

平成 28 年度修士論文

1500m 走のランニングペースに関する一考察

- ペースモデルの作成を通して -

Study on the pace of 1500m Running

- by creating the pace models -

弘前大学 大学院教育学研究科 教科教育専攻 保健体育専修

運動学分野 2 年

学籍番号：14GP224

楊 永昌

## 目 次

I. 緒言	p 2～ p 4
II. 研究方法	p 5～ p 11
III. 結果	p 12～ p 21
IV. 考察	p 22～ p 23
V. まとめ	p 24～ p 25
VI. 謝辞	p 26
VII. 参考文献	p 27
VIII. スプリットタイム基準表	p 28～ p 36

## I. 緒言

ペースとは力学的にはスピードの配分として、生理学的にはエネルギー（有酸素的、無酸素的のエネルギー）の配分として捉えることができる<sup>1)</sup>。中長距離走のレースにおいてペースパターンをどう設定するかは、自己記録の更新やレースの勝敗を決定するうえで大きな影響を持つ<sup>10) 11)</sup>。一般に中長距離走のペースは走速度を一定に保つ等速ペースを基準に考えられている。走行中の空気抵抗を考えなければ、等速運動では余分な力を使わない。これが物理的視点からイーブンペースが効率的であると言われる所以である<sup>8)</sup>。しかし、実際のレースにおける通過時間と距離の関係は、直線的な変化を示すことは少なく、高次の変化パターンを示す。Adams, W.C. ら<sup>2)</sup>によれば、ペースパターンを大別すると「slow-fast」、「fast-slow-fast」、「steady」の3種類に分類可能であるとされる。この内「slow-fast」は、ラストスパートの能力に差のあるレースでよくみられるが好記録は望めない。実際のレースでは加速・減速の割合は異なるものの「fast-slow-fast」のペースパターンが最も多く、記録的にも「slow-fast」よりは優位な場合が多いと考えられている。また、有吉ら<sup>3)</sup>の実験研究によると、fast-slow のペースパターンが生理学的には効率がよく、ラストスパートのための残存体力が期待できるとされている。

中長距離走のレースでは、競技者は予め設定したラップタイムやスプリットタイムをもとにペースコントロールを行う。本研究は、1500m 走を対象に、大別される3つのペースパターンの内、「fast-slow-fast」について、年齢や性等で区分される8競技種別毎のペースモデルを作成し、これらのモデルをもとに、競技者の目標タイムをInput Data とした「スプリットタイム基準表」作成のためのExcel シートの提示及び2次の多項式モデル(時間-速度)による競技種別間のペース配分の比較を行う。

先行研究では中長距離走のペースに関する研究が数多く見られる。その中でも「ランニングペースの数学モデル」<sup>4)</sup>や「中距離走のペースに関する実験的研究」<sup>6)15)</sup>、「ランニングペースに影響を及ぼす要因について」<sup>7)</sup>等の研究報告は、モデリングの手法を取り入れたことや詳細な生理学的実験データに基づき考察を加えた点で先進性に富んでいると言える。

菅原らは<sup>4)</sup>、長距離レースのペースパターンを数学モデルを用いて数式で表現する

ことを初めて試み、レースの「ラップタイム基準表」を作成した。このモデルは、レース距離とレースタイムが共に「1」となるように規格化したものである。モデル作成の過程では、実際のレースのラップタイムから求めた平均速度（ $V$ ）と通過時間（ $t$ ）との関係が2次曲線（ $V = at^2 + bt + c$ ）で近似（ $r > 0.9$ ）できることを確認し、通過時間（ $t$ ）と距離（ $S$ ）との関係を3次曲線（ $S = at^3 + bt^2 + ct + d$ ）で表すモデルを提示した。このモデルでは、スタートの距離とタイムは共に「0」であり、レース距離とタイムを共に「1」と規格することにより、必ず（0, 0）（1, 1）の2点を通る回帰式（ $a+b+c=1$ ,  $d=0$ ）となる。

東ら<sup>9)</sup>は、前述した菅原らの研究手法をもとに、長距離走においてみられる「揺さぶり」を考慮した2つのペースモデルの作成を試みた。このモデルの特徴は、レース全体の平均速度に対する各 구간ごとの平均速度の比を「区間速度比」と定義してペース設計をしたことである。これにより、モデルから作成される通過タイムは、ファジーな競技者の疾走感覚によってもコントロール可能になることが示唆されている。

この研究でのペースの基本パターンは、Type A,B,C,Dの4つに分類される。Type A～Type Cは5次の多項式、Type Dは2次の多項式と正弦波形を組み合わせた数学モデルである。いずれのモデルもレース中の「揺さぶり」を想定してペース表を作成できる新しい提案ではあるが、800m走や1500m走の中距離種目は、長距離種目に比べ疾走速度が大きく、レース中に顕著な「揺さぶり」は見られず、この種目に対するモデルの適合度は低いと考える。

有吉ら<sup>10)</sup>は、中距離走のペースについて、生理学的視点から報告をしている。実験では、3つのペースパターン（slow-fast, fast-slow, steady）を設定し、被験者には4分間の1400mトレッドミル走を課し、運動中の酸素摂取量、酸素負債、心拍数などの測定を行った。結果を要約すると：オールアウトの時間は、fast-slowのペースパターンが明らかに長かった。酸素需要量と酸素負債は、fast-slowが数値的には最も小さいが総計的有意差は認められない。走行中の酸素摂取量、心拍数、呼吸数は、各ペースパターン間に目立った差異は認められない。回復過程の酸素消費量、心拍数、呼吸数は、fast-slowが最も小さな値を示したがその差は顕著ではない等々。結論として、fast-slowのペースパターンが生理学的には効率がよく、ラストスパートのための残存体力が期待できることを示唆した。

中野ら<sup>11)</sup>は、ランニングペースに影響を及ぼす要因について考察している。この研

究では、まず被験者の最大酸素摂取量をトレッドミル走で実験的に測定し、さらに1500mを4区間に分け、各区間の走速度、ピッチ、ストライド、心拍数及び疾走直後の血中乳酸濃度を実走実験により測定し統計的分析を行っている。結果をまとめると走速度、ピッチ、ストライドは第三区間が一番低かった。心拍数は第四区間が一番高かった。1500mの記録と走速度及び%走速度の関係をみると、中盤の走速度の大小が記録に最も影響を及ぼしている。第三区間における%走速度は血中乳酸濃度と有意な負の相関関係にあり、血中乳酸濃度が低い者ほど相対走速度が高く、結果的に好記録に繋がると考える。第四区間のピッチと最大酸素摂取量は有意な正の相関関係にある。ピッチと走速度は相関性が高く、よって有酸素能力が高いほどラストスパートの能力に長けていることになる。

これまでの中長距離走のペースに関する先行研究は、いずれも単一の競技種別を対象にしたものであり、年齢や性差の違いについては論じられていない。この意味で本研究が提示する競技種別毎のペースモデルは、より実践的で実用価値が高く、モデルを介してペース配分の違いをみることも意味あることと考える。

## Ⅱ.研究方法

### 1.分析対象

本研究で扱う競技種別については、中学校男女、高校男女、大学男女及び一般男女の 8 種別を分析対象とした。調査対象とした試合、年月日、場所を表 1、2、3、4 に示す。

表 1：本研究で扱う競技種別と対象になった競技会（中学校男・女）

中学校女子 1500m			中学校男子 1500m		
試合	年月日	場所	試合	年月日	場所
第 42 回関東中学校総合体育大会陸上競技	2014 年 8 月 7、8 日	Shonan BMW スタジアム平塚陸上競技場	第 62 回近畿中学校総合体育大会陸上競技	2013 年 8 月 6、7 日	東近江市立布引陸上競技場
第 43 回関東中学校総合体育大会陸上競技	2015 年 8 月 6、7 日	笠松運動公園陸上競技場	第 42 回全日本中学校陸上競技選手権大会	2015 年 8 月 18～21 日	札幌市厚別公園競技場
第 64 回近畿中学校総合体育大会陸上競技	2015 年 8 月 6、7 日	奈良市鴻ノ池陸上競技場	第 43 回関東中学校総合体育大会陸上競技	2015 年 8 月 6・7 日	笠松運動公園陸上競技場

