

博士論文

陸上競技男子 400m 走における

高いパフォーマンスを達成するためのレースパターンに関する研究

平成 28 年度

筑波大学大学院 人間総合科学研究科 コーチング学専攻

山元康平

# 目次

図一覧.....	v
表一覧.....	viii
関連論文.....	x
I. 緒言.....	1
II. 文献研究.....	9
1. 競技会における 400m 走の走スピード分析方法.....	9
2. 400m 走におけるレースパターンに関する研究.....	12
(1) 400m 走における走スピード変化の一般的傾向.....	12
(2) 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.....	19
(3) 400m 走におけるレースパターンのタイプ.....	23
(4) 400m 走のモデルレースパターン.....	27
3. 400m 走のレースパターンに影響を及ぼす要因に関する研究.....	28
(1) 体力的要因.....	28
(2) ステップ頻度およびステップ長.....	32
(3) 走動作.....	35
4. 400m 走のパフォーマンス変化に関する研究.....	38
5. 先行研究の総括.....	40
III. 本研究の目的および課題.....	42

1. 研究目的.....	42
2. 研究課題.....	43
IV. 本研究の意義, 仮定および限界 .....	45
1. 本研究の意義 .....	45
2. 本研究の仮定 .....	45
3. 本研究の限界 .....	46
V. 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【研究課題 1】	
.....	47
1. 目的.....	47
2. 方法.....	48
(1) データ収集 .....	48
(2) データ処理 .....	51
(3) 統計処理.....	55
3. 結果.....	55
4. 考察.....	67
(1) レースパターンとパフォーマンスとの関係 .....	69
(2) レースパターンの類型化とモデルレースパターン .....	72
5. まとめ.....	76
VI. 陸上競技 400m 走におけるレースパターンタイプの異なる競技者の体力特性【研究課題 2-1】 .....	77

1. 目的.....	77
2. 方法.....	78
(1) 分析対象者.....	78
(2) データ収集および測定項目.....	79
(3) 統計処理.....	81
3. 結果.....	81
4. 考察.....	83
5. まとめ.....	89
<b>VII. 陸上競技 400m 走におけるレースパターンタイプの異なる競技者の疾走動態【研究課題</b>	
<b>2-2】 .....</b>	<b>90</b>
1. 目的.....	90
2. 方法.....	91
(1) 分析対象者およびレースの撮影.....	91
(2) データ処理.....	94
(3) 統計処理.....	94
3. 結果.....	94
4. 考察.....	102
5. まとめ.....	108
<b>VIII. 陸上競技男子 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【研究</b>	
<b>課題 3】 .....</b>	<b>109</b>

1. 目的.....	109
2. 方法.....	110
(1) 分析対象者および分析対象レースの選定 .....	110
(2) データ処理.....	112
(3) 統計処理.....	112
3. 結果.....	113
4. 考察.....	120
(1) 400m 走パフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化の対象者全体の傾向...	120
(2) レースパターンのタイプによるパフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化 傾向の相違.....	123
5. まとめ.....	125
IX. 総合考察.....	126
1. 男子 400m 走におけるパフォーマンスの高い競技者のレースパターンの特徴とモデル レースパターン .....	126
2. レースパターンに影響を及ぼす体力および技術的要因.....	128
3. 400m 走パフォーマンスの変化に伴うレースパターンの個人内での変化 .....	131
4. レース分析をもとにした 400m 走のコーチングモデル.....	141
5. 今後の課題.....	145
X. 結論.....	148
参考文献.....	151

図一覧

## Ⅱ. 文献研究

Figure 2-1 Superimposing an image of the 400m competition race onto an image of the hurdles in

a 400m hurdle race by using the Overlay method (Mochida et al., 2007a)

Figure 2-2 Time course of velocity for women (a) and men (b).

Figure 2-3 Change of running speed during 400m running (Ogata et al., 1998a).

Figure 2-4 Comparison between running speed of 25m section and 100m section during 400m race

(Sugita and Matsuo, 2000)

Figure 2-5 Typification of the race pattern based on pacing strategy (Morioka et al., 2007).

Figure 2-6 Time course of stride length (left) and stride frequency (right) for women (A) and men

(B).

## V. 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【研究課題

1】

Figure 5-1 Superimposing an image of the 400m competition race onto an image of the hurdles in a

400m hurdle race by using the Overlay method.

Figure 5-2 Changes in running speed of each group.

Figure 5-3 Relationships between 400m race time and segment times.

Figure 5-4 Relationships between 400m race time and ratio of segment times.

Figure 5-5 Relationships between 400m race time and rate of change of running speed.

Figure 5-6 Relationships between 400m race time and the deceleration index.

Figure 5-7 Race pattern-types classification according to cluster analysis

Figure 5-8 Changes in relative running speed of each type.

VII. 陸上競技 400m 走におけるレースパターンタイプの異なる競技者の体力特性【研究課題 2-1】

Figure 6-1 MAOD, VO<sub>2</sub>peak, Peak power, Fatigue index and 100m time for each type.

VI. 陸上競技 400m 走におけるレースパターンタイプの異なる競技者の疾走動態【研究課題 2-2】

Figure 6-1 Changes in running speed, step frequency and step length.

Figure 6-2 Changes in running speed, step frequency and step length of each type.

Figure 6-3 Changes in relative step length of each type.

Figure6-4 Changes in running speed, step frequency and step length of each group.

Figure6-5 Changes in running speed, step frequency and step length of high deceleration type..

Figure6-6 Changes in running speed, step frequency and step length of low deceleration type.

VIII. 陸上競技男子 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【研究

### 課題 3】

Figure 8-1 Changes in running speed during pre race of all subjects and each type.

Figure 8-2 Changes in running speed (A) , step frequency (B) and step length (C) during pre and post races of all subjects.

Figure 8-3 Changes in running speed (A) , step frequency (B) and step length (C) during pre and post races of the Low deceleration type.

Figure 8-4 Changes in running speed (A) , step frequency (B) and step length (C) during pre and post races of the High deceleration type.

### IX. 総合考察

Figure 9-1 Relationships between 400m race time and the 1st-2nd 200m difference of each subjects.

Figure 9-2 Changes in running speed of each subjects.

Figure 9-3 Changes in running speed of subjects C.



表一覧

V. 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【研究課題 1】

Table 5-1 400m race time of each group.

Table 5-2 Segment time of each group.

Table 5-3 Ratio of segment time of each group.

Table 5-4 Rate of the deceleration and the deceleration index of each group.

Table 5-5 Estimate equations for split times during 400m race of each type.

VII. 陸上競技 400m 走におけるレースパターンタイプの異なる競技者の疾走動態【研究課題 2-2】

Table 7-1 400m race time of each group.

VIII. 陸上競技男子 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【研究課題 3】

Table 8-1 Segment time, Rate of change of running speed and the deceleration index of the subjects.

IX. 総合考察

Table 9-1 Model split times according to 400m time of each type.

Table 9-2 Characteristics of each athlete.

Table 9-3 Segment time, Rate of change of running speed and the deceleration index of the subjects C.

## 関連論文

本博士論文は，以下の投稿論文，学会発表および未発表資料をまとめたものである．

### 【原著論文】

1. 山元康平・宮代賢治・内藤 景・木越清信・谷川 聡・大山卞圭悟・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.
2. 山元康平・内藤 景・宮代賢治・関慶太郎・上田美鈴・木越清信・大山卞圭悟・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.

### 【学会発表】

1. 山元康平・内藤 景・関慶太郎・木越清信・大山卞圭悟・尾縣 貢．陸上競技男子 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．日本コーチング学会第 25 回大会（茨城県），2014 年 3 月．
2. 山元康平・内藤 景・関慶太郎・上田美鈴・木越清信・尾縣 貢．男女 400m 走競技者におけるレースパターンの個人内変化およびそのパフォーマンスとの関係．日本陸上競技学会第 13 回大会（北海道），2014 年 12 月．

3. 山元康平・関慶太郎・宮代賢治・梶谷亮輔・内藤 景・木越清信・尾縣 貢. 陸上競技  
400m 走におけるレースパターンタイプの異なる競技者の疾走動態. 日本スプリント学会第  
26 回大会 (鹿児島県), 2015 年 12 月.

## I. 緒言

コーチ (coach) は、15 世紀のハンガリー語 “kocsi szeker (「Kocs という村で作られた四輪馬車)」”の短縮形である “kocsi” あるいは “kotsi” を語源とし、すなわち、「何らかの目的を持った人をその目的地 (目標) にまで確実に送り届ける役割を担ったもの」に由来する言葉であり、転じて、スポーツにおけるコーチとは、「勝利という目標の実現に向けて競技者を先導する役割を担った専門職」である (内山, 2013)。また、関子 (2014) は、「優れたコーチ」とは、「選手・チームのレベルや特徴に応じた適切な変化を誘引しながら、記録や成績および成果 (これらをパフォーマンスとする) を向上させ続けることのできるプロフェッショナル (Professional)」であるとし、また「コーチング」とは、「選手・チームとの間に良好な関係性を築きながら、パフォーマンスを向上させるための思考および行為」であると述べている。2011 年 8 月に施行されたスポーツ基本法の前文において、「スポーツは、世界共通の人類の文化である」と謳われていることから、現代社会におけるスポーツの価値や意義、スポーツの果たす役割の重要性に疑いの余地はなく、同時に、スポーツに取り組む人々を先導 (指導) するコーチの社会的価値および責任は、スポーツ指導現場における暴力事件が社会の注目を集めたことなどもあいまって、今後もより一層高まっていくものと思われる (文部科学省, 2013)。さらに、同法前文では、「スポーツ選手の不断の努力は、人間の可能性の極限を迫及する有意義な営みであり、こうした努力に基づく国際競技会における日本人選手の活躍は、国民に誇りと喜び、夢と感動を与え、国民のスポーツへの関心を高めるものである。これらを通じて、スポーツは、我が国社会に活力を生み出し、国民経済の

発展に広く寄与するものである」と述べられており、トップレベルの競技者がパフォーマンスを極めて高度なレベルにまで向上させることも、競技者個々人の目標を越え、社会的に重要な意義を持つ。そして、地上最大のイベントたるオリンピック・パラリンピックの東京開催が決定された今、その関心と要求は、かつてないほどの高まりを見せている。同時に、そのような競技力の高度化へ対応するために、科学的根拠にもとづいた合理的なコーチング実践とその高度化、高質化が求められている（文部科学省，2013）。スポーツコーチング学研究の使命は、このようなコーチング実践に資する科学的な知見を提供することであり、得られる知見の実践における有用性の高さが、他のスポーツ・身体運動に関する基礎的研究分野と一線を画す本研究分野の存在意義であると考えられる。

コーチングの目的である「勝利という目標の実現」（内山，2013）あるいは「パフォーマンスの向上」（図子，2014）のためには、専門的かつ合理的なトレーニングが必要不可欠である。そして、トレーニングを効果的に推進していくためには、①現状のパフォーマンスの評価・診断，②トレーニング課題の設定，③トレーニング手段・方法の選択と計画立案，④トレーニング実践，⑤試合と再評価，という一連のサイクルを循環させていく必要がある（尾縣，2015；図子，2014）。このトレーニングサイクルの出発点は、個々のスポーツ種目のパフォーマンス構造の高度な理解と（図子，2014），パフォーマンスの現状を適切に評価するためのモデルの構築であり（谷川・内藤，2014），科学的データはこれらに大きく貢献する（阿江，1999；尾縣，2015）。具体的には、パフォーマンス構造の理解について、陸上競技の100m走では谷川・内藤（2014）や図子（2009）が、レース中の走スピードおよび身体動作や力発揮の変化といったデータを手掛かりに、当該種目のパフォーマンス構造に

ついて論じており、また門野（2015）は、これらの研究をもとに、走スピードの変化をもとに種目のパフォーマンス構造を理解することの有効性を指摘し、800m 走の研究に応用している。また、評価モデルの構築について、阿江（1999）は、優れたコーチは競技者を評価するための独自のモデルを有しているとし、優れた競技者のデータをもとに、評価モデルを構築する必要があると述べている。さらに、谷川・内藤（2014）は、一流競技者との比較では短所が目立ち、長所を捉えにくいいため、現状のパフォーマンスレベルが同じ競技者との比較によって、個々の競技者の長所・短所といった特性を評価・診断し、その上で目標との違いを認識することで、トレーニング課題を設定することが重要であると述べている。これらの指摘から、トレーニングサイクルを効果的に推進していくために、科学的データを用いて個々のスポーツ種目のパフォーマンス構造の理解と、パフォーマンスの評価・目標設定のためのモデルに関する知見を提供することが重要であると考えられる。そして近年、研究結果や科学的データを活用した競技者のサポートや、パフォーマンス改善に関する報告は、陸上競技トラック種目に限っても数多くなされている（伊藤，1999；門野・榎本，2011；川上ほか，2007；中田ほか，2003；谷川ほか，2011）。このことは、スポーツパフォーマンス向上に対してスポーツ科学の果たす役割が今後ますます大きくなっていくことを示すとともに、そのような研究を積極的に実施し、知見を蓄積していくことの重要性を示唆するものであろう。

本研究で対象とする陸上競技 400m 走は、400m という距離をどれだけ短い時間で走れるかを競う競技であり、屋外競技会では競技場を 1 周する最も長い短距離走種目である。400m 走に類似した競技として、古くは古代ギリシャで“ディアウロス（diaulos）”という、

スタディオンの2倍の距離を走るレースが行われており、オリンピアでは約384mの競走であった。したがって、距離の観点からは古代ギリシャに由来する競技であるが、現行の競技場を1周するレースの起源は、英国で行われていた1/4マイル競走(440ヤード, 402.34m)であると考えられている(ロベルト, 1992)。400m走の国際陸上競技連盟に公認されている最古の世界記録は、1900年にMaxwell Long(米国)によって樹立された47秒4/5(当時の計時は1/5秒刻み)である。20世紀初頭までは中距離走種目としての認識が一般的であったが、1924年のパリオリンピックにおいて、100m・200m走を専門としていたスコットランドのEric Liddellが47.6秒のオリンピック新記録で優勝した頃から短距離走としての認識が強くなり、それに伴ってペース配分やトレーニング方法もより短距離走的なものへと変化していった(ジョーダン・スペンサー, 1970; 岡尾, 1990; Schiffer, 2008)。その後、1960年のローマオリンピックでOtis Davis(米国)が44秒台(44.9秒。ただし、電気計時では45.07秒)を、1968年のメキシコオリンピックでLee Evans(米国)が43秒台(43.86秒)をそれぞれ初めて記録した。そして、2016年のリオオリンピックでは、Wayde van Niekerk(南アフリカ)が、従来の記録を0.15秒更新する43.03秒の世界新記録を樹立した。

一方、2016年現在の400m走の日本記録は、1991年に高野進が樹立した44秒78である。高野は、1991年東京世界選手権、1992年バルセロナオリンピックにおいて決勝進出を果たしている。このことは、一般的に短距離走に不利と考えられている日本人選手が、400m走では国際競技会で活躍することができる可能性を示すものであろう。また400m走は、4×400mリレー(1600mリレー)の基盤となる種目でもある。1600mリレーは、国内外の多くの主要競技会の最終種目として採用されており、ナショナルチームから各学校の競技部



まで、多くのチームが重視する種目のひとつであり、400m 走のパフォーマンス向上は、1600m リレーの強化という意味においても、多くのチームにとって重要な課題であるといえる。これらのことから、国際的な競技力および国内での陸上競技の活性を考えた際、400m 走は非常に重要な競技種目であり、400m 走について科学的分析を行い、高いパフォーマンスを達成するための知見を得ることは、我国の陸上競技の発展を目指す上で、非常に意義深いものであると考えられる。一方で、日本 10 傑平均記録は 20 年間ほぼ同水準にあり、日本記録も 20 年間更新されておらず、これは男女の短距離走・ハードル種目の中で最古の日本記録である。また、オリンピックおよび世界選手権における個人種目での決勝進出は高野以来達成できておらず、1600m リレーについても、2004 年のアテネオリンピックにおいて、メダル獲得に 0.09 秒まで迫る 4 位入賞を果たしたのを最後に、近年は国際大会の決勝からも遠ざかって久しい（公益財団法人日本陸上競技連盟，2015）。このような現状を打破し、400m 走競技者のパフォーマンス向上を達成するためにも、更なる科学的エビデンスの蓄積と、それらを基にした競技者へのサポートが必要不可欠である。

400m 走は、短距離走種目と位置付けられているものの、男子では 40-50 秒前後の競技時間を要し、レース終盤においては走スピードの大きな低下が生じる、陸上競技トラック種目の中でも最も過酷な競技種目のひとつである（Quercetani, 2005 ; Schiffer, 2008）。したがって、400m 走において高いパフォーマンスを達成するためには、高い走スピードを発揮することとともに、その走スピードを競技時間全体にわたって可能な限り持続する能力が重要となる。金原ほか（1971）は、このような能力を「ハイスピード持続能力」と定義し、その構成要因として「ペース」を挙げ、出し得たエネルギーを効果的に配分して使うことができ

る合理的なペース配分が重要であると指摘している。このような観点から、ペース配分は400m 走のパフォーマンスに大きく影響を及ぼす要因として、研究・指導現場の両領域において重視されている（ハート，2001；Hanon and Gajer, 2009；ジョーダン・スペンサー，1970；荻部，2009b, 2009c；前河・山本，1989, 1990；宮丸・宮丸，1976；Saraslanidis et al., 2010）。金原ほか（1971）は、ペースは、生理的ペース，物理的ペースおよび心理的ペースによって成立すると指摘しているが，400m 走においては，特定の地点の通過タイムを基にした物理的ペースに着目し，レース中の走スピードおよびその変化といった走スピード変化特性について論じられることが多い。走スピード変化特性は，英語圏では“*pace strategy*”や“*speed distribution*”といった用語が用いられるが（Abbiss and Laursen, 2008；Foster et al., 1994；Saraslanidis, 2010；Schiffer, 2008），我国では「レースパターン」という用語を用いるのが一般的である（阿江・鈴木，1992；門野ほか，2008；持田ほか，2008；森丘ほか，2000, 2005；尾縣ほか，2000）。

これまでに，400m 走のレースパターンに関する研究は数多く行われている。これらの研究からは，パフォーマンスレベルや（Coppinolle, 1980；Gajer et al., 2007；Hanon and Gajer, 2009；前河・山本，1989, 1990；沼澤・杉浦，1994；尾縣ほか，1998a, 2003b），タイプによるレースパターンの相違が示されている（赤峰ほか，1998；尾縣ほか，2000）。しかしこれらは実験条件（赤峰ほか，1998；尾縣ほか，1998a, 2003b），または単一の競技会の分析（前河・山本，1988, 1989；沼澤・杉浦，1994）によって行われたものがほとんどである。そのため，それぞれの研究で対象となるパフォーマンスレベルが限定されているとともに，サンプル数が少なく，レースパターンとパフォーマンスとの関係については，研究間で見解が大

大きく異なり、不明な点が多い。また、阿江（1999）が指摘しているような、レースパターンの標準値（モデルレースパターン）の作成や、レースパターンの類型化を競技会での実測値から試みたものは見当たらない。さらには、個人のパフォーマンス変化について縦断的に検討した研究は極めて少なく（Saraslanidis et al., 2010；田村，2008；横川・佐藤，2004），個人のパフォーマンス変化とレースパターンとの関係については不明な点が多い。

400m 走におけるレースパターンについて、幅広いパフォーマンスレベルの競技者を対象とした調査を行い、レースパターンについてパフォーマンスレベルおよびタイプを考慮した横断的なモデルを得ることができれば、これまでは個々のコーチの経験則に頼らざるを得なかった競技者のレースパターンの評価、さらにはパフォーマンス向上を目指す上での目標設定のための客観的な基準を提示することになる。また、これら横断的な知見を基にして、個人のパフォーマンス変化に伴うレースパターンの変容を縦断的に検討することによって、横断的なモデルの妥当性の検証が可能であるとともに、様々な特性を持つ競技者のパフォーマンス向上過程が明らかとなり、個人の特性に応じたパフォーマンス向上のためのレースパターンに関する知見を得ることが期待できる。これらはともに、400m 走のコーチングを行う上では非常に意義深いものであると考えられる。

以上から、本研究では、陸上競技男子 400m 走において高いパフォーマンスを達成するためのレースパターンを明らかにし、レースパターンの評価および目標設定のためのモデルレースパターンを提案するとともに、レースパターンに影響を及ぼす要因について究明を試みる。さらには、同一個人内でのパフォーマンス向上に伴うレースパターンの変容について検討することで、400m 走におけるレース分析をもとにしたコーチングモデルの構築に資

する知見を得ることを試みた.

## II. 文献研究

本章では、400m 走におけるレースパターンやそれに影響を及ぼす要因、パフォーマンス変化に関連する先行研究を概括する。

### 1. 競技会における 400m 走の走スピード分析方法

競技会における走スピードの測定は、ある地点の通過タイムを計測し、距離とその距離を移動するのに要した時間との関係から算出する方法によって、数多く行われている。

Coppenolle (1980) や前河・山本 (1989, 1990) は、ストップウォッチでの手動計時によって 200m 地点や 300m 地点の通過タイムを計測し、前半と後半の 200m タイムやそのタイム差について検討した。

近年では、VTR 画像を基に、各地点を走者が通過した時間を読み取る方法が一般的である。沼澤・杉浦 (1994) は、第 3 回世界陸上競技選手権大会の 100m 毎の通過タイムを、VTR 画像から、走路上のマークを走者のトルソーが通過した時間を読み取ることで計測した。また Hanon and Gajer (2009) は、事前に 50m 毎にマークを貼付し、各地点の真横に VTR カメラを配置することによって、50m 毎の通過タイムを計測した。しかし、この手法ではステップ頻度およびステップ長算出用のカメラも合わせて計 16 台の VTR カメラが必要であり、非常に人的・物的コストのかかる手法であるといえる。

これに対して松尾ほか (1999) は、あらかじめ所定の位置で、走者が通過したと想定した映像を撮影し、その映像と実際の競技会において撮影したレースの映像とを比較すること

によって、25m 毎の通過タイムを測定した。この手法では、事前に較正用の映像の撮影が必要となるものの、少数のカメラ（人員）によってより詳細な走スピードの変化を測定することが可能となった。

近年では、映像分析ソフトウェアでの映像重ね合わせ技術（Overlay 表示技術）を活用した、競技会の 400m 走における新たな時間分析方法が提案されている（Overlay 方式：持田ほか，2007a）。Overlay 方式は、対象とする 400m 走レースの VTR 画像と、較正用に撮影した 400m ハードル走の VTR 画像を、ソフトウェア上で合成表示させながら（図 2-1）、各ハードル設置位置を走者が通過する時刻を読み取り、11 区間（スタート-45m, 45-80m, 80-115m, 115-150m, 150-185m, 185-220m, 220-255m, 255-290m, 290-325m, 325-360m, 360-400m）の平均走スピードを算出する方法である。また、100m, 200m, および 300m 地点の通過タイムについて、その地点を挟む 2 地点（それぞれ 80m と 115m, 185m と 220m, 290m と 325m 地点）の通過タイムを基にした時間と距離の直線回帰式に距離を内挿することで推定することが可能である。この方法は、分析用映像を撮影する際に距離マークの貼付などを必要とせず、1-2 台程度のカメラで詳細な走スピードデータを容易に取得できることから、近年の日本陸上競技連盟科学委員会での 400m 走のタイム分析の標準的な分析方法となっている。

本研究ではこの Overlay 方式によって、競技会の 400m 走における走スピードデータを得ることとした。

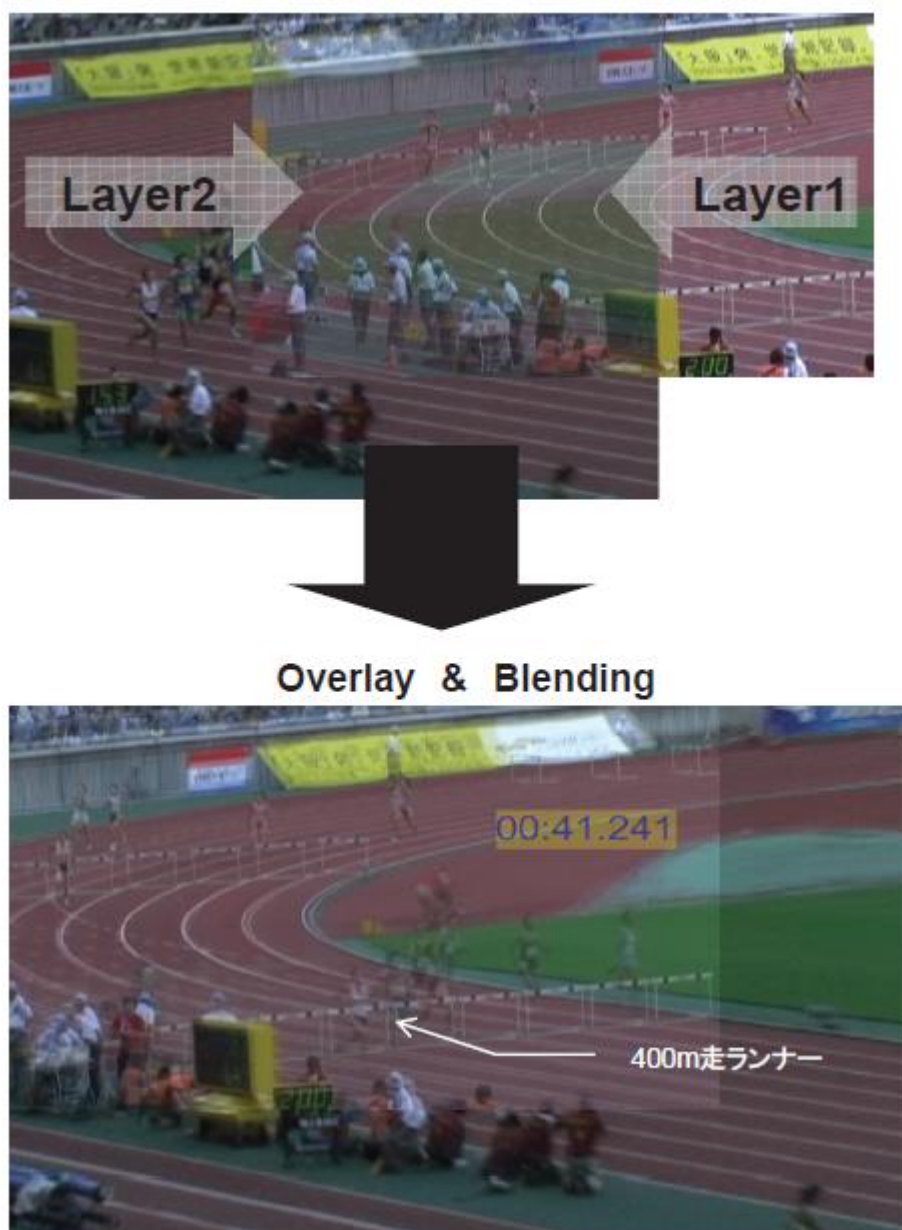


Figure2-1 Superimposing an image of the 400m competition race onto an image of the hurdles in a 400m hurdle race by using the Overlay method (Mochida et al., 2007a)

## 2. 400m 走におけるレースパターンに関する研究

400m 走におけるレースパターンに関する研究は、公式競技会における研究 (Bruggemann and Glad, 1990 ; Coppenolle, 1980 ; Gajer et al, 2007 ; Hanon and Gajer, 2009 ; 前河・山本 1989, 1990 ; 持田, 2007 ; 持田ほか, 2003, 2007a, 2007b ; 持田・杉田, 2010 ; 沼澤・杉浦, 1994 ; 尾縣ほか, 2000 ; 杉田ほか, 2006), 実験条件における研究 (赤峰ほか, 1998 ; Hanon et al, 2010 ; Nummela et al, 1992, 1996a ; 尾縣ほか, 1998b, 2003a ; Saraslanidis et al, 2010 ; 佐藤ほか, 2004 ; 田村, 2008 ; 安井ほか, 1998a, 1998b, 2007) とともに数多く行われている。以下では、これらの研究を、(1) 走スピード変化の一般的傾向, (2) パフォーマンスとの関係, (3) タイプによる違い, (4) モデルレースパターンの4つの観点から概観する。

### (1) 400m 走における走スピード変化の一般的傾向

ヒトが全力疾走を行った場合、スタートから約 6-7 秒で最大走スピードに到達し、約 15 秒でスタートからの平均走スピードが最大となること、この時間的特性は年齢や性、疾走能力、トレーニングの有無に関わらずほぼ一定であることが報告されている (小木曾ほか, 1997)。400m 走は、短距離走と分類されるものの、特に前半区間においては最大下努力度の運動であること (麻場, 2004 ; ハート, 2001 ; 苅部, 2009b ; 宮丸・宮丸, 1976 ; 尾縣ほか, 2000), 15 秒以上の運動であることなどから、必ずしもこの特性とは一致しないと考えられる。また、走スピードは、移動距離と時間の計測によって算出されるものであるため、計測する区間距離が異なると、走スピード変化の様相が大きく異なることが指摘されている (杉田・松尾, 2000)。そこで以下では、計測する区間距離毎に先行研究を概観する。



400m 走におけるパフォーマンス評価の最も一般的な指標として、200m 毎の区間タイムが挙げられる。すなわち、レース前半の200m タイム、レース後半の200m タイム、およびこれら2つのタイムの差を用いて評価が行われる(麻場, 2004; Coppenolle, 1980; ジョーダン・スペンサー, 1970; 前河・山本, 1989, 1990; 宮丸・宮丸, 1976; Saraslanidis et al, 2010; 高野, 1988, 1989, 1993)。1968年メキシコオリンピックから繰り返し行われている計測において、前半200m より後半200m を速く走った走者はいないと指摘されている(Arnold, 1989; Schiffer, 2008)。また前河・山本(1989)も、公式競技会における学生競技者149名(400m 走タイム47.10-54.17秒)を対象とした調査において、後半200m のタイムが前半200m のタイムを上回った例はなかったと報告している。しかし一方でCoppenolle(1980)は、世界トップレベルの競技者(400m 走タイム43.8秒から45.9秒)70名を対象にした調査において、数名ながら前半200m よりも後半200m を速く走った者がいたと報告している。

100m 毎の区間平均走スピードを分析した研究として沼澤・杉浦(1994)は、第3回世界陸上競技選手権東京大会における400m 走のタイム分析を行い、100-200m 区間に走スピードは最高値を示すこと、200-300m 区間から300-400m 区間にかけての走スピードの低下が大きかったことを報告している。また、多くの競技会のタイム分析が、同様に100m 毎のタイムを基に行われているが、いずれの報告においてもこれと類似した結果が示されている(Bruggemann and Glad, 1990; 持田, 2007; 持田ほか, 2003, 2007a, 2008; 尾縣ほか, 2000; 杉田ほか, 2005)。

50m 毎の区間平均走スピードを分析した研究も、わずかながら行われている。Mueller and Hommel(1997)は、第6回世界陸上競技選手権アテネ大会、Ferro et al.(2001)は、第7回

世界陸上競技選手権セベリア大会の決勝レースにおける 50m 毎の走スピードをそれぞれ報告している。さらに推定値であるものの、持田・杉田 (2010) も、第 11 回世界陸上競技選手権大阪大会の決勝レースの 50m 毎の走スピードを報告している。また Gajer et al. (2007), Hanon and Gajer (2009) は、男女の世界クラス (男性  $44.43 \pm 0.16$  秒, 女性  $49.97 \pm 0.33$  秒), 国内クラス (男性  $46.83 \pm 0.52$  秒, 女性  $53.06 \pm 0.50$  秒), 地域クラス (男性  $48.24 \pm 0.31$  秒, 女性  $55.33 \pm 0.30$  秒) の競技者 (各群 5 名) の 50m 毎の走スピードの変化を検討している。その結果, 走スピードは 50-100m 区間で最高値を示し, 300m まで漸減し, 300-400m において急激に減少していたと報告している (図 2-2)。

さらに詳細な区間設定から 400m 走における走スピードの変化を検討した研究として、持田ほか (2007a, 2007b), 持田・杉田 (2010) は、400m ハードル走のハードル設置位置を基準とした 11 区間の区間平均走スピードを報告している。これらの報告は、個々の競技者の特徴の報告に留まっているものの、多くの競技者が 45-80m または 80-115m の区間において走スピードが最高値を示していること、以降、走スピードが低下していく中で、200-300m 付近の区間において走スピードの低下の停滞、および若干の増加が生じる場合があることがわかる。また、松尾ほか (1999) は、1999 年日本陸上競技選手権大会において、男子 400m 走準決勝および決勝レースの 25m 毎の走スピードを測定している。その結果、ほとんどの競技者が 50-75m 区間において最高走スピードに達し、200m まで低下した後、300m までに一度走スピードが増大し、最後の 100m ではどの競技者も顕著に走スピードが低下する傾向がみられたと報告している。さらに尾縣ほか (1998a) は、実験条件ではあるが、学生競技者

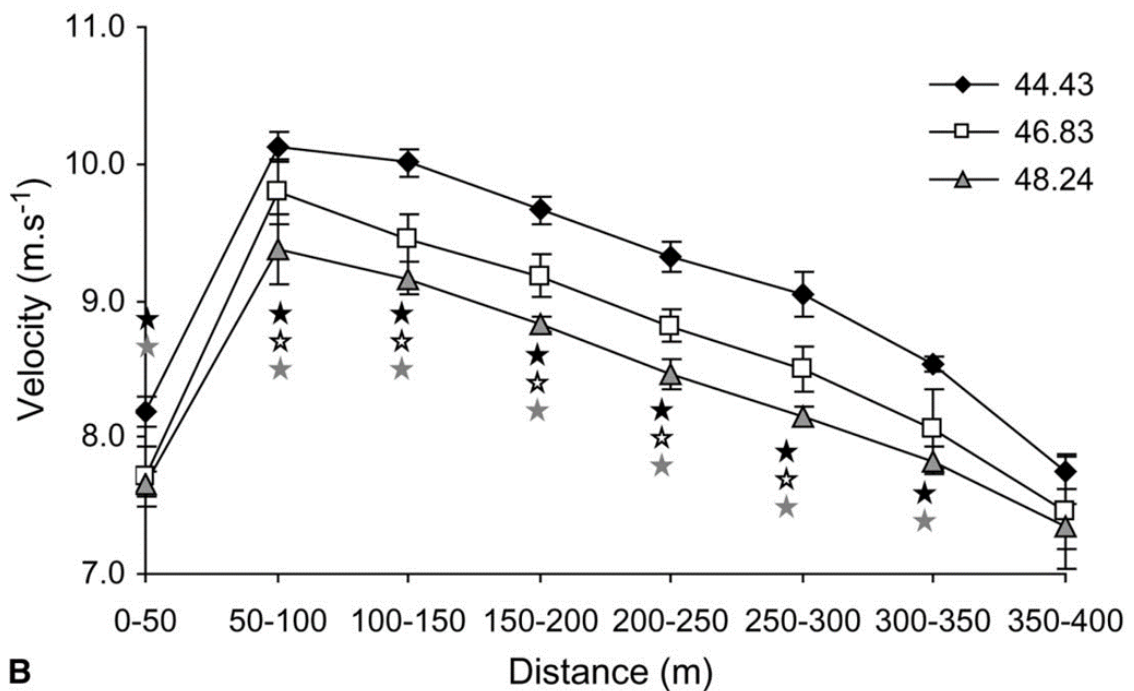
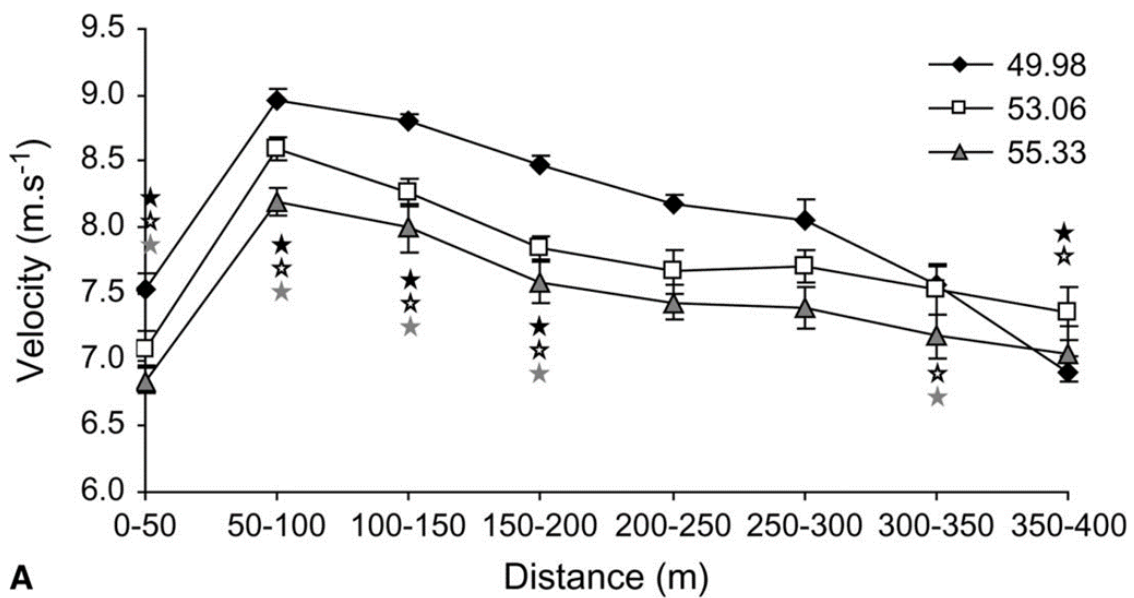


Figure2-2 Time course of velocity for women (A) and men (B). For each group, n=5. Black stars, gray stars, and white stars indicate that the difference is significant ( $p < 0.05$ ) between world-class and national level, between world class and regional level, and between national and regional level, respectively. Black diamond : world-class, White square : national level, Gray triangle : regional level (Hanon and Gajer, 2009).

