHでの平均速度を100%とした相対速度の推移(Fig. 3)から、「速度維持型」と「速度低下型」と名付けた。Table 3, 4に各タイプの各分析項目、各区間歩数の値、および分散分析、単純主効果の検定結果を示した。また、各タイプのIHと国体における区間速度推移をFig. 4に示した。

タイプにおいて主効果がみられた項目は、記録、 V_{S3} , V_{S4} , $D_{\min/\max}$, DS_3/S_2 , DS_4/S_3 , $\%S_1$, $\%S_2$, $\%S_4$, SS_2 , および SS_4 だった(それぞれ、 $p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$)。レースにおいて主効果がみられた項目は、記録、 V_{S1} , および V_{S3}

Table 1 全対象者におけるIHと国体の各分析項目の値と前後比較

| | 全対象者 n=31 | | T.Test |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------|
| | IH | 国体 | |
| Record (sec) | 52.59 ± 1.19 | 53.32 ± 1.34 | *** |
| V _{S1} (m/s) | 7.89 ± 0.15 | 7.81 ± 0.18 | *** |
| V _{S2} (m/s) | 8.23 ± 0.22 | 8.19 ± 0.24 | n.s. |
| V _{S3} (m/s) | 7.61 ± 0.20 | 7.49 ± 0.22 | *** |
| V _{S4} (m/s) | 6.98 ± 0.27 | 6.85 ± 0.31 | * |
| D _{min/max} (%) | 21.94 ± 3.11 | 22.62 ± 4.53 | n.s. |
| D _{S2/S1} (%) | -4.32 ± 2.08 | -4.90 ± 2.05 | n.s. |
| D _{S3/S2} (%) | 7.50 ± 2.44 | 8.46 ± 2.76 | * |
| D _{S4/S3} (%) | 8.36 ± 2.48 | 8.59 ± 3.37 | n.s. |
| % _{S1} (%) | 19.28 ± 0.33 | 19.24 ± 0.41 | n.s. |
| % _{S2} (%) | 24.27 ± 0.52 | 24.08 ± 0.60 | n.s. |
| % _{S3} (%) | 26.24 ± 0.29 | 26.31 ± 0.38 | n.s. |
| % _{S4} (%) | 30.02 ± 0.71 | 30.18 ± 0.91 | n.s. |
| S _{S1} (steps) | 36.74 ± 0.51 | 36.77 ± 0.49 | n.s. |
| S _{S2} (steps) | 44.45 ± 1.07 | 44.55 ± 1.01 | n.s. |
| S _{S3} (steps) | 45.35 ± 1.03 | 45.39 ± 1.29 | n.s. |
| S _{S4} (steps) | 31.77 ± 1.77 | 32.26 ± 1.50 | n.s. |
| T _{switch} (times) | 0.97 ± 0.65 | 1.00 ± 0.57 | n.s. |

***p<0.001, *p<0.05

Table 2 全対象者におけるIHと国体の区間歩数の値

| | 全対象者 n=31 | | T.Test |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------|
| | IH | 国体 | |
| S _{approach} (steps) | 21.97 ± 0.18 | 21.97 ± 0.18 | n.s. |
| S _{H1-2} (steps) | 14.77 ± 0.42 | 14.81 ± 0.40 | n.s. |
| S _{H2-3} (steps) | 14.81 ± 0.40 | 14.81 ± 0.40 | n.s. |
| S _{H3-4} (steps) | 14.81 ± 0.40 | 14.87 ± 0.34 | n.s. |
| S _{H4-5} (steps) | 14.84 ± 0.37 | 14.87 ± 0.34 | n.s. |
| S _{H5-6} (steps) | 14.97 ± 0.18 | 15.03 ± 0.40 | n.s. |
| S _{H6-7} (steps) | 15.06 ± 0.44 | 15.1 ± 0.47 | n.s. |
| S _{H7-8} (steps) | 15.32 ± 0.69 | 15.26 ± 0.62 | n.s. |
| S _{H8-9} (steps) | 15.74 ± 0.95 | 16.00 ± 0.88 | n.s. |
| S _{H9-10} (steps) | 16.03 ± 0.90 | 16.26 ± 0.76 | n.s. |

