

学位論文要旨

陸上競技の 400m ハードル走において男子高校生が
パフォーマンスを高めるための
レースパターンと体力，技術，戦術

広島大学大学院教育学研究科
教育学習科学専攻 教科教育学分野
健康スポーツ教育学領域

D185353 尾崎雄祐

第1章 研究の背景

第1節 400mハードル走とレースパターン

400mハードル走（以下、400mH）は、セパレートレーンに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400mHでは、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ンタイムを用いることで、簡易的に選手のレースパターン（レース中の客観的な速度推移）を分析でき、得られた知見は、より高いレベルの傾向とレースイメージをつかむ、中長期的な目標設定の手掛かりとして、トレーニング現場に活かされている（森丘，2002）。しかしながら、400mHでの高いパフォーマンスには、求められる体力、技術、戦術、心的能力、内外の条件（グロッサー・ノイマイヤー，1995）が多岐に渡るため、選手や指導者は、記録やレースパターンにそれら諸要因がどのように影響するかを熟知し、選手の個別性を加味したうえで、トレーニング計画を練る必要がある。したがって、400mHの記録とレースパターンの関係、および体力、技術、戦術、心的、外的要因との関係性を明らかにすることは、パフォーマンスを高める上で重要な研究課題である。

第2節 先行研究の問題点、および本研究の目的

400mHのレースパターン分析に関する先行研究には、記録レベルに応じた横断分析（森丘ほか，2005；長澤，1995；安井ほか，2008；Ditroilo and Marini，2001）や、多数の選手における複数レースの個人内分析（Otsuka and Isaka，2019）、特定選手における記録向上過程の縦断分析（八嶋と山崎，2009；渡邊，2013；森丘，2014；横川，1996）が存在する。しかし、選手の記録向上に役立てられるはずの先行研究に、実際の記録向上、もしくは記録低下に伴うレースパターンの変化を量的手法によって示した知見がない（問題点1, 2）。加えて、レースパターンは客観的な速度推移であり、意識下のペース配分と異なるため、効率的なペース配分の戦術を探る知見として不十分である（問題点3）。また、レースパターンやパフォーマンスと400mH特有の技術的要因との関係についても依然として不明瞭である（問題点4）。そして、レースパターンに関する量的研究による知見の活用時には、選手の個別性を十分に把握する必要がある。これに関して、森丘（2014）は、『90%の人に当てはまるが、10%しか説明できない（一般性の高い）』理論よりも、『10%の人にしか当てはまらないけれど90%説明できる（一般性の低い）』理論のほうが、むしろ現場では役に立つことも少なくない」として、個々の事例の赤裸々な記述を基にした質的研究の重要性を説いている。しかしながら、特にジュニア期からシニア期にかけて高度な専門化が求められる400mHにおいて、発達段階や記録レベルを加味したコーチングへの示唆を得るために、その質的研究の集積は不十分である（問題点5）。

そこで本研究では、これまでの問題点を量的、質的手法、および客観、主観情報の両面から解決することで、ジュニア期に当たる男子高校生の400mH選手が、シニア期にかけてパフォーマンスを高めるためのコーチングモデル作成の一助となる知見を得ることを目的とした。これまでの問題点を解決するために、本研究では以下の研究課題を設定した。

【研究課題 1：問題点 1 に対応】

選手の実際の記録向上に伴うレースパターンの変化の特徴を明らかにすること。

【研究課題 2：問題点 2 に対応】

選手の実際の記録低下に伴うレースパターンの変化の特徴を明らかにすること。

【研究課題 3：問題点 3 に対応】

主観的なペース配分と記録やレースパターンとの対応関係を検討すること。

【研究課題 4：問題点 4 に対応】

ストライド調整やハードリング技術と記録，レースパターンとの関係を検討すること。

【研究課題 5：問題点 5 に対応】

発達段階を踏まえた個人の長期的な記録とレースパターンの変遷とトレーニングの関係，およびレースパターン分析を用いたトレーニングの有効性を事例的に検討すること。

第 2 章 男子高校生の 400m ハードル走における，記録向上によるレースパターンの変化

第 1 節 目的と方法

本章の目的は，男子高校生の 400mH における実際の記録向上に伴うレースパターンの変化の特徴を明らかにすることである。対象者は，2008，2009，2011，2012，2015 年の全国高校総体（IH）と国民体育大会（国体）の両競技会に出場し，IH から国体にかけて記録が向上した選手 27 名とした。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の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）。本研究での 400mH の区間分けは Fig. 2-1 の通りである。