15名（100m・200m走を専門とする者2名，400m走を専門とする者5名，800m走を専門とする者2名，混成競技を専門とし400m走を得意とする者6名：実験時の400m走タイム51.05±0.92秒，自己最高記録に対する達成率95.7%）の400m走における20m毎の走スピードを測定している．その結果，15名中14名が60-80m区間で，1名が40-60m区間で走スピードが最高値に達した後，逡減したと報告している．一方で，走スピードは60-80m区間で最高値を示した後，200m付近までほぼ直線的に低下するものの，200-300m付近では停滞する傾向がみられ，必ずしも400m走全体を通して直線的に低下しているわけではないと推察される（図2-3）．

以上の研究から，400m走では，走スピードはスタート後50-100m付近で最高値に達した後ゴールまで逡減するが，200-300m付近で維持または増大する場合があること，また最後の100mにおいては低下の度合いが著しいことがわかっている．そして，測定区間の距離が異なる場合，走スピード変化の様相が異なる（100m毎の区間では100-200m区間で走スピードは最高値を示すが，実際は50-100m付近で最高値に達している）ことがあるため，評価の際には測定区間の距離を考慮する必要がある（杉田・松尾，2000：図2-4）．

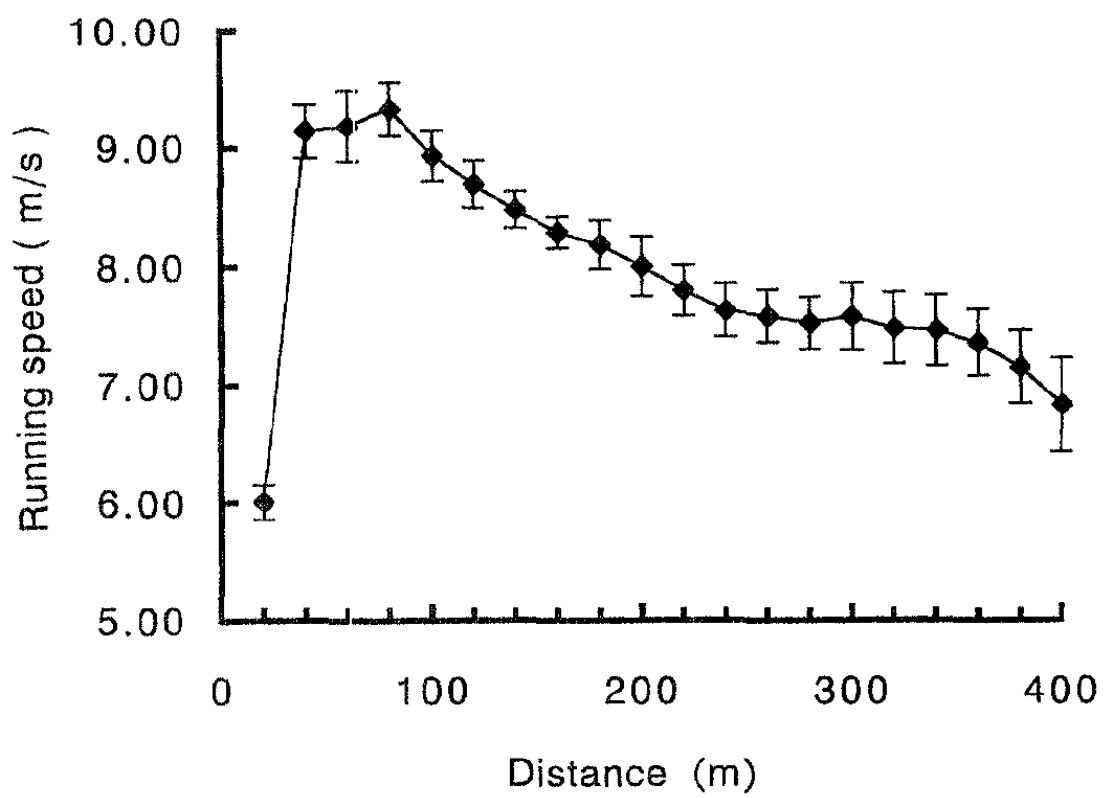


Figure2-3 Changes of running speed during 400-m running (Ogata et al., 1998a).

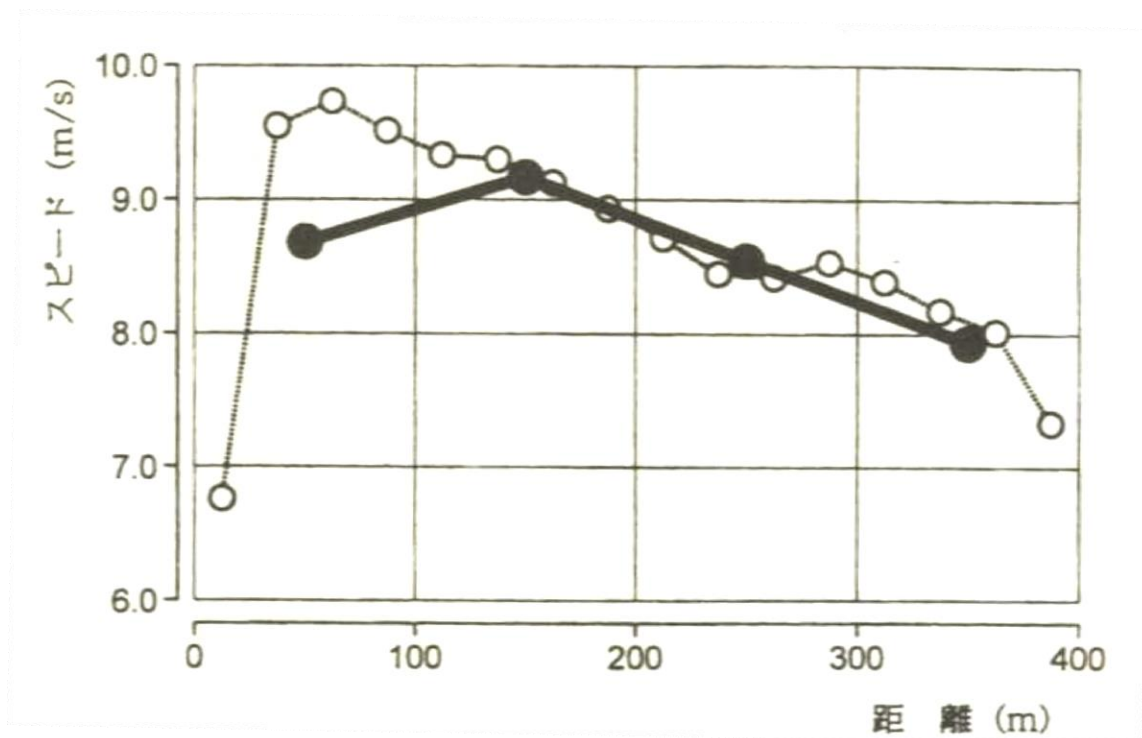


Figure2-4 Comparison between running speed of 25m section and 100m section during 400m race

(Sugita and Matsuo, 2000).

## (2) 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

レースパターン（ペース配分）とパフォーマンスとの関係，すなわち高いパフォーマンスを達成するためのペース配分やレースパターンについては，指導現場での関心も高く，数多くの研究が行われている．それらの研究の主な論点は，最高走スピードや前半の走スピードと，走スピードの維持や後半の走スピードのどちらがより高いパフォーマンスを達成する上で重要であるのか，という点であると考えられる．記録を競う競技である以上，レースの全場面にわたって高い走スピードを発揮することが重要であることは当然であるため，局面毎に相対的に重要度が異なるということは本来ない．しかしながら，400m 走のように 40-50 秒におよぶハイスピードを持続する高強度運動においては，出し得たエネルギーを効果的に使ったり，使い得るエネルギーを効果的に出す能力も重要であり（金原ほか，1971），これらは身体能力だけでなく，レースにおけるペース配分にも影響を受ける．したがって，パフォーマンスの異なる競技者の走スピード変化の相違を知ることは，高いパフォーマンスを達成するために有益であると考えられる．そこで以下では，パフォーマンスとの関係性を走スピードの維持や後半の走スピードに認めているのか，最高走スピードや前半の走スピードとの間に認めているのか，という観点から先行研究を概括する．

Coppenolle (1980) は，世界トップレベル（43.8-44.9 秒，n=20）とサブトップレベル（45.0-45.9 秒，n=50）の競技者を比較し，前半 200m のタイムには有意な差は認められず（両群とも 21.5 秒前後），後半 200m のタイムには有意な差が認められ（それぞれ 23.0 秒と 23.8 秒），前半と後半のタイム差にも顕著な違いが認められたとしている（それぞれ 1.5 秒と 2.1 秒）．この報告は，400m 走において後半の走スピードの高さや，走スピードの維持が重要である

ことを示唆しているといえ、多くの研究者が、400m 走における後半の走スピードの維持の重要性を指摘する根拠として現在まで繰り返し引用している。しかしこの研究は、46.0 秒以内の記録を持つ世界トップレベルという特異な集団を対象としており、ここで得られた知見を他のパフォーマンスレベルに適応することには限界があると考えられる。現に、サブトップレベルの前半 200m の通過タイムは 21.7 秒であり、さらにパフォーマンスレベルが劣る競技者と比較すれば、顕著に速いタイムであると考えられる。これに関連し野口 (2005) は、これまでの世界記録の変遷を概括し、前半 200m の通過タイムは世界記録が 45 秒台であった時代から顕著な変化はなく、後半 200m のタイム短縮によって世界記録が更新されてきたこと、それに伴ってかつては 2-3 秒台だった前半と後半のタイム差が、近年の世界一流競技者では 1 秒前後が一般的となってきたと指摘している。また、前河・山本 (1989, 1990) も学生競技者を対象とした研究において類似した結果を報告している。一方、彼らの研究での前半と後半の 200m タイム差は、前河・山本 (1989) は 47 秒台群 (400m 走タイム  $47.62 \pm 0.23$  秒,  $n=30$ ) で  $1.85 \pm 0.86$  秒、前河・山本 (1990) の 47 秒台群 (同  $47.69 \pm 0.29$  秒,  $n=20$ ) で  $2.14 \pm 0.71$  秒であり、パフォーマンスレベルが顕著に異なる Copenolle (1980) のサブトップレベル (45.5 秒) の 2.1 秒という値と大差がなく、後半の走スピードの低下は同程度であると推察できる。

これらの研究と同様に、走スピードの維持の重要性を指摘した研究はその他にも数多く存在する。沼澤・杉浦 (1994) は、第 3 回世界陸上競技選手権東京大会における 400m 走のタイム分析を行い、400m 走タイムと後半区間 (200-300m および 300-400m 区間) の走スピードとの間に有意な相関関係が認められたと報告している。尾縣ほか (1998a, 2003b) は、



実験条件ではあるが、学生競技者を対象に、400m 走における走スピードの変化から算出した走スピード逡減の指標と、400m 走タイムとの間に有意な相関関係が認められたことから、400m 走タイムに優れる者ほど走スピードを維持していたと報告している。

これに対して、400m 走タイムと後半の走スピードや走スピードの維持との間に有意な関係は認められず、前半の走スピードとの間にのみ有意な関係が認められたとする報告もある。伊藤ほか（1997）は、第 12 回広島アジア大会の 400m 走決勝進出者 8 名（400m 走タイム  $46.89 \pm 0.92$  秒、 $45.48-48.09$  秒）と関西学生対校選手大会の決勝進出者 5 名（400m 走タイム  $47.97 \pm 1.13$ 、 $47.61-49.43$  秒）の前半（150m 付近）と後半（350m 付近）の疾走動作をバイオメカニクス的に分析した。その結果、400m 走タイムと前半の走スピードとの間に有意な相関関係が認められたが、後半の走スピードとの間には認められず、後半の走スピードほどの競技者もほぼ一定の値にまで低下していたことから、パフォーマンスの高い競技者ほど走スピードの低下が大きい傾向にあったと報告している。また、伊藤（2007）は、具体的なデータは示していないものの、インターハイの 400m 決勝の 300-400m の区間タイムは、オリンピックの値と顕著な差はなく、前半のタイムの差がパフォーマンスの差に影響していると指摘している。また Gajer et al.（2007）および Hanon and Gajer（2009）は、男女の異なる競技レベルの競技者の 50m 毎の走スピードについて検討し、世界クラスの競技者は走スピードが前半で顕著に大きく、後半でのスピード低下が大きかったとしている（図 2-4）。

以上のように、400m 走のパフォーマンスと走スピード変化との関係について数多くの研究が行われているが、先行研究間で見解が大きく異なっている。このように異なる結果が得られた背景には、先行研究の多くが実験条件や、特定の競技会を対象としたものであり、パ

パフォーマンスレベルや個人特性といった対象者の特性が研究によって顕著に異なること、特定の競技会の分析では、レースの流れといった戦術的要因の影響が大きいことなどが考えられる。後述するように、400m 走では、パフォーマンスレベルだけでなく、タイプによって走スピード変化が顕著に異なることが指摘されており、サンプル数が少ない研究においては、集団の特性（タイプの偏り等）が強く影響し、それぞれのパフォーマンスレベルの特徴を必ずしも反映していない結果が得られる可能性が考えられる。このような理由から、パフォーマンスレベルによるレースパターンの相違を明らかにし、高いパフォーマンスを達成するためのレースパターンについて検討するためには、ある程度のサンプル数を確保し、対象者が十分に実力を発揮したレースを対象とした体系的な検討を行う必要があると考えられる。先行研究の中で、幅広いパフォーマンスレベルを対象とし、かつ比較的サンプル数の多い研究として、前河・山本（1989,1990）のものがあるが、これらの研究は200m および300m の通過タイムやそれらを基にした区間タイムのみを測定項目としており、詳細な走スピードの変化についての検討は行われていない。また持田ほか（2003）も、1993 年から2003 年までの高校総体400m 走決勝で入賞した男女400m 走競技者105名を対象に、46, 47 および48 秒台の平均レースパターンを比較しているが、この研究でも分析項目は100m 毎の通過タイムおよび区間タイムのみとなっている。また、異なるパフォーマンスレベルの50m 毎の走スピードの変化を比較した研究として、Gajer et al. (2007) および Hanon and Gajer (2009) のものがあるが、これらの研究は各群のサンプル数が少なく、それぞれの群が特定のパフォーマンス水準の特徴を反映できているかに疑問が残る。以上から、幅広いパフォーマンスレベルを対象とした詳細な走スピードの変化から、高いパフォーマンスを達成する

ためのレースパターンについて検討した研究は見当たらない（問題点 1）。

ところで、上述の研究は、走スピードの絶対値の大小を問題としているものが多いが、レース全体を考慮したペース配分を考える際には、ゴールタイム等を基に相対化した走スピードの変化について検討することも有益である。例えば 800m 走では門野ほか（2008）は、パフォーマンスレベルの異なる競技者のレースパターンを、800m 走中の平均走スピードを 100%とした相対走スピードを算出することで比較し、パフォーマンスレベルが異なっても、相対的なペース配分に顕著な違いは見られなかったと報告している。また、400m ハードル走では森丘ほか（2000, 2005）が、ゴールタイムに占める各 구간タイムの割合を算出し、相対的なペース配分について検討している。その結果、パフォーマンスの高い者は相対的に前半を遅く、中盤（第 5 ハードルから第 8 ハードル, 185-290m）を速く走っている傾向がみられたと報告している。400m 走においてこのような相対的なペース配分の観点から、高いパフォーマンスを達成するためのレースパターンについて論じた研究は数少なく（杉浦・沼澤, 1994；尾縣ほか, 2000；持田ほか, 2008）、パフォーマンスやタイプとの関係について詳細な検討は行われていない。このようなレース全体を考慮した相対化された走スピードの変化を検討することにより、異なるパフォーマンスレベル間のレース全体を考慮した走スピード変化（ペース配分）の違いについて検討が可能であると考えられる。

### （3）400m 走におけるレースパターンのタイプ

後述するように、400m 走におけるエネルギー供給比は研究によって異なるものの、およそ無気的エネルギー供給：有気的エネルギー供給＝6：4 程度であると考えられている

(Duffield and Dawson, 2003 ; Duffield et al., 2005 ; Spencer and Gastin, 2001) . つまり, 両エネルギー供給機構が共に高い割合で動員されることになる. このことから, 400m 走は他の短距離走種目と比較して, 様々な体力特性を持つ多様なタイプの競技者が存在することが, 指導現場および研究領域の両領域において指摘されている. 例えばハート (2001) は, 400m ランナーはスプリンタータイプと 800m ランナータイプのいずれかのタイプに属している. また Schiffer (2008) もほぼ同様に, スピードを基礎とした競技者と, 持久力を基礎とした競技者がいると指摘し, スピードタイプは前半の走スピードが高く, 持久タイプは前半と後半のタイム差が小さいとしている. また 苅部 (2009b, 2009c) は, 前半型, イーブンペース型および後半型のタイプがあり, それぞれのタイプで理想的なペース配分は異なるとしている. これに関連して, スプリント走パフォーマンスと遺伝子多型との関係について調査した研究では, スプリント・パワー系種目の競技成績との関係が報告されている  $\alpha$  アクチニン 3 (ACTN3) タンパク質の発現を担う ACTN3 遺伝子の多型について (内藤, 2011 ; Yang et al, 2003), 100m 走競技者では, RX 型と XX 型との間にパフォーマンスの有意な差が認められるが, 400m 走競技者では, RX 型と XX 型との間にパフォーマンスの有意な差は認められず, 遺伝子レベルでも 400m 走競技者は多様性に富むことが示唆されている (Mikami et al., 2014) .

研究領域においても, タイプによるレースパターンの違いを検討したものはいくつか見られる. 赤峰ほか (1998) は, 学生競技者 16 名 (短距離走者 6 名, 中距離走者 2 名, 混成競技者 8 名, 400m 走自己最高記録  $48.98 \pm 1.19$  秒) を対象に, 実験条件の 400m 走における 20m 毎の走スピードの変化パターンから被検者を前半型と走速度持続型に分類し, 走スピ

ードの変化を比較している。また尾縣ほか（2000）は、同等の記録水準の国内一流 400m 走競技者 3 名について、レースパターンと体力特性との関係を事例的に報告している。この報告では、競技会における 400m 走の 100m 毎（厳密には 400m リレーのバトンゾーンラインを基準とした 90m, 100m および 110m の区間）の平均走スピードの推移のパターンから、3 名を前半型、イーブンペース型、後半の強いイーブンペース型に分類し、体力的要因との関係について検討している。しかしこれらはいずれも走スピード変化の定性的な評価に基づく類型化であり、類型化の基準となるような具体的な指標については示されていない。

一方で 400m ハードル走の研究において森丘ほか（2007）は、50 秒以内の記録をマークした競技者 40 名（47 秒台 16 名、48 秒台 17 名、49 秒台 7 名）のデータを基にレースパターンの類型化を試みている。この研究では、第 5 ハードルまでのペース配分（第 5 ハードルのタッチダウンタイムがゴールタイムに占める割合。以下、%S-H5）と第 5 ハードルまでに獲得した走スピードを次のカーブ（第 5 ハードルから第 8 ハードル。以下、H5-8）までどれだけ維持できているか（第 5 ハードルまでの平均走スピードに対する H5-8 での走スピード低下率。以下、H5-8 低下率）を基準に類型化を行い、%S-H5 が小さく H5-8 低下率が小さいタイプを「ハイペース持続型」、%S-H5 小さく H5-8 低下率が大きいタイプを「ハイペース低下型」、%S-H5 が大きく H5-8 低下率が小さいタイプを「イーブンペース型」と定義している（図 2-5）。そして、レースパターンのタイプの相違は、主に選手の生理学的特性や歩数配分（切り替えのタイミングや回数）の違いに起因すると考えられるが、別のタイプへの移行も生じること、イーブンペース型に 47 秒台の選手が多い傾向があるが、ずれのタイプにも

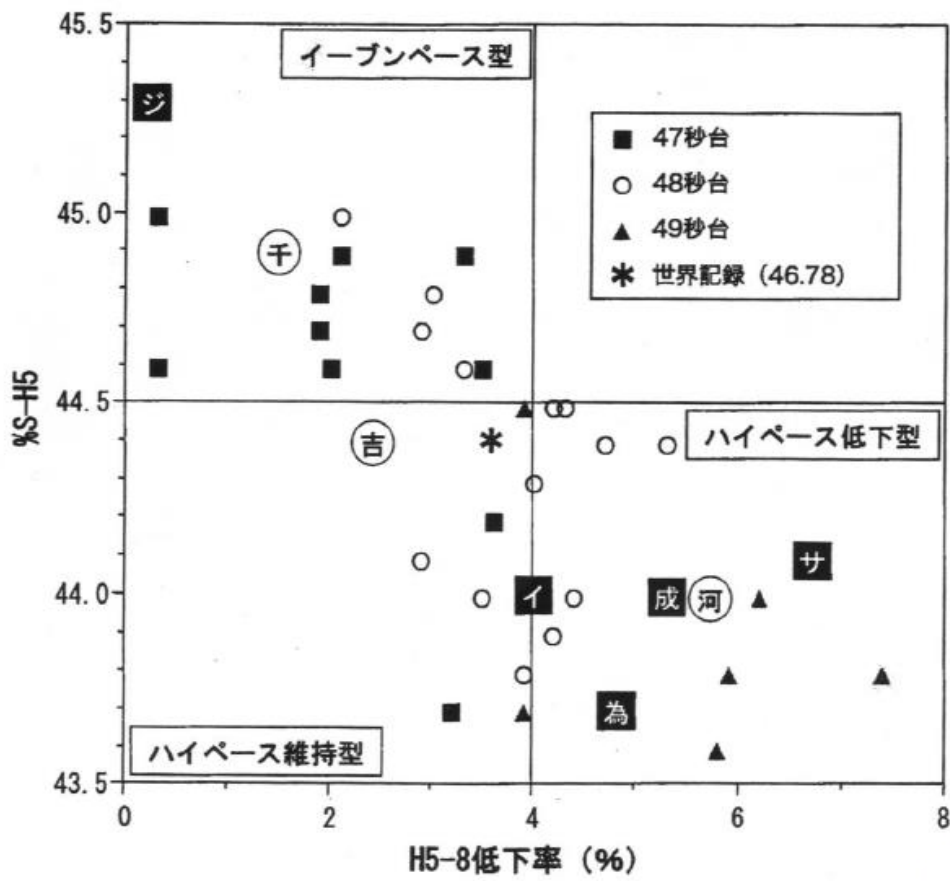


Figure2-5 Typification of the race pattern based on pacing strategy ( Morioka et al., 2007).

47-48 秒台の選手がおり、単純にタイプの良し悪しを評価することはできないとしている。またこの研究では、%S-H5 は 44.5%、H5-8 低下率は 4.0%がタイプを判断する指標として具体的に提示されており、コーチングにおいて競技者のタイプを判断する際に活用が可能である。

以上のように、400m 走の走スピード変化パターンには同等のパフォーマンスレベルであっても個人差が存在することが推察され、指導現場および研究領域においても指摘されているものの、それらを競技会での実測値から詳細に検討し、定量的なタイプ分けを行った研究は見当たらない（**問題点 2**）。

#### (4) 400m 走のモデルレースパターン

パフォーマンスと各地点の通過タイム、区間タイムとの関係や、相対的な走スピードを基にして、目標となるパフォーマンスを達成するために必要な通過タイムや区間タイムを予測する試みが、これまでに様々な種目で行われている。例えば 100m 走では、松尾ほか(2008) 松尾(2009a) が、各地点の通過タイムやレース中の最大走スピードを基に 100m 走タイムを推定する式を提案している。また宮下(1993) は、110m ハードル走、川上ほか(2004) は 100m ハードル走、安井ほか(1997) は 400m ハードル走の、それぞれモデルタッチダウンタイムやインターバルタイムを提案し、高い精度でタイムの推定が可能となっている。さらに門野ほか(2008) は、相対走スピードは目標とするタイムを達成するためのペース配分の指標となるモデルレースパターンとして活用できるとし、実際にこのモデルレースパターンを基にしたペース配分によって日本新記録や日本高校新記録が達成されたことが報告

されている（門野・榎本，2011；門野，2015）．このように，目標となるパフォーマンスを達成するためのモデルレースパターンは，トレーニングおよびレースでの目標設定や評価に活用でき，コーチングを行う上で非常に有益であると考えられる．

400m 走において，ジョーダン・スペンサー（1970）は，一般的な基準として 200m の通過タイムは「400m 走で目標とするタイムの  $1/2$  より，0.5-1.5 秒速いペース」を挙げ，宮丸・宮丸（1976）は，この指摘を基に各目標タイムに対する前半 200m の通過タイムの基準となる範囲を示しているが，これらは客観的根拠が乏しく，妥当性についても検証されていない．また荻部（2009b）は，400m 走では 100m を自己最高記録+0.5 秒，200m を自己最高記録+1.5 秒程度を目安とすることを提案しているが，この指摘についても根拠や妥当性については触れられていない．このように，400m 走のモデルレースパターンについて，客観的根拠に基づいて提案したものは見当たらない（問題点 3）．

### 3. 400m 走のレースパターンに影響を及ぼす要因に関する研究

400m 走のレースパターン（走スピードの変化）に影響を及ぼす要因に関する研究も，これまでに数多く行われている．ここでは主に，(1) 体力的要因，(2) ステップ頻度・ステップ長，(3) 走動作の観点から先行研究を概括する．

#### (1) 体力的要因

400m 走の走スピード変化やパフォーマンスと，エネルギー供給能力や筋の持久性といった各種体力要因との関係について検討した研究は数多く行われている．ここでは，400m 走



の走スピード変化やパフォーマンスと体力的要因との関係について検討した研究について概観する。

かつては、400m 走におけるエネルギー供給は 80%程度を非乳酸系や乳酸系といった無気的エネルギー供給機構から、20%程度を有気的エネルギー供給機構から行われていると考えられていた (Astrand and Saltin, 1961 ; 八田, 2006 ; 宮丸・宮丸, 1976)。これは、400m 走を行うのに必要とされる酸素の量 (酸素需要量 : oxygen demand) が 15-16ℓ 程度であり、それに対して 400m 走中に摂取できる酸素の量 (酸素摂取量 : oxygen uptake) が 2-3ℓ 程度であるということから推定されたものであった。ここでの酸素需要量は、運動後の酸素摂取量を測定し、そこから安静時の酸素摂取量を差し引いた値を運動中に摂取できなかった酸素の借り分 (酸素負債 : oxygen debt) として計算されていた。しかし実際には、運動後の酸素摂取量は運動中の代謝のみならず、運動後の様々な代謝活動に必要な量も含まれているため、結果として運動中の酸素需要量を過大評価することにつながってしまっていた (八田, 2006)。近年ではこのような考え方は見直され、400m 走におけるエネルギー供給比は研究によって異なるものの、およそ無気 : 有気 = 6 : 4 程度であると考えられている (Spencer and Gastin, 2001 ; Duffield and Dawson, 2003 ; Duffield et al., 2005)。また、エネルギー供給比は、性や種目特性 (体力特性)、パフォーマンスレベル (運動時間) によって異なる可能性が示されている (Arcelli et al., 2008 ; 吉田・川本, 2003)。

また、Hirvonen et al. (1992) は、短距離走または中距離走を専門とする男性競技者 6 名 (400m 走自己最高記録 47.5-50.5 秒) を対象に、400m 走と、400m 走中の通過タイムを基にしたペース配分での 100m, 200m および 300m 走を行わせ、400m 走中のエネルギー供給

の変化について検討した。その結果、①0-100m ではクレアチンリン酸系の貢献が大きく、解糖系の役割は小さい、②100-200m ではクレアチンリン酸系の貢献が減少し、解糖系の役割が増大する、③200-300m ではクレアチンリン酸はまだ枯渇に至っておらず、血中乳酸濃度も最大とはならない、ただし血中乳酸の蓄積率はこの付近（スタート後約 27 秒）で最大に達する、④300-400m ではクレアチンリン酸が枯渇し、血中乳酸濃度も最大レベルに達することを明らかにした。さらに、200m 以降の走スピードの低下には、遅筋線維の動員が高まったことが影響している可能性がある」と指摘している。また Hanon et al. (2010) は、400m 走競技者 10 名（男性 8 名、400m 走自己最高記録 50.9±1.2 秒、女性 2 名同 57.4±3.7 秒）を対象とし、400m 走中の酸素摂取量の変化について検討している。その結果、酸素摂取量はスタート後 24.4±3.2 秒（192±22m）で最高値（最大酸素摂取量の約 93%）に達した後に減少したと報告している。このように、400m 走においては刻々と主要なエネルギー供給機構が変化し、エネルギー源となる物質の枯渇と疲労の蓄積によって走スピードが低下していくこと、レース中の酸素摂取量は最大酸素摂取量に対してかなり高い割合まで達することがわかっている。

また、有気的エネルギー供給能力の指標である最大酸素摂取量（以下、 $\dot{V}O_2\max$ ）および無気的エネルギー供給能力の指標である最大酸素借（Maximal accumulated oxygen deficit. 以下、MAOD）や酸素負債、最大血中乳酸濃度、全力ペダリング運動のパワーと、400m 走パフォーマンスとの関係について検討した研究においては、無気的エネルギー供給能力との関係について認めたものが比較的多いようである（前村ほか、2005；森ほか、2012；森、2012；尾縣ほか、1998a, 1998b, 2003a；山崎ほか、2001；吉岡ほか、2009）。一方、有気的エ

エネルギー供給能力については、パフォーマンスとの直接的な関係について示唆した報告もあるものの (Olsen et al., 1994), レース後半の走スピードやその維持との関係が強いとした報告が多い (麻場ほか, 1990 ; 尾縣ほか, 1998b, 2000). また, Hanon et al. (2010) は, 300-400m の走スピードの減少と 300m 地点での重炭酸濃度 ( $[\text{HCO}_3^-]$ ) との間に有意な負の関係が認められたことから, 300m 地点でのアシドーシスが終盤の走スピード減少の一因であるとしており, これに関連して前村ほか (2005) は, 400m 走タイムと筋 pH の低下を抑制する働きである緩衝作用のひとつである重炭酸緩衝能力が関係している可能性があることを示唆している.

これらエネルギー供給能力に加えて, 近年では下肢の筋持久性と 400m 走パフォーマンスとの関係が報告されている. 尾縣ほか (1998a) は, 男性学生競技者 15 名を対象に実験条件で 400m 走を行わせ, 20m 毎の走スピード変化を基に算出した走スピード逡減指標と, 等速性筋力測定器を用いて測定した股関節屈曲・伸展筋持久性指標との間に有意な関係が認められたことから, 股関節屈曲・伸展運動の持久性が 400m 走における走スピード逡減およびパフォーマンスに影響を及ぼしていると示唆している. また尾縣ほか (2003b) は, 男性学生競技者 11 名 (400m 走自己最高記録  $48.75 \pm 1.32$  秒) を対象に実験条件で 400m 走を行わせ, 160m 付近と 360m 付近の下肢関節トルクを算出し, 走スピード変化率, ステップ頻度変化率, 股関節および膝関節のトルク変化率, さらには等速性筋力測定器を用いて測定した股関節および膝関節の筋持久性指標との間に関係が認められたことから, 400m 走における下肢関節のトルク持続能力は, ステップ頻度維持能力および走スピード維持能力に影響を及ぼし, 体力要因である下肢の筋持久性に影響を受けると示唆している.

以上のように、400m 走のパフォーマンスおよび走スピード変化と各種体力要因との関係が検討されている。しかしながら、レースパターンに影響を及ぼす体力的要因については必ずしも明らかではない【問題点 4】。

## (2) ステップ頻度およびステップ長

走スピードは、単位時間当たりの歩数（step frequency, 以下、ステップ頻度）と 1 歩の歩幅（step length, 以下、ステップ長）の積算である。ステップ頻度およびステップ長は、走スピードの主要構成因子であり、コーチング現場においても日常的に用いられるパラメータである。以下では、400m 走におけるステップ頻度・ステップ長の変化や、パフォーマンスとの関係について検討した研究を概観する。

Nummela et al. (1992) は、400m 走および 400m ハードル走を専門とする男性競技者 6 名を対象に、実験条件の 400m 走において、100m 毎の各地点のステップ長を、地面に敷いたプラスチックフィルムに着いた足跡を基に検討した。その結果、200m 以降にステップ長が減少し、特に 300-400m 区間での減少が顕著であったが、ステップ頻度には変化がなかったと報告している。また、ステップ頻度の構成因子である接地時間と滞空時間については、接地時間が 400m 走中に顕著に増大するのに対して、スイング時間（ある足の離地から接地までの時間）は変化しなかったとしている。ただしこの場合、スイング時間は逆足の接地時間を含んだ時間であるため、いずれの足も地面に接していない時間である滞空時間は減少傾向にあると考えられる。

伊藤ほか (1997) は、150m 付近から 350m 付近への走スピードの低下率とステップ頻度

およびステップ長の低下率との関係を検討した。その結果、ステップ長の低下率との間のみ有意な関係が認められたが、ステップ頻度とステップ長の低下率の平均値やばらつきに顕著な違いが見られないことから、走スピードの低下にはステップ頻度およびステップ長が同程度関係していたと結論づけている。また持田・杉田（2010）も同様な検討を行っているが、この研究では走スピードの低下率とステップ頻度およびステップ長どちらの低下率とも有意な関係が認められ、相関係数はステップ長のほうが大きかったと報告している。

また、Gajer et al.（2007）および Hanon and Gajer（2009）は、50m 毎の走スピード、ステップ頻度およびステップ長の変化について検討した。その結果、ステップ頻度は 50-100m 区間で最高値を示し、ステップ長は 100-150m 区間で最高値を示した。また、100-200m 区間では、ステップ長よりもステップ頻度の減少が大きく、一方 200-300m 区間ではステップ頻度よりもステップ長の減少が大きかった。そして、300-400m 区間では両因子とも減少し、特に 350-400m 区間ではステップ頻度の減少が顕著であったと報告している（図 2-6）。

ステップ頻度およびステップ長、さらにはそれらの変化とパフォーマンスとの関係については、斉藤・橋本（1982）は、当時の世界一流競技者と日本一流競技者のレース平均の歩数および歩幅を比較している。その結果、ステップ頻度に該当する歩数については有意な差は認められず、ステップ長に該当する歩幅に有意な差が認められたことから、パフォーマンスの差はステップ長の差によるものであるとしている。同様に Gajer et al.（2007）および Hanon and Gajer（2009）も、パフォーマンスレベルが異なるグループ間では、ステップ長はレース中の多くの区間において有意な差が認められるものの、ステップ頻度については認められなかったとしている。一方、阿部（1987）は、男性競技者 23 名（400m 走タイム  $49.50 \pm 2.15$

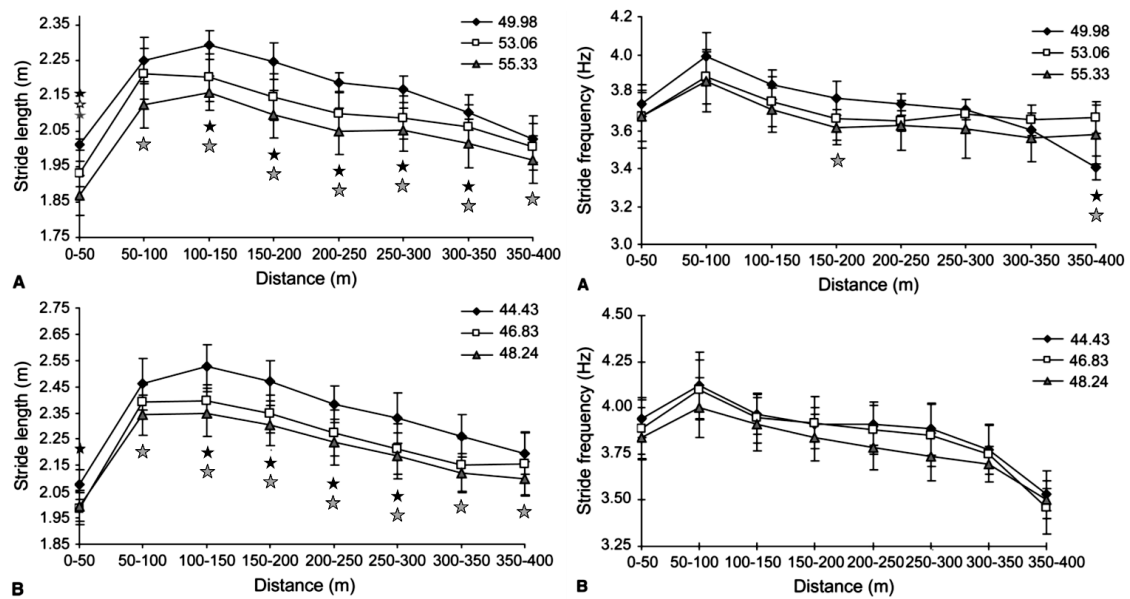


Figure2-6 Time course of stride length (left) and stride frequency (right) for women (A) and men (B). For each group, n=5. Black stars, gray stars, and white stars indicate that the difference is significant ( $p < 0.05$ ) between world-class and national level, between world class and regional level, and between national and regional level, respectively. Black diamond : world-class, White square : national level, Gray triangle : regional level (Hanon and Gajer, 2009).

秒), 女性競技者 16 名 ( $59.92 \pm 2.58$  秒) を対象に, レース中の 5 秒毎の平均ステップ頻度の推移を調査した結果, 男子では 400m 走タイムとレース平均, 最大, 最小ステップ頻度との間に有意な負の相関関係が認められ, レース平均ステップ長との間には認められなかったと報告している. また, 尾縣ほか (2003b) は, 学生競技者 11 名 (400m 走自己最高記録  $48.75 \pm 1.32$  秒) の実験条件の 160m 付近から 360m 付近への走スピード, ステップ頻度およびステップ長変化率と 400m 走タイムとの関係を検討し, 400m 走タイムに優れる者は走スピードおよびステップ頻度の変化率が小さかったとし, 高いパフォーマンスを達成するためにはステップ頻度の維持が重要であることを示唆している. 以上のように 400m 走では, ステップ頻度・ステップ長の減少によって走スピードが低下すること, また, レース中の変化のパターンはステップ頻度とステップ長で大きく異なる可能性があることが示唆されている. しかしこれらの多くはレース全体の平均値や, 限られた特定の地点の値のみについて検討しており, レース中のステップ頻度およびステップ長の変化を詳細に検討し, パフォーマンスやレースパターンのタイプとの関係について論じたものは見当たらない (問題点 5).

### (3) 走動作

走スピード, ステップ頻度およびステップ長の変化は, 走動作やそれに影響する力学的要因の変化によって生じると考えられる. 400m 走における走動作に関する研究は様々な観点から行われている. 以下に主な研究を概説する.