表 2：本研究で扱う競技種別と対象になった競技会（高校男・女）

高校女子 1500m			高校男子 1500m		
試合	年月日	場所	試合	年月日	場所
第 50 回群馬県高校総合体育大会	2015 年 5 月 21～24 日	県立敷島 公園陸上 競技場	第 61 回東海高校総合体育大会	2014 年 6 月 20～ 22 日	瑞穂運動公 園陸上競技 場
第 69 回愛知県高等学校総合体育大会	2015 年 5 月 2～3 日	豊橋市陸 上競技場	第 49 回佐賀県高校総合体育大会	2011 年 6 月 3～7 日	鹿島市営陸 上競技場
第 61 回東海高等学校総合体育大会	2014 年 6 月 20～22 日	瑞穂運動 公園陸上 競技場	2013 年熊本県高校総合体育大会	2013 年 5 月 31～6 月 3 日	熊本県民総 合運動公園 陸上競技場

表 3：本研究で扱う競技種別と対象になった競技会（大学男・女）

大学女子 1500m			大学男子 1500m		
試合	年月日	場所	試合	年月日	場所
第 98 回日本陸上競技選手権大会	2014 年 6 月 6～8 日	県営あづ ま陸上競 技場	第 99 回日本陸上競技選手権大会	2015 年 6 月 26～ 28 日	デンカビッ グスワンス タジアム
第 80 回日本学生陸上競技対校選手権大会	2011 年 9 月 9～11 日	KKWING	第 82 回日本学生陸上競技対校選手権	2013 年 9 月 6 日～ 8 日	東京国立競 技場
第 82 回日本学生陸上競技対校選手権	2013 年 9 月 6 日～8 日	東京国立 競技場	第 96 回日本陸上競技選手権大会	2012 年 6 月 8～10 日	大阪市長居 陸上競技

表 4：本研究で扱う競技種別と対象になった競技会（一般男・女）

一般女子 1500m			一般男子 1500m		
試合	年月日	場所	試合	年月日	場所
1996 年アトランタオリンピック大会	1996 年 7 月 19～8 月 4 日	センテニアル・オリンピックスタジアム	2000 年シドニーオリンピック大会	2000 年 9 月 15～ 10 月 1 日	スタジアム・オーストラリア
2004 年アテネオリンピック大会	2004 年 8 月 13 日～29 日	アテネオリンピックスポーツコンプレックス	2004 年アテネオリンピック大会	2004 年 8 月 13 日 ～29 日	アテネオリンピックスポーツコンプレックス
2012 年ロンドンオリンピック大会	2012 年 7 月 27～8 月 12 日	オリンピックスタジアム（ロンドン）	2012 年ロンドンオリンピック大会	2012 年 7 月 27～8 月 12 日	オリンピックスタジアム（ロンドン）

## 2.測定方法

### （１）分析対象としたビデオデータについて

上記 8 競技種別のビデオデータを日本陸上競技連盟及び国際陸上競技連盟が公開している動画サイト（YouTube を含む）からビデオキャプチャソフト（Bandicom）を使い AVI ファイルとして収録（サンプリング周波数は 1/30 秒）。この収録データの内、一般男女についてはオリンピック大会優勝者のもの、それ以外の競技種別については、各年代国内トップレベルの記録が出た大会の優勝者のものとした。また、各競技種別とも 3 名の異なる競技者のビデオデータを収録した。



## (2) 1500m 走におけるスプリットタイム計測地点 (図 1)

本研究におけるスプリットタイム計測地点は図 1 を示したように第 1 コーナーがゴールライン、第 2 コーナーが 1500m スタートライン、第 3 コーナーが 5000m スタートライン、第 4 コーナーが 400m リレーテイクオーバーゾーン中間点である。

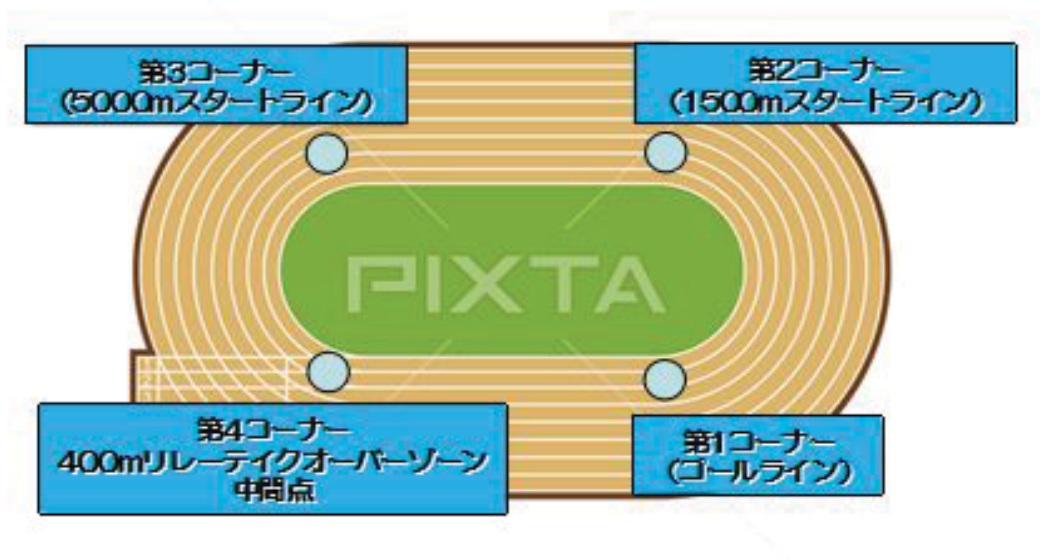


図 1. 1500m 陸上競技場

## (3) ペースモデルの作成

本研究におけるモデル作成の手順は、菅原らの方法に倣った<sup>4)</sup>。モデル作成のために必要なデータは、レース中のスプリットタイムである。そこで本研究では、収録した画像をビデオ編集ソフト「Veedub64」にて再生し、100m 毎の通過時間を測定した。この通過時間をもとに 100m 区間の平均速度  $v_m$  を求め、これをペースモデル作成のための基礎データとした。

全レース距離  $S_n$  を時間  $T_n$  で走る時、各距離  $S_i$  の地点を通過する時刻を  $T_i$  ( $i=0,1,2,3\cdots n$ ) とする。今回は、1500m レースにおける 100m 毎の通過タイム ( $n=15$  の測定タイム) の結果をもとにペースパターンの作成を行った<sup>8)</sup>。

実際のレースの通過タイムを参考にしてペースパターンを数式表現する際、まず、全レース距離  $S_n$  と全レースタイム  $T_n$  が共に 1 となるように規格化する。規格化した距離  $s_i$  は  $s_i = S_i / S_n$ 、規格化した時刻  $t_i$  は  $t_i = T_i / T_n$  ( $i=0,1,2,3\cdots n$ ) で表され  $s_n$ 、 $t_n$  は共に 1 となる。規格化することによってレース距離と通過タイムの違いが消去され、ペース配分を比較しやすいパターンとしてとらえることができる<sup>4)</sup>。また、各区間の

平均速度  $v_i$  は、規格された距離  $s_i$  と時刻  $t_i$  から  $t'$  を  $t' = (t_i + t_{i-1})/2$  とした時の  $v_i = v(t') = (s_i - s_{i-1}) / (t_i - t_{i-1})$  ( $i=0,1,2,3,\dots,n$ ) より求められる。全レース距離  $s_n = 1$  と全レースタイム  $t_n = 1$  で走った時レース全体の平均速度は 1 になるため、各時刻の平均速度  $v_i$  は 1 を基準とした値として表される。この規格化された各時刻の平均速度  $v_i$  は、レース全体の平均速度 1 に対する比率を表しているため区間速度比と呼ぶことにする。レースのスタートからゴールまで、各時刻における区間速度比がいつも 1 であれば、そのレースはイーブンペースのレースを意味する。1 より大きければ、ペースが速い、1 より小さければ、ペースが遅いといったことが 1 を基準とした比率で考えられるので、レースのペース配分を考えるうえで便利である。<sup>5) 9)</sup> 以上によって、表 5 は中学男子を例として作られたものである。

表 5：中学校男子 1500m のオリジナルデータ

例：第 43 回関東中学校総合体育大会陸上競技 男子 1500 決勝						
距離 (m)	タイム (s)	速度 (m・s)	距離を 1 と規格化 ( $s_i$ )	タイムを 1 と規格化 ( $t_i$ )	各区間の時間 ( $t'$ )	各区間の速度比 ( $v_i$ )
0	0	0	0	0	0	0
100	14.63	6.84	0.07	0.06	0.03	1.17
200	31.14	6.42	0.13	0.13	0.10	0.86
300	46.89	6.40	0.20	0.19	0.16	1.17
400	63.80	6.27	0.27	0.26	0.23	1
500	81.03	6.17	0.33	0.33	0.30	0.86
600	99.19	6.05	0.40	0.41	0.37	0.88
700	117.24	5.97	0.47	0.48	0.45	1
800	134.92	5.93	0.53	0.55	0.52	0.86
900	151.92	5.92	0.60	0.62	0.59	1
1000	169.54	5.90	0.67	0.69	0.66	1
1100	185.15	5.94	0.73	0.76	0.73	0.86
1200	199.79	6.01	0.80	0.82	0.79	1.17
1300	214.75	6.05	0.87	0.88	0.85	1.17
1400	230.40	6.08	0.93	0.94	0.91	1
1500	244.26	6.14	1	1.00	0.97	1.17