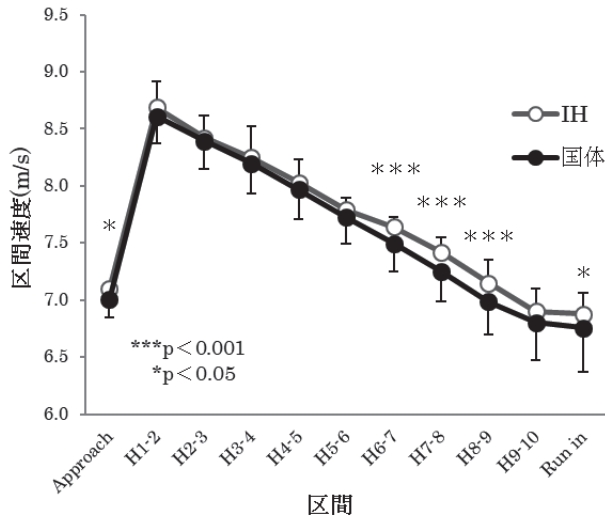


Figure 2 全対象者におけるIHと国体の区間速度推移

だった ($p < 0.05$)。交互作用がみられた項目は V_{S4} , $D_{min/max}$, $D_{S4/S3}$, $\%S_1$, $\%S_2$, および $\%S_4$ だった (それぞれ, $p < 0.05$, $p < 0.01$)。交互作用がみられた項目について、レースパターンのタイプにおけるレースの単純主効果の検定を行った結果、速度維持型の V_{S4} , $\%S_2$ は、IHと比較し

て国体で有意に低値を示した (それぞれ, $p < 0.01$, $p < 0.001$)。また、速度維持型の $\%S_4$ は、IHと比較して国体で有意に増加した ($p < 0.05$)。区間速度は速度維持型のH8-10において、IHと比較して国体で有意に低下した (それぞれ, $p < 0.05$, $p < 0.001$)。