Sprague and Mann (1983) は, 15 名の男性競技者に実験条件で 50m 走と 400m 走を行わせ, 400m 走の 40m および 380m 地点の走動作をキネマティクスおよびキネティクスの観点から

分析している。そして、非疲労状態（40m 地点）と疲労状態（380m 地点）を比較した結果、走スピード低下の小さい競技者と大きい競技者の違いは、疲労状態でのモーメントの大きさではなく、モーメントの発揮パターンにあり、非疲労状態のモーメントの発揮パターンを維持することが重要であると示唆している。伊藤ほか（1997）は、400m 走レースの 150m 付近と 350m 付近の走動作を比較している。その結果、レース後半ではもも上げ角度の減少、支持期の膝関節伸展角速度の増大、体幹の後傾が見られたと報告している。そして、支持期の股関節伸展速度が低下しなかったにも関わらず、大転子と外果を結んだ線分である脚全体の伸展速度が低下したのは、膝関節伸展角速度が増大したことに起因しており、レース後半では股関節の伸展速度を効率よく脚全体のスイング速度に転換できない合理性にかけるキック動作に変化していたとしている。

また羽田ほか（2001）は、疲労が 400m 走後半の走動作に及ぼす影響を検討するという観点から、学生競技者 6 名（400m 走自己最高記録  $49.75 \pm 2.05$  秒）を対象に、400m 走と、400m 走の 150m および 350m 付近の走スピードでの 30m の最大下走を行わせ、走動作を比較している。その結果、最大下走と比較した 400m 走後半の走動作の特徴として、ステップ長が小さく、非支持時間が小さいことによってステップ頻度が高く、離地後の股関節屈曲トルクパワーが小さく、体幹が後傾していたことを挙げている。さらに、走スピード低下が小さい者は、回復期後半における股関節の正および膝関節の負のトルクパワーが大きかったと事例的に報告している。

このように、これまでの研究の多くは、400m 走後半の走動作の特徴や、レース前半から後半への走動作の変容について検討し、走動作の変容を小さくすることによって走スピー



ドの低下を抑制することの重要性を指摘した研究が多い。一方で、指導書においては、レース全体を考慮し、レース前半から合理的、効率的な疾走動作を行うことにより、疲労を抑制することや、レース後半において積極的に「動きの切り替え」を行うことの重要性が指摘されている（麻場，2004；荻部，2009b,2010a；宮丸・宮丸，1976；高野，2008）。にもかかわらず，400m 走前半の疾走動作や，前半から後半への「動きの切り替え」について検討した研究は少ない。

400m 走の前半の走動作の研究として，福島ほか（1997）は，学生競技者 16 名（400m 走実験時タイム  $51.09 \pm 1.20$  秒）を対象に，80m の最大疾走と 400m 走を行わせ，80m 走の 50m 付近と 400m 走の 140m 付近の走動作を比較している。その結果，400m 走前半において，ステップ長に有意な差はなくステップ頻度が小さかったとしている。また，回復期の股関節および膝関節の伸展および屈曲の角速度が低いことや，支持期の膝関節伸展動作範囲が大ききことから，400m 走においては積極的な脚の屈曲伸展や，支持期の膝の固定等を行っておらず，それらの動作に伴う疲労を回避していたと推察している。また，羽田ほか（2001）は，400m 走と，400m 走の 150m 付近の走スピードでの 30m の最大下走を行わせ，走動作を比較している。その結果，400m 走前半の走動作の特徴として，重心の近くに接地し，ブレーキ局面が短いこと，股関節および足関節の屈曲および伸展が小さいこと，回復期後半における股関節伸展トルクが小さいことを挙げている。しかしこれらの研究は，レースパターンとの関係についてまで論じたものではない。

以上のように 400m 走における走動作に関する研究は数多く行われており，レース後半で走動作の変容が生じること，走スピードの低下が小さい競技者は走動作の変容が小さいこ

などが示唆されている。一方で、指導現場で指摘されているような前半をより効率的、合理的に疾走する動作や、レース後半における「動きの切り替え」について言及したものは見られず、レース全体を考慮したレースパターンと疾走動作との関係については、不明な点が多いようである。

#### 4. 400m 走のパフォーマンス変化に関する研究

400m 走のパフォーマンス変化を縦断的に検討した研究は極めて少ない。ここでは、400m 走のパフォーマンス変化に伴うレースパターンや、それに影響を及ぼす要因の変化に関する研究について概観する。

2016 年現在の日本記録保持者である高野（1988, 1989, 1993）は、自身のパフォーマンス変化に伴う、レース前半、後半の 200m タイムの変化について述べている。この報告では、400m 走を専門的に取り組むようになってから初めて日本新記録（46.51 秒，1982 年）を樹立するまでは、前半と後半のタイム差が大きい「前半型」であり、1988 年のソウルオリンピックで日本人初の 44 秒台（44.90 秒）をマークした際は、前半と後半のタイム差が小さい「イーブンペース型」（前半 21.98 秒，後半 22.92 秒，前半と後半のタイム差 0.94 秒），そして日本人で史上初となる世界選手権，オリンピックで決勝進出を果たした 1991 年，92 年時点では、再び前半と後半のタイム差が大きい「前半型」（現日本記録である 44.78 秒の際は前半 21.3 秒，後半 23.5 秒，前半と後半のタイム差 2.2 秒；野口，2005）に移行していたと述べている。ここから高野は、レースパターンのタイプを変化させながら、パフォーマンスを向上させていたことがわかる。

横川・佐藤 (2004) は、第 9 回世界陸上競技選手権パリ大会に出場した男子 400m 走競技者 1 名を対象に、5 年間のパフォーマンス変化について、200m および 300m の通過タイムや歩数、トレーニング記録から検討している。この報告では、個人内で 200m および 300m の通過タイムと 400m 走パフォーマンスとの間に相関関係が見られること、45 秒台を記録したレースにおいては、46 秒台のレースと比較して総歩数が少ない傾向にあったことなどが示されている。そして今後は、200m 走のスプリント能力の改善、200-300m において高い走スピードを発揮できる能力を身に着けることが必要であるとしている。

また、実験条件において、被検者のペース配分を任意に変化させることによるパフォーマンスの変化について検討した研究もいくつかある。田村 (2008) は、400m 走競技者 5 名 (自己最高記録 50.29±1.56 秒) を対象に、前半 200m の通過タイムを被検者の 200m 走自己最高記録の 100-96% (HS) , 95-91% (MS) および 90-86% (LS) に設定し、ペース配分がパフォーマンスに及ぼす影響について検討している。その結果、400m 走タイムは MS が最も高く、走スピードの低下は前半区間を高い走スピードで通過するほど大きくなったと報告している。また Sarasilanidis et al. (2010) は、陸上競技トラック種目の経験のある男子体育学部生 8 名 (実験時の 400m 走タイム 54.1±2.3 秒) を対象に、田村 (2008) と同様に前半 200m の通過タイムを被検者の 200m 走の自己最高記録を基に設定し (それぞれ、98%、95% および 93%)、ペース配分によるパフォーマンスの変化を検討している。その結果、各ペース配分でパフォーマンスに有意な差は認められなかったが、93%試技においてパフォーマンスが高い傾向にあり、このとき走スピードの低下が小さかったとしている。これらの報告は、ペース配分によってパフォーマンスが変化し、適切なペース配分によって高いパフォーマンス

が達成されることを示すものであるが、パフォーマンスが向上する過程でのレースパターンの変化を検討したものではない。

以上に述べたように、400m 走のパフォーマンス変化に伴って、レースパターンの変容が生じる可能性が、いくつかの報告から示されている。しかし、個人のパフォーマンスの変化とレースパターンとの関係について、競技会での実測値から縦断的に検討した研究は見当たらない（**問題点 6**）。

## 5. 先行研究の総括

ここまで述べてきたように、これまでに、陸上競技 400m 走のレースパターンおよびレースパターンに影響を及ぼす要因に関して研究が行われてきている。しかしながら、高いパフォーマンスを達成するためのレースパターンやレースパターンのタイプについて、幅広いパフォーマンスレベルを対象とした詳細なレース分析から検討した研究は見当たらず（**問題点 1 および 2**）、目標とするタイムを達成するためのペース配分の目安（モデルレースパターン）を、客観的根拠に基づいて提案したものは見当たらない（**問題点 3**）。また、レースパターンに影響を及ぼす要因として、体力的要因としては、エネルギー供給能力や筋力・パワーの持続能力および最大スピード能力が、技術および戦術的要因としては、ステップ頻度およびステップ長からみた疾走動態が指摘されているが、これらをレースパターンのタイプと関連付けて検討した研究は見当たらない（**問題点 4 および 5**）。さらに、個人のパフォーマンス変化とレースパターンの変化との関係について検討した研究は少なく、パフォーマンスが向上する際に生じるレースパターンの変化も明らかでない（**問題点 6**）。

400m 走において高いパフォーマンスを達成するためには、レースパターンが非常に重要であり、400m 走競技者のパフォーマンスを適切に高めるコーチングを行うためには、レースパターンに関する知見を体系化することが必要不可欠である。これらのことから、上述した先行研究の問題点を踏まえ、高いパフォーマンスを達成するためのレースパターンおよびモデルレースパターン、レースパターンに影響を及ぼす要因、個人のパフォーマンス変化に伴うレースパターンの変化について検討することで、400m 走におけるレース分析をもとにしたコーチングモデルの構築に資する知見を得ることが必要であると考えられる。

### Ⅲ. 本研究の目的および課題

#### 1. 研究目的

第Ⅱ章の文献研究により，400m 走のレースパターンに関連して，以下の問題点が指摘された。

- (1) 400m 走におけるレースパターンを検討したものは多いが，幅広いパフォーマンスレベルを対象とした詳細なレース分析から，高いパフォーマンスを達成するためのレースパターンについて検討した研究は見当たらない **(問題点 1)**。
- (2) 400m 走におけるレースパターンには，同等のパフォーマンスレベルであっても個人差（タイプ）が存在することが推察され，指導現場および研究領域においても指摘されているものの，競技会での実測値からタイプによるレースパターンの相違を詳細に検討した研究は見当たらない **(問題点 2)**。
- (3) 400m 走はペース配分が重要であることは指摘されているものの，目標とするタイムを達成するためのペース配分の目安（モデルレースパターン）を，客観的根拠に基づいて提案したものは見られない **(問題点 3)**。
- (4) 400m 走におけるレースパターンの個人差（タイプ）は，競技者の体力的特性と関連していると考えられるが，レースパターンのタイプに影響する体力因子は明らかでない **(問題点 4)**。
- (5) 400m 走におけるレースパターンには，走スピードの構成因子であるステップ頻度およ

びステップ長の変化と関係していると考えられるが、レース中の両因子の変化を詳細に検討し、パフォーマンスやタイプとの関係について論じたものは見当たらない（**問題点 5**）。

- (6) 400m 走におけるパフォーマンスの向上は、レースパターンの変化と関係していると考えられるが、同一個人のパフォーマンスの変化と、レースパターンとの関係を検討した研究は見当たらない（**問題点 6**）。

これらの問題点を踏まえ、本研究では、陸上競技男子 400m 走において高いパフォーマンスを達成するためのレースパターンを明らかにすることを目的とする。そのために、パフォーマンスレベルやタイプによる相違を明らかにし、レースパターンの評価および目標設定のためのモデルレースパターンを提案するとともに、レースパターンに影響を及ぼす体力および技術的要因の究明、さらには同一個人内でのパフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化について検討することで、400m 走におけるレース分析をもとにしたコーチングモデルの構築に資する知見を得ることを試みる。

## 2. 研究課題

本研究では、上述した研究目的を達成するために、以下に示す研究課題を設定した。

### 【研究課題 1】

**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**

男子 400m 走における高いパフォーマンスを達成するためのレースパターンを明らかにするとともに、レースパターンの類型化とモデルレースパターンの提案を試みる（問題点 1, 2, 3 について）。

## 【研究課題 2】

### 2-1：陸上競技男子 400m 走におけるレースパターンタイプの異なる競技者の体力特性

男子 400m 走におけるレースパターンのタイプに影響を及ぼす体力因子について、エネルギー供給能力および下肢のパワー発揮特性から検討する（問題点 4 について）。

### 2-2：陸上競技男子 400m 走におけるレースパターンタイプの異なる競技者の疾走動態

男子 400m 走におけるレースパターンのタイプに影響を及ぼす技術的要因について、異なる競技者のステップ頻度およびステップ長からみた疾走動態の観点から検討する（問題点 5 について）。

## 【研究課題 3】

### 陸上競技男子 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

個人内のパフォーマンス変化に伴うレースパターンの変容について縦断的に検討し、研究課題 1 で明らかとなった高いパフォーマンスを達成するためのレースパターンや、タイプによるレースパターンの相違の実践面での妥当性を検証するとともに、個人のパフォーマンス向上とレースパターンとの関係について検討する（問題点 6 について）。



#### IV. 本研究の意義, 仮定および限界

##### 1. 本研究の意義

本研究では、陸上競技男子 400m 走におけるレースパターンについて、パフォーマンスレベルやタイプによる相違を明らかにし、レースパターンの評価および目標設定のためのモデルレースパターンを提案するとともに、レースパターンに影響を及ぼす要因について究明を試みる。さらには、同一個人内でのパフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化についても検討する。400m 走のレースパターンについてパフォーマンスレベルやタイプを考慮した横断的なモデルを得ることができれば、これまでは個々のコーチの経験則に頼らざるを得なかった競技者のレースパターンの評価、さらにはパフォーマンス向上を目指す上での目標設定のための客観的な基準を提示することができる。また、これら横断的な知見を基にして、個人のパフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化を縦断的に検討することによって、横断的なモデルの実践面での妥当性の検証が可能であるとともに、様々な特性を持つ競技者のパフォーマンス向上過程が明らかとなり、個人の特性に応じたパフォーマンス向上のためのレースパターンに関する知見を得ることが期待できる。これらはともに、400m 走のコーチングを行う上では非常に意義深いものであり、レース分析をもとにした 400m 走のコーチングモデルの構築につながるものである。

##### 2. 本研究の仮定

本研究は以下の仮定のもとで行われる。

- (1) 本研究で撮影を行った競技会は公式競技会であり、かつ分析対象競技会以前 1 年以内の対象者の自己最高記録に対する達成率が高いレースのみを分析対象としたため、得られた測定値は対象者のその時点での最高またはそれに限りなく近いパフォーマンスを表している。
- (2) 仮定 (1) に関連し、本研究で対象とした競技者は、分析対象競技会において自己最高またはそれに限りなく近いパフォーマンスを発揮していたため、各パフォーマンスレベルの一般的なレースパターンを体現している。

### 3. 本研究の限界

本研究には、研究方法および得られた知見の一般化および普遍化に関して、以下に述べる限界が存在する。

- (1) 本研究の対象者は、45-49 秒台の自己記録を持つ男性競技者であり、その多くがシニア競技者であった。そのため、本研究で得られた知見を女性や他のパフォーマンスレベル、年齢層などにそのまま適応するには限界がある。
- (2) 実際のレースを分析したため、風や気温、疾走するレーンなどの条件を全ての競技者で一定にすることはできなかった。

## V. 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【研究課題 1】

### 1. 目的

陸上競技 400m 走は、短距離走種目と位置付けられているものの、男子でも 40 秒以上の競技時間を要し、スタートからフィニッシュまで、レース全体にわたって最大疾走を維持することは困難であり、高いパフォーマンスを達成するためには、適切なペース配分が重要となる (Abbiss and Laursen, 2008 ; 金原ほか, 1971 ; Hart, 1993 ; Schiffer, 2008). そして、400m 走のペース配分は、各地点の通過タイムや、走スピードの変化に着目し、「レースパターン」という用語を用いて評価を行うのが一般的である (尾縣ほか, 2000 ; 土江, 2011).

400m 走のレースパターンについては、これまでに、組織的な調査が度々行われており、コーチや競技者からの関心も高い。しかしながら、パフォーマンスとレースパターンとの関係について検討した先行研究を概観すると、研究間で結果が大きく異なり、統一した見解を得るには至っていないのが現状である。先行研究の多くは、実験条件、あるいは単一の競技会やレースのみを対象としているなどの理由から、被検者数が少ないことや、個々の競技者が十分に実力を発揮できていないレースを含んでいるなど、適切なデータによって検証されているとは言い難い。一方で、400m 走と同様に高強度な持久的運動である 800m 走や 400m ハードル走においては、多数のレース分析データをもとに、パフォーマンスの高い競技者のレースパターンの特徴が明らかにされているとともに (門野ほか, 2008 ; 森丘ほか, 2005), レースパターンの類型化 (タイプ分け) およびタイプに応じたペース配分の指標の提案が行われている (門野, 2011 ; 森丘, 2006). さらには、それらの知見の積極的な活用によって、

国内トップレベルにある競技者においてもパフォーマンスの向上が図られている事例が報告されている（門野，2011；森丘・山崎，2008）．これらのことに鑑みるに，400m 走においても，幅広いパフォーマンスレベルにある競技者を対象に，対象者が十分に実力を発揮したといえるレースのデータを多数収集し，レースパターンとパフォーマンスとの関係について詳細に検討することで，合理的なトレーニングおよびコーチングを行う上で有益な知見を提供することができると考えられる．

これらのことから，本研究課題では，異なるパフォーマンスレベルにある 400m 走競技者のレースパターンを分析することで，陸上競技男子 400m 走における高いパフォーマンスを達成するためのレースパターンを明らかにするとともに，レースパターンの評価および目標設定モデルとしてのモデルレースパターンを作成することを目的とした．

## 2. 方法

### (1) データ収集

#### ① 分析対象者

分析対象者は，国内の公式競技会に出場した男子 400m 走競技者 154 名とした．公式記録が 50.00 秒以内，かつ分析対象競技会前 1 年以内の自己最高記録に対する達成率が 99%以上を記録した競技者のみを分析対象とした．複数の分析対象レースに出場している競技者については，最も記録が良いレースを分析対象とした．

パフォーマンスレベル別の比較を行うため，分析対象者を，公式記録をもとに，45 秒台から 1 秒毎に群分けした．なお，45 秒台の競技者は，データ数が少なかったため（5 名），

46 秒台群に含めて扱った。表 5-1 は、分析対象者の公式記録を示したものである。以下、45-46 秒台群を G45-46 ， 47 秒台群を G47 ， 48 秒台群を G48 ， 49 秒台群を G49 と略す。なお、本研究では、公式競技会におけるレースを撮影したため、競技者が走行するレーンを統一することはできなかった。レーンが異なることは、曲走路の曲率や他の競技者との相対的な位置関係が異なることによって、パフォーマンスやレースパターンに影響を及ぼす可能性が考えられる (Quinn, 2009) 。しかしながら、本研究においては、内側のレーン (1-3 レーン)、中央のレーン (4-6 レーン) および外側のレーン (7-9 レーン) を走った競技者の 400m 走の公式記録やレースパターンに有意な差は認められなかった。そのため、本研究では、レーンの違いがパフォーマンスやレースパターンに及ぼす影響は小さいものと判断し、レーンの違いによるデータの補正等を行わなかった。

## ② レースの撮影

2-3 台の VTR カメラ (SONY 社製, DCR-VX2000) を、陸上競技場ホームストレートおよびバックストレートのスタンドに設置し、レースを撮影した。スタートピストルの閃光を撮影した後、59.94field/秒で選手を追従撮影した。露出時間は、スタートピストルの閃光撮影時が 1/60 秒、それ以降が 1/500—1/2000 秒であった。レースの撮影は、大会主催者に研究の趣旨を説明し、撮影の許可を得た上で行った。

**Table 5-1** 400m race time of each group.

	Total	G45-46	G47	G48	G49
n	154	26	35	58	35
400m race time (sec.)	48.13 ± 1.06	46.41 ± 0.41	47.53 ± 0.25	48.45 ± 0.30	49.48 ± 0.29

† Values show mean±standard deviation.

## (2) データ処理

### ① 通過タイムの算出

各地点の通過タイムは、Overlay 方式を用いて算出した（持田ほか，2007）。Overlay 方式とは、対象とする 400m 走レースの VTR 画像と、距離較正用の VTR 画像を、ソフトウェア上で合成表示し、任意の地点を対象者が通過した時刻を読み取る方法である。距離の較正には、400m ハードル走のハードル設置位置を用い、レース撮影時と同じ位置からハードルが設置された状況を撮影した。

ビデオ編集ソフト（Corel 社製，VideoStudio12）を用いて、画像を合成表示し、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後、400m ハードル走のハードル設置位置である 10 地点（45, 80, 115, 150, 185, 220, 255, 290, 325 および 360m 地点）の通過タイムを、29.97 コマ/秒で読み取った（分解能：0.033 秒，図 5-1）。そして、50m 毎の各地点の通過タイムを、各地点を挟む前後 2 地点，すなわち，50m 地点では 45m および 80m 地点，100m 地点では 80m および 115m 地点，…，350m 地点では 325m および 360m 地点の通過タイムを基に，時間と距離の直線回帰式に距離を内挿することによって推定した（持田ほか，2007；持田・杉田，2010）。なお，150m 地点の通過タイムは，400m ハードル走の 4 台目のハードル設置位置の通過タイムを，400m 地点の通過タイムは，公式記録を，それぞれ用いた。

持田ほか（2007）は，Overlay 方式によって算出した 100m 毎の各地点（100m, 200m および 300m 地点）の通過タイムと，各地点に配置したカメラによって測定した通過タイムとを比較し，Overlay 方式によるデータの妥当性について検証を試みている。その結果，各地点

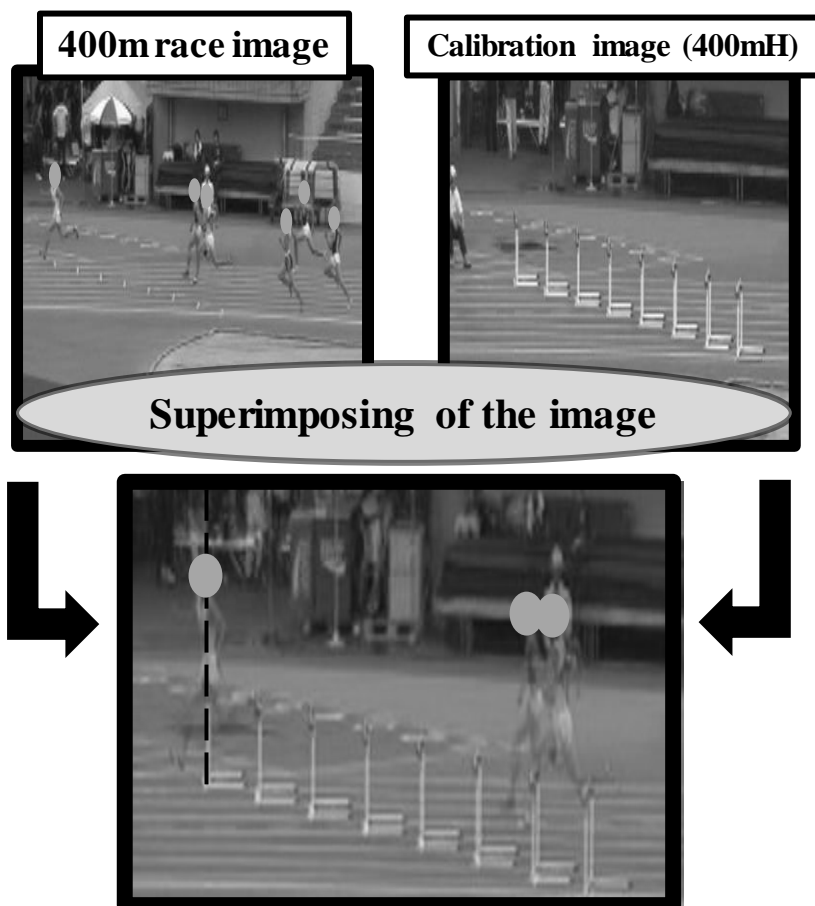


Figure5-1 Superimposing an image of the 400m competition race onto an image of the hurdles in a 400m hurdle race by using the Overlay method.



の測定誤差の二乗平均平方根 ( $RMS_{error}$ ) は、いずれの地点も 0.05 秒であったと報告している。この値は、各地点の通過タイムに対して 0.5%以下の誤差である。また、持田ほか (2007) のデータを基に、後述する 100m 毎の区間タイムの  $RMS_{error}$  を算出すると、0.05 から 0.06 秒であった。この値は、本研究における区間タイムの最小値である 10.46 秒に対して 0.5%程度の誤差であった。これらのことから、Overlay 方式を用いて通過タイムおよび区間タイムを算出することは、一定の測定誤差が生じる可能性があるものの、想定される測定誤差は極めて小さい値であり、本研究の目的を達成する上で妥当であると判断した。

## ② 算出項目および方法

レースパターンを評価する指標として、指導書 (土江, 2011) および 400m 走と同等の距離を疾走する 400m ハードル走において、レースパターンとパフォーマンスとの関係について詳細な検討を行った森丘ほか (2005) を参考に、以下に示す項目を算出した。

### 1) 走スピード

各地点の通過タイムから、50m 毎の各区間に要した時間を算出し、区間距離を区間に要した時間で除すことにより、区間平均走スピード (以下、走スピード) を算出した。

### 2) 区間タイムおよび区間タイム比

400m を 100m 毎の 4 つの区間に区分し (それぞれ 0-100m 区間 : 1st100m, 100-200m 区間 : 2nd100m, 200-300m 区間 : 3rd100m, 300-400m 区間 : 4th100m と略す), 各区間に要した時間を区間タイムとして算出した (それぞれ  $T_{1st100m}$ ,  $T_{2nd100m}$ ,  $T_{3rd100m}$ ,  $T_{4th100m}$  と略す)。ま

た、ペース配分の指標として、各区間タイムが、400m 走タイムに占める割合である区間タイム比を算出した（それぞれ $\%_{1st100m}$ ,  $\%_{2nd100m}$ ,  $\%_{3rd100m}$ ,  $\%_{4th100m}$  と略す）。区間タイム比は、パフォーマンスレベルによる影響を取り除いた相対的なペース配分の指標として用いられるものである（森丘ほか，2005）。

### 3) 走スピード変化率

2nd100m, 3rd100m および 4th100m における、前の区間からの走スピード変化率を、以下の式により算出した（それぞれ $\angle S_{2nd100m}$ ,  $\angle S_{3rd100m}$ ,  $\angle S_{4th100m}$  と略す）。

$$\text{走スピード変化率} = [1 - (\text{前の区間の走スピード} / \text{後の区間の走スピード})] \times 100$$

なお、走スピード変化率は、正の値が前の区間からの走スピードの増加を、負の値が減少を示す。

### 4) 走スピード逓減指標

尾縣ほか（1998）の方法を参考に、レース全体での走スピード逓減指標を算出した。すなわち、走スピードが最高に達する 50-100m 区間を第 1 区間、100-150m 区間を第 2 区間、…、350-400m 区間を 7 区間とし、区間数を独立変数、走スピードを従属変数として直線回帰式を算出し、その回帰式の傾きを、各対象者の走スピード逓減指標とした。なお、回帰式の相関係数は-0.872 から-0.999 の範囲であり、全ての回帰式が 5%水準で有意であった。この指標は、値が小さいほど、レース全体での走スピードの逓減が緩やかであることを示す。

### (3) 統計処理

各測定項目の平均値および標準偏差を算出した。各測定項目間の関係を検討するために、Pearson の積率相関係数を算出した。群間の有意差検定には、一元配置の分散分析を行い、F 値が有意であった項目については Tukey-Kramer 法により多重比較を行った。また、対象者を、レースパターンをもとに類型化するために、ペース配分の指標である区間タイム比に対して、変量を標準化した平方ユークリッド距離を算出し、これを手がかりとして Ward 法によるクラスター分析をケース（個体）に対して行った。さらに、タイプ毎に、400m 走タイムを独立変数、50m 毎の各地点の通過タイムを従属変数とし、直線回帰式を算出した。いずれも、有意性は危険率 5%未満で判定した。

## 3. 結果

図 5-2 は、各群の走スピードの変化を示したものである。全ての群が、50-100m 区間において最高走スピードに到達し、以降ゴールまで走スピードは漸減した。

表 5-2 は、各群の区間タイムを示したものである。1st100m において、G45-46 と G48 および G49、G47 および G48 と G49 との間に有意な差が認められた。2nd100m 以降の区間においては、全ての群間に有意な差が認められた。また、図 5-3 は、400m 走タイムと各区間タイムとの関係を示したものである。全ての区間において、変数間に有意な正の相関関係が認められた ( $r=0.589 - 0.887, p<0.001$ )。

表 5-3 は、各群の区間タイム比を示したものである。1st100m において、G45-46 は G48 および G49 と比較して、また、G47 は G49 と比較して、区間タイム比が有意に大きかった。

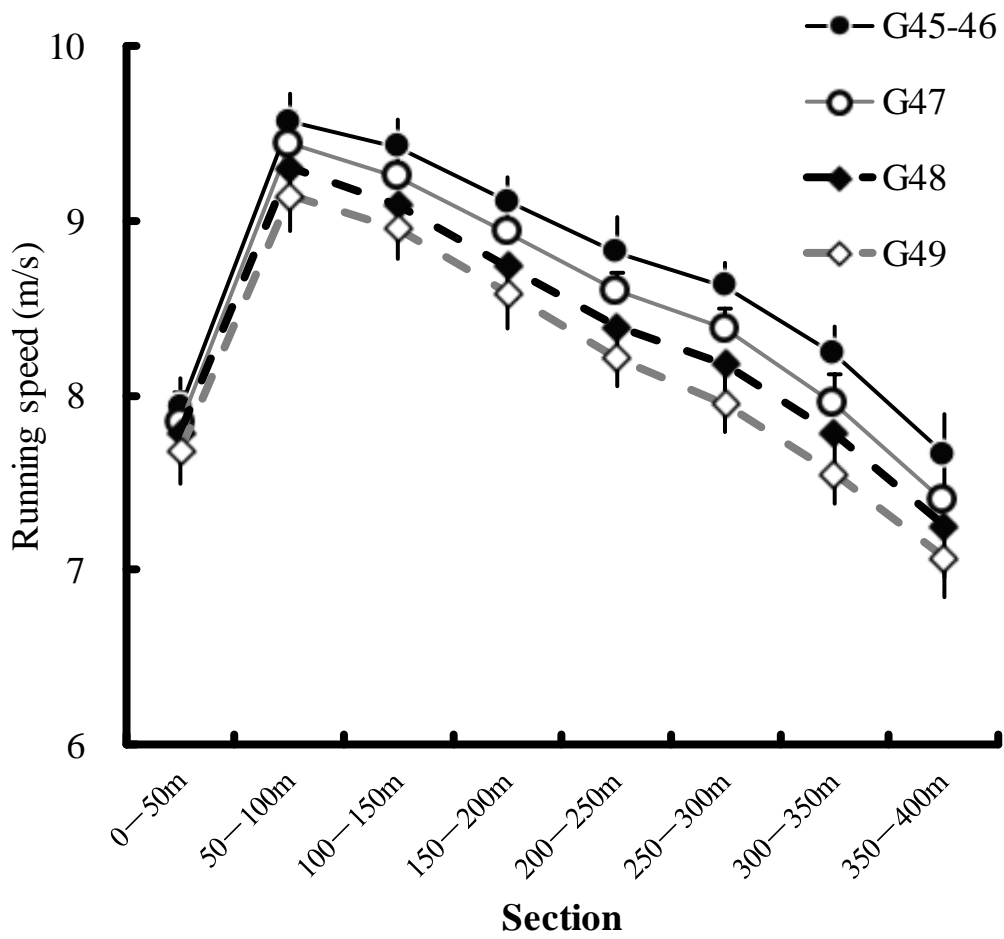


Figure5-2 Changes in running speed of each group.

**Table 5-2** Segment time of each group.

		Total	G45-46	G47	G48	G49	Difference
T <sub>1st100m</sub>	(sec.)	11.77 ± 0.27	11.54 ± 0.22	11.68 ± 0.21	11.80 ± 0.22	11.98 ± 0.25	45-46<48,49 47,48<49
T <sub>2nd100m</sub>	(sec.)	11.14 ± 0.30	10.80 ± 0.16	11.00 ± 0.19	11.22 ± 0.24	11.41 ± 0.23	45-46<47<48<49
T <sub>3rd100m</sub>	(sec.)	11.98 ± 0.35	11.47 ± 0.21	11.78 ± 0.11	12.08 ± 0.19	12.38 ± 0.21	45-46<47<48<49
T <sub>4th100m</sub>	(sec.)	13.24 ± 0.52	12.61 ± 0.30	13.06 ± 0.33	13.34 ± 0.42	13.71 ± 0.36	45-46<47<48<49

† Values show mean±standard deviation.

††<: Significant difference (p<0.05) among the groups.

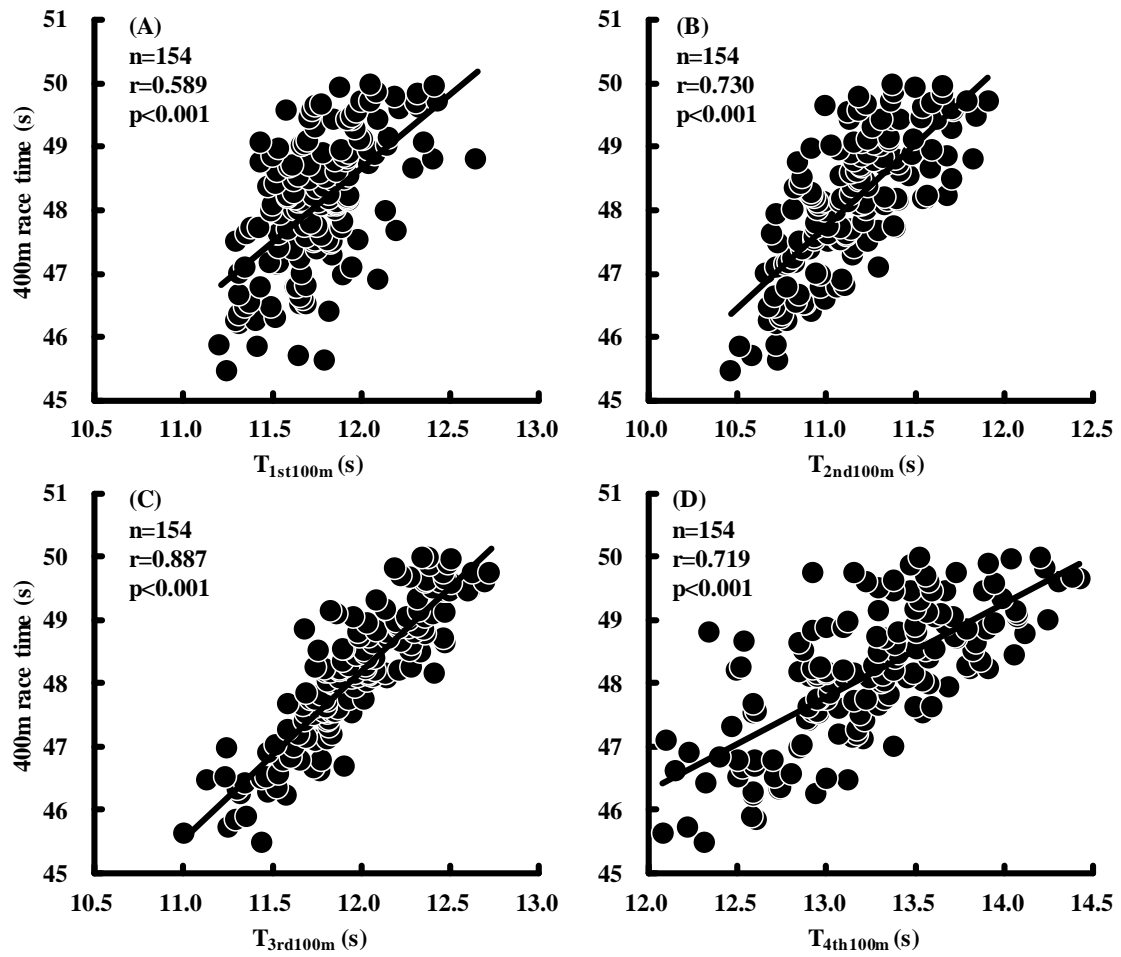


Figure5-3 Relationships between 400m race time and segment times.

(A) 1st100m, (B) 2nd100m, (C) 3rd100m, (D) 4th100m.

**Table 5-3** Ratio of segment time of each group.

		Total	G45-46	G47	G48	G49	Difference
% <sub>1st100m</sub>	(%)	24.5 ± 0.5	24.9 ± 0.5	24.6 ± 0.4	24.4 ± 0.4	24.2 ± 0.5	45-46>48,49 47>49
% <sub>2nd100m</sub>	(%)	23.2 ± 0.4	23.3 ± 0.3	23.1 ± 0.4	23.2 ± 0.5	23.1 ± 0.4	ns
% <sub>3rd100m</sub>	(%)	24.9 ± 0.4	24.7 ± 0.4	24.8 ± 0.2	24.9 ± 0.4	25.0 ± 0.4	45-46<49
% <sub>4th100m</sub>	(%)	27.5 ± 0.8	27.2 ± 0.6	27.5 ± 0.7	27.5 ± 0.8	27.7 ± 0.7	45-46<49

† Values show mean±standard deviation.

†† > or < : Significant difference (p<0.05) among the groups.

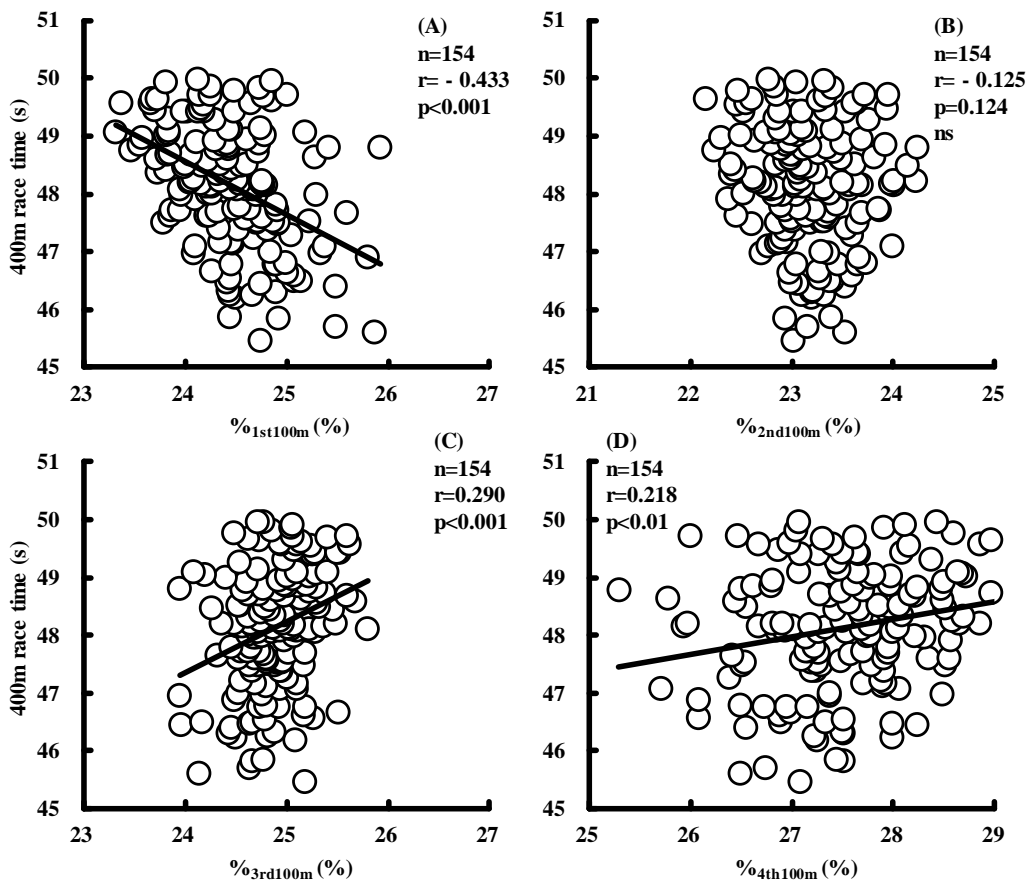


Figure5-4 Relationships between 400m race time and ratio of segment times.

(A) 1st100m, (B) 2nd100m, (C) 3rd100m, (D) 4th100m.