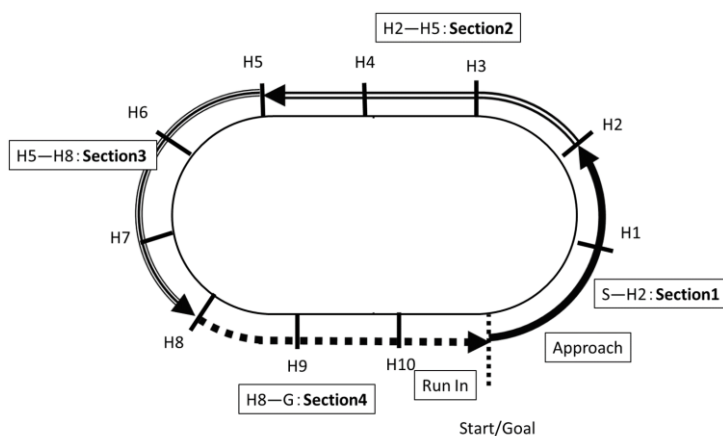


Fig.2-1 Definition of each section.

分析項目は，各 Section における疾走速度 (V_{S1} , V_{S2} , V_{S3} , V_{S4})，レース全体の速度低下率 ($D_{\min/\max}$)，S1—S2，S2—S3，S3—S4 の疾走速度低下率 ($D_{S2/S1}$, $D_{S3/S2}$, $D_{S4/S3}$)，各 Section に要したタイムが記録の何%を占めるかを示す区間タイム比（それぞれ% s_1 ，%

s2, %s3, %s4), 各区間歩数 (S_{approach}, S_{H1-2}, S_{H2-3}…S_{H9-10}), 歩数の切り替え回数を (T_{switch}) とした. また, 本章では参考資料として, レース中の主観的なペース配分の変化に関する調査を, 対象選手に回答用 URL を送信し, 筆者らが作成した調査ページへ移動させ, 当時のレースを想起させることで実施した. それぞれの分析項目に対して, IH と国体における前後比較を行った.

第3節 結果と考察

選手全体では, レース全体を通して疾走速度の向上がみられたが, その他の分析項目に有意な変化はみられなかった. また, 本研究では IH のレースでの区間タイム比を基にしたクラスター分析を行い, IH 時点でのレースパターンの類型化を行った. その結果, レースパターンは「速度維持型 (タイプI: n=9)」と「速度低下型 (タイプII: n=18)」に分けることができた. タイプ別に IH と国体の疾走速度推移, 各分析項目を比較した結果, 速度維持型では, S2 (H1—5) の疾走速度が向上した一方, 速度低下型では S4 (H8—ランイン区間) の疾走速度が向上した (Fig. 2-2). また, 速度維持型は, 速度低下型よりも記録レベルが高かった. さらに, アンケートによる事例検討では, IH から国体において, 速度維持型の全選手がレース前半の主観的な努力度を高めていた.

