

博士論文

中高年男性マラソンランナーの走記録に与える

加齢およびレース距離の影響

平成 30 年度

筑波大学大学院人間総合科学研究科スポーツ医学専攻

中沢 孝

## 目次

### 第1章 序論

第1節	研究の背景	1
第2節	研究の意義	6
第3節	研究の目的	7
第4節	用語の定義	8

### 第2章 文献研究と研究課題の設定

第1節	年齢とマラソン記録の関係	9
第2節	長距離レースの距離と走記録の関係	12
第3節	マラソン記録への環境の影響	15
第4節	最大酸素摂取量の測定方式の比較	15
第5節	レース記録による最大酸素摂取量の推定	16
第6節	最大酸素摂取量と健康関連指標の関係	20
第7節	研究課題の設定	22

### 第3章 【研究課題1】加齢が中高年男性ランナーの走記録に 与える影響

第1節	【研究課題1-1】我が国の中高年男性マラソンランナーの 年齢と走記録の関係	24
第1項	目的	
第2項	方法	

第3項 結果

第4項 考察

第5項 結論

## 第2節 【研究課題1-2a】年齢別順位100位以内の中高年

男性ランナーの10年間の走記録の変化 . . . . . 58

第1項 目的

第2項 方法

第3項 結果

第4項 考察

第5項 結論

## 第3節 【研究課題1-2b】年齢別順位100位以内の中高年男性

ランナーの最速年度以降の走記録の変化 . . . . . 96

第1項 目的

第2項 方法

第3項 結果

第4項 考察

第5項 結論

## 第4章 【研究課題2】中高年男性市民ランナーのレースの走記録とレ

ース距離の関係

第1節 目的 . . . . . 110

第2節 方法 . . . . . 110

第3節 結果 . . . . . 119

第4節 考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 138

第5節 結論・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 140

第5章 【研究課題3】中高年男性マラソンランナーの最大酸素摂取量の推定

第1節 目的・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 141

第2節 方法・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 141

第3節 結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 154

第4節 考察・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 168

第5節 結論・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 178

第6章 総括

第1節 研究の限界と今後の課題・・・・・・・・・・・・ 180

第2節 結語・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 181

謝辞・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 183

文献・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 185

関連論文・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・ 194

## 図一覧

S/N	番号	タイトル	頁
1	図1-1	我が国におけるフルマラソン完走者の年代別の比率	3
2	図2-1	各年代のトップ10ランナーの完走時間	9
3	図2-2	全完走者の平均タイム	10
4	図2-3	競技距離と平均速度の関係	12
5	図2-4	世界記録におけるレース距離とレースの平均速度の関係	14
6	図2-5	研究課題	23
7	図3-1-1	我が国におけるマラソン完走者数の推移並びに分析範囲	26
8	図3-1-2	男性マラソンランナーの年齢とマラソン走記録の関係	31
9	図3-1-3	男性のマラソン完走者数の2007年度と2015年度の比較	33
10	図3-1-4	同年齢、同レベルのランナーのマラソン平均速度の推移	38
11	図3-1-5	年齢とマラソンの平均速度の関係（相対順位別）	40
12	図3-1-6	年齢と記録の関係（40歳の平均速度を基準にした場合）	42
13	図3-1-7	1歳当りの速度変化率の推移（レベル別）	47
14	図3-1-8	年齢別の人数の多寡による1位の速度の違い(概念図)	50
15	図3-1-9	2007年度に対する2015年度の完走者数の倍率値と1位のランナーの平均速度の比率の関係	51
16	図3-1-10	各年度、各年齢において1位のランナーのマラソン平均速度	52
17	図3-1-11	様々な条件で求めた、年齢に対する速度の変化率	56
18	図3-2-1	2005年度に同じ順位だったランナーの順位の経年変化	64
19	図3-2-2	年齢グループ毎の順位の経年変化	65
20	図3-2-3	5歳刻みの各グループの2005年度から2015年度の平均速度の推移	67
21	図3-2-4	10歳刻みの年齢グループ毎の最速年度の分布	71
22	図3-2-5	最速年度でグループ化した場合の経過期間と平均速度の関係	73
23	図3-2-6	最速年度が10年後の3名の経過期間と平均速度の関係	75
24	図3-2-7	最速年度が8年後の8名の経過期間と平均速度の関係	75
25	図3-2-8	2005年度から2015年度までの10年間のデータから回帰分析で求めた速度の変化量	77
26	図3-2-9	2011年度から2015年度までの4年間のデータから回帰分析で求めた速度の変化量	78
27	図3-2-10	気温によるマラソン平均速度の補正式	84
28	図3-2-11	マラソンを開始した年齢とマラソン平均速度の推移の関係	89
29	図3-3-1	分析対象者のフロー	97
30	図4-1	作業の流れ	116
31	図4-2	年齢とマラソン平均速度の関係	120
32	図4-3	横軸をレースの距離とした場合とレースの距離の対数とした場合の平均速度との関係の比較	122
33	図4-4	レースの距離と平均速度の関係（速度別に4グループに分けた場合）	125
34	図4-5	フルマラソンの平均速度とレース距離による速度の変化率の関係	130
35	図4-6	5 kmレースの記録からフルマラソンの記録を予測(先行研究との比較)	139
36	図4-7	表4-1/表5-1/表5-2の間の関係	145
37	図5-1	フルマラソン等の平均速度と12分間走の記録の関係	149
38	図5-2	マラソン及びその他のレースの記録から推定した最大酸素摂取量と自転車エルゴメータによる実測値の比較（18名分）	158
39	図5-3	マラソン記録及び年齢から推定した最大酸素摂取量と実測値の比較（24名分）	160
40	図5-4	年齢と最大酸素摂取量のレベル毎の人数比率の関係	166
41	図5-5	各ランナーの複数距離のレースから速度変化率を計算して推定した最大酸素摂取量とマラソン記録のみから推定した最大酸素摂取量の関係	171
42	図5-6	各ランナーの複数距離のレースから速度変化率を計算して推定した最大酸素摂取量とマラソン記録および年齢から推定した最大酸素摂取量の関係	173
43	図5-7	マラソン記録のみから最大酸素摂取量を推定する場合の計算式の違い	175
44	図5-8	推定式3と推定式4の最大酸素摂取量の違い	176

## 表一覧

S/N	番号	タイトル	頁
1	表1-1	余暇活動の参加人口（2016年）	1
2	表1-2	日本のフルマラソン完走者数（2004年度～2017年度）	2
3	表1-3	ランニングを続けるモチベーション・目的	5
4	表2-1	マスターズの年代別マラソン日本記録	11
5	表2-2	短距離走から長距離走までの世界記録（2019年2月現在）	13
6	表2-3	レース記録と最大酸素摂取量の相関係数	18
7	表3-1-1	年齢とマラソン記録（タイム、平均速度）の関係	30
8	表3-1-2	年齢および相対順位毎のマラソン平均速度	35-36
9	表3-1-3	年齢によるマラソンの平均速度の決定係数等	43
10	表3-1-4	順位別の回帰係数及び各年齢における平均速度の推定値	44
11	表3-1-5	40歳の平均速度を基準にした場合の年齢に対するマラソン記録の傾き等	46
12	表3-1-6	年度及び年齢別のマラソン完走者数とグループ分け	53
13	表3-1-7	様々な順位・範囲における回帰係数等	54
14	表3-2-1	分析対象者の住所の都道府県別 10 傑	59
15	表3-2-2	各年度の完走者数と分析対象	60
16	表3-2-3	5歳刻みで8グループに分けた時の10年間の平均完走時間/平均速度の変化	69
17	表3-2-4	平均年齢に対する1歳当りの速度の変化量についての回帰分析の結果	80
18	表3-2-5	平均年齢及び初年度速度に対する1歳当りの速度の変化量についての回帰分析の結果	80
19	表3-2-6	分析対象者（301名）が完走した大会の気温	82
20	表3-2-7	無補正と温度補正を行った場合の相関係数等の比較	86
21	表3-2-8	年齢と1歳当たりの速度変化量の関係	90
22	表3-2-9	ベスト記録の多いマラソン大会	92
23	表3-2-10	対象の全ての年度で同じ大会がベスト記録の12名	94
24	表3-2-11	平均年齢が70歳以下の11名の回帰分析の結果	94
25	表3-3-1	ベースライン時（各ランナーの最速年度）の統計量	100
26	表3-3-2	各年齢グループの年間の速度変化量の平均値等	102
27	表3-3-3	一元配置分散分析の結果	103
28	表3-3-4	多重比較検定の結果（P値）	104
29	表4-1	分析対象者一覧	112
30	表4-2	分析対象者の分布（年代/完走時間毎の人数）	114
31	表4-3	横軸をレースの距離とした場合と、レースの距離の対数とした場合の平均速度との相関係数の比較	124
32	表4-4	フルマラソン以外の距離のレースを完走した64名における距離に対する速度の変化率	127
33	表4-5	独立変数を平均速度/年齢、従属変数を距離に対する平均速度の変化率とした場合の回帰分析の結果	128
34	表4-6	フルマラソンのタイムと速度変化率から5 km/10 kmレースの結果を予測	136
35	表4-7	5 km/10 kmレースの結果と速度変化率からフルマラソンのタイムを予測	137
36	表5-1	中高年男性市民ランナーの体力測定等結果	142
37	表5-2	分析対象者一覧	144
38	表5-3	各種パラメータ間の相関係数（その1）	155
39	表5-4	各種パラメータ間の相関係数（その2）	156
40	表5-5	フルマラソンのタイム・年齢から最大酸素摂取量を推定	161
41	表5-6	最大酸素摂取量の推定値の比較	163
42	表5-7	全日本マラソンランキング各年齢1位等の最大酸素摂取量	164
43	表5-8	目安となる最大酸素摂取量とマラソンタイムの関係	165
44	表5-9	目安となる最大酸素摂取量と対応する順位	166
45	表5-10	フルマラソン以外のレース記録もある63名の最大酸素摂取量の推定値等	169

# 第1章 序論

## 第1節 研究の背景

我が国において、余暇に年に1回以上ジョギング／ランニングを行う人口は2千万人を超えるとの推定がある（表1-1）（日本生産性本部，2017）一方、42.195 kmを走り切る、いわゆるフルマラソンの大会へ参加するランナーも増加している。日本国内で開催される主要なマラソン大会を網羅する全日本マラソンランキング（表1-2）（ランナーズ編集部，2018）によれば、2004年度に1回以上フルマラソンを完走したランナーは男女合わせて7万9千人弱であったが、2017年度には約37万人（約4.7倍）まで増加した。中でも男性はその8割を占め、2017年度の完走者は約29万2千人に達した。

表1-1 余暇活動の参加人口（2016年）

順位	余暇活動種目	人数(万人)
1	国内観光旅行	5,330
2	外食(日常的なものは除く)	4,090
3	ドライブ	3,880
3	読書	3,880
5	映画(テレビは除く)	3,560
9	ウォーキング	3,010
13	体操(器具を使わないもの)	2,320
20	ジョギング、マラソン	2,020

(6位以下は運動関係の種目のみ表示)

出典： レジャー白書2017（日本生産性本部，2017）

表1-2 日本のフルマラソン完走者数（2004年度～2017年度）

年度	全体		男性		女性		男性比率
	人数	対2004年度比率	人数	対2004年度比率	人数	対2004年度比率	
2004	78,776	100.0%	66,540	100.0%	12,236	100.0%	84.47%
2005	82,930	105.3%	69,599	104.6%	13,331	108.9%	83.92%
2006	103,590	131.5%	85,981	129.2%	17,609	143.9%	83.00%
2007	114,520	145.4%	95,078	142.9%	19,442	158.9%	83.02%
2008	145,416	100.0%	120,134	100.0%	25,282	100.0%	82.61%
2009	166,794	211.7%	137,075	206.0%	29,719	242.9%	82.18%
2010	179,215	227.5%	146,060	219.5%	33,155	271.0%	81.50%
2011	249,783	317.1%	197,334	296.6%	52,449	428.6%	79.00%
2012	273,754	100.0%	215,067	100.0%	58,687	100.0%	78.56%
2013	286,395	363.6%	225,559	339.0%	60,836	497.2%	78.76%
2014	313,493	398.0%	246,646	370.7%	66,847	546.3%	78.68%
2015	354,072	449.5%	280,461	421.5%	73,611	601.6%	79.21%
2016	364,546	100.0%	288,475	100.0%	76,071	100.0%	79.13%
2017	369,810	469.4%	291,733	438.4%	78,077	638.1%	78.89%
累計	3,083,094		2,465,742		617,352		

出典： 全日本マラソンランキング（ランナーズ編集部，2018）を踏まえ筆者が作成



年代別で見ると2004年度は40歳未満が5割近くを占めていたが、年々40歳以上の中高年男性の割合が増加し、2017年度では63.6%に達した（図1-1）。特に40歳台男性の増加率が大きかった。

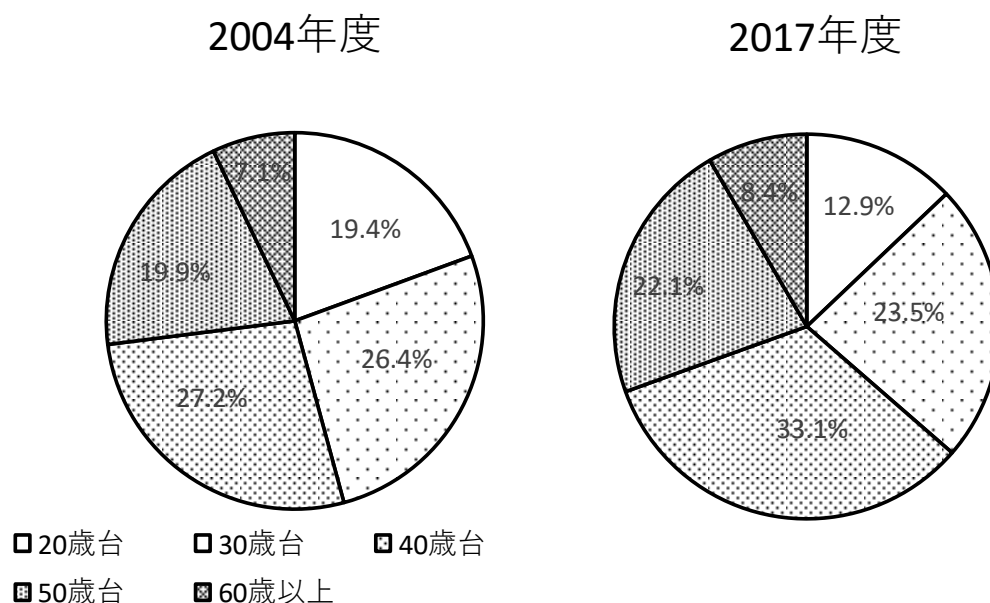


図1-1 我が国におけるフルマラソン完走者の年代別の比率

出典：フルマラソン1歳刻みランキング記録集（ランナーズ編集部，2005）及び全日本マラソンランキング（ランナーズ編集部，2018）を踏まえ、筆者が作成

中高年になると、加齢に伴ってパフォーマンスの絶対値の低下は避けられないものの、マラソン練習を始めてから数年間はトレーニングの効果で持久力が改善し、ランニングフォームの改善なども相まって記録が向上する傾向がある（山西，1983）ことから、さらなる記録や順位の維持・向上を目指して練習量を増やしたり、練習の強度を増すケースも多い。その結果、腰痛や膝痛などを発症し、再び走れるようになるのに長期間が必要になる場合や、ランニングを止めざるを得ないケースもある。

また、フルマラソンをレースペース（体力の限界に近いスピード）で走り切ることは体にとって大きな負担であり、レースの直前にその時点の実力を確認するために本番の距離あるいはそれに近い距離をレースペースで走った結果、筋肉細胞免疫系などがダメージを受け、レース当日までに十分に回復せずに、本番にパフォーマンスを発揮できない場合も多くみられる。

さらに、全国のランニング実践者1万5千人を対象にしたアンケートの結果（表1-3）（アールビーズスポーツ財団，2018）によれば、ランニングを行う目的のベスト3は、①「大会出場」のため、②「健康維持のため」、③「記録を更新したい」であり、ランナーの健康に対する関心の高さがわかる。全身持久力性体力の高さが疾病へのかかりにくさなどにつながることは知られており、ランナーの全身持久性体力が一般の人よりも高いことが健康につながる理由のひとつと考えられるが、全身持久性体力の代表的な指標である最大酸素摂取量の測定にはトレッドミルまたは自転車エルゴメータを用いてオールアウトまで追い込むなどのプロトコルが必要であり、ランナーが自らの全身持久力性体力を簡便かつ精度良く知る方法は開発されていない。

表1-3 ランニングを続けるモチベーション・目的

(複数選択可)

---

大会出場のため	62%
健康維持のため	48%
記録を更新したい	44%
走ること自体が楽しいから	30%
ストレス解消	29%
ビールや食べ物を美味しくいただくため	25%
ダイエットのため(減量)	23%
老化防止 (若々しくいたい)	21%
仲間とのコミュニケーション	17%

---

出典：ランナー世論調査2018（アールビーズスポーツ財団，2018）

## 第2節 研究の意義

マラソンを趣味とする中高年市民ランナーが、マラソンを生涯スポーツとして継続するために役立つと考えられる以下の3点に着目した。

マラソン大会における上位入賞者の記録を調べると、完走時間は30歳前後をピークとして加齢に伴い徐々に低下することが判明している（Joyner, 1993）が、年齢やマラソン記録のレベルに応じて低下量がどのように変化していくのかの定説はまだない。この量を精度良く推定することができれば、各ランナーが自分の年齢や走力にあった無理のない目標を設定することに役立つことが期待される。

また、フルマラソンの記録をより短い5 kmあるいは10 kmの、レースまたはタイムトライアルの結果から精度良く推定できれば、レース直前に長い距離を走ってレース時に大きなダメージが残ったり、逆にぶっつけ本番でレースに臨んで本来のパフォーマンスが発揮できないような事態に陥ることが少なくなると期待される。

さらに、ランナーは健康への関心も高い。ランナーの特徴の一つとして全身持久性体力の維持向上があり、その代表的な指標の一つである最大酸素摂取量と疾病の発生率や死亡率の関係についての研究が数多く行われており（松尾, 2015）、レース結果や年齢などから最大酸素摂取量を簡便かつ精度良く推定することが求められている。

### 第3節 研究の目的

中高年男性市民マラソンランナーが長期にランニングを趣味として継続するために役立つ情報を抽出する。

## 第4節 用語の定義

本研究で使用する用語の定義を以下に示す。

### 1. 中高年者

内閣府が発行した国民生活白書（2008年版）においては40歳台から50歳台を「中年」、60歳台以上を「高齢者」と呼んでいる。また、厚生労働省の健康日本21（第2次）（2012）では、壮年期：25～44歳、中年期：45～64歳、前期高年期：65～74歳、中後期高年期：75歳～となっている。本研究においては、基本的には40歳以上の人を「中高年者」とする。

### 2. 最大酸素摂取量

最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_{2\max}$ ）は空気中の酸素が単位時間（1分間）当たり、体に取り入れられる最大量であり、以下の式で定義される。

$$\dot{V}O_{2\max} = \dot{V}_e \times (FiO_2 - FeO_2)$$

ここで  $\dot{V}_e$  : 肺換気量（1分間当たり）

$FiO_2$  : 吸気時の酸素濃度

$FeO_2$  : 呼気時の酸素濃度（20.93%）

最大酸素摂取量は全身持久性体力の有力な指標であり、陸上中長距離、マラソン、水泳、自転車競技などの記録に大きな影響を与える。また最大酸素摂取量が大きいと、日常生活の中で活動水準の高い行動が可能であり、小さいと、心血管系の疾病に罹患しやすくなる（山地，2001）。単位は（ml/分）または、単位体重当たりとして（ml/kg/分）を用いる。

## 第2章 文献研究と研究課題の設定

### 第1節 年齢とマラソン記録の関係

ドイツにおけるフルマラソンとハーフマラソンの完走者約30万人(内、フルマラソンは69レースで15.6万人、男性はその内の13万人)を20歳から79歳の10歳刻みの6グループに分けて、年齢とパフォーマンスの関係を調べた横断研究(Leyk et al., 2007)においては、各グループのトップ10の平均タイムで比較すると記録の低下が始まるのは35歳を超えてからであった(図2-1)。

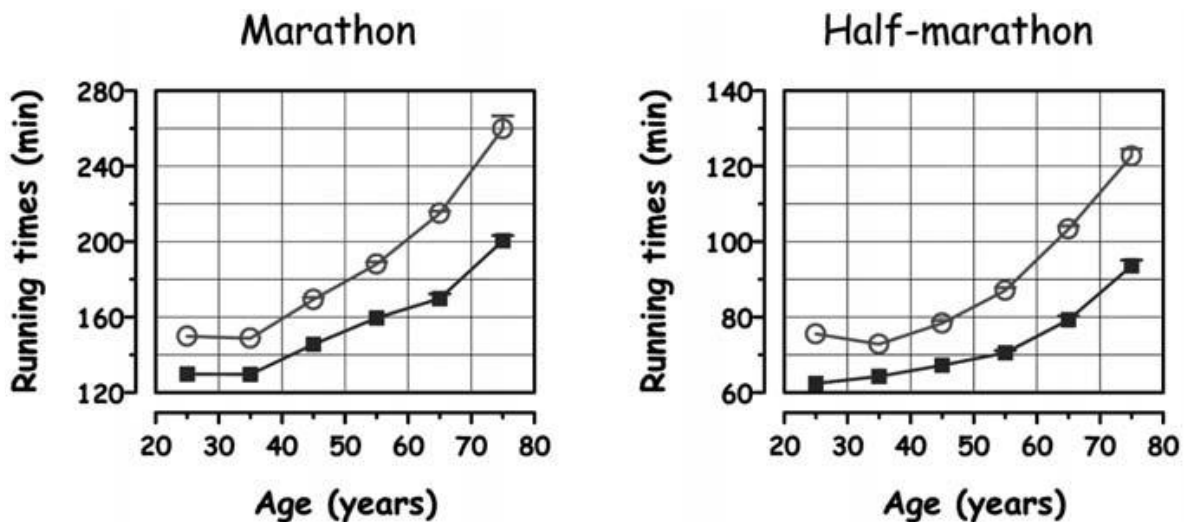


図2-1 各年代のトップ10ランナーの完走時間

出典：文献18 (Leyk D, et al., 2007)

全ランナーの平均でいうと、30歳台と40歳台のランナーの記録は20歳台より良好であり、記録が低下するのは50歳台以上であった(図2-2)。50歳から69歳までの20年間の記録の低下量は10年間に2.6%から4.4%と計算された。

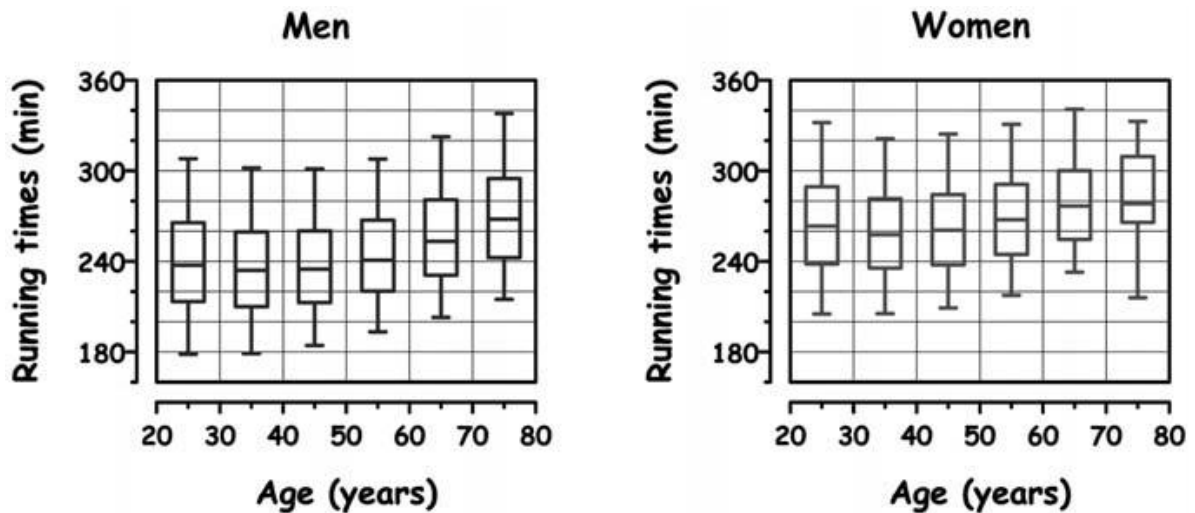


図2-2 全完走者の平均タイム（□は95%信頼区間）

出典：文献18 (Leyk D, et al., 2007)

Joyner (1993) はエリートランナー（米国のマラソン記録の年齢別1位）のデータを分析して、40歳から70歳までは10年で6～9%パフォーマンスが減少し、70歳を超えるとさらに減少が加速するとした。Tanakaら（1998;2003）は、中高年競技者の持久力は35歳位まで維持され、50から60歳位まで緩やかに減少し、それ以降はさらに急激に減少するとした。

マラソンの世界記録に注目すると、完走時間は25-35歳で最短となり、その後徐々に低下し、70歳以降はそれが加速している（Trappe, 2007）。

我が国においては表2-1に示すように30歳台後半が最速であった（日本マスターズ陸上競技連合, 2018）



表2-1 マスターズの年代別マラソン日本記録

年齢 (歳)	記録 (時:分:秒)	平均速度 (m/分)	最速値に対する比率
18-24	2:25:52	289.3	95.2%
25-29	2:40:18	263.2	86.6%
30-34	2:21:23	298.4	98.2%
<b>35-39</b>	<b>2:18:52</b>	<b>303.9</b>	<b>100.0%</b>
40-44	2:18:55	303.7	100.0%
45-49	2:25:45	289.5	95.3%
50-54	2:34:18	273.5	90.0%
55-59	2:40:24	263.1	86.6%
60-64	2:36:30	269.6	88.7%
65-69	3:02:50	230.8	76.0%
70-74	3:07:42	224.8	74.0%
75-79	3:19:15	211.8	69.7%
80-84	3:30:18	200.6	66.0%
85-89	4:48:18	146.4	48.2%

出典：文献29（日本マスターズ陸上競技連合，2018年3月31日現在）

## 第2節 長距離レースの距離と走記録の関係

持久走競技の世界記録において、スタートからゴールまでの平均速度（単位：m/秒）と競技距離の対数值（ $\log D$ ,  $D$ は競技距離）の間には直線関係があり（図2-3）（丹羽, 1958）、競技距離が長くなると平均速度は落ちるが、その割合は距離に比例するのではなく、距離が長引くにつれて落ち方は小さくなるとされている。

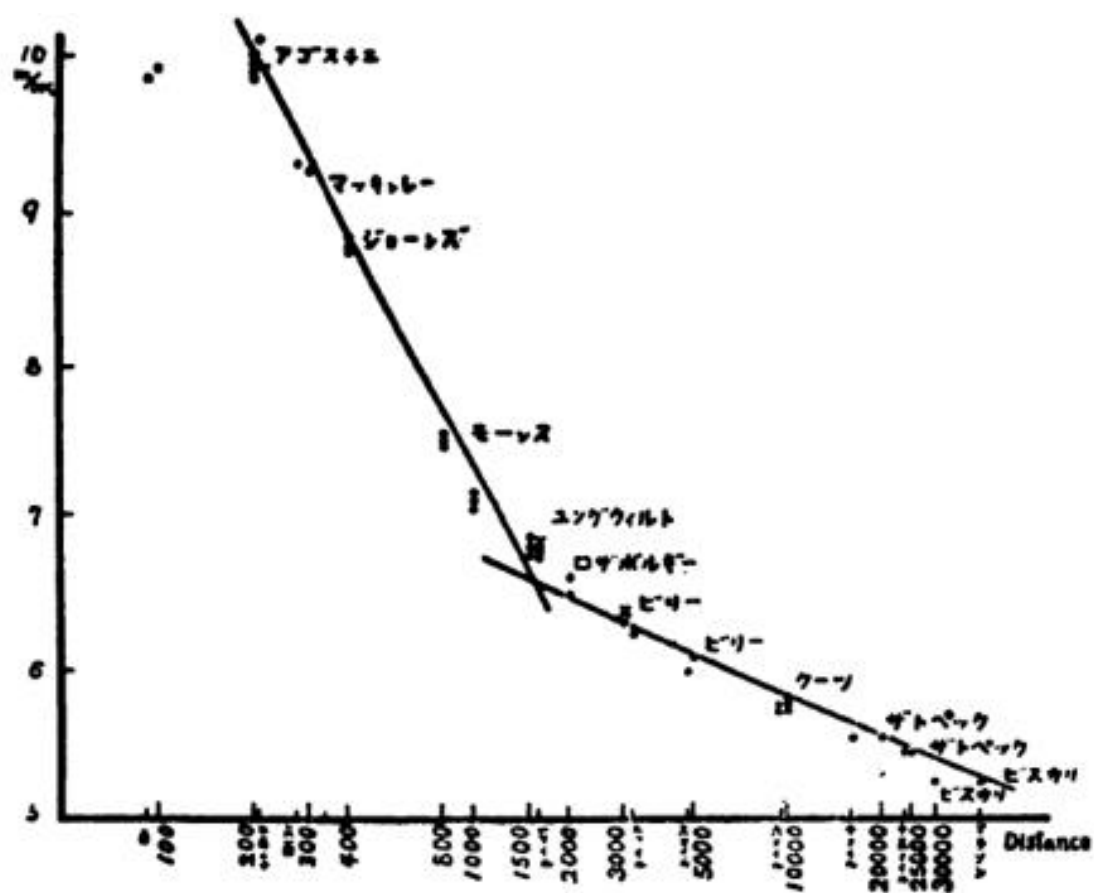


図2-3 競技距離と平均速度の関係

出典：文献24（丹羽正, 1958）

短距離走から長距離走までの最新の世界記録（IAAF，2019）および日本記録（JAAF，2019）を表2-2に示す。

表2-2 短距離走から長距離走までの世界記録および日本記録（2019年2月現在）

種目	世界記録	日本記録	備考
100m	9秒58	9秒98	トラック競技
200m	19秒19	20秒03	同上
400m	43秒03	44秒78	同上
800m	1分40秒91	1分45秒75	同上
1500m	3分26秒00	3分37秒42	同上
3000m	7分20秒67	7分40秒09	同上
5000m	12分37秒35	13分08秒40	同上
10000m	26分17秒53	27分29秒69	同上
ハーフマラソン	58分18秒	1時間00分17秒	ロードレース
マラソン	2時間01分39秒	2時間5分50秒	同上
ウルトラマラソン(100km)	6時間09分14秒	6時間09分14秒	同上

出典：文献11（IAAF，2019）および文献30（JAAF，2019）を元に筆者が作成

世界記録のデータを元に、横軸をレース距離の対数値で表したものを図2-4に示す。図2-3と同様に200m走から1500m走まではほぼ直線近似が可能であり、3000m走からフルマラソンまでも直線で近似が可能であった。

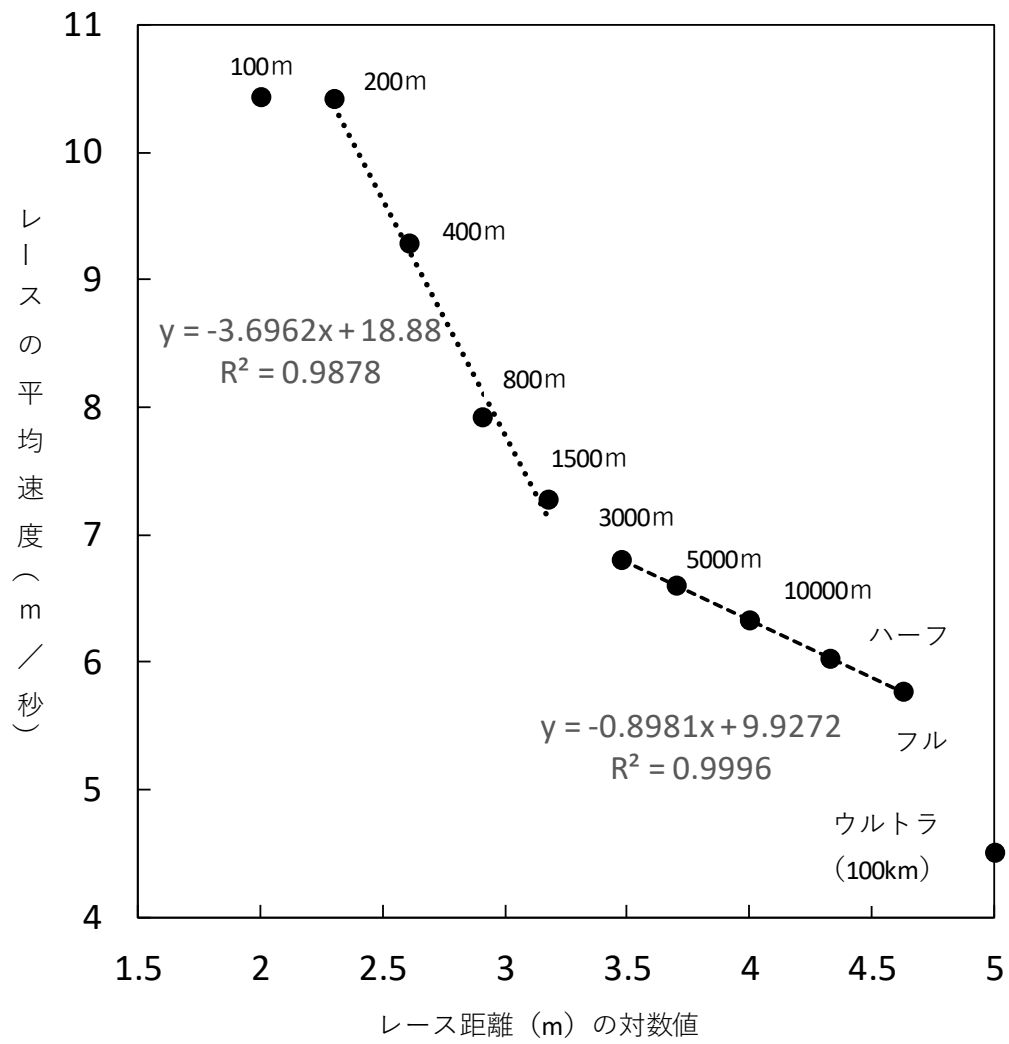


図2-4 世界記録におけるレース距離とレースの平均速度の関係

出典：文献11 (IAAF, 2019) を元に筆者が作成

### 第3節 マラソン記録への環境の影響

温湿度や日射などの環境がマラソン記録に影響を与える。

河谷（1955）は熱平衡の観点からマラソンに最も好適な温度は、湿度70%の場合、10～15℃ではないかと言及した。

Helouら（2012）はパリ、ロンドン、ベルリン、ボストン、シカゴ、ニューヨークマラソンの6マラソンを完走した約180万人の結果を分析して、温湿度・大気圧・大気汚染の中で気温の影響が最も高いと結論した。最も好記録が出るのは男性の場合、上位1%（フルマラソンの記録2時間41分）が3.8℃、上位25%（同3時間30分）が6.0℃、中間（同4時間）が6.2℃であり、それより気温が低くても高くても記録が低下していた。