また、3rd100m および 4th100m において、G45-46 は、G49 と比較して区間タイム比が有意に小さかった。2nd100m においては、いずれの群間にも有意な差は認められなかった。また、図 5-4 は、400m 走タイムと各区間タイム比との関係を示したものである。1st100m において、変数間に有意な負の相関関係が ( $r=-0.433, p<0.001$ )、3rd100m および 4th100m において、有意な正の相関関係がそれぞれ認められた (それぞれ  $r=0.290, p<0.001$  ;  $r=0.218, p<0.01$ )。2nd100m においては、変数間に有意な相関関係は認められなかった ( $r=-0.125, p=0.124$ )。

表 5-4 は、各群の走スピード変化率および走スピード逡減指標を示したものである。走スピード変化率は、2nd100m では正の値、3rd100m および 4th100m では負の値を示し、2nd100m において、G45 - 46 と G48 および G49 との間、3rd100m において、G45-46 と G49 との間に有意な差が認められた。4th100m においては、いずれの群間にも有意な差は認められなかった。また、走スピード逡減指標についても、いずれの群間にも有意な差は認められなかった。さらに、図 5-5 は、400m 走タイムと走スピード変化率との関係を、図 5-6 は、400m 走タイムと走スピード逡減指標との関係を、それぞれ示したものである。走スピード変化率は、2nd100m および 3rd100m において、400m 走タイムとの間に有意な負の相関関係が認められた (それぞれ  $r=-0.317, p<0.001$  ;  $r=-0.271, p<0.01$ )。4th100m においては、有意な相関関係は認められなかった ( $r=-0.060, p=0.461$ )。また、400m 走タイムと走スピード逡減指標との間にも、有意な相関関係は認められなかった ( $r=0.154, p=0.056$ )。

ペース配分の指標である区間タイム比を手がかりとしたクラスター分析の結果、クラスターが大きく分かれる点で、対象者は 3 つのタイプに分類できた (それぞれ TypeA, B および C。図 5-7)。各タイプの 400m 走タイムは、それぞれ TypeA ( $n=44$ ) が  $48.03\pm 1.06$  秒、

**Table 5-4** Rate of the deceleration and the deceleration index of each group.

	Total	G45-46	G47	G48	G49	Difference
Deceleration index	0.33 ± 0.07	0.31 ± 0.05	0.33 ± 0.07	0.33 ± 0.08	0.35 ± 0.07	ns
Dec <sub>2nd100m</sub> (%)	-5.3 ± 1.9	-6.4 ± 1.5	-5.8 ± 1.9	-4.9 ± 1.7	-4.8 ± 2.1	45-46<48,49
Dec <sub>3rd100m</sub> (%)	7.5 ± 2.6	6.2 ± 2.1	7.1 ± 2.0	7.6 ± 2.9	8.5 ± 2.5	45-46<49
Dec <sub>4th100m</sub> (%)	10.6 ± 3.6	10.0 ± 3.3	10.8 ± 2.8	10.5 ± 4.1	10.8 ± 3.7	ns

† Values show mean±standard deviation.

†† <: Significant difference (p<0.05) among the groups.

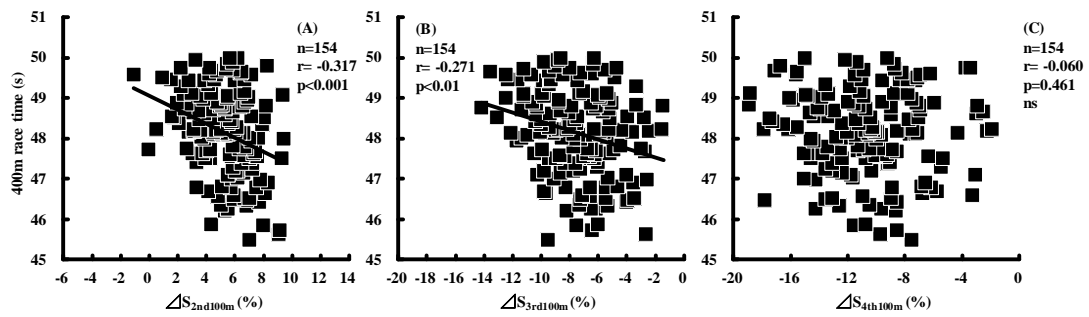


Figure5-5 Relationships between 400m race time and rate of the deceleration.  
 (A) 2nd100m, (B) 3rd100m, (C) 4th100m.

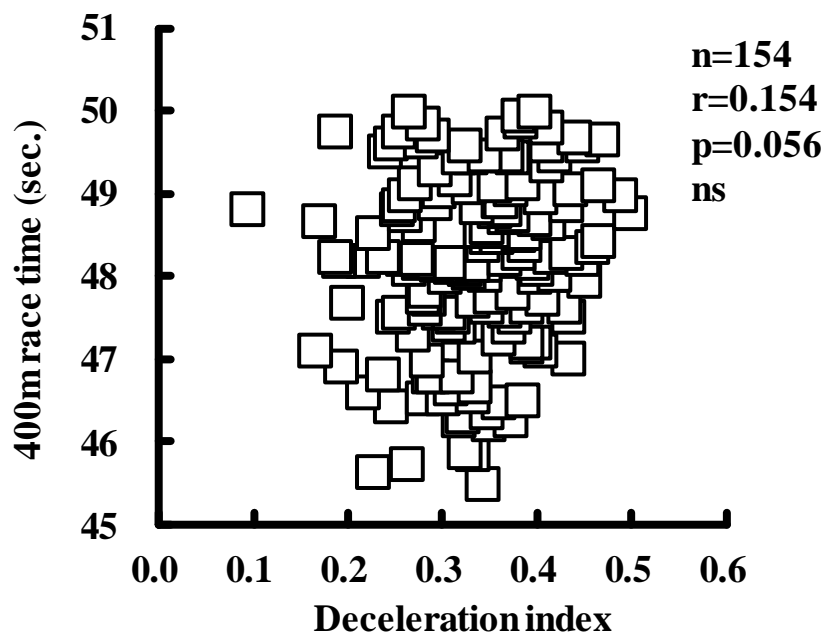


Figure5-6 Relationships between 400m race time and the deceleration index.

† Deceleration index is the slope of the liner relationship between running speed and the number of the section from peak running speed to finish.

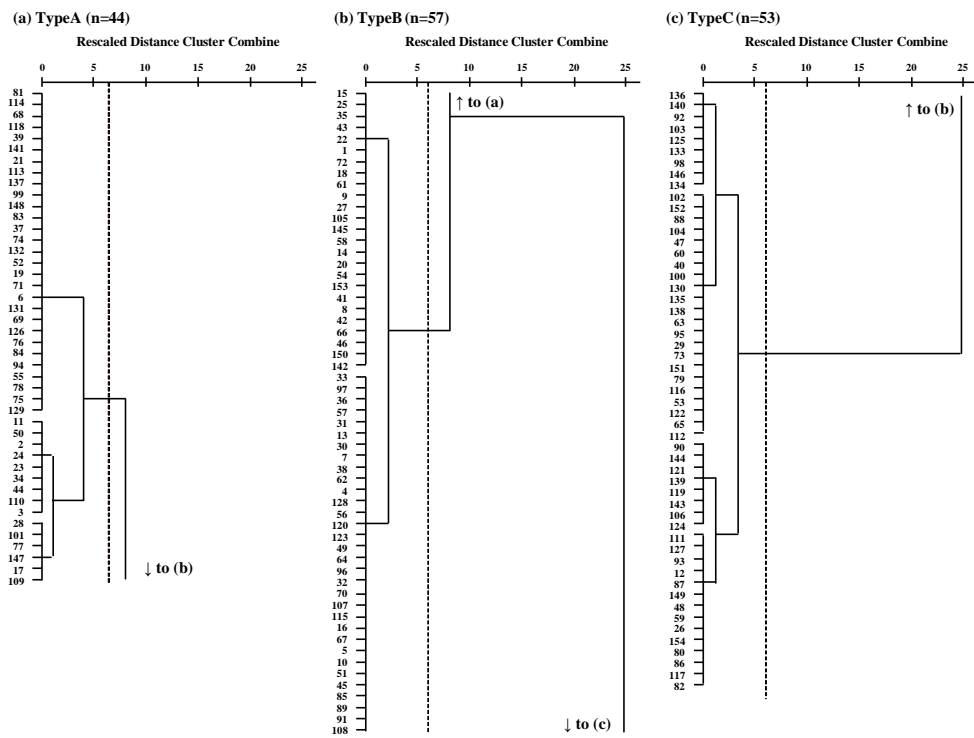


Figure5-7 Race pattern-types classification according to cluster analysis

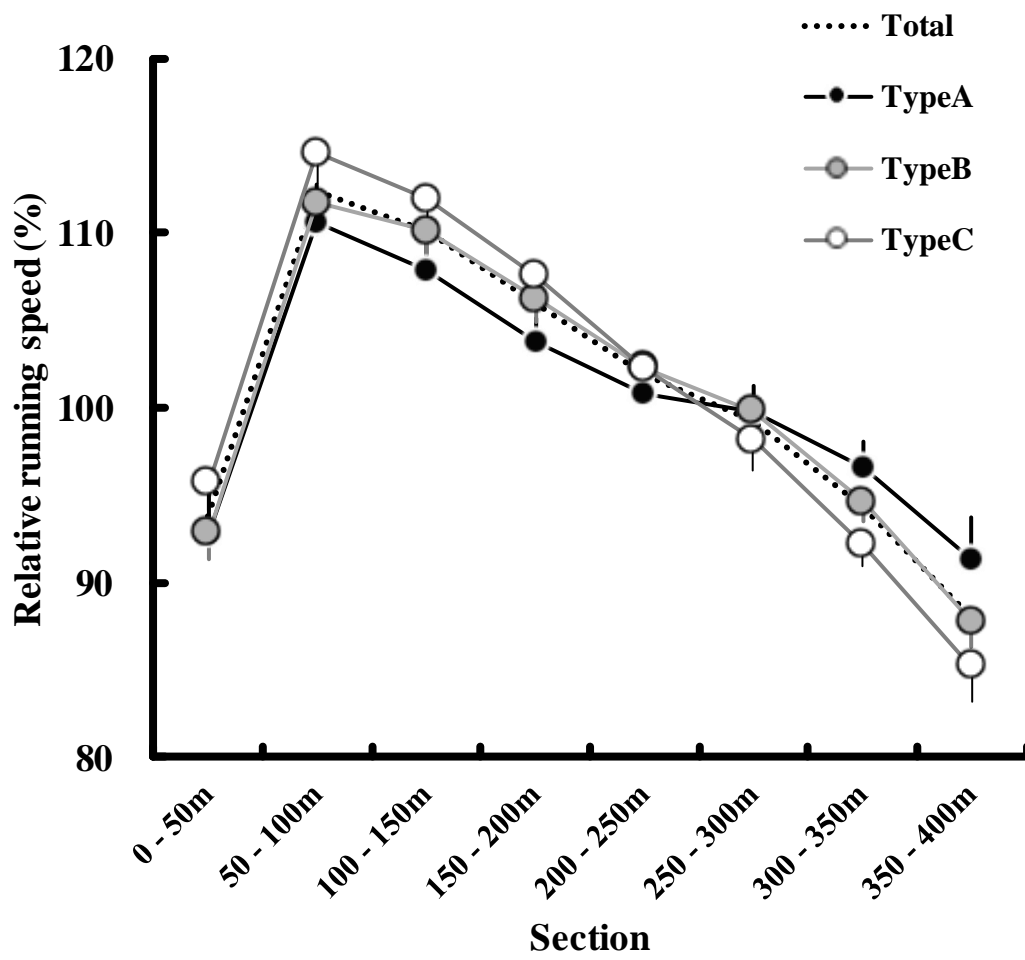


Figure5-8 Changes in relative running speed of each type.

TypeB (n=57) が  $47.68 \pm 1.04$  秒, TypeC (n=53) が  $48.70 \pm 0.79$  秒であり, TypeC は, 他の 2 タイプと比較して有意に低値を示した. 図 5-8 は, レースの平均走スピードを 100%として相対化した各タイプの走スピードの変化を示したものである. 走スピードの変化から, TypeA は, レース前半の走スピードが低く, 後半における走スピードの低下が小さい「後半型」, TypeB は全体の平均に近い「中間型」, TypeC はレース前半の走スピードが高く, 後半における走スピードの低下が大きい「前半型」であると判断した. また, 表 5-5 は, 400m 走タイムをもとに 50m 毎の各地点のモデル通過タイムを推定する回帰式, 回帰式の決定係数および推定の標準誤差を, タイプ毎に示したものである. 回帰式の決定係数は, TypeA および TypeC の 50-150m 地点, TypeB の 50m 地点を除き, 0.7 以上の高い値を示した. また, 推定値の標準誤差は, 概ね 0.1 - 0.2 秒程度であった.

#### 4. 考察

本研究課題では, 154 名の男子 400m 走競技者を対象に, 公式競技会においてデータを収集した. 400m 走の公式記録は, 全対象者の平均値で  $48.13 \pm 1.06$  秒であり, 45.47 秒から 49.98 秒の範囲であった. この記録範囲は, 2016 年度の日本ランキングでは, 日本トップレベルから中学生トップレベルに該当する. データは, 個々の対象者の分析対象競技会前 1 年以内の自己最高記録に対する達成率が 99%以上の公式レースのみを分析対象としており, この中には自己最高記録や年度内最高記録が多数含まれていた. これらのことから, 本研究では, 広範囲なパフォーマンスレベルにある多数の 400m 走競技者の最高またはそれに近いパフォーマンスを測定できたと考えられる. これまでに, このようなデータをもとに, 400m 走

**Table 5-5** Estimate equations for split times during 400m race of each type.

Type	Mark	Estimate equation	R <sup>2</sup>	SEE
TypeA	50m	Y = 0.062 x + 3.474	0.130	0.16
	100m	Y = 0.157 x + 4.347	0.362	0.22
	150m	Y = 0.281 x + 3.975	0.583	0.25
	200m	Y = 0.425 x + 2.842	0.735	0.27
	250m	Y = 0.570 x + 1.821	0.854	0.25
	300m	Y = 0.721 x + 0.593	0.917	0.23
	350m	Y = 0.872 x - 0.412	0.967	0.17
TypeB	50m	Y = 0.118 x + 0.801	0.576	0.11
	100m	Y = 0.236 x + 0.517	0.777	0.13
	150m	Y = 0.350 x + 0.480	0.832	0.17
	200m	Y = 0.468 x + 0.451	0.894	0.17
	250m	Y = 0.598 x + 0.108	0.938	0.16
	300m	Y = 0.724 x + 0.048	0.960	0.16
	350m	Y = 0.864 x - 0.296	0.983	0.12
TypeC	50m	Y = 0.099 x + 1.520	0.373	0.10
	100m	Y = 0.193 x + 2.305	0.557	0.14
	150m	Y = 0.282 x + 3.404	0.684	0.15
	200m	Y = 0.419 x + 2.382	0.748	0.19
	250m	Y = 0.574 x + 0.765	0.807	0.22
	300m	Y = 0.739 x - 1.039	0.874	0.23
	350m	Y = 0.891 x - 1.865	0.950	0.16

<sup>†</sup> Y : split time at each mark (s) , x : 400m time (s) , R<sup>2</sup> : adjusted coefficient of determination, SEE : standard error of estimate

<sup>††</sup> TypeA : Speed endurance type, TypeB : Mid type, TypeC : Speed drop type



のレースパターンについて検討した研究は見当たらない。

### (1) レースパターンとパフォーマンスとの関係

絶対的な走スピードに着目すると、パフォーマンスの高い競技者は、レースの序盤からレース全体にわたって高い走スピードを発揮している傾向が認められた(表 5-2, 図 5-2, 5-3)。

一方、森丘ほか(2005)は、記録を競う競技において、レースの全ての局面で高い走スピードを獲得および維持することが重要であることは当然であるものの、同時に走スピードの維持が求められる競技種目においては、単なる走スピードの高低のみならず、相対的なペース配分の指標を手掛かりに、パフォーマンスの高い競技者のレースパターンの傾向を明らかにすることが重要であると述べている。そこで、本研究では、区間タイム比や走スピード変化率などを、レースパターンを表す指標とし、パフォーマンスとの関係について検討した。

まず、400m 走タイムと区間タイムとの相関係数に着目すると、1st100m が最も小さく(0.589)、3rd100m において、0.887 と極めて高い値を示した(図 5-3)。このことは、レース全体の中でも、特に3rd100m のタイムとパフォーマンスとの関係が強いことを示している。また、相対的なペース配分の指標となる区間タイム比や走スピード変化率に着目すると、3rd100m および 4th100m において、区間タイム比と 400m 走タイムとの間に正の相関関係が認められた(図 5-4)。400m 走タイムと区間タイム比との正の相関関係は、パフォーマンスの高い者ほどその区間に要する時間がレース全体の中で相対的に短いこと、すなわち、400m 走を同タイムで走った場合、その区間をより高いスピードで疾走していることを示すものである。さらに、2nd100m および 3rd100m において、400m 走タイムと走スピード変化率

との間に負の相関関係が認められた (図 5-5). ここで,  $\Delta S_{2nd100m}$  は, 前の区間からのスピードの増加を表す正の値を示しているが, これは, 前の区間にあたる 1st100m が, 静止した状態からのスタートおよび加速を含み, 2nd100m と比較して区間タイムが相対的に長くなるためであると考えられる. 先述したように, 走スピードは, 50-100m 区間において最高値に達し, 以降ゴールまで漸減するため (図 2), 実際には 2nd100m において加速が生じているわけではない. したがって,  $\Delta S_{2nd100m}$  の値は, 2nd100m における走スピードの低下に受ける影響が大きいと考えられ, 他の区間と同様に, 値が大きいほど走スピードが維持できているとみなすことができると考えられる (森丘ほか, 2005). これらのことを踏まえ考察すると, 400m 走タイムと走スピード変化率との間に見られた関係は, パフォーマンスの高い者ほど, 2nd100m および 3rd100m において, 走スピードをより維持していることを示すものであると考えられる. 一方で,  $\Delta S_{4th100m}$  や, レース全体の走スピードの低下を評価した走スピード遞減指標と 400m 走タイムとの間には, 有意な相関関係は認められなかった (図 5-5, 図 5-6). これらのことをまとめると, パフォーマンスの高い競技者は, 100m から 300m 付近において, 高い走スピードを維持しており, 特に 3rd100m のタイムと 400m 走タイムとの関係が強いこと, すなわち, レースの中盤にあたる区間の疾走が重要であることが示唆されたといえる. 緒言でも述べたように, 400m 走のレースパターンに関する先行研究は, データ収集の問題から, レースパターンとパフォーマンスとの関係について適切に検討が行えていたとは言い難い. 本研究では, 先述したような多数の競技者の十分に実力を発揮できたと考えられるレースを対象に, レースパターンを評価するための様々な指標から, レースパターンとパフォーマンスとの関係について検討した. その結果, 従来指摘されてきたよう

なレース全体や終盤での疾走スピードの低下とパフォーマンスとの関係は必ずしも強くないこと、一方で、レースの中盤区間にあたる 3rd100m のタイムやスピードの維持がパフォーマンスと関係していることが明らかとなったことは意義深い。

これらの結果について、森丘ほか（2005）は、国内外の一流 400m ハードル走競技者を対象に、パフォーマンスとレースパターンとの関係について検討し、レース序盤に獲得した走スピードを中盤（本研究での 2nd100m および 3rd100m 付近）において出来るだけ低下させないペース配分が、高いパフォーマンスを達成するために有効であることを示唆している。また、400m 走と同等の 48-50 秒程度の自転車ペダリング運動において、運動開始時から最高回転数を出力するよりも、試技の中盤区間において回転数や努力感を維持することによって高いパフォーマンスが達成できることが報告されている（金原ほか，1971；山本ほか，2009）。さらに、指導書においても、男子 400m 走前世界記録保持者である Michael Johnson 氏のコーチである Hart（1993）は、200m 地点以降にスピードを上げる意識を持つことや、200m から 300m へ移行する走りを習得することが、400m 走において高いパフォーマンスを達成する上で重要であると指摘している。これらはいずれも、レースの中盤区間において走スピードを維持し、高い走スピードを獲得することの重要性を示唆するものであり、本研究の結果を支持するものである。

なお、400m 走タイムと%1st100m との間に、有意な負の相関関係が認められたことは（図 5-4）、パフォーマンスの高い競技者ほど、1st100m が相対的に「遅い」ことを示すものであり、400m ハードル走においても、同様の傾向が報告されている（森丘ほか，2005）。しかしながら、レースの中盤から後半にかけて、走スピードが維持できており、レース全体に占める

100m 以降の区間の割合 ( $\%_{2nd100m}$ ,  $\%_{3rd100m}$  および  $\%_{4th100m}$ ) が小さくなると,  $\%_{1st100m}$  は計算上大きくなり, 1st100m を相対的に「遅く」疾走していると評価されてしまう. したがって, パフォーマンスの高い競技者は,  $\Delta S_{2nd100m}$  および  $\Delta S_{3rd100m}$  が小さく (図 5-5),  $\%_{3rd100m}$  および  $\%_{4th100m}$  が小さいこと (図 5-4), さらに, レース序盤から絶対的な走スピードが高いことを考慮すると (表 5-2, 図 5-2,3), 実際に競技者が, スタート後の 100m を相対的 (主観的) に「遅く」疾走しているかは, 本研究のデータからは明らかにできない. そのため, この点については, 競技者の主観的な努力度に関する調査や, レース中の走スピードを, 各競技者の最大疾走能力と対比させて検討するなど, さらなる検討が必要である. また, 1st100m にあたるスタートから最高走スピードに至るまでの加速局面は, レース全体のペース配分にも大きく影響する局面であると考えられ, 指導を行う上でも重要なポイントになる (Hart, 1993; 荻部, 2009b; 土江, 2011). 一方で, スプリント走の加速局面における走スピードの変化は, 他の局面と比較して急激なものであり (Debaere et al., 2013; 内藤ほか, 2013), 400m 走においても同様の傾向がみられる (Hanon et al., 2010; 尾縣ほか, 1998). 本研究では, データ収集の手法上, 通過タイムから得られる 50m 毎の疾走スピードしか評価できず, 400m 走の加速局面の疾走動態について, 詳細な検討を行うことは困難である. したがって今後は, 加速局面のより詳細なデータ収集を行い, パフォーマンスの高い競技者がどのようにスピードを増加させているのかを検討することが必要である.

## (2) レースパターンの類型化とモデルレースパターン

ここまでは, パフォーマンスの高い競技者のレースパターンの特徴について考察を行っ

てきた。その結果、ペース配分の指標である区間タイム比や走スピード変化率、走スピード  
逓減指標と 400m 走タイムとの相関係数に着目すると、いずれも相関係数は比較的低い値を  
示し、散布図を見ても、特にレース終盤 (4th100m) においては、ばらつきが大きかった (図  
5-4, 5, 6)。また、群間の有意差も、パフォーマンスレベルが大きく異なる群間に認められた  
のみであった (表 5-3, 4)。先述したように、パフォーマンスの高い競技者は、レースの中盤  
区間において高い走スピードを獲得および維持するレースパターンを示す傾向にあった。  
一方で、このようなペース配分に関する指標の結果は、レースパターンとパフォーマンスと  
の関係が、必ずしも強くないこと、換言すれば、いずれのパフォーマンスレベルにおいても、  
多様なレースパターンを示す競技者が存在することを示すものであると考えられる。尾縣  
ほか (2000) は、日本一流競技者を対象とした研究において、400m 走競技者には、絶対的  
なスピードに優れる者や、スピードの持続能力に優れる者など、多様なタイプが存在し、そ  
れに伴ってレースパターンも極めて多様であることを指摘しており、指導現場においても  
このような競技者のタイプを考慮することの重要性が指摘されている (Hart, 1993 ; 苅部,  
2009b ; Schiffer, 2008)。そして近年、スポーツパフォーマンスにおいて、競技者のタイプ (個  
性) に着目することの重要性が指摘され (阿江, 1999 ; Debaere et al., 2013 ; 内藤ほか, 2013 ;  
Salo et al., 2011), レースパターンに関しても、定性的・定量的なタイプ分け (類型化) が試  
みられている (門野ほか, 2008 ; 門野, 2011 ; 森丘ほか, 2007)。これらのことに鑑みると、  
従来からもその重要性が指摘されつつも、定量的な検討が十分に行われてこなかった 400m  
走のレースパターンのタイプについても類型化を試み、パフォーマンスとの関係について  
の検討や、具体的なペース配分の指標の提案を行うことによって、合理的なコーチング実践

に資する示唆を得ることができる。

そこで、陸上競技の 100m 走や、競泳の 100m 自由形のレース分析データを用いて、競技者の定量的なタイプ分けを行った先行研究を参考に（松田ほか，2010；内藤ほか，2013），レースパターンの類型化を試みた。区間タイム比を手がかりとしたクラスター分析の結果、対象者を「後半型」，「中間型」，「前半型」の 3 つのタイプに分類することができた（図 5-7，8）。先行研究や指導書においては，レースパターンを，走スピードの低下に着目し，低下の大きい「スピード型」や「前半型」，低下の小さい「持久型」や「後半型」，そしてその中間的な特徴を示す「イーヴン型」や「中間型」に分類しているものが多い（荻部，2009b；尾縣ほか，2000；Schiffer，2008）。本研究における各タイプの走スピードの変化からみた特徴は，これら先行研究や指導書の指摘と一致しており，実践現場の認識に即したレースパターンのタイプを，多くの競技者の公式競技会におけるデータをもとにして，定量的な手法によって示すことができたと考えられる。

レースパターンのタイプと 400m 走パフォーマンスとの関係について見ると，「前半型」である TypeC は，他のタイプと比較して 400m 走タイムが有意に低かった。このことは，より高いパフォーマンスを達成するためには，「後半型」あるいは「中間型」のレースパターンが有効である可能性を示唆するものである。しかしながら，いずれのタイプにも，本研究の中で最もパフォーマンスの高い G45-46 の競技者，あるいは最もパフォーマンスの劣る G49 の競技者が含まれており，先述したように，いずれのパフォーマンスレベルにあっても，様々なレースパターンを示す競技者が存在するものと考えられる。

さらに，本研究では，コーチング実践において利用可能な客観的な指標を得るために，タ

イプ別のモデルレースパターンの作成を試みた。ハードル走種目において、目標記録を達成するためのモデルタッチダウンタイムの作成を行った先行研究を参考に（川上ほか，2004；宮下，1993），400m 走タイムをもとに，50m 毎の各地点のモデル通過タイムを推定する式を作成した。推定式のあてはまりの高さを示す決定係数は，概ね高い値を示しており（ $R^2=0.7$ 以上），これらの推定式を用いることで，各地点の通過タイムを高い精度で推定することが可能であると考えられる。

推定式の活用例として，前世界記録（43.18 秒）のデータをもとに，実際の通過タイムと本研究の推定式を用いたモデル通過タイムとを比較してみる。世界記録樹立時の通過タイムは，100m 毎にそれぞれ 11.10 秒－21.22 秒－31.66 秒であったと報告されている（Ferro et al., 2001）。一方，本研究の推定式を用いると，43.18 秒のモデル通過タイムは，後半型のパターンでは，それぞれ 11.13 秒－21.19 秒－31.73 秒であり，同様に中間型では 10.71 秒－20.66 秒－31.31 秒，前半型では 10.64 秒－20.47 秒－30.87 秒となる。これらのことから，実際の世界記録は，いずれの地点も，本研究で作成した後半型のモデル通過タイムの 0.1 秒以内の範囲で通過していることがわかる。コーチング実践においては，このように実際の競技者のレースやトレーニングにおける各地点の通過タイムを計測し，推定式によって算出される各タイプのモデル通過タイムと比較することで，個々の競技者の特徴や課題を評価することが可能になると考えられる。さらに，目標とする記録を達成するためのモデル通過タイムを求めることで，トレーニングを行う上での客観的な指標としても利用可能であろう。

## 5. まとめ

本研究課題の目的は、異なるパフォーマンスレベルにある 400m 走競技者のレースパターンを分析することで、陸上競技男子 400m 走における高いパフォーマンスを達成するためのレースパターンを明らかにするとともに、レースパターンの評価および目標設定モデルとしてのモデルレースパターンを作成することであった。その結果、従来指摘されてきたようなレース全体や終盤での走スピードの低下とパフォーマンスとの関係は必ずしも強くないこと、一方で、パフォーマンスの高い競技者は、スタート後 100m から 300m 付近における走スピードの低下が少なく、レースの中盤区間において高い走スピードを発揮していることが示唆された。同時に、パフォーマンスとペース配分に関する指標との関係は、比較的弱いものであり、いずれのパフォーマンスレベルにあっても、様々なレースパターンを示す競技者が存在することが示唆され、レースパターンの評価および目標設定のための目安となるタイプ別のモデルレースパターンを作成することができた。



## VI. 陸上競技 400m 走におけるレースパターンタイプの異なる競技者の体力特性【研究課題 2-1】

### 1. 目的

研究課題 1（第 V 章）の結果から、400m 走競技者のレースパターンは、いずれのパフォーマンスレベルにあっても、様々なレースパターンを示す競技者が存在し、レースパターンの個人差（タイプ）が顕著であることが明らかとなった。

400m 走は 40-50 秒の運動時間を要し、無酸素性および有酸素性の両エネルギー供給機構が高い割合で動員される（Duffield et al., 2005）、高強度の短時間持久的運動であり、体力的な要因がレースパターンに影響を及ぼすことは想像に難くない。これまでにも、400m 走パフォーマンスや走スピードの遞減度合いと各種体力的要因との関係が検討されてきた。中でも、代表的なものとして、最大酸素摂取量や最大酸素借を指標とした筋へのエネルギー供給能力（最大酸素摂取量：Mero et al., 1993；Olsen et al., 1994；Ramsbottom et al., 1994。最大酸素借：森ほか，2012；Ramsbottom et al., 1994；Weyand et al., 1994；吉岡ほか，2009。酸素負債：前村ほか，2005；尾縣ほか，1998a；尾縣ほか，1998b）、筋力および筋パワーの発揮および持続能力（Miguel and Reis, 2004；森ほか，2012；尾縣ほか，1998a，2003b；安井ほか，1998b）が 400m 走のパフォーマンスおよびレースパターンに影響を及ぼす体力的因子であることが示唆されている。しかしながら、400m 走競技者の総合的な体力的特性とレースパターンのタイプとの関係について直接的に検討した研究は、尾縣ほか（2000）の報告が見られるのみである。この研究では、日本トップレベルの選手を対象とした事例的な検討によっ

て、前半型の競技者は 100m 走や 200m 走において高い競技成績を有するのに対し、後半型の競技者は、最大酸素摂取量や筋の持久性に優れ、800m 走において高い競技成績を有していたことが報告されている。しかしながら尾縣ほか (2000) の研究は、3 名の日本トップレベル競技者を対象とした事例的な報告であり、競技者の体力特性とレースパターンが関連している可能性を示すにとどまっており、さらなる検証が必要であると考えられる。

これらのことに鑑み、本研究課題では、陸上競技 400m 走におけるレースパターンタイプの異なる競技者の体力特性の比較を試みた。

## 2. 方法

### (1) 分析対象者

分析対象者は、国内の公式競技会に出場した男子 400m 走および混成競技者 19 名 (400m 走記録 :  $49.33 \pm 2.07$  秒) とした。

対象者のレースパターンのタイプの判定には、研究課題 1 (第 V 章) で作成したタイプ別モデルレースパターンを利用した。まず、各対象者の 400m 走記録をもとに、前半型、中間型、後半型それぞれのタイプの 200m のモデル通過タイムをモデルレースパターンから求めた。次に、各対象者の実際の 200m の通過タイムとモデル通過タイムとの絶対誤差を算出し、この絶対誤差が最も小さいタイプを、当該競技者のレースパターンのタイプと判定した。対象者 A (400m 走記録 : 49.73 秒) を例に挙げると、49.73 秒のタイプ別のモデル通過タイムは、前半型、中間型、後半型それぞれ、23.21 秒、23.74 秒、23.97 秒であり、対象者 A の実際のレースにおける 200m 通過タイム (23.90 秒) との絶対誤差はそれぞれ、0.69 秒、0.16 秒

0.07 秒となる。したがって、後半型のモデル通過タイムとの絶対誤差が最も小さくなるため、対象者 A のレースパターンのタイプは後半型と判定できる。同様の手順で、全ての対象者のレースパターンのタイプを判定した。なお、本研究課題では、特徴的なタイプである前半型と後半型の比較を行った。モデルレースパターンをもとに判定した各タイプの対象者数、400m 走記録はそれぞれ、前半型：n=6, 48.82±1.14 秒；後半型：n=6, 48.30±0.91 秒であった。

## (2) データ収集および測定項目

### 1) レースパターン

レースの撮影方法および Overlay 方式を用いた通過タイムおよび区間走スピードの算出方法は、研究課題 1 と同様である。

### 2) エネルギー供給能力

無酸素性および有酸素性エネルギー供給能力を評価するために、最大酸素借 (MADO) および最高酸素摂取量 ( $VO_{2peak}$ ) を、大型トレッドミル (ORK7000, 大武ルート工業社) における最大下テストおよび超最大固定負荷テストによって測定した (Medbø, et al., 1998 ; 森, 2012)。運動中の呼気ガス指標は自動呼気ガス分析器 (AE310-S エアロモニター, ミナト医学) を用いて、breath-by-breath 法により分析した。

最大下テストは、4 分間の固定負荷テストを、2 分間の休息を挟み、5 回行った (Finn et al., 2000 ; 森ほか, 2012)。最大下テストは、最初のトレッドミルスピードを 150mm/min と

し、各ステージで 20m/min ずつ漸増させた。各最大下テスト中の後半 2 分間の酸素摂取量の平均値をその走スピードに対する酸素需要量とし、走スピードと酸素摂取量の直線回帰式を求めた。この時の直線回帰式の相関係数は、 $r=0.99$  以上を基準とした。

最大下テストから 30 分程度の休息をはさみ、被検者毎に設定した 2~3 分程度で疲労困憊に至るスピードでの超最大固定負荷テストを行った。被検者または検者が、それ以上の走行が不可能であると判断した時点で、疲労困憊に至ったと判断し、運動を終了させた。この時に得られた走スピードを、先に求めた走スピード-酸素摂取量の直線式に外挿した値を超最大運動における酸素需要量とし、得られた酸素需要量と運動時間との積算値を超最大運動における総酸素需要量とした。総酸素需要量から運動中の総酸素摂取量を減じることで総酸素借を求め、この値を MAOD とした。MAOD は体重 1kg あたりの相対値で算出した。また、超最大負荷固定負荷テスト中の酸素摂取量を 1 分毎に平均し、その最高値を  $VO_{2peak}$  とし、有酸素性エネルギー供給能力の指標とした。

### 3) 下肢の筋パワー発揮および持続能力

下肢の最大発揮パワーおよびパワー持続能力を評価するために、Wingate Test を行わせた (森ほか, 2011)。電磁ブレーキ式自転車エルゴメーター (Power Max-VIII, コンビウエルネス社) を用い、体重の 7.5% 負荷で 30 秒間の全力ペダリングを行わせた。運動中に発揮したパワーを測定するため、エルゴメータから出力されたパワー値を、AD コンバーター (KRS-413XF1, サンワ社) および USB 変換ケーブル (RUUSRL1, プラスアップ社) を介し、0.01 秒毎にパーソナルコンピュータ (INSPIRON1300, DELL 社) に入力した。得られたデータ

を 1 秒毎に平均し，その最高値を最高パワー (Peak power)とした．また，最高パワーから最低パワーに低下したパワーの低下率を，Fatigue Index (FI) として，以下の式より算出した．

$$\text{Fatigue index (\%)} = (\text{最高パワー} - \text{最低パワー}) / (\text{最低パワー出現時間} - \text{最高パワー出現時間}) \times 100$$

#### 4) 最大走スピード能力

最高走スピード能力の評価指標として，対象者の 100m 走の自己最高記録を用いた．

### (3) 統計処理

各測定項目の平均値および標準偏差を算出した．タイプ間の平均値の差の検定は，対応のない t 検定を用いて行った．有意性は危険率 5%未満で判定した．

## 3. 結果

400m 走記録は，前半型と後半型との間に有意な差は認められなかった．

各体力測定項目の対象者全体の平均値はそれぞれ，最大酸素借：61.16±7.66ml/kg，最高酸素摂取量：56.44±3.11ml/kg，Wingate test における最高パワー：12.98±0.52W/kg，Wingate test における FI：22.2±2.2%，100m 走タイム：11.10±0.44 秒であった．

図 6-1 は，各測定項目の前半型および後半型の平均値の比較を示したものである．いずれの測定項目についても，タイプ間に有意な差は認められなかった．

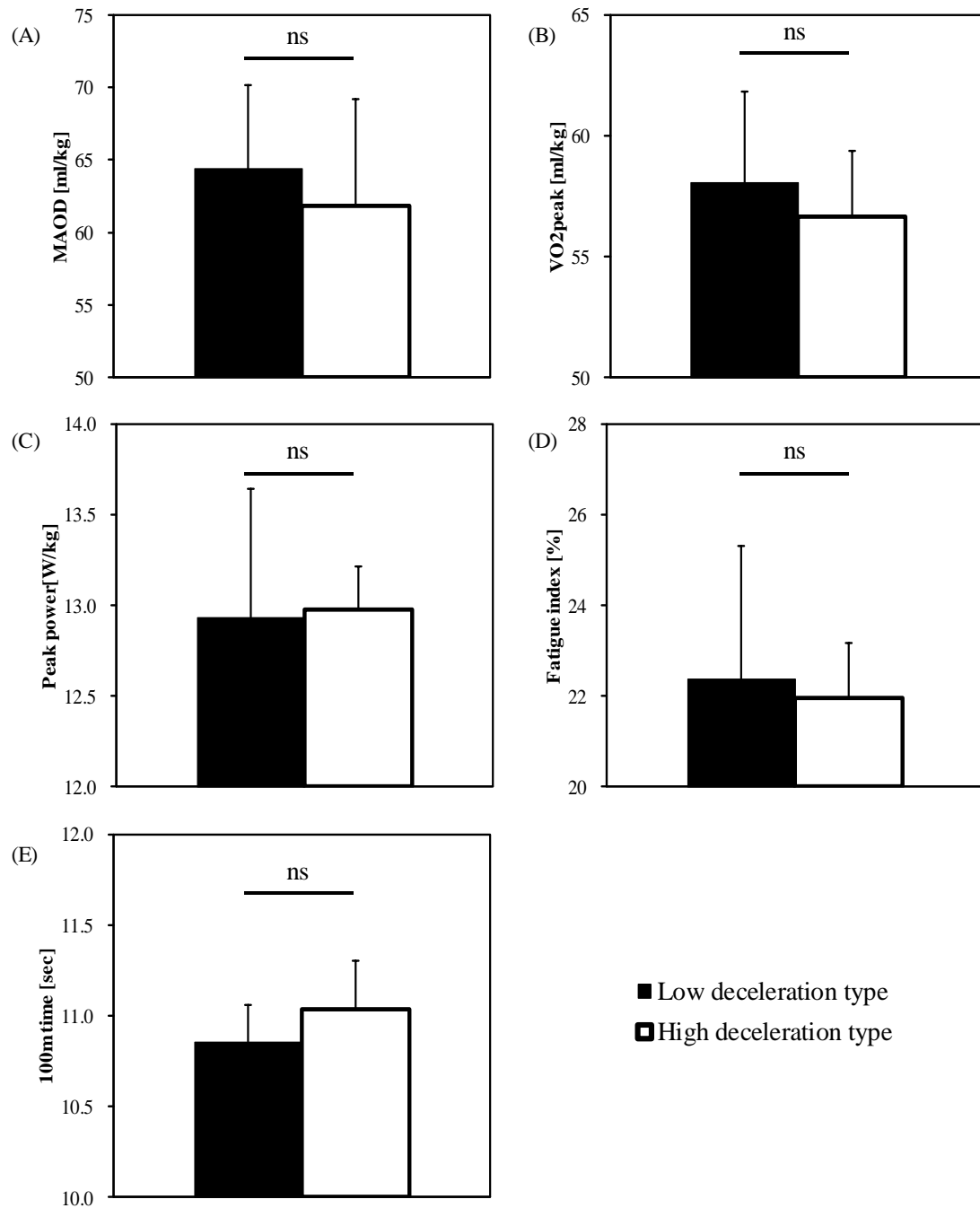


Figure6-1 MAOD, VO2peak, peak power, Fatigue index and 100m time for each type.  
 ns : No significant difference ( $p > 0,05$ ) between types.