表 5 のオリジナルデータから、求めた平均速度と通過タイムとの関係は、ほぼ 2 次曲線で近似することができる。よって、時間と距離との関係は、3 次曲線 ( $S = at^3 + bt^2$

+ ct + d) を用いるのが適当と考えられる。 3 次曲線の係数を求める方法は、最小二乗法を用いて、二つの境界条件をもたせた 3 次曲線回帰によった。これは、ペースの近似に用いる場合には、スタート時の距離と時間はともに 0 であり、レース距離及びレースタイムはともに 1 と規格化したことにより、近似曲線は必ず (0, 0)、(1, 1) の両端の点を通る必要があるためである<sup>4)</sup>。

以上を考慮し、3 次回帰曲線は以下の式で表される。

$$S = at^3 + bt^2 + ct \quad (a + b + c = 1) \quad \dots\dots\dots (1)$$

図 2 は、表 5 のオリジナルデータから求めた中学校男子の数学 (3 次曲線) モデルである。そして、このモデルがスプリットタイム基準表作成のための数学モデルとなる。

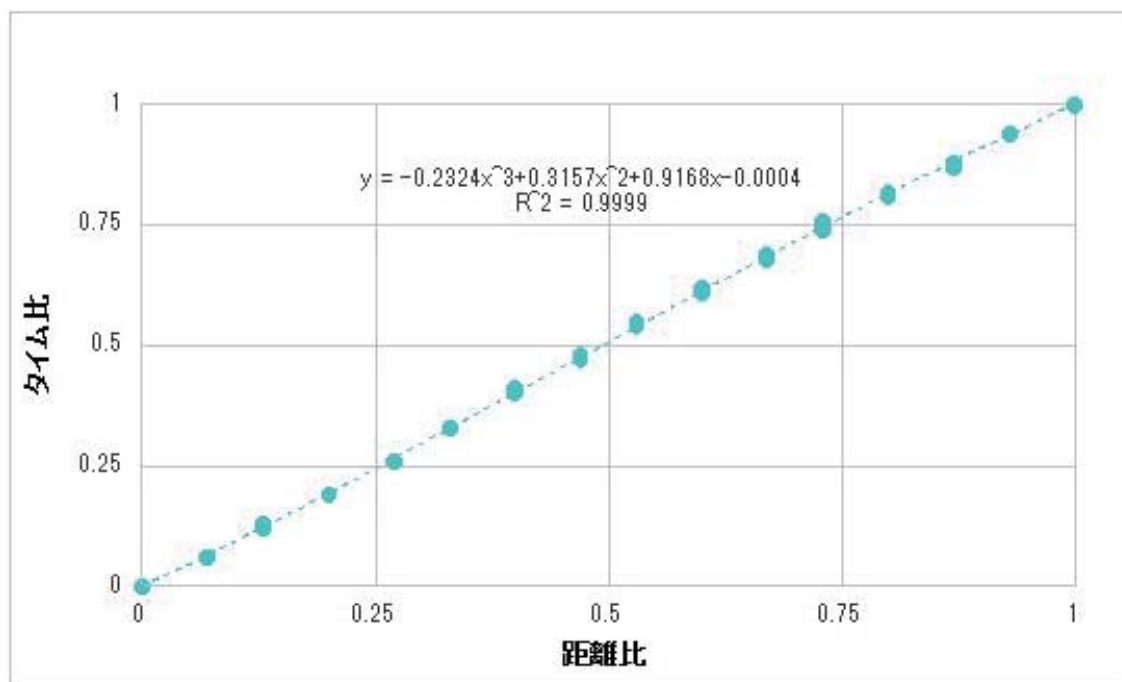


図 2：タイム比と距離比 3 次回帰曲線(中学校男子)

#### (4) 競技種別間のペース配分の比較

ビデオ画像から求めた 100m 毎の平均速度 (V) と通過タイム (t) の関係から、レース距離を「1」とした以下の 2 次の多項式モデルを作成。(図 3 参照)

$$V = at^2 + bt + c \quad \dots\dots\dots (2)$$

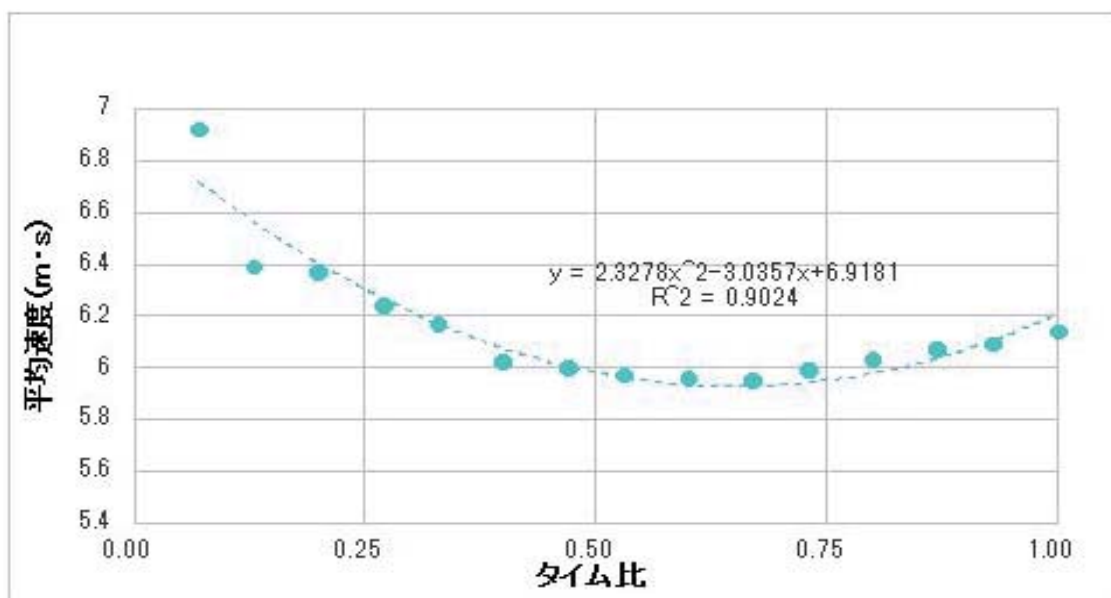


図 3：平均速度とタイム比の 2 次曲線(中学校男子)

このモデルをもとに、1500m を 4 区間 (第 1～4 quarter) に分け、各区間のペースの違いを競技種別間で比較した。

### Ⅲ. 結果

#### (1) 競技種別毎のペースモデル ( $S = at^3 + bt^2 + ct$ ) 及びスプリットタイム基準表 (表 6 別紙添付) の作成

分析の結果、競技種別毎のペースモデルは、高い適合度 ( $r^2 \approx 1$ ) をもって以下の数式が得られた。

■ 中学校男子 :  $S = -0.2324t^3 + 0.3157t^2 + 0.9168t$  ( $r^2 = 0.9999$ )

■ 中学校女子 :  $S = -0.2252t^3 + 0.3427t^2 + 0.8824t$  ( $r^2 = 0.9999$ )

■ 高校男子 :  $S = -0.2284t^3 + 0.3248t^2 + 0.9034t$  ( $r^2 = 0.9998$ )

■ 高校女子 :  $S = -0.1949t^3 + 0.2759t^2 + 0.9190t$  ( $r^2 = 0.9999$ )

■ 大学男子 :  $S = -0.1591t^3 + 0.1927t^2 + 0.9661t$  ( $r^2 = 0.9999$ )

■ 大学女子 :  $S = -0.1442t^3 + 0.1940t^2 + 0.9498t$  ( $r^2 = 0.9999$ )

■ 一般男子 :  $S = -0.1729t^3 + 0.1946t^2 + 0.9776t$  ( $r^2 = 0.9998$ )

■ 一般女子 :  $S = -0.1723t^3 + 0.2404t^2 + 0.9331t$  ( $r^2 = 0.9999$ )

#### (2) 競技種別毎の 2 次多項式モデル ( $V = at^2 + bt + c$ )

また、競技種別間のペース配分の違いをみるための 2 次多項式モデルも高い適合度 ( $r^2 > 0.89$ ) をもって以下の数式が得られた。

■ 中学校男子 :  $V = 2.3278t^2 - 3.0357t + 6.9181$  ( $r^2 = 0.9024$ )