ピークより10℃上がった時の完走時間は、それぞれ1.4%、3.4%、3.9%長くなり、ピークより15℃上がった場合は、それぞれ3.3%、7.9%、9.3%長くなる。また、パフォーマンスが低いランナー程気温（ほとんどの場合は高温）の影響を強く受けることが判明した。

### 第4節 最大酸素摂取量の測定方式の比較

最大酸素摂取量の測定は主に自転車エルゴメータ運動やトレッドミル走によって行われる。一般人を対象に測定した場合、後者による最大酸素摂取量は前者による値よりも5%から20%（Tanakaら，1984）あるいは5%から15%（形本，2008；田中，2013）大きな値を示すことが知られている。形本（2008）は平均年齢が20歳前後の男女34名を対象に自転車エルゴメータとトレッドミルの測定結果の比較を行い、相関係数0.87の結果を得た。

Withersら（1981）は両者を比較して、サイクリストは自転車エルゴメータのほうが若干大きい、ランナーはトレッドミルを用いたほうが約10%大き

いと報告した。また、Verstappenら（1982）は長距離ランナーではトレッドミルが14%大きい、自転車競技者は同等であると報告した。Foster（1983）は十分にトレーニングを積んだ広範な能力のランナーについて、登坂トレッドミルで最大酸素摂取量を測定し、1.6マイルからフルマラソンまでの完走時間と比較すると、それらの相関係数の絶対値はいずれも0.9を超えた（フルマラソンは-0.96）と報告した。

以上より、ランナーの場合は最大酸素摂取量の実測を極力正確に行うためにはトレッドミルを用いることが望ましく、もしも自転車エルゴメータで代用する場合は、10%前後の補正が必要と考えられる。

## 第5節 レース記録による最大酸素摂取量の推定

1500m走からフルマラソンまで、レースの記録と最大酸素摂取量の関係を推定する様々な試みがなされてきた。

### （1）12分間走

Cooper（1968）は、115人の米空軍の男性士官およびパイロットを対象に、トレッドミルにより測定した $\dot{V}O_{2max}$ と12分間走の結果（12分間で走った距離）を比較して、 $\dot{V}O_{2max}$ を以下の式により精度良く推定できることを示した。相関係数は0.90であった。

$$\begin{aligned} Y[\text{ml/分/kg}] &= (X - 504.9) / 44.73 \\ &= 0.0224X - 11.29 \dots \dots \dots \textcircled{1} \end{aligned}$$

但し、Xは12分間で走った距離（m）

日本においては、高橋ら（2013）は、第2回大阪マラソンを完走した男

女の市民ランナー20名（22歳から53歳、平均44歳）を対象に、マラソン記録と12分間走の記録に以下の式（体育科学センター提案）を適用して計算した $\dot{V}O_{2max}$ の間の相関係数が0.80であったと報告した。

$$Y = 0.021X - 6.61 \quad \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

12歳から34歳の成人男性（28名）を対象とした研究（中垣内ら，1996）では回帰式は以下の通りで、相関係数は0.77であった。

$$Y = 0.015X + 12.1 \quad \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

(2) フルマラソン

Foster (1977) はマラソンタイムX (分) と $\dot{V}O_{2max}$  Y (ml/分/kg) の間に以下の関係を見出した。

$$X = 402.46 - 3.52Y$$

変形すると,  $Y = 114.3 - 0.284X \quad \dots \dots \dots \textcircled{4}$

フルマラソンの平均速度をFV (m/分)とするとマラソンタイムX (分)との間には  $FV \times X = 42,195$

の関係があるので  $X = 42,195/FV$

これを式④に代入すると

$$Y = 114.3 - 0.284 \times 42,195/FV$$

$$Y = 114.3 - 11,983/FV \quad \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

相関係数は-0.86と報告されている。

同じくFoster (1983) はマラソンタイムX (分) と $\dot{V}O_{2max}$ 、Y (ml/分/kg) の間に以下の関係を見出した。

$$X = 435.58 - 3.85Y$$

変形すると

$$Y = 113.1 - 0.260X$$

X = 42,195/FV を代入すると

$$Y = 113.1 - 10,971/FV \quad \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

相関係数は-0.96と報告されている。

山地ら(1990)の研究では

$$60X = 13,967 - 70.45Y$$

変形すると

$$Y = 198.3 - 0.852X \quad \dots \dots \dots \textcircled{7}$$

式⑦のマラソンタイム (X) に対する係数は、⑤や⑥と大きく異なる。

この研究において相関係数は-0.47と報告されている。

様々な距離のレース記録と相関係数の関係を表2-3に示す。

表2-3 レース記録と最大酸素摂取量の相関係数

レース距離等	Cooper (1968)	Costi 1ら (1973)	Fosterら (1977)	Kumagaiら (1982)	Foster (1983)	Paliczkaら (1987)	山地ら (1990)	中垣内ら (1996)	高橋ら (2013)
	**	*	*	*	*	*	*	***	****
1,500m							-0.64		
12分間走	0.90							0.77	0.80
5,000m				-0.945			-0.775		
10,000m				-0.839		-0.95	-0.686		
10マイル		-0.91		-0.835	-0.95				
フルマラソン			-0.86		-0.96		-0.471		

出典： \* 文献62 (山地, 2001)

\*\* 文献4 (Cooper, 1968)

\*\*\* 文献25 (中垣内, 1996)

\*\*\*\* 文献57 (高橋ら, 2013)



マラソン記録はランナーの乳酸性閾値との相関も高い。乳酸性閾値と最大酸素摂取量の比較では、前者の加齢による1歳毎の低下は後者のそれより小さく、マラソン記録との相関は前者のほうが後者よりも高い（竹島ら，1989）。このことから、マラソン記録のみから最大酸素摂取量を推定するよりも、年齢の情報も加味したほうが推定精度が向上すると考えられる。

## 第6節 最大酸素摂取量と健康関連指標の関係

最大酸素摂取量の低さが健康障害要因と関係しているという先行研究が散見される。健康診断結果及び日常生活に起因した健康障害要因の分析の結果、最大酸素摂取量の望ましいレベルは40歳台で45.5 ml/kg/分、50歳台では41.5 ml/kg/分であり、臨界レベルはそれぞれ40.0 ml/kg/分、37.8 ml/kg/分であった（須藤ら，1999）。

日常的に活動量が多く最大酸素摂取量の高い人が成人病にかかりにくいという報告もあり、疾病発生の分岐点となる最大酸素摂取量は男子では約35 ml/kg/分とされている（小野太，2004）。日本人の健康を判別するためのカットオフ値は約29 ml/kg/分（自転車エルゴメータ）、約35 ml/kg/分（トレッドミル）であった（鈴木，2009）。

最大酸素摂取量が総死亡リスクと関係しているという先行研究もある。フィンランド人男性2,268人を平均17年追跡した結果、自転車エルゴメータで測定した $\dot{V}O_{2max}$ で4グループに分けると、最も $\dot{V}O_{2max}$ の多いグループ（33.2 ml/kg/分以上）は最も少ないグループ（26.9 ml/kg/分未満）に比べて総死亡リスクは0.42であった（Laukkanen, 2010）。また、米国において約2.6万人（内男性は約2万人）を平均10年間追跡調査した結果、男性においては全身持久性体力が高い程非致死性心疾患リスクが低いことが明らかになり（Sui et al., 2007）、約4千人（内男性は約3千人）を平均13.6年間追跡した研究においては、全身持久性体力が高い程、総死亡率及び心血管死亡のリスクが低かった（Sui et al., 2007）。

最大酸素摂取量の大きさががん死亡率と関係するという報告もある。15歳～59歳の男性9,039名を対象として、自転車エルゴメータによる $\dot{V}O_{2max}$ の推定値と健康診断結果、死亡率を16年間観察した結果、 $\dot{V}O_{2max}$ が37.6 ml/kg/分以上

上あると、がんによる死亡リスクが約半分になった (Evenson et al., 1999) 。また、Peelら (2009) は38,801人の男性を17年間追跡し、トレッドミルテストにより最大酸素摂取量を推定した結果、 $\dot{V}O_{2max}$ の平均値が13.7 METS (約48 ml/kg/分) の上位集団は、消化器系がんによる死亡のハザード比が、平均8.5 METS (約30 ml/kg/分) の下位集団に比べて0.56であったと報告した。

我が国においても、19歳から59歳の男性約1万2千人を平均20年間追跡した結果、体力基準以上の全身持久性体力を有していた群は、体力基準未満群と比べて、全がん死亡の相対危険度が有意に低かったとの報告 (松下ら, 2013) もある。

## 第7節 研究課題の設定 (図2-5)

研究課題1では、中高年男性ランナーに対して、加齢がマラソン記録に与える影響を明らかにすることとし、全日本マラソンランキングのデータを用いて中高年男性の年齢とパフォーマンス（競技記録）の関係を分析した。その中で研究課題1-1では幅広い範囲のランナーを対象に横断的な分析を行い、研究課題1-2aおよび研究課題1-2bでは年齢別100位以内に入ったランナーの10年間のマラソン記録の変化を追跡するなど、縦断的な分析も盛り込んだ。

研究課題2においては、地域のランニングクラブに所属しフルマラソンを完走する市民ランナーのデータを用いて分析を行った。まず、レースの距離によって中高年男性のパフォーマンス（レース中の平均速度）がどう変わるのかの分析を行い、その結果を踏まえて競技記録や年齢の情報から全身持久性体力（最大酸素摂取量）を推定する方法を検討した。

研究課題3では、研究課題1で整理した全日本マラソンランキングの結果と、研究課題2で抽出した最大酸素摂取量の推定式を用いて、我が国の中高年男性マラソンランナーの全身持久性体力を推定した。

## 【研究課題1】

加齢が中高年男性ランナーのマラソン記録に与える影響

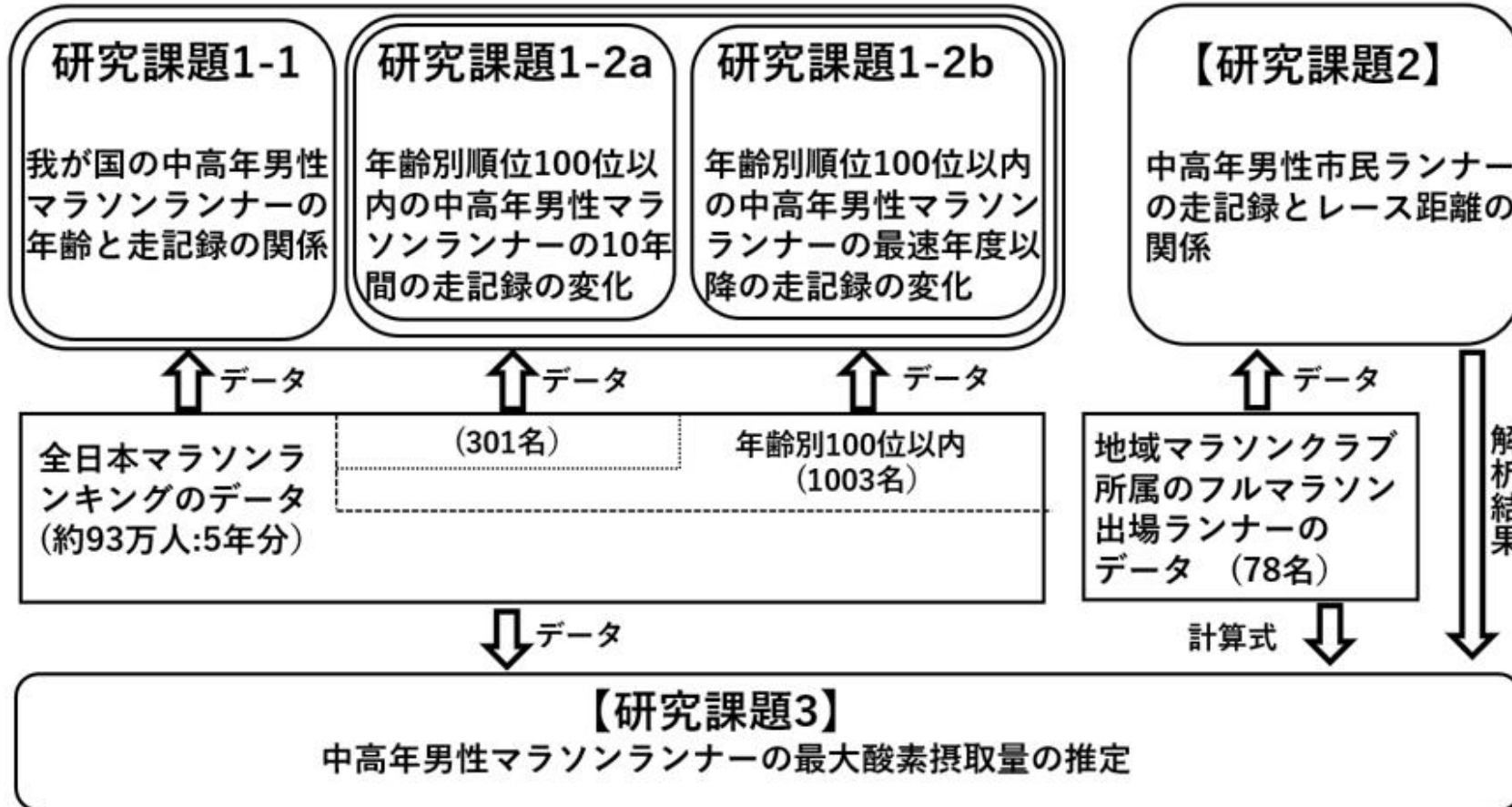


図2-5 研究課題

## 第3章【研究課題1】加齢が中高年男性ランナーのマラソン記録 に与える影響

### 第1節【研究課題1-1】我が国の中高年男性マラソンランナーの年齢と走記 録の関係

#### 第1項 目的

中高年男性マラソンランナーの年齢とマラソン記録の関係を調べて、マラソンランナーの年齢とマラソン記録の関係を見出す。

#### 第2項 方法

##### 1. 研究デザイン

ランニング習慣者向けの月刊雑誌「ランナーズ」の付録として年に1回発行されている全日本マラソンランキングに掲載された、年齢、マラソンタイム、順位の情報を用いて、マラソンランナーの年齢と記録の関係を分析する横断研究である。

##### 2. 分析対象

分析には、国内の主要なマラソン大会（2016年度で77大会）を網羅する全日本マラソンランキングの2007年度（ランナーズ編集部、2008）、2009年度（ランナーズ編集部、2010）、2011年度（ランナーズ編集部、2012）、2013年度（ランナーズ編集部、2014）、2015年度（ランナーズ編集部、2016）の記録集のデータを用いた。この5年間の中高年男性の完走者数は延べ935,507人であった（図3-1-1）。

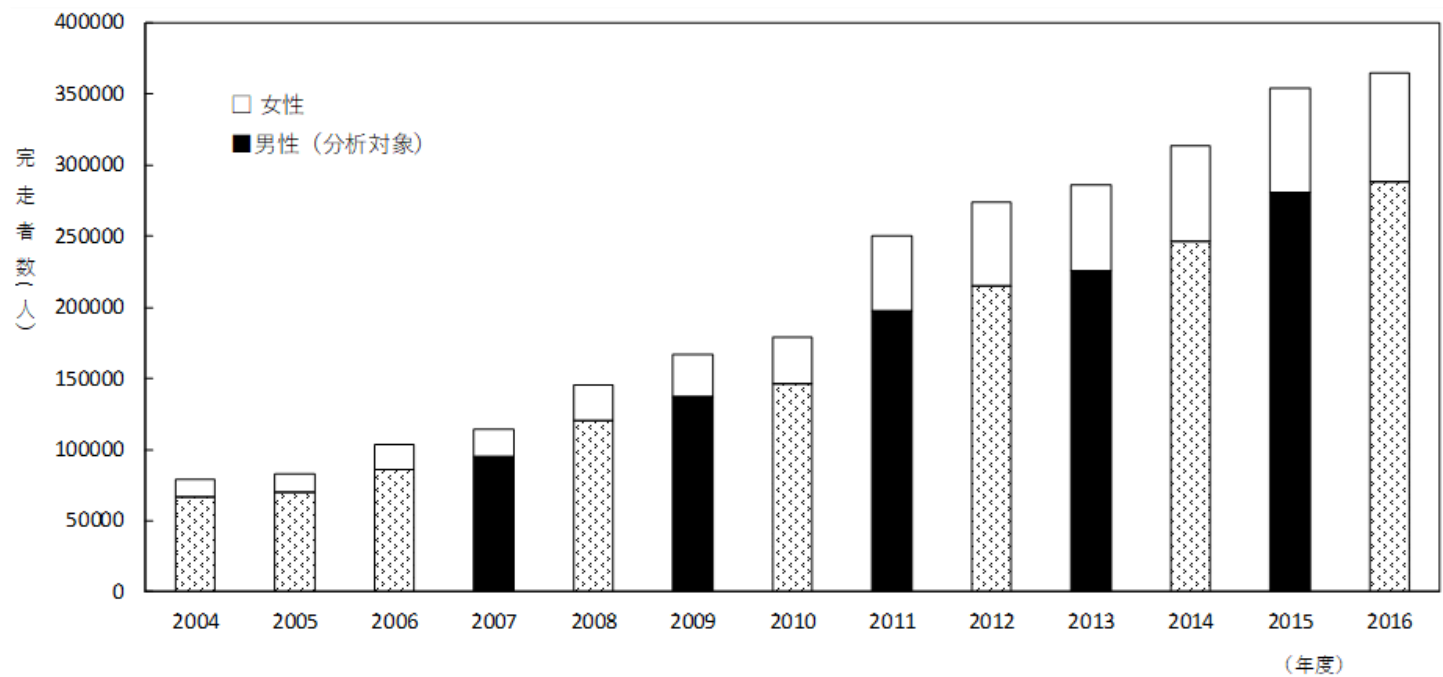
それぞれの記録集の中で分析に用いたのは以下のデータである。

(1) 各年齢で100位以内までの記録を持つ男性（延べ29,139名）の年齢、順位、完走時間（時分秒）

同一年度で複数回完走した場合はその年度のベストタイムを採用した。平均速度はマラソンの距離（42.195 km）を完走時間で割って求めた。

(2) 年度・年齢毎に、100位以降、完走時間7時間までの15分おきの順位を記述したタイム別順位早見表

100位以降の順位のランナーの完走時間については、この早見表を用いて、最も近い順位と2番目に近い順位の2点のデータから内挿計算を行って求めた（早見表の隣接順位のいずれかよりも100位の方が完走時間が近い場合は、早見表のデータでなく1項の100位のデータを用いた）



年度	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	合計
女性+男性	78,776	82,930	103,590	114,520	145,416	166,794	179,215	249,783	273,754	286,395	313,493	354,072	364,546	2,713,284
女性	12,236	13,331	17,609	19,442	25,282	29,719	33,155	52,449	58,687	60,836	66,847	73,611	76,071	539,275
男性	66,540	69,599	85,981	<b>95,078</b>	120,134	<b>137,075</b>	146,060	<b>197,334</b>	215,067	<b>225,559</b>	246,646	<b>280,461</b>	288,475	2,174,009
100位以内 (完走者中の割合)				<b>5,595</b> 5.88%		<b>5,697</b> 4.16%		<b>5,852</b> 2.97%		<b>5,952</b> 2.64%		<b>6,043</b> 2.15%		

分析対象

図3-1-1 我が国におけるマラソン完走者数の推移並びに分析範囲

出典：文献39～文献43のデータを元に筆者が作成



### 3. 評価項目

#### (1) 日本人男性マラソンランナーの年齢と記録の関係

2007年度から2015年度までの隔年で、各年齢における、1位、100位、100位以内の平均値、全体の記録の平均値を求め、それぞれにおいて記録がピークになる年齢とその記録、ピーク以降の、年齢の増加に伴う記録の変化の仕方を確認した。

#### (2) 日本人男性マラソンランナーの年齢分布の経年変化

ランキング対象のマラソンランナーは、2007年の11.4万人余りから2015年には35.4万人に増加した（3.09倍）。男性においては9.5万人から28万人の2.95倍であった。このように完走者が年々増加していく状況の中で、特にどの年代のランナーの増加率が大きいのかを確認した。

#### (3) 各相対順位の年齢別マラソン記録の経年変化

本節では、1位だけでなく様々な記録レベルにおける年齢とマラソン記録の関係を評価した。年度により完走者数が大きく変化していることから、記録レベルの指標として単純な順位を用いた場合、同じ順位でもマラソンタイムが大きく異なってしまい、適切でない。そこで、各年齢における完走者数を分母にして、それに対する相対順位を記録レベルの指標とし、1位、上から1%、同3%、同10%、同50%（完走者全員の記録の中央値）の5レベルを設定した。

この指標を用いた場合に、年齢とマラソン記録の関係が年度によって変化しているかどうかを確認した。

#### (4) 年齢とマラソン記録の関係

前項において、年齢とマラソン記録の関係の年変化が小さいことを確認し、5年分の各年齢、各レベルの記録を平均したデータを用いて、年齢とマラソン記録の間の回帰分析を行い、相関係数や傾きなどを求めた。

#### 4. 統計解析

年齢に対するマラソン成績の回帰分析を行った。各レベルにおいて、直線と曲線（2次関数）を想定した計算を行い、両者の調整済決定係数（モデルの当てはまり度を表す統計量であり、相関係数を二乗したものである決定係数に自由度補正を加えたもの）から、直線回帰か2次関数での回帰かの判断を行った。具体的には、2次関数で回帰した場合でも調整済み決定係数が変わらないか、大きくなった場合でも、直線での当該係数が1に近ければ直線回帰で十分とみなした。

統計解析にはIBM SPSS 22.0 for Windows を用いた。

#### 5. 倫理的配慮

全ての情報は過去に雑誌等で公開されたものである。電子データについては、ランナーズ編集部より氏名のデータを省いたものを入手した。

## 第3項 結果

### 1. 年齢とマラソン記録の関係

各順位でのマラソン記録（5年分の平均値，タイム：時分秒、平均速度：m/分）を計算した結果を表3-1-1に示す。また、横軸に年齢をとり、縦軸をレースの平均速度としたものを図3-1-2に示す。

表3-1-1および図3-1-2によれば、1位から100位の間では20歳から30歳前後までは記録が向上し、それ以上の年齢では低下していた。特に70歳前後から記録が急激に低下していた。詳細に見ると、最速は、1位では29歳（5年間の平均タイム2:09:31）、1位から100位の平均では29歳（同2:34:51）、100位では31歳（同2:47:13）であった。73歳の1位は3:24:26であり、29歳に比べて平均速度が36.6%減少していた。40歳以上の中高年者に注目すると、特に1位については40歳から70歳前後まで年齢と速度の関係がほぼ直線関係にあった。それ以外の順位では40歳以降は上に凸の曲線であった。

表3-1-1 年齢とマラソン記録の関係

年齢	マラソントイム (時:分:秒)				平均速度 (m/分)			
	1位	100位	100位以内 平均	全体平均	1位	100位	100位以内 平均	全体平均
20	2:20:15	3:17:06	2:57:54	4:45:11	301.1	214.9	239.2	148.0
21	2:10:42	3:10:23	2:49:49	4:50:28	322.9	222.1	250.7	145.3
22	2:13:44	2:55:10	2:40:43	4:52:11	315.7	241.1	263.8	144.4
23	2:12:25	2:59:55	2:43:02	4:54:36	318.8	234.6	260.3	143.2
24	2:11:48	2:57:25	2:41:01	4:53:49	320.2	238.1	263.6	143.6
25	2:10:53	2:55:55	2:38:17	4:52:30	322.5	240.1	268.3	144.3
26	2:09:36	2:53:23	2:37:45	4:50:45	325.6	243.4	269.0	145.1
27	2:09:46	2:51:10	2:36:06	4:48:56	325.2	246.6	271.8	146.0
28	2:10:49	2:49:26	2:35:13	4:47:14	322.6	249.2	273.2	146.9
29	<b>2:09:31</b>	2:48:00	<b>2:34:51</b>	4:45:54	<b>325.8</b>	251.2	<b>273.7</b>	147.6
30	2:10:08	2:48:30	2:36:12	4:44:44	324.3	250.6	271.4	148.2
31	2:10:38	<b>2:47:13</b>	2:35:17	4:42:54	323.0	<b>252.4</b>	272.8	149.2
32	2:11:44	2:49:12	2:37:27	4:42:25	320.4	249.5	269.1	149.4
33	2:13:27	2:48:42	2:37:14	4:40:13	316.3	250.2	269.2	150.6
34	2:12:39	2:49:26	2:38:33	4:39:28	318.2	249.1	267.0	151.0
35	2:16:58	2:48:42	2:39:48	4:36:42	308.3	250.2	264.7	152.5
36	2:16:02	2:49:27	2:40:35	4:36:14	310.4	249.1	263.3	152.8
37	2:17:47	2:50:37	2:41:52	4:35:02	306.5	247.4	261.2	153.4
38	2:21:55	2:50:15	2:42:09	4:33:30	297.4	247.9	260.6	154.3
39	2:21:59	2:51:53	2:43:41	4:32:46	297.5	245.6	258.3	154.7
40	2:24:30	2:51:37	2:43:42	4:31:43	292.2	245.9	258.2	155.3
41	2:26:00	2:53:32	2:45:31	4:30:37	289.0	243.3	255.4	155.9
42	2:25:03	2:52:57	2:44:50	4:28:52	291.1	244.0	256.3	156.9
43	2:25:37	2:54:22	2:46:33	4:27:36	289.8	242.1	253.8	157.7
44	2:27:11	2:54:53	2:46:47	4:27:24	286.8	241.4	253.4	157.8
45	2:28:03	2:56:20	2:48:44	4:27:32	285.0	239.3	250.5	157.7
46	2:31:05	2:56:19	2:49:09	<b>4:26:38</b>	279.4	239.4	249.8	<b>158.3</b>
47	2:33:24	2:59:09	2:51:48	4:27:00	275.2	235.6	246.0	158.0
48	2:35:30	2:59:23	2:51:51	4:26:52	271.4	235.3	245.9	158.1
49	2:34:15	3:01:48	2:54:11	4:28:08	273.7	232.2	242.6	157.4
50	2:35:02	3:02:26	2:55:11	4:28:39	272.3	231.4	241.3	157.1
51	2:36:27	3:04:52	2:56:51	4:30:00	270.0	228.4	239.0	156.3
52	2:36:54	3:07:15	2:59:00	4:30:57	269.1	225.5	236.2	155.7
53	2:39:59	3:10:40	3:01:29	4:31:16	263.9	221.5	233.0	155.5
54	2:38:46	3:12:54	3:04:18	4:33:41	265.8	218.9	229.4	154.2
55	2:43:06	3:15:31	3:06:02	4:35:03	258.9	215.9	227.3	153.4
56	2:46:26	3:19:00	3:09:47	4:36:09	253.6	212.1	222.8	152.8
57	2:49:30	3:20:29	3:11:18	4:37:11	249.0	210.5	220.9	152.2
58	2:47:44	3:24:52	3:14:06	4:39:19	251.7	206.0	217.9	151.1
59	2:46:16	3:26:51	3:16:19	4:41:29	254.1	204.0	215.4	149.9
60	2:49:26	3:29:27	3:18:09	4:43:29	249.3	201.5	213.4	148.8
61	2:51:55	3:31:39	3:20:56	4:42:49	246.0	199.5	210.5	149.2
62	2:50:07	3:36:22	3:24:21	4:44:09	248.1	195.1	207.0	148.5
63	3:00:02	3:40:03	3:27:14	4:44:50	234.4	191.8	204.1	148.1
64	2:59:18	3:43:44	3:30:30	4:46:39	235.6	188.7	201.0	147.2
65	2:58:29	3:46:53	3:33:23	4:46:14	236.7	186.0	198.3	147.4
66	3:02:51	3:50:51	3:36:33	4:48:50	230.9	182.9	195.4	146.1
67	3:06:23	3:56:10	3:41:02	4:49:40	226.4	178.7	191.5	145.7
68	3:10:03	4:04:35	3:47:31	4:52:13	222.1	172.8	186.2	144.4
69	3:10:31	4:12:00	3:52:15	4:54:29	221.7	167.6	182.5	143.3
70	3:16:18	4:23:02	3:59:13	4:58:41	215.0	160.6	177.3	141.3
71	3:15:06	4:35:51	4:08:53	4:58:56	216.4	153.5	171.0	141.2
72	3:22:27	4:51:16	4:17:10	5:02:53	208.9	145.6	165.7	139.3
73	3:24:26	4:57:52	4:32:29	5:04:07	206.7	142.3	157.2	138.7
74	3:31:55	5:05:47	4:47:12	5:09:40	199.5	138.1	149.4	136.3
75	3:40:23	5:33:34	5:00:02	5:15:20	192.3	127.3	143.0	133.8
76	3:33:45	5:51:59	5:16:45	5:20:20	197.8	119.9	135.9	131.7
77	3:45:32	6:32:09	5:39:10	5:29:08	188.0	107.6	127.1	128.2
78	3:53:48	8:24:42	5:42:07	5:25:46	181.7	83.6	126.0	129.5
79	4:12:12	8:24:56	6:00:27	5:49:52	169.6	83.6	119.8	120.6
80	4:15:47	8:00:56	5:55:55	5:43:05	166.1	87.7	120.7	123.0
81	5:03:34	6:49:22	5:59:20	5:59:19	140.0	103.1	118.3	117.4
82	4:57:37	7:37:15	6:20:25	6:02:29	144.8	92.3	112.8	116.4
83	5:19:25	6:46:01	6:16:43	5:56:30	133.5	103.9	113.9	118.4
84	5:16:02	6:34:34	6:18:20	5:53:48	134.8	106.9	113.1	119.3
85	6:42:29	6:41:54	6:42:21	7:03:03	106.1	105.0	106.0	99.7
86	5:34:30	6:58:38	6:14:06	6:35:15	127.8	102.1	114.8	106.8
87	6:59:30	6:48:04	6:53:47	6:34:36	102.3	103.4	102.9	106.9
88	5:41:37	7:52:28	6:40:03		123.5	89.3	107.4	
89	6:48:21	7:54:41	7:21:31	6:26:08	109.3	88.9	99.1	109.3
90				6:57:08				101.2
91	8:11:22		8:11:22	8:11:22	85.9		85.9	85.9

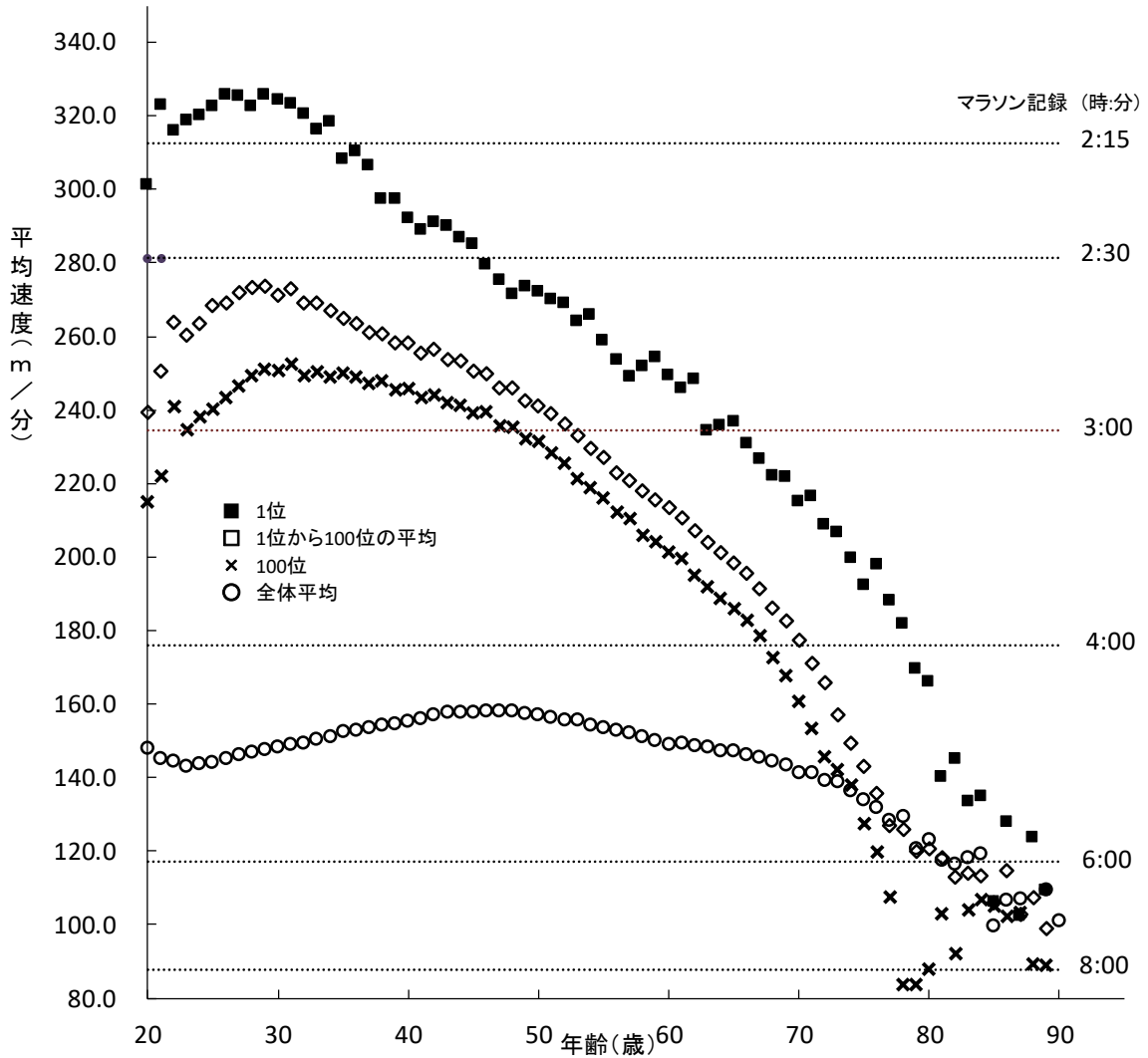


図3-1-2 男性マラソンランナーの年齢とマラソン走記録の関係

## 2. 調査対象の年齢分布の8年間の変化（図3-1-3）

フルマラソンの完走者は年々増加しており、2015年度の完走者数は2007年度の3倍弱に達した。中でも41歳から53歳は、丙午生まれで人口が少ない49歳を除いて、その間3.5倍以上と、全体平均に比べて増加率が大きかった。それ以上60歳前後までの増加率は全体平均を下回った。人数の絶対値としては少ないものの72歳以上の増加率も全体平均よりも大きかった。