#### 4. 考察

本研究課題の目的は、レースパターンの異なる競技者の体力特性を比較し、レースパターンに影響を及ぼす体力因子を同定することであった。そのために、先行研究において検討されてきた代表的な 400m 走競技者の体力評価指標である、最大酸素借、最高酸素摂取量、全カペダリング運動における最高パワー、パワー低下率、そして、最高走スピード能力の評価指標としての 100m 走の自己最高記録を測定した。エネルギー供給能力および下肢の筋パワー発揮能力の各測定項目の値は、先行研究の値と概ね一致していた（森ほか，2012）。対象者の 400m 走の公式記録は、全対象者の平均値で  $48.56 \pm 2.07$  秒であり、45.87 秒から 53.32 秒の範囲であった。対象者の競技レベルの幅は日本トップレベルから一般学生レベルまで比較的広い傾向にあるが、全ての対象者が少なくとも 3 年以上の競技歴を有し、同一のチームで専門的なトレーニングを行っており、群間の 400m 走記録に有意な差は認められなかったため、このような競技レベルの幅が結果に及ぼす影響は低いと判断し、比較を行った。

本研究課題では、先行研究において 400m 走パフォーマンスやレースパターンのタイプ、レース中の走スピードの低下度合いと関連する可能性が示唆されている体力因子を測定し（最高酸素摂取量：Mero et al., 1993 ; Olsen et al., 1994 ; Ramsbottom et al., 1994. 最大酸素借：森ほか，2012 ; Ramsbottom et al., 1994 ; Weyand et al., 1994 ; 吉岡ほか，2009. 筋力および筋パワーの発揮および持続能力：Miguel and Reis, 2004 ; 森ほか，2012 ; 尾縣ほか，1998a, 2003 ; 安井ほか，1998），レースパターンタイプの異なる競技者間で比較を行った。それにも関わらず、測定した 5 つの項目のいずれにおいても、前半型と後半型との間に有意な差は認められなかった。400m 走のパフォーマンスやレースパターンと体力的な要因について検討した

先行研究の多くは、400m 走競技者だけでなく、100m 走や中長距離競技者を被検者に含むものが散見される (Mero et al., 1993 ; 尾縣ほか, 1998a, ; Olsen et al., 1994 ; Weyand et al., 1994 ; 安井ほか, 1998b). これらの競技者は、トレーニング背景や体力特性および 400m 走レースへの習熟度が大きく異なり、これらのことは、先行研究の結果に影響を及ぼしていると考えられる。麻場ほか (1990) は、疾走能力と筋線維組成との関係について検討し、非競技者と比較した場合、短距離競技者の脚筋における速筋線維の割合は高いものの、高い競技レベルを有する短距離競技者のみを対象とした場合、筋線維組成の割合は加速能力や持久能力を決定する要因には必ずしもならないことを報告している。この報告から、集団の特性によって、体力特性と疾走能力との関係は大きく異なる可能性があることが推察される。本研究では、400m 走を専門とする競技者および、専門種目 (十種競技) の中に 400m 走が含まれる混成競技者を対象としており、日常的に 400m 走のための専門的なトレーニングを行っている者のみを対象としている。したがって、本研究の対象者は、先行研究と比較して、400m 走のための一般のおよび専門的な体力および技術を有する集団であるため、先行研究で見られたようなレースパターンと体力的要因との関連が認められなかった可能性が考えられる。したがって、400m 走のコーチングに資するより実践的・専門的な知見を得るためには、400m 走を専門とする競技者を対象としたより詳細な研究が、今後さらに必要であると考えられる。

またここで、レース分析から明らかとなる「レースパターンのタイプ」と、体力特性から明らかとなる「アスリートのタイプ」との関係について改めて整理する必要がある。本研究課題では、まず対象者の公式競技会におけるレース分析結果から、研究課題 1 で作成した



モデルレースパターンをもとに、個々の「レースパターンのタイプ」を判定した。次に、400m 走に関連する複数の体力因子について測定し、競技者個々の体力特性の評価を行った。このような競技者個々の体力特性は、上記の「レースパターンのタイプ」に対して、体力特性からみた「アスリートのタイプ」ともいうべきものである。これら2つの「タイプ」は、これまで、特に指導現場において、しばしば同一視され、混同されてきている。例えば荻部 (2016) は、指導書において、「400m には 200-400m 型と 400-800m 型の2つのタイプがある」とし、「200-400m 型ランナーはスピードが持ち味で、そのスピードを生かして前半から気持ちよく飛ばしていくレース展開」「ラスト 100m は疲労との戦いとなり、400-800m 型ランナーの追い上げから逃げ切らなければなりません」と述べており、また Schiffer (2008) は、スピードを基礎とした競技者と、持久力を基礎とした競技者がいると指摘し、スピードタイプは前半の走スピードが高く、持久タイプは前半と後半のタイム差が小さいとしている。これらの記述からは、「アスリートのタイプ」すなわち体力特性と、レース中のスピードの変化パターンである「レースパターンのタイプ」が、極めて密接に関連し、ほぼ同一のものであるという認識を伺い知ることができる。

一方で、多くの先行研究の結果からも、両者が密接に関連していることは想像に難くないが、上記の荻部 (2016) の記述のように、単純な同一視をすることは適切ではないと考えられる。例えばスピード能力に優れ、持久能力に劣る競技者（いわゆる「スピード型」の競技者）が、レース後半における深刻なスピード低下を避けるためにより余力を持って前半を通過する戦略を選択することや、反対に、持久能力に優れ、スピード能力に劣る競技者（いわゆる「持久型」）が、レース後半のスピード持続を期待し、前半から積極的にスピードを高

めていく戦略を選択することも充分考えられる。本研究課題では、全ての競技者がその時点での最適なレースパターンを選択しているという前提のもとに、対象者をレースパターンをもとにタイプ分けし、体力特性の比較を行うことで、レースパターンに影響を及ぼす体力因子の同定を試みた。しかし、上に挙げたように、レースパターンの前提となる主観的な「ペース配分」は、個々の競技者の選択の自由度が高く、事後分析によって単純に体力特性とレースパターンを関連付けることは適切でない可能性がある。したがって今後は、体力特性からみた「アスリートのタイプ」をもとに、能力を最大限に発揮できる最適な「レースパターンのタイプ」の選択方法を究明していく必要があると考えられる。そのためには、体力測定と同時に様々なレースパターンでの 400m 走を行わせ (Saraslanidis et al., 2010)、その際のパフォーマンスの変動を体力特性と関連付けて検討することや、長期的なトレーニングによる体力特性の変化とレースパターンの変化とを関連付けて検討することが必要であると考えられる。

以下では、個々の体力因子について考察を加える。最大酸素借は、無酸素性エネルギー供給能力を評価するための近年の代表的な指標であり、2-3 分程度で疲労困憊に至る運動における総酸素借として測定される。400m 走は、運動中の総エネルギー量の半分以上を無酸素性エネルギー供給機構から得ており (Duffield et al., 2005 ; Spencer and Gastin, 2001)、無酸素性エネルギー供給能力が重要であることは想像に難くない。実際に、400m 走競技者を対象とした研究においても、400m 走パフォーマンスと最大酸素借との間に有意な相関関係が認められており (森ほか, 2012 ; 吉岡ほか, 2009)、最大酸素借は 400m 走のパフォーマンスに影響する重要な体力因子である。一方で、最大酸素借と 400m 走競技者のレースパターンと

の関係について検討した研究はこれまでにないようである。しかしながら、吉岡ほか (2006) は、400m 走を模した 45 秒間の自転車ペダリングテストの終盤のパワーの低下率と最大酸素借との間に有意な相関関係が認められたことを報告し、400m 走の終盤において走スピードを維持するためには無酸素性エネルギー供給能力が重要である可能性を示唆している。本研究課題では、レース終盤の走スピードの持続能力に優れる後半型の競技者の最大酸素借が、前半型の競技者よりもわずかに高値を示したが (図 6-1A)、統計的に有意な差は認められなかった。最大酸素借すなわち無酸素性能力の高低と、400m 走のレース終盤の走スピードの持続能力およびレースパターンのタイプに影響を及ぼす可能性についてはさらなる検討が必要である。

次に、最大パワー発揮能力、最大スピード能力の評価指標として測定した全力ペダリング運動における最高パワー (図 6-1C) および 100m 走の自己最高記録 (図 6-1E) は、タイプ間に有意な差は認められなかった。400m 走は、40-50 秒間の運動時間を有する種目であるとはいえ、短距離走種目に分類され、最高走スピードとパフォーマンスの間には有意な相関関係が認められる (研究課題 1, 第 V 章)。すなわち、高い走スピードおよびパワーを発揮できる能力を有することが重要な種目であることは言うまでもない。日本トップレベル競技者を対象とした事例的報告においても (尾縣ほか, 2000)、前半型の競技者は 100m 走や 200m 走において優れた成績を有していたことが報告されている。一方で、Abbiss and Laursen (2008) は、ある運動における最適なペース配分は、個々のアスリートの持久的な能力によって決定されると指摘しており、本研究課題の結果からも、最高パワーや最高走スピード能力のレースパターンのタイプへの影響は小さいものと考えられる。

一方で、持久的能力を評価した最高酸素摂取量および自転車ペダリング運動のパワー低下率 (Fatigue index) も、タイプ間に有意な差は認められなかった。最高酸素摂取量は、有酸素性エネルギー供給能力の代表的指標であると同時に、全身の持久的能力を評価するための指標である。400m 走競技者を対象とした研究においても、パフォーマンスの高い競技者は優れた有酸素性能力を示すことや (Mero et al., 1993 ; Olsen et al., 1994), 近年では無酸素性能力の低さを有酸素性能力の高さで補償できる可能性も示唆されている (吉岡ほか, 2009)。一方、レースパターンとの関係についてみると、日本トップレベル競技者を対象とした事例的報告において (尾縣ほか, 2000), 後半型の競技者は高い有酸素性能力を有していたことが報告されているが、400m 走中の走スピードの低下率と有酸素性能力との間に有意な関係は認められなかったとする報告もある (尾縣ほか, 1998)。先述したように、400m 走後半の走スピードの持続には、有酸素性能力よりもむしろ無酸素性能力が影響している可能性が示唆されていることを考慮すると (吉岡ほか, 2006), 有酸素性能力の指標である最高酸素摂取量は、レースパターンのタイプとの関係性は低いと考えられる。

最後に、本研究課題の限界と今後の課題について言及する。本研究課題では被検者数が 19 名と少なく、各タイプに十分な被検者数を確保することができなかった。そのため、今後は、被検者数を増やした上でのさらなる検討が必要である。また、本研究課題では、従来から 400m 走競技者の体力特性の評価に用いられてきた代表的な指標を測定項目としたが、いずれの体力因子も、前半型と後半型の間には有意な差は認められず、レースパターンのタイプに影響を及ぼす体力因子を同定することはできなかった。このことは、本研究で測定した以外の体力因子が、レースパターンのタイプに影響を及ぼしている可能性を示唆するものであ

り、今後それらの因子のさらなる探求が必要になるものと考えられる

## 5. まとめ

本研究課題では、陸上競技 400m 走におけるレースパターンタイプの異なる競技者の体力特性について、エネルギー供給能力、下肢のパワー発揮能力および最高走スピード能力の観点から検討した。レース前半の走スピードが高い前半型とレース後半の走スピードの低下が小さい後半型を比較すると、いずれの体力因子も、前半型と後半型の間に有意な差は認められず、レースパターンのタイプは、必ずしも競技者の体力特性によって決定されるものではないことが示唆された。一方で、本研究で測定した以外の体力因子が、レースパターンのタイプに影響を及ぼしている可能性も考えられ、今後それらの因子のさらなる究明とともに、競技者の体力特性をもとにした適切なレースパターンの選択方法についても探求が必要になるものと考えられる。

## VII. 陸上競技 400m 走におけるレースパターンタイプの異なる競技者の疾走動態【研究課題 2-2】

### 1. 目的

研究課題 1 (第 V 章) の結果から, パフォーマンスの高い 400m 走競技者のレースパターンの特徴として, スタート後 100m から 300m 付近における走スピードの低下が少なく, レースの中盤区間において高い走スピードを発揮している傾向が見られること, それに加えて, いずれのパフォーマンスレベルにあっても, 様々なレースパターンを示す競技者が存在し, レースパターンの個人差 (タイプ) が顕著であることが示唆された. そして, これまで, 400m 走のレースパターンのタイプは, 競技者の体力的特性と関連付けて論じられることが多かった (尾縣ほか, 2000). しかしながら, 研究課題 2-1 (第 VI 章) の検討の結果, レースパターンのタイプは, 必ずしも競技者の体力的特性によって決定されるものではないことが示唆された.

一方で, レースパターンは, 競技者の技術的特性から影響を受けることも想像に難くない. 走スピードは, 単位時間あたりの歩数であるステップ頻度と 1 歩の歩幅であるステップ長によって決定されるため, 走スピードの変化であるレースパターンは, これら両変数の変化と密接に関連していると考えられる. ステップ頻度およびステップ長は, スプリント走における技術および戦術の基礎的かつ総合的な評価指標として, 研究領域ならびに指導現場において頻繁に利用されている. 近年においても, スプリント走の加速能力の評価 (Nagahara et al., 2014), 個人内の 100m 走パフォーマンスの変動との関係 (Salo et al., 2011), ピッチ型・

ストライド型といったスプリンターの個人差（タイプ）の検討など（内藤ほか，2013），スプリント走を評価するための研究が頻繁に行われている。

一方，400m 走のステップ頻度およびステップ長について，レース全体にわたる変化を分析し，走スピードの変化と関連づけて検討した研究は少なく，Hanon and Gajer（2009）の研究が見られる程度である。この研究では，スタートからフィニッシュまでの変化のパターンが，ステップ頻度とステップ長で異なること，世界トップレベルの競技者はレース前半から中盤におけるステップ長が顕著に大きいことが示唆されている。しかしながら，Hanon and Gajer（2009）の研究は，パフォーマンスレベルの大きく異なる競技者間の比較にとどまっておき，レースパターンのタイプとステップ頻度およびステップ長の変化パターンとの関係については検討されていない。したがって，レースパターンタイプの異なる競技者のステップ頻度およびステップ長から見た疾走動態の特徴は明らかでない。

これらのことに鑑み，本研究課題では，陸上競技男子 400m 走におけるレースパターンタイプの異なる競技者のステップ頻度およびステップ長の変化からみた疾走動態の比較を試みた。

## 2. 方法

### (1) 分析対象者およびレースの撮影

分析対象者は，国内の公式競技会に出場した男子 400m 走競技者 63 名（400m 走記録：47.31±1.06 秒，45.62-49.97 秒）とした。

対象者の選定基準およびレースの撮影方法は，研究課題 1 および研究課題 2-1 と同様であ

る.

対象者のレースパターンのタイプの判定には、研究課題 2-1 と同様に、研究課題 1 (第 V 章) で作成したタイプ別モデルレースパターンを利用した。各対象者の 400m 走記録をもとに、前半型、中間型、後半型それぞれのタイプの 200m のモデル通過タイムを求め、対象者の実際の通過タイムとの絶対誤差が最も小さいタイプを、当該競技者のレースパターンのタイプと判定した。なお、本研究課題では、特徴的なタイプである前半型と後半型の比較を行った。モデルレースパターンをもとに判定した前半型および後半型の対象者数、400m 走記録、身長はそれぞれ、前半型：n=22, 47.45±1.11 秒 (46.10-49.94 秒), 1.74±0.04m ; 後半型：n=19, 47.19±1.15 秒 (45.62-49.97 秒), 1.78±0.05m であった。

また、パフォーマンスレベルによる相違についても検討するために、対象者を、研究課題 1 の結果に鑑み、最もパフォーマンスレベルの高い 45-46 秒台の上位群と、それ以下のパフォーマンスレベルの下位群に群分けした。さらに、前半型および後半型それぞれの対象者も、同様の基準で上位群と下位群に群分けした。表 7-1 は、各群の対象者数および 400m 走タイムを示したものである。



**Table 7-1** 400m race time of each group.

	Total	High deceleration type	Low deceleration type
Total	47.31 ± 1.06 (45.62 - 49.97) n=63	47.45 ± 1.11 (46.10 - 49.94) n=22	47.19 ± 1.15 (45.62 - 49.97) n=19
Superior	46.50 ± 0.35 (45.62 - 46.99) n=34	46.58 ± 0.34 (46.10 - 46.99) n=11	46.37 ± 0.42 (45.62 - 46.90) n=11
Inferior	48.25 ± 0.80 (47.01 - 49.97) n=29	48.32 ± 0.91 (47.10 - 49.94) n=11	48.32 ± 0.83 (47.09 - 49.97) n=8

† Values show mean±standard deviation.

## (2) データ処理

Overlay 方式を用いた通過タイムおよび区間走スピードの算出方法は、研究課題 1 と同様である。

ステップ頻度は、50m 毎の各区間における区間内の最初の接地から最後の接地までの歩数をカウントするとともに、その間に要した時間を算出し、歩数を時間で除すことによって求めた。なお、歩数は、左右差の影響を排除するために、偶数歩（12-20 歩）とした。ステップ長は、区間平均走スピードをステップ頻度で除すことで算出した（持田ほか，2007；持田・杉田，2010）。また、ステップ長への体格の影響を考慮し、ステップ長を身長で除した身長比ステップ長を算出した（内藤ほか，2013）。

## (3) 統計処理

各測定項目の平均値および標準偏差を算出した。群間の平均値の差の検定は、対応のない t 検定を用いて行った有意性は危険率 5%未満で判定した。10%未満は有意傾向とし、考察の一助とした。

## 3. 結果

図 7-1 は、走スピード、ステップ頻度およびステップ長の対象者全体の平均値の変化を示したものである。走スピードは、スタート後急激に増加し、50-100m 区間で最高値に達した後、フィニッシュまで漸減した。ステップ頻度は、スタート直後に最高値を示し、フィニッ

シュまで漸減したが、レースの中盤（200-300m 付近）で維持される傾向がみられた。一方、ステップ長は、走スピードと同様にスタート後急激に増加し、100-150m 区間で最高値を示し、以降フィニッシュまで漸減した。

前半型と後半型の間には、400m 走記録は、有意な差は認められなかった。身長は、後半型が有意に高値を示した ( $p<0.05$ )。

図 7-2 は、走スピード、ステップ頻度およびステップ長の前半型、後半型および全体の平均値の変化を示したものである。走スピードは、前半型が 200m までの各区間において有意に高値を ( $p<0.05$ )、後半型が 250m 以降の各区間において有意に高値を示した

( $p<0.05$ )。ステップ頻度は、レース前半から中盤において前半型が有意に高値を示した

( $p<0.05$ )。一方、ステップ長は、レース全体にわたって後半型が高値を示し、200m 以降の各区間では有意な差が認められた ( $p<0.05$ )。図 7-3 は、身長比ステップ長の前半型、後半型および全体の平均値の変化を示したものである。身長比ステップ長では、300m 以降の各区間に有意な差が認められた ( $p<0.05$ )。

図 7-4 は、全対象者を対象としたときの、上位群および下位群の走スピード、ステップ頻度およびステップ長の変化を示したものである。さらに図 7-5 は前半型、図 7-6 は後半型の、上位群および下位群の走スピード、ステップ頻度およびステップ長の変化を示したものである。対象者全体および両タイプにおいて、上位群は下位群と比較して、レース全体にわたって高い走スピードを発揮していた (図 7-4A, 7-5A および 7-6A)。また、対象者全体および両タイプにおいて、上位群は下位群と比較して、レース全体にわたってステップ長が大きい傾向にあり、対象者全体では 150m までの各区間において (図 7-4C)、前半型では、レー

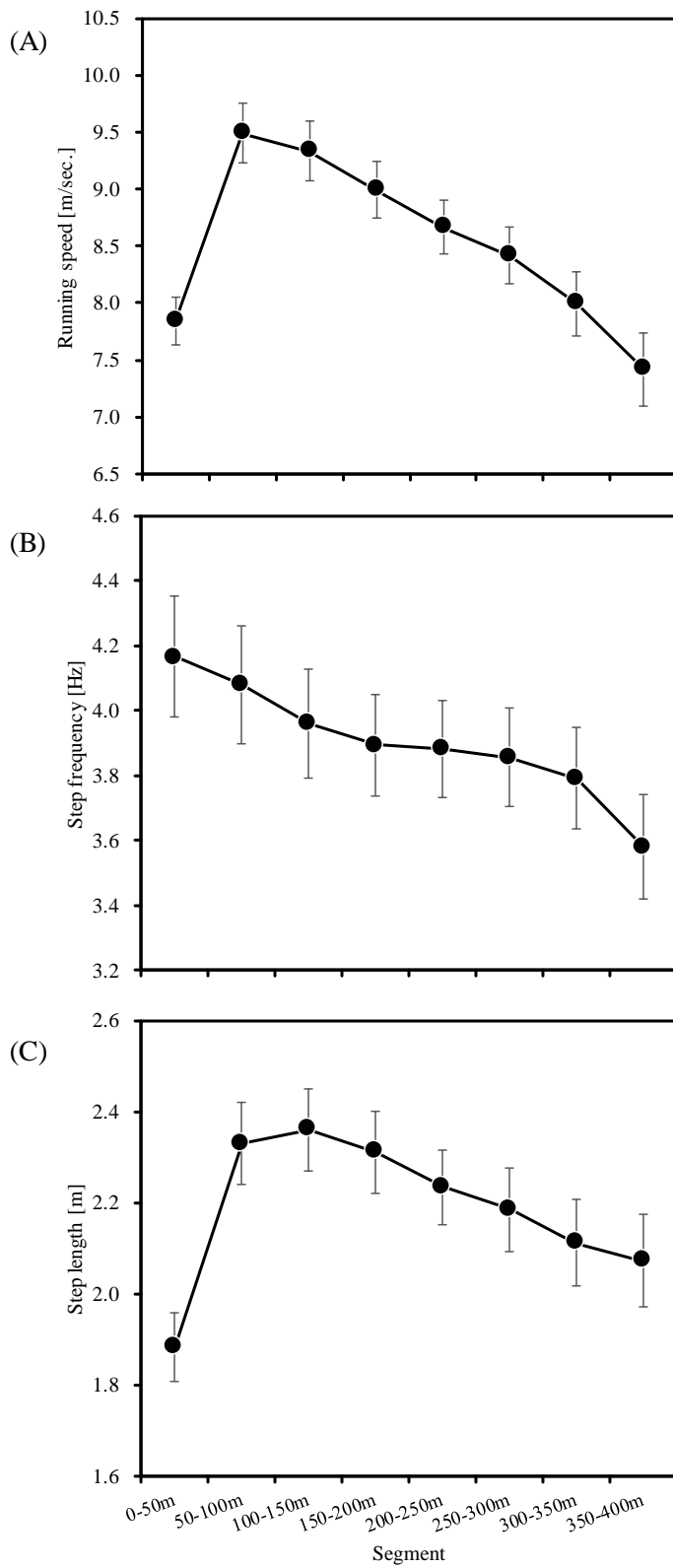


Figure7-1 Changes in running speed, step frequency and step length.

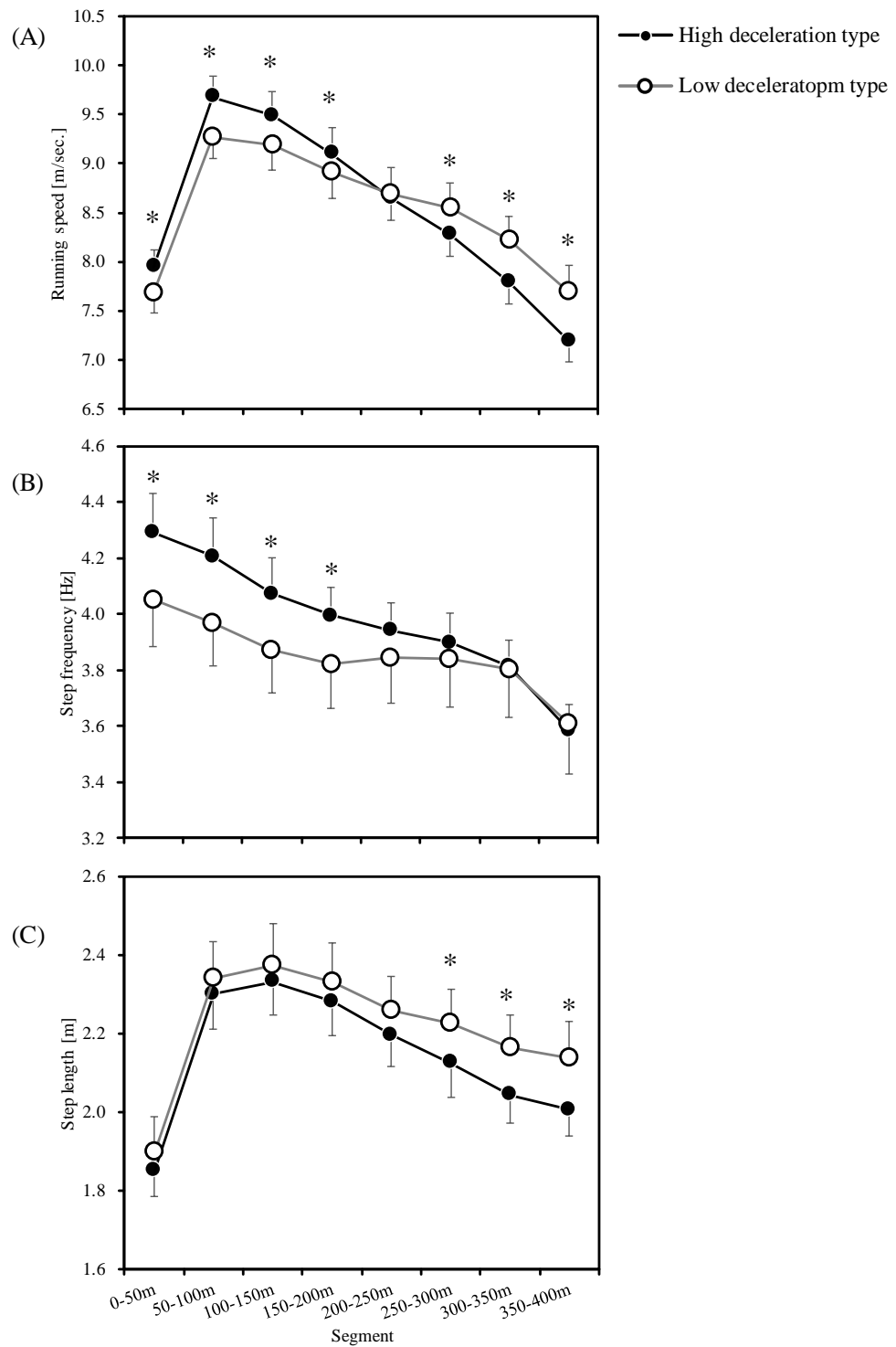


Figure7-2 Changes in running speed, step frequency and step length of each type.

\* : Significant difference ( $p < 0.05$ ) between the types.

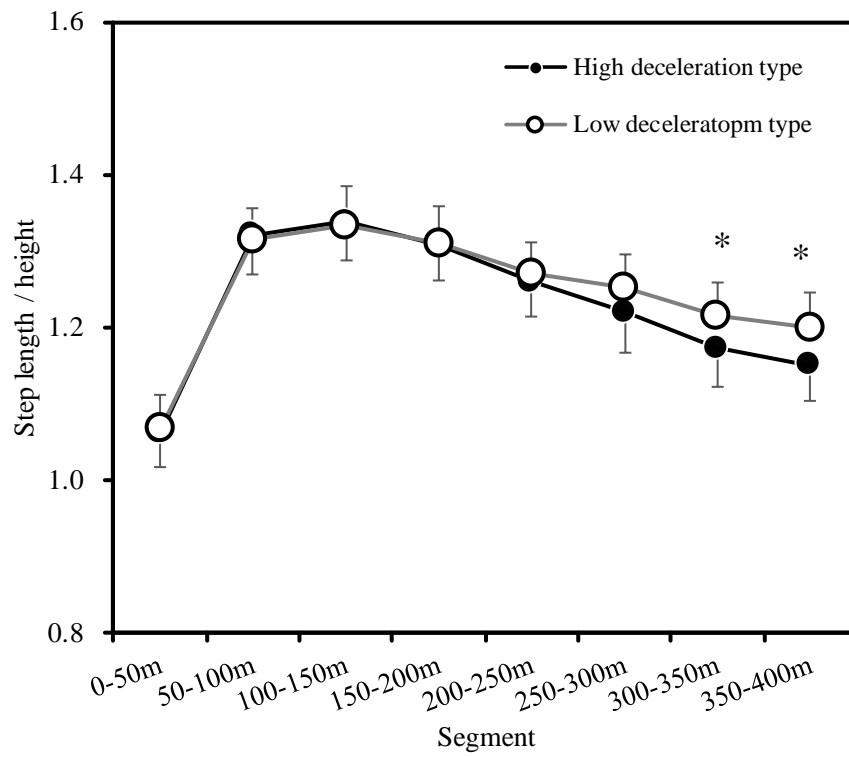


Figure7-3 Changes in relative step length of each type.

\* : Significant difference ( $p < 0.05$ ) between the types.

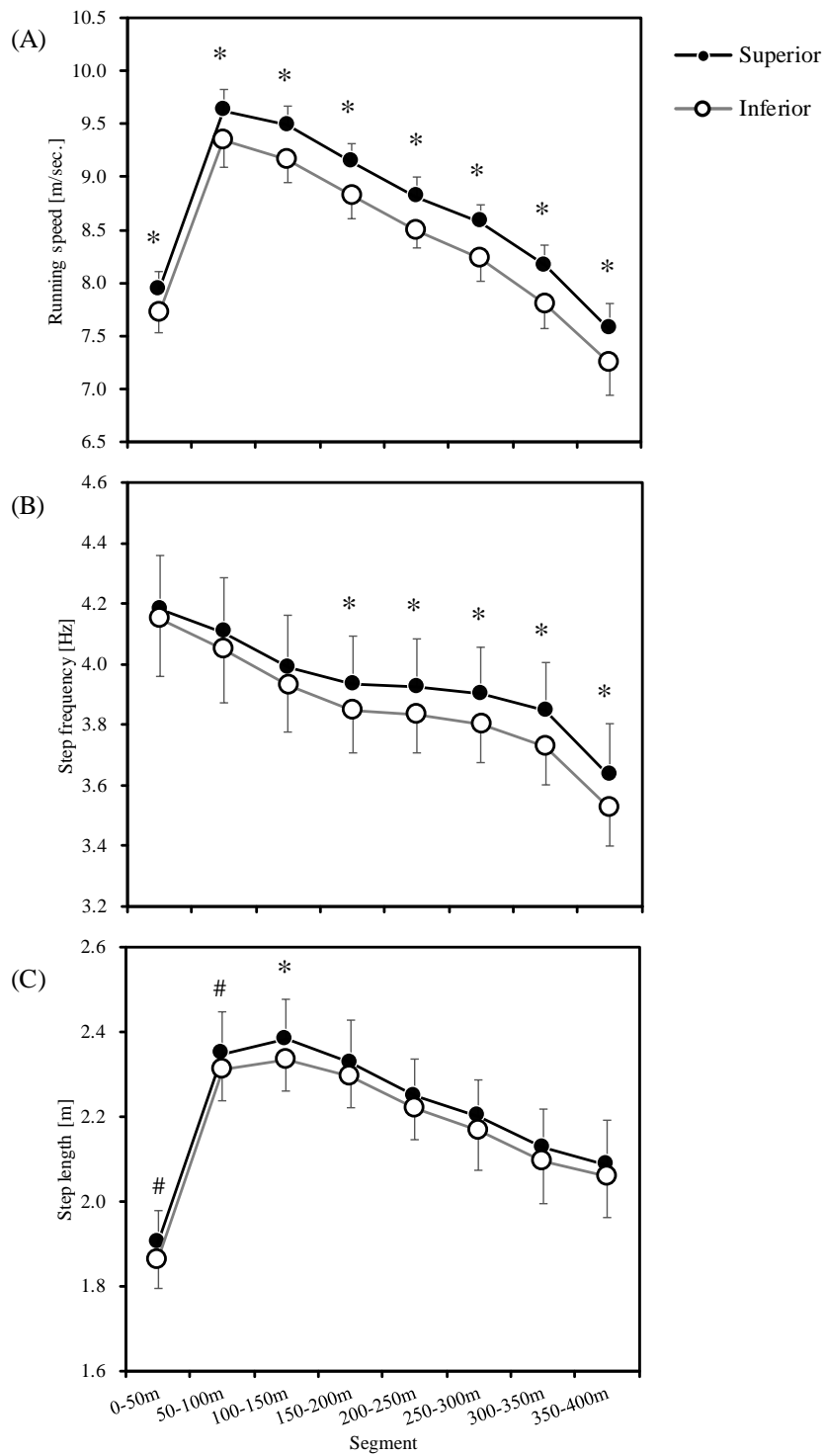


Figure7-4 Changes in running speed, step frequency and step length of each group.

\* : Significant difference ( $p < 0.05$ ) between the groups.

# : Significant difference trend ( $p < 0.10$ ) between the groups.

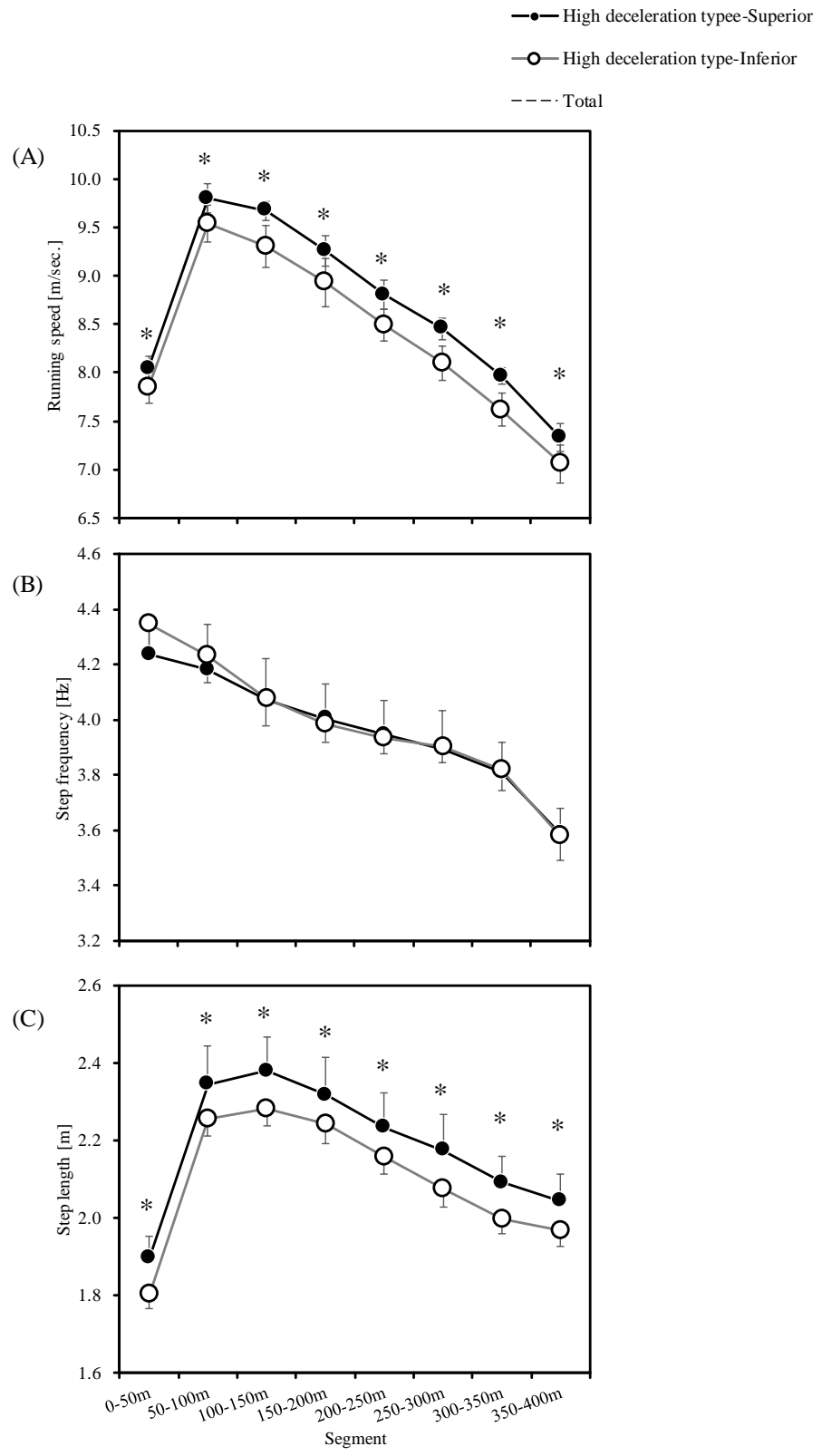


Figure7-5 Changes in running speed, step frequency and step length of high deceleration type.

\* : Significant difference ( $p < 0.05$ ) between the groups.