■ 中学校女子 :  $V = 1.9758t^2 - 2.8530t + 6.5353$  ( $r^2 = 0.9735$ )

■ 高校男子 :  $V = 2.0620t^2 - 2.8737t + 7.2180$  ( $r^2 = 0.9805$ )

■ 高校女子 :  $V = 1.4743t^2 - 2.0064t + 6.3073$  ( $r^2 = 0.9450$ )

■ 大学男子 :  $V = 1.4345t^2 - 1.7647t + 7.0224$  ( $r^2 = 0.9396$ )

■ 大学女子 :  $V = 1.5448t^2 - 2.0688t + 6.3814$  ( $r^2 = 0.9482$ )

■ 一般男子 :  $V = 2.5638t^2 - 3.1612t + 7.7351$  ( $r^2 = 0.8922$ )

■ 一般女子 :  $V = 1.7656t^2 - 2.3573t + 6.8568$  ( $r^2 = 0.9754$ )

### (3) 競技種別間のペース配分の比較

#### a.男子競技者の比較

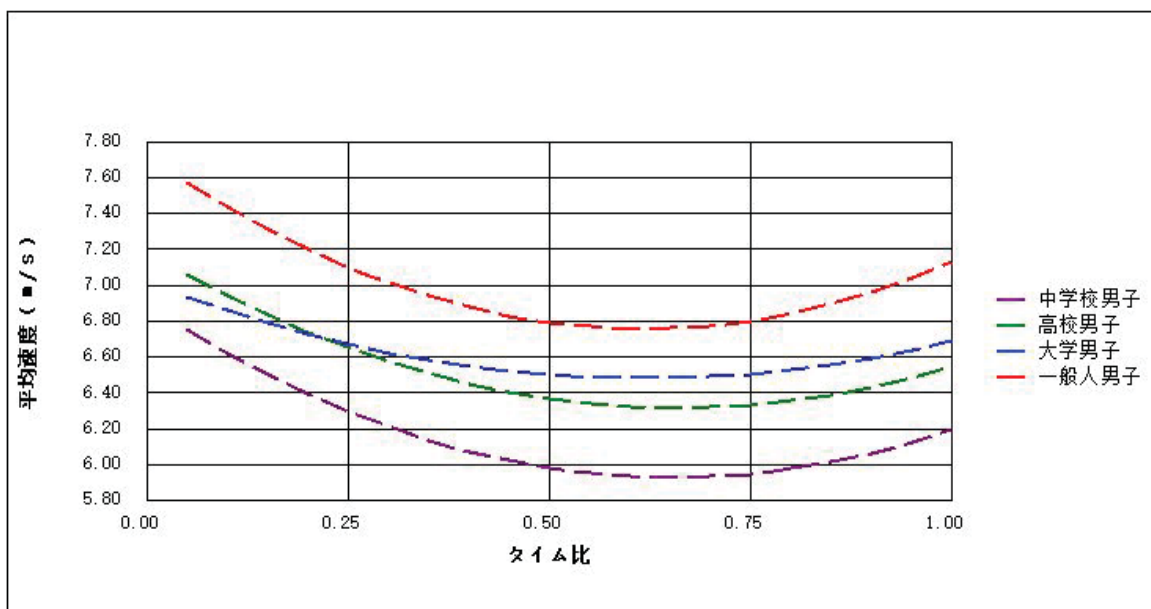


図 4-1：男子競技者の競技種別ごとの走速度とタイム比の関係

図 4-1 は 2 次多項式モデルをもとに、1500m 走のペースを男子競技者間で比較したものである。この図から、走速度は一般男子が最も速く、次いで大学生、高校生、中学校生の順で、中学校男子が最も遅いことがわかる。また、1500m を 4 区分に分け、各区間の平均走速度をみると、いずれの競技種別も第 3quarter が最も遅い。更に、各競技種別の走速度の最大値と最小値の差は、一般男子と中学校男子が 0.96m/s で最も大きく、次に高校男子の 0.87m/s、大学男子は 0.54m/s で一番小さかった。総体的にみれば、高校男子と大学男子は競技レベルもペース配分も類似している。

また、図 4-1 から第 1quarter の走速度がすべての競技種別において最も早いことがわかる。そこで、図 4-2 には第 1quarter の平均速度を 100 としたときの、各区間の速度比を示した。この図からわかるように、ペースが最も遅くなるのは第 3quarter である。その減速率（第 3quarter の平均走速度／第 1quarter の平均走速度）みると、大学男子が最も小さく、中、高と一般男子はこの間の減速率が大きかった。一方、疾走ペースが落ちる第 3quarter の平均走速度に対する第 4 quarter の平均走速度は、2.72%の加速

率で一般男子が最も高かった。

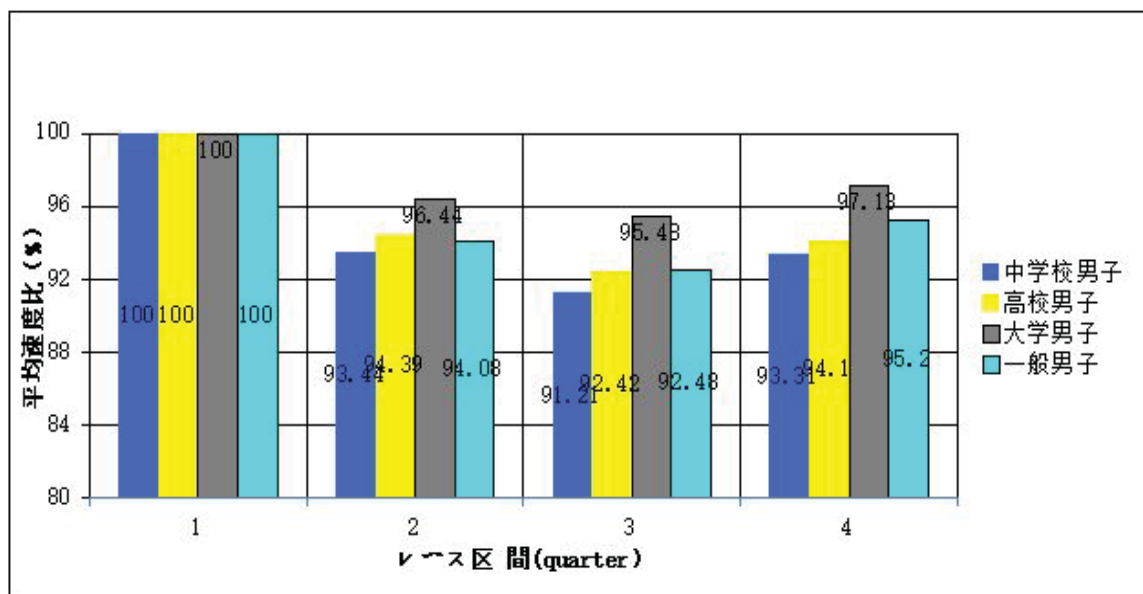


図 4-2：第 1quarter を 100 としたときの各レース区間の平均速度比（男子）

## b.女子競技者の比較

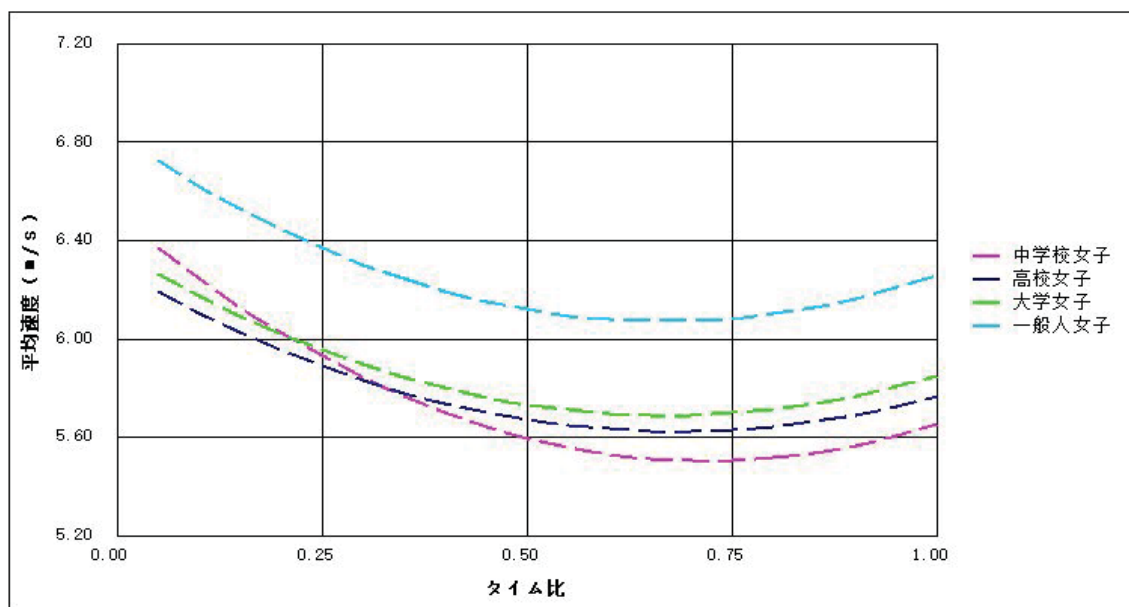


図 5-1：女子競技者の競技種別ごとの走速度とタイム比の関係

女子競技者の競技レベルは、一般女子が優位に高く、中、高、大学生では大きな差がない。ペース配分については男子同様、全競技種別とも第 1quarter が一番早く、第 3quarter が一番遅かった。