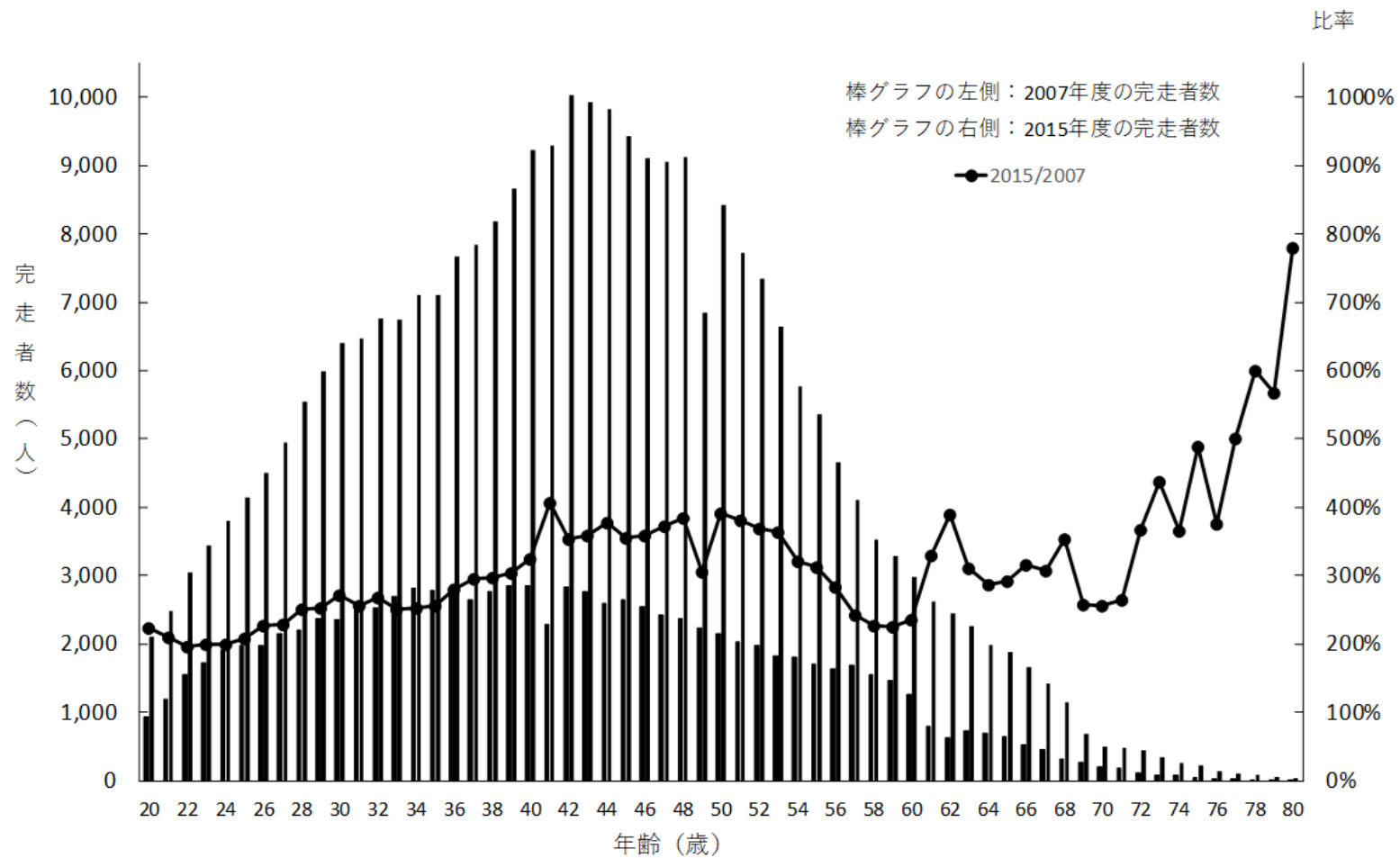


図3-1-3 男性のマラソン完走者数の2007年度と2015年度の比較

### 3. 各レベルにおけるマラソン平均速度の経年変化

各年度における年齢及びレベル（相対順位）毎のマラソン平均速度を計算した結果を表3-1-2に示す。



表3-1-2 年齢および相対順位毎のマラソン平均速度

単位：m/分

年齢	2007年度					2009年度					2011年度				
	1位	1%	3%	10%	50%	1位	1%	3%	10%	50%	1位	1%	3%	10%	50%
40	288.51	259.53	243.15	216.94	166.78	284.97	257.71	242.60	213.61	160.88	301.79	254.70	240.22	211.83	157.02
41	289.77	257.65	240.04	214.92	164.18	292.51	254.78	237.28	212.07	160.81	291.60	251.09	236.34	209.70	157.30
42	286.55	256.66	241.87	217.87	166.12	290.17	256.37	237.34	213.04	162.15	285.10	252.64	238.48	210.73	158.66
43	289.20	254.65	238.55	214.92	165.80	288.45	256.19	236.59	211.67	164.01	289.11	249.16	235.48	209.21	160.15
44	282.30	253.40	238.26	214.37	168.11	282.34	252.41	236.73	213.63	163.79	287.60	248.96	233.99	210.01	160.38
45	280.21	254.98	239.31	215.83	168.67	281.39	249.16	235.59	211.21	163.19	289.24	246.37	233.20	208.64	160.47
46	276.36	249.43	237.45	213.83	168.33	278.61	247.96	234.94	211.36	166.05	282.40	246.39	233.63	210.21	160.50
47	274.35	249.23	235.40	213.65	168.00	268.79	244.04	232.84	211.49	165.75	269.93	242.11	230.45	208.04	160.46
48	263.12	246.13	234.53	211.15	166.56	274.95	246.25	232.32	210.66	164.69	268.84	242.76	231.62	208.39	161.02
49	272.67	243.15	231.61	211.68	167.22	278.55	244.14	230.03	208.56	162.80	270.11	240.50	229.61	207.72	160.12
50	270.63	241.48	229.61	209.75	165.80	265.60	241.64	228.74	207.14	162.42	275.10	238.79	227.62	204.17	158.80
51	268.36	240.24	227.98	207.52	164.93	270.13	240.38	226.06	205.37	160.82	264.21	240.06	227.14	203.40	159.27
52	259.48	238.39	224.66	207.35	164.08	268.39	237.27	223.43	206.18	161.53	280.24	236.85	222.30	201.51	158.15
53	256.82	233.75	220.57	205.83	164.08	258.28	236.14	221.88	203.60	161.56	267.25	235.64	219.20	201.39	157.41
54	266.10	233.83	217.18	202.86	164.29	263.97	234.33	221.40	203.73	159.38	263.58	230.85	219.31	200.13	155.97
55	253.45	230.68	220.11	203.51	163.34	257.18	228.35	216.51	200.31	158.75	255.52	235.09	218.99	199.69	155.16
56	256.63	230.85	216.64	200.61	162.71	251.11	224.60	211.65	197.73	159.82	246.49	227.69	214.73	196.31	152.90
57	245.58	226.43	217.18	201.09	161.46	258.31	228.41	215.08	196.97	158.99	249.53	225.14	214.51	195.95	153.10
58	253.93	229.72	214.42	196.87	158.83	258.15	227.90	212.98	195.48	157.89	255.01	221.24	208.89	191.87	152.68
59	270.11	225.68	212.84	197.02	159.73	248.89	223.39	211.49	193.95	156.00	260.25	221.85	210.17	192.54	152.09
60	247.43	226.23	214.70	197.02	159.63	244.47	223.12	210.43	191.04	154.65	262.95	219.06	206.72	187.08	150.00
61	243.62	220.32	208.89	193.99	159.83	266.72	218.97	208.82	195.31	157.16	235.88	217.61	206.13	187.94	150.34
62	242.15	223.16	208.92	194.70	159.23	242.13	218.42	207.91	192.40	157.21	251.64	214.28	202.16	186.28	149.77
63	237.90	220.09	207.24	193.11	160.34	234.81	216.64	206.94	190.21	153.86	227.18	215.87	205.10	187.84	150.77
64	244.14	221.90	207.01	191.13	157.64	227.22	213.81	203.24	190.42	155.83	239.20	214.28	203.69	187.12	148.24
65	234.31	216.76	205.41	189.44	157.35	226.69	215.10	207.84	187.03	154.16	239.22	213.95	203.59	186.69	148.46
66	220.78	212.27	200.91	187.06	155.41	237.09	212.91	205.15	186.80	152.56	235.51	208.16	202.23	186.09	147.78
67	230.80	212.53	201.78	183.22	153.72	222.65	212.84	200.23	185.81	152.10	222.45	212.14	197.16	183.07	148.55
68	223.45	210.78	194.78	180.63	149.27	223.93	208.01	198.91	184.92	149.80	215.89	204.43	193.97	180.89	147.00
69	219.50	209.89	200.53	186.50	153.53	217.52	205.60	191.87	179.82	147.80	217.59	203.56	196.64	179.36	147.01
70	215.96	212.37	201.07	182.73	152.47	209.46	196.50	191.51	179.01	144.71	220.94	206.42	194.48	178.81	143.75

表3-1-2 (続き) 年齢および相対順位毎のマラソン平均速度

単位：m/分

年齢	2013年度					2015年度					平均				
	1位	1%	3%	10%	50%	1位	1%	3%	10%	50%	1位	1%	3%	10%	50%
40	285.45	250.59	236.70	209.45	156.30	300.25	249.95	237.94	209.57	156.51	292.20	254.49	240.12	212.28	159.50
41	286.04	249.48	236.06	210.41	158.56	285.20	250.46	238.17	209.74	157.46	289.02	252.69	237.58	211.37	159.66
42	303.82	250.49	236.42	211.98	159.27	289.67	249.13	235.95	209.32	157.76	291.06	253.06	238.01	212.59	160.79
43	287.33	250.49	235.16	211.88	160.20	294.83	248.55	235.73	210.72	159.31	289.78	251.81	236.30	211.68	161.89
44	282.81	248.16	235.14	210.38	159.32	299.15	249.09	235.95	211.58	159.26	286.84	250.40	236.01	211.99	162.17
45	288.09	244.07	233.08	209.15	160.65	286.26	246.15	233.95	209.74	159.85	285.04	248.15	235.03	210.92	162.57
46	288.09	244.68	232.54	209.90	160.84	271.50	245.68	234.41	209.33	159.39	279.39	246.83	234.59	210.93	163.02
47	275.75	241.18	229.61	207.35	160.27	287.30	243.90	232.75	208.35	159.34	275.22	244.09	232.21	209.78	162.76
48	272.31	241.62	230.39	207.89	160.01	277.96	241.53	230.37	207.89	159.54	271.44	243.66	231.84	209.20	162.36
49	280.83	239.36	228.51	206.63	159.82	266.19	241.11	228.21	205.29	159.52	273.67	241.65	229.59	207.98	161.90
50	270.94	239.27	228.68	205.96	159.27	279.01	239.04	228.09	206.49	159.42	272.25	240.05	228.55	206.70	161.14
51	261.16	237.45	225.13	205.22	158.94	286.04	237.47	226.39	204.30	158.15	269.98	239.12	226.54	205.16	160.42
52	267.45	236.81	222.38	201.34	157.38	269.85	238.26	225.21	203.42	157.80	269.08	237.52	223.60	203.96	159.79
53	272.75	237.12	220.89	200.85	157.57	264.27	235.55	221.53	202.19	156.80	263.88	235.64	220.81	202.77	159.48
54	262.49	234.24	218.69	199.60	155.56	272.96	234.94	219.53	199.40	156.12	265.82	233.64	219.22	201.14	158.27
55	254.21	227.67	215.00	196.02	154.99	274.32	230.76	217.01	197.35	154.56	258.94	230.51	217.52	199.38	157.36
56	254.08	225.56	215.50	196.92	153.77	259.69	228.08	215.09	196.11	153.72	253.60	227.36	214.72	197.54	156.58
57	244.47	222.57	212.89	195.04	153.79	247.28	222.12	212.29	192.64	153.00	249.03	224.93	214.39	196.34	156.07
58	245.41	220.65	209.60	191.19	151.99	245.77	224.04	212.15	191.88	150.65	251.66	224.71	211.61	193.46	154.41
59	242.36	220.34	207.30	189.76	150.39	249.13	219.14	208.81	190.44	150.20	254.15	222.08	210.12	192.74	153.68
60	253.22	219.52	206.21	187.09	150.42	238.46	218.68	208.57	188.02	149.12	249.31	221.32	209.33	190.05	152.76
61	235.46	217.61	208.77	186.98	149.28	248.11	221.05	209.10	187.00	148.44	245.96	219.11	208.34	190.24	153.01
62	254.42	218.68	204.02	186.68	148.22	250.39	217.56	204.32	185.33	148.02	248.14	218.42	205.47	189.08	152.49
63	235.84	215.70	198.42	183.90	148.46	236.45	213.61	203.13	184.40	146.40	234.43	216.38	204.17	187.89	151.96
64	225.74	209.79	197.74	182.72	146.74	241.57	213.84	200.29	183.16	145.75	235.58	214.72	202.39	186.91	150.84
65	249.65	208.40	199.88	185.85	148.51	233.40	209.51	196.84	181.80	146.78	236.65	212.74	202.71	186.16	151.05
66	230.13	213.16	202.88	185.45	147.19	231.06	208.16	197.76	180.54	145.13	230.91	210.93	201.79	185.19	149.62
67	228.27	210.73	198.49	184.15	146.24	228.02	206.47	198.17	181.34	144.28	226.44	210.94	199.16	183.52	148.98
68	225.06	206.60	197.74	182.54	146.11	222.06	209.60	198.33	180.14	142.65	222.08	207.88	196.75	181.82	146.97
69	235.42	205.40	192.82	176.88	142.74	218.38	207.99	198.56	181.20	144.61	221.68	206.49	196.08	180.75	147.14
70	214.68	206.92	194.15	179.03	142.14	214.06	204.33	194.42	175.35	140.57	215.02	205.31	195.12	178.98	144.73

40歳、50歳、60歳、70歳における各レベルでのマラソン平均速度の経年変化を図3-1-4に示す。40歳と50歳の1位については、年が経つほど平均速度が増す傾向にあった。一方、40歳と50歳の1位以外のレベルと、60歳、70歳の全てのレベルで、経年的な平均速度変化はほとんどないか、わずかに低下の傾向を示していた。

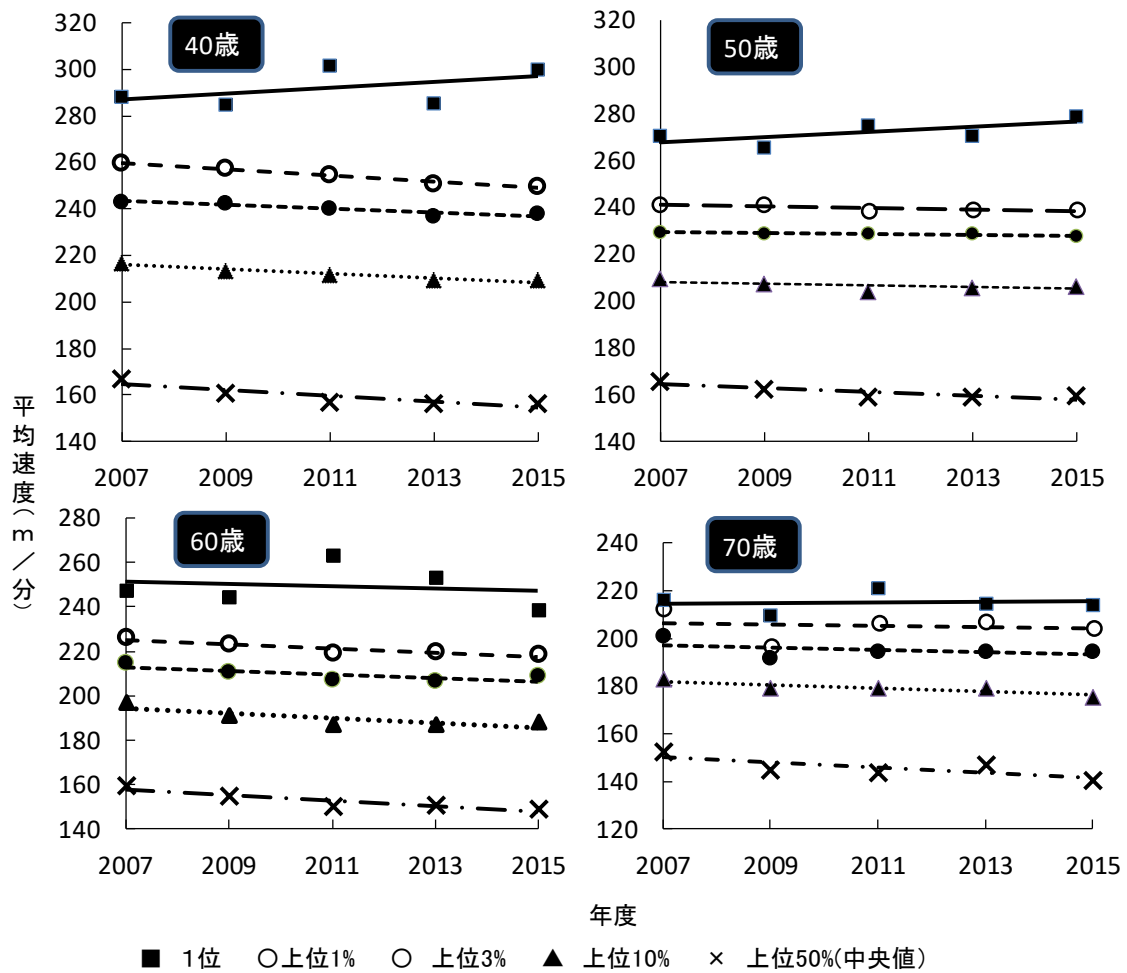


図3-1-4 同年齢、同レベルのランナーのマラソン平均速度の推移

#### 4. 中高年者における年齢とマラソン平均速度の関係

前項の結果から、同一レベル、同一年齢でのマラソン平均速度は年度が変わってもあまり変化しないことが分かったため、各レベルにおける年齢とマラソン記録の関係は、5年間の平均値で代表させることとした。各年度、各年齢における1位、上位1%、同3%、同10%、同50%の記録の5年分の平均値と年齢との関係を図3-1-5に示す。

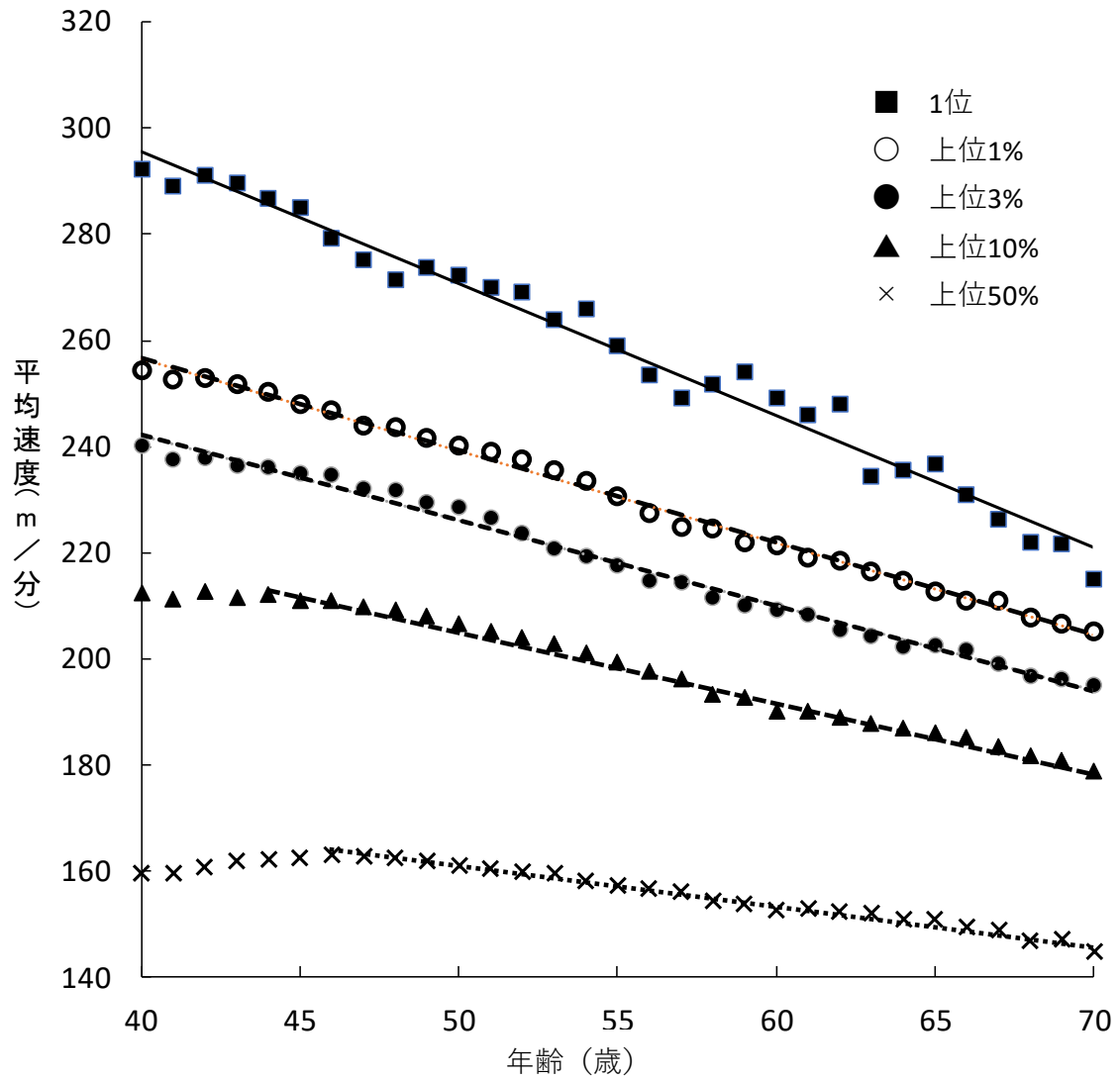


図3-1-5 年齢とマラソンの平均速度の関係（相対順位別）

それぞれのレベルにおける40歳の速度を基準（100%）とした場合を図3-1-6に示す。1位、上位1%、上位3%については40歳から70歳まで年齢に対して速度が直線的に低下しており、上位10%については44歳から70歳まで、上位50%については、46歳から70歳までの直線的な低下が見られた。

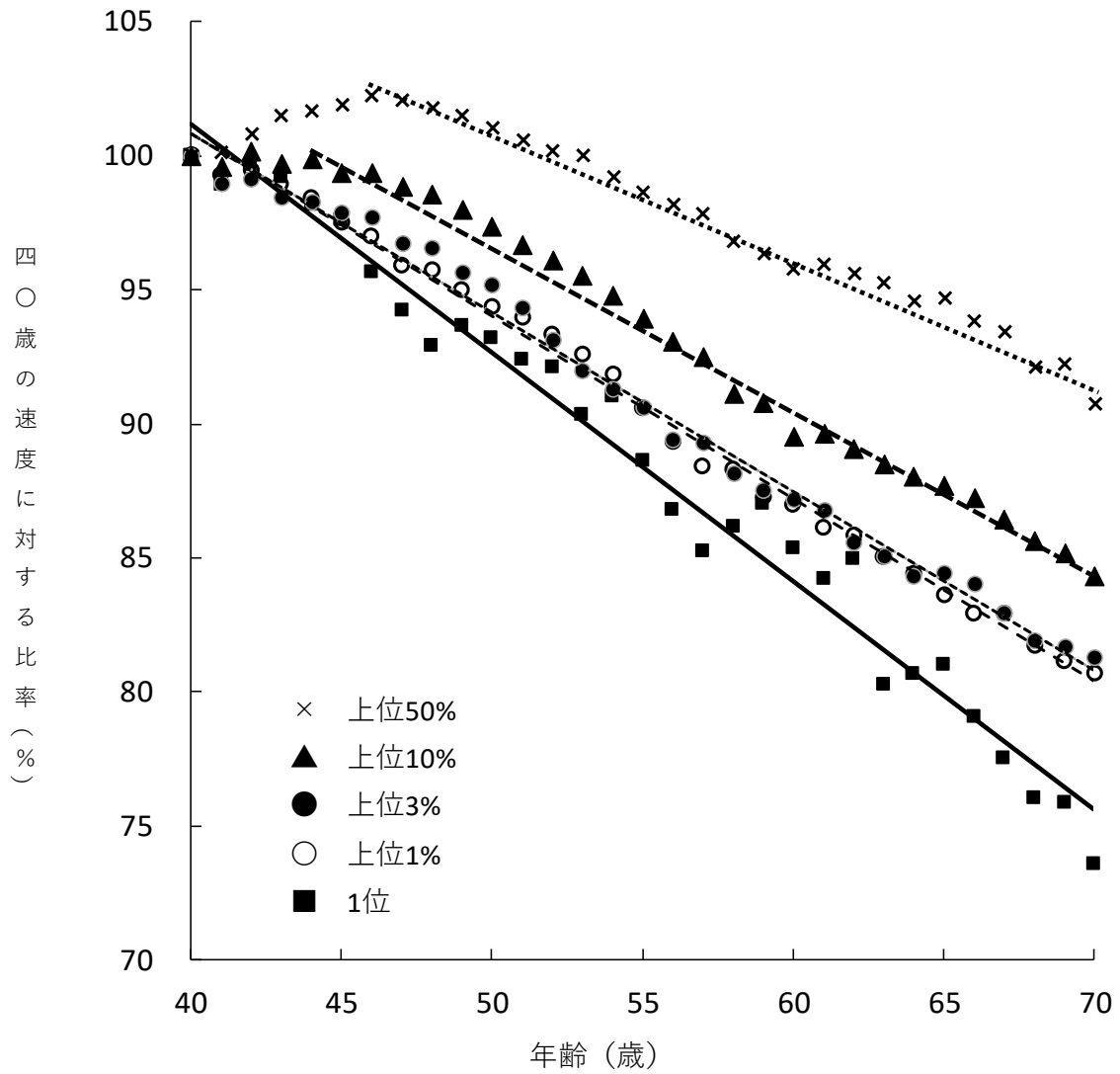


図3-1-6 年齢と記録の関係 (40歳の平均速度を基準にした場合)



これらの年齢範囲で回帰式が直線で十分なのか、あるいは曲線回帰（2次式以上での回帰）が必要なのかを確かめるために、年齢を独立変数、各レベルの平均速度の5年間の平均値を従属変数として回帰分析を行い、相関係数等を求めた（表3-1-3）。1位と上位50%については、2次関数による回帰のほうがわずかに調整済決定係数は大きかったものの、同決定係数は直線回帰でも0.98を超えており、全てのレベルにおいて直線回帰で十分であると判断した。

表3-1-3 年齢によるマラソンの平均速度の決定係数等

順位	範囲 (データ数)		回帰式	
			直線	二次関数
1位	40歳~70歳 (31)	相関係数	0.990	<b>0.992</b>
		調整済決定係数	0.979	<b>0.983</b>
上位1%	40歳~70歳 (31)	相関係数	0.998	同左
		調整済決定係数	0.995	同左
上位3%	40歳~70歳 (31)	相関係数	0.995	同左
		調整済決定係数	0.990	同左
上位10%	44歳~70歳 (27)	相関係数	0.996	同左
		調整済決定係数	0.992	同左
上位50%	46歳~70歳 (25)	相関係数	0.994	<b>0.995</b>
		調整済決定係数	0.987	<b>0.988</b>

縦軸をマラソン平均速度とした場合（図3-1-5）について、回帰係数を計算した結果を表3-1-4に示す。

表3-1-4 順位別の回帰係数及び各年齢におけるマラソン平均速度の推定値

順位	範囲	観測 点数	調整済決 定係数	回帰式の係数			年齢	回帰式による推定値						最大と最 小の差	1歳当り
				切片 (m/分)	傾き (m/分/歳)	(95%信頼 区間)		40	44	46	50	60	70		
1位	40歳~70歳	155	0.910	395.4	-2.49	-2.62	平均速度(m/分)	295.8	285.8	280.9	270.9	246.0	221.1	74.7	2.49
				3.7*	0.07*	--2.37	完走時間(時分秒)	2:22:39	2:27:37	2:30:14	2:35:46	2:51:31	3:10:50		
上位1%	40歳~70歳	155	0.967	326.0	-1.73	-1.79	平均速度(m/分)	256.8	249.9	246.4	239.5	222.2	204.9	51.9	1.73
				1.2*	0.02*	--1.68	完走時間(時分秒)	2:44:19	2:48:52	2:51:14	2:56:11	3:09:54	3:25:56		
上位3%	40歳~70歳	155	0.969	306.3	-1.60	-1.65	平均速度(m/分)	242.3	235.9	232.7	226.3	210.3	194.3	48.0	1.60
				1.3*	0.02*	--1.56	完走時間(時分秒)	2:54:09	2:58:52	3:01:20	3:06:27	3:20:39	3:37:10		
上位10%	44歳~70歳	135	0.937	272.2	-1.33	-1.39	平均速度(m/分)		213.7	211.0	205.7	192.4	179.1	34.6	1.15
				1.7*	0.03*	--1.27	完走時間(時分秒)		3:17:28	3:19:57	3:25:08	3:39:19	3:55:36		
上位50%	46歳~70歳	125	0.673	197.8	-0.74	-0.77	平均速度(m/分)			163.8	160.8	153.4	146.0	17.8	0.59
				1.0*	0.02*	--0.70	完走時間(時分秒)			4:17:40	4:22:24	4:35:04	4:49:00		

\* 標準誤差

表3-1-4によれば、1位では40歳の295.8 m/分（完走時間2時間22分39秒）から、1歳当り約2.49 m/分ずつ速度が低下し、70歳では221 m/分（同3時間10分50秒）となった。上位1%では同様に256.8 m/分（同2時間44分19秒）から、1歳当り約1.73 m/分ずつ速度が低下し、70歳では204.9 m/分（同3時間25分56秒）であった。上位3%でも同様に242.3 m/分（同2時間54分09秒）から、1歳当り約1.60 m/分ずつ速度が低下し、70歳では194.3 m/分（同3時間37分10秒）であった。

上位10%では40歳から44歳までは速度がほとんど変化しないため、44歳から70歳までの回帰式を計算した。その結果、44歳の213.7 m/分（完走時間：3時間17分28秒）から1歳当り約1.33 m/分ずつ速度が低下し、70歳では179.1 m/分（同3時間55分36秒）であった。

上位50%では40歳の159.5 m/分（同4時間24分33秒）から46歳の163.8 m/分（同4時間17分40秒）まで緩やかに速度が増加し、それから70歳まで1歳当り0.74 m/分ずつ速度が低下し、70歳では146.0 m/分（同4時間49分00秒）であった。

次に、縦軸をパーセントとした場合（図3-1-6）の回帰係数等を計算した結果を表3-1-5に示す。

表3-1-5 40歳の平均速度を基準にした場合の年齢に対するマラソン記録の傾き等

相対順位	範囲	各年度(5年分) の速度の平均値から計算					各年度の速度から計算		
		回帰式		傾きの95% 信頼区間 (%/年)	推定値の 標準誤差 (%)	相関 係数	年度	傾き (%/年)	相関 係数
		切片 (%)	傾き (%/年)						
1位	40歳~70歳	135.3	<b>-0.853</b>	-0.806 ~-0.899	1.143	-0.990	FY2007	-0.809	-0.962
							FY2009	-0.870	-0.960
							FY2011	-0.840	-0.953
							FY2013	-0.853	-0.948
							FY2015	-0.891	-0.960
上位1%	40歳~70歳	128.1	<b>-0.681</b>	-0.663 ~-0.699	0.439	-0.998	FY2007	-0.663	-0.992
							FY2009	-0.722	-0.991
							FY2011	-0.683	-0.991
							FY2013	-0.664	-0.988
							FY2015	-0.675	-0.989
上位3%	40歳~70歳	127.6	<b>-0.668</b>	-0.643 ~-0.693	0.603	-0.995	FY2007	-0.659	-0.988
							FY2009	-0.658	-0.988
							FY2011	-0.667	-0.991
							FY2013	-0.678	-0.987
							FY2015	-0.679	-0.990
上位10%	44歳~70歳	128.2	<b>-0.627</b>	-0.605 ~-0.650	0.444	-0.996	FY2007	-0.623	-0.989
							FY2009	-0.607	-0.990
							FY2011	-0.610	-0.988
							FY2013	-0.630	-0.983
							FY2015	-0.671	-0.991
上位50%	46歳~70歳	124.0	<b>-0.461</b>	-0.440~ -0.483	0.382	-0.994	FY2007	-0.400	-0.964
							FY2009	-0.428	-0.961
							FY2011	-0.429	-0.983
							FY2013	-0.485	-0.989
							FY2015	-0.519	-0.986

表3-1-5によれば、傾き（1歳当りの速度変化）は1位が - 0.85%/年、上位1%は - 0.68%/年、同10%が - 0.63%/年、同50%は - 0.46%/年であった。いずれのレベルも5年分の速度の平均値を用いて計算すると相関係数は0.99以上であったが、各年度別に計算した場合は、0.95から0.99の間であった。図3-1-7に示す通り、1位と上位50%では年と共に傾きが大きくなる傾向が見られたが、上位1%、同3%、同10%では変化はあまり見られなかった。