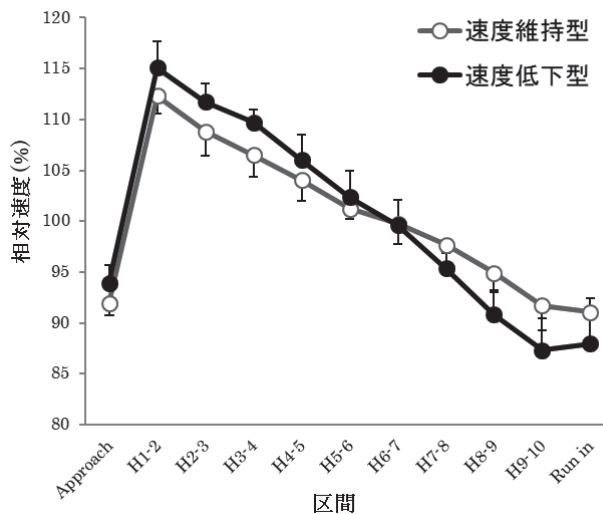


Figure 3 各タイプの区間相対速度の推移

Table 3 各タイプにおけるIHと国体の分析項目の値と前後のレース比較

| Type | 速度維持型 n=19 | | 速度低下型 n=12 | | 主効果 | 交互作用 | 単純主効果 |
|-----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-----|------|------------------------|
| | IH | 国体 | IH | 国体 | | | |
| Record (sec) | 52.23 ± 0.93 | 53.06 ± 1.20 | 53.15 ± 1.35 | 53.73 ± 1.43 | * | | |
| Vs1 (m/s) | 7.86 ± 0.14 | 7.82 ± 0.17 | 7.94 ± 0.16 | 7.78 ± 0.18 | | * | |
| Vs2 (m/s) | 8.20 ± 0.22 | 8.22 ± 0.23 | 8.29 ± 0.20 | 8.13 ± 0.25 | | | |
| Vs3 (m/s) | 7.67 ± 0.17 | 7.53 ± 0.18 | 7.53 ± 0.22 | 7.42 ± 0.26 | * | * | |
| Vs4 (m/s) | 7.13 ± 0.18 | 6.88 ± 0.27 | 6.74 ± 0.22 | 6.79 ± 0.36 | *** | * | 速度維持型-IH > 速度維持型-国体*** |
| D _{min} /max (%) | 20.00 ± 2.17 | 22.16 ± 3.58 | 25.03 ± 1.43 | 23.36 ± 5.64 | ** | * | |
| Ds2/s1 (%) | -4.24 ± 2.45 | -5.08 ± 2.00 | -4.44 ± 1.25 | -4.61 ± 2.10 | | | |
| Ds3/s2 (%) | 6.42 ± 2.40 | 8.32 ± 2.46 | 9.19 ± 1.24 | 8.69 ± 3.16 | * | | |
| Ds4/s3 (%) | 7.00 ± 1.98 | 8.63 ± 2.90 | 10.50 ± 1.49 | 8.54 ± 4.02 | * | * | |
| %s1 (%) | 19.48 ± 0.21 | 19.28 ± 0.32 | 18.97 ± 0.23 | 19.17 ± 0.52 | ** | * | |
| %s2 (%) | 24.54 ± 0.48 | 24.09 ± 0.52 | 23.84 ± 0.17 | 24.06 ± 0.71 | ** | * | 速度維持型-IH > 速度維持型-国体** |
| %s3 (%) | 26.23 ± 0.31 | 26.28 ± 0.36 | 26.26 ± 0.26 | 26.35 ± 0.42 | | | |
| %s4 (%) | 29.56 ± 0.44 | 30.15 ± 0.76 | 30.74 ± 0.35 | 30.23 ± 1.09 | | ** | 速度維持型-国体 > 速度維持型-IH* |
| Ss1 (steps) | 36.74 ± 0.44 | 36.74 ± 0.44 | 36.75 ± 0.60 | 36.83 ± 0.55 | ** | | |
| Ss2 (steps) | 44.21 ± 1.24 | 44.32 ± 1.22 | 44.83 ± 0.55 | 44.92 ± 0.28 | * | | |
| Ss3 (steps) | 45.26 ± 1.12 | 45.32 ± 1.49 | 45.50 ± 0.87 | 45.50 ± 0.87 | | | |
| Ss4 (steps) | 31.21 ± 1.61 | 32.11 ± 1.41 | 32.67 ± 1.65 | 32.50 ± 1.61 | * | | |
| T _{switch} (times) | 0.95 ± 0.76 | 1.05 ± 0.60 | 1.00 ± 0.41 | 0.92 ± 0.49 | | | |

***p<0.001, **p<0.01, *p<0.05

Table 4 各タイプにおけるIHと国体の区間歩数の値

| | 速度維持型 n=19 | | 速度低下型 n=12 | |
|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | IH | 国体 | IH | 国体 |
| S _{approach} (steps) | 22.00 ± 0.00 | 21.95 ± 0.22 | 21.92 ± 0.28 | 22.00 ± 0.00 |
| S _{IH1-2} (steps) | 14.74 ± 0.44 | 14.74 ± 0.44 | 14.83 ± 0.37 | 14.92 ± 0.28 |
| S _{IH2-3} (steps) | 14.74 ± 0.44 | 14.74 ± 0.44 | 14.92 ± 0.28 | 14.92 ± 0.28 |
| S _{IH3-4} (steps) | 14.74 ± 0.44 | 14.84 ± 0.36 | 14.92 ± 0.28 | 14.92 ± 0.28 |
| S _{IH4-5} (steps) | 14.74 ± 0.44 | 14.84 ± 0.36 | 15.00 ± 0.00 | 14.92 ± 0.28 |
| S _{IH5-6} (steps) | 14.95 ± 0.22 | 15.05 ± 0.51 | 15.00 ± 0.00 | 15.00 ± 0.00 |
| S _{IH6-7} (steps) | 15.11 ± 0.55 | 15.05 ± 0.51 | 15.00 ± 0.00 | 15.17 ± 0.37 |
| S _{IH7-8} (steps) | 15.21 ± 0.52 | 15.21 ± 0.61 | 15.50 ± 0.87 | 15.33 ± 0.62 |
| S _{IH8-9} (steps) | 15.47 ± 0.82 | 15.95 ± 0.89 | 16.17 ± 0.99 | 16.08 ± 0.86 |
| S _{IH9-10} (steps) | 15.74 ± 0.85 | 16.26 ± 0.78 | 16.50 ± 0.76 | 16.25 ± 0.72 |