中、高、大学生を比較すると、第 1quarter では、中学生のペースが高校、大学より速く、第 3quarter における速度低下（最大走速度－最小走速度）は中学生が最も大きかった。また、各競技種別の走速度の最大値と最小値の差をみれば、中学校女子は 0.84m/s で最も大きく、次は一般女子 0.57m/s、高校女子 0.52m/s と大学女子 0.51m/s だった。レース中の走速度の変化は、高校女子と大学女子が極めて近く、ペース配分、競技レベルともに差がなかった。

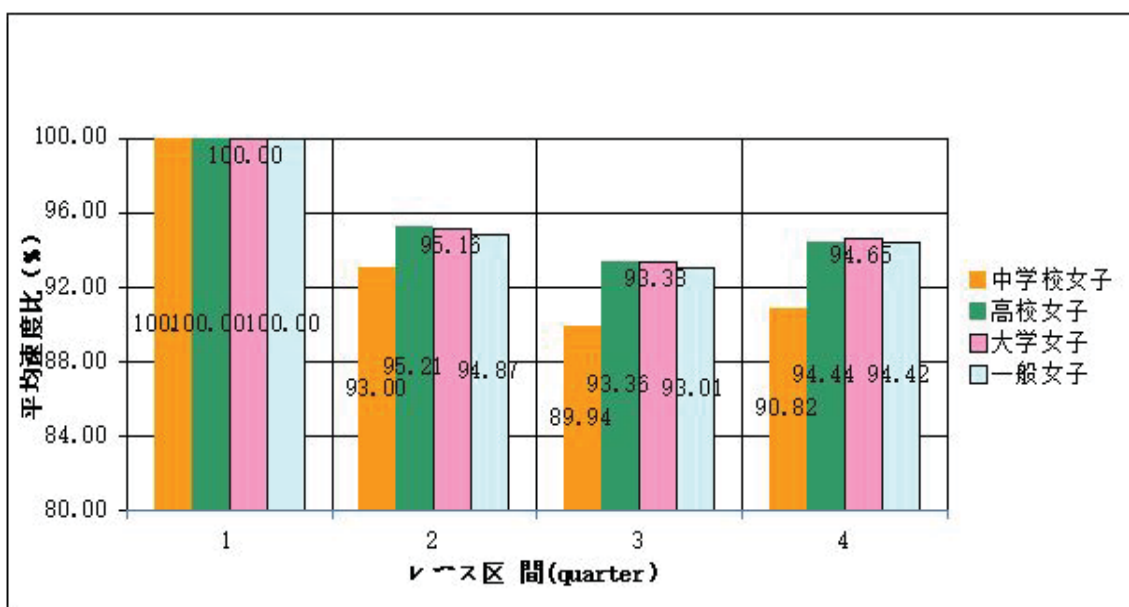


図 5-2：第 1quarter を 100 としたときの各レース区間の平均速度比（女子）

ペースが最も早い第 1quarter の平均速度を 100 とすると、競技種別間でペース配分の違いがわかる。いずれの競技種別でも第 3quarter の減速率が最も大きく、中でも中学校女子は 10.06% で一番大きい。これに対し、一般女子は 6.62% で最も小さかった。また、第 4quarter の加速率は中学校女子が 0.88% で最も低く、一番高いのは一般女子で 1.41% だった。



## c.男女の比較

### c-1.中学生

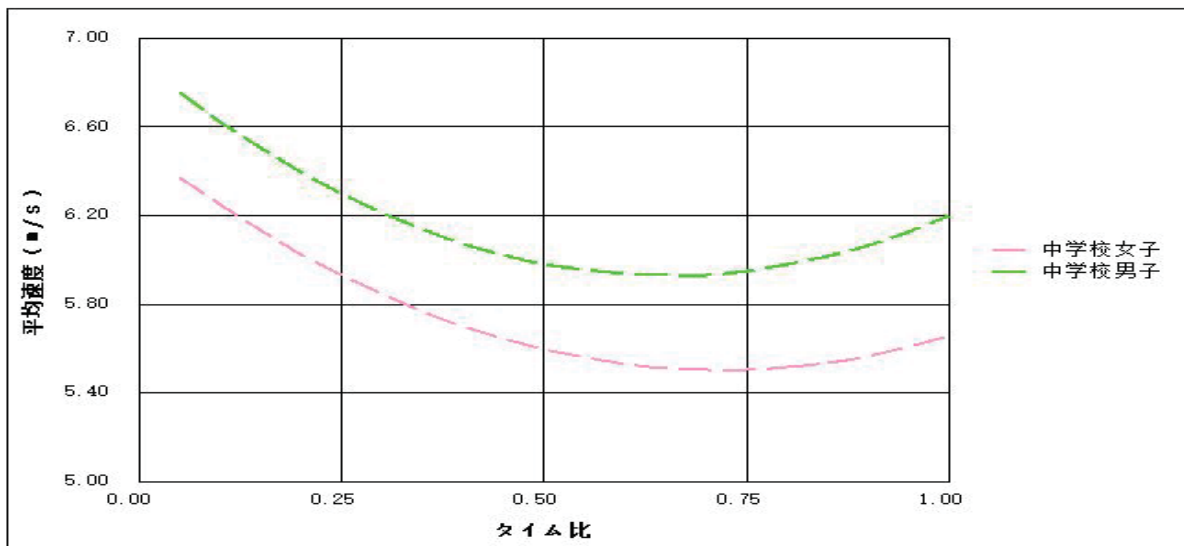


図 6-1：中学男・女の走速度とタイム比の関係

中学男女の比較では、男子が女子に比べ競技レベルは優位に高いが、男女の走速度の最大値と最小値の差は男子 0.96m/s、女子 0.99m/s でレース中の速度変化は女子の方が大きい。また、第 3quarter における速度低下は、女子が男子より大きく、逆に、第 4quarter での速度増加は、男子が 0.27m/s、女子が 0.15m/s で男子が女より大きかった。

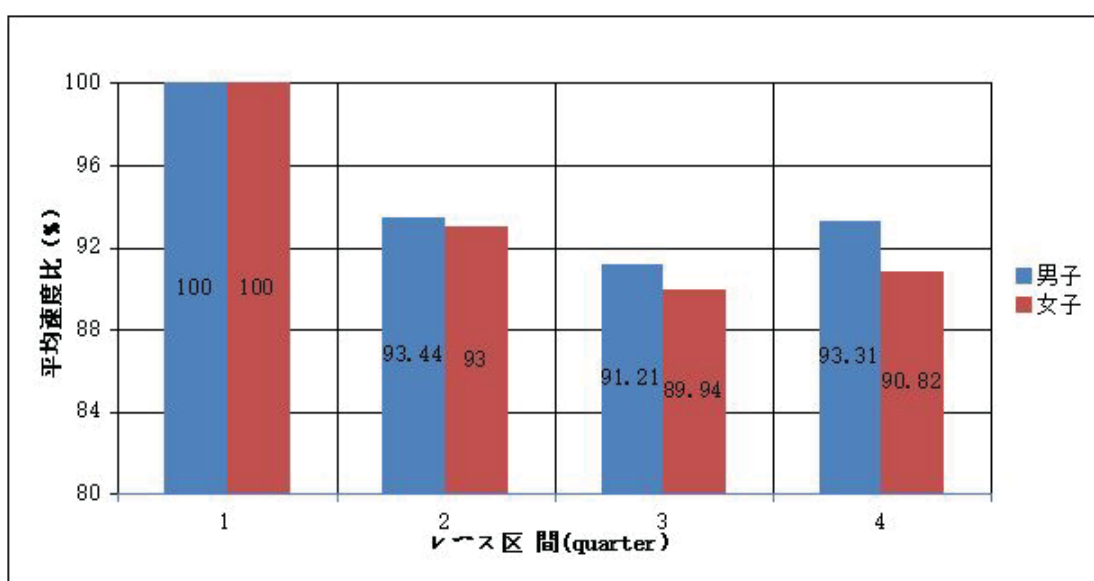


図 6-2：第 1quarter を 100 としたときの各レース区間の平均速度比（中学男・女）

図 6-2 は中学男女のペース配分の違いをみるため、各 quarter 間のペースを第 1quarter の平均速度を 100 とした速度比で表したものである。男女のペース配分の違いは、第 3 と第 4quarter でみられる。第 3quarter での走速度の減速率は、女子が 10.06% で男子が 8.79% と女子が大きく、逆に、第 4quarter の加速率は女子が 0.88%、男子が 2.1% と男子の加速率が高いことがわかる。