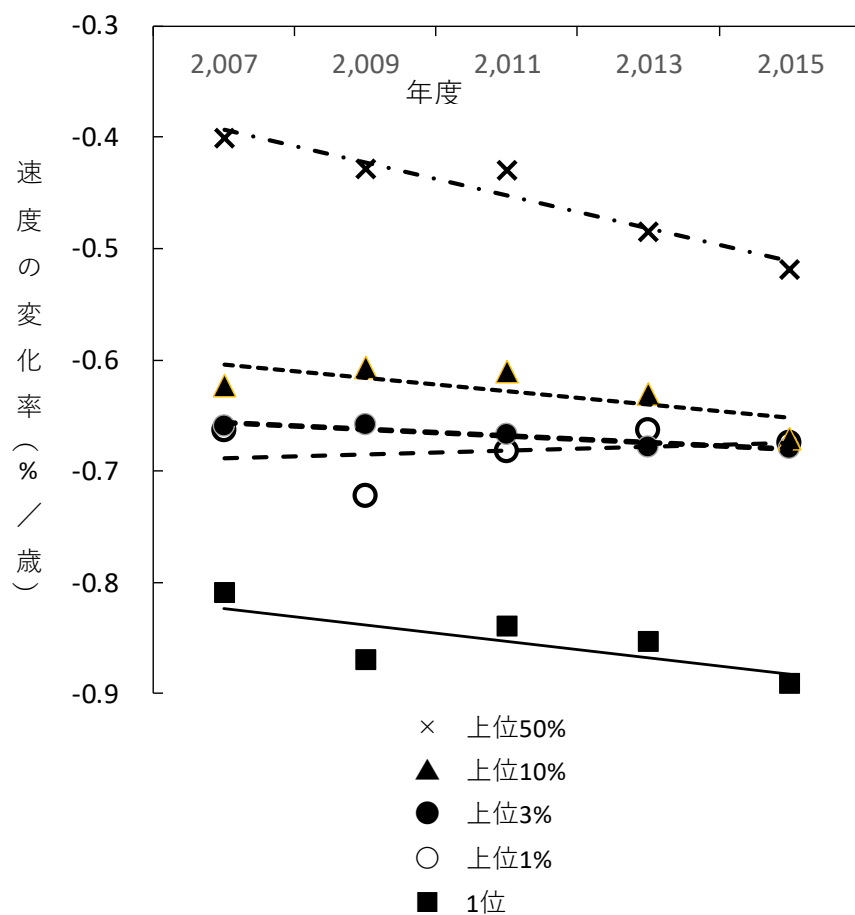


図3-1-7 1歳当りの速度変化率の推移（レベル別）

基準年齢：1位、上位1位、上位3%は40歳

上位10%は44歳、上位50%は46歳

## 第4項 考察

以上の結果を踏まえて、中高年男性マラソンランナーの加齢に伴うパフォーマンスの低下について考える。前項まででマラソンの走力レベル/相対順位によって、マラソン平均速度のピーク年齢とそれからの減少の割合が異なることが明らかになった（具体的には、1位のランナーは30歳前後から、1歳当り約2.5 m/分でマラソンの平均速度が減少するのに対して、上位50%の順位のランナーは平均速度が減少を開始するのが40歳代半ばであり、減少量も1歳当り約0.8 m/分であった）。この結果は先行研究（Leyk et al., 2007）と似た傾向を示した。

この理由としては以下の2点が考えられる。まず、市民ランナーはマラソン大会への参加を始めてから数年間はマラソンの記録が向上する傾向がある（鍋倉, 2014）。健康のために走り出したランナーが加齢に伴う全身持久性体力の低下を食い止め、数年間はマラソン記録も向上したという先行研究もある（山西, 1983）。トレーニングによる心肺能力の向上に加えて、走り方の上達などによるランニングエコノミー（RE）の改善などが加齢によるマイナスの影響を上回るためと考えられる。年齢別の完走者数において40歳台の増加率が高いということは、新しくマラソンを開始したランナーが多いということを示している。マラソン記録が伸びているランナーも多いと考えられ、それが平均タイムを押し上げ、今回のように40歳代半ばまで平均のパフォーマンスを維持させる結果につながっている可能性がある。

さらに、相対順位が低い程年齢に対するパフォーマンスの変化の割合が小さい原因として、中高年男性マラソンランナーの5割前後がファンランナー（記録を追及することが第一ではなく、楽しく走ることの延長線上に完走があると考えるランナー）で、30歳台以下に比べてファンランナーの割合が高い（藤

田, 2015) ことも関係すると思われる。ファンランナーは必ずしも限界ギリギリの速度で走っておらず、加齢の影響がシリアスランナー（完走タイムにこだわり、熱心に練習を行うランナー）に比べて小さい可能性がある。

先行研究においては、加齢に伴うパフォーマンスの低下が始まる年齢が、早くて35歳以降、遅くて50歳代からとされ、低下率もさまざまである (Tanaka et al., 1998; Joyner, 1993; Leyk et al., 2007) が、本研究においては、年齢別1位では30歳台、上位10%では44歳前後、上位50%では46歳前後からマラソン記録の減少が始まっており、先行研究におけるパフォーマンスの低下開始時期のばらつきの一因が分析対象の走力の違いにある可能性がある。

中高年のシリアスランナーがランニングを開始してから数年が経ち、心肺機能の向上やREの改善などがこれ以上望めなくなると、成績の変化は加齢に起因するパフォーマンスの低下の度合いにより決まることになるが、この値について検討する。各年齢の1位のランナーはシリアスランナーであり、かつ、走り始めてから日が浅く、記録が伸びているランナーが1位になれる可能性は低いと思われるので、加齢が原因のマラソン記録の低下量の推定値としては、各年齢1位のランナーの低下量（ $-2.49$  m/分/歳）が第一の候補になる。

一方、1位と上位1%の1歳当りの記録の低下量の間には $0.8$  m/分の差があり、その値が大きいため、両者の間の順位である上位0.3%と上位0.1%のケースも計算したところ、傾きは $-1.82$ ～ $-1.83$  m/分/歳でまだ1位との差が大きかったため、その原因について検討を行った。

ここでは、年齢別1位のランナーの1歳当りの記録の低下量が年々大きくなっている (図3-1-7) ことに着目した。2007年度は $0.81\%$ /年の減少率なのに対して、2015年度は $0.89\%$ /年の減少率である。この変化の理由としてこの8年間で40歳から50歳にかけてのマラソン完走者数が特に増えたために、60歳、

70歳に比べて1位の記録が相対的に向上し（標準偏差が同じであっても母数が増えるほど最大値は大きくなる確率が高くなるため、図3-1-8）、年齢の違いによる記録の下がり方（傾き）が大きくなったのではないかと推測した。

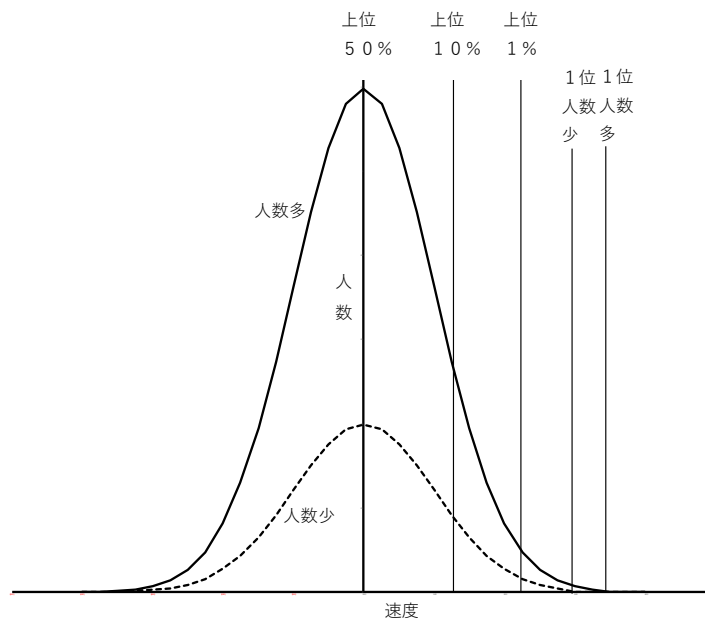


図3-1-8 年齢別の人数の多寡による1位の速度の違い(概念図)



それを確認するために、2007年度と2015年度の各年齢の完走者数の比率と、それぞれの年齢での両年度の1位の速度の比の関係を求めたところ、図3-1-9が得られた。これによれば完走者の比率が高い、即ち完走者数の増え方が大きい年齢程1位の速度が大きい傾向があり、推測の妥当性を示唆している。

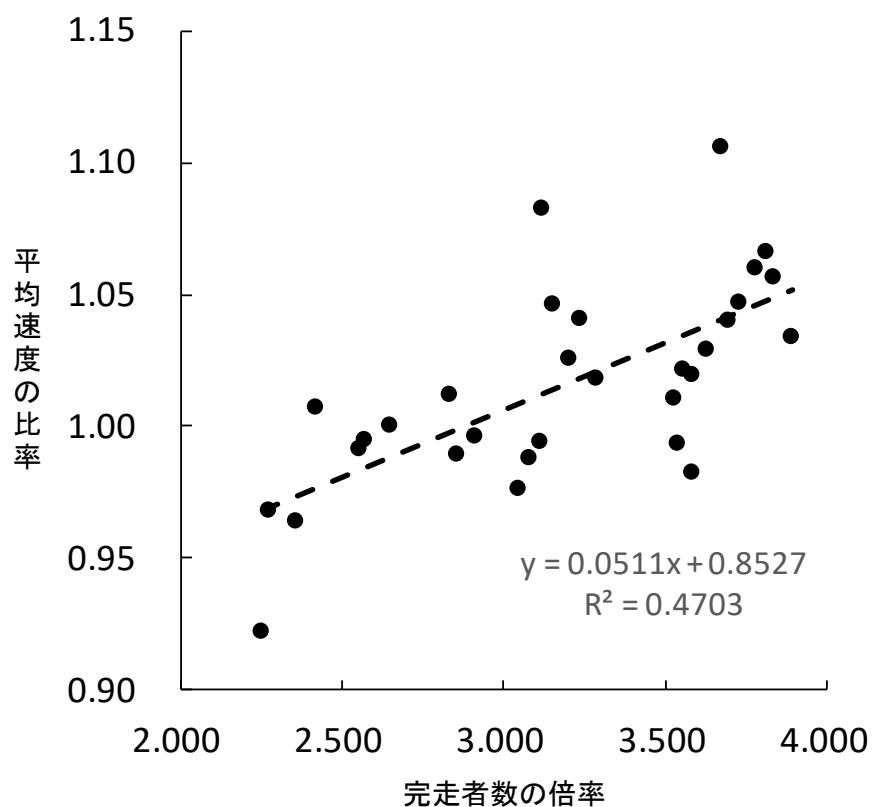


図3-1-9 2007年度に対する2015年度の完走者数の倍率値と1位のランナーの平均速度の比率の関係（範囲：40歳から72歳）

以上のことから、完走者数の多寡による誤差を減らすために、5年分の各年齢のデータ（計155点、図3-1-10）を表3-1-6に示すように、完走者数が2,000人から2,999人のグループ（以下「Aグループ」という）と4,000人から5,999人のグループ（以下「Bグループ」という）に分けてそれぞれで回帰分析を行った。

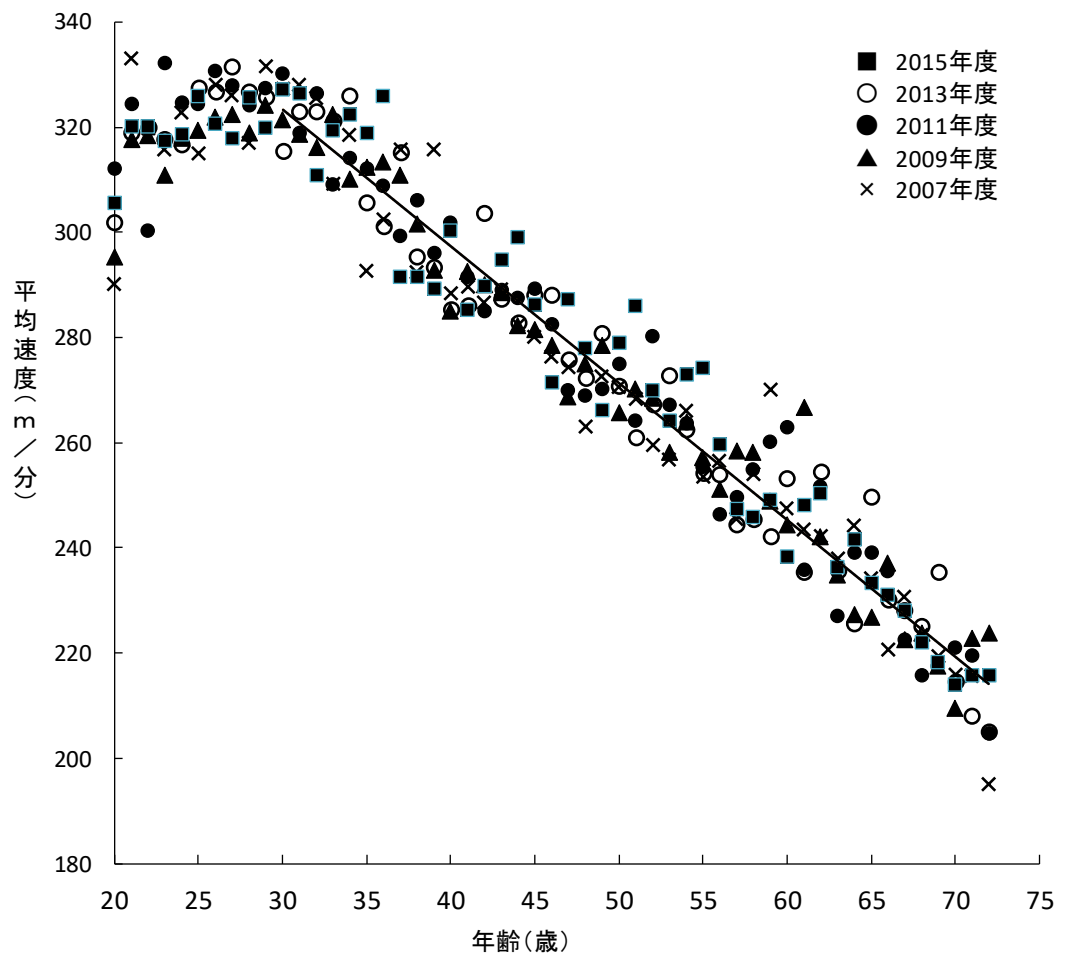


図3-1-10 各年度、各年齢において1位のランナーのマラソン平均速度

表3-1-6 年度及び年齢別のマラソン完走者数とグループ分け

年齢	2007年度	2009年度	2011年度	2013年度	2015年度	
<b>40</b>	<b>2,851 A</b>	<b>4,179 B</b>	<b>6,675</b>	<b>7,769</b>	<b>9,288</b>	2000~2999人 (Aグループ)
41	2,289 A	4,094 B	6,283	7,683	9,513	
42	2,838 A	4,257 B	6,333	7,741	10,023	4000~5999人 (Bグループ)
43	2,768 A	3,299	6,192	7,434	9,932	
44	2,599 A	4,134 B	6,522	7,330	9,821	
45	2,652 A	3,976	4,702 B	7,282	9,436	
46	2,541 A	3,741	5,999 B	7,392	9,105	
47	2,426 A	3,583	5,666 B	5,622 B	9,048	
48	2,379 A	3,440	5,509 B	6,838	9,126	
49	2,243 A	3,245	5,170 B	6,462	6,839	
<b>50</b>	<b>2,154 A</b>	<b>3,060</b>	<b>4,814 B</b>	<b>6,202</b>	<b>8,419</b>	
51	2,022 A	2,883 A	4,386 B	5,647 B	7,717	
52	1,984	2,492 A	4,126 B	5,066 B	7,336	
53	1,828	2,459 A	3,728	4,708 B	6,637	
54	1,801	2,322 A	3,163	4,722 B	5,777 B	
55	1,713	2,166 A	2,992 A	3,689	5,350 B	
56	1,641	2,031 A	2,711 A	3,129	4,656 B	
57	1,696	1,920	2,549 A	2,944 A	4,104 B	
58	1,547	1,829	2,396 A	2,726 A	3,520	
59	1,462	1,859	2,226 A	2,476 A	3,295	
<b>60</b>	<b>1,265</b>	<b>1,784</b>	<b>2,161 A</b>	<b>2,278 A</b>	<b>2,987 A</b>	
61	794	1,602	2,111 A	2,213 A	2,613 A	
62	630	1,308	1,955	2,023 A	2,453 A	
63	728	837	1,726	1,904	2,268 A	
64	697	626	1,482	1,750	1,994	
65	648	765	884	1,518	1,888	
66	525	706	659	1,174	1,655	
67	460	602	710	726	1,417	
68	324	486	685	561	1,147	
69	268	414	587	620	689	
<b>70</b>	<b>196</b>	<b>323</b>	<b>472</b>	<b>533</b>	<b>501</b>	

その結果を表3-1-7に示す。全データを用いて計算した場合は、2.49 m/分/歳の減少であるが、Aグループのデータのみを用いた場合は、2.17 m/分/歳、Bグループのデータのみを用いた場合は1.82 m/分/歳の減少であり、どちらのグループ減少率も、全データを用いた場合よりも上位1%の値に近づいた。

表3-1-7 様々な順位・範囲における回帰係数等

順位	範囲	使用データ数	調整済 決定係数	回帰式の係数		
				切片 (m/分)	傾き (m/分/歳)	(95%信頼 区間)
1位	40歳~70歳	155 (全員)	0.910	395.4 3.7*	-2.49 0.07*	-2.62~-2.37
1位	40歳~63歳 注1	35 (Aグループ*1)	0.839	376.9 8.8*	-2.17 0.16*	-2.50~-1.84
1位	40歳~57歳 注2	21 (Bグループ*2)	0.604	363.3 15.4*	-1.82 0.31*	-2.48~-1.17
上位0.1%	40歳~60歳	105 (全員)	0.839	351.6 3.9*	-1.82 0.08*	-1.97~-1.66
上位0.3%	40歳~60歳	105 (全員)	0.942	343.1 1.2*	-1.83 0.04*	-1.92~-1.74
上位1%	40歳~70歳	155 (全員)	0.967	326.0 1.2*	-1.73 0.02*	-1.79~-1.68
上位3%	40歳~70歳	155 (全員)	0.969	306.3 1.3*	-1.60 0.02*	-1.65~-1.56
上位10%	44歳~70歳	135 (全員)	0.937	272.2 1.7*	-1.33 0.03*	-1.39~-1.27
上位50%	46歳~70歳	125 (全員)	0.673	197.8 1.0*	-0.74 0.02*	-0.77~-0.70

\* : 標準誤差

\*1 : 各年度・年齢の完走者数が2000人から2999人のデータ

\*2 : 各年度・年齢の完走者数が4000人から5999人のデータ

これらの関係を図3-1-11に示す。全員のデータを用いて計算した結果に比べて両グループの計算結果は完走者数の多寡による影響を抑えているため、1歳当りの記録の低下量としては真の値に近いと考えられる。Bグループは標準誤差が大きいことと、Aグループのデータを用いた低下量の推定範囲の殆どの部分がBグループによる推定範囲に含まれることから、加齢に起因するパフォーマンスの変化量の推定値としては、Aグループによる計算結果である  $-2.17$  ( $\pm 0.33$ ) m/分/歳と考えるのが妥当である。この値を用いて10歳刻みで記録の低下率を計算すると、40歳から50歳では  $-7.3\%$ 、50歳から60歳では  $-7.9\%$ 、60歳から70歳では  $-8.6\%$  となり、年齢が上がるにつれて低下率が緩やかに増加することになる。

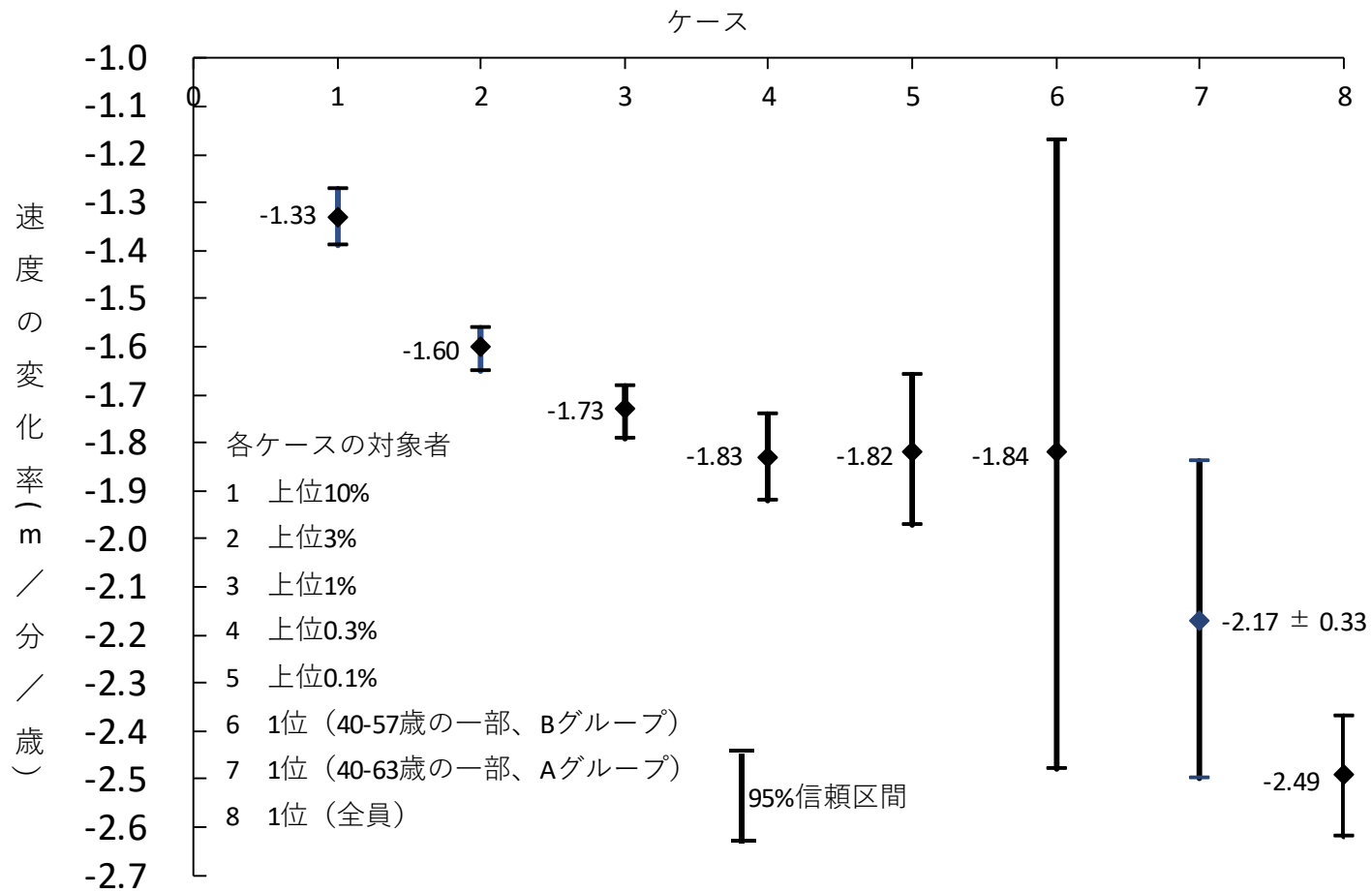


図3-1-11 様々な条件で求めた、年齢に対する速度の変化率

## 第5項 結論

全日本マラソンランキングの男性中高年ランナーのデータを用いて、各年齢における相対順位毎に、年齢とマラソン記録の関係を横断的に分析した。

年齢とマラソン時の平均速度の関係はいずれの順位においても40歳台から70歳前後まで直線近似が可能であった。年齢に対する変化量は、1位が約 - 2.5 m/分/歳、上位1%が約 - 1.7 m/分/歳、上位3%が約 - 1.6 m/分/歳、上位10%が約 - 1.3 m/分/歳、上位50%では約 - 0.7 m/分/歳であった。ランニング開始後数年間の記録向上やファンランナーの存在、年齢毎の完走者数の違いが1位の記録に及ぼす影響を考慮して、加齢に起因するパフォーマンスの変化量の推定を試みた結果、約 - 2.2 m/分/歳であることが示唆された。

## 第2節【研究課題 1-2a】年齢別順位 100 位以内の中高年男性ランナーの 10 年間の走記録の変化

### 第 1 項 目的

第1節においては、横断データを用いて中高年男性ランナーのマラソン記録の年齢に応じた差異を分析したが、本章では個々のランナーに着目して、年と共にマラソン記録がどう変化したかを分析し、加齢とマラソン記録の関係についての知見を深めることを目的とする。

### 第 2 項 方法

#### 1. 研究デザイン

ランニング習慣者向けの月刊雑誌「ランナーズ」の付録として年に 1 回発行されている全日本ランキングに掲載された、氏名、年齢、マラソンタイム、順位、完走日、完走大会名等の情報を用いて、氏名から同一と推定されるマラソンランナーの10年間の記録の変化を調べるため、縦断的な要素を含むが、年齢の異なるランナーとの比較も行うため、横断的な要素も併せ持つ。

#### 2. 分析対象

国内の主要なマラソン大会（2016年度で77大会）を網羅する全日本マラソンランキングの完走者（延べ2,713,284名）の内の、2005年度から2015年度までの隔年の10年間において各年齢で上位100位以内に入った男性ランナー（延べ29,139名）の中で、2005年度に38歳以上で、全ての年で100位以内だったランナー（301名）を分析対象とした。表3-2-1に主な分析対象者の住所の都道府県別人数、表3-2-2 に年齢別人数を示す。



表 3-2-1 分析対象者の住所の都道府県別 10 傑

順位	都道府県名	人数	比率(a)	a/b	人口比率(b)
1	東京都	38	12.7%	1.2	10.84%
2	神奈川県	28	9.3%	1.3	7.23%
3	北海道	27	9.0%	2.1	4.20%
4	福岡県	23	7.7%	1.9	4.03%
5	大阪府	21	7.0%	1.0	6.97%
6	千葉県	18	6.0%	1.2	4.94%
7	埼玉県	18	6.0%	1.0	5.77%
8	茨城県	13	4.3%	1.9	2.29%
9	兵庫県	12	4.0%	0.9	4.34%
10	長野県	11	3.7%	2.2	1.64%

(注) 人口比率（都道府県の人口/日本の人口）は2015年の国勢調査の結果に基づき計算

表 3-2-2 各年度の完走者数と分析対象

年度	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	合計
完走者数： 女性+男性	78,776	82,930	103,590	114,520	145,416	166,794	179,215	249,783	273,754	286,395	313,493	354,072	364,546	2,713,284
- 女性	12,236	13,331	17,609	19,442	25,282	29,719	33,155	52,449	58,687	60,836	66,847	73,611	76,071	539,275
- 男性	<b>66,540</b>	<b>69,599</b>	<b>85,981</b>	<b>95,078</b>	<b>120,134</b>	<b>137,075</b>	<b>146,060</b>	<b>197,334</b>	<b>215,067</b>	<b>225,559</b>	<b>246,646</b>	<b>280,461</b>	<b>288,475</b>	<b>2,174,009</b>
男性の内、年齢別100位以内のランナー数		5,443		5,595		5,697		5,852		5,952		6,043		
男性完走者に対する100位以内の比率		7.82%		5.88%		4.16%		2.97%		2.64%		2.15%		
2005年度に38歳以上で、2015年度まで隔年で年齢別100位以内を維持したランナー数(名)	<b>301</b> (293)		<b>301</b> (293)		<b>301</b> (293)		<b>301</b> (293)		<b>301</b> (293)		<b>301</b> (293)		<b>301</b> (293)	
2005年度に38-42歳(40歳グループ)	<b>36</b>		<b>36</b>		<b>36</b>		<b>36</b>		<b>36</b>		<b>36</b>		<b>36</b>	
2005年度に43-47歳(45歳グループ)	<b>42</b>		<b>42</b>		<b>42</b>		<b>42</b>		<b>42</b>		<b>42</b>		<b>42</b>	
2005年度に48-52歳(50歳グループ)	<b>32</b>		<b>32</b>		<b>32</b>		<b>32</b>		<b>32</b>		<b>32</b>		<b>32</b>	
2005年度に53-57歳(55歳グループ)	<b>46</b>		<b>46</b>		<b>46</b>		<b>46</b>		<b>46</b>		<b>46</b>		<b>46</b>	
2005年度に58-62歳(60歳グループ)	<b>49(46)</b>		<b>49(46)</b>		<b>49(46)</b>		<b>49(46)</b>		<b>49(46)</b>		<b>49(46)</b>		<b>49(46)</b>	
2005年度に63-67歳(65歳グループ)	<b>58(56)</b>		<b>58(56)</b>		<b>58(56)</b>		<b>58(56)</b>		<b>58(56)</b>		<b>58(56)</b>		<b>58(56)</b>	
2005年度に68-72歳(70歳グループ)	<b>36(33)</b>		<b>36(33)</b>		<b>36(33)</b>		<b>36(33)</b>		<b>36(33)</b>		<b>36(33)</b>		<b>36(33)</b>	
2005年度に73-75歳(75歳グループ)	<b>2</b>		<b>2</b>		<b>2</b>		<b>2</b>		<b>2</b>		<b>2</b>		<b>2</b>	

   : 分析対象      ( ) 内は国内大会のみで達成したランナー数

分析に用いた情報は、年齢、順位、氏名、完走時間（その年度のベストタイム）、完走した大会名、そしてマラソンレース時の気温（気象庁ホームページより入手。ただし、301名の内8名は一部の年度で海外レースの記録が採用されており、その年度の気温データは不明）である。マラソン時の平均速度はマラソンの距離（42,195 m）を完走時間（分）で割って求めた。なお、同一氏名で年度差と年齢差が同じか±1 歳の場合は同一人物とみなすが、マラソン記録の連続性が見られないなど、疑問が残る場合は分析対象外とした。全日本マラソンランキングは1年間のベストタイムから作成されており、ベストタイムが誕生日の前か後かによって、2年度毎の年齢差も1歳から3歳の範囲になるが、分析においては2歳刻みとして扱った。

### 3. 評価項目

#### (1) 順位の経年変化

分析対象の特徴を知るために、2005年度時点での順位および年代別にグループ化して、それぞれのグループ単位で順位がどのように経年変化するかを調べた。具体的には2005年度に10位以内、11-30位、31-50位、51位から100位の4グループに分けて、それぞれのグループにおける順位の平均値の推移を調べた。

#### (2) 日本人中高年男性マラソンランナーの加齢に伴う記録の変化

年齢と走速度との関係を知るために、2005年度の時点で40 ± 2歳（40歳グループ）、45 ± 2歳（45歳グループ）、50 ± 2歳（50歳グループ）、55 ± 2歳（55歳グループ）、60 ± 2歳（60歳グループ）、65 ± 2歳（65歳グループ）、70 ± 2歳（70歳グループ）、73歳以上（75歳グループ）の8グループに分け、それぞれのグループに含まれるランナーのマラソン平均走速度の平均値が10年間でどのように変化したかを調べた。

#### (3) マラソン記録が最速になる年度とその人数

個々のランナーについて、分析対象とした10年間の内でどの年度がベスト記録（平均速度が最速）なのかを調べ、年代別に最速になるまでの期間とそれぞれの人数を算出した。

#### (4) 最速年度が同じランナーグループの平均速度の経年変化

最速となった年度が同じランナーを一つのグループとみなして、平均速度の変化を調べた。速度がピークに達するまでにどのように増加するのか、ピークに達した後、どのような傾きで減少するのかについても確認した。

#### (5) 最速となる年度が遅いランナーの平均速度の経年変化

最速になった年度が8年後（2013年度）以降のランナーについては、個々の平均速度の経年変化を調べた。

#### (6) 1年あたりの走速度変化量と年齢との関係

1年当りの速度の変化量が年齢によってどう変化するのかを調べた。具体的には2005年度から2015年度の10年間の速度変化量を調べ、次に2011年度から2015年度の4年間の速度の変化量を調べた。必要に応じて年齢を分割して、それぞれの年齢範囲で回帰分析や平均値等の統計量の計算を行った。

#### (7) マラソン時の気温を考慮してマラソン記録の補正を行った場合と、補正を行わない場合の比較

分析対象の301名が完走した大会における気温を調査し、先行研究などで示されている補正式を用いて、各々の大会が全大会の平均気温だった場合のマラソン記録を推定した。補正した結果1年当りの速度変化量のバラつき(標準偏差や標準誤差)が減少して、加齢に伴うマラソン記録の変化の範囲をより絞り込むことが可能かどうかを確認した。また、10年間の記録がすべて同じレースによるものである場合は、コースの違いによるばらつきがなくなるため、同じコースのみで全年度100以内に入賞したランナーのデータを用いた分析も行った。

### 4. 統計解析

当初年齢及び当初速度を独立変数、1年当りのマラソンタイムの変化またはマラソン速度の変化を従属変数とする回帰分析や、相関分析、基本統計量の計算等の統計解析には IBM SPSS 22.0 for Windows を用いた。

### 5. 倫理的配慮

ランナーに関する全ての情報は過去に雑誌等で公開されたものである。電子データについては、ランナーズ編集部より氏名のデータを省いたものを入手した。気温に関するデータは、気象庁がホームページで公開しているデータを用いた。

### 第 3 項 結果

#### 1. 順位の経年変化

(1) 2005年度の順位を基準にした場合の順位の経年変化（図3-2-1）

30位以内の2グループでは、10年間にわたって順位が緩やかに下降していたが、31位から100位の3グループでは順位が上昇後、4年後にピークを迎えて、以降は緩やかに下降していた。

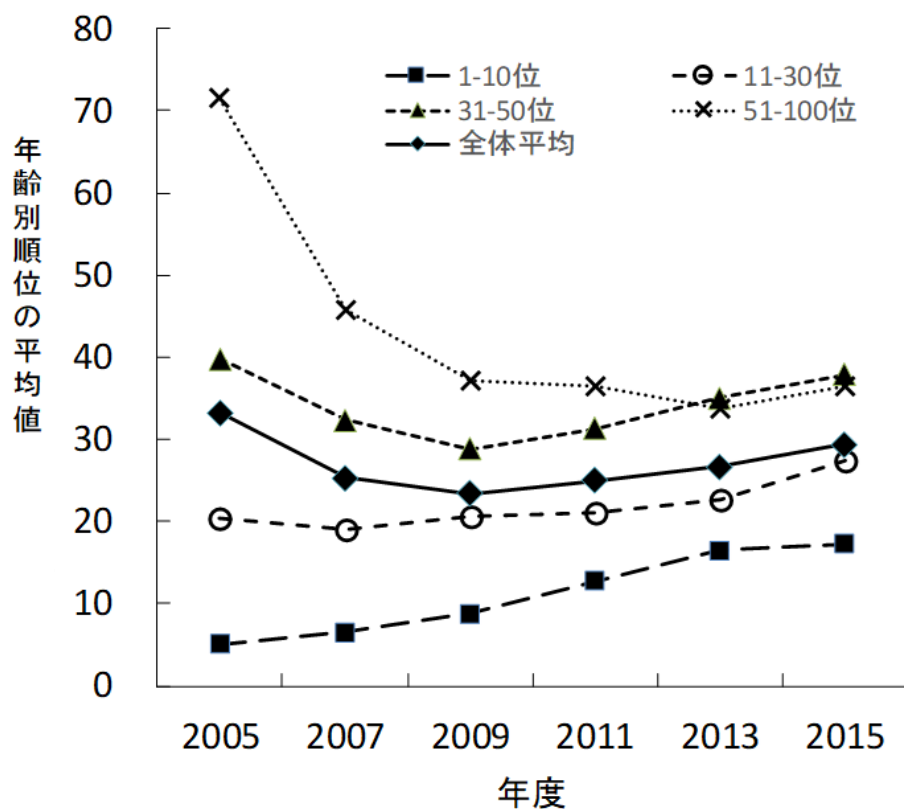


図3-2-1 2005年度に同じ順位だったランナーの順位の経年変化

(2) 年齢グループ毎の順位の経年変化 (図3-2-2)