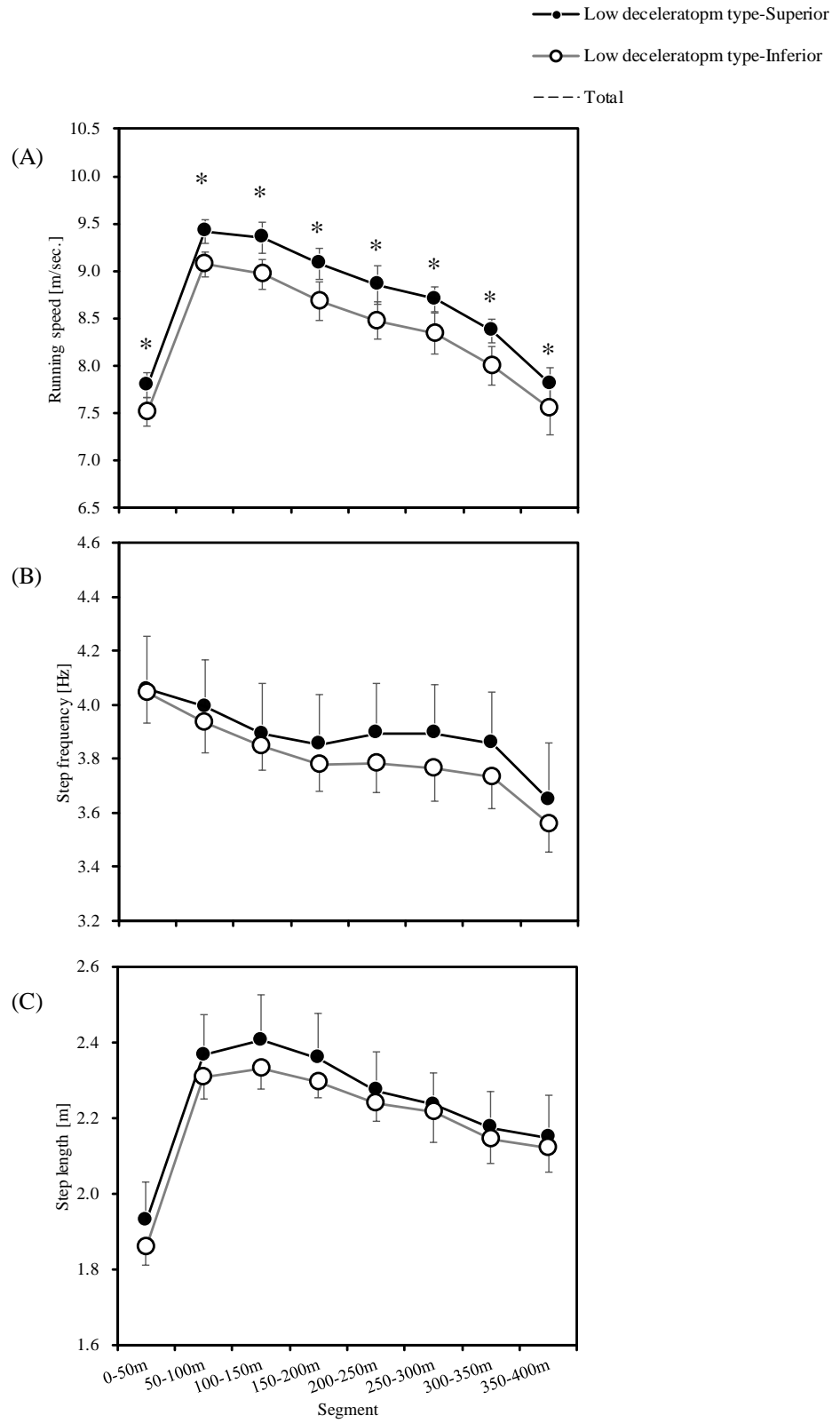


Figure7-6 Changes in running speed, step frequency and step length of low deceleration type.

\* : Significant difference ( $p < 0.05$ ) between the groups.

ス全体にわたって、有意な差が認められた (7-5C および 7-6C)。一方、ステップ頻度については、対象者全体では、150-200m 区間以降の各区間において、上位群が下位群に対して有意に高値を示し、後半型では、統計的に有意ではないものの、同様の傾向が見られた (図 7-4B, 7-5B および 7-6B)。

#### 4. 考察

本研究課題では、400m 走のステップ頻度およびステップ長の推移からみた疾走動態について、レースパターンタイプの異なる競技者の比較を試みた。対象者の 400m 走の公式記録は、全対象者の平均値で  $47.31 \pm 1.06$  秒であり、45.58 秒から 49.97 秒の範囲であった。この記録範囲は、2016 年度の日本ランキングでは、日本トップレベルから中学生トップレベルに該当しており、研究課題 1 とほぼ同等の競技レベルであった。

全対象者の平均値の推移から、本研究課題の対象者レベルでの 400m 走の疾走動態の一般的傾向について確認する (図 7-1)。走スピードは、スタート後増加し、50-100m 区間でピークに達し以降漸減した (図 7-1A)。ステップ頻度は、スタート直後にピークを示し漸減するが、レースの中盤で維持される傾向がみられた (図 7-1B)。一方、ステップ長は、走スピードと類似した変化パターンを示すが、100-150m 区間でピークに達したのち漸減し、特に 200-300m 付近で低下する傾向がみられた (図 7-1C)。これらの結果は、400m 走の公式レースにおける走スピード、ステップ頻度およびステップ長のスタートからフィニッシュまでの変化を示した Hanon and Gajer (2009) の報告と概ね一致するものであった。そして、走スピードがピークからフィニッシュまでほぼ一定に低下するのに対して、その構成因子であるス

テップ頻度およびステップ長の変化のパターンは顕著に異なり，両者の間には，一方が低下する局面で他方が維持される傾向がみられ，お互いの低下を補償し合うトレードオフのような関係があることが確認された．

次に，レースパターンのタイプ別の疾走動態の特徴について考察する．走スピードの変化は，前半型が 200m までの各区分において有意に高値を，後半型が 250m 以降の各区分において有意に高値を示し，両タイプの特徴をよく反映していた（図 7-2A）．次に，両タイプのステップ頻度およびステップ長の特徴を確認すると，前半型は，レース全体にわたってステップ長が小さく，レース前半のステップ頻度が高く，レース後半にかけての低下が大きかった．一方，後半型は，レース全体，特にレース後半におけるステップ長が大きく，レース前半のステップ頻度は低いものの，レース後半での低下が小さかった．これからのことは，400m 走のレースパターンには，レース前半におけるステップ頻度のコントロールと，レース後半におけるステップ長の維持能力が影響している可能性を示唆している．以下では，これらの結果について，3つの観点から考察を加える，第1の観点は，走運動における主観的努力度とステップ頻度の関係について，第2の観点は，ステップ頻度およびステップ長と走の経済性との関係について，第3の観点は，レース終盤においてステップ頻度またはステップ長のいずれを優先して維持すべきか，についてである．

まず，第1の観点である，走運動における主観的努力度とステップ頻度の関係について，等速条件下で，個人内で走スピードを変化させた研究によると（伊藤・村木，2005；Mero and Komi, 1986；村木，1983；村木ほか，1999），走スピードが最大に近い領域（主観的努力度では 80%以上）においては，走スピードの増大は，ステップ長をある程度犠牲にしてステップ

頻度を高めることによって達成されることから、高速度領域においては、走スピードのコントロールは主にステップ頻度によって行われるものと考えられている。したがって、本研究では、対象者のレース中の主観的努力度の変化等の内省については調査していないため、これ以上の考察は困難であるが、前半型の競技者は、レース前半における主観的な努力度が高いことにより、ステップ頻度が高く、走スピードが高くなったこと、一方で、後半型の競技者は、レース前半における主観的な努力度が低いことにより、ステップ頻度が低く、走スピードが抑えられていた可能性が考えられる。

次に、第2の観点である、ステップ頻度およびステップ長と走の経済性との関係について考察する。前半型は、レース前半において、ステップ長が小さく、ステップ頻度が高いステップ頻度優位の疾走を行うことで、レース後半におけるステップ頻度および走スピードの大きな低下を招いてしまっており、一方で、後半型は、レース前半において、ステップ頻度は低いもののステップ長が大きいステップ長優位の疾走を行っており、終盤まで走スピード、ステップ頻度およびステップ長を維持することができていた。これらのことは、400m走において、ステップ長優位の疾走がより経済的である可能性を示唆するものである。

Hanon and Gajer (2009) は、400mにおけるステップ頻度およびステップ長を100m走や200m走と比較し、400m走はステップ長が顕著に大きい種目であり、40-50秒間の持続的走運動において高いパフォーマンスを達成するために、リラクゼーションした疾走によって大きなステップ長を生み出すことが有効である可能性を示唆している。同様に門野(2015)は、800m走を対象とした研究において、レース前半においてステップ頻度が過剰に高くなることは、レース後半における股関節屈曲筋群の疲労とそれによる走スピードの低下を誘発す

るため、レース前半は最大努力に対して 80%程度のステップ頻度で大きなステップ長の獲得を目指すことが効果的な方略であると述べている。一方で、スプリント走における経済性（スプリントエコノミー、森丘ほか、2004；Rusko et al., 1993）に関する詳細な力学的、生理学的研究は、走行中の消費エネルギーの定量化に課題があり、近年においてもまだまだ不明な点が多いのが現状である（金子、2011）。本研究のレースパターンと疾走動態との関係も踏まえ、走の経済性と大きなステップ長との関係に関するさらなる検証が必要である。

最後に、第3の観点である、レース終盤においてステップ頻度またはステップ長のいずれを優先して維持すべきかについて考察する。本研究の結果から、後半型はレース終盤におけるステップ長が有意に大きく、一見、大きなステップ長を維持することでレース終盤まで走スピードを維持しているように見える。一方で、走スピードの維持には、ステップ頻度の維持が重要であると主張する研究も散見される。疲労走行時にパワーや筋活動に生じる変化について検討した Rabita et al. (2013) は、疲労の充進に伴って足関節に関係する筋群（下腿の筋であるヒラメ筋や腓腹筋）の活動が低下したのに対し、股関節の屈伸に関与する筋群（大腿の筋である大腿直筋や大腿二頭筋）の活動は増大する傾向がみられ、足関節の筋群の疲労を股関節の筋群の活動によって補償する方略（quadriceps-dominant strategy）が存在する可能性を示唆している。同様に、Kadono et al. (2013) は、600m 走の後半において、支持期の下肢関節のトルクやパワーは低下するのに対して、回復期の股関節のトルクやパワーは、非疲労時と比較して維持または増大される傾向を示したことを報告している。これらの研究はいずれも、支持期の下肢関節の機能低下によって生じるステップ長の減少を、回復脚股関節の働きによって、回復脚を素早く動かしステップ頻度を高めることで補償できる可能

性を示唆している。一方で、後半型のレースパターンを示す競技者は、本来顕著に低下する支持脚（特に足関節）のパワーを、レース終盤まで持続できる能力を有している可能性も考えられる。この点について平野ほか（2016）は、実験条件において 400m 走後半（350m 付近）の地面反力を実測し、学生競技者とオリンピック出場経験を持つ典型的な後半型の競技者との比較を行い、後半型の競技者は、ステップ長および足関節のトルクやパワーが顕著に大きかったことを報告している。これらのことから、今後は下肢関節のパワー発揮能力やその持続能力とレースパターンや疾走動態と関係を検証していく必要があると考えられる。

ここまでは、レースパターンタイプの異なる競技者のステップ頻度およびステップ長を比較することで、レースパターンの個人差に疾走動態が及ぼす影響を検討してきた。以下では、パフォーマンスレベルによる疾走動態の相違についても検討を加えることで、高いパフォーマンスを達成するための疾走動態に関する知見を得ることを試みる。対象者を、研究課題 1 の結果に鑑み、最もパフォーマンスレベルの高い 45-46 秒台の上位群と、それ以下のパフォーマンスレベルの下位群に群分けした。さらに、前半型および後半型それぞれの対象者も、同様の基準で上位群と下位群に群分けした。上位群は下位群と比較して、レース全体にわたって高い走スピードを発揮していた（図 7-4A, 7-5A および 7-6A）。この傾向は、研究課題 1（第 V 章）の結果に一致するものである。また、対象者全体および両タイプにおいて、上位群は下位群と比較して、レース全体にわたってステップ長が大きい傾向にあり、対象者全体および前半型においては、有意な差が認められた（図 7-4C, 7-5C および 7-6C）。Hanon and Gajer（2009）は、世界トップレベル、ナショナルレベル、地域レベルの 400m 走競技者の公式レースにおける走スピード、ステップ頻度およびステップ長を比較し、世界トップレ

ベルの競技者はレース前半から中盤におけるステップ長が顕著に大きいことを報告している。Hanon and Gajer (2009) の報告と本研究の結果はいずれも、400m 走において高いパフォーマンスを達成するためには、レース全体、特にレース前半において大きなステップ長を達成することが重要であることを示唆するものである。レース前半における大きなステップ長が、400m 走パフォーマンスやレースパターンに及ぼす影響に関する詳細なメカニズムについては、本研究の結果からこれ以上考察することはできないが、上述したように、後半型の競技者は、レース全体、特にレース前半においてステップ長優位の疾走を行っており、これは走の経済性と関連し、400-800m 走において高いパフォーマンスを達成する上で重要であることが示唆されている (Hanon and Gajer, 2009 ; 門野, 2015)。今後は、レース前半における大きなステップ長の有効性に関する詳細な検討や、大きなステップ長を獲得するための技術的・体力的要因の検討が必要であると考えられる。一方、ステップ頻度については、対象者全体では、150-200m 区間以降の各区間において、上位群が下位群に対して有意に高値を示し、後半型では、統計的に有意ではないものの、同様の傾向が見られた (図 7-4B, 7-5B および 7-6B)。上述したように、後半型は前半型と比較して、レース中盤以降でステップ頻度を維持することで走スピードの低下を抑制しており (図 7-2B)、さらには、レース後半の疲労した局面では、ステップ頻度を維持することが有効な方略であることが示唆されている (Kadono et al., 2013 ; Rabita et al., 2013)。また尾縣ほか (2003b) は、400m 走パフォーマンスの高い競技者は、ステップ頻度の低下が小さかったことを報告している。本研究の結果および先行研究の結果から、400m 走におけるステップ頻度は、レース前半に出現する最大値の高さではなく、中盤以降の維持が高いパフォーマンスを達成するためには重要で

あることが示唆される。

最後に、前半型と後半型の競技者との間には、身長に有意な差が認められ、後半型が有意に高値を示した。ステップ頻度およびステップ長は、下肢長や身長といった形態的要因と密接に関連しており、身長が高い者はステップ長が大きくなり、ステップ頻度が低くなる傾向が報告されている（宮代ほか，2013；内藤，2015；横井，1987）。したがって、本研究で見られた前半型と後半型の疾走動態の相違は、このような形態的な要因からも影響を受けている可能性が考えられ、このことから、形態的な要因もレースパターンのタイプに間接的に影響を及ぼしている可能性が考えられる。

## 5. まとめ

本研究課題では、陸上競技 400m 走におけるレースパターンタイプの異なる競技者のステップ頻度およびステップ長の変化からみた疾走動態の比較を試みた。レース前半の走スピードが高い前半型と、レース後半の走スピードの低下が小さい後半型とを比較すると、前半型は身長が低く、レース前半のステップ頻度が高い、後半型は身長が高く、レース後半のステップ長が大きいという特徴が見られた。これらのことから、400m 走のレースパターンのタイプには、レース前半から中盤にかけてのステップ頻度のコントロールおよびレース中盤から後半でのステップ長の維持能力が影響している可能性が示唆された。



## VIII. 陸上競技男子 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【研究課題 3】

### 1. 目的

これまでに、400m 走のレースパターンとパフォーマンスとの関係について横断的な調査が行われてきた (Coppinolle, 1980 ; Hanon and Gajer, 2009 ; 伊藤ほか, 1997 ; 尾縣ほか, 1998 ; 尾縣ほか, 2003). 研究課題 1 (第 V 章) では、国内の幅広い競技レベルにある多数の競技者のパフォーマンス (記録) とレースパターンを評価する種々の指標との関係について検討し、パフォーマンスの高い競技者は、レースの中盤区間において高い走スピードを維持していること、同時に、同等のパフォーマンスレベルであっても、レースパターンの個人差 (タイプ) が顕著であることを示した. 一方で、競技者のパフォーマンス向上に伴う縦断的な変化については、これまでに事例的な報告がわずかに見られるのみである (高野, 1993). 縦断的研究は、競技者のパフォーマンスが実際に向上する際に生じる変化を示すという点において、競技スポーツのコーチング実践に資する専門的な知見を得る上で重要である. 伊藤 (2003) は、短距離走に関する今後の研究課題として縦断的な研究の必要性を指摘しており、また谷川ほか (2011) は、国内のスプリントに関する研究について、横断的・基礎的な報告が充実している一方で、パフォーマンス向上に伴う変化に関する縦断的な変化が示されてこなかったことが、現場のトレーニングに活かす知見を提供するという点において問題であると述べている.

これらのことに鑑み、本研究課題では、400m 走競技者のパフォーマンスが向上する際に

生じるレースパターンの変化についての縦断的な検討を試みる。具体的には、競技者が自己最高記録を更新したレースにおけるレースパターンを、それ以前の当該競技者のレースパターンと比較することで、パフォーマンスが向上する際に多くの競技者に共通して生じるレースパターンの変化の傾向を明らかにする。このようなアプローチは、パフォーマンスの変化という結果と、それを生じさせた競技者やコーチの意図やトレーニング内容といった原因の対応関係は必ずしも明らかにはできないが、実際のパフォーマンスの向上に伴うレースパターンの変化という客観的事実を示すことで、そのような変化を生じさせるためのトレーニングやコーチング法を考案するための方向性を示すという点で意義深いものであると考えられる。さらに、研究課題 1（第 V 章）の結果に鑑みるに、400m 走のレースパターンは個人差が顕著であることから、レースパターンのタイプによってパフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化の傾向が異なる可能性が考えられる。そのため、タイプ別に変化の傾向を見ることにより、個々人の特性に応じたコーチングに資するより実践的な示唆を引き出すことが期待できる。

これらのことから、本研究課題では、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について検討することとした。

## 2. 方法

### (1) 分析対象者および分析対象レースの選定

分析対象者は、国内の公式競技会に出場した男子 400m 走競技者 13 名とした。

分析対象レースは、対象者が自己最高記録またはそれに近い記録を達成したレース (pre)

および、その記録を更新し自己最高記録を達成したレース (post) とした。なお、pre がその時点での自己最高記録でなかった対象者は 7 名であったが、いずれも自己最高記録達成率は 99%以上 (99.8±0.2%) であり、十分にその時点での実力を発揮したレースであったと判断した。

また、pre のレースパターンに着目し、対象者をタイプ分けした。ここで、研究課題 2 (第 VI 章および VII 章) と同様に、研究課題 1 (第 V 章) で作成したモデルレースパターンをもとにしたタイプ分けでは、前半型および後半型について、十分な対象者数を確保できなかった。そこで本研究課題では、pre のレースの走スピード逓減指標の平均値 (0.27) をもとに、走スピード逓減が小さいタイプを「後半型」(n=7)、走スピード逓減が大きいタイプを「前半型」(n=6) とした。なお、研究課題 1 (第 V 章) では、本研究課題の対象者と近い競技レベルにある 45-46 秒台群の走スピード逓減指標は  $0.31 \pm 0.05$  であった。本研究課題の対象者の値はやや小さく、すなわち、スピード逓減が小さい傾向があるものの、本研究課題の値と研究課題 1 (第 V 章) の 45-46 秒台群の値との間には、有意な差は認められなかった。したがって、本研究課題の対象者が母集団を大きく逸脱するものではなく、本研究課題の結果は、スピード逓減の大きいタイプの競技者 (前半型)、小さいタイプの競技者 (後半型) それぞれの特性を反映していると考えられる。対象者全体および各タイプの pre および post における 400m 走タイムはそれぞれ、全体 : pre  $47.04 \pm 0.72$  秒 ; post  $46.46 \pm 0.55$  秒、後半型 : pre  $46.90 \pm 0.68$  秒 ; post  $46.30 \pm 0.48$  秒、前半型 : pre  $47.20 \pm 0.73$  秒 ; post  $46.65 \pm 0.57$  秒であった。400m 走タイムは、タイプ間に有意差は認められなかった (Mann-Whitney の U 検定, pre :  $p=0.534$  ; post :  $p=0.295$ )。レースの撮影方法は、研究課題 1 と同様である。

## (2) データ処理

### ① 通過タイムの算出

Overlay 方式を用いた通過タイムおよびの算出方法は，研究課題 1 と同様である。

### ② 算出項目および方法

算出方法は，いずれも研究課題 1 および 2-2 と同様である。

- 1) 走スピード
- 2) 区間タイム
- 3) 走スピード変化率
- 4) 走スピード遞減指標
- 5) ステップ頻度およびステップ長

## (3) 統計処理

各測定項目の平均値および標準偏差を算出した。pre-post 間の有意差について，対応のある t 検定を用いて検討した。有意性は危険率 5%未満で判定した。また，10%未満を有意傾向として扱い，考察の一助とした。

### 3. 結果

図 8-1 は、pre における対象者全体および両タイプの走スピードの推移を示したものである。150-200m 区間までは、前半型の走スピードが高い傾向にあり、200-250m 区間以降は、後半型の走スピードが高い傾向が見られた。また、全体の平均値は、両タイプの中間的な値を示した。図 8-2 は、対象者全体の pre および post における走スピード (A)、ステップ頻度 (B) およびステップ長 (C) の推移の比較を示したものである。また図 8-3 は、後半型、図 8-4 は、前半型の、pre および post における走スピード (A)、ステップ頻度 (B) およびステップ長 (C) の推移の比較を示したものである。さらに表 8-1 は、対象者全体および両タイプの pre および post における区間タイム、走スピード変化率および走スピード遞減指標を示したものである。

対象者全体では、走スピードは、50-100m 区間から 300-350m 区間において有意差が認められ、post が高値を示した (図 8-2A)。また、post において、 $T_{2nd100m}$  および  $T_{3rd100m}$  が有意に短縮されていた (表 8-1)。ステップ頻度については、200-250m 区間から 300m-350m 区間において有意な差が認められ、いずれも post が高値を示した (図 8-2B, C)。一方、ステップ長については、いずれの区間においても有意な差は認められなかった。タイプ別の傾向については、まず後半型では、50-100m 区間から 150-200m 区間の走スピードに有意差が認められ、post が高値を示した (図 8-3A)。また、post において、 $T_{2nd100m}$  が有意に短縮するとともに、 $\Delta S_{3rd100m}$  が有意に減少 (低下率が増加) していた (表 8-1)。ステップ頻度およびステップ長については、ステップ頻度が、レース全体にわたって post において高値を示す傾向がみられ、300-350m 区間においては有意な差が認められた。一方、前半型では、走スピード

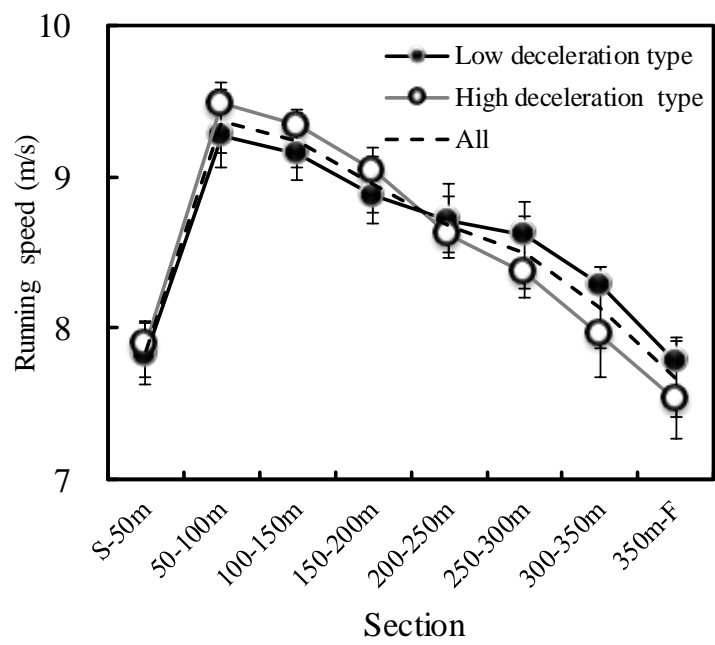


Figure8-1 Changes in running speed during pre race of all subjects and each type.

について、250-300m および 300-350m 区間において有意差が認められ、post が高値を示した（図 8-4A）。また、post において、 $T_{3rd100m}$  が有意に短縮していた（表 8-1）。ステップ頻度およびステップ長については、250-300m 区間および 300-350m 区間におけるステップ頻度、また、300-350m 区間から 350-400m 区間におけるステップ長に有意な差が認められ、いずれも post が高値を示した。走スピード遞減指標については、対象者全体および両タイプにおいて、有意な変化は認められなかった（表 8-1）。

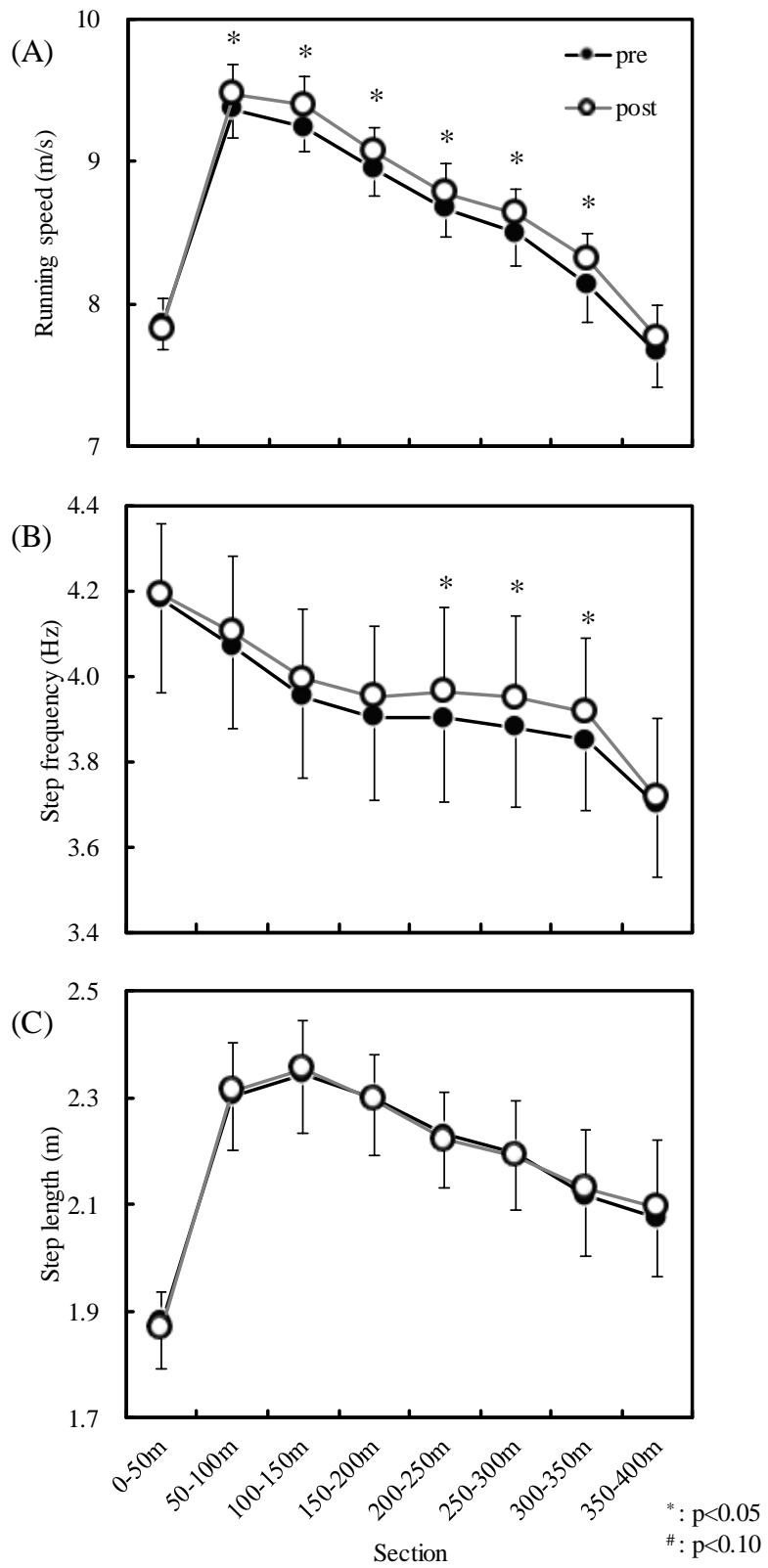


Figure8-2 Changes in running speed (A) , step frequency (B) and Step length (C) during pre and post races of all subjects..



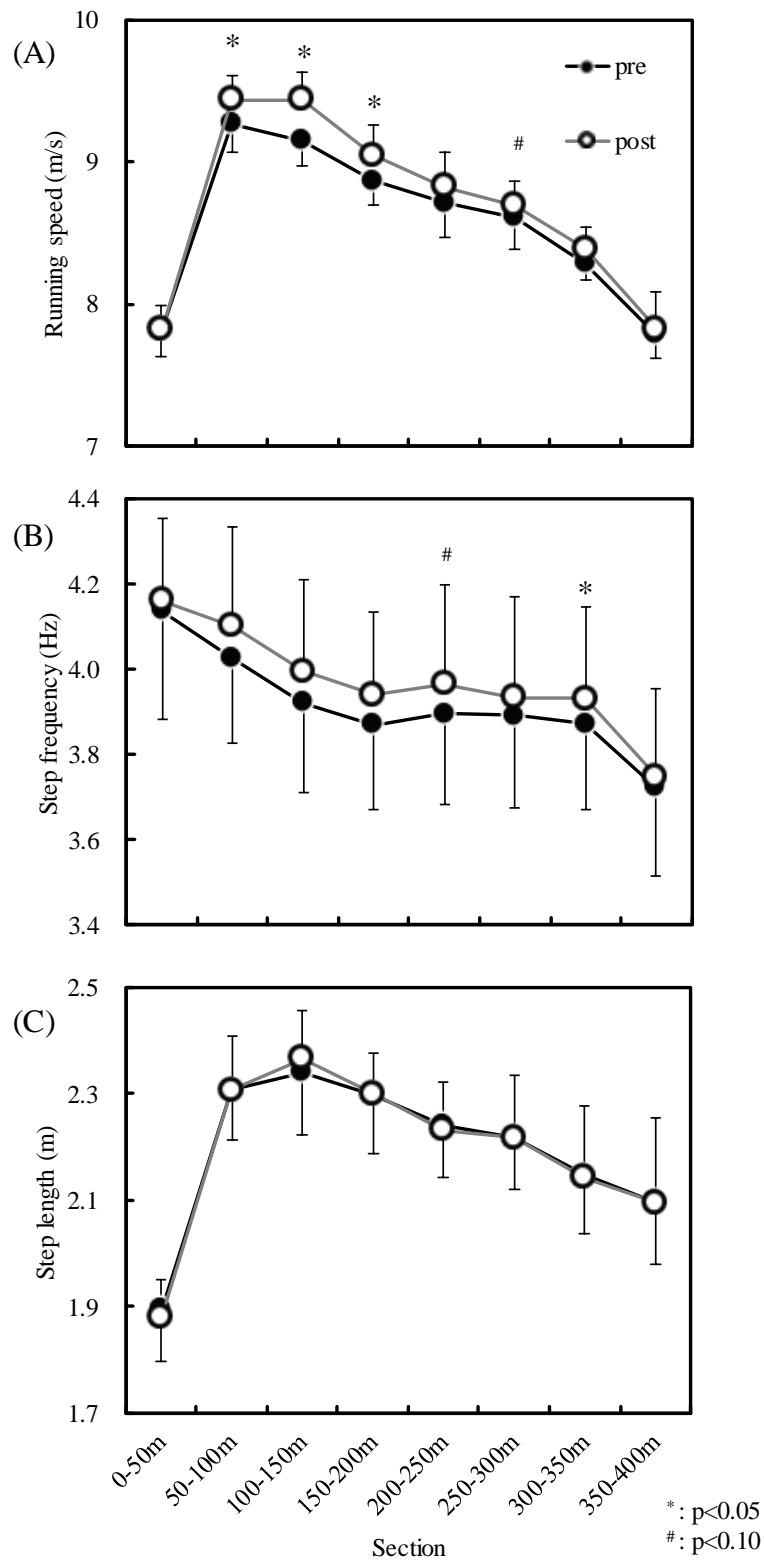


Figure8-3 Changes in running speed (A) , step frequency (B) and Step length (C) during pre and post races of the Low deceleration type.

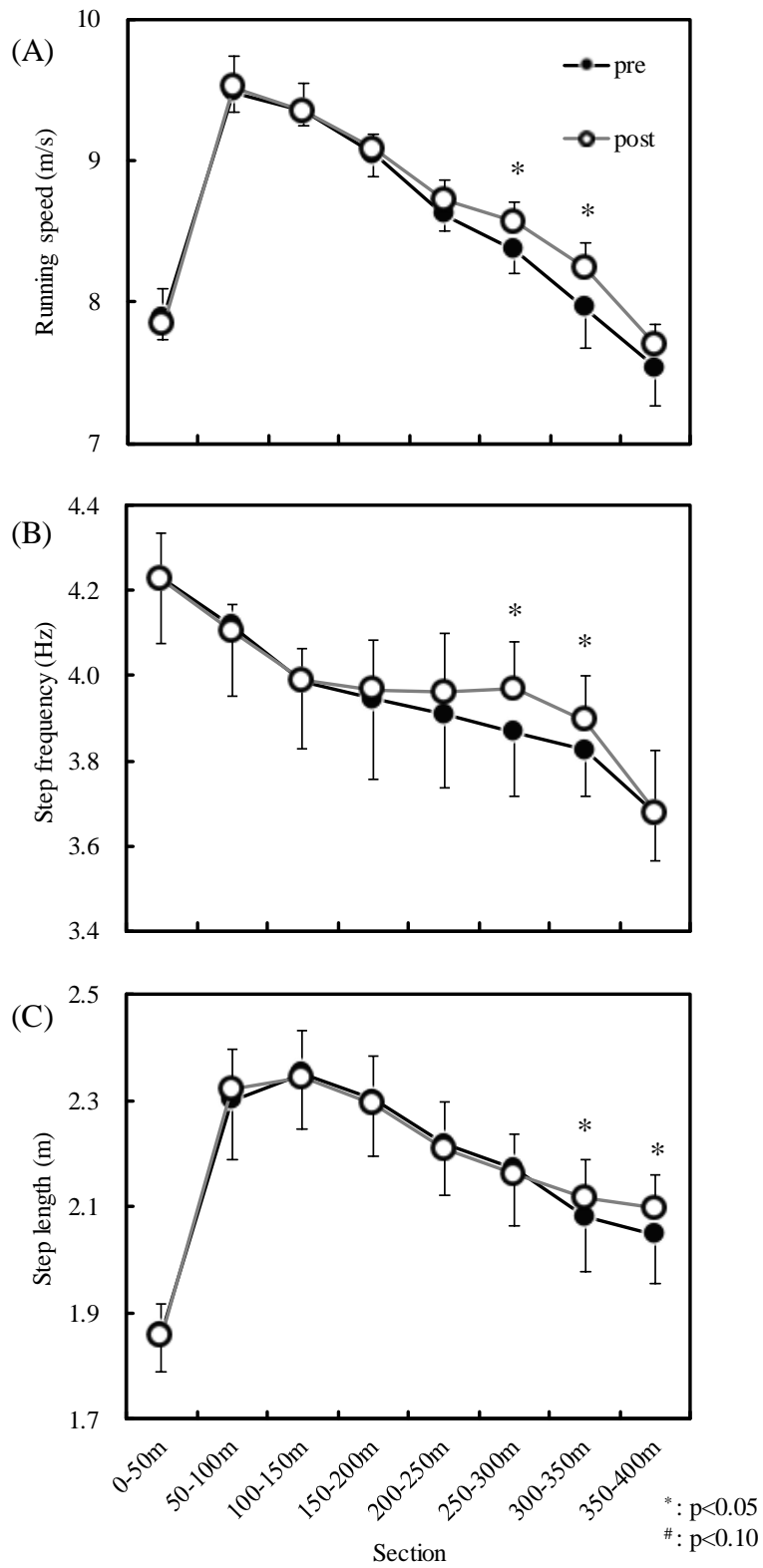


Figure8-4 Changes in running speed (A) , step frequency (B) and Step length (C) during pre and post races of the High deceleration type.

**Table 8-1** Segment time, Rate of change of running speed and the deceleration index of the subjects.

	Total n = 13			Low deceleration type n = 7			High deceleration type n = 6		
	pre	post	Dif.	pre	post	Dif.	pre	post	Dif.
T <sub>1st100m</sub>	(s) 11.71 ± 0.25	11.67 ± 0.27	0.04 ± 0.17	11.79 ± 0.26	11.70 ± 0.22	0.09 ± 0.17	11.61 ± 0.19	11.64 ± 0.32	-0.03 ± 0.14
T <sub>2nd100m</sub>	(s) 11.00 ± 0.21	10.84 ± 0.21	0.16 ± 0.23 *	11.10 ± 0.22	10.83 ± 0.24	0.27 ± 0.20 *	10.88 ± 0.13	10.86 ± 0.17	0.02 ± 0.18
T <sub>3rd100m</sub>	(s) 11.66 ± 0.27	11.49 ± 0.24	0.17 ± 0.14 *	11.55 ± 0.30	11.42 ± 0.26	0.13 ± 0.14 #	11.78 ± 0.14	11.57 ± 0.19	0.21 ± 0.12 *
T <sub>4th100m</sub>	(s) 12.68 ± 0.42	12.46 ± 0.27	0.22 ± 0.38 #	12.46 ± 0.20	12.36 ± 0.28	0.10 ± 0.31	12.94 ± 0.46	12.57 ± 0.20	0.37 ± 0.41
ΔS <sub>2nd100m</sub>	(%) 6.0 ± 1.7	7.1 ± 1.6	-1.1 ± 1.7 #	5.8 ± 1.8	7.4 ± 1.7	-1.6 ± 1.8 #	6.2 ± 1.5	6.7 ± 1.4	-0.5 ± 1.4
ΔS <sub>3rd100m</sub>	(%) -6.0 ± 2.6	-6.0 ± 1.9	0.0 ± 2.0	-4.0 ± 1.7	-5.5 ± 1.8	1.5 ± 0.9 *	-8.3 ± 1.3	-6.6 ± 1.8	-1.7 ± 1.6 #
ΔS <sub>4th100m</sub>	(%) -8.8 ± 3.5	-8.5 ± 3.0	-0.3 ± 3.9	-8.0 ± 3.4	-8.3 ± 3.5	0.3 ± 3.8	-9.8 ± 3.4	-8.6 ± 2.1	-1.2 ± 3.8
Deceleration index	0.27 ± 0.07	0.28 ± 0.06	-0.01 ± 0.08	0.22 ± 0.04	0.26 ± 0.07	-0.04 ± 0.07	0.33 ± 0.05	0.29 ± 0.05	0.04 ± 0.07

<sup>†</sup>Values show mean±standard deviation.

<sup>††</sup>Dif. : pre - post

<sup>†††</sup>\* or # : Significant difference (\* : p<0.05, # : p<0.10, respectively) between pre and post.

<sup>††††</sup>Deceleration index is the slope of the liner relationship between running speed and the number of the sections from the peak running speed to the finish.