区間歩数には主効果、および交互作用は認められなかったため、検定結果欄は省略してある。

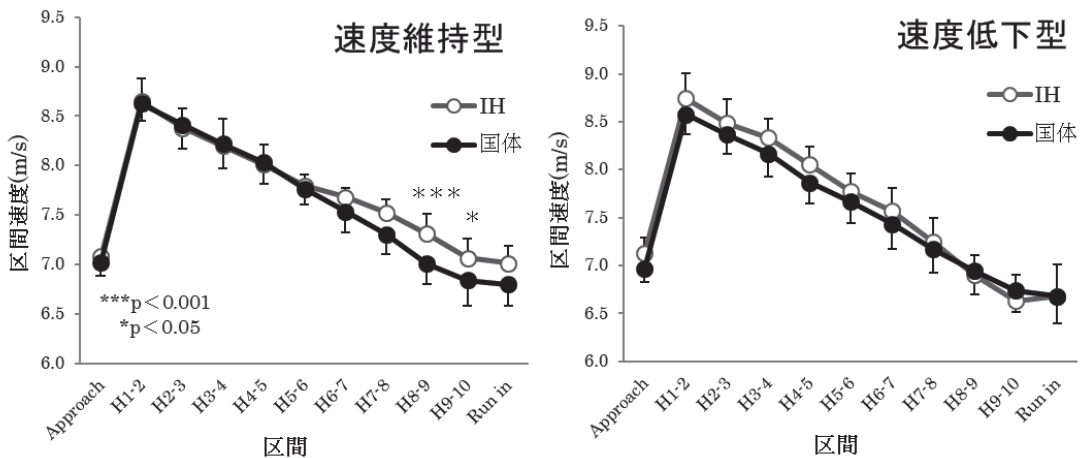


Figure 4 各タイプにおけるIHと国体の区間速度推移

IV. 考察

1. 全対象者における記録低下に伴うレースパターンの変化について

本研究の対象者は、IHの記録がそれまでの自己最高記録に対して、 $100.01 \pm 1.04\%$ であり、99%以上が25名、そのうち100%以上が15名を占めた。一方、国体でのIHに対する記録達成率は $97.96 \pm 1.50\%$ であった。したがって、本研究における、IHと国体のレース分析は、単に記録

の異なる2レースを分析したものでなく、自身の実力を十分に発揮できたレースと、実力を十分に発揮できずに記録を低下させてしまったレースの差を示すものと考えられた。また、レースデータを収集できた選手の中には、IHから国体において記録向上がみられた選手も多数存在した(30名)。そのため、気候や風向、風力など、IHと国体のレースに臨む外的な状況差が、対象者の記録低下の主たる原因ではなかったと判断した。