70歳グループと75歳グループ以外は2-4年後まで順位が上がり、それから徐々に下がるという類似のパターンであった。75歳グループのメンバーは2名のみで、10年間、順位が一桁で安定していた。

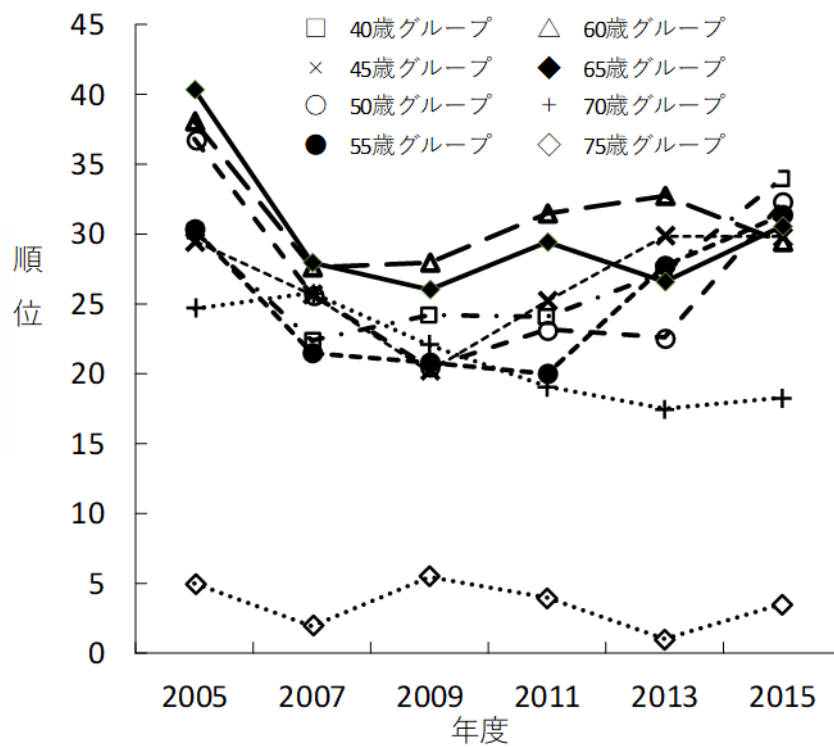


図3-2-2 年齢グループ毎の順位の経年変化

## 2. グループの平均年齢と平均速度の関係 (図3-2-3)

横軸に各グループの平均年齢、縦軸に各グループの構成員のマラソン時の平均速度の平均値をとった。8グループの内、70歳グループと75歳グループを除いては最初の2-4年は平均速度が増加し(0.6から2.7 m/分/年)、それ以降は減少していた(-0.9から-8.8 m/分/年)。1年当りの減少量は年齢が高い程大きく、特に70歳前後以降は大きかった。



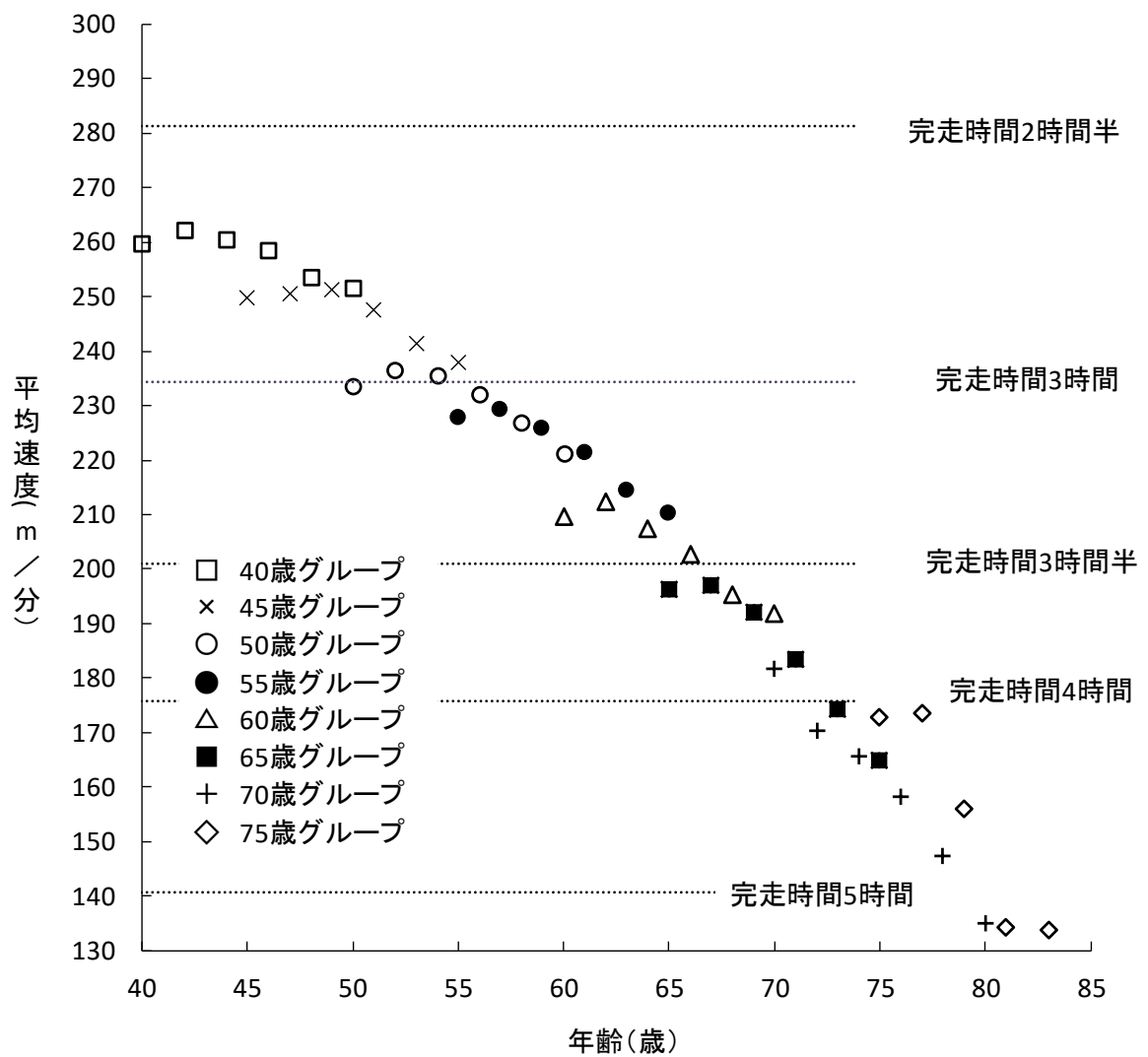


図3-2-3 5歳刻みの各グループの2005年度から2015年度の平均速度の推移

各グループの年度毎のマラソン完走時間と平均速度の推移を表3-2-3に示す。完走時間の増加量は、10年間で40歳グループでは5分16秒/ (3.2%)、45歳グループで8分22秒 (5.0%)、50歳グループで10分00秒 (5.5%)、55歳グループで15分26秒 (8.3%)、60歳グループで18分32秒 (9.2%)、65歳グループで41分05秒 (19.1%)、70歳グループで80分05秒 (34.5%)であった。平均速度で表すと、それぞれ-0.83 m/分/年、-1.19 m/分/年、-1.23 m/分/年、-1.75 m/分/年、-1.75 m/分/年、-2.94 m/分/年、-4.64 m/分/年であった。

傾きが最も大きい後半の4年間のデータのみで考えると、平均速度は10年間の場合と比べて0.8 m/分から1.5 m/分程度低下していた。

表3-2-3 5歳刻みで8グループに分けた時の10年間の平均完走時間/平均速度の変化

名称	2005年 度の年齢 範囲	人数 (名)	完走時間の平均値(時:分:秒)						10年間の差 (時:分:秒)	初年度に対 する10年後 の増加率	平均速度の平均値(m/分)						1年当りの 変化の平均 値(10年 間)	1年当りの変 化の平均値 (後半4年 間)
			2005 年度	2007 年度	2009 年度	2011 年度	2013 年度	2015 年度			2005 年度	2007 年度	2009 年度	2011 年度	2013 年度	2015 年度		
40歳 グループ	38-42	36	2:42:24	2:40:49	2:41:54	2:43:15	2:46:18	2:47:40	0:05:16	3.2%	260.5	262.8	261.2	258.8	254.1	252.1	-0.83	-1.67
45歳 グループ	43-47	42	2:48:53	2:48:28	2:47:51	2:50:30	2:54:48	2:57:15	0:08:22	5.0%	250.4	251.0	251.8	248.0	241.8	238.5	-1.19	-2.36
50歳 グループ	48-52	32	3:00:42	2:58:22	2:59:03	3:01:47	3:05:53	3:10:42	0:10:00	5.5%	234.1	237.3	236.4	232.7	227.6	221.8	-1.23	-2.72
55歳 グループ	53-57	46	3:05:15	3:04:04	3:06:50	3:10:40	3:16:45	3:20:40	0:15:26	8.3%	228.6	229.8	226.5	221.8	215.2	211.1	-1.75	-2.67
60歳 グループ	58-62	49	3:21:18	3:18:45	3:23:32	3:28:16	3:35:55	3:39:50	0:18:32	9.2%	210.4	213.1	208.0	203.5	196.4	192.9	-1.75	-2.65
65歳 グループ	63-67	58	3:34:59	3:34:02	3:39:38	3:50:04	4:02:01	4:16:04	0:41:05	19.1%	197.2	198.2	193.4	185.2	176.4	167.8	-2.94	-4.35
70歳 グループ	68-72	36	3:52:21	4:07:35	4:14:55	4:26:39	4:46:31	5:12:26	1:20:05	34.5%	185.0	173.8	168.6	161.6	150.9	138.6	-4.64	-5.76
75歳 グループ	73-75	2	4:04:06	4:03:04	4:30:27	5:14:18	5:15:36	5:57:01	1:52:55	46.3%	173.0	173.7	156.3	138.6	135.4	120.1	-5.29	-4.63
合計		301																

### 3. マラソン記録が最速になる年度とその人数

10歳刻みのランナーグループ毎に、10年間の内の最速記録になる年度の人数分布を図3-2-4に示す。全体としては10年後が3名、8年後が8名、6年後が18名以下であり、4年後以内のランナーが301名中272名（90.4%）であった。

年齢が若い程最速となる年度が遅い傾向が見られた。具体的には、2005年度の時点の年齢が57歳以下では最速年度が6年後以上のランナーが約30%おり、10年後のランナーも約2%いるのに対して、58歳から67歳では、最速年度が最も遅いランナーでも6年後であり、その割合は2%、68歳以上では最長が4年後で、6年後以上のランナーはゼロであった。

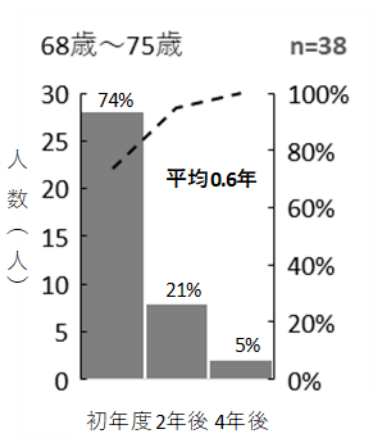
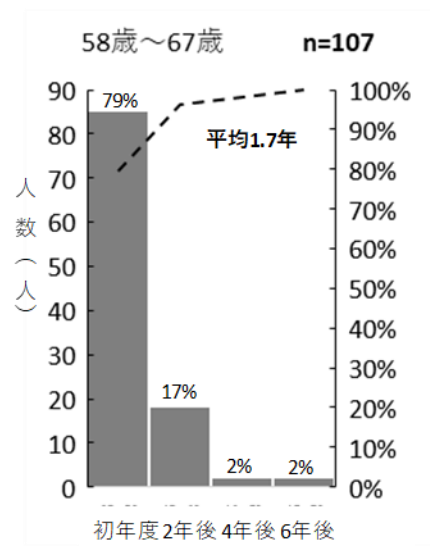
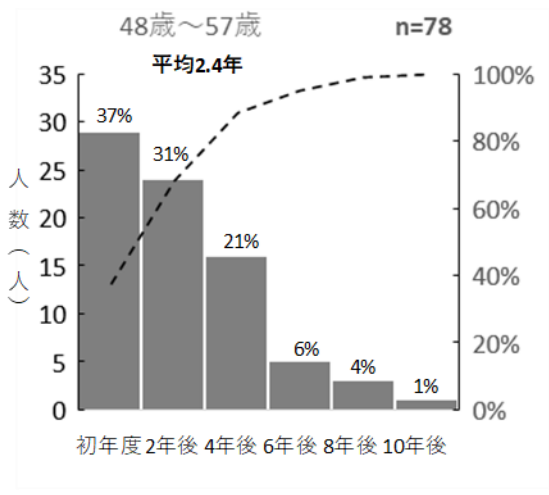
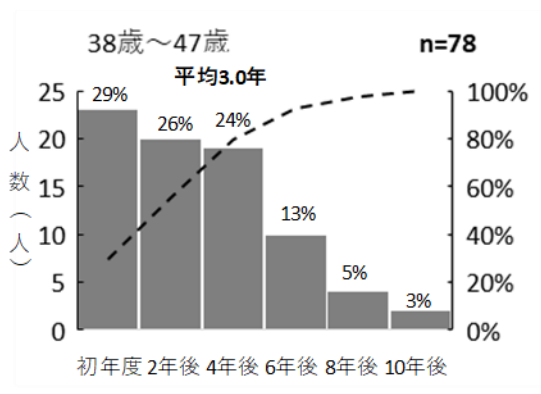


図3-2-4 10歳刻みの年齢グループ毎の最速年度の分布

#### 4. 最速年度が同じランナーグループの平均速度の経年変化

最速の年度が同じランナーを同一グループとして、各グループについて、経過期間と平均速度の関係を図示したものを図3-2-5に示す。なお、最速が8年以上のランナーは人数が少ないため、最速が10年のランナーと合わせて一つのグループとして図示した。最速が8-10年後のグループ以外の4つのグループでは平均速度が最大値に達した後は速度が直線的に低下しており、その大きさは3 - 4 m/分/年前後であった。

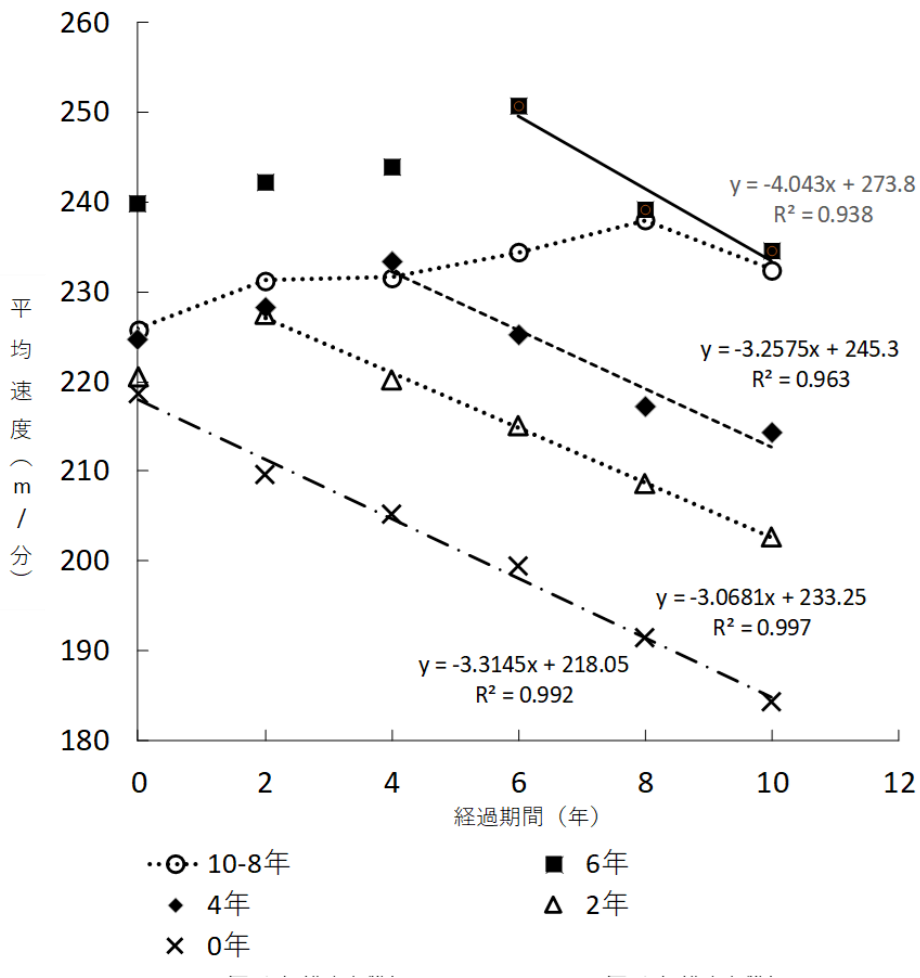


図3-2-5 最速年度でグループ化した場合の経過期間と平均速度の関係

#### 5. 最速となる年度が遅いランナーの平均速度の経年変化

最速が10年後のランナー（3名）と8年後のランナー（8名）について、2005年度から2015年度の10年間プラス前後1年の計12年間の平均速度の推移をそれぞれ図3-2-6および図3-2-7に示す。8年以上にわたって平均速度が上昇傾向を示していたランナーは11名の内4名程度であり、残りは平均速度が上下しながら全体としては記録が維持されていた。



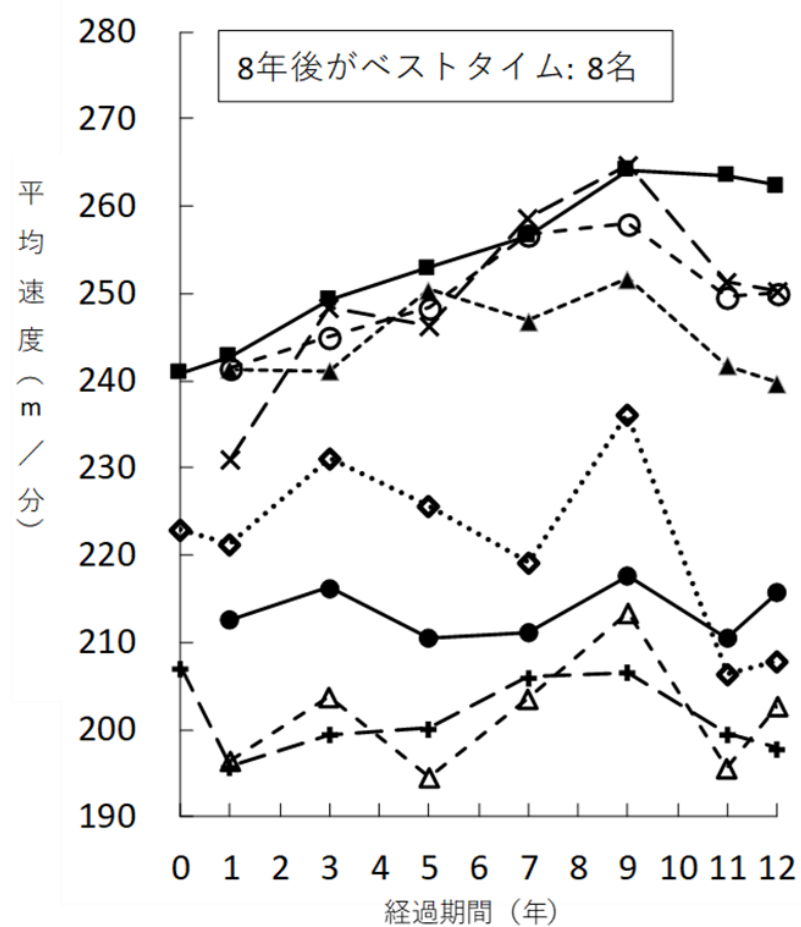
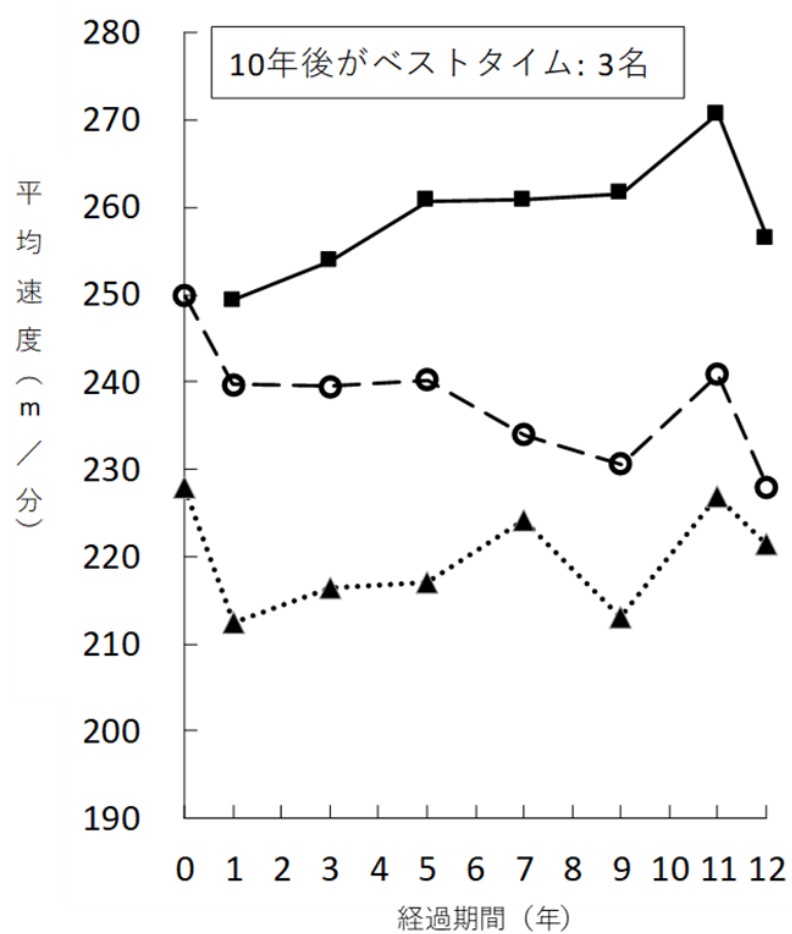


図3-2-6 最速年度が10年後の3名の経過期間と平均速度の関係 図3-2-7 最速年度が8年後の8名の経過期間と平均速度の関係

## 6. 年齢と1年当りの平均速度変化量との関係

分析対象の全ランナー（301名）を対象に、2005年度から2015年度の平均年齢と2005年度から2015年度の平均速度の変化量（回帰分析を行い、1年当りの速度変化量を計算したもの）間の関係を図3-2-8に、2011年度から2015年度の平均年齢と2011年度から2015年度の平均速度の変化量間の関係を図3-2-9に示す。

前者については、平均年齢が69歳前後までは年間の速度変化量の絶対値が緩やかに増加し、それ以上の年齢になると傾きが大きくなっていった。後者についても、平均年齢が70歳前後まで年間の速度変化量の絶対値が緩やかに増加して、それ以上では傾きが大きくなる傾向があった。

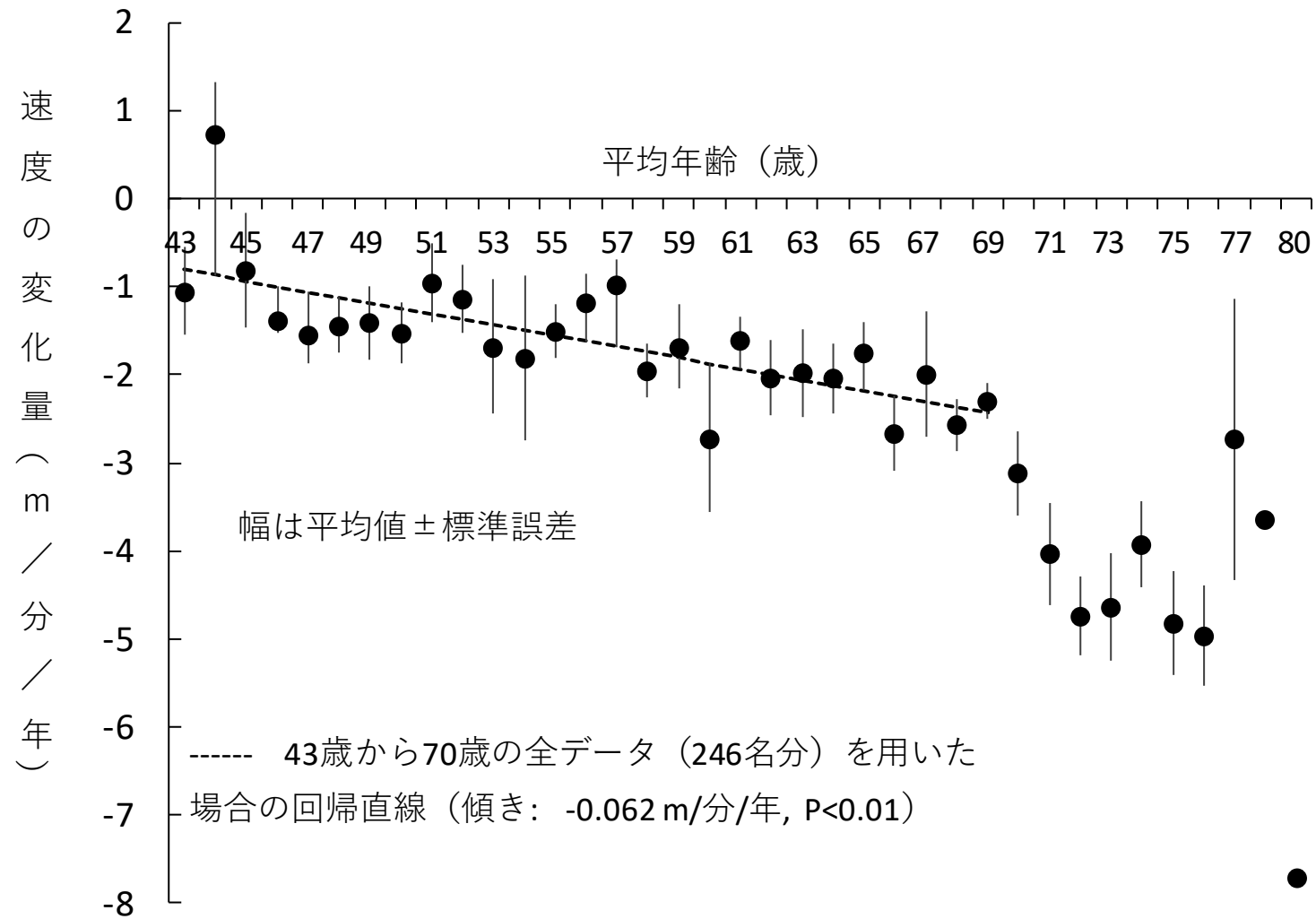


図3-2-8 2005年度から2015年度までの10年間のデータから回帰分析で求めた速度の変化量

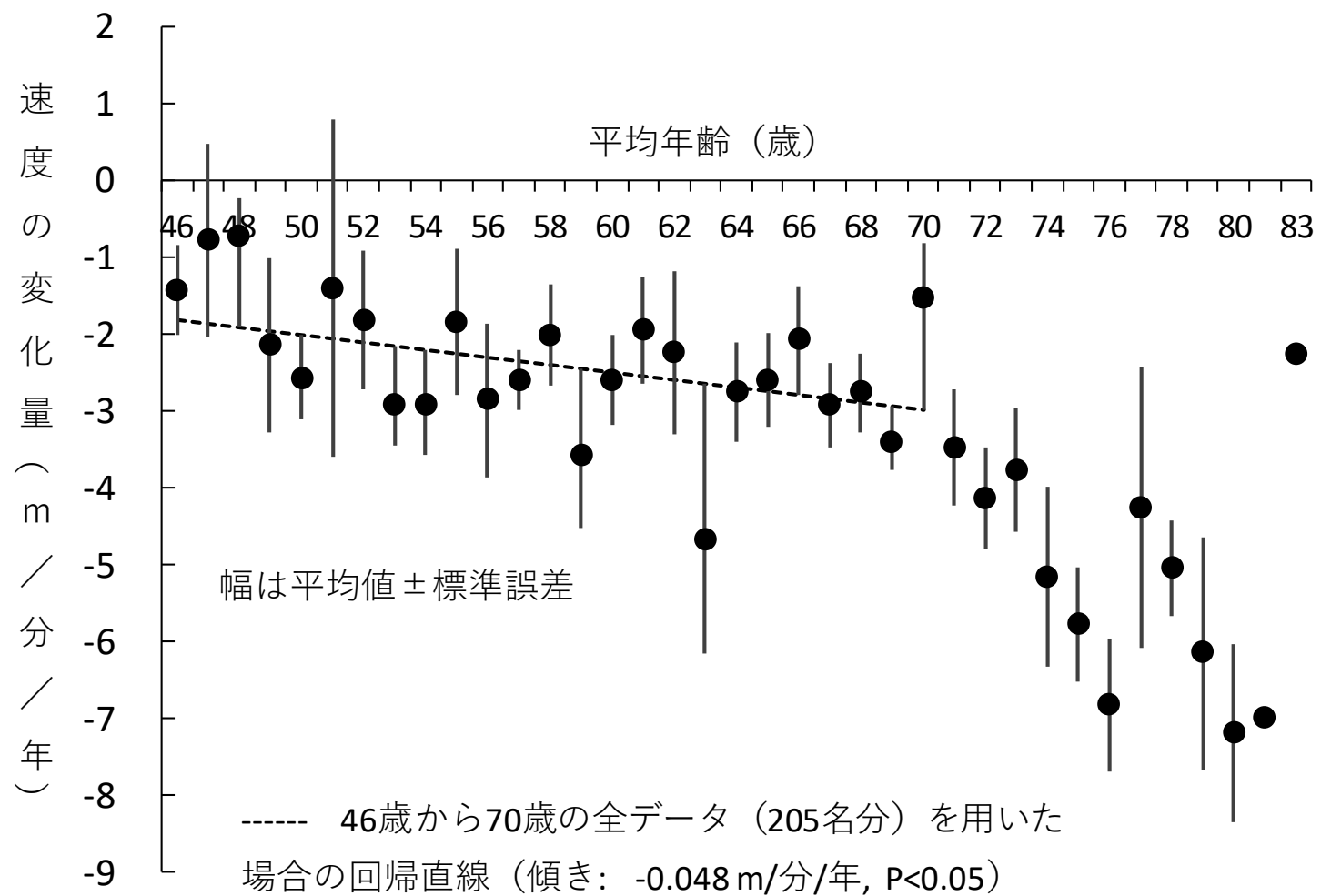


図3-2-9 2011年度から2015年度までの4年間のデータから回帰分析で求めた速度の変化量

図3-2-8および図3-2-9によれば、いずれも平均年齢が70歳前後を境に速度変化の傾向が変化すると思われたため、平均年齢が70歳以下のグループと71歳以上のグループに分けて、それぞれのグループで回帰分析を行った。

まず平均年齢を独立変数、1年当りの速度変化量（回帰式の傾き）を従属変数として回帰分析を行った。その結果を表3-2-4に示す。

10年間の変化を見た場合、70歳以下では、相関係数は0.377で、傾き（1歳あたりの速度の変化量は） $-0.06$ （m/分/歳）であり、統計的に有意であった。71歳以上では相関係数は0.319で、傾きは有意ではなかった。

後半の4年間の変化を見た場合は、相関係数は0.160で、傾きは $-0.05$ （m/分/歳）で、有意であった。71歳以上では相関係数は0.243で、傾きは $-0.259$ で有意だった。

独立変数として平均年齢に加えて当初速度（10年間の場合は2005年度の速度、4年間の場合は2011年度の速度）を追加して重回帰分析を行った。その結果を表3-2-5に示す。

10年分の変化を見た場合、70歳以下では相関係数は0.639で、1歳あたりの速度の変化量は $-0.206$ （m/分/歳）、当初速度に対する係数は $-0.055$ であり、いずれも有意であった。71歳以上では相関係数は0.426で、1歳当たりの速度の変化量が有意ではなかった。

後半の4年分の変化を見た場合、70歳以下では相関係数は0.372で、1歳あたりの速度の変化量は $-0.234$ （m/分/歳）、当初速度に対する係数は $-0.066$ であり、いずれも有意であった。71歳以上では相関係数は0.319で、1歳あたりの速度の変化量は $-0.460$ （m/分/歳）、当初速度に対する係数は $-0.036$ であり、いずれも有意であった。

表3-2-4 平均年齢に対する1歳当りの速度の変化量についての回帰分析の結果

分析対象データの範囲	平均年齢の範囲 人数		平均年齢70歳以下				平均年齢71歳以上			
			係数	標準誤差	P-値	95%信頼区間	係数	標準誤差	P-値	95%信頼区間
2005年度～2015年度 (10年間)	43歳～70歳：246名	切片	1.873	0.575	<b>0.001</b>	0.741 ~ 3.005	-2.365	9.120	0.796	-20.658 ~ 15.927
	71歳～80歳：55名	傾き	-0.062	0.010	< <b>0.001</b>	-0.082 ~ -0.043	-0.029	0.124	0.817	-0.277 ~ 0.219
2011年度～2015年度 (後半の4年間)	46歳～70歳：205名	切片	0.425	1.248	0.734	-2.036 ~ 2.887	14.449	7.958	0.073	-1.353 ~ 30.250
	71歳～83歳：96名	傾き	-0.049	0.021	<b>0.022</b>	-0.090 ~ -0.007	-0.259	0.106	<b>0.017</b>	-0.470 ~ -0.047