## c-2.高校生

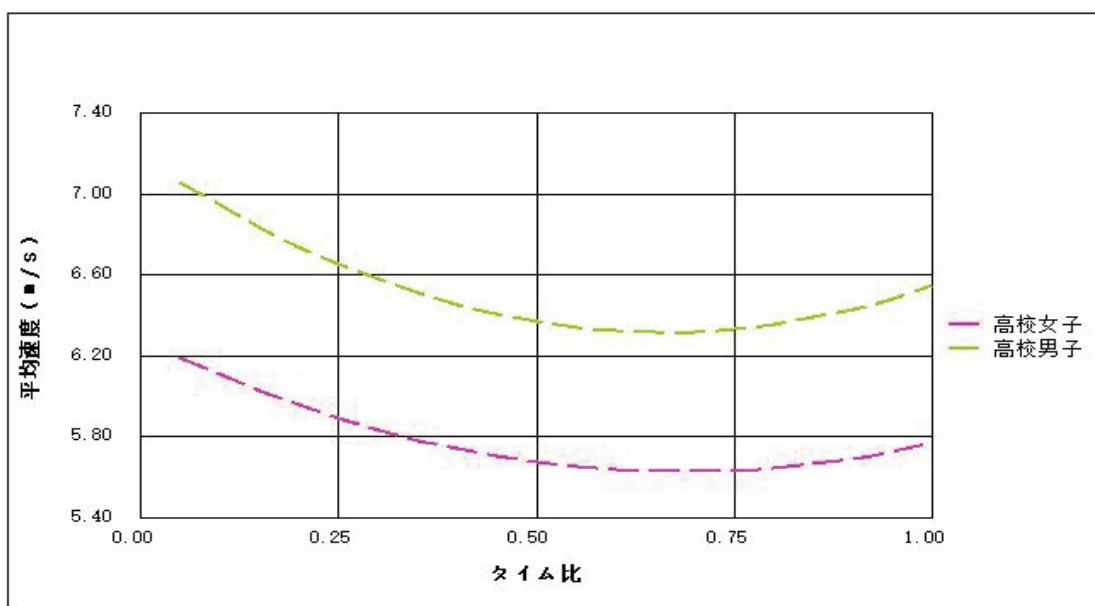


図 7-1：高校男・女の走速度とタイム比の関係

高校男女の比較では、男子が女子に比べ競技レベルは優位に高いが、男女の走速度の最大値と最小値の差は男子 0.88m/s、女子 0.66m/s でレース中の速度変化は男子の方が大きい。また、第 3quarter における速度低下は、男子が女子より大きく、第 4quarter での速度増加も男子が 0.23m/s、女子が 0.13m/s で男子が女より大きかった。

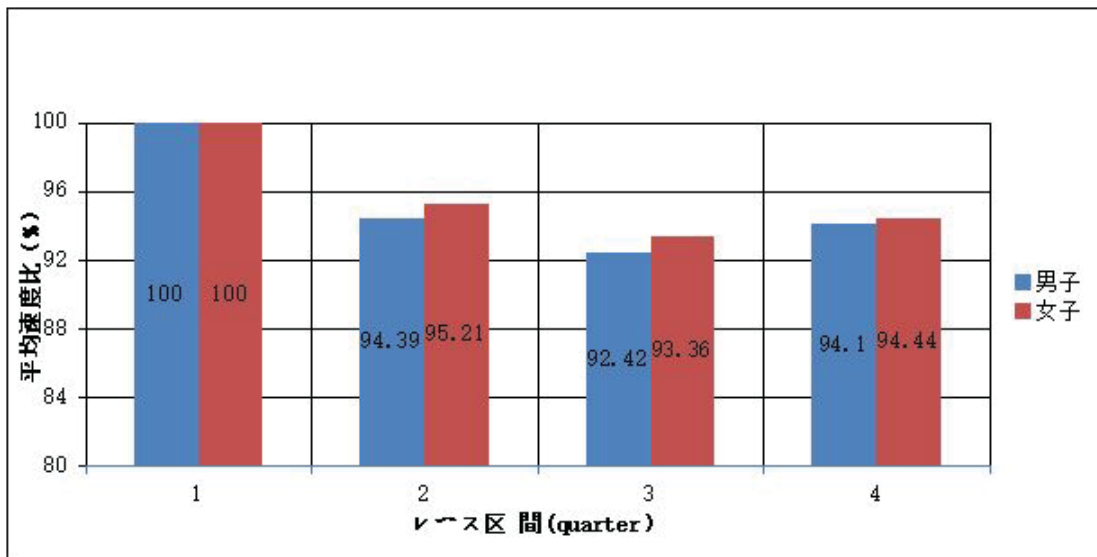


図 7-2：第 1quarter を 100 としたときの各レース区間の平均速度比（高校男・女）

図 7-2 は高校男女のペース配分の違いをみるため、各 quarter 間のペースを第 1quarter の平均速度を 100 とした速度比で表したものである。男女のペース配分の違いは、第 3 と第 4quarter でみられる。第 3quarter での走速度の減速率は、女子が 6.64%で男子が 7.58%と男子が大きく、第 4quarter の加速率は女子が 1.08%、男子が 1.68%と男子の加速率が高いことがわかる。

### c-3.大学生

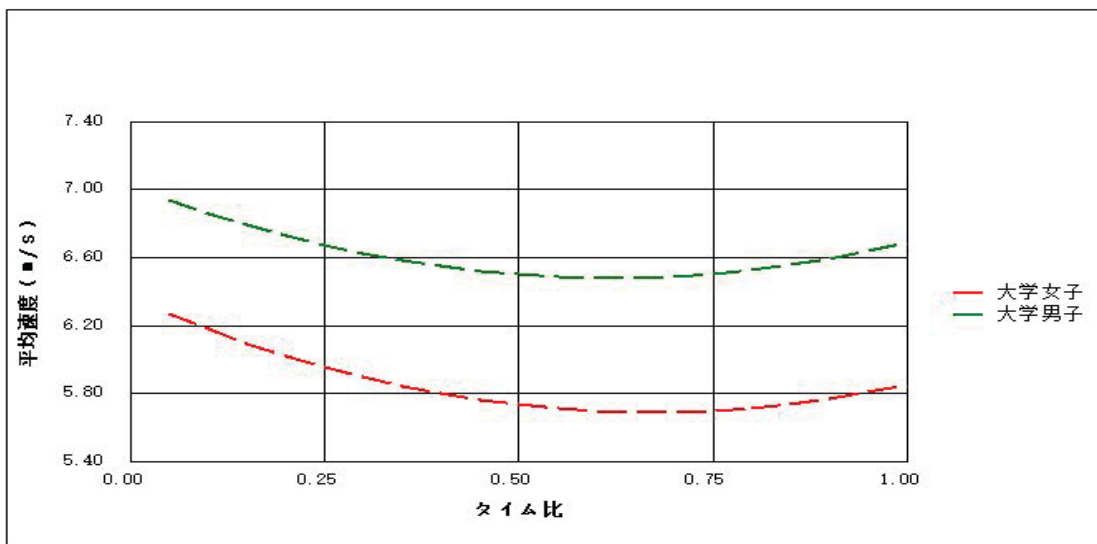


図 8-1：大学男・女の走速度とタイム比の関係

大学男女の比較では、男子が女子に比べ競技レベルは優位に高いが、男女の走速度

の最大値と最小値の差は男子 0.54m/s、女子 0.67m/s でレース中の速度変化は女子の方が大きい。また、第 3quarter における速度低下は、女子が男子より大きく、逆に、第 4quarter での速度増加は、男子が 0.21m/s、女子が 0.16m/s で男子が女より大きかった。