対象者全体の国体では、IHと比較してS1、

S3, S4 (主にアプローチ区間, H6-H9, ランイン区間)での速度低下と、 DS_3/S_2 の増加がみられた。IHから国体にかけて、記録向上に伴うレースパターンの変化を検討した研究(尾崎ほか, 2018a)では、全選手を対象とすると、レース全体にわたって速度の向上がみられている。しかし、記録が低下した選手を対象とした本研究では、S2の速度のみ有意な差がなく、S3での速度低下率が増加していた。この理由の一つに、選手の主観的なペース配分の影響がある。S2では、主観的な努力度の調整によって、その区間の相対的なペースをコントロールしやすい(Ozaki et al., 2018)。さらに、Greene et al. (2008)は、レース前半の絶対的な速度が高い他の選手の存在が、選手の前半のペースを速めることを報告している。選手が、身体的なコンディションの悪さから、IHと同様の速度で走ることができなかった時、他選手との比較や、自身の感覚から、選手は前半ペースの遅れを認識できる。その場合、主観的な努力度をさらに高めることで、遅れをとらないよう対応していた可能性がある。また、レース前半の主観的な努力度を高めることは、後半の速度低下を招きやすい(Ozaki et al., 2018; 田村, 2009; 山本ほか, 2008)。このことが、S3やS4での速度低下に関与したと考えられた。また、加速局面であるアプローチ区間はスタート直後であり、他との差が付きにくい。そのため、この区間では、たとえIHと比較して疾走速度が低下していたとしても、主観的な努力度の調整が行われにくく、区間速度の低下として現れやすかったと推察された。

2. レースパターンのタイプ別にみた、記録低下に伴うレースパターンの変化について

400m走や400mHの記録向上時には、選手のレースパターンのタイプによって、速度が向上した区間に違いがみられている(尾崎ほか, 2018a; 山元ほか, 2016)。したがって、記録が低下した選手のレースパターンの変化も、レースパターンのタイプによって異なる可能性がある。そ

こで、IHのレースにおける区間タイム比を基にしたクラスター分析を行い、レースパターンの分類を行った。その結果、レースパターンのタイプは「速度維持型」と「速度低下型」に分類された。タイプ別のIHと国体レースにおける分散分析の結果、記録において、タイプ間に主効果がみられ、速度維持型が速度低下型よりも記録が良かった。これは、先行研究(Ozaki et al., 2018; 尾崎ほか, 2018a)と同様の結果であり、高校生レベルにおける、速度維持型の有効性を支持するものである。また、IHから国体への変化について、特に速度維持型は、S4(主にH8-H10)の速度が低下し、S2の区間タイム比が小さく、S4の区間タイム比が大きいレースパターンに移行していた。一方、速度低下型では、有意ではなかったが、主にレース前半の速度低下がみられた。このことは、記録を低下させないために、速度低下を防ぐべき区間はレースパターンのタイプによって異なる可能性を示している。400m走や400mHの記録向上時において、速度維持型はレース前半、速度低下型はレース後半の速度改善がみられている(尾崎ほか, 2018a; 山元ほか, 2016)。しかし、本研究において記録低下がみられた選手では、速度変化がみられた区間は異なった。

前述の通り、IH時と比較して、スピードの低下を選手が感じ取った場合の主観的な努力度による前半速度の調整が、速度維持型の後半の速度低下に関与したものと考えられた。速度維持型において、S2の相対ペースが速くなり、S4での相対ペースが遅くなったことは、この説明と合致する。また、速度維持型は速度低下型と比較して、レース序盤の主観的な努力度が低い(Ozaki et al., 2018)。したがって、速度維持型は速度低下型と比較して、レース前半の主観的な努力度を高め、スピードを向上させられる余力があったと考えられた。一方、速度低下型では、IH時点でレース序盤の主観的な努力度がある程度高く、他との比較から自身のペースの遅れを感じたととしても、さらに速度を高める余力がなかったと予想できる。そのことが、本研究での「速度低下型」のレー

ス前半の速度低下を説明するものと推察された。

3. レースパターンのタイプ別にみた事例検討と、 コーチングへの示唆

ここまで、記録低下時のレースパターンの変化について、選手のスピードの低下を前提に、主観的なペース配分の視点から考察を行ってきた。しかし、実際には持久力の低下や、ハードル踏み切りまでのストライド調整の失敗、ストライドパターンの変更など、レースパターンに影響する要因は多岐に渡る。したがって、ここからは各タイプの記録低下に伴う、個々のレースパターンの変化を、事例的に検討することで、さらなる考察を加えることとした。