#### 4. 考察

本研究課題の目的は、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について縦断的に検討することで、パフォーマンス向上を目指した合理的なコーチングに資する基礎的知見を得ることであった。そのために、競技者が自己最高記録を達成したレース (post) におけるレースパターンを、それ以前の自己最高またはそれに近い記録を達成したレース (pre) におけるレースパターンと比較した。400m 走タイムは、pre から post へ  $47.04 \pm 0.72$  秒から  $46.46 \pm 0.55$  秒に、 $0.58 \pm 0.29$  秒 ( $1.2 \pm 0.6\%$ ) 向上しており、pre から post への期間は  $11.8 \pm 7.7$  か月であった。また、post のタイムである 46.46 秒は、2016 年度の日本ランキングでは 9 位に相当していた。以上のことを踏まえると、本研究課題では、日本上位レベルにある競技者のパフォーマンスが向上する際に生じるレースパターンの変化の傾向について検討できたものと考えられる。

本研究課題では、400m 走パフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化の対象者全体の傾向と、レースパターンのタイプに応じた特徴的な傾向について検討した。以下では、このような対象者全体の傾向とタイプ別の傾向に分けて考察を進める。

##### (1) 400m 走パフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化の対象者全体の傾向

全対象者の pre から post への変化の傾向を見ると、post において、レースの最初と最後の区間である 0-50m 区間および 350-400m 区間を除く全ての区間における走スピードが向上し (図 8-2A)、区間タイムである  $T_{2nd100m}$  および  $T_{3rd100m}$  が短縮していた (表 8-1)。一方で、走スピード逓減指標に有意な変化は認められなかった (表 8-1)。これらのことは、自己記録が

更新されたレースにおいては、スタート直後の加速や、フィニッシュ直前の区間における走スピード、さらにはレース全体の走スピードの遞減割合ではなく、最高走スピードの大きさおよびその中盤までの維持に変化が生じていたことを示している。

400m 走において、パフォーマンスの高い競技者のレースパターンの特徴について検討した先行研究では、レース後半における走スピード低下の抑制の重要性を示唆するものが多く (Coppinolle, 1980 ; 尾縣ほか, 1998, 2003 ; Saraslanidis et al., 2010), レースの前半や中盤区間の重要性を指摘した研究は比較的少ないようである (Hanon and Gajer, 2009 ; 伊藤ほか, 1997). 一方で、研究課題 1 (第 V 章) では、国内の幅広い競技レベルにある多数の競技者のパフォーマンスとレースパターンとの関係について検討し、パフォーマンスの高い競技者の特徴として、レースの中盤区間において高い走スピードを維持していることが示唆された。また、400m 走と走行距離が同じ 400m ハードル走では、レース序盤に獲得した走スピードを中盤 (本研究での 2nd100m および 3rd100m 付近) において維持するペース配分が、高いパフォーマンスを達成するために有効であることが示唆されている (森丘ほか, 2005). さらに、400m 走と同等の 50 秒程度の自転車ペダリング運動において高いパフォーマンスを得るためには、試技の中盤区間において回転数や努力感を維持することが有効であることが報告されている (金原ほか, 1971 ; 山本ほか, 2009). 400m 走は、スタートから 50-100m 程度で最高走スピードに到達した後、ゴールまで走スピードが顕著に遞減する (Hanon and Gajer, 2009 ; 尾縣ほか, 1998a), 典型的な「漸減型ペース (Positive pacing strategy)」が特徴であるが (Abbiss and Laursen, 2008), 上述した先行研究の結果は (金原ほか, 1971 ; 森丘ほか, 2005 ; 山本ほか, 2009), そのような漸減型ペースの中でも、レースの中盤区間におい

て高い走スピードを維持することの重要性を示唆するものであり、本研究の結果を支持するものである。

また、走スピードは、単位時間あたりの歩数であるステップ頻度と、1ステップの歩幅であるステップ長の積算であるため、ステップ頻度およびステップ長について、走スピードの推移と対比させて検討することは、競技者の技術的・戦術的課題を推察し、トレーニングへの示唆を得る上で有益な手掛かりとなる（持田ほか，2007）。そこで本研究では、pre と post におけるステップ頻度およびステップ長の推移の比較を試みた（図 8-2B, C）。その結果、ステップ長については、両レースでほぼ同等の値を示したものの、ステップ頻度は、走スピードに有意差が認められた 50-350m 区間において、いずれも post が高値を示す傾向にあり、特に 200-350m 区間においては有意差が認められた。すなわち、自己記録が更新されたレースにおいては、ステップ長ではなくステップ頻度に変化が生じており、最高走スピード到達以降の局面、特に、第3曲走路から第4曲走路にあたる 200-300m 付近において、ステップ頻度が高値を示していた。

400m 走パフォーマンスとステップ頻度およびステップ長の関係について検討した先行研究では、ステップ長の大きさの重要性を示唆したものが多く（Hanon and Gajer, 2009；斎藤・橋本，1982）。一方で、ステップ頻度については、その絶対値の大きさについては、パフォーマンスと直接的な関係が認められないものの、パフォーマンスの高い競技者は、レースの前半から後半にかけての低下が小さいことが示唆されている（尾縣ほか，2003b）。さらに、研究課題 2-2（第VII章）でも示したように、本研究において、pre と post のステップ頻度に統計的有意差が認められた 200m から 350m 付近は、ステップ長が顕著に低下することによ

って走スピードが低下する局面であり (Hanon and Gajer, 2009 ; Nummela et al., 1992), また, パフォーマンスの高い競技者は, この局面においてステップ頻度を維持していた (研究課題 2-2, 第VII章). これらのことから, この局面における走スピード低下の主たる原因となるステップ長の低下を, ステップ頻度を維持することによって相殺および補償することが, 高いパフォーマンスの達成に繋がる可能性が推察できる.

## (2) レースパターンのタイプによるパフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化傾向の相違

ここまでは, 対象者全体の pre から post への変化の傾向を見ることで, 400m 走のパフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化の対象者全体の傾向を明らかにしてきた. 一方で, 研究課題 1 (第V章) で明らかとなったように, 400m 走では, レース前半のスピードが高く, スピードの逓減が大きい者や, 反対にレース前半のスピードは低いものの, スピードの逓減が小さい者など, 様々なレースパターンを示す競技者が見られること, すなわち, レースパターンの個人差 (タイプ) が顕著であることが指摘されている (Hart, 1993 ; 尾縣ほか, 2000 ; Scheffer, 2008). このことから, パフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化の傾向が, レースパターンのタイプによって異なるのかを検討することにより, 競技者個人々の特性に応じたコーチング実践に資する基礎的な知見を得ることが期待できる. そこで本研究では, pre のレースパターンをもとに対象者を前半型と後半型にタイプ分けし, パフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化の傾向について比較を試みた.

両タイプは, パフォーマンスに有意な差は認められなかったものの, レースパターンを比

較すると、後半型は、レース前半の走スピードは低いものの、後半の走スピードの低下が小さく、反対に前半型は、レース前半の走スピードは高いものの、後半の走スピードの低下が大きいという、両タイプの特性をよく反映した顕著に異なるレースパターンを示していた（図 8-1）。そして、両タイプのパフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化は、対照的な傾向を示した。すなわち、自己記録を更新したレースにおいて、後半型は、レース前半から中盤における走スピードが、前半型は、レース中盤から後半における走スピードが、それぞれ高値を示した（図 8-3, 4）。このことは、換言すれば、レースパターンのタイプに応じて、レース全体の中で相対的に劣る局面が改善される形でレースパターンが変化し、パフォーマンスが向上していく可能性を示すものである。

森丘ほか（2002）は、レースパターンから見たパフォーマンス向上の方向性として、個々の選手の特性、具体的には、大きく走スピードが低下する区間などを把握し、その改善に取り組むことによってレースパターンを最適化していく短期的な方略と、より高いパフォーマンスレベルにある競技者の特徴を目標としてトレーニングに取り組む中長期的な方略を挙げている。本研究の pre から post への変化は、多くの競技者で概ね 1 年程度の比較的短期間の変化であり、森丘ほか（2002）が指摘している短期的な方略によく一致したレースパターンの変化の傾向を示した。一方で、森丘ほか（2002）の指摘に鑑みるに、より長期的なトレーニングによってパフォーマンスが大きく向上する際には、本研究の結果とは異なるレースパターンの変化、具体的には、研究課題 1（第 V 章）で示したパフォーマンスの高い 400m 走競技者のレースパターンの特徴（Hanon and Gajer, 2009）、すなわち、レースの前半から中盤において顕著に高い走スピードを発揮するようなレースパターンに近づくような変化が



生じる可能性も考えられる。また、今後はパフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化と、競技者の技術的・体力的特性やトレーニング内容とを関連付けて検討することで、本研究で示されたパフォーマンス向上の特徴をもとにしたトレーニングおよびコーチングの有効性について検証する必要があるだろう。

## 5. まとめ

本研究課題の目的は、男子 400m 走のパフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化について縦断的に検討することであった。対象者全体の傾向では、走スピードは、50-350m 区間において post が高値を示した一方で、走スピード逓減指標には変化が見られなかった。一方、タイプ別の比較では、後半型は、レース前半から中盤における走スピードが、前半型は、レース中盤から後半における走スピードが、それぞれ post において高値を示した。

これらのことから、男子 400m 走において、パフォーマンスが向上する際に生じる平均的なレースパターンの変化として、100-300m 付近の走スピードおよび 200-300m 付近のステップ頻度の向上が生じることが示された。また、レースパターンのタイプによって、パフォーマンス向上の際に生じる変化は顕著に異なり、タイプに応じたレース全体の中で相対的に劣る局面が改善される形でレースパターンが変化し、パフォーマンスが向上することが示された。

## IX. 総合考察

本章では、第V章から第VIII章までで得られた知見をもとに、400m 走において高いパフォーマンスを達成するためのレースパターンと、レースパターンに影響を及ぼす要因、さらに、レース分析をもとにした400m 走のコーチングモデルについて考察を深める。

### 1. 男子 400m 走におけるパフォーマンスの高い競技者のレースパターンの特徴とモデルレースパターン

陸上競技 400m 走は、短距離走種目と位置付けられているものの、男子では 40-50 秒前後の競技時間を要し、レース全体にわたって最大疾走を維持することは不可能である。したがって、400m 走において高いパフォーマンスを達成するためには、適切なペース配分が重要となる。そのため、レース中の走スピードの変化に着目して「レースパターン」として研究が行われるとともに（持田ほか，2008；尾縣ほか，2000），指導現場でも重要視されている（ジョーダン・スペンサー，1970；苅部，2009b, 2009c；宮丸・宮丸，1976）

これまでに、400m 走のレースパターンに関する研究は数多く行われているが、これらは実験条件である（赤峰ほか，1998；尾縣ほか，1998a, 2003a），測定項目が不十分である（前河・山本，1989, 1990；沼澤・杉浦，1994），サンプル数が少ない（Hanon and Gajer, 2009）などの問題があり、パフォーマンスレベルやタイプによるレースパターンの違いについては不明な点が多かった。また、レースパターンの評価や目標設定を行う際の基準であり、ペース配分の目安となる標準的なレースパターン（モデルレースパターン）についても、指導書

などで提案されているものの（ジョーダン・スペンサー，1970；苅部，2009b,2009c；宮丸・宮丸，1976），いずれも経験的なものであり，客観的根拠に基づいて提案したものは見当たらない．400m 走におけるレースパターンの重要性は，疑いの余地のないものであるにもかかわらず，このように十分に検討がなされてこなかった背景には，曲走路を含むセパレートレーンでの競技であるため，競技会における詳細なデータ収集が，分析技術的に困難であったことがあるといえる（持田ほか，2007a）．しかし近年，ソフトウェア上での映像の重ね合わせ技術（Overlay 表示技術）を利用した新たな分析手法が提案されたことで（持田ほか，2007a），400m 走のレースパターンに関する従来よりも詳細なデータを，公式競技会において収集することが可能となった．本研究では，この新たな手法によって多数の競技者のデータを収集することで，400m 走におけるレースパターンについて検討を行った．

まず，研究課題 1（第 V 章）では，国内の公式競技会に出場した 154 名の男子 400m 走競技者のデータをもとに，レースパターンとパフォーマンスとの関係について検討した．その結果，従来指摘されてきたようなレース全体や終盤での走スピードの低下とパフォーマンスとの関係は必ずしも強くないこと，一方で，パフォーマンスの高い競技者は，スタート後 100m から 300m 付近における走スピードの低下が少なく，レースの中盤区間において走スピードを維持することが重要であることが示唆された．

同時に，パフォーマンスとペース配分に関する指標（区間タイム比や走スピード低下率）との関係は，比較的弱いものであり，いずれのパフォーマンスレベルにあっても，様々なレースパターンを示す競技者が存在することが示唆された．そこで次に，区間タイム比を手がかりとしたクラスター分析によってレースパターンの定量的な類型化を試み，対象者を「後

半型」,「中間型」,「前半型」の3つのタイプに分類することができた(図5-7,8)。さらに,レースパターンの評価や目標設定を行う際の客観的な指標を得るために,400m走タイムと50m毎の各地点の通過タイムとの回帰分析を行い,タイプ別のモデルレースパターンの作成を試みた(表5-5)。表9-1は,表5-5の回帰式を用い,パフォーマンスレベルおよびタイプ別のモデルレースパターンを示したものである。このモデルレースパターンは,幅広い競技レベル(日本トップレベルからジュニアレベル)までに対応し,レースパターンのタイプに応じて非常に高い精度で通過タイムを推定することが可能であるため,コーチや競技者が,個々のレースを評価する際や,トレーニングや次のレースに向けての目標設定を行う上で有益であると考えられる。

## 2. レースパターンに影響を及ぼす体力および技術的要因

上述したように,400m走のレースパターンは,同等のパフォーマンスレベルであっても非常に多様であり,顕著な個人差(タイプ)が存在することは,先行研究において指摘されており,本研究の結果からも確認できた。そのようなレースパターンのタイプに影響を及ぼす要因を把握しておくことは,目標とするレースパターンの実現や,個々人の特性に応じた適切なレースパターンの選択を行う上で重要であると考えられる。そこで研究課題2(第VI章および第VII章)では,レースパターンのタイプに影響を及ぼす要因について検討した。

まず,体力的要因について検討した(第VI章)。先行研究において,400m走パフォーマンスやレースパターンのタイプ,レース中の走スピードの低下度合いと関連する可能性が示唆されている最高酸素摂取量(Mero et al., 1993; Olsen et al., 1994; Ramsbottom et al., 1994),

**Table 9-1** Model split times according to 400m time of each type.

Type	Finish time (s)			Estimated split time (s)				
	400m	50m	100m	150m	200m	250m	300m	350m
Low deceleration	45.0	6.3	11.4	16.6	22.0	27.5	33.0	38.8
	46.0	6.3	11.6	16.9	22.4	28.0	33.8	39.7
	47.0	6.4	11.7	17.2	22.8	28.6	34.5	40.6
	48.0	6.5	11.9	17.5	23.2	29.2	35.2	41.4
	49.0	6.5	12.0	17.7	23.7	29.8	35.9	42.3
	50.0	6.6	12.2	18.0	24.1	30.3	36.6	43.2
Mid deceleration	45.0	6.1	11.1	16.2	21.5	27.0	32.6	38.6
	46.0	6.2	11.4	16.6	22.0	27.6	33.4	39.4
	47.0	6.3	11.6	16.9	22.4	28.2	34.1	40.3
	48.0	6.5	11.8	17.3	22.9	28.8	34.8	41.2
	49.0	6.6	12.1	17.6	23.4	29.4	35.5	42.0
	50.0	6.7	12.3	18.0	23.9	30.0	36.2	42.9
High deceleration	45.0	6.0	11.0	16.1	21.2	26.6	32.2	38.2
	46.0	6.1	11.2	16.4	21.7	27.2	33.0	39.1
	47.0	6.2	11.4	16.7	22.1	27.7	33.7	40.0
	48.0	6.3	11.6	16.9	22.5	28.3	34.4	40.9
	49.0	6.4	11.8	17.2	22.9	28.9	35.2	41.8
	50.0	6.5	12.0	17.5	23.3	29.5	35.9	42.7

最大酸素借（森ほか，2012；Ramsbottom et al., 1994；Weyand et al., 1994；吉岡ほか，2009），筋力および筋パワーの発揮および持続能力（Miguel and Reis, 2004；森ほか，2012；尾縣ほか，1998a, 2003；安井ほか，1998b）について，前半型と後半型の競技者間で比較を行った。その結果，測定した5つの項目のいずれにおいても，前半型と後半型との間に有意な差は認められなかった。本研究では，先行研究と比較して，日常的に400m走のための専門的なトレーニングを行っている競技者（400m走競技者および混成競技者）のみを対象としている。したがって，400m走のための一般のおよび専門的な体力および技術を有する競技者においては，レースパターンのタイプは，必ずしも競技者の体力特性によって決定されるものではない可能性が示された。

次に，技術および戦術的要因について，走スピードの構成因子であり，スプリント走における技術および戦術的特性の総合的評価指標である，ステップ頻度およびステップ長の変化からみた疾走動態を，前半型と後半型の競技者間で比較した（第七章）。その結果，前半型は，レース前半のステップ頻度が高く，後半型は，レース後半のステップ長が大きいという特徴がみられ，400m走のレースパターンのタイプには，レース前半から中盤にかけてのステップ頻度のコントロールおよびレース中盤から後半でのステップ長の維持能力が影響している可能性が示唆された。

これまで，400m走のレースパターンのタイプは，競技者の体力的特性と関連付けて論じられることが多く（尾縣ほか，2000），前半型，後半型といった「レースパターンのタイプ」と，スピード型，持久型といった体力的特性からみた「アスリートのタイプ」は，スピード型＝前半型，持久型＝後半型といったように，ほぼ同一視して扱われることが，特に指導現

場では多かった (Hart, 1981 ; 荻部, 2016). 一方で, レースパターンの前提となる主観的な「ペース配分」は, 個々の競技者の選択の自由度が高く, 例えば「スピード型」が前半を抑えて走り, 後半のスピード低下が小さいレースパターン (レースパターンは「後半型」) となることや, 反対に「持久型」が前半を積極的に走り, 後半のスピード低下が大きいレースパターン (レースパターンは「前半型」) となる可能性も考えられる. したがって, 今後は, 体力特性からみた「アスリートのタイプ」をもとに, 能力を最大限に発揮できる最適な「レースパターンのタイプ」の選択方法を究明していく必要があると考えられる. そして, 目標とするレースパターンを実現する上では, 上述したそれぞれのレースパターンのステップ頻度およびステップ長からみた疾走動態の特徴が手掛かりとなるだろう. さらに, 本研究で測定した以外の体力因子, 例えば, 研究課題 2-2 (第VII章) の結果に鑑みるに, 下肢の筋力・筋パワーの専門的持久能力等についても, より詳細に検討する必要があると考えられる.

### 3. 400m 走パフォーマンスの変化に伴うレースパターンの個人内での変化

第V章から第VII章での横断的な研究により, 400m 走において高いパフォーマンスを達成するためのレースパターンの特徴とモデルレースパターン, それに影響を及ぼす要因が明らかとなり, レースパターンを適切に評価し, 目標設定を行う上での基準を提示することができた.

そこで研究課題 3 (第VIII章) では, 400m 走のパフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化について個人内で縦断的な検討を行った. その結果, 400m 走のパフォーマンスが向上 (自己最高記録の更新) する際, 100-300m 付近の走スピードおよび 200-300m 付近のステ

ップ頻度の向上が生じていた。一方、タイプ別の比較では、後半型は、レース前半から中盤における走スピードが、前半型は、レース中盤から後半における走スピードが、それぞれ向上した。これらのことから、レースパターンのタイプによって、パフォーマンス向上の際に生じる変化は顕著に異なり、タイプに応じたレース全体の中で相対的に劣る局面が改善される形でレースパターンが変化し、パフォーマンスが向上することが示された。このことは、レース分析によって個々のレースパターンの特徴を適切に評価することで、個々の競技者の特性に応じたコーチングを行うことが有効である可能性を示すものであり、本研究において作成したモデルレースパターンの実践面における意義を強調するものである。

このように、パフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化の傾向は、レースパターンのタイプによって異なることが示された。すなわち、レースパターンは、パフォーマンスの変化とともに、競技者個人の中でも絶えず変化するものである可能性が考えられる。これらに鑑みるに、個人内のレースパターンの変動の程度や、パフォーマンス変化に伴うレースパターンの変化を把握しておくことは意義深いと考えられる。そこで、以下では、同一個人の複数のレース分析データをもとに、個人内でのレースパターンの変動の程度を示すとともに、パフォーマンスおよびレースパターンの変化と、その間の競技者の意識の変化やトレーニングコンセプトの一端について事例的に紹介し、実践への示唆を示すことを試みる。

表 9-2 は、複数のレース分析を行った対象者の分析範囲内での 400m 走の最高タイム（6 名中 3 名は自己最高記録）、分析レース数、分析レースにおける 400m 走の平均記録、分析範囲内での最高記録を達成したレースにおけるレースパターンのタイプを示したものであ



**Table 9-2 Characteristics of each athlete.**

Subject	Best time in this study [sec.]	No. of races	Mean time [sec.]	Race pattern type at best time race
A	46.87	10	47.81 ± 0.60	High deceleration
B	48.07	11	48.82 ± 0.52	Mid deceleration
C	46.64	14	47.61 ± 0.64	Mid deceleration
D	45.87	15	46.40 ± 0.32	Mid deceleration
E	47.99	8	48.59 ± 0.44	Low deceleration
F	46.81	16	47.53 ± 0.38	Low deceleration

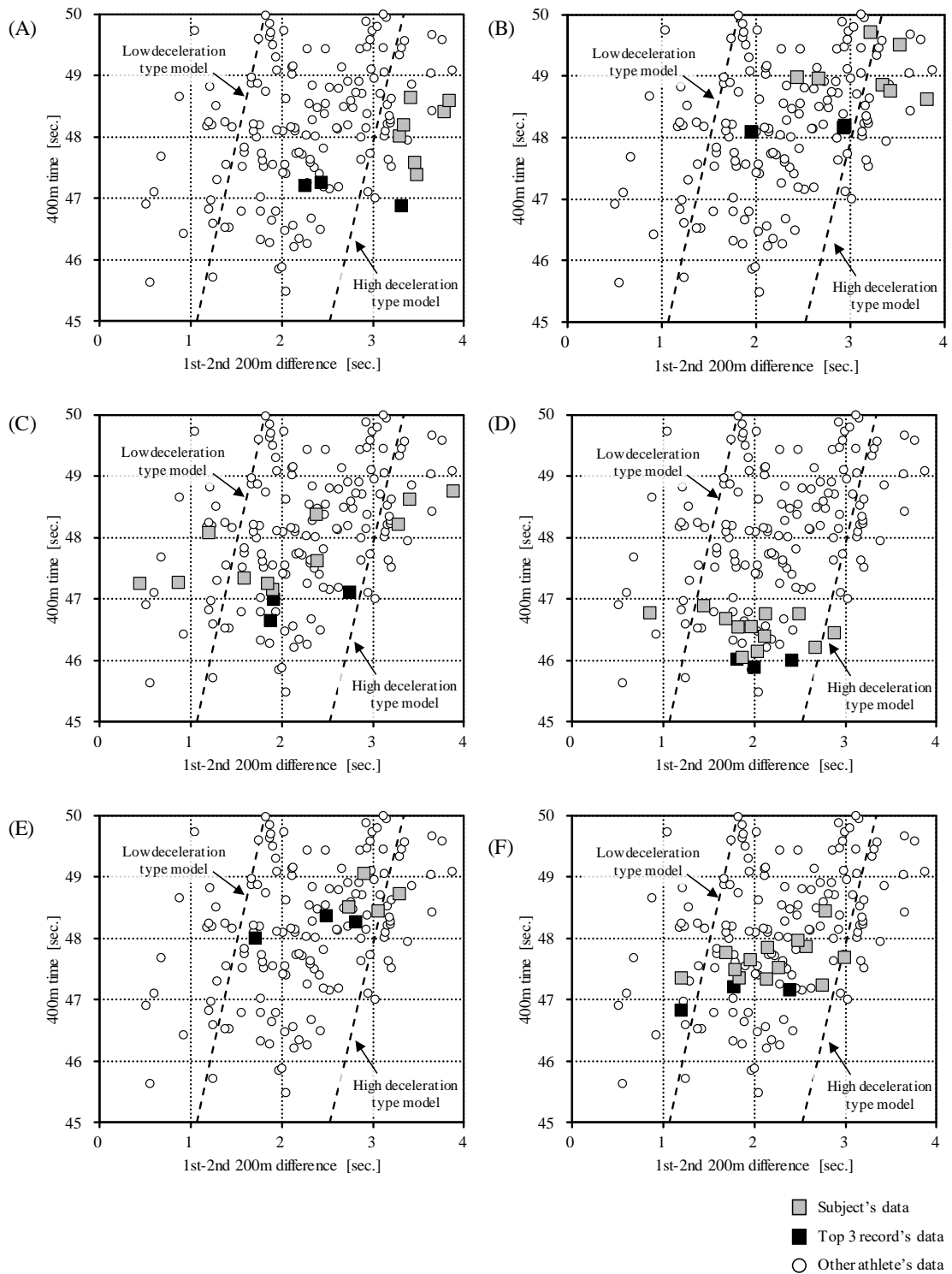


Figure9-1 Relationships between 400m race time and the 1st-2nd 200m difference of each subjects.

る。また、図 9-1 は、各対象者の 400m 走タイムとレースの前半と後半のタイム差（前後半差，走スピード低下量の指標，山元ほか，2016）との関係を示したものである。図中の四角のプロットが対象者のデータ，黒四角はその中でもパフォーマンスの高い 3 つのデータ，白丸のプロットは研究課題 1（第 V 章）における他の競技者のデータを示しており，図中の点線は，モデルレースパターンから求めた前半型および後半型の平均値を示している。図 9-1 から，個人内でのレースパターンの変動の程度は個人によって異なるものの，競技者によっては大きくレースパターンが変化していること，さらには，同一個人内での高いパフォーマンスが，様々なレースパターンによって達成されていることがわかる。これらのことは，400m 走のパフォーマンスが向上する際，レースパターンのタイプの変化を伴って向上する可能性を示唆するものである。このことは研究課題 3（第 VIII 章）の結果と一致するものであるとともに，積極的にレースパターンを変化させることでパフォーマンスを向上させた日本記録保持者の高野（1993）の事例とも類似するものである。また図 9-2 は，各対象者の 400m 走における走スピードの変化について，分析範囲内においてパフォーマンスの高かった 3 レース（Better），パフォーマンスの低かった 3 レース（Worse）および全レース（Total）の平均値を示したものである。多くの競技者に共通して，レースの中盤（200m 以降）でパフォーマンスの高いレースと低いレースの走スピードに差が生じる傾向が見られ，レース中盤において走スピードを維持することの重要性を示唆するものであり，横断的結果（研究課題 1，第 V 章）および縦断的結果（研究課題 3，第 VIII 章）と一致するものである。一方で，対象者 D や対象者 F は，パフォーマンスの低いレースにおいては，レース前半の走スピードが低い傾向にあり，一方で対象者 E は，パフォーマンスの低いレースのほうが最高走ス

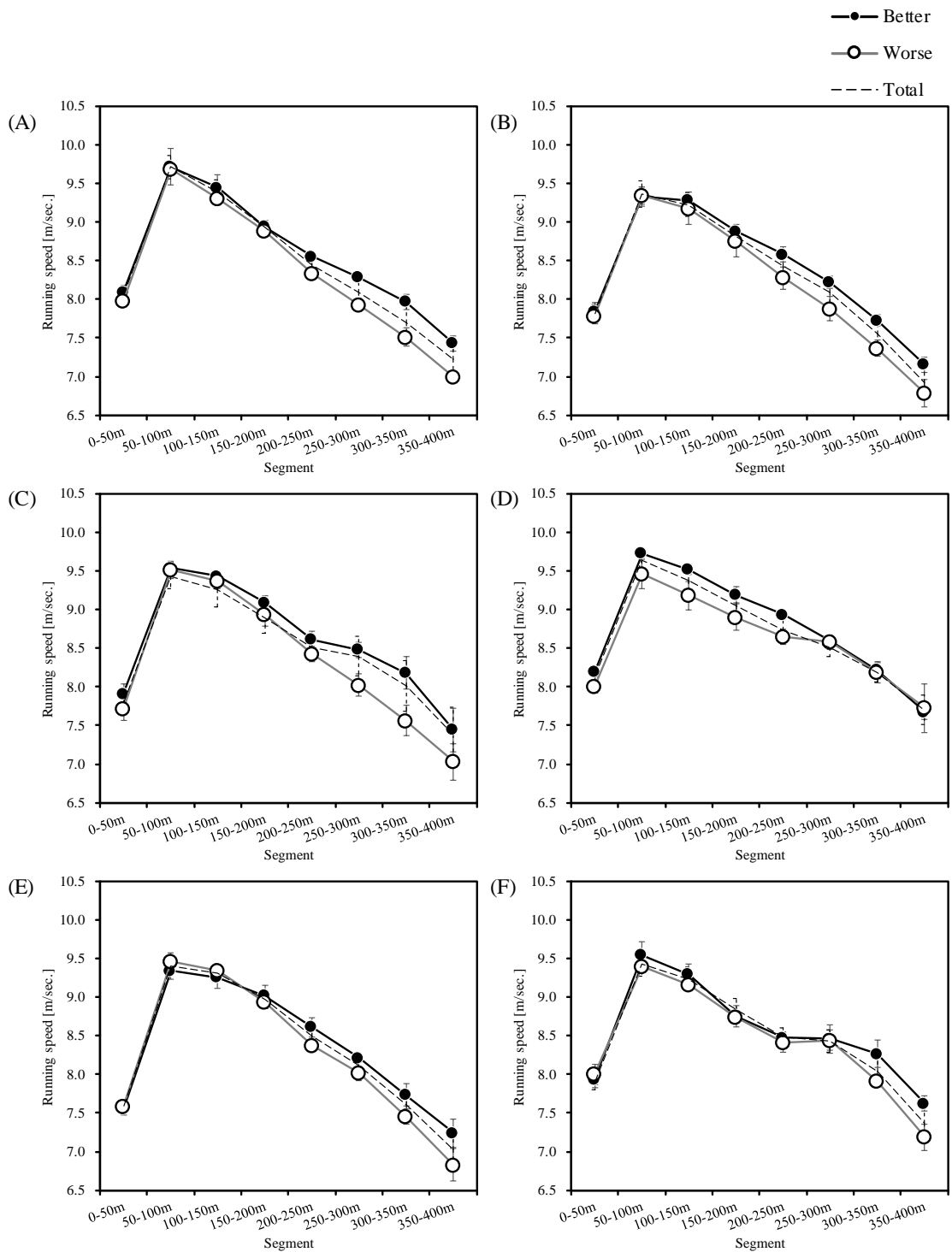


Figure9-2 Changes in running speed of each subjects.

スピードが高い傾向にある。このように、同一個人内において高いパフォーマンスを達成するレースパターンの特徴も、競技者個々人によって異なることが考えられ、継続的にレースパターンの分析と評価を行うことで、競技者個々人の特性を適切に評価し、トレーニング計画を立案することが必要であると考えられる。すなわち、個々のレースの分析データをモデルレースパターンと比較することで、現状の把握や次のレースに向けたトレーニング課題を明確にするとともに、個人内のレースパターンの変動を吟味することで、個々の競技者のパフォーマンスの高いレースにおけるレースパターンの特徴や、反対にパフォーマンスの低いレースにおけるレースパターンの特徴を把握することができ、競技者個々人の特徴に応じたトレーニングを実践することができると考えられる。

ここまで、400m 走の自己最高記録を更新した際に多くの競技者に共通して生じるレースパターンの変化の特徴や、個人内でのレースパターンの変動を示すことで、パフォーマンス向上を目指したトレーニングならびにコーチングの方向性を示すことを試みてきた。しかしながら、パフォーマンスが向上する過程での競技者・コーチの意図やトレーニング内容については調査しておらず、トレーニング内容とパフォーマンスの変化の対応関係が明らかでないことが本研究の限界であり、今後の大きな課題である。そこでここでは、1人の対象者の大学4年間でのパフォーマンスおよびレースパターンの変化と、その間の対象者の意識の変化やトレーニングコンセプトの一端について事例的に紹介し、今後の研究の方向性を探ってみたい。図9-3は、対象者Cの各年度の年度内最高記録を達成したレースにおける走スピードの変化を示したものであり、また表9-3は、各年度の400mおよび200mの年度内最高記録およびレースパターンを評価するための各種指標を示したものである。対象

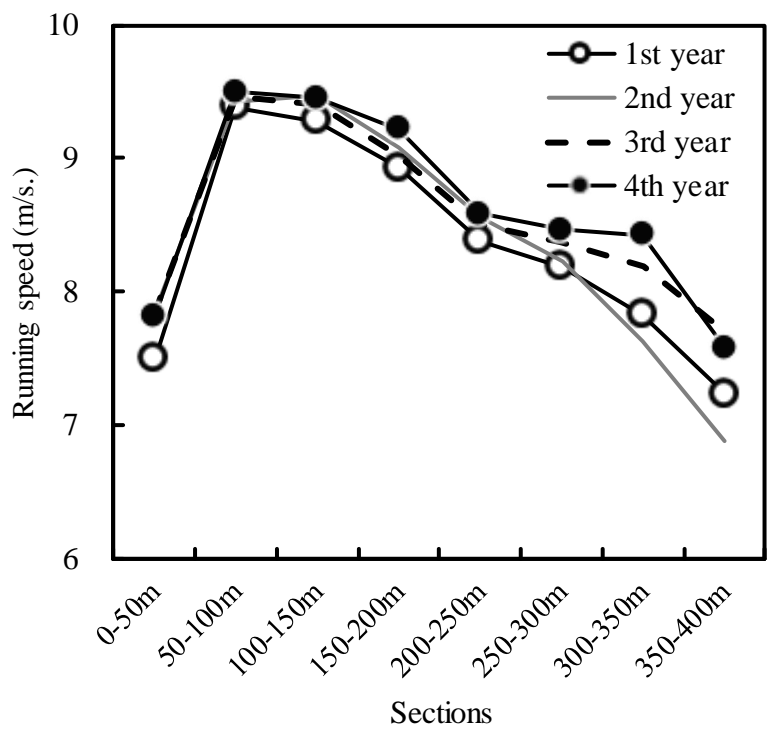


Figure9-3 Changes in running speed of subjects C.

**Table9-3 Segment time, Rate of change of running speed and the deceleration index of subject C.**

	1st year	2nd year	3rd year	4th year
400mSB	48.36	48.20	46.98	46.64
200mSB	21.64	21.59	21.12	21.02
T <sub>1st100m</sub>	12.00	11.67	11.67	11.66
T <sub>2nd100m</sub>	10.99	10.78	10.86	10.72
T <sub>3rd100m</sub>	12.07	11.92	11.86	11.73
T <sub>4th100m</sub>	13.30	13.82	12.59	12.53
$\angle S_{2nd100m}$	-8.42	-7.64	-6.87	-8.09
$\angle S_{3rd100m}$	9.89	10.57	9.13	9.48
$\angle S_{4th100m}$	10.16	15.95	6.23	6.85
Decerelation index	0.36	0.44	0.30	0.31

<sup>†</sup>SB. : Searsonal best record

<sup>††</sup> Deceleration index is the slope of the liner relationship between running speed and the number of the sections from the peak running speed to the finish.