太字は有意差あり

表3-2-5 平均年齢及び初年度速度に対する1歳当りの速度の変化量についての回帰分析の結果

分析対象データの範囲	平均年齢の範囲 人数		平均年齢70歳以下				平均年齢71歳以上			
			係数	標準誤差	P-値	95%信頼区間	係数	標準誤差	P-値	95%信頼区間
2005年度～2015年度 (10年間)	43歳～70歳：246名	切片	22.811	2.057	< <b>0.001</b>	18.759 ~ 26.863	18.608	10.378	0.079	-2.218 ~ 39.434
		傾き(年齢)	-0.206	0.016	< <b>0.001</b>	-0.238 ~ -0.175	-0.218	0.126	0.089	-0.471 ~ 0.035
	71歳～80歳：55名	傾き(初年度速度)	-0.055	0.005	< <b>0.001</b>	-0.065 ~ -0.045	-0.037	0.011	<b>0.001</b>	-0.060 ~ -0.015
2011年度～2015年度 (後半の4年間)	46歳～70歳：205名	切片	26.631	5.233	< <b>0.001</b>	16.313 ~ 36.950	35.833	12.811	<b>0.006</b>	10.392 ~ 61.273
		傾き(年齢)	-0.234	0.041	< <b>0.001</b>	-0.315 ~ -0.153	-0.460	0.142	<b>0.002</b>	-0.742 ~ -0.179
	71歳～83歳：96名	傾き(初年度速度)	-0.066	0.013	< <b>0.001</b>	-0.092 ~ -0.041	-0.036	0.017	<b>0.038</b>	-0.070 ~ -0.002

太字は有意差あり

## 7. マラソン時の気温を考慮してマラソン記録の補正を行った場合と行わない場合の比較

本節の分析対象である301名が完走した大会の気温を表3-2-6に示す。各大会の気温としてはコースに最も近い気象庁の観測地点の、スタートから2時間後のデータ（文献18）を用いた。表3-2-6によれば、各年度の平均気温は13.1℃から14.9℃の範囲で、全年度の平均気温は14.1℃であった。また、各年度を見ると、最も気温が低い大会は1℃から6.4℃の間、最も気温が高い大会は24.7℃から27.0℃の間であった。

表3-2-6 分析対象者（301名）が完走した大会の気温

NO.	大会名	開催地	スタート時刻	制限時間	主な開催時期	スタートから2時間後の気温の平均						
						平均	FY2005	FY2007	FY2009	FY2011	FY2013	FY2015
1	さが桜マラソン	佐賀県佐賀市他	9:00	6:30	4月上旬	15.7					9.4	22.0
2	かすみがうらマラソン	茨城県土浦市	10:00	6:00	4月中旬	15.8	19.5	16.5	19.2	中止	6.8	17.2
4	長野マラソン	長野県長野市	8:30	5:00	4月中旬	11.5	15.5	12.7	16.0		1.0	12.1
5	洞爺湖マラソン	北海道洞爺湖町	9:30	5:30	5月後半	15.1	21.1	11.0	16.9		16.2	10.5
6	黒部水マラソン	富山県黒部市	9:00	7:00	5月下旬	22.9						22.9
7	北海道マラソン	北海道札幌市	9:00	5:00	8月下旬	24.1	24.8	23.4	20.8	27.0	25.7	22.7
8	田沢湖マラソン	秋田県	10:00	5:00	9月中旬	22.8	22.2	22.7	20.5	24.7	23.8	22.9
10	別海町パイロットマラソン	北海道別海町	10:00	5:20	10月上旬～10月中旬	16.8	18.4	17.3	19.0	12.0	19.5	14.7
11	岩手北上マラソン/全日本マスターズマラソン選手権	岩手県北上市	8:30	6:00	10月中旬	15.2	19.7	12.8	15.2	12.5	17.9	13.3
12	新潟シティマラソン	新潟県新潟市	8:00	5:00	10月	20.5	20.1	22.5	22.8	18.4	21.5	17.5
14	大町アルプスマラソン	長野県大町市	8:50	6:10	10月中旬	16.3	17.4	12.7	17.0	21.7	11.9	17.3
15	出水ツルマラソン	鹿児島県出水市	9:00	7:00	10月後半	19.8	9.8			22.3	23.5	23.6
16	柏崎マラソン	新潟県柏崎市	9:00	5:00	10月下旬～11月上旬	16.4	17.1	中止	19.8	15.4	15.6	14.2
17	しまだ大井川マラソン	静岡県島田市	9:00	7:00	10月下旬～11月上旬	19.8			23.4	16.9	18.6	20.4
18	大阪マラソン	大阪府大阪市	9:00	7:00	10月下旬	18.8				18.7	18.4	19.2
19	久米島マラソン	沖縄県久米島	7:30	7:00	10月下旬	25.1	23.8	26.7	23.8	25.7	24.6	26.1
20	湯のまち飯坂・茂庭の湖マラソン	福島県福島市	10:00	6:00	11月上旬	15.2				16.8	13.5	
21	富山マラソン	富山県富山市	9:00	7:00	11月上旬	14.7					14.7	
22	あいの土山マラソン	滋賀県甲賀市	10:25	5:00	11月上旬	17.8	15.0	17.5	21.5	20.5	17.3	14.9
23	下関海響マラソン	山口県下関市	8:30	6:00	11月上旬	18.9			20.9	20.3	18.9	15.4
26	いびがわマラソン	岐阜県揖斐川市	10:00	5:30	11月前半	16.7	15.8	18.4	18.6	20.0	13.0	14.5
27	あかやまマラソン	岡山県岡山市	8:45	6:00	11月上旬	20.1						20.1
28	福岡マラソン	福岡・糸島市	8:20	7:00	11月上旬	24.0						24.0
29	湘南国際マラソン	神奈川県大磯町他	9:00	6:30	11月上旬	17.8		中止	19.2	20.1	18.2	13.5
30	福岡国際マラソン	福岡県福岡市	12:10	2:40	11月上旬	11.8	5.9	15.2	11.1	14.3	11.5	12.8
31	さいたま国際マラソン	埼玉県さいたま市	9:40	4:00	11月中旬	16.5						16.5
32	金沢マラソン	石川県金沢市	9:00	7:00	11月中旬	17.5						17.5
33	神戸マラソン	兵庫県神戸市	9:00	6:40	11月中旬	18.1				18.6	15.0	20.6
34	天草マラソン	熊本県天草市	9:00	7:00	11月後半	14.2		15.0	10.6	15.8	9.2	20.2
35	仏の里くにさぎ・とみくじマラソン	大分県国東市	9:00	7:00	11月中旬	21.3					21.5	21.1
36	つくばマラソン	茨城県つくば市	9:00	5:50	11月下旬	12.2	13.9	14.8	7.5	10.3	13.5	13.1
37	大田原マラソン	栃木県大田原市	10:00	4:00	11月下旬	11.8	13.0	8.4	14.7	11.8	13.1	9.6
38	福知山マラソン	京都府福知山市	10:30	6:00	11月下旬	13.0	11.8	12.5	10.1	14.7	中止	15.9
39	富士山マラソン	山梨県河口湖町	9:00	6:00	11月下旬	10.1					10.9	9.3
40	河口湖日刊スポーツマラソン		7:30	6:00	11月下旬	7.2	8.3	7.5	4.6	8.5		
41	とくしまマラソン	徳島県徳島市	9:00	7:00	11月、4月	16.4			14.4	21.9	12.8	
42	チャレンジ九頭龍フルマラソン	福井県福井市	9:00	6:00	11月	10.4	11.0	9.2	10.9			
43	長崎国際マラソン/in住世保ハウスステンボス	長崎県長崎市	10:00	6:30	11月	22.2					22.2	
44	NAHAマラソン	沖縄県那覇市	9:00	6:15	12月上旬	21.1	19.1	22.0	19.0	21.4	20.5	24.7
45	奈良マラソン	奈良県奈良・天理市	9:00	6:00	12月前半	11.6				8.5	12.2	14.1
46	青島太平洋マラソン	宮崎県宮崎市	9:00	6:30	12月前半	13.0	12.9	11.0	16.1	10.8	12.6	14.5
48	防府マラソン	山口県防府市	12:02	4:00	12月後半	8.4	2.0	11.5	7.2	8.4	10.3	10.9
49	加古川マラソン	兵庫県加古川市	9:35	5:30	12月下旬	8.8	4.9	13.5	7.6	8.0	8.7	10.1
50	いぶすき祭の花マラソン	鹿児島県指宿市	9:00	8:00	1月前半	10.9	7.5	13.0	12.6	10.2	10.4	11.5
51	勝田全国マラソン	茨城県ひたちなか市	10:30	6:00	1月下旬	8.5	7.9	6.1	9.9	4.8	14.1	8.3
52	鹿山若潮マラソン	千葉県鹿山市	10:00	6:00	1月下旬	9.7	9.6	7.2	11.9	5.0	15.6	9.0
53	石垣島マラソン	沖縄県石垣市	9:00	6:00	1月下旬	18.6	16.6	19.2	20.1			
54	紀州口熊野マラソン	和歌山県上富田町	10:00	6:00	2月上旬	8.5	4.6	5.2	8.2	7.8	18.5	6.8
55	愛媛マラソン	愛媛県松山市	10:00	6:00	2月上旬～2月下旬	7.7	7.9	8.8	7.6	7.0	8.8	6.2
56	別府大分マラソン	大分県大分・別府市	12:00	3:30	2月上旬	9.0	6.6	8.8	8.2	9.8	13.8	7.0
57	いわきサンシャインマラソン	福島県いわき市	9:00	6:00	2月中旬	8.5			5.7	4.5	中止	15.3
58	高知龍馬マラソン	高知県高知市	9:00	6:00	2月上旬～2月中旬	10.1	3.2	10.1	8.4	8.7	9.7	20.7
59	延岡西日本マラソン	宮崎県延岡市	12:05	3:30	2月	11.1	10.8	7.5	10.0	11.7	10.8	15.6
60	京都マラソン	京都府京都市	9:00	6:00	2月～3月	8.4				8.8	7.6	8.9
61	泉州国際市民マラソン	大阪府堺市他	10:30	5:00	2月後半	8.3	7.4	7.1	9.3	5.8	10.1	9.9
62	海部川風流マラソン	徳島県徳島市	9:00	6:00	2月後半	6.5			7.0	2.5	7.3	9.2
63	北九州マラソン	福岡県北九州市	9:00	6:00	2月	6.4					5.9	6.8
64	熊本城マラソン	熊本県熊本市	9:00	7:00	2月後半	6.8				3.9	8.1	8.5
65	おきなわマラソン	沖縄県沖縄市	9:00	6:15	2月後半	15.7	18.8	13.8	18.0	11.6	16.2	16.0
66	東京マラソン	東京都	9:10	7:00	2月後半	6.8		6.2	3.1	6.5	4.8	13.3
67	姫路城マラソン	兵庫県姫路市	9:00	7:00	2月下旬	12.2						12.2
68	静岡マラソン	静岡県静岡市	8:20	5:30	3月上旬	12.3					9.3	15.2
69	びわ湖マラソン	滋賀県大津市	12:30	2:30	3月上旬	11.6	13.9	10.8	7.3	6.1	11.4	20.3
70	霧山マラソン	兵庫県篠山市	10:40	5:10	3月上旬	10.4	13.0	11.0	5.8	6.6	8.5	17.4
71	鹿児島マラソン	鹿児島県鹿児島市	8:30	7:00	3月上旬	19.1						19.1
72	ヨロンマラソン	鹿児島県与論島	9:00	7:00	3月上旬	19.7	18.5	20.5	19.0	22.6	16.1	21.5
73	古河はなももマラソン	茨城県古河市	10:00	6:40	3月中旬	10.1					12.9	7.3
74	横浜マラソン	神奈川県横浜市	8:30	6:30	3月中旬	9.3						9.3
75	東京・荒川市民マラソン in ITABASHI 板橋Cityマラソン	東京都板橋区	9:00	7:00	3月中旬	13.6	10.5	15.5		11.2	14.2	16.4
76	佐倉朝日健康マラソン	千葉県佐倉市	9:30	6:00	3月下旬	12.2	14.8	14.1	5.7	12.0	15.9	10.7
77	日比野真中日豊橋マラソン	愛知県豊橋市	10:00	3:00	3月後半	13.3	11.5	15.0				
78	宿毛花へんろマラソン	高知県宿毛市	9:00	7:00	3月後半	13.7			13.9	13.4		
79	能登和倉万葉の里マラソン	石川県七尾市	10:00	7:00	3月	7.8			2.9	8.3	11.4	8.5
80	日本海マラソン/鳥取マラソン	鳥取県鳥取市	9:00	6:00	3月	11.2	6.5	15.4	8.6	10.7	16.5	9.4
			平均	9:24	5:54	平均気温	14.1	13.2	13.6	13.3	13.3	14.9
						最高気温	25.1	24.8	26.7	23.8	27.0	25.7
						最低気温	6.4	2.0	5.2	2.9	2.5	6.2

女子専用の2大会(大阪国際女子マラソン及び名古屋ウィメンズマラソン)は除く



全大会の平均気温である14 °Cの場合の記録を基準として、温度の補正係数を作成することとした。先行研究を参考に以下の2種類の補正式を用意した（図3-2-10）。

#### ① 補正式1

Helouら（2012）の研究に準拠させた。6 °Cでパフォーマンスが最大になり、その点での補正值は - 2.5%、14 °Cで補正はゼロになり、24 °Cでの補正值は約10%。

#### ② 補正式2（気温が高い場合のみ補正、補正量小）

14 °C以下では補正を行わず、14 °Cを超える気温で補正を行った。補正式1と補正曲線の形は同じだが、補正量を約1/2とした。24 °Cで5.2%の補正量。

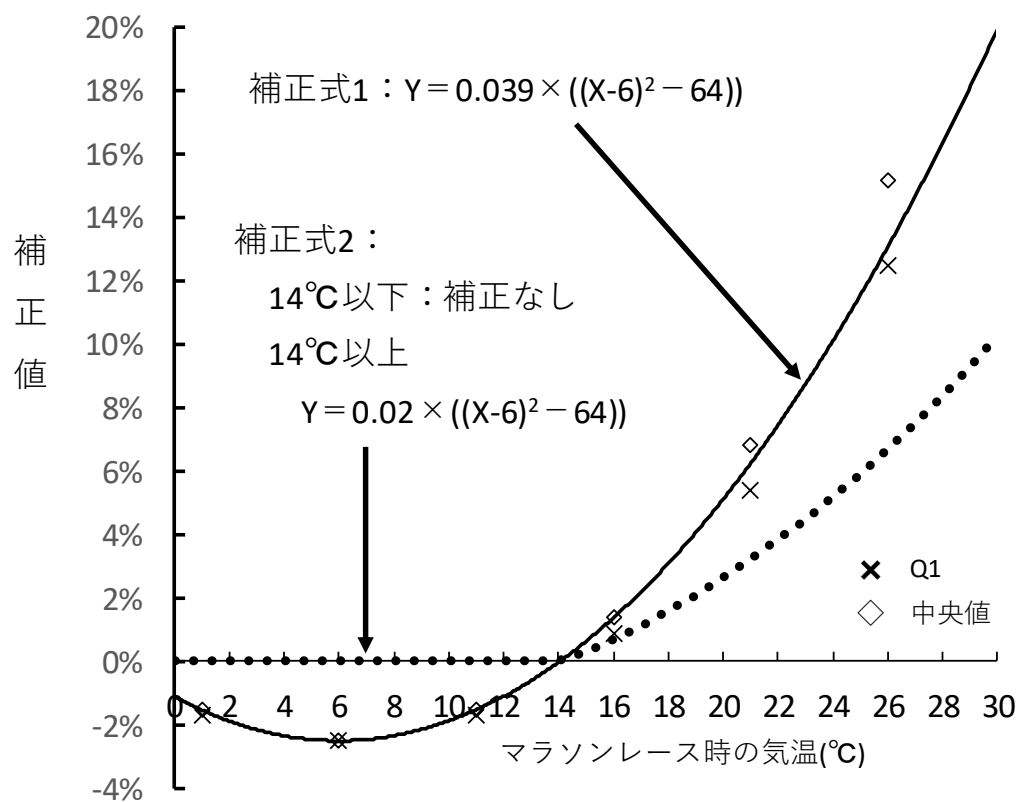


図3-2-10 気温によるマラソン平均速度の補正式

平均年齢70歳以下、独立変数を当初年齢、従属変数を1年当りの速度変化量としたケースについて、回帰分析を行った結果を表3-2-7に示す。温度補正を行うと、傾き（1年当りのマラソン速度の変化量）が大きくなる傾向が見られた。また、温度補正1および2のいずれも、未補正に比べて相関係数は高くなる傾向があった。また、標準誤差が大きくなる傾向も見られ、「温度補正を行うことによってデータのばらつきが減少し速度変化の推定範囲が狭くなる」という予測に沿った結果は得られなかった。

表3-2-7 無補正と温度補正を行った場合の相関係数等の比較

ケース	分析対象データの範囲	対象者数	相関係数	標準誤差	回帰式						
						係数	標準誤差	P-値	95%信頼区間		
基準	2005年度～2015年度 (10年間)	246名	0.377	1.259	切片	1.873	0.575	<b>0.001</b>	0.741	～	3.005
					傾き	-0.062	0.010	< <b>0.001</b>	-0.082	～	-0.043
	2011年度～2015年度 (後半の4年間)	205名	0.160	2.165	切片	0.425	1.248	0.734	-2.036	～	2.887
					傾き	-0.049	0.021	<b>0.022</b>	-0.090	～	-0.007
未補正	2005年度～2015年度 (10年間)	244名	0.374	1.270	切片	1.891	0.582	<b>0.001</b>	0.744	～	3.038
					傾き	-0.062	0.010	< <b>0.001</b>	-0.082	～	-0.043
	2011年度～2015年度 (後半の4年間)	203名	0.131	2.343	切片	0.168	1.367	0.902	-2.528	～	2.864
					傾き	-0.043	0.023	0.063	-0.089	～	-0.002
温度補正1	2005年度～2015年度 (10年間)	244名	0.434	1.381	切片	3.093	0.633	< <b>0.001</b>	1.846	～	3.038
					傾き	-0.081	0.011	< <b>0.001</b>	-0.102	～	-0.060
	2011年度～2015年度 (後半の4年間)	203名	0.203	3.049	切片	3.050	1.779	0.088	0.458	～	6.558
					傾き	-0.088	0.030	<b>0.004</b>	-0.148	～	-0.029
温度補正2	2005年度～2015年度 (10年間)	244名	0.403	1.275	切片	2.263	0.585	< <b>0.001</b>	1.111	～	3.414
					傾き	-0.068	0.010	< <b>0.001</b>	-0.088	～	-0.049
	2011年度～2015年度 (後半の4年間)	203名	0.184	2.412	切片	1.373	1.408	0.975	-1.403	～	4.149
					傾き	-0.063	0.024	<b>0.009</b>	-0.110	～	-0.016

太字は有意差あり

## 第 4 項 考察

### 1. 順位から見た分析対象者の特徴について

図3-2-2によれば、2005年度に対して2-4年後は平均的に順位が上がっている。これは最速値が2年後なのが23%のランナー、同4年後なのが13%のランナーに見られることと関係していると考えられる。その後順位が低下していくが、マラソン完走者数の増加率に比べると順位の下がり方は小さい。具体的には2005年度から2015年度に男子のマラソン完走者は約14万人から28万人に倍増している（中沢ら，2018）が、順位は全体平均で24位から30位と2割余りしか下がっていない。このことは、今回の分析対象者が平均的なランナーにと比べると相対的にマラソン記録をより向上させている集団であることを示唆していると思われる。

### 2. 年齢による速度の向上期間の違いについて

本研究の分析対象者については、57歳以下（2005年度時点）に限れば約3割が分析の初年度から4年後以降に最速の記録を実現しており、10年後に最速のランナーも約2%いた。分析対象者がいつからランニングを開始したかの情報は無いものの、このことは50歳台半ばくらいまでに初マラソンであれば少なくとも10年間程度は記録を伸ばしたランナーがいることを示している、一方58歳から75歳までのランナーにおいては、2年後に最速が2割前後で、4年以上記録が伸びるのは5%前後、最長でも6年（ランナーの1.4%）であった。

記録が伸びるのは、走行時のフォームの改善によるランニングエコノミーの改善や、トレーニングによる心肺機能の改善などによるものと考えられるが、高齢になるほど記録が伸びる期間が短い原因としては、主に以下の3つが考えられる。

- ① 高齢になる程パフォーマンスの改善量が小さい。

- ② 高齢になる程加齢によるパフォーマンスの低下率が大きい。
- ③ 高齢になる程、スタート時点のパフォーマンスが小さいため、ピークの記録も小さい。

ここでは①に着目する。運動の開始年齢とパフォーマンスの関係については、ランニングを開始した年齢と最大酸素摂取量との関係を調べ、若い年齢から走り始めたランナー群程最大酸素摂取量が高かったことから、運動を開始する年齢が若い程持久力向上のトレーニングの効果が大きく、その後も継続して運動をおこなうことにより、加齢による持久力の低下が最小限にできると推測した研究（Aoyagiら，1990；鍋倉，2014）がある。

その仮説に従い、ランニングを開始して5年でマラソンがベストタイムになり、その後加齢に伴って記録が低下する仮想のランナーを考える。図3-2-11に示すように40歳でランニングを始めた場合は、初年度で100位の記録に達しているため、記録が伸びる期間は5年間あることになるが、50歳で始めた場合は、上限が下がっているために、100位に達するのに2年ほどかかり、100位以内になってから記録が伸びる期間は3年になる。60歳で始めた場合はさらに上限が低くなるために、100位に達するまでに4年かかり、記録が伸びる期間が1年になる。

今回の年齢別100以内のランナーにおいて、年齢が高くなるほど速度の向上期間が短い傾向を示すのは、同一人物の場合、「マラソンを始める年齢が若い程トレーニングの効果が大きく、同一年齢におけるマラソン記録が高くなる」という推測を支持するデータと考えられる。

なお、③の可能性も否定できないが、トレーニングの開始のタイミングの情報がいないため、ここでは区別ができない。

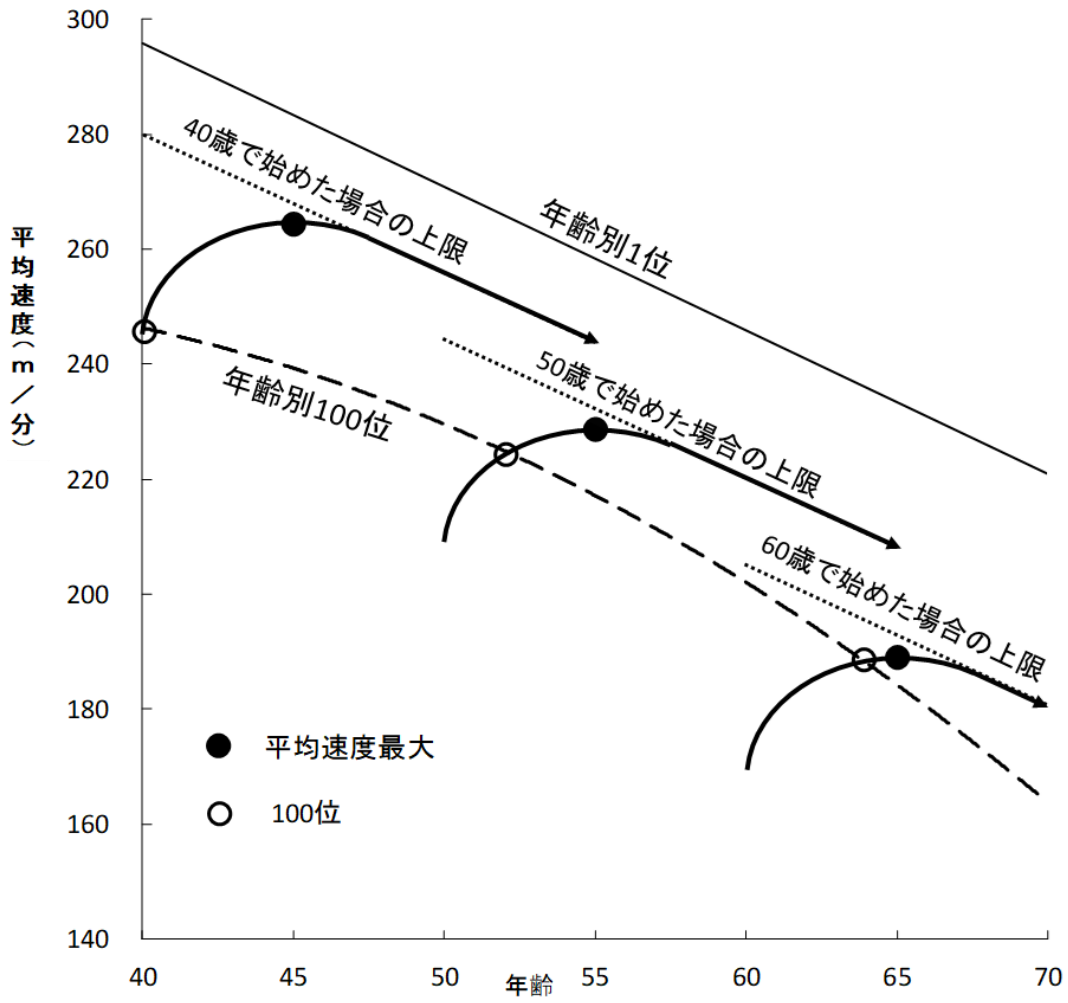


図3-2-11 マラソンを開始した年齢とマラソン平均速度の推移の関係

### 3. 速度変化量の推定値の比較

第1節において、2007年度から2015年度の全日本マラソンランキングのデータを横断的に分析した結果、1歳当りの速度変化量は40歳から63歳の間ではほぼ一定であり、値は約-2.2 m/分/歳と推定されたのに対して、本節では1年あたりの速度変化量を計算する範囲を10年全体、後半4年とした場合のいずれのケースにおいても、年齢が大きくなるにしたがって1歳あたりの速度変化量が大きくなることが判明した。第1節（表3-1-1）においても、年齢とマラソン走速度の関係は直線回帰でなく上に凸の二次曲線で回帰した場合の方がわずかに相関係数が高く出ており、本節においてそのことがより明確になったと考えることができる。

独立変数を平均年齢とした場合の各年齢に対する1歳あたりの速度変化量の推定値を表3-2-8に示す。10年間で計算した場合は、ランナーによってはランニング開始後数年間の記録向上の分が寄与して、横断分析の結果よりも1歳当りの速度変化量が小さくなっているが、加齢による影響の大きさが主体になる後半4年のデータを用いて計算した値は、45歳から60歳で-1.76 m/分/歳から-2.49 m/分/歳であり、横断分析の結果と矛盾しない。

表3-2-8 年齢と1歳あたりの速度変化量の関係

単位： m/分/歳

期間	年齢（歳）					
	45	50	55	60	65	70
10年	-0.93	-1.25	-1.56	-1.87	-2.18	-2.49
4年	-1.76	-2.01	-2.25	-2.49	-2.74	-2.98



#### 4. 先行研究の結果との比較

今回の結果は先行研究（縦断研究）の $-0.5\sim-3.4$  m/分/年（石井ら，1994；山口，1997）とも矛盾しない。

「横断データを用いた場合の年齢によるパフォーマンスの低下の推定値よりも、実際の個人の低下の方が大きい可能性がある」という先行研究に対しては、横断研究は最初の数年の記録向上分を分離することができないため、期間を10年間とした場合に近いと考えられる。今回、後半の4年のみで考えた場合に10年間と比較して1歳当たりの速度変化量が大きいことが示されており、先行研究を裏付ける結果と考えることができる。

#### 5. マラソン記録の温度補正の効果が認められなかった原因について

全日本マラソンランキングに入るレベルのマラソンランナーは1シーズンの中で複数の大会に参加する場合も多く、その中で体調やコースの条件などが良く、ベストの記録が出た大会の記録が選ばれているため、高温や低温の影響があった大会は採用されにくかった可能性がある。各ランナーの6年分のマラソンの気温の最大値を調べると、最高気温が $15^{\circ}\text{C}$ 以下のランナーは179人中51人（28.5%）、 $18^{\circ}\text{C}$ 以下であれば100人（56%）、 $20^{\circ}\text{C}$ まで広げると133人（74%）に達する。逆に、気温の最大値が $25^{\circ}\text{C}$ を超えたランナーは10名（5.5%）のみであり、高温環境がランナーに与える影響の大きさがうかがえる。

今回の対象者が完走した延べ人数が多いマラソン大会は表3-2-9のとおりである。これらの平均気温は約 $12^{\circ}\text{C}$ であり、全大会の平均気温よりも2度ほど低い。8月に行われる北海道マラソンは気温が $20^{\circ}\text{C}$ を下回ることはなく、5月の洞爺湖マラソンも $20^{\circ}\text{C}$ を超えたことがあるが、その以外の12大会では $15^{\circ}\text{C}$ 未満の場合がほとんどである。

表3-2-9 ベスト記録の多いマラソン大会

大会名	都道府県	実施時期	採用記録数 (人・回) 下段は気温	2005 年度	2007 年度	2009 年度	2011 年度	2013 年度	2015 年度
1 つくばマラソン	茨城県	11月下旬	<b>143</b> 12.2	<b>33</b> 13.9	<b>37</b> 14.8	<b>24</b> 7.5	<b>25</b> 10.3	<b>11</b> 13.5	<b>13</b> 13.1
2 勝田全国マラソン	茨城県	1月下旬	<b>130</b> 8.5	<b>30</b> 7.9	<b>18</b> 6.1	<b>26</b> 9.9	<b>17</b> 4.8	<b>22</b> 14.1	<b>17</b> 8.3
3 別府大分マラソン	大分県	2月上旬	<b>111</b> 9.0	<b>16</b> 6.6	<b>13</b> 8.8	<b>12</b> 8.2	<b>22</b> 9.8	<b>27</b> 13.8	<b>21</b> 7
4 北海道マラソン	北海道	8月下旬	<b>93</b> 24.1	<b>15</b> 24.8	<b>10</b> 23.4	<b>24</b> 20.8	<b>14</b> 27	<b>16</b> 25.7	<b>14</b> 22.7
5 福知山マラソン	京都府	11月下旬	<b>70</b> 13.0	<b>20</b> 11.8	<b>17</b> 12.5	<b>14</b> 10.1	<b>11</b> 14.7	<b>中止</b>	<b>8</b> 15.9
6 東京マラソン	東京都	2月下旬	<b>69</b> 6.8		<b>30</b> 6.2	<b>5</b> 3.1	<b>12</b> 6.5	<b>12</b> 4.8	<b>10</b> 13.3
7 洞爺湖マラソン	北海道	5月下旬	<b>69</b> 15.1	<b>11</b> 21.1	<b>19</b> 11	<b>12</b> 16.9	<b>中止</b>	<b>15</b> 16.2	<b>12</b> 10.5
8 青島太平洋マラソン	宮崎県	12月前半	<b>59</b> 13.0	<b>19</b> 12.9	<b>13</b> 11	<b>9</b> 16.1	<b>5</b> 10.8	<b>7</b> 12.6	<b>6</b> 14.5
9 長野マラソン	長野県	4月中旬	<b>59</b> 11.5	<b>17</b> 15.5	<b>12</b> 12.7	<b>14</b> 16	<b>中止</b>	<b>5</b> 1	<b>11</b> 12.1
10 防府マラソン	山口県	12月中旬	<b>57</b> 8.4	<b>2</b> 2	<b>6</b> 11.5	<b>7</b> 7.2	<b>11</b> 8.4	<b>19</b> 10.3	<b>12</b> 10.9
11 かすみがうらマラソン	茨城県	4月中旬	<b>56</b> 15.8	<b>5</b> 19.5	<b>13</b> 16.5	<b>14</b> 19.2	<b>中止</b>	<b>10</b> 6.8	<b>14</b> 17.2
12 泉州国際市民マラソン	大阪	2月中旬	<b>52</b> 8.3	<b>15</b> 7.4	<b>7</b> 7.1	<b>8</b> 9.3	<b>8</b> 5.8	<b>8</b> 10.1	<b>6</b> 9.9
13 福岡国際マラソン	福岡県	12月上旬	<b>52</b> 11.8	<b>5</b> 5.9	<b>12</b> 15.2	<b>18</b> 11.1	<b>14</b> 14.3	<b>1</b> 11.5	<b>2</b> 12.8
14 大田原マラソン	栃木県	11月下旬	<b>51</b> 11.8	<b>8</b> 13	<b>4</b> 8.4	<b>5</b> 14.7	<b>15</b> 11.8	<b>11</b> 13.1	<b>8</b> 9.6
平均気温			12.1	11.6	11.8	12.2	11.3	11.0	12.7

301名の内、全年度のレースが全て同じ大会であった12名（表3-2-10に示す）について、平均年齢が70歳を超える1名を除いた11名を対象に回帰分析を行うと、標準誤差が1.00であった（表3-2-11）。この値は表3-2-7の全てのケースよりも小さく、マラソン時の気温よりもマラソンコースの違いがデータのばらつきに大きな影響を及ぼしていることを示唆している。

表3-2-10 対象の全ての年度で同じ大会がベスト記録の12名

ランナー	2005年度 時点の 年齢	大会名 (語尾のマラソン は省略)		2005年度	2007年度	2009年度	2011年度	2013年度	2015年度	最高気温と 最低気温の 差	
										ベスト記録	レース時の気温
A	41	別府大分	ベスト記録	2:34:54	<b>2:39:39</b>	2:41:51	2:40:58	<b>2:43:53</b>	2:44:18	7.0	7.2
			レース時の気温	6.6	<b>8.8</b>	8.2	9.8	<b>13.8</b>	7.0		
B	45	勝田	ベスト記録	2:48:48	<b>2:49:00</b>	2:46:35	2:50:52	<b>2:56:23</b>	2:56:03	8.3	9.3
			レース時の気温	7.9	<b>6.1</b>	9.9	4.8	<b>14.1</b>	8.3		
C	46	勝田	ベスト記録	2:51:52	<b>2:53:09</b>	2:54:37	2:58:13	<b>2:58:48</b>	3:00:37	8.3	9.3
			レース時の気温	<b>7.9</b>	<b>6.1</b>	9.9	4.8	<b>14.1</b>	8.3		
D	48	愛媛	ベスト記録	2:50:53	<b>2:44:08</b>	2:49:50	2:55:39	<b>3:01:44</b>	3:03:45	6.2	2.6
			レース時の気温	7.9	<b>8.8</b>	7.6	7	<b>8.8</b>	6.2		
E	53	いぶすき菜の花	ベスト記録	2:46:55	<b>2:56:17</b>	2:52:01	2:57:25	<b>3:08:37</b>	3:08:33	11.5	5.5
			レース時の気温	7.5	<b>13</b>	12.6	10.2	<b>10.4</b>	11.5		
F	53	北海道	ベスト記録	3:03:28	<b>2:57:02</b>	3:00:09	3:01:52	<b>3:05:29</b>	3:11:09	22.7	6.2
			レース時の気温	24.8	<b>23.4</b>	20.8	27	<b>25.7</b>	22.7		
G	53	北海道	ベスト記録	3:07:11	<b>3:01:38</b>	2:55:36	3:15:08	<b>3:20:27</b>	3:26:28	22.7	6.2
			レース時の気温	24.8	<b>23.4</b>	20.8	27	<b>25.7</b>	22.7		
H	59	北海道	ベスト記録	3:16:40	<b>3:12:54</b>	3:12:28	3:26:52	<b>3:23:14</b>	3:21:26	22.7	6.2
			レース時の気温	24.8	<b>23.4</b>	20.8	27	<b>25.7</b>	22.7		
I	60	いぶすき菜の花	ベスト記録	3:39:12	<b>3:44:58</b>	3:47:34	3:55:07	<b>4:02:19</b>	3:56:40	11.5	5.5
			レース時の気温	7.5	<b>13</b>	12.6	10.2	<b>10.4</b>	11.5		
J	62	北海道	ベスト記録	3:24:37	<b>3:24:37</b>	3:43:51	3:54:06	<b>4:07:29</b>	4:16:07	22.7	6.2
			レース時の気温	24.8	<b>23.4</b>	20.8	27	<b>25.7</b>	22.7		
K	63	いわて北上	ベスト記録	3:39:39	<b>3:34:01</b>	3:39:01	3:57:24	<b>4:03:52</b>	4:09:18	13.3	7.2
			レース時の気温	19.7	<b>12.8</b>	15.2	12.5	<b>17.9</b>	13.3		
L	72	NAHA	ベスト記録	5:33:47	<b>5:56:51</b>	4:40:25	4:43:06	<b>5:02:33</b>	5:50:17	24.7	5.7
			レース時の気温	19.1	<b>22</b>	19	21.4	<b>20.5</b>	24.7		