Fig.5に、各タイプにおける選手のIHと国体レースの区間速度と区間歩数の推移の事例を示した。速度維持型A選手は、IHで最終ハードルまで歩数を変えずに15歩で疾走していたが、国体

ではH8-H10で歩数が2歩増加し、それに伴って速度が低下した。速度維持型B選手は、レース前半の速度が向上したものの、レース中盤からの速度低下が大きく、後半の速度は大幅に低下した。尾崎ほか(2018b)は、速度維持型の選手が記録を向上させるには、主観的な努力度を高め、前半から中盤の速度を向上させることの重要性を述べている。しかし、これらの事例から、前半の速度を高めるには、最終ハードルまで余裕を持って一定の歩数で走り切れるレベルであることや、前半の主観的な努力度増加をしても、後半の速度低下が防げるような持久力が必要だと考えられた。

一方、速度低下型C選手は、国体でレース前半の速度低下がみられ、H9-H10の歩数を2歩少なくすることができていた。しかし、歩数が減少した区間での大きな速度改善はみられなかった。それに対して、速度低下型D選手は国体で

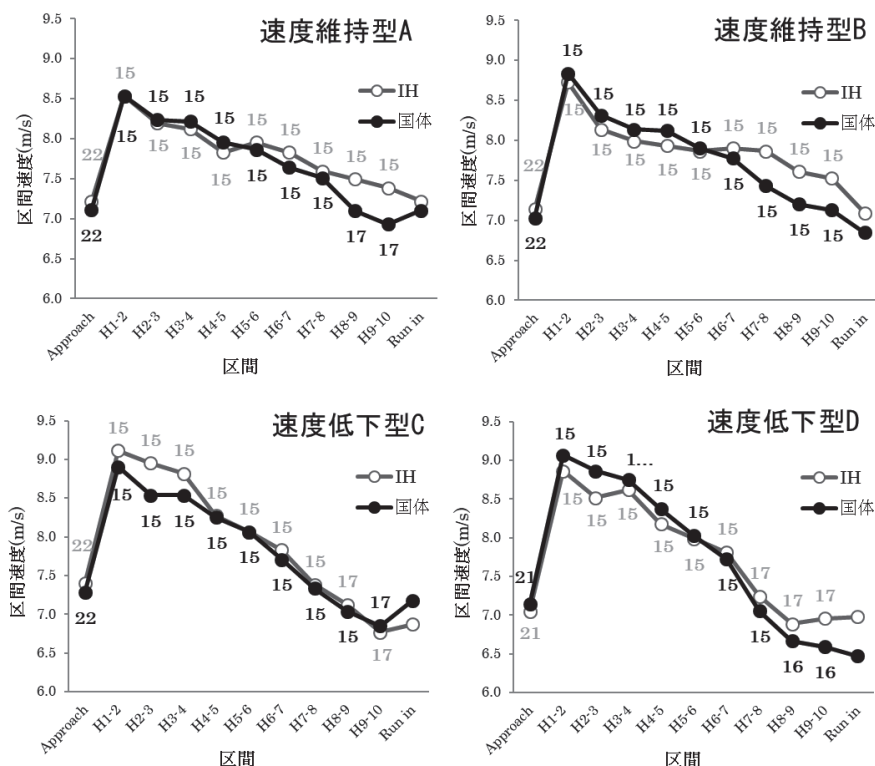


Figure 5 各タイプにおけるIHと国体の速度推移と使用歩数の事例

レース前半の速度向上がみられた。このように、速度低下型の中には、前半の速度が向上した選手も含まれていたため、IHと国体の前後比較において、有意な差を生まなかったと考えられた。また、速度低下型D選手も速度低下型C選手と同様に、IH時よりも後半を少ない歩数で疾走していた。しかし、歩数を減少させた区間での速度は逆に低下していた。レース全体を通して少ない歩数で疾走することは、記録向上のために重要である(安井ほか, 2009)が、本事例では、必ずしも対応した区間速度は向上せず、記録は低下していた。一定の疾走速度において、ピッチとストライドは相反関係にあり、一方を増加させると、他方は減少する。疲労によって疾走速度が大きく低下していた場合、ストライドを維持して走ろうとすれば、ピッチは大幅に低下する。そのため、少ない歩数で疾走するには、その局面での疾走速度が高いことが重要である。したがって、この事例の場合、最終ハードルまで速度が大きく低下しないよう、前半の主観的な努力度は無理に高めず、速度をできる限り維持して、終盤を少ない歩数で疾走することが、記録を低下させず、好記録を達成するために重要だったと推察された。または、大幅な速度低下が認識できた場合には、歩数を増やし、自身の疾走速度に合った歩数で疾走することで、さらなる速度低下を招かないことが必要だったと考えられる。