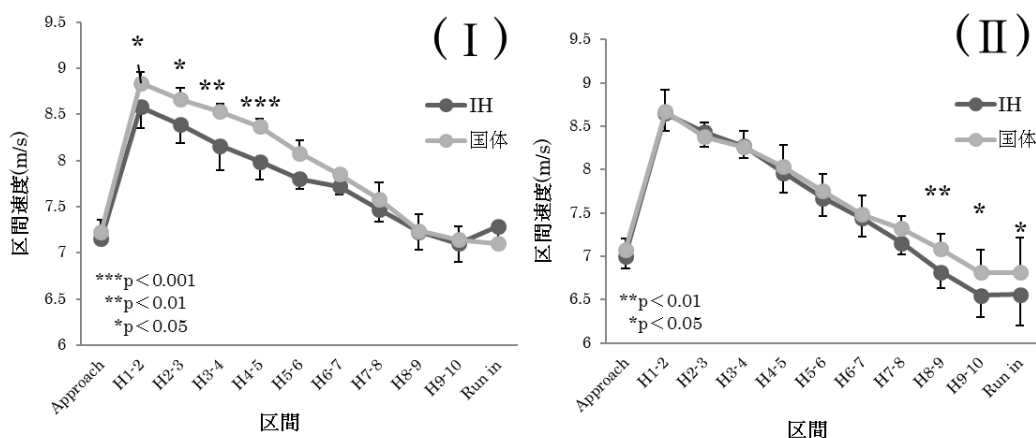


Fig. 2-2 Changes of running velocity in Inter-High School competition and National Sports Festivals in Type I and Type II.

これらのことから, 同じ高校生のレベルであっても, レースパターンのタイプにより疾走速度向上のポイントとなる区間は異なることが示唆された. 特に高校生のレベルでは, 速度維持型の選手の記録向上のためには, レース前半の主観的な努力度を高めることが重要であると考えられた.

第3章 男子高校生の400mハードル走における、記録低下によるレースパターンの変化

第1節 目的と方法

本章では、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ジュニア期の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。対象者は第2章で撮影したレースの中で、IHから国体で記録の低下がみられた選手31名とした。区間定義、分析項目、統計処理は第2章と同様とした。

第2節 結果と考察

全体では、S1, S3, およびS4（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。タイプI（速度維持型：n=19）では、S4（H8-10）の速度が低下し、S2の相対的な疾走速度が高く、S4の相対的な疾走速度が低いレースパターンに変化した。一方、タイプII（速度低下型：n=12）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（Fig. 3-1）。

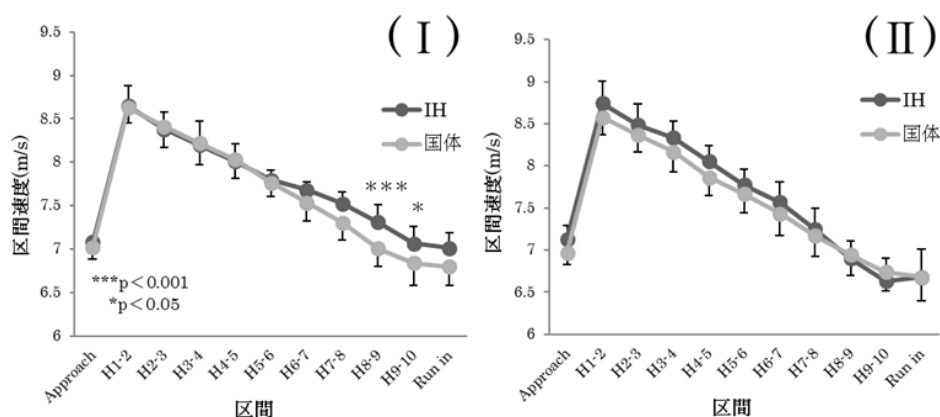


Fig. 3-1 Changes of running velocity in IH and NS in Type I and Type II.

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S3-4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。

第4章 男子高校生の400mハードル走におけるレースパターン、パフォーマンスと主観的なペース配分の関係

第1節 目的と方法

物理的な相対速度を基にしたレースパターンと、個人の運動制御に関わる意識下でのペース配分は異なると考えられ、二つの関係を明らかにすることはレースの成否に大きく関連する。しかし、実際のレースに対応させて、選手の主観的な努力度とパフォーマンスやレースパターンを検討したものは少ない。そこで本章では、400mHにおいて実際のレースの主観的な努力度と疾走速度、パフォーマンスとの関係を検討することを目的とした。