表3-2-11 平均年齢が70歳以下の11名の回帰分析の結果

分析対象データの範囲	対象者数	相関係数	標準誤差	回帰式			
				切片	傾き	P-値	
2005年度～2015年度 (10年間)	11名	0.500	1.004	切片	2.186	2.508	0.406
				傾き	-0.074	0.043	0.0430

## 第5項 結論

全日本マラソンランキングの年齢別100位以内を隔年で10年間継続した中高年の男性ランナー301名のマラソン記録等を調べた結果、加齢に伴いランナーのマラソン走速度は直線的に低下するのではなく、70歳前後までは低下量が1年当り0.06 m/分程度増加する2次関数で近似可能であり、それ以上の年齢ではさらに低下量が増大することが示唆された。1年当りのマラソン平均速度低下量の推定値は45歳で1.8 m/分/年、70歳で約3.0 m/分/年であった。

分析結果に影響を与える交絡因子としてマラソン時の気温を想定し、先行研究の結果等を用いてマラソン記録の補正を行ったが、マラソン平均速度低下量の推定精度を向上させることはできなかった。原因としては、ベストタイムとして記録されたレースの気温の幅が小さいことや、マラソンコースの違いによる影響が大きいことが考えられる。

### 第3節 【研究課題1-2b】 年齢別順位100位以内の中高年男性ランナーの最速年度以降の走記録の変化

#### 第1項 目的

第2節と同様に、国内の主要なマラソンの大会によって得られた年齢別100位以内継続者の複数年のマラソン結果（完走時間）をもとに、トップレベルの中高年の男性市民ランナーにおいて加齢に伴うマラソン記録がどのように変化するかを明らかにすることを目的とした。本節では対象を第2節の301名から1,003名に広げた。

#### 第2項 方法

##### (1) 対象

ランニング習慣者向けの月刊誌「ランナーズ」を発行している株式会社アールビーズのランナーズ編集部が年齢別100位以内者をまとめている全日本マラソンランキングの2007年度、2009年度、2011年度、2013年度、2015年度のデータを用いた。図3-3-1に示すように、2007年度に36歳以上で、2007年度、2009年度、2011年度、2013年度、2015年度のいずれかで年齢別100位以内に入ったランナーを抽出し(15,447名)、その中から少なくとも2011年度、2013年度、2015年度については100位以内を維持し、かつ最速の年度が2011年度までであるランナーを抽出して(1,003名)、分析対象とした。最速年度を2011年度までとした理由は、最速年度から2015年度までの平均速度の傾きを統計的に計算するために3点以上のデータが必要なためである。

なお、本研究では40歳以上を中高年と定義したが、本節においては各ランナーの9年間の記録の推移を扱い、その期間の平均年齢を変数として平均年齢40歳からの分析結果を得るために、初年度が36歳のランナーから分析の対象とした。

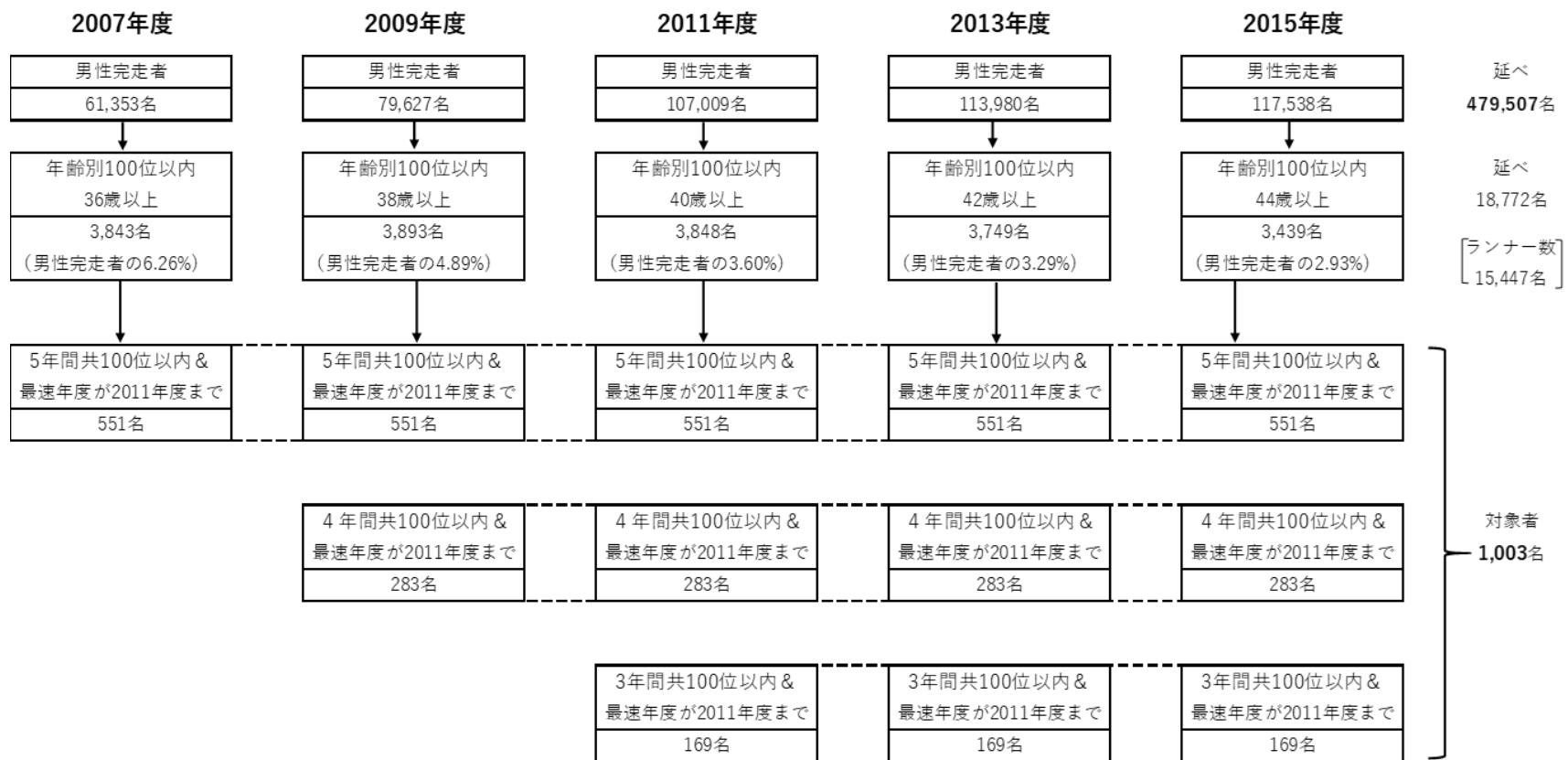


図3-3-1 分析対象者のフロー

研究倫理の観点から、データセットの作成はランナーズ編集部に委託し、同編集部からは氏名や生年月日などの個人情報を含まない形でデータセットの提供を受けた。同一氏名で年度差と年齢差が同じか±1歳の場合は同一人物とみなしたが、マラソン記録の連続性が見られないなど、同一人物のデータであることに疑義がある場合はデータセットから除外した。全日本マラソンランキングは1年間のベストタイムから作成されており、ベストタイムが誕生日の前か後かによって、2年度毎の年齢差も1歳から3歳の範囲になるが、分析においては2歳刻みとして扱った。分析に用いた情報は、年度、年齢、順位、マラソン完走時間（その年度のベストタイム）である。マラソンの記録の指標としてはマラソン平均速度を用いることとし、マラソンの距離（42,195m）を完走時間(分)で除して求めた。

## (2) 統計解析

個々のランナーについて、最速年度における年齢と2015年度における年齢の平均値で示される平均年齢と、加齢に伴う1年当りのマラソン平均速度の変化量の推定値を計算した。後者については、最速年度から2015年度までの全てのマラソン平均速度のデータから一次の回帰式の係数を計算し、その傾きを用いた。ランナーの平均年齢を変数として、40歳台前半から70歳台後半以上まで8グループに分けた。その後、それぞれの年齢グループにおける年間のマラソン平均速度の変化量を推定した。推定に当たっては、平均値と標準偏差、標準誤差、最小値・最大値を計算した。次に各年齢グループ間において、1年当りのマラソン平均速度の変化量が統計的に有意な差が認められるのかどうかを検証するために一元配置の分散分析を行い、有意な場合はBonferroni法による多重比較検定を行った。さらにマラソン平均速度が急激に変化する年齢があるかどうかの確認も行った。



統計処理にはIBM SPSS 22.0 for Windowsを用い、特に記載のない限りは統計的有意水準を5%とした。 I

### 第3項 結果

各年齢グループのベースライン時の統計量を表3-3-1に示す。

表3-3-1によれば、マラソンタイムは平均年齢が若い程短く、40歳台前半では平均値が2時間36分台であるのに対して、75歳台後半以上では同4時間29分台と2時間近くの違いがあった。また本研究で設定した条件を満たすランナーの人数は年齢が高いグループほど多く、70歳台前半が最多（172名）であった。70歳台後半では102名、80歳台になると激減し、80歳台前半は11名、80歳台後半は3名であった。

表3-3-1 ベースライン時（各ランナーの最速年度）の統計量

平均年齢 (歳)	人数 (名)	マラソンタイム 平均値 (時:分:秒)	マラソン平均速度		順位		
			平均値 (m/分)	標準偏差 (m/分)	上位25% (位)	中央値 (位)	下位25% (位)
40-44	69	2:36:34	269.5	11.2	7	14	30
45-49	108	2:41:25	261.4	10.8	5	19	37
50-54	117	2:49:16	249.3	10.8	8	21	39
55-59	122	3:00:54	233.3	11.8	9	24	47
60-64	140	3:10:14	221.8	13.5	10	26	45
65-69	159	3:25:06	205.7	13.8	12	29	52
70-74	172	3:47:28	185.5	15.3	13	32	61
75-89	116	4:29:11	156.8	22.2	8	28	51
合計	1,003						

それぞれの年齢グループにおける1年当りのマラソン平均速度の変化量の平均値等を計算した結果を表3-3-2に示す。

表3-3-2によれば、マラソン平均速度の年間の減少量は40歳台では2 m/分前後、50歳台で2.5 m/分前後、60歳台では3 m/分前後であった。70歳台前半では約4.5 m/分、70歳台後半以上では5 m/分弱であった。平均値のばらつきである標準誤差は40歳台から70歳台前半までは0.15 m/分前後で、70歳台後半以上は少し大きく、0.22 m/分であった。

マラソン平均速度の年間の変化量のばらつきとしては、どの年齢グループにおいても変化量が最小のランナーの数値はほぼゼロである（平均速度がほぼ変わらない）が、年齢が上がるほどランナー間の変化量のばらつきが大きくなる傾向が観察された。例えば、40歳台前半では変化量が最大のランナーの年間の平均速度の減少量は5 m/分弱であったが、60歳台前半以上の年齢グループにおいては10 m/分を超える減少量のランナーが見られた。

表3-3-2 各年齢グループの年間の速度変化量の平均値等

平均年齢 (歳)	年間の平均 速度の変化 量の平均値 (m/分/年)	標準 偏差 (m/分/年)	人数 (名)	標準 誤差 (m/分/年)	最小～最大 (m/分/年)
40-44	-1.85	1.32	69	0.16	-4.67 ~ 0.09
45-49	-2.10	1.46	107	0.14	-7.04 ~ 0.27
50-54	-2.39	1.55	117	0.14	-5.88 ~ 1.21
55-59	-2.61	1.56	122	0.14	-8.88 ~ 0.13
60-64	-2.71	1.77	140	0.15	-10.70 ~ 0.13
65-69	-3.08	1.71	159	0.14	-12.88 ~ -0.05
70-74	-4.45	2.06	172	0.16	-11.29 ~ -0.08
75-89	-4.82	2.41	116	0.22	-12.81 ~ -0.06

1元配置の分散分析の結果（表3-3-3）、F値は43.3となり、いずれかの年齢グループ間で1年当りのマラソン平均速度の変化量に有意な差があることが判明した。

表3-3-3 一元配置分散分析の結果

	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確率
グループ間	982.469	7	140.353	43.286	<0.01
グループ内	3226.206	995	3.242		
合計	4208.675	1002			

さらにBonferroni法を用いて多重比較を行ったところ、表3-3-4に示すように40歳台前半グループにおいては、50歳台後半までのグループとは有意な差はないが、60歳台前半以降のグループとは有意な差が認められた。40歳台後半及び50歳台前半グループは60歳台後半以降のグループと、50歳台後半から60歳台後半までのグループは70歳台前半以降のグループと有意差があった。

表3-3-4 多重比較検定の結果 (P値)

40歳台後半	1.000						
50歳台前半	1.000	1.000					
50歳台後半	0.135	0.843	1.000				
60歳台前半	<b>0.032</b>	0.220	1.000	1.000			
60歳台後半	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>0.048</b>	0.919	1.000		
70歳台前半	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	
70歳台後半以上	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	<b>&lt;0.001</b>	1.000
	40歳代前半	40歳代後半	50歳代前半	50歳代後半	60歳台前半	60歳代後半	70歳台前半

(注) 太字は有意差があることを示す。

## 第4項 考察

本節においては、中高齢男性ランナーのピーク記録以降の加齢に伴うマラソン記録の低下の推移を明らかにすることを目的とし、全日本マラソンランキングのデータを用いて1,003人のランナーを5歳刻みのグループに分けて最長9年間、マラソン平均速度の変化を調べた。その結果、年齢が高いグループほどマラソン平均速度の年間の減少量が大きく、特に60歳台後半と70歳台前半では年間のマラソン平均速度の変化量において有意な差があり、その値も約1.5 m/分と大きかった。これらのことは、加齢に伴いマラソンの記録（マラソン平均速度）は直線的に低下するのではなく、加齢とともにその減少量が徐々に大きくなり、70歳以降でそれが加速することを示唆している。

分析対象者は年齢別100位以内を最長9年間継続した中高齢の男性ランナーであり、記録の維持・向上のために努力を重ねている、いわゆるシリアスランナーが多いことが推察される。また、最速であった年度以降のマラソン平均速度の変化を計算したため、トレーニングによるフォーム改善や体力向上に起因する記録向上の分は今回の結果には反映されておらず、速度減少はほぼ加齢に起因すると考えることができる。

2節においても、加齢による影響の大きさが主体になる後半4年のデータを用いて速度の減少量を計算しており、本節はそれと同様な結果が得られることが期待された。第2節の計算結果は、45歳から60歳で-1.76 m/分/歳から-2.49 m/分/歳であったが、本節の結果は40歳前半グループで-1.85 m/分/歳、60歳前半グループで-2.71 m/分/歳で減少量が徐々に増加するも、その大きさはほぼ同等であった。70歳前後を境に変化の度合いが大きくなることも同様であった。

先行研究においては、マラソンの年齢別世界記録は30歳前後から70歳まで徐々に低下し、70歳以上では変化が大きくなることが指摘され、本研究の第1節においても、各年度の全日本マラソンランキングにおける1位から100位の

ランナーの年齢間の記録を順位別に比較し、70歳より若いランナーと70歳を超えるランナーのマラソン記録の差が大きいことを報告した。同様に第2節においても、本節と同様の結果が得られている。したがって、本節において第2節の結果を支持する結果が得られたといえることができる。

マラソン記録を決める主な要素は最大酸素摂取量、乳酸性閾値、そしてランニングエコノミーとされている (Joyner, 1993)。乳酸性閾値あるいはほぼ同等の値を示す換気性代謝閾値については最大酸素摂取量との相関が高い (田中ら, 2007) もの、加齢に伴う減少量は最大酸素摂取量よりも小さいと報告されている (Poster et al., 1987; 竹島ら, 1989)。長距離ランナーは中距離ランナーに比べてランニングエコノミーが高いと報告されており (田中, 1978)、60歳から77歳のランナーをそれより若いランナーと比較して、ランニングエコノミーに大きな違いはないとの報告もある (Quinn et al., 2011)。また、60歳以上のランナーを39歳以下のランナーと比較した場合でも、同様の結果が報告されている (Beck et al., 2016)。男性長距離ランナーを対象に行われた縦断的な調査では、60歳以上では最大酸素摂取量の低下が著しく、それがレース記録の低下に影響を及ぼしている可能性が高いことが報告された (石井ら, 1994)。

以上の点から考えると、通常はパフォーマンスの低下には最大酸素摂取量の低下が伴っている可能性が高いと考えられる。例えば、中高年ランナーを20年以上にわたって観察した結果、競技者レベルのトレーニングを継続していたとしても加齢に伴い最大酸素摂取量が減少したことが報告されている

(Trappe et al., 1996)。60歳以上で低下が大きくなるという報告が多い (McDnough et al., 1970; Pollock et al., 1976) が、ランニング習慣者の縦断的な追跡の結果、運動の頻度を保った場合でも65歳以上では最大酸素摂取量の減少が顕著になったとの報告 (小林ら, 1985) がある。高強度のトレーニ



ングを継続したランナーについては、最大酸素摂取量の低下が抑えられたとの報告 (Pollock et al., 1987)がある一方、高齢になればなるほど加齢に伴う酸素活性の低下などによりトレーニング後の疲労回復が遅くなる (小林ら, 1985)ともいわれる。また、高強度のトレーニングを高頻度に行う中高年ランナーは故障する確率が高いとの報告 (山口, 1997) もある。

以上のことから、多くのランナーは高齢になるにしたがって特にトレーニングの強度を維持することが困難になるために最大酸素摂取量が減少し、それがマラソン記録の低下の大きな原因になっていることが推定される。本研究で分析対象としたランナーは年齢別100位以内を数年間継続した、いわばトップレベルのランナーであるが、本研究の結果は、そのようなランナーにおいても70歳を過ぎると高強度を含むトレーニングの質と量を維持するは難しいということを示している可能性がある。

個々のランナーのパフォーマンスの経年変化についていえば、全ての年齢グループにおいて、最速になった年度以降もパフォーマンスをほぼ維持したランナーが存在していた一方、パフォーマンスの落ち込みが大きいランナーの低下量は、年齢が高い程大きい傾向が見られた。Fries (1980) は、「加齢に伴う記録の減少は年間1%に過ぎないが、同じ年齢の健康的なランナー間の記録差は加齢に伴う変化よりもはるかに大きく、マラソンにおいては加齢よりもトレーニングの方が重要である」と報告している。また、山地 (2001) はマラソンのパフォーマンスと関係の深い最大酸素摂取量について、「35歳を過ぎるとそれからの生活習慣や姿勢が最大酸素摂取量に大きく影響する (中略) 老後に現れる体力は先天的な要素よりも後天的な因子によって決定される」としている。

そのような観点から推察すると、今回見出されたような同年齢世代のランナー間の差の原因の一つとしてトレーニング内容の違いが挙げられる。しかし、本研究では個々のランナーにおけるトレーニング内容を調査できていないた

め、今後の課題である。

## 第5項 結論

全日本マラソンランキングの年齢別100位以内を隔年で最長9年間継続した中高年の男性ランナー1,003名のマラソン記録等を調べた結果、加齢に伴う年間のマラソン平均速度の減少量は一定ではなく、60歳台まで徐々に増大し、70歳前後を境にそれが加速することが示唆された。年間のマラソン平均速度の減少量の推定値は40歳台後半で約2.1 m/分、60歳台後半で約3.1 m/分であった。この結果は第2節とほぼ同じであった。

## 第4章【研究課題2】中高齢男性市民ランナーのレースの走記録とレース距離の関係

### 第1節 目的

マラソンレースに参加する中高齢男性市民ランナーがマラソンレースのプランや練習計画を検討する際に活用できるように、フルマラソンの記録と、それより距離の短いハーフマラソン、10 km、5 kmなどのレースの記録との関係を明らかにすることを目的とするとともに、加齢に伴うパフォーマンスの変化量の推定も行う。

### 第2節 方法

#### 1. 研究デザイン

茨城県南部において地元のランニングクラブに所属し、フルマラソン等の大会に出場する中高齢男性市民ランナーを対象に、対象者の年齢や、フルマラソンの結果、ハーフマラソンの結果、10kmレースの結果、5kmレースの結果を本人への聞き取り等により入手し分析を行った、いわゆる横断研究である。一部の対象者については、自転車エルゴメータを用いた最大酸素摂取量の測定や、体格、筋力、柔軟性の測定なども行った。

#### 2. 分析対象

ランニングの習慣があり、3年以内に少なくとも1回以上のフルマラソンの経験がある40歳以上の男性71名を分析対象とした（表4-1に対象者のリストを示す）。最高齢は74歳、最速記録は2:42:11（41歳）、最遅記録は6:21:57（73歳）、全ランナーのフルマラソンのベストタイムの平均値は3:47:05であった。

対象レースはフルマラソン（42.195 km）、ハーフマラソン（21,097.5 m）、10kmレース、5kmレースとし、期間（3年間）内に同じ距離のレースで複数回の記録がある場合は、最速記録を採用した。71名中、フルマラソンに加えてハーフマラソンも完走したのは55名、10kmレースも完走したのは49名、5kmレースも完走したのは37名、4種類のレースを全て完走したのは24名であった。自転車エルゴメータで最大酸素摂取量の測定等を行ったのは24名であった。

分析に用いた情報は、年齢、各距離のレースの完走時間（ベストタイム）、フルマラソン時の平均速度（フルマラソンの距離を完走時間で割って求める）である。

表4-1 分析対象者一覧

ID	フルベスト				フル 平均速度 (m/分)	ハーフ 平均速度 (m/分)	10キロ 平均速度 (m/分)	5キロ 平均速度 (m/分)	最大酸素摂 取量実測値 (ml/分/kg)
	年齢	タイム	タイム	タイム					
	(歳)	(時:分:秒)	(時:分:秒)	(時:分:秒)					
1	40	2:53:08	1:16:18	0:36:50	243.7	276.5	271.5		51.6
2	41	2:46:20	1:18:07	0:36:43	253.7	270.1	272.4		
3	41	2:59:11	1:28:06	0:38:50	235.5	239.5	257.5		
4	41	2:42:11	1:16:57		260.2	274.2			
5	41	3:36:28	1:33:51		194.9	224.8			
6	41	6:05:06		0:54:33	115.6		183.3		57.5
7	42	2:54:58	1:21:29	0:37:33	241.2	258.9	266.3		
8	42	2:56:47	1:21:56	0:37:41	238.7	257.5	265.4	287.4	
9	42	2:44:10	1:19:46	0:17:53	257.0	264.5		279.6	
10	43	2:57:34		0:39:38	237.6		252.3		
11	44	3:45:34		0:43:51	187.1		228.1		42.9
12	45	3:53:20			180.8			233.6	
13	45	3:21:35	1:26:06	0:37:23	209.3	245.0	267.5	273.7	
14	46	3:34:49	1:36:49	0:45:26	196.4	217.9	220.1	220.9	
15	46	3:21:20	1:32:58		209.6	226.9			
16	47	3:48:43	1:38:30	0:43:51	184.5	214.2	228.1	241.7	59.4
17	47	3:00:54	1:21:05	0:37:44	233.3	260.2	265.0	283.8	
18	47	5:38:58	2:12:24	0:57:27	124.5	159.3	174.1	174.8	
19	47	3:05:13		0:19:39	227.8			254.5	
20	47	3:17:34		0:39:41	213.6		252.0	253.8	
21	48	3:07:56	1:27:50	0:38:31	224.5	240.2	259.6		55.0
22	48	3:56:38	1:41:39		178.3	207.6			
23	49	3:23:18	1:33:27	0:42:22	207.6	225.8	236.0	229.9	
24	49	4:12:55	1:51:48	0:49:03	166.8	188.7	203.9		
25	50	4:40:53	1:57:28	0:51:21	150.2	179.6	194.7		
26	50	3:04:51	1:24:03	0:38:02	228.3	251.0	262.9		45.8
27	50	4:50:33	2:09:57	0:52:17	145.2	162.4	191.3		
28	51	3:06:38	1:29:14	0:39:25	226.1	236.4	253.7		
29	51	2:48:52	1:21:00		249.9	260.5			
30	51	3:05:13		0:19:39	227.8			254.5	
31	52	3:15:54	1:30:51	0:40:02	215.4	232.2	249.8	257.7	49.2
32	52	3:22:21	1:32:11	0:41:19	208.5	228.9	242.0	251.0	
33	53	3:16:31	1:29:42	0:40:37	214.7	235.2	246.2	251.7	
34	53	2:59:36	1:21:49	0:37:18	234.9	257.9	268.1		
35	53	5:20:00			131.9				
36	54	3:24:40	1:34:24	0:20:30	206.2	223.5		243.9	47.5
37	54	2:59:39	1:23:12	0:37:34	234.9	253.6	266.2	267.6	
38	54	3:14:19			217.1				
39	55	3:45:10	1:38:48	0:22:14	187.4	213.5		224.9	
40	56	3:32:45			198.3				
41	57	3:56:25	1:45:47	0:51:57	178.5			209.6	43.4
42	57	3:52:56	1:33:29	0:42:55	181.1	225.7	233.0	238.9	
43	57	3:53:57			180.4				
44	58	3:26:54			203.9				
45	59	3:23:28	1:33:12	0:43:22	207.4	226.4	230.6	239.0	
46	59	3:27:44	1:33:08	0:42:30	203.1	226.5	235.3	243.5	54.0
47	59	3:14:48	1:29:30	0:39:48	216.6	235.7	251.3	256.4	
48	59	5:02:31	1:54:56	0:52:57	139.5	183.6	188.9		
49	60	3:02:27	1:26:00	0:39:07	231.3	245.3	255.6	263.4	
50	60	3:02:57	1:22:23	0:38:11	230.6	256.1	261.9	262.2	
51	60	3:46:59	1:43:08	0:23:46	185.9	204.6		210.4	45.4
52	60	3:53:09	1:41:31	0:46:53	181.0	207.8	213.3	225.2	
53	61	4:35:38	1:48:44	0:48:40	153.1	194.0	205.5	225.2	
54	61	3:46:31		0:45:49	186.3		218.3	234.7	
55	63	4:14:19	1:53:23	0:49:30	165.9	186.1	202.0		
56	63	4:54:24	1:54:42	0:51:24	143.3	183.9	194.6	190.8	53.7
57	63	3:49:28	1:51:24	0:47:27	183.9	189.4	210.7	227.1	
58	64	3:06:54	1:27:30	0:40:12	225.8	241.1	248.8		
59	64	3:47:16	1:49:59		185.7	191.8			
60	67	3:32:46	1:38:08	0:21:42	198.3	215.0		230.4	
61	68	3:29:28	1:33:38	0:42:19	201.4	225.3	236.3	246.5	46.6
62	68	4:23:38	1:55:39	0:50:38	160.1	182.4	197.5		
63	68	3:51:17	1:45:00	0:47:00	182.4	200.9	212.8		
64	69	3:35:21	1:36:47	0:43:55	195.9	218.0	227.7		
65	69	5:29:23	2:33:33	1:01:18	128.1	137.4	163.1		
66	69	5:36:55			125.2				42.3
67	70	4:40:21	2:09:54	0:55:31	150.5	162.4	180.1		
68	71	4:14:55	1:49:53	0:25:14	165.5	192.0		198.2	
69	72	5:26:01			129.4				
70	73	6:21:57		0:57:50	110.5		172.9		
71	74	4:49:25	1:51:07	0:51:16	145.8	189.9	195.1	204.8	45.4
平均	54.8	3:47:05	1:38:05	0:44:36	194.0	220.5	229.4	239.8	47.0

分析対象者の年代/フルマラソン記録に関する分布を表4-2に示す。

全体的にはフルマラソン記録が3時間台のランナーが多く、71名中42名（約6割）であった。次いで3時間未満が11名、4時間台が10名だった。6時間以上は2名と、非常に少なかった。また年代別に見ると3時間未満は40歳代前半が多く、50歳以上はいなかった。70歳を超えるランナーには4時間を切るランナーも見当たらなかった。

表4-2 分析対象者の分布（年代/完走時間毎の人数）

		フルマラソンの完走時間						
		3時間未満	3時間台 前半	3時間台 後半	4時間台	5時間台	6時間台	小計
年代	40-44歳	<b>8</b>	0	2			1	11
	45-49歳		<b>7</b>	4	1	1		13
	50-54歳	3	<b>8</b>		2	1		14
	55-59歳		4	<b>5</b>		1		10
	60-64歳		3	<b>5</b>	3			11
	65-69歳		1	<b>3</b>	1	2		7
	70-74歳				<b>3</b>	1	1	5
	小計	11	23	19	10	6	2	71



### 3. 作業の流れ (図4-1)

(1) 71名全員のデータを用いて、年齢とフルマラソンの関係を求めた。

(2) 71名の内、フルマラソン、ハーフマラソン、10 km走、5 km走の記録があるランナー23名について、実距離対レースの平均速度と、距離の対数値対レースの平均速度のどちらが高い相関を有するかを調べた。

(3) 前項の結果を踏まえて、距離の違うレース間の換算式を検討し、先行研究との比較も行った。

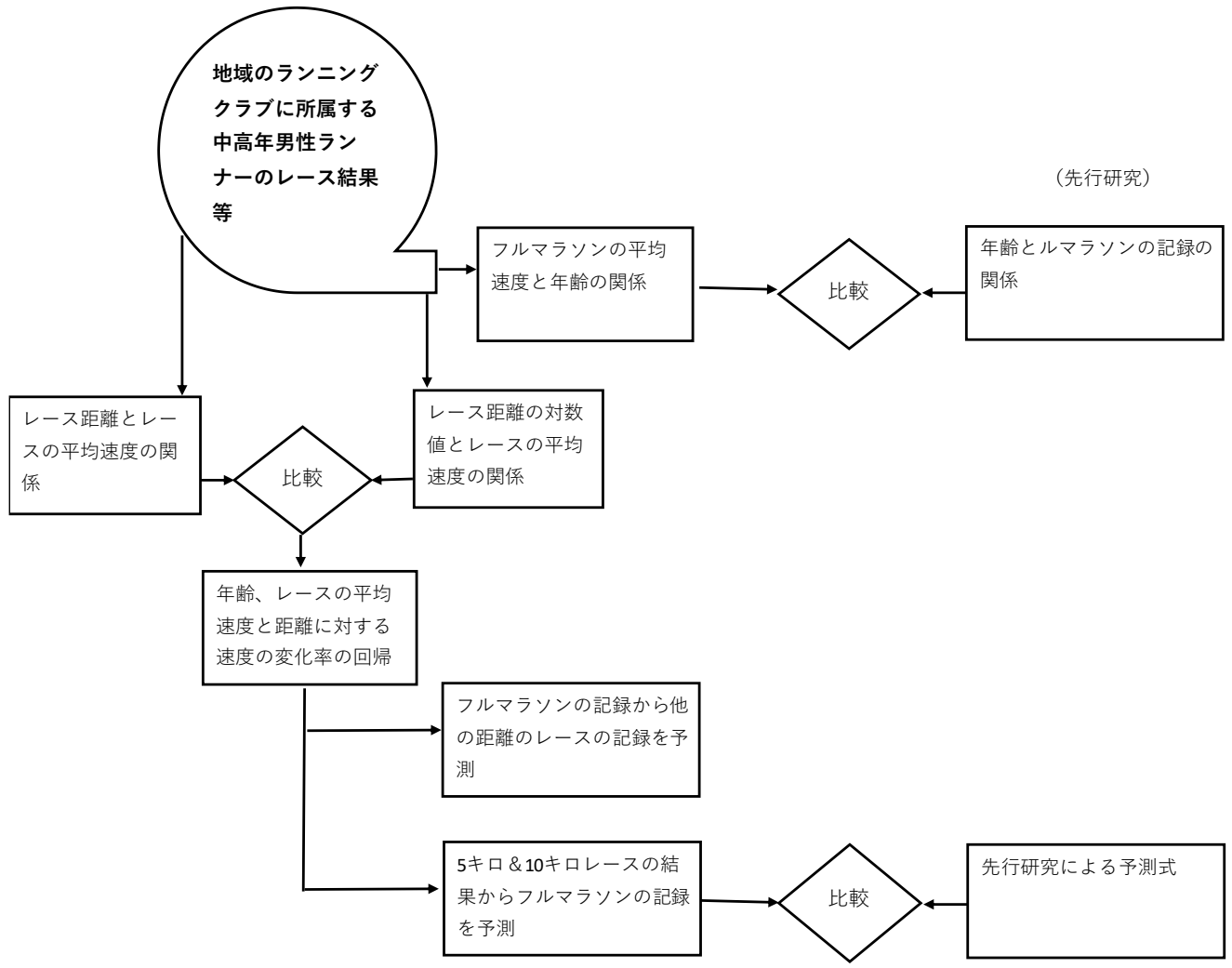


図4-1 作業の流れ

#### 4. 評価項目

##### (1) フルマラソンの記録と年齢の関係

第3章第1節(研究課題1-1)において、40歳前半から70歳前後までは、年齢に対して、マラソンの平均速度は直線的に減少しており、その変化率は-1.3~-2.5 m/分/歳、特に加齢に起因する速度の変化量は約-2.2 m/分/歳であると推定した。今回の71名について同等であるのかどうかの評価を行った。

##### (2) レース距離とレースの平均速度の関係の検証

レースの距離とレース記録の関係については、世界記録や日本記録を対象に、横軸を距離の対数値、縦軸をレースの平均速度とした場合に、3,000 m以上の長距離では直線関係で表されるとされている(丹羽, 1958; 大石ら, 1979)が、それが日本の中高年男性市民ランナーの場合でも成り立つのかどうかを検証した。