者 C は、高校時代から 200m および 400m に取り組んでいたが、大学 2 年時までは高校時代の最高記録を更新できずにいた。大学 2 年時の年度内最高記録を達成したレースにおけるレースパターンは、レース前半の走スピードが高く、後半のスピード低下が大きい典型的な「前半型」のレースパターンであり、対象者 C 自身も高校時代から、前半、特にバックストレート（100-200m 区間）において高い走スピードを獲得することを意図して取り組んでいた。ところが、対象者 C は、大学 2 年から 3 年への準備期のトレーニングにおいて実施した 200m を短い休息で 2 回走るインターバルトレーニングにおいて、1 回目の 200m を従来よりも抑えたタイムで取り組んだところ（木越ほか，2011），400m 走タイムとの関連が指摘されている 2 回の 200m の合計タイムが顕著に良かったことをきっかけにして、翌シーズンでは、レース前半の主観的努力度を抑え、走スピードの逡減を抑制することを意図し、レースパターンの改善を試みた。その結果、大学 3 年時および 4 年時には自己最高記録を更新し、このときのレースパターンは、レース前半の走スピードには従来と大きな変化は見られないものの、レース後半の走スピードが高まり、走スピードの逡減が小さくなっており、対象者 C が意図したとおりの変化が生じていた。これらの変化は、本研究で示された前半型の競技者の傾向とよく一致するものであると言える。また、2 年目から 3 年目にかけて、200m 走の記録が著しく改善されている。200m 走能力は 400m 走能力と密接に関連しており（Hart, 1993 ; Otte and Hunt, 1998），このような 200m 走能力の向上が 400m 走の記録向上に影響を及ぼしていることは想像に難くない。また、200m 走能力の向上と対象者 C のレースパターンの変化の関連について検討すると、200m 走記録の向上から推察される絶対スピードの改善によって、上述したように従来よりも相対的に主観的努力度を抑制したにも関わ



らず、レース前半を従来と同程度のスピードで走ることができ、レース後半の走スピードの低下が抑制できたものと推察できる。一方で、持久的な能力や技術的要因を評価するための測定等を行っていないので、スピード持久能力等の他の要因が改善されていたか否かについては明らかでない。今後はこのようなパフォーマンス、スピードや持久力といった基礎的能力およびレースパターンの変化と、その間のトレーニングや競技者・コーチの意図や意識についての多数の事例を集積することで、トレーニングおよびコーチング法を帰納的に理論構築することが必要である。

#### 4. レース分析をもとにした 400m 走のコーチングモデル

ここまで述べてきた研究課題 1, 2, 3 および総合考察での個人内のレースパターンの変動に関する結果をもとに、レース分析をもとにした 400m 走のコーチングモデルを以下に提案する。

パフォーマンスを向上させるためのスポーツコーチングを効果的に推進していくためには、①現状のパフォーマンスの評価および診断、②トレーニング課題の設定、③トレーニング手段および方法の選択と計画立案、④トレーニング実践、⑤試合と再評価、という一連のトレーニングサイクルを循環させていく必要がある（尾縣，2015；図子，2014）。レース分析をもとにした 400m 走のコーチングモデルも、このトレーニングサイクルモデルをもとに構築することができると考えられる。

まず①現状のパフォーマンスの評価および診断では、レース分析データを、研究課題 1（第 V 章）で作成したモデルレースパターンと比較することで、現在のレースパターンの評価お

よび診断を行う。このとき、谷川・内藤（2014）が、一流競技者との比較では短所が目立ち、競技者の特徴を捉えにくいため、まず現状のパフォーマンスレベルが同じ競技者との比較によって、個々の競技者の長所または短所といった特性を評価および診断する必要があると述べているように、当該選手の現在のパフォーマンスレベル（当該レースにおける400m走記録）のモデルレースパターンと比較することで、競技者の現在のレースパターンの特徴を評価および診断することが可能であると考えられる。

次に、②トレーニング課題の設定では、現在のレースパターンの特徴を把握した上で、次に目標とするパフォーマンスレベル（目標とする400m走記録）のモデルレースパターンと現在のレースパターンとを比較することで、両レースパターンの差をトレーニング課題としてとらえることができると考えられる。このとき、研究課題3（第Ⅷ）の結果から、パフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化は、レースパターンのタイプによって異なり、レース全体の中で相対的に走スピードが劣る局面が改善されることでパフォーマンスが向上していたことを踏まえると、例えば、モデルと比較して、レース前半の走スピードが劣る場合はレース前半の改善が課題となり、反対に、レース後半の走スピードが劣る場合は、後半の走スピードの低下を抑制することがトレーニング課題となるであろう。

さらに③トレーニング手段・方法の選択と計画立案では、②で設定したトレーニング課題を解決するためのトレーニング計画を立案していくことになる。トレーニングの手段および方法として、目標記録のモデルレースパターンをもとに各地点の通過タイムを設定した様々な設定距離でのペース走や、研究課題2-2（第Ⅶ章）で明らかとなったレースパターンに影響を及ぼすステップ頻度およびステップ長からみた疾走動態、すなわち、レース前半の

ステップ頻度のコントロールやステップ長優位の疾走およびレース終盤でのステップ長の維持などを実現するための技術および戦術的トレーニングなどが考えられるであろう。また、本研究では、前半型と後半型との間に、明確な体力特性の違いは認められなかったが(研究課題 2-1, 第VI章), 多くの先行研究において, 400m 走のパフォーマンスと各種体力因子との間に有意な関係が認められており, 400m 走パフォーマンスを向上させるためには, 体力的な改善が必要であることは想像に難くない。したがって, トレーニング課題を解決するためには, 400m 走パフォーマンスに関連する各種の体力要素を向上させるための体力的なトレーニングも, 上述した技術および戦術的トレーニングと併せて実践する必要があると考えられる。

このようなトレーニング計画をもとに④トレーニング実践を行い, そして⑤試合と再評価として, 再びレース分析を行い, 現状のパフォーマンスの評価を行い, 新たなトレーニング課題を設定していくことになる。

ここで, 本研究では3つの異なるタイプのモデルレースパターンを提示しており, 個々の競技者に対して, いずれのタイプのレースパターンをモデルとして用いるかが問題となる。①パフォーマンスの評価および②トレーニング課題の設定において用いるモデルレースパターンは, 個々の競技者の技術, 体力および形態などの特性から明らかとなる「アスリートのタイプ」に基づき, 最適なレースパターンを選択することができることがより理想である。本研究の結果からは, そのような最適なレースパターンの選択方法を提示することはできないため, まずは①で現在のレースパターンのタイプを評価し, ②では①で明らかとなった現在のタイプおよび中間型をモデルとすることで, トレーニング課題を設定していくこと

が可能であると考えられる。また、ここまで述べたような一連のレース分析をもとにした 400m 走のコーチングを積極的に実施し、様々な競技者のパフォーマンス向上に関する事例が蓄積されることで、競技者の特性に応じた効果的なレースパターンが明らかとなり、個々の競技者の特性に応じた適切なレースパターンの選択方法を提案することができると期待できる。一方で、研究課題 3（第Ⅷ章）および上述した個人内でのレースパターンの変動、長期のパフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化から、個人内でもレースパターンは大きく変化することを考慮する必要がある。また、上述した競技者 C の事例では、レースパターンが大きく変化することでパフォーマンスが顕著に向上した後、同じレースパターンでのパフォーマンス向上の停滞、いわゆる「頭打ち」傾向が見られた。また、日本記録保持者の高野（1993）は、日本記録を達成した後も、意図的にレースパターンを大きく変更することでさらにパフォーマンスを向上させ、世界選手権およびオリンピックの決勝進出を達成したことを報告している。これらの事例から、同じタイプのレースパターンを採り続けることによりパフォーマンスの停滞が生じた場合は、異なるタイプのレースパターンに挑戦することも必要になるものと推察される。

ここまで述べてきたように、レース分析をもとにした 400m 走のコーチングモデルとして、①現在のレースパターンをモデルレースパターンと比較することで現状のレースパターンの特徴を評価する、②目標記録を達成するためのモデルレースパターンと現在のレースパターンとの比較からトレーニング課題を設定する、③トレーニング課題を解決するためのトレーニングを計画する、④トレーニングを実践する、⑤再びレースおよび評価を行う、というサイクルを提示することができた。これらのサイクルを循環させることで、400m 走

パフォーマンスを効果的に高めることができると期待できる。またこのとき、レースパターンは、個人内でも大きく変化し、現在のレースパターンとは異なるタイプのレースパターンを採用することで、パフォーマンスが大きく向上する可能性があることを考慮する必要がある。本研究で得られた知見は、このようなレース分析をもとにした 400m 走のコーチングモデルに基礎的なエビデンスを提供するものであると考えられる。特に、高いパフォーマンスを達成するためのモデルレースパターンは、レース分析をもとにした 400m 走のコーチングモデルの中核をなすものであり、本研究では、多数の競技者のレース分析データからモデルレースパターンを作成することができたことは意義深いと考えられる。今後は、このようなモデルに基づくコーチング実践の効果および有効性について検討していく必要がある。

## 5. 今後の課題

本研究では、陸上競技男子 400m 走において高いパフォーマンスを達成するためのレースパターンについて、公式競技会におけるレース分析データをもとに検討し、パフォーマンスの高い競技者のレースパターンの特徴やモデルレースパターン、レースパターンに影響を及ぼす要因、個人内のパフォーマンスの変化に伴うレースパターンの変化を明らかにすることができた。これらの知見は、レース分析をもとにした 400m 走のコーチングに資する知見を提供するものである。

しかしながら、400m 走のコーチングに資するより実践的な示唆を得るためには、以下に示す検討すべき課題が残されている。

(1) 対象とするパフォーマンスレベルについて

本研究の対象とは異なるパフォーマンスレベルに対して、本研究の知見を適応することができるかは不明である。そのため、世界トップレベルなどの本研究の対象よりも高いパフォーマンスレベルに到達するためのレースパターンについて、さらに高いパフォーマンスレベルにある競技者のレースを分析することで検討する必要がある。また、本研究の対象よりもパフォーマンスレベルや競技経験の劣る初級者やジュニアレベルのためのレースパターンについても同様に検討する必要がある。

(2) レースパターンに影響を及ぼす体力的要因について

本研究では、レースパターンのタイプによる体力特性の違いは認められなかった。しかしながら、本研究で対象とした体力因子以外の因子が、レースパターンのタイプに影響を及ぼしている可能性がある。レースパターンに影響を及ぼす体力因子の同定と、体力特性を踏まえた適切なレースパターンの選択方法について提案するための検討を行う必要がある。

(3) レースパターンに影響を及ぼす技術的要因について

本研究の結果から、レースパターンのタイプにはステップ頻度およびステップ長の変化からみた疾走動態が影響していることが明らかとなった。しかしながら、ステップ頻度およびステップ長は、走動作や力・トルク発揮パターン、競技者の主観的努力度からの影響を受けていると考えられるため、これらについても検討する必要がある。

#### (4) 長期的なトレーニングによるレースパターンの変容について

本研究では、パフォーマンスが向上する際に生じるレースパターンの変化について、対象者が自己記録を更新したレースにおけるレース分析データをもとに明らかにした。しかしながら、トレーニング・コーチング内容の記録や、トレーニング介入を行っていないため、どのようなトレーニングによってレースパターンの変化が生じ、パフォーマンスが向上するかについては明らかでない。また、長期間のトレーニングで複数回自己記録を更新する際に生じる変化や、パフォーマンスレベルまたは競技歴が異なる競技者に生じる変化についても明らかでない。そのため、パフォーマンスの向上およびレースパターンの変容を目指したトレーニング内容とパフォーマンスおよびレースパターンの変化について、様々なパフォーマンスレベルを対象に検討し、レース分析をもとにした 400 m 走のコーチングの有用性について検討する必要がある。

## X. 結論

本研究の目的は、陸上競技男子 400m 走におけるレースパターンについて、高いパフォーマンスを達成するためのレースパターンを明らかにし、レースパターンの評価および目標設定のためのモデルレースパターンを提案するとともに、レースパターンに影響を及ぼす体力および技術的要因の究明、さらには同一個人内でのパフォーマンス向上に伴うレースパターンの変容について検討することで、400m 走におけるレース分析をもとにしたコーチングモデルの構築に資する知見を得ることであった。

得られた知見は以下のとおりである。

1) パフォーマンスの高い 400m 走競技者は、スタート後 100m から 300m 付近における走スピードの低下が少なく、レースの中盤区間において高い走スピードを発揮している。同時に、いずれのパフォーマンスレベルにあっても、様々なレースパターンを示す競技者が存在し、中でも代表的なタイプである「前半型」「中間型」「後半型」のペース配分について、400m 走記録と通過タイムとの関係から、レースパターンの評価や目標設定を行うための具体的指標となるタイプ別のモデルレースパターンを作成した。

2) レースパターンのタイプには、身長、レース前半のステップ頻度およびレース後半のステップ長が影響している。前半型は身長が低く、レース前半のステップ頻度が高かった。一方後半型は、身長が高く、レース前半のステップ頻度が低く、レース全体、特に後半のステ



ップ長が大きかった。

3) 400m 走パフォーマンスの向上に伴い、100-300m 付近の走スピードおよび 200-300m 付近のステップ頻度が向上する。また、レースパターンのタイプによって、パフォーマンス向上の際に生じる変化は顕著に異なり、タイプに応じたレース全体の中で相対的に劣る局面が改善される形でレースパターンが変化し、パフォーマンスが向上する。

以上の横断的および縦断的検討から、400m 走のレースパターンには「前半型」「中間型」「後半型」のタイプが存在し、高いパフォーマンスを達成するためには、レースの中盤区間において高い走スピードを維持することが重要であること、さらに、レースパターンのタイプによって、パフォーマンス向上に伴うレースパターンの変化が異なるため、レース分析とモデルレースパターンの利用によって競技者個々人の特性を適切に評価することで、効果的に 400m 走パフォーマンスを向上させることができると期待できることが示唆された。そして、本研究で得られた知見は、レース分析をもとにした男子 400m 走のコーチングモデル構築に資する知見であり、400m 走競技者のパフォーマンスを高めるための有益な知見を提供している。

## 謝辞

本論文を作成するにあたり，終始懇切丁寧な御指導，御校閲を賜りました尾縣貢教授に心より感謝の意を表します．

山田幸雄教授，渡辺良夫教授，向井直樹准教授，谷川聡准教授，大山卞圭悟准教授，木越清信助教をはじめとする諸先生方には，論文作成全般にわたって多大なる御指導，御助言を頂いた．ここに深く感謝致します．

関東学生陸上競技連盟様，社団法人日本学生陸上競技連盟様には，競技会でのレース撮影について快く承諾して頂いた．

筑波大学陸上競技部の選手の皆様には，実験の被検者として御協力頂いた．陸上競技研究室の諸兄には，論文作成全般にわたって様々な御協力を頂いた．

最後に，多くの400m走競技者に，データの源になって頂いた．また家族には，大学院進学と生活を支援して頂いた．

ここに記して深く感謝致します．

2017年3月

山元康平

## 参考文献

[A]

Abbiss, C. R. and Laursen, P. B. (2008) Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. *Sports Med.*, 38 (3) : 239-252.

阿江通良・鈴木美佐緒 (1992) 世界一流スプリンターのレースパターン. *Japanese J of Sport Sci.*, 11 : 609-614.

阿江通良 (1999) バイオメカニクスデータを現場にどう活かすか. *トレーニング科学*, 10 (3) : 139-144.

阿部征次 (1987) 400m 走のピッチについて. *東京女子体育大学紀要*, 22 : 38-44.

赤峰俊彦・尾縣 貢・関岡康雄 (1998) 400m 走に関する一考察. *陸上競技研究*, 33 : 56-61.

Arcelli, E., Mambretti, M., Cimadoro, G. and Alberti, G. (2008) The aerobic mechanism in the 400 metres. *New Studies in Athletics*, 23 (2) : 15-23.

Arnold, M. (1989) Year plans for speed and strength endurance for 400 metres runners. *Athletics*

Coach, 23 (1) : 34-44.

麻場一徳・勝田 茂・高松 薫・宮下 憲 (1990) スプリンターの疾走能力と外側広筋の筋  
繊維組成および筋毛細血管分布との関係. 体育学研究, 35 : 253-260.

麻場一徳 (2004) トレーニングワイド スプリント技術の考え方 その 8 ～400m 走の走  
り方～. 陸上競技マガジン, 54 (7) : 164.

Astrand, P. O. and Saltin, B. (1961) Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular  
activity. J. Appl. Physiol, 16 : 977-981.

[B]

Bruggemann, G-P. and Glad, B. (1990) Time analysis of the sprint events. Scientific Research Project  
at the Games of the XXXIV the Olympiad-Seoul 1988 Final Report. International Athletic  
Foundation.: Monaco, pp. 11-90.

[C]

Coppenolle, H. Van. (1980) Analysis of 200-meters intermediate times for 400-meters world-class  
runners. Track & Field Quarterly Review. Summer, 80 : 37-39.

[D]

Debaere, S., Jonkers, I., and Delecluse, C. (2013) The contribution of step characteristics to sprint running performance in high-level male and female athletes. *J. Strength Cond. Res.*, 27 (1) : 116 - 124.

Duffield, R. and Dawson, B. (2003) Energy system contribution in track running. *New Studies in Athletics*, 18 (4) : 47-56.

Duffield, R., Dawson, B. and Goodman, C. (2005) Energy system contribution to 400-metre and 800-metre track running. *Journal of Sports Sciences*, 23 (3) : 299-307.

[E]

遠藤俊典・宮下 憲・尾縣 貢 (2008) 100m 走後半の速度低下に対する下肢関節のキネティック的要因の影響. *体育学研究*, 53 : 477-490.

[F]

Ferro, A., Rivera, A., Pagola, I., Ferreruela, M., Martin, A. and Rocandio, V. (2001) Biomechanical analysis of the 7th World Championships in Athletics Seville 1999. *New Studies in Athletics*, 16 (1) : 25-60.

Finn, J., Gastin, P., Withers, R., Green, S. (2000) The estimation of peak power and anaerobic capacity

of athletes. In : Gore, C. J. ed. Physiological tests for elite athletes. Champaign IL, Human kinetics : pp. 37-49.

Foster, C., Schrage, M., Snyder, A. C. and Thompson, N. N. (1994) Pacing strategy and athletic performance. Sports Med., 17 (2) : 77-85.

福島洋樹・尾縣 貢・安井年文・大庭恵一・関岡康雄（1997）400m 走レース前半の疾走動作に関する研究—全力疾走動作と比較して—。陸上競技研究, 30 : 2-13.

[G]

Gajer, B., Hanon, C. and Thepaut-Mathieu C. (2007) Velocity and stride parameters in the 400m metres. New Studies in Athletics, 22 (3) : 39-46.

五味宏生・土江寛裕・木村孝三・小林 海・保原浩明・村上哲郎・磯 繁雄・川上泰雄・福永哲夫・彼末一之（2007）短距離トップランナーの 400m 走中脚筋電図の記録。スポーツ科学研究, 4 : 9-16.

[H]

羽田雄一・阿江通良・榎本靖士（2001）400m 走における疾走動作の変化。陸上競技紀要, 14 : 3-13.

Hanon, C. and Gajer, B. (2009) Velocity and stride parameters of world-class 400-meter athletes compared with less experienced runners. *J. of Strength and Conditioning Research*, 23 : 524-531.

Hanon, C., Lepretre, P.-M., Bishop, D. and Thomas, C (2010) Oxygen uptake and blood metabolic responses to a 400-m run. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 109 : 233-240.

Hart, C. (1993) 400 meters training. *Track & Field Quarterly Review*, 93 : 23-28.

八田秀雄 (2006) スプリントは本当に無酸素運動だろうか. *スプリント研究*, 16 : 106-117.

ハート.C (2001) 量より質 マイケル・ジョンソンの 400m のトレーニング. *陸上競技研究*, 46 : 59-63.

平野達也・加藤彰浩・筒井清次郎・木越清信 (2016) 400m 走後半の支持期における下肢関節のキネティクスの特徴. *陸上競技研究*, 104: 26-35.

Hirvonen, J., Nummela, A., Rusko, H., Rehunen, S. and Harkonen, M. (1992) Fatigue and changes ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. *Can. J. Sport. Sci.*, 17 : 141-144.

Hobara, H., Inoue, K., Gomi, K., Sakamoto, M., Muraoka, T., Iso, S. and Kanosue, K. (2010) Continuous change in spring-mass characteristics during a 400m sprint. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 13 : 256-261.

[4]

伊藤 章・市川博啓・斉藤昌久・伊藤道郎・佐川和則・加藤謙一 (1997) アジア大会男子 400m の動作分析. アジア一流競技者の技術—第 12 回広島アジア大会陸上競技バイオメカニクス研究班報告—. 財団法人日本陸上競技連盟 : 東京, pp. 65-80.

伊藤 章 (1999) 岩本敏恵選手の 100m の記録向上にもなう疾走動作の変化とトレーニングの考え方. *トレーニング科学*, 10 (3) : 145-154.

伊藤 章 (2003) 短距離走に関する研究 : コーチングに役立つ科学的根拠を求めて. *体育学研究*, 48 : 355-367.

伊藤 章 (2007) 世界陸上の直前合宿におけるアメリカ短距離チーム. *コーチング・クリニック*, 21 : 28-31.

伊藤浩志・村木征人 (2005) スプリント走における主観的努力度の違いが疾走速度, ピッチ・ストライド, 下肢動作に及ぼす影響. *スポーツ方法学研究*, 18 : 61-73.



[J]

ジョーダン, P・スペンサー, B : 小田海平訳 (1970) 400m. アメリカ陸上競技の技術. 講談社 : 東京, pp.41-51.

[K]

門野洋介・阿江通良・榎本靖士・杉田正明・森丘保典 (2008) 記録水準の異なる 800m 走者のレースパターン. 体育学研究, 53 : 247-263.

門野洋介・榎本靖士 (2011) 2010 年日本一流男子 800m 選手のレースパターン分析ー日本高校新記録のレース分析ー. 陸上競技研究紀要, 7 : 30-32.

Kadono, H., Ae, M., Suzuki, Y. and Shibayama, K. (2013) Effects of Fatigue on Leg Kinetics during All-out 600 m Running. Int. J. Sport Health Sci., 11 : 54-61.

門野洋介 (2015) 800m 走のレースパターンと走動作に関するバイオメカニクス的研究. 平成 26 年度筑波大学博士論文.

門野洋介 (2016) 800m 走におけるレースパターンと走動作の特徴. 陸上競技研究, 106 : 2-9.

金子公宥 (2011) スポーツ・エネルギー学序説. 杏林書院: 東京.

苅部俊二 (2009a) 300m の通過タイムは目標タイムから換算する. 陸上競技マガジン, 59 (13) :166.

苅部俊二 (2009b) ペース配分で記録は大幅にアップする. 陸上競技クリニック, 1:32-34.

苅部俊二 (2009c) レースタイプを知り, 必勝パターンを持つ. 陸上競技マガジン, 59 (10) :139.

苅部俊二 (2016) 400m にとって大事な”スタミナ”とは?. 陸上競技マガジン, 66 (19) :165.

川上小百合・宮下 憲・志賀 充・谷川 聡 (2004) 女子 100m ハードル走のモデルタッチダウンタイムに関する研究. 陸上競技紀要, 17 :3-11.

川上小百合・宮下 憲・渡邊伸晃 (2007) モデルタッチダウンタイムを考慮したリズムドリルと 100mH パフォーマンスとの関連性 -13 秒台の女子ハードル選手を対象として-. 陸上競技研究, 71 (4) :45-50.

木越清信・加藤彰浩・前村公彦（2011）間欠的スプリントトレーニングの負荷特性 —休息時間と 400m 走能力に着目して—．陸上競技学会誌，9：7-14.

金原 勇・高松 薫・辺土名博司・阿江通良（1971）ハイスピードの持続能力が高まるペースとフォームに関する実験的研究．昭和 46 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No. II  
ハイスピードの持続能力の研究 —第一年研究—：30-46.

小林寛道（1990）スポーツ科学ライブラリー・3 走る科学．大修館書店：東京.

公益財団法人日本陸上競技連盟（2015）公益財団法人日本陸上競技連盟 競技者育成プログラム 2015．公益財団法人日本陸上競技連盟.

[L]

Letzelter, M. (1979) Zur Theorie des 400-Meter-Laufs. Schors-Verlag: Berlin.

[M]

前河洋一・山本利春（1989b）陸上競技の 400m 走におけるペース配分について．国際武道大学研究紀要，4：21-28.

前河洋一・山本利春（1990）陸上競技の 400m 走における競技成績とスプリットタイムの関

係. 国際武道大学研究紀要, 5:21-27.

前村公彦・宮下 憲・高松 薫 (2005) 重炭酸緩衝能力と 400m 走パフォーマンスとの関係.  
陸上競技研究, 62:10-15.

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分類. 体力科学, 59:465-474.

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・杉田正明・三井孝・市川博啓・阿江通良 (1999) 日本選手権における 200m およ  
び 400m のスピード変化. 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 1999 (2) :128-132.

松尾彰文・広川龍太郎・柳谷登志雄・土江寛裕・杉田正明 (2008) 男女 100m レースのスピ  
ード変化. バイオメカニクス研究, 12:74-83.

松尾彰文 (2009a) レーザー方式による 100m レースのスピード評価の試み. 日本トレーニ  
ング学会編 スプリントトレーニング—速く走る・泳ぐ・滑るを科学する—. 朝倉書店:  
東京, pp. 83-95.

松尾彰文 (2009b) 最新の科学サポート トップスプリンターのメカニズム. スプリント研究, 19 : 9-14.

Medbø, J.I., Mohn, A.C., Tabata, I., Bahr, R., Vaage, O. and Ole, M. (1988) Anaerobic capacity determined by maximal accumulated O<sup>2</sup> deficit. J. Appl. Physiol., 64 : 50-60.

Mero, A. and Komi, P. V. (1986) Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. Eur. J. Appl. Physiol., 55 : 553-561.

Mero, A. and Luhtanen, P. (1988) Kinematics of top sprint (400m) running in fatigued condition. Track & Field Quarterly Review. Spring, 88 : 42-45.

Mero, A., Rusko, H., Peltola, E., Pullinen, T., Nummela, A. and Hirvonen, J. (1993) Aerobic characteristics, oxygen debt and blood lactate in speed endurance athletes during training. J. Sports Med. Phys. Fitness, 33 (2) : 130-1366.

Miguel, P. P. and Reis, V. M. (2004) Speed strength endurance and 400m performance. New Studies in Athletics, 19 (4) : 39-45.

Mikami, E., Fuku, N., Murakami, H., Tsuchie, H., Takahashi, H., Ohiwa, N., Tanaka, H., Pitsiladis, Y. P., Higuchi, M., Miyachi, M., Kawahara, T. and Tanaka, M. (2014) ACTN3 R577X genotype is associated with sprinting in elite Japanese athletes. *Int. J. Sports Med.*, 35 : 172-7.

宮丸凱史・宮丸郁子 (1976) 短距離走. 金原 勇編 陸上競技のコーチング (1). 大修館書店 : 東京, pp224-229.

宮代賢治・山元康平・内藤 景・谷川 聡・西嶋尚彦 (2013) 男子 100m 走における身長別モデルステップ変数. *スプリント研究*, 22 : 57-76.

宮下 憲 (1993) 110m ハードルレースに於けるモデルタッチダウンタイムに関する研究. *陸上競技研究*, 14 : 10-20.

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. *陸上競技の医科学サポート研究 REPORT* 2003, 3 (1) : 27-29.

持田 尚・松尾彰文・柳谷登志雄・矢野隆照・杉田正明・阿江通良 (2007a) 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・広川龍太郎・高野 進・川本和久・柳谷登志雄（2007b）セイコース  
ーパー陸上 2006 ヨコハマにおける 400m 走競技者の疾走スピード変化について--11 区間平  
均疾走スピードの変化から．陸上競技研究紀要，3：65-69.

持田 尚（2007）短距離 男子 400m 走，ファイナリストへの道--大阪そして北京へ．陸上競  
技学会誌，6：14-20.

持田 尚，杉田正明，松尾彰文，広川龍太郎，柳谷登志雄（2008）世界トップレベルにおけ  
る男子 400m 走競技のレースパターンについて．陸上競技研究紀要，4：72-76.

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.

文部科学省（2013）私たちは未来から「スポーツ」を託されている—新しい時代にふさわし  
いコーチング—. 学研パブリッシング.

森 健一・吉岡利貢・白松宏輔・荻山 靖・尾縣 貢（2011）有酸素性能力の相違が Wingate  
test におけるエネルギー供給比に及ぼす影響．体力科学，60（5）：503-510.

森 健一・吉岡利貢・苺山 靖・尾縣 貢（2012）短距離走者における無酸素性能力および走パフォーマンス評価としての Wingate test の有用性. 体育学研究, 57 : 275-284.

森 健一（2012）陸上競技者における全力ペダリング運動を用いた体力評価の意義. 平成 23 年度筑波大学大学院博士論文.

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・榎本靖士・杉田正明・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との関係 —5 台目および 8 台目の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・青野博・神山雅子・上條育美・伊藤静夫（2004）走行中の血中乳酸動態から推定されるパワーと走能力との関係—アスリーの生理的特性を考慮した評価指標の開発—. トレーニング科学, 15 (3) : 159-166.

森丘保典・榎本靖士・杉田正明・松尾彰文・阿江通良・小林寛道（2005）陸上競技男子 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 (2006) 男子 400m ハードルにおけるタイプ別モデルタッチダウンタイムについて. 月刊陸上競技, 40 (12) : 176 - 178.

森丘保典・榎本靖士・山崎一彦・杉田正明・阿江通良 (2007) 一流男子 400m ハードル選手のレースパターンの類型化について —世界陸上大阪大会の決勝レース展望—. 陸上競技学会誌, 6 : 55-59.

森丘保典・山崎一彦 (2008) 陸上競技男子 400m ハードル走における最適レースパターンの創発：一流ハードラーの実践知に関する量的および質的アプローチ. トレーニング科学, 20 (3) : 175-181.

Mueller, H. and Hommel, H. (1997) Biomechanical research project at VIth World Championships in Athletics, Athens 1997: preliminary report. New Studies in Athletics, 12 (2/3) : 43-73.

村木征人 (1983) スプリント走における速度強度および歩幅と歩数に関する研究 —スプリント走の各種客観速度と主観速度および歩幅との関係—. 日本バイオメカニクス学会編「身体運動の科学V」. 杏林書院：東京, pp75-83.

村木征人・伊藤浩志・半田佳之・金子元彦・成 万祥 (1999) 高強度領域での主観的努力度の変化がスプリント・パフォーマンスに与える影響. スポーツ方法学研究, 12 : 59-67.

[N]

Nagahara, R., Naito, H., Morin, J. B. and Zushi, K. (2014) Association of acceleration with spatiotemporal variables in maximal sprinting. *Int. J. Sports Med.*, 35 (9) : 755-761.

内藤 景・荻山 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.

内藤 景 (2015) ステップタイプに応じた 100m 走の加速局面に対する指導の着眼点. 平成 26 年度筑波大学大学院博士論文.

内藤久士 (2011) ACTN3 遺伝子多型と運動能力. 体育の科学, 61 (9) : 691-696.

中田和寿・阿江通良・宮下 憲・横澤俊治 (2003) バイオメカニクスデータを活用した短距離疾走動作の改善. 陸上競技学会誌, 1 : 30-38.

野口純正 (2005) 400m のペース配分. 陸上競技マガジン, 55 : 130.

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 世界一流競技者の技術．ベースボールマガジン社：東京，pp. 50-56.

Nummela, A., Vuorimaa, T. and Rusko, H. (1992) Changes in force production, blood lactate and EMG activity in the 400-m sprint. *J. Sports Sci.*, 10 : 217-228.

Nummela, A., Rusko, H, and Mero, A. (1994) EMG activities and ground reaction forces during fatigued and nonfatigued sprinting. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 26 : 605-609.

Nummela, A., Stray, Gundersen, J. and Rusko, H. (1996a) Effect of fatigue on stride characteristics during a short-term maximal run. *J. of Applied Biomechanics*, 12 : 151-160.

Nummela, A., Mero, A., Stray-Gundersen, J. and Rusko, H. (1996b) Important determinants of anaerobic running performance in male athletes and non-athletes. *Int. J. Sports Med.* 17 (Suppl. 2) : 91-96.

[O]

岡尾恵市 (1990) 陸上競技のルーツをさぐる．文理閣：京都．

尾縣 貢・福島洋樹・大山圭悟・安井年文・鍋倉賢治・宮下 憲・関岡康雄・永井 純 (1998a)

下肢の筋持久性と 400m 走中の疾走速度逓減との関係. 体育学研究, 42 : 370-379.

尾縣 貢・福島洋樹・大山圭悟・安井年文・関岡康雄 (1998b) 筋疲労時の疾走能力と体力

的要因との関係. 体力科学, 47 : 535-542.

尾縣 貢・安井年文・大山圭悟・山崎一彦・苅部俊二・高本恵美・伊藤 穰・森田正利・

関岡康雄 (2000) 一流 400m ランナーにおける体力特性とレースパターンとの関係. 体育学  
研究, 45 : 422-432.

尾縣 貢・高本恵美・伊藤新太郎 (2003a) 上肢の無氣的作業能が 400m 走タイムおよび走  
速度逓減に及ぼす影響. 体育学研究, 48 : 573-583.

尾縣 貢・真鍋芳明・高本恵美・木越清信 (2003b) 400m 走中の下肢関節トルク持続能力と

下肢の筋持久性との関係. 体力科学, 52 : 455-463.

尾縣 貢 (2015) スポーツ科学からの暴力を用いない方法論の紹介. 体育学研究, 60 (Report) ,

R11\_1-R11\_18.

小木曾一之・串間敦郎・安井年文・青山清英 (1997) 全力疾走時にみられる疾走スピードの

变化特性. 体育学研究, 41 : 449-462.

Olesen, H. L., Raabo, E., Bangsbo, J., Secher, N. H. (1994) Maximal oxygen deficit of sprint and middle distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.*, 69 : 140-146.

Otte, B. and Hunt, D. (1998) Speed endurance vs. special endurance 1 vs. special endurance 2. *Track Coach*, 145 : 4627-4629.

[Q]

Quercetani, R. L. (2005) A world history of the one-lap race 1850-2004: "The killer sprint". 400 m. and 400m. relay, – men and women (1850-2004). Milan: SEP Editrice Srl.

Quinn, M. D. (2009) The effect of track geometry on 200- and 400-m sprint running performance. *J. Sports Sci.*, 27 : 19 - 25.

[R]

Rabita, G., Couturier, A., Dorel, S., Hausswirth, C. and Le Meur, Y. (2013) Changes in spring-mass behavior and muscle activity during an exhaustive run at VO<sub>2</sub>max. *J. Biomech.*, 46 : 2011-2017.

Ramsbottom, R., Nevill, A. M., Nevill, M. E., Newport, S. and Williams, C. (1994) Accumulated

oxygen deficit and short-distance running performance. *J. Sports Sci.*, 12 : 447-453.

ロベルト・L・ケルチュターニ (1992) 近代陸上競技の歴史 1860-1991 誕生から現代まで  
<男女別>. 財団法人日本陸上競技連盟 監修. ベースボール・マガジン社 : 東京.

Rusko, H., Nummela, A, and Mero, A. (1993) A new method for the evaluation of anaerobic running power in athletes. *Eur. J. Appl. Occup. Physiol.*, 66 : 97-101.

[S]

斉藤 満・橋本 勲 (1982) トップスプリンターの走速度と歩幅と歩数頻度ー日本と世界との一流選手の比較ー. *Japanese J of Sport Sci.*,1 : 237-241.

Salo, A. I. T., Bezodis, I. N., Batterham, A. M. and Kerwin D. G. (2011) Elite Sprinting: are athletes individually step-frequency or step-length reliant?. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 43 (6) : 1055-1062.

Saraslanidis, P. J., Panoutsakopoulos, V., Tsalis, G. A. and Kyprianou, E (2010) The effect of different first 200-m pacing strategies on blood lactate and biomechanical parameters of the 400-m sprint. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 111 (8) : 1579-1590.

佐藤光浩・中川功哉・関岡康雄 (2004) 400m 走における腕振りの効果に関する研究. 仙台

大学大学院スポーツ科学研究科研究論文集, 5 : 71-78.

Schiffer, J. (2008) The 400 metres. *New Studies in Athletics*, 23 (2) : 7-13.

Spencer, M, R. and Gastin, P, B. (2001) Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 33 : 157-162.

Sprague, P. and Mann, R. V. (1983) The effect of muscular fatigue on the kinetics of sprint running. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54 : 60-66.

杉田正明・松尾彰文 (2000) スピード, ピッチおよびストライド. 深代千之ほか編 スポーツバイオメカニクス. 朝倉書店 : 東京, pp.18-20.

杉田正明 (2003) 陸上競技・トラックレースの分析について. *バイオメカニクス研究*, 7(1) : 82-88.

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.

[T]

高野 進 (1988) わが 400m の 10 年間. 月刊陸上競技, 22 : 122-124.

高野 進 (1989) 高野 進、『44 秒 90』への道のり. 陸上競技マガジン, 39(4)-39(9): 120-123, 54-57, 66-69, 116-119, 172-175, 200-203.

高野 進 (1993) 私の 400m. スプリント研究, 3 : 57-69.

高野 進 (2008) 陸上短距離走パーフェクトマスター. 新星出版社 : 東京, pp. 24-25.

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.

谷川 聡・宮代賢治・阿江通良・白木 仁・西嶋尚彦・尾縣 貢 (2011) 100m パフォーマンスの科学データ利用モデルと発達過程に関する研究. 財団法人上月スポーツ・教育財団第 6 回 (2008 年度) スポーツ研究助成事業研究論文.

谷川 聡・内藤 景 (2014) スプリント・ハードルトレーニングのためのバイオメカニクス知見の活かし方. バイオメカニクス研究, 18 (3) : 157-169.

土江寛裕・中川博文・矢澤 誠・佐々木秀幸 (2002) 200m 競争における 10m 毎の疾走速度



とピッチ, ストライド変化. 陸上競技紀要, 15 : 30-38.

土江寛裕 (2011) 400m のレースパターン. 陸上競技入門ブック 短距離・リレー. ベースボール・マガジン社 : 東京, pp. 52-53.

[U]

内山治樹 (2013) コーチの本質. 体育学研究, 58 : 677-697.

[W]

Weyand, P. G., Cureton, K. J., Conley, D. S., Sloniger, M. A. and Liu, Y. L. (1994) Peak oxygen deficit predicts sprint and middle-distance track performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 26 : 1174-1180.

[Y]

山元康平・高橋恭平・広川龍太郎・松林武生・小林海・松尾彰文・柳谷登志雄 (2016) 2015 年主要競技会における男女 400m 走のレース分析. 陸上競技研究紀要, 11 : 128-134.

山本昌三・金高宏文・松村 勲・井上修平・桃原 亮 (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 (1) :20-24.

山本正嘉・前河洋一・山本利春・金久博昭 (1988) 2 分間の運動におけるペース配分の影響

ーエネルギー代謝の観点からー. 国際武道大学紀要, 4 : 49-54.

Yang, N., MacArthur, D.G., Gulbin, J.P., Hahn, A.G., Beggs, A.H., Eastal, S., North, K. (2003)  
ACTN3 genotype is associated with human elite athletic performance. *Am. J. Hum. Genet*, 73 : 627-  
631.

山崎一彦・尾縣 貢・高本恵美・伊藤 穰・澤木啓祐 (2001) エリート 400m 系スプリンタ  
ーの体力特性：十種競技者との比較. 陸上競技研究, 46 (3) : 2-7.

山崎一彦 (2009) ロングスプリントのトレーニング. 日本トレーニング科学会編 スプリン  
トトレーニングー速く走る・泳ぐ・滑るを科学するー. 朝倉書店：東京, pp. 104-114.

安井年文・小木曾一之・青山清英・串間敦郎 (1997) 男子 400MH 走におけるレース分析に  
ついて. 第 13 回バイオメカニクス学会大会編集委員会 身体運動のバイオメカニクス,  
pp.206-210.

安井年文・青山清英・尾縣 貢・関岡康雄・永井 純・宮下 憲・福島洋樹・小木曾一之 (1998a)  
400m 走の前・後半における疾走動作の相違について. 陸上競技研究, 32 : 15-24.

安井年文・尾縣 貢・福島洋樹・宮下 憲・関岡康雄 (1998b) 400m 疾走中の速度逡減に影

響を及ぼす体力的要因について. 陸上競技研究, 35 : 2-15.

安井年文・田端健児・村上幸史・本道慎吾・一川大輔・高嶋瑠依 (2007) 国内一流 400m スプリンターの 400m 走における前・後半の疾走動作の特徴. 陸上競技研究, 69 : 12-21.

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.

横井孝志 (1987) 形態的要因が走動作におよぼす影響に関する生力学的研究. 昭和 62 年度 筑波大学大学院教育学博士論文.

横川和幸・佐藤光浩 (2004) 第 9 回世界陸上選手権大会 (フランス・パリ) 出場選手の記録発達および今後の課題について —男子 400m 佐藤光浩の事例研究—. 仙台大学紀要, 35 (2) : 17-26.

吉田真希子・川本和久 (2003) 女子陸上競技者の 400m 疾走中における酸素借と酸素摂取量に関する研究. 陸上競技紀要, 16 : 19-26.

吉岡利貢・前村公彦・中垣浩平・高松 薫・鍋倉賢治 (2006) 400m 走における終盤の速度逓減に及ぼす無酸素性能力の影響. 体力科学, 55 (6) : 77.

吉岡利貢・前村公彦・井上洋祐・宮下 憲・鍋倉賢治（2009）400m スプリンターを対象とした自転車運動による体力評価の有用性．陸上競技研究，77（2）：10-16.

[Z]

関子浩二（2000）問題解決型思考によるトレーニング計画の勧め トレーニングマネジメント・スキルアップ革命 スポーツトレーニングの計画がわかる② ースポーツトレーニングの目標論ー． コーチング・クリニック，2（c-1）：30-33.

関子浩二（2009）スプリントトレーニングのマネジメント．日本トレーニング科学会編 スプリントトレーニングー速く走る・泳ぐ・滑るを科学するー．朝倉書店：pp.1-9.

関子浩二（2010）スポーツ選手や指導者に役立つ実践の学としてのコーチング学の一つの方向性．日本体育学会体育方法専門分科会会報，36：99-104.

関子浩二（2014）コーチングモデルと体育系大学で行うべき一般コーチング学の内容．コーチング学研究，27（2）：149-161.