2016年のIHに出場した選手28名を分析対象とし、郵送調査にて実施した主観的努力度(各区間を何%の努力度で走ったかを回答させ、それぞれ E_{S1} , E_{S2} , E_{S3} , E_{S4} とした)の推移と、IH時のレースパターンの対応関係を検討した。

第2節 結果と考察

レース中の主観的努力度は、S1で約85%であったが、個人差が大きかった。その後S2でやや低下し、S3からゴールまで漸増する推移をした。S2およびS3では、主観的努力度の高さが、その区間における相対的な疾走速度の高さに関係した。また、S3の相対的な疾走速度が高い選手はS3およびS4での努力度が高かった。さらに、S4のペースが遅い選手、S3からS4での速度低下が大きい選手はS4の努力度が高かった。速度維持型は速度低下型よりS1の主観的努力度が低く、相対的な疾走速度では、S3にのみ差がなかった (Table 4-1)。速度維持型はS4の努力度が高いほど記録が良く、速度低下型はS1の努力度が高く、S3の相対的な疾走速度が高く、歩数が少ないほど記録が良かった (Table 4-2)。

これらのことから、高校生のレベルでは、S1での主観的努力度の高低は速度維持型と速度低下型のレースパターンのタイプに関係することが分かった。また、速度維持型と速度低下型のレースパターンのタイプによって、高いパフォーマンスを達成するために主観的努力度の高さが重要な区間は異なることが示唆された。

Table. 4-1 Comparison of variables between Type I and Type II.

	Type I	Type II	T.test
Race time	52.94±0.88	54.44±1.57	*
V_{S1}	7.55±0.18	7.59±0.20	n.s.
V_{S2}	8.00±0.17	8.18±0.29	n.s.
V_{S3}	7.54±0.20	7.31±0.27	*
V_{S4}	7.20±0.13	6.61±0.22	***
Dmin/max	17.32±2.29	24.10±2.52	***
DS_2/S_1	-5.97±2.24	-7.78±3.01	n.s.
DS_3/S_2	5.67±2.15	10.71±1.93	***
DS_4/S_3	4.51±2.61	9.51±2.52	***
$\%S_1$	20.02±0.23	19.37±0.37	***
$\%S_2$	24.81±0.39	23.59±0.43	***
$\%S_3$	26.30±0.41	26.43±0.39	n.s.
$\%S_4$	28.87±0.45	30.61±0.57	***
SS_1	36.67±1.16	37.16±0.67	n.s.
SS_2	44.00±1.42	44.69±0.80	n.s.
SS_3	45.34±0.67	46.37±1.43	n.s.
SS_4	31.12±1.67	33.43±1.05	***
Tswitch	0.89±1.00	1.48±0.68	n.s.
ES_1	81.94±5.27	86.84±5.33	*
ES_2	80.30±4.09	83.86±6.06	n.s.
ES_3	85.67±4.84	86.37±5.94	n.s.
ES_4	95.96±4.22	97.07±3.20	n.s.

*** $p<0.001$, * $p<0.05$

Table. 4-2 Correlation matrix between race time and each variables of type I and type II.

	Type I	Type II
V_{S1}	-.875 **	-.764 ***
V_{S2}	-.682 *	-.859 ***
V_{S3}	-.840 **	-.933 ***
V_{S4}	-.584	-.828 ***
Dmin/max	-.423	-.136
DS_2/S_1	-.264	.358
DS_3/S_2	.339	.206
DS_4/S_3	-.442	-.278
$\%S_1$.318	-.428
$\%S_2$	-.122	.102
$\%S_3$.374	.428 *
$\%S_4$	-.399	-.089
SS_1	.464	.088
SS_2	.338	.126
SS_3	.555	.530 *
SS_4	.567	.137
Tswitch	.314	.221
ES_1	.408	-.455 *
ES_2	.140	-.240
ES_3	-.538	.054
ES_4	-.677 *	-.033

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

第5章 400mハードル走におけるハードリング技術, ストライド調整技術とパフォーマンス, レースパターンとの関係

第1節 目的と方法

本章では400mHのアプローチ区間に着目し,そこでのストライド調整様態を明らかにするとともに,ストライド調整,およびH1におけるハードリングにおける技術力と,パフォーマンスやレースパターンとの関係を検討することを目的とした.