このように、ある特定区間の速度を向上させるためには、ストライドパターン変更などの戦術的变化、逆足を含めたハードリングでの減速を小さくするなどの技術向上、さらにはスピードや持久力といった体力向上と、その方策は多岐に渡り、それらは相互に関係し合っている。例えば、レース前半を15歩で疾走していた選手が、レース前半の速度を改善させるため、14歩での疾走を試みようとする戦術を変化させる場合、主観的なペース配分を高めるだけでなく、自身の引き出せるスピードを高め、偶数歩でのインターバル疾走時に必須となる逆足でのハードリング技術を習得しなければならない。このように、技術、体力、戦術

要因のいずれかを変化させる場合には、その変化に合わせて、他の要素を最適化させる必要がある。したがって、選手やコーチは、技術や体力、戦術などの諸要因が、他の要因や記録、レースパターンにどう影響するか、熟知する必要がある。そのために、記録や発達段階による横断的な分析や事例的な縦断分析だけでなく、記録が低下したケースからも、パフォーマンス向上に必要な知見を得ることができると考えられる。このようなレースパターン分析を手掛かりに、選手の速度低下の原因を究明し、選手自身の感覚的なイメージや体力、技術、さらに上のレベルのレースパターンの情報を摺り合わせながら、その選手にとって最適なトレーニング課題を抽出していくことが重要である。本研究の成果は、選手がさらにパフォーマンスを高めるためのモデルレースパターンの構築過程、およびそれを達成するためのトレーニング課題の設定時において、有益な知見となり得るだろう。

V. 総括

本研究の目的は、高校生男子の400mハードルにおける記録低下に伴うレースパターンの変化を明らかにすることであった。2008, 2009, 2011, 2012, 2015年の全国高校総体(IH)と国民体育大会(国体)のレースをスタートからゴールまで追従撮影し、スタートからハードリング後の着地の瞬間をもとに、各区間の所要タイム、歩数を計測した。それまでの自己最高記録に対し98%以上の記録をIHで達成し、尚且つ国体において記録が低下した選手を対象とし、全対象者、およびIHでのレースパターンのタイプごとに、区間速度、区間タイム比、全体の速度低下率、区間速度低下率、区間歩数、および歩数の切り替え回数について前後比較を行った。その結果、対象者全体では、S1, S3, およびS4(主にアプローチ区間, H6-9, ランイン区間)での速度低下がみられ、S2からS3での速度低下率が増加した。また、速度維持型では、S4(主にH8-10)の速度が低下し、S2の相対的なペースが速く、

S4の相対的なペースが遅いレースパターンに変化した。速度低下型では、有意ではなかったが、主にレース前半の速度低下がみられた。これらのことから、記録を低下させないためには、アプローチ区間やS3で速度を低下させないことが重要であり、レースパターンのタイプによっても、記録低下を防ぐために重要な区間は異なることが示唆された。