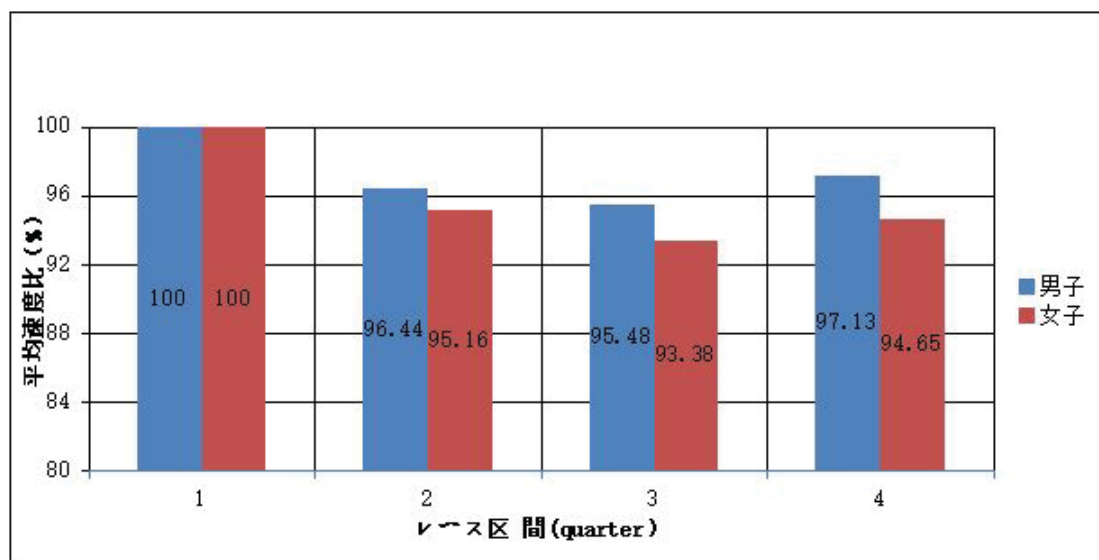


図 8-2：第 1quarter を 100 としたときの各レース区間の平均速度比（大学男・女）

図 8-2 は大学男女のペース配分の違いをみるため、各 quarter 間のペースを第 1quarter の平均速度を 100 とした速度比で表したものである。男女のペース配分の違いは、第 3 と第 4quarter でみられる。第 3quarter での走速度の減速率は、女子が 6.62%で男子が 4.52%と女子が大きく、逆に、第 4quarter の加速率は女子が 1.27%、男子が 1.65%と男子の加速率が高いことがわかる。

#### c-4.一般

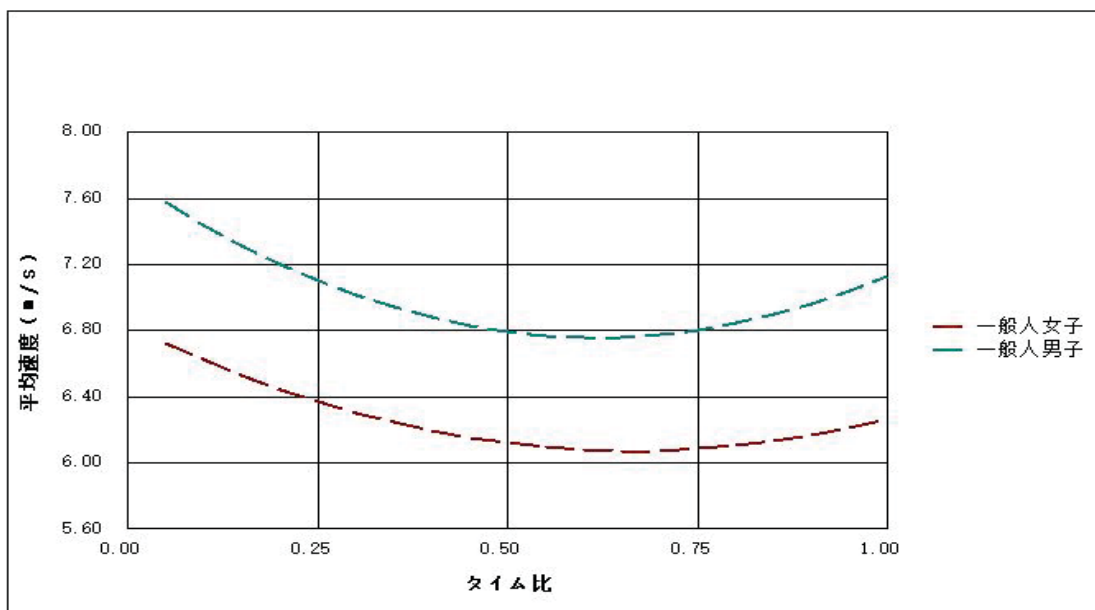


図 9-1：一般男・女の走速度とタイム比の関係

一般男女の比較では、男子が女子に比べ競技レベルは優位に高いが、男女の走速度の最大値と最小値の差は男子 0.96m/s、女子 0.76m/s でレース中の速度変化は男子の方が大きい。また、第 3quarter における速度低下は、男子が女子より大きく、第 4quarter での速度増加は、男子が 0.37m/s、女子が 0.19m/s で男子が女より大きかった。

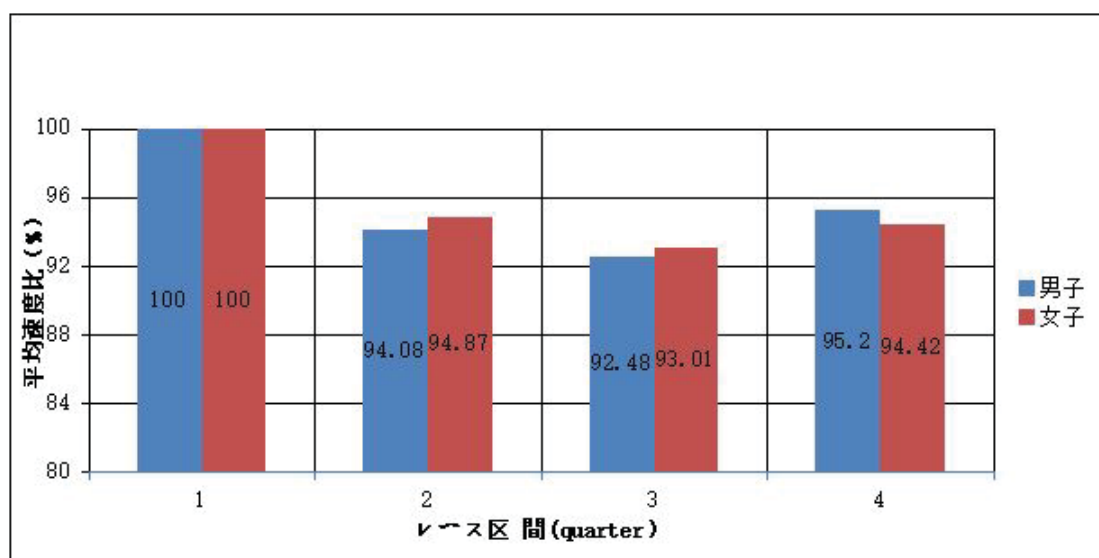


図 9-2：第 1quarter を 100 としたときの各レース区間の平均速度比（一般男・女）

図 9-2 は一般男女のペース配分の違いをみるため、各 quarter 間のペースを第 1quarter の平均速度を 100 とした速度比で表したものである。男女のペース配分の違いは、第 3 と第 4quarter でみられる。第 3quarter での走速度の減速率は、女子が 6.99%で男子が 7.52%と男子が大きく、第 4quarter の加速率は女子が 1.41%、男子が 2.72%と男子の加速率が高いことがわかる。

## IV. 考察

### (1) 競技種別ごとのペースモデルについて

各競技種別ともトップアスリート 3 名のレースデータから得られたペースモデルは、いずれも適合度「 $r^2 \approx 1$ 」にてモデリングできた。従って、このペースモデルをもとに作成されるスプリットタイム基準表は十分実用に耐えうるものとする。また、本研究で出力されるスプリットタイム基準表は、100m 毎のスプリットタイムが表示される。実際のレースでは、これをそのまま使うのではなく、タイム確認の通過地点は競技者自身が選択の自由度を持つ。故にこの基準表の応用性は高いと考える。

### (2) 競技種別間のペース配分の比較

#### a. ペース配分の全体的傾向

本研究では、1500m 走のペース配分を 4 つ区間に分けて表記した。具体的には、競技種別毎に 100m のスプリットタイムと走速度の関係を 2 次の多項式で近似し、この式をもとに 4 区間の平均速度を算出、これを各区間の疾走ペースとした。