対象者7名は十分なウォーミングアップを行ったのち,スタートからH2までの疾走を3試技実施した.スタートから踏み切りまで,曲走路円弧中心から対象者を1台のハイスピードカメラで,対象者の進行方向とカメラの光軸が垂直となるようパンニング撮影した.ハードリング局面は,H1周囲四方から,固定された4台のハイスピードカメラを用いて撮影した.また,対象者の実際のレースパターンと各技術力の指標との関係を調べるために,対象者の直近の400mHの公式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の瞬間が映るよう1台のビデオカメラを用いて追従撮影した.得られた映像から対象者の身体各部位における曲走路疾走時の2次元座標,ハードリング局面の3次元座標を取得した.これらのデータからストライド調整,ハードリングにおける技術指標を算出し,400mHのレースパターン,および記録との関係を検討した.

第3節 結果と考察

SDTH(3試技間の各ステップにおけるつま先の接地位置からH1までの距離の標準偏差)は全ての対象者でスタート後徐々に増加し,途中で最大値を迎えたのち踏み切りまで減少した(Fig. 5-1).SDTHmax(SDTHの最大値)が小さいほど,アプローチ区間の速度低下率は小さかった(Fig. 5-2).SDTHmaxは,400m/400mHとの間に有意な相関関係を示した.SDTHmaxが大きいほど,レース全体の速度低下率は小さかった.

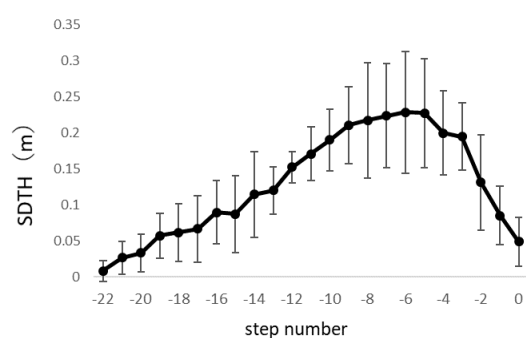


Fig. 5-1 Change in SDTH.

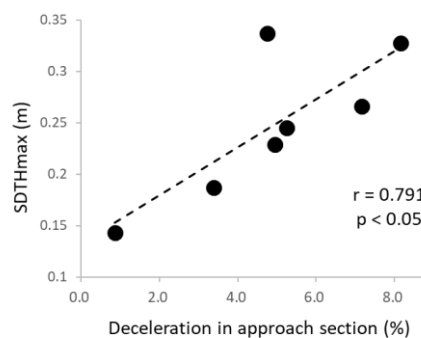


Fig. 5-2 Relationship between SDTHmax and deceleration in approach section.

これらのことから,選手はハードル踏み切りまでに接地位置の蓄積誤差を感知し,アプローチ区間中盤から後半にかけてストライド調整を行っていると考えられ,そのストライ

ド調整には踏み切り直前の数歩が大きく関与していることが分かった。そして、その過程では速度低下が生じていることが明らかになった。また、踏み切りまでの接地位置の蓄積誤差を小さくできる能力は、400m 走の疾走能力に左右されない、400mH の疾走効率の指標として有用であり、この能力に劣るものほどレース全体の速度低下は小さくなりやすいことが示唆された。

第 6 章 400m ハードル選手のトレーニングに関する事例研究—10 年間に渡るレースパターンの変遷と、レースパターン分析を用いたトレーニング実践から—

第 1 節 目的と方法

本章では以下の 2 点、①400mH 初出場から 10 年間の記録とレースパターンの変遷、およびトレーニング内容との関連性について考察し、発達段階や記録レベルを踏まえた、中長期的トレーニング計画に資する実践知を得ること。②レースパターンを用いたトレーニング課題の設定、およびトレーニングの実践事例を提示し、その課題解決の妥当性について考察することで、短中期的トレーニング計画に資する実践知を得ることを目的とした。