VI. 文献

- Abbiss, C. R. and Laursen, P. B. (2008) Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. *Sports Med.*, 38(3) : 239-252.
- Ditroilo, M. and Marini, M. (2001) Analysis of the race distribution for male 400m hurdles competing at the 2000 Sydney Olympic Games. *New Study in Athletics*. 16(3): 15-30.
- Greene, D., Leyshon, W. and O'Donoghue, P. G. (2008) Elite male 400m hurdle tactics are influenced by race leader. Paper presented at the World Congress of Performance Analysis of sport 8, Megdeburg, September.
- Hirvonen, J., Nummela, A., Rusko, H., Rehunen, S. and Härkönen, M. (1992) Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400m sprint. *Can. J. Sports Sci.*, 17(2): 141-144.
- 松田有司・山田陽介・赤井聡文・生田泰志・野村照夫・小田伸午 (2010) 100m自由形におけるストローク頻度とストローク長からみた泳タイプの分類. *体力科学*, 59 : 465-474.
- 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.
- 森丘保典・杉田正明・榎本靖士・阿江通良・小林寛道 (2002) 一流男子 400m ハードル走におけるレースパターンと記録の関係—5台目および8台目ハードル通過時刻に注目して—. *スプリント研究*, 12 : 20-27.
- 森丘保典・榎本靖士・杉田正明 (2005) 陸上競技 400m ハードル走における一流男子選手のレースパターン分析. *バイオメカニクス研究*, 9(4) : 196-204.
- 森田正利・伊藤 章・沼澤秀雄・小木曾一之・安井年文 (1994) スプリントハードル (100mH, 110mH) および男女 400mH のレース分析. 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—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—. *ベースボール・マガジン社* : 東京, pp. 50-65.
- 長澤光雄 (1995) 初心者への 400m ハードル競走に関する一考察. *秋田大学教育学部研究紀要教育科学部門*, 48 : 49-60.
- 内藤景・菊山靖・宮代賢治・山元康平・尾縣貢・谷川聡 (2013) 短距離走競技者のステップタイプに応じた 100m レース中の加速局面の疾走動態. *体育学研究*, 58 : 523-538.
- Ozaki, Y., Ueda, T., Fukuda, T. and Adachi, T. (2018) Relationship between velocity changes and subjective effort in top-level high-school 400 m hurdlers. *運動とスポーツの科学*, 23(2) : 79-87.
- 尾崎雄祐・上田毅・福田倫大・足立達也 (2018a) 全国高校総体から国民体育大会における 400m ハードル走の記録向上によるレースパターンの変化. *コーチング学研究*, 32(1) : 89-98.
- 尾崎雄祐・上田毅・福田倫大・足立達也 (2018b) 高校生男子の 400m ハードル走におけるレースパターンと主観的な努力度の関係について : 全国規模の競技会において記録が向上した選手に着目して. *広島体育学研究*, 44 : 1-9.
- 陸上競技ランキング. <https://rikumaga.com/>, (参照日 2018年12月12日)
- Sprague, P. and Mann, R. V. (1983) The effects of muscular fatigue on the kinetics of sprint running. *Res. Q. Exerc. Sport*, 54(1): 60-66.
- 田村孝洋 (2008) 400m 走のレース展開に関する

- 研究. 中村学園大学・中村学園大学短期大学部
研究紀要, 40:63-67.
- 渡邊諒(2013)400mHの競技発達の段階の違い
によるレースパターン. 日本コーチング学会大
会予稿集, 25:25.
- 安井年文(2009)400mハードル走の特性におけ
る実践的把握についての検討. 陸上競技研究,
79(4):2-16.
- 山本晶三・金高宏文・松村勲(2009)400m走を
模した50秒間のペダリング運動における効果
的なペース配分. 陸上競技研究, 76:20-24.
- 山元康平・宮代賢治・内藤景・木越清信・谷川聡・
大山下圭悟・宮下憲・尾縣貢(2014)陸上競技
男子400m走におけるレースパターンとパ
フォーマンスとの関係. 体育学研究, 59(1):
159-173.
- 山元康平・内藤景・宮代賢治・関慶太郎・上田美
鈴・木越清信・大山下圭悟・宮下憲・尾縣貢(2016)
男子400m走におけるパフォーマンス向上に伴
うレースパターンの変化. 陸上競技学会誌,
14:9-18.