まず、1500m の競技レベルについて述べると、年齢が高くなるにつれ男女ともレベルアップし、性差もすべての競技種別で男子優位である。特徴的なことは、男子の高校・大学で競技レベルが近接していること、女子では中学・高校・大学で競技レベルが近接していることである。この違いは、男女の身体的成熟度の差と考える。また、一般競技者の競技レベルが他の年代より優位に高いのは専門的トレーニングと競技自体の経験年数の差が影響していると考えられる。

ペース配分の全体的傾向は、競技種別に関係なくすべて「fast-slow-fast」のペース変化を示し、その変化は第 3quarter が最も遅く、第 4quarter のラストスパートで若干のスピードアップがみられる。そして、ラストスパートの加速率はいずれの競技種別でも男子が女子に勝っている。ただ、大学男子のペース配分が他の競技種別に比べフラットなこと、中学女子のペース配分では、他の競技種別に比べ第 3quarter の減速率が大きく第 4quarter の加速率が小さいことが特徴的な事象としてあげられる。

#### b. レース後半のペース配分について

次にレース後半の第 3quarter と第 4quarter のペースに視点を当て比較検討する。まず、第 3quarter の減速率について男子の競技種別間で比較すると、減速率が最も小さいの

は大学男子で最も大きいのは中学男子である。また、第 4quarter の加速率は、一般男子が最も高く、大学男子が最も低かった。一方、女子の比較では、第 3quarter の減速率が最も大きいのは中学女子で最も小さいのは一般女子である。また、第 4quarter では、一般女子の加速率が最も大きく、中学女子が最も小さい。

従って、第 3quarter の減速率は、中学校男女の種別で最も大きく、第 4quarter の加速率は一般競技者が男女とも高いことがわかる。中学生に見られる第 3quarter の顕著なペースダウンは、レース初めの余分なペースアップによる過剰な乳酸蓄積が原因と思われる。しかし、この年代のレースではこのような積極的レース展開がトップアスリートに共通してみられるペースパターンであり、これを否定するものではない。

また、一般男女がともに第 4quarter で大きな加速率を示しているのは、豊富なトレーニング経験を積み、他の競技種別のアスリートより高い有酸素能力を有しているからだと考える。

塘添敏文の長距離走のペース配分に関する研究<sup>13)</sup>によると、競技レベルが高いほど、ペース差が小さく、後半のスピードアップもあり、ペース配分が安定しているとされる。本研究でも競技レベルが高いほど、第 4quarter における加速率が上がることで一致したが、ペース差が小さいという点においては異なる結果が得られた。本研究では、大学男子のペース配分が一番安定しており、塘添敏文の論によれば、この安定性が競技記録と結びつくはずである。しかし、競技レベルは、男子大学生よりペース変化が大きい一般男子(オリンピック選手)の方が明らかに高く、ベース配分と競技レベルは相関関係にあるとは言えない。

また、各競技種別において男女の比較をすると、第 3quarter の減速率については、男女間に大きな違いはみられず、第 4quarter の加速率では、男子が女子に比べて、優位に大きい。これは、筋力やパワーなどの身体的要素が女子より男子が勝っているためだと考える。

最後に、トップアスリートを対象にした本研究の分析結果でも、第 3quarter の走速度が最も遅く、中長距離走におけるこの区間のペースダウンは、ペイトン・ジョーダン<sup>14)</sup>も指摘している。彼によれば、この区間のペースを落とさず走ることが優れた戦術であるとされる。しかし、第 3quarter のペースダウンを抑えれば、第 4quarter でのスピードアップは減少し、レース全体のペース配分を考えれば、第 1quarter のスピードも抑えることになる。このことが競技記録の向上につながるかは疑問である。



## V. まとめ

本研究では、1500m 走を対象に、大別される 3 つのペースパターンの内、「fast-slow-fast」について、年齢や性等で区分される 8 競技種別毎のペースモデルを作成し、このモデルをもとに、競技者の目標タイムを Input Data とした「スプリットタイム基準表」を作成するための Excel シートの提示及び 2 次の多項式モデル(時間-速度)による競技種別間のペースの比較を行った。

その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) トップアスリート 3 名のレースデータをもとに作成した 8 競技種別のペースモデルは、 $r^2 \approx 1$  で高い適合度を示した。
- (2) このモデルをもとに出力されるスプリットタイム基準表は、十分実用に耐えうるものとする。
- (3) 競技種別間でペース配分の比較をするため作成した 100m のスプリットタイムと走速度の関係を 2 次の多項式で近似した数式モデルは、 $r^2 \approx 0.89$  の適合度を持つ。
- (4) これをもとにペース配分の比較をすると、すべての競技種別で共通することは、いずれも「fast-slow-fast」のペース変化の中で、第 3quarter のペースが最も遅く、第 4quarter のラストスパートで若干のスピードアップがみられることである。
- (5) 8 競技種別の中では、大学男子のペースが最もフラットな変化を示し、中学校女子は他の競技種別に比べ、第 3quarter での減速率が大きく、第 4quarter における加速率は小さいことが特徴的事象としてあげられる。
- (6) また、ペースダウンする第 3quarter の減速率は、中学男女の種別で最も大きく、第 4quarter の加速率は一般男女が他の種別に比べ大きい値を示した。
- (7) 中学生に見られる第 3quarter のペースダウンは、レース初めのペースアップによる過剰な乳酸蓄積が原因と考えられ、一般男女がともに第 4quarter で大きな加速率を示すのは、豊富なトレーニング経験により、他の競技種別のアスリートより高い有酸素能力を有しているからだとする。

トップアスリートを対象にした本研究の分析結果でも、第 3quarter の走速度が最も遅く、中長距離走におけるこの区間のペースダウンは、ペイトン・ジョーダン<sup>14)</sup>も指摘している。彼によれば、この区間のペースを落とさず走ることが優れた戦術であるとされる。しかし、第 3quarter で前半のペースを維持しようとするれば、第 4quarter での

スピードアップが抑制され、レース全体のペース配分を考えれば、第 1quarter のスピードも抑えることになることが推測され、実際のレース場面では 4 つの区間全体でのペース配分の検討が必要である。

## VI. 謝辞

本研究のために、ご多忙の中ご指導いただきました戸塚学先生、大島義晴先生、研究に協力してくださった皆様に、この場をお借りして心からの感謝の意を表します。

## VII. 参考文献

- 1). 有吉正博：中距離走のペースに関する実験的研究, 東海大学紀要, 体育学部 2,43-54(1972).
- 2). Adams, W.C.(1968):The effect of selected pace variation on the oxygen requirement of running a 4:37mile, Res.Quart,39(4):837-846.
- 3). 高井和夫:長距離走者のペース再生における認知的方略, 体育学研究 41:104-114.1996
- 4). 菅原秀二、小林一敏:ランニングペースの数学モデル, 日本体育学会第 28 回大会号, 345,1977.
- 5). 東 洋功、小林一敏:数学モデルによるランニングのペースパターンの設計法, 中京大学体育学論叢, 41-2,89-92,2000.
- 6). 有吉正博ら:中距離走のペースに関する実験的研究, 東海大学, 体育学部,95-105.1974.
- 7). 中野正英ら:ランニングペースに影響を及ぼす要因について, Japanese Society of Physical Education(48).547.1966,8/25.
- 8). 永井 純：中・長距離・障害、ベースボールマガジン社、1989.
- 9). 東 洋功、小林一敏:ゆさぶりのあるペースパターンの数学モデルによる表現, 中京大学体育学論叢, 41-1・2,33-37,2001.
- 10). 金原 勇:陸上競技のコーチング(Ⅰ), 大修館書店, 405-441,1976.
- 11). 松尾彰文ら:中長距離決勝におけるスピード, ピッチ及びストライドについて, 世界一流陸上競技選手の技術, 92-111、ベースボールマガジン社, 1994.
- 12). 有吉正博:中距離走のペースに関する実験的研究, 東海大学, 体育学部 2,43-54.1972.
- 13). 塘添敏文：長距離走のペース配分に関する研究. 亜細亜大学教養部紀要 18,136-114,1978
- 14). ペイトン・ジョーダン、バド・スペンサー：アメリカ陸上競技の技術. 講談社 53ー63.1970.
- 15). 清水克哉ら:陸上競技における中距離ペースの実験的研究, 体育学研究 15(5), 105, 1971.

表 6. 1500 走のスプリットタイム基準表のフォーマット

(競技種別) **1500m走** スプリットタイム基準表

