対象者は 400mH 競技歴 10 年の大学男子選手だった。400mH に初出場した 2009 年 9 月から、50.30 秒を記録した 2019 年 8 月までに出場したレースパターンのデータ、および対象者が記述した 2009 年 9 月から 2019 年 8 月の 10 年間のトレーニング日誌を基に、トレーニングの取り組みとレースパターンの変遷との関わりについて検討した。

第 2 節 結果と考察

個人内における 10 年間の記録とレースパターンの関係性には、従来の横断的な先行研究から示された傾向と同様に、S3 の絶対的、相対的な疾走速度の高さが関連した。また、高校期、大学期、大学院期ごとの記録とレースパターンの関係性はそれぞれ異なり、記録レベルや発達段階が上がるとともに、レース前半から、レース後半の疾走速度の寄与が高まるようにシフトしていた (Fig. 6-1)。実際の記録更新時のレースパターンの変化は、記録とレースパターンの 10 年間に渡る長期的な関係性、高校期、大学期、大学院期という中期的な関係性と必ずしも一貫した変化をみせず、相対的に疾走速度が劣る局面や速度低下の大きな局面など、それぞれの時期に応じた局面の速度改善が重要だった。大学院期の記録向上過程で、対象者はレースパターンの情報を基に、体力、技術、戦術的要因の擦り合わせを行い、レースイメージの変容を伴わせながら記録を向上させていた。

これらのことから、選手の長期的な記録向上に寄与するレースパターンの変化と、記録レベルや発達段階を踏まえた、短中期的な記録の善し悪しに関連するレースパターンの特徴、さらには実際の記録更新時に目指すべきレースパターンの変化の特徴は必ずしも一貫しないことが示唆された。また、レースパターンの情報は、トレーニング課題をパフォーマンスの階層構造の上層からトップダウン的に整理し、それらに応じた下層の要因を特異的にトレーニングできる点で有用だと考えられた。

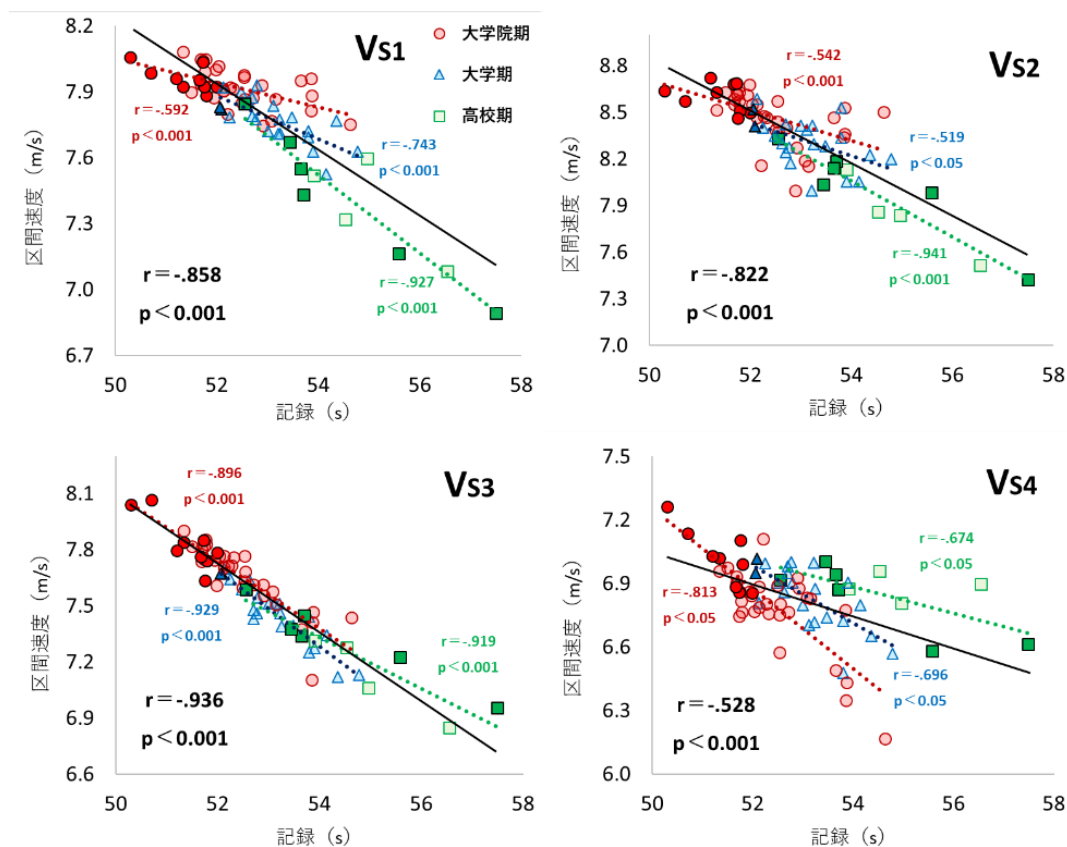


Fig. 6-1 Relationship between section velocity and 400mH race time in each duration.

第7章 総合考察

以上の結果から、特に男子高校生の400mHにおいて、記録更新を狙う際に改善すべき速度区間、記録低下を防ぐために速度維持を試みる区間は必ずしも一貫せず、選手のレベルやレースパターンのタイプによっても異なることが示唆された。一方で、本研究、および先行研究による横断研究、縦断研究によって広くその重要性が指摘されたS3の絶対的、相対的な疾走速度については、長期的にその向上を図るべきと考えられた。また、短中期的な記録更新時には、著しく速度低下がみられる区間や相対的に速度が劣る区間など、個に応じたトレーニング課題を抽出する必要がある。その際には、体力的要因のみならず、レースパターンのタイプに影響する主観的な努力度や、ストライド調整などの戦術や技術的要因を考慮する必要性が示唆された。ここでレースパターン分析を用いることは、目標のレースイメージを達成し得る戦術、技術、体力的要因を、パフォーマンス階層の上層からトップダウン的に整理し、個に応じたトレーニング計画ができる点で有効性だった。その際には、目標のレースイメージを達成し得る戦術、さらにはそれを成しえるための技術的要因、体力的要因が根底になければならないことを認識したうえで、トレーニング計画を練る必要があると考えられた。

—文献—

- Ditroilo M and Marini M (2001) Analysis of the race distribution for male 400m hurdles competing at the 2000 Sydney Olympic Games. *New Stud Ath*, 16 (3) : 15-30.
- グロッサー, ノイマイヤー: 朝岡正雄, 佐野淳, 渡辺良夫訳 (1995) 選手とコーチのためのスポーツ技術のトレーニング. 大修館書店, pp. 139-142.
- 森丘保典 (2014) コーチング学における事例研究の役割とは? : 量的研究と質的研究の関係性. *コーチング学研究*, 30 : 7-15.
- 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.
- 長澤光雄 (1995) 初心者の 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.
- Otsuka M and Isaka T (2019) Intra-athlete and inter-group comparisons: Running pace and step characteristics of elite athletes in the 400-m hurdles. *PloS one*, 14, e0204185.
- 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.
- 八嶋文雄, 山崎一彦 (2009) 男子 400m ハードルのレース展開における縦断的研究: 同一選手の初レースから 53 秒台に至るまでの過程. 日本体育学会大会予稿集. 60 : 245.
- 安井年史, 本道慎吾, 高畠瑠衣, 青山清英, 一川大輔, 遠藤俊典 (2008) 400m ハードル走におけるパフォーマンスレベルによるレース分析について. *陸上競技研究*, 75 (4) : 12-20.
- 横川和幸 (1996) 日本インターカレッジ女子 400M ハードル入賞者のラップタイムからみた記録の発達: 鈴木理子の事例報告. 仙台大学紀要, 27 : 53-62.