##### (3) 年齢、レースの平均速度と距離に対する速度の変化率の間の関係の評価

レースの距離に対するレースの平均速度の変化率はランナーによって異なる。従って、個々のランナーの速度の変化率を精度良く推定するためには、異なる距離の実際のレース結果を用いて計算する必要がある。加えて、フルマラソンの記録等しかない場合の速度の変化率の推定精度の推定などを行った。

##### (4) 異なる距離のレース間の記録の関係

(3) 項の結果を踏まえて、フルマラソンの記録から5 km、10 kmのレースの記録を予測するとともに、5kmレース、10kmレースの記録からのフルマラソンの記録の予測も行った。

## 5. 統計解析

年齢およびフルマラソンの平均速度を独立変数、レースの距離に対する速度の変化率を従属変数とする回帰分析や、相関分析、基本統計量の計算等の統計解析にはIBM SPSS 22.0 for Windowsを用いた。

## 6. 倫理的配慮

レースの結果については、ランニングクラブのホームページ等でインターネットに公開されている場合はそれを利用し、不足分及び年齢等の情報については本人から聞き取り調査を行い、その際にはデータを無記名で統計処理して発表することについて了解を得た。最大酸素摂取量の測定については、筑波大学の研究倫理委員会の承認を得て実施した。

## 第3節 結果

### 1. フルマラソンの記録と年齢の関係

71名全員について、横軸にランナーの年齢、縦軸にフルマラソンの平均速度をとると、図4-2が得られた。全データで回帰分析を行うと、41歳の1名の標準残差が-3.28で、大きさが3を超えたため、これを外れ値として、残りの70名で再度回帰分析を行った結果、標準残差の大きさが3以上のランナーはいなくなった。この時、切片は319.60、傾き（年齢に対する係数）は-2.26（95%信頼区間は-3.03~-1.49）、標準誤差は30.15であった。直線回帰の場合の傾きは第1節の横断研究で加齢に起因する速度の変化量として推定された値である約-2.2 m/分/歳とほぼ一致した。

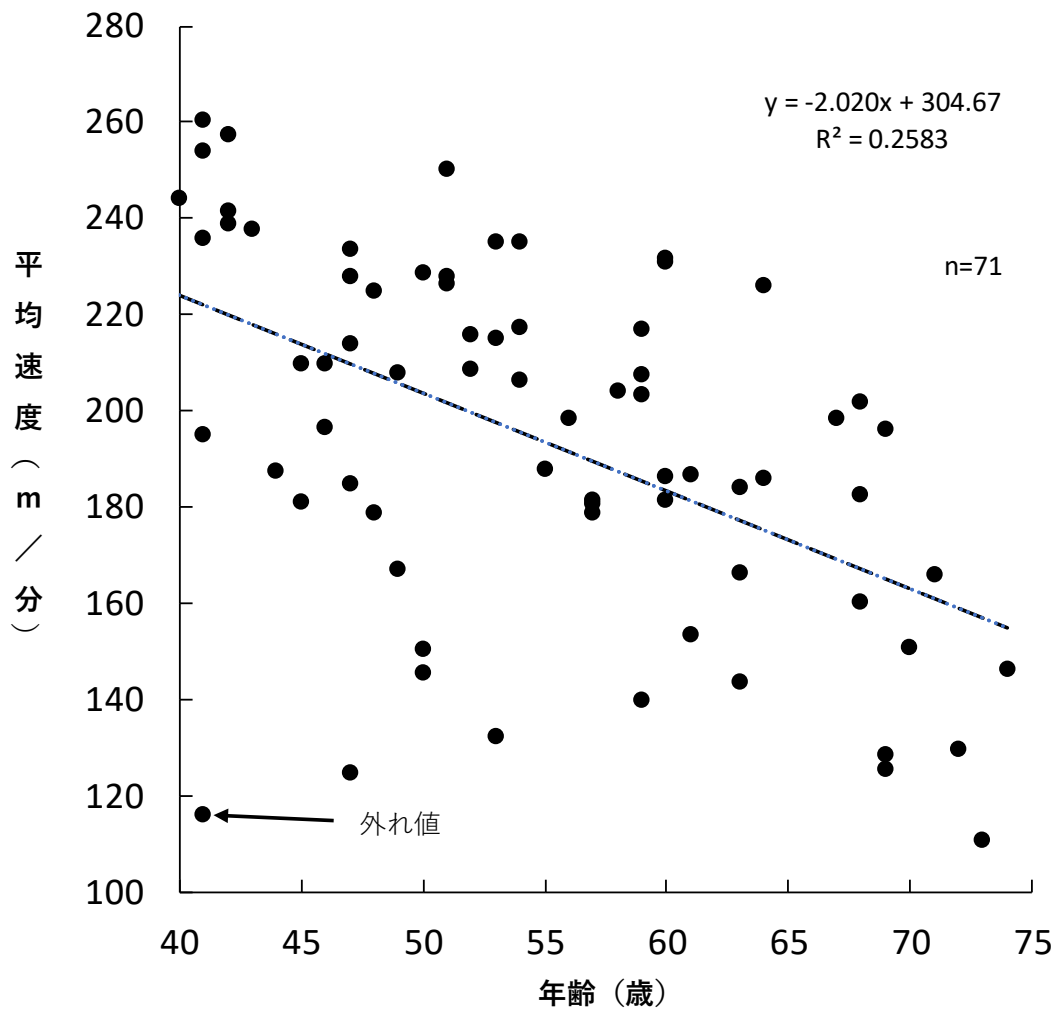


図4-2 年齢とマラソン平均速度の関係

## 2. レース距離とレースの平均速度の関係の検証

フルマラソンから5kmレースまで、4種類のレースの全ての記録がある26名のランナーについて、縦軸をマラソン平均速度、横軸をレース距離の対数値をとった場合と距離そのものにした場合を図4-3に示す。横軸を対数値とした場合は上に凸の曲線になっているランナーが多いのに対して、横軸を距離とした場合はほぼ直線になっているランナーが多い。

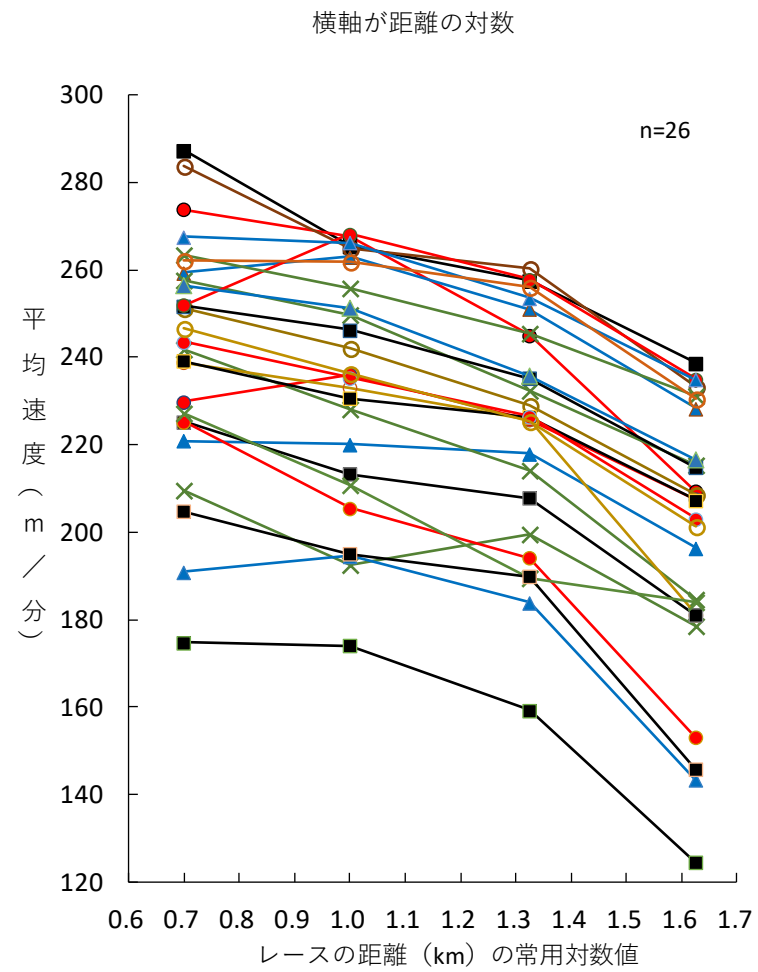
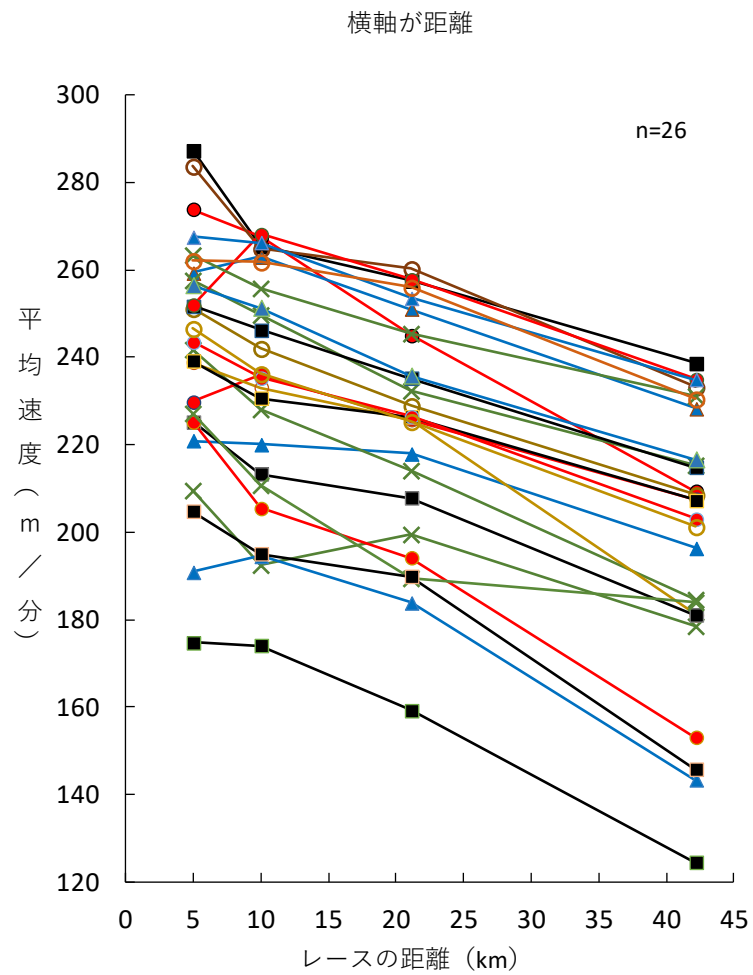


図4-3 横軸をレースの距離とした場合とレースの距離の対数とした場合の平均速度との関係の比較



横軸と縦軸の間の相関係数を計算すると、横軸を距離とした場合の方に相関係数が高いランナーが22名、横軸を距離の対数値とした場合に相関係数が高いランナーが4名であった（表4-3）。

表4-3 横軸をレースの距離とした場合と、レースの距離の対数とした場合の平均速度との相関係数の比較

ID	レースの平均速度 (m/分)				相関係数	
	フル マラソン	ハーフ マラソン	10Km レース	5km レース	距離	距離の対数
8	238.7	257.5	265.4	287.4	-0.938	<b>-0.983</b>
13	209.3	245.0	267.5	273.7	<b>-0.999</b>	-0.956
14	196.4	217.9	220.1	220.9	<b>-0.952</b>	-0.833
16	184.5	214.2	228.1	241.7	<b>-0.994</b>	-0.977
17	233.3	260.2	265.0	283.8	<b>-0.967</b>	-0.965
18	124.5	159.3	174.1	174.8	<b>-0.989</b>	-0.907
23	207.6	225.8	236.0	229.9	<b>-0.940</b>	-0.815
26	228.3	251.0	262.9	259.3	<b>-0.972</b>	-0.872
31	215.4	232.2	249.8	257.7	-0.984	<b>-0.989</b>
32	208.5	228.9	242.0	251.0	<b>-0.994</b>	-0.984
33	214.7	235.2	246.2	251.7	<b>-1.000</b>	-0.963
34	234.9	257.9	268.1	251.9	<b>-0.769</b>	-0.570
37	234.9	253.6	266.2	267.6	<b>-0.996</b>	-0.944
41	178.5	199.4	192.5	209.6	<b>-0.859</b>	-0.846
42	181.1	225.7	233.0	238.9	<b>-0.977</b>	-0.885
45	207.4	226.4	230.6	239.0	<b>-0.987</b>	-0.954
46	203.1	226.5	235.3	243.5	<b>-0.997</b>	-0.961
47	216.6	235.7	251.3	256.4	<b>-0.995</b>	-0.974
49	231.3	245.3	255.6	263.4	-0.988	<b>-0.991</b>
50	230.6	256.1	261.9	262.2	<b>-0.971</b>	-0.865
52	181.0	207.8	213.3	225.2	<b>-0.986</b>	-0.951
53	153.1	194.0	205.5	225.2	<b>-0.988</b>	-0.964
56	143.3	183.9	194.6	190.8	<b>-0.957</b>	-0.835
57	183.9	189.4	210.7	227.1	-0.890	<b>-0.980</b>
61	201.4	225.3	236.3	246.5	<b>-0.996</b>	-0.974
71	145.8	189.9	195.1	204.8	<b>-0.977</b>	-0.897
平均	199.5	224.8	234.9	241.7	-0.964	-0.917
相関係数が高い					22	4

この26名をマラソン平均速度が170 m/分（マラソンタイム約4時間8分）、200 m/分（同約3時間31分）、230 m/分（同約3時間3分）を境界にして4グループに分け、それぞれのグループの中での平均値を表示したものを図4-4に示す。どの区分においても距離に対応する点はほぼ直線上に位置している。

以上の点から、少なくとも今回対象になったランナーグループにおいては、レースの距離と平均速度の関係を直線で回帰させることが妥当であると考えられる。

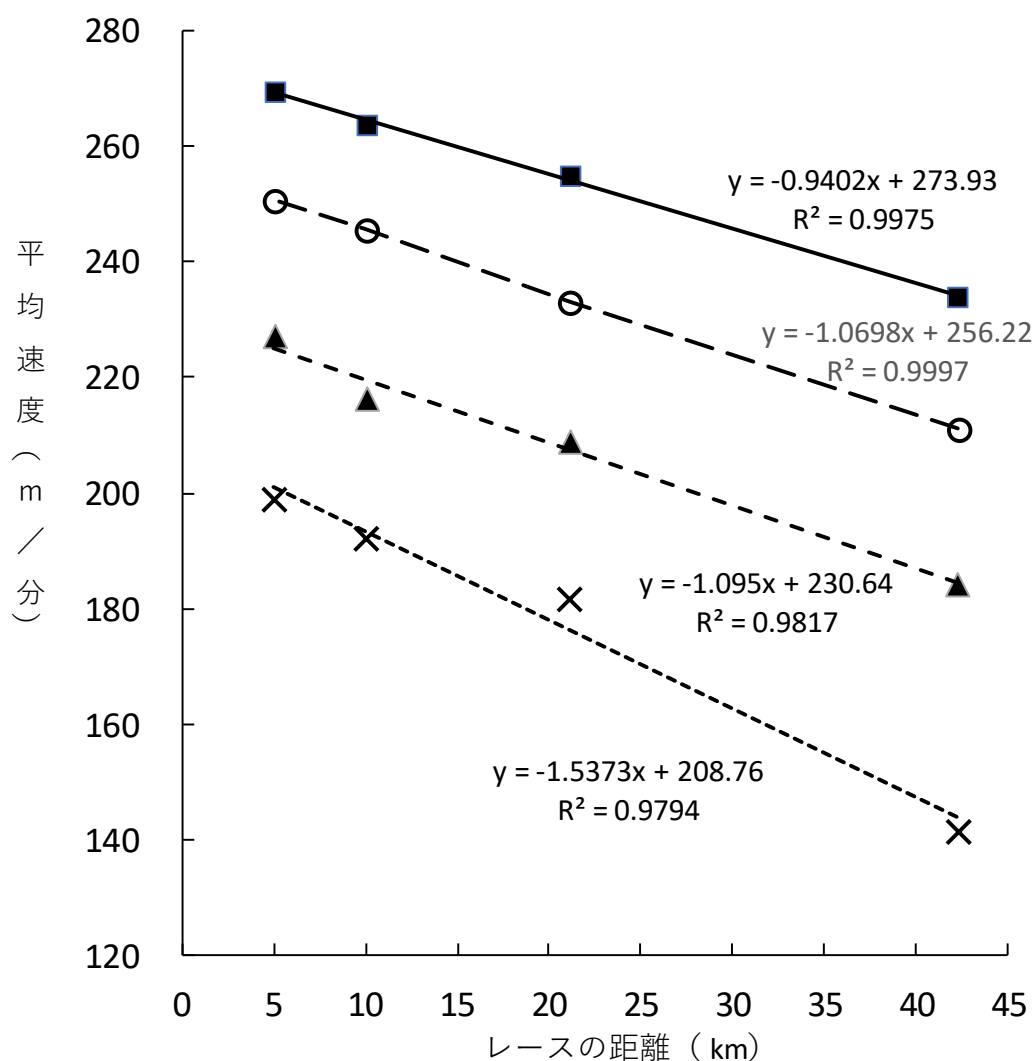


図4-4 レースの距離と平均速度の関係（速度別に4グループに分けた場合）

### 3. 年齢、レースの平均速度と距離に対する速度の変化率の間の関係の評価

71名の内、フルマラソンの記録のみの7名を除く64名については、本人のフルマラソンとそれ以外の距離の記録を用いて、距離に対する平均速度の変化率を計算した。計算方法としては、レース記録のある距離が2点のみの場合は直接傾きを計算し、3点以上の場合は回帰式を計算してその傾きを用いた。

計算結果を表4-4に示す。64名の平均年齢は54歳、マラソンタイムの平均値は約3時間43分、平均速度の平均値は約197 m/分（マラソンタイム3時間35分）、速度変化率の平均値は-1.06 m/分/kmであった。

表4-4 フルマラソン以外の距離のレースを完走した64名における、距離に対する速度の変化率

ID	年齢 (歳)	フルマラソンの	フルマラソン	ハーフマラソン	10キロレース	5キロレース	速度の変化率の
		ベストタイム (時:分:秒)	平均速度 (m/分)	平均速度 (m/分)	平均速度 (m/分)	平均速度 (m/分)	推定値 (m/分/km)
1	40	2:53:08	243.7	276.5	271.5		-0.95
2	41	2:46:20	253.7	270.1	272.4		-0.61
3	41	2:59:11	235.5	239.5	257.5		-0.62
4	41	2:42:11	260.2	274.2			-0.66
5	41	3:36:28	194.9	224.8			-1.42
6	41	6:05:06	115.6		183.3		-2.10
7	42	2:54:58	241.2	258.9	266.3		-0.79
8	42	2:56:47	238.7	257.5	265.4	287.4	-1.14
9	42	2:44:10	257.0	264.5		279.6	-0.59
10	43	2:57:34	237.6		252.3		-0.46
11	44	3:45:34	187.1		228.1		-1.27
12	45	3:53:20	180.8			233.6	-1.42
13	45	3:21:35	209.3	245.0	267.5	273.7	-1.76
14	46	3:34:49	196.4	217.9	220.1	220.9	-0.67
15	46	3:21:20	209.6	226.9			-0.82
16	47	3:48:43	184.5	214.2	228.1	241.7	-1.47
17	47	3:00:54	233.3	260.2	265.0	283.8	-1.22
18	47	5:38:58	124.5	159.3	174.1	174.8	-1.41
19	47	3:05:13	227.8			254.5	-0.72
20	47	3:17:34	213.6		252.0	253.8	-1.12
21	48	3:07:56	224.5	240.2	259.6		-1.04
22	48	3:56:38	178.3	207.6			-1.39
23	49	3:23:18	207.6	225.8	236.0	229.9	-0.70
24	49	4:12:55	166.8	188.7	203.9		-1.14
25	50	4:40:53	150.2	179.6	194.7		-1.38
26	50	3:04:51	228.3	251.0	262.9		-1.08
27	50	4:50:33	145.2	162.4	191.3		-1.35
28	51	3:06:38	226.1	236.4	253.7		-0.81
29	51	2:48:52	249.9	260.5			-0.50
30	51	3:05:13	227.8			254.5	-0.72
31	52	3:15:54	215.4	232.2	249.8	257.7	-1.13
32	52	3:22:21	208.5	228.9	242.0	251.0	-1.11
33	53	3:16:31	214.7	235.2	246.2	251.7	-0.99
34	53	2:59:36	234.9	257.9	268.1		-1.04
36	54	3:24:40	206.2	223.5		243.9	-1.00
37	54	2:59:39	234.9	253.6	266.2	267.6	-0.91
39	55	3:45:10	187.4	213.5		224.9	-1.02
41	57	3:56:25	178.5			209.6	-0.84
42	57	3:52:56	181.1	225.7	233.0	238.9	-1.55
45	59	3:23:28	207.4	226.4	230.6	239.0	-0.80
46	59	3:27:44	203.1	226.5	235.3	243.5	-1.05
47	59	3:14:48	216.6	235.7	251.3	256.4	-1.08
48	59	5:02:31	139.5	183.6	188.9		-1.61
49	60	3:02:27	231.3	245.3	255.6	263.4	-0.83
50	60	3:02:57	230.6	256.1	261.9	262.2	-0.88
51	60	3:46:59	185.9	204.6		210.4	-0.67
52	60	3:53:09	181.0	207.8	213.3	225.2	-1.12
53	61	4:35:38	153.1	194.0	205.5	225.2	-1.82
54	61	3:46:31	186.3		218.3	234.7	-1.19
55	63	4:14:19	165.9	186.1	202.0		-1.10
56	63	4:54:24	143.3	183.9	194.6	190.8	-1.37
57	63	3:49:28	183.9	189.4	210.7	227.1	-1.07
58	64	3:06:54	225.8	241.1	248.8		-0.72
59	64	3:47:16	185.7	191.8			-0.29
60	67	3:32:46	198.3	215.0		230.4	-0.86
61	68	3:29:28	201.4	225.3	236.3	246.5	-1.17
62	68	4:23:38	160.1	182.4	197.5		-1.15
63	68	3:51:17	182.4	200.9	212.8		-0.93
64	69	3:35:21	195.9	218.0	227.7		-0.99
65	69	5:29:23	128.1	137.4	163.1		-1.00
67	70	4:40:21	150.5	162.4	180.1		-0.87
68	71	4:14:55	165.5	192.0		198.2	-0.90
70	73	6:21:57	110.5		172.9		-1.94
71	74	4:49:25	145.8	189.9	195.1	204.8	-1.55
平均	54.2	3:43:19	196.7	220.5	229.4	239.8	-1.06

次に、独立変数を年齢および平均速度とする場合と、年齢か平均速度のいずれかとする3パターンについて回帰分析を行った。その結果を表4-5に示す。

表4-5 独立変数を平均速度／年齢、従属変数を距離に対する平均速度の変化率とした場合の回帰分析の結果

ケース	データ数	独立変数	従属変数	相関係数	標準誤差		係数	標準誤差	P値	外れ値
1-1	64	平均速度 年齢	距離に対する 平均速度の変 化率	0.695	0.263	切片	-3.1904	0.3433	<0.01	なし
						平均速度	0.0077	0.001	<0.01	
						年齢	0.0113	0.004	0.011	
1-2	64	平均速度	距離に対する 平均速度の変 化率	0.644	0.278	切片	-2.3024	0.1905	<0.01	有り
						平均速度	0.0063	0.00113	<0.01	
2-1	63	平均速度 年齢	距離に対する 平均速度の変 化率	0.720	0.247	切片	-3.1072	0.3433	<0.01	なし
						平均速度	0.0076	0.001	<0.01	
						年齢	0.0098	0.0037	0.011	
2-2	63	平均速度	距離に対する 平均速度の変 化率	0.680	0.258	切片	-2.3375	0.17764	<0.01	有り
						平均速度	0.0064	0.0009	<0.01	
3-1	62	平均速度 年齢	距離に対する 平均速度の変 化率	<b>0.745</b>	0.231	切片	-3.0192	0.3187	<0.01	なし
						平均速度	0.0076	0.0009	<0.01	
						年齢	0.0086	0.0035	0.018	
3-2	62	平均速度	距離に対する 平均速度の変 化率	<b>0.715</b>	0.241	切片	<b>-2.3476</b>	0.1652	<0.01	なし
						平均速度	<b>0.0065</b>	0.0008	<0.01	
3-3	62	年齢	距離に対する 平均速度の変 化率	0.156	0.340	切片	-0.76	0.2507	0.004	有り
						年齢	-0.0056	0.0046	<b>0.226</b>	

### (1) 独立変数が年齢と平均速度の場合

データ数（分析対象の人数）にかかわらず、3パターンの中でも最も相関係数が大きく、全てのケースで有意であった。64名の場合、相関係数は0.695、標準誤差は0.263であった。（2）項の分析によって外れ値を示したランナー（標準残差が3以上）を外して計算した63名、62名の場合も同様である。相関係数は62名の場合が最も大きく、相関係数0.745、標準誤差は0.231であった。

### (2) 独立変数が平均速度の場合

(1) 項と同様に全てのケースで有意であった。64名の場合、相関係数は0.644、標準誤差は0.278で(1)のパターンと比較して、相関係数は少し小さく、標準誤差は少し大きかった。64名中で1名(ID:59)が外れ値を示したためそれを外して再分析を行うと、相関係数は0.68、標準誤差は0.258となった。この63名の内1名(ID:13)が外れ値であったため、さらにこの1名を外したところ相関係数は0.715、標準誤差は0.241となった。62名の中に外れ値のランナーはいなくなった。

平均速度と速度変化率の関係を図4-5に示す。

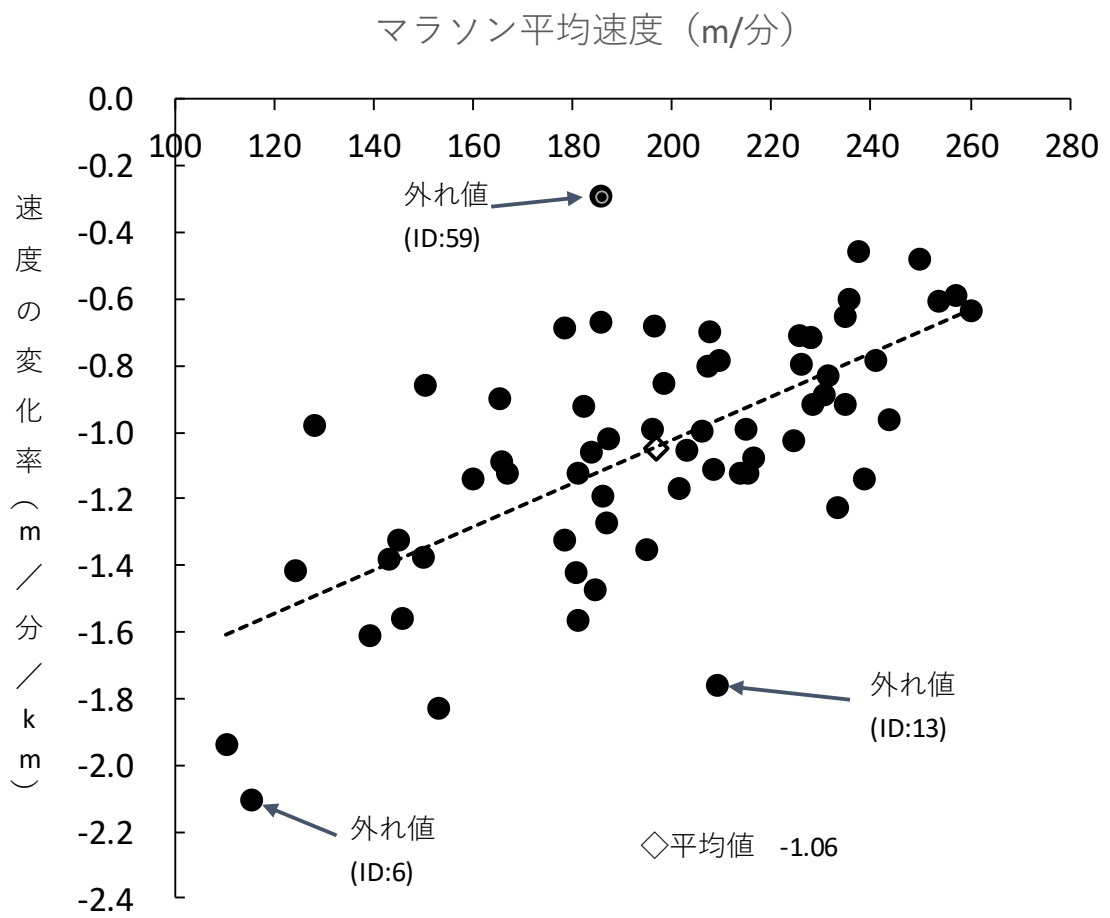


図4-5 フルマラソンの平均速度とレース距離による速度の変化率の関係



### (3) 独立変数が年齢の場合

いずれのケースにおいても、年齢と平均速度の関係は有意ではなかった。

以上のことから、少なくともマラソンの記録（平均速度）がわかれば標準誤差が0.25前後、寄与率約50%（相関係数0.7以上）で距離に対する速度の変化率が予測可能であり、ランナーの年齢が分かればその予測精度が若干向上することが判明した。

## 4. 異なる距離のレース間の記録の関係

前項（2）の結果を用いて、フルマラソンと距離の異なるレース間の記録の変換値を計算した。係数としては、表4-5のケース3-2の値を用いた。

具体的にはフルマラソンと10キロレースおよび

5キロレースについて、速度変化率が推定値の場合と、速度変化率を推定した回帰式の傾きが標準誤差だけ変化した場合の予測タイムを求めた。

### (1) 10kレースとフルマラソンの関係

#### a. 変化率が推定値の場合

フルマラソンにおいて、速度変化率（ $y$ ）と平均速度（ $x$ ）の関係は表4-5のケース3-2の数字を用いて

$$Y = 0.0065X - 2.3476$$

10キロレースの平均速度（ $Z$ ）と速度変化率（ $Y$ ）間の関係は

$$Z = X - 32.195Y$$

上の式を下の式に代入すると

$$Z = X - 32.195 \times (0.0065X - 2.3476)$$

$$= X - 0.209X + 75.58$$

$$= 0.791X + 75.58$$

$$0.791X = Z - 75.58$$

$$Z = 0.791X + 75.58 \quad \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

$$X = 1.264 \times Z - 95.55 \quad \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

b. 変化率（傾き）が推定値 - 誤差（0.008）の場合

$$Y = 0.0057X - 2.3476$$

10キロレースの平均速度（Z）と速度変化率(Y)間の関係は

$$Z = X - 32.195Y$$

上の式を下の式に代入すると

$$Z = X - 32.195 \times (0.0057X - 2.3476)$$

$$= X - 0.1835X + 75.58$$

$$= 0.8165X + 75.58$$

$$0.8165X = Z - 75.58$$

$$Z = 0.8165X + 75.58 \quad \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

$$X = 1.225 \times Z - 92.57 \quad \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

c. 変化率（傾き）が推定値 + 標準誤差（0.008）の場合

$$Y = 0.0073X - 2.3476$$

10キロレースの平均速度（Z）と速度変化率(Y)間の関係は

$$Z = X - 32.195Y$$

上の式を下の式に代入すると

$$Z = X - 32.195 \times (0.0073X - 2.3476)$$

$$= X - 0.235X + 75.58$$

$$= 0.765X + 75.58$$

$$0.765X = Z - 75.58$$

$$Z = 0.765X + 75.58 \quad \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

$$X = 1.307 \times Z - 98.8 \quad \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

(2) 5kレースとフルマラソンの関係

a. 変化率が推定値の場合

フルマラソンにおいて、速度変化率（y）と平均速度（x）の関係は表

4-5のケース3-2の数字を用いて

$$Y = 0.0065X - 2.3476$$

5キロレースの平均速度（Z）と速度変化率(Y)間の関係は

$$Z = X - 37.195Y$$

上の式を下の式に代入すると

$$Z = X - 37.195 \times (0.0065X - 2.3476)$$

$$= X - 0.242X + 87.32$$

$$= 0.758X + 87.32$$

$$0.758X = Z - 87.32$$

$$Z = 0.758X + 87.32 \quad \dots \dots \dots \textcircled{7}$$

$$X = 1.319 \times Z - 115.20 \quad \dots \dots \dots \textcircled{8}$$

b. 変化率（傾き）が推定値 - 標準誤差（0.008）の場合

$$Y = 0.0057X - 2.3476$$

5キロレースの平均速度（Z）と速度変化率（Y）間の関係は

$$Z = X - 37.195Y$$

上の式を下の式に代入すると

$$Z = X - 37.195 \times (0.0057X - 2.3476)$$

$$= X - 0.212X + 87.32$$

$$= 0.788X + 87.32$$

$$0.788X = Z - 87.32$$

$$Z = 0.788X + 87.32 \quad \dots \dots \dots \textcircled{9}$$

$$X = 1.269 \times Z - 110.81 \quad \dots \dots \dots \textcircled{10}$$

c. 変化率（傾き）が推定値 + 標準誤差（0.008）の場合

$$Y = 0.0073X - 2.3476$$

5キロレースの平均速度（Z）と速度変化率(Y)間の関係は

$$Z = X - 37.195Y$$

上の式を下の式に代入すると

$$Z = X - 37.195 \times (0.0073X - 2.3476)$$

$$= X - 0.2715X + 87.32$$

$$= 0.7285X + 87.32$$

$$0.7285X = Z - 87.32$$

$$Z = 0.7285X + 87.32 \quad \dots \dots \dots \textcircled{11}$$

$$X = 1.373 \times Z - 119.86 \quad \dots \dots \dots \textcircled{12}$$

式①、③、⑤、⑦、⑨、⑪を用いてフルマラソンから、5キロおよび10キロレースの結果を推定したものを表4-6に、式②、④、⑥、⑧、⑩、⑫を用いて、5キロ及び10キロレースの結果からフルマラソンの記録を推定した結果を表4-7に示す。

表4-6 フルマラソンのタイムと速度変化率から5 km/10 kmレースの結果を予測

フルマラソン			変化率の傾きが推定値+標準誤差の場合		変化率が推定値の場合			変化率の傾きが推定値-標準誤差の場合	
レース 距離	完走時間 (時:分)	平均速度 (m/分)	フルの推定速度 (m/分)	推定タイム (時:分:秒)	推定変化率 (m/分/km)	推定速度 (m/分)	推定タイム (時:分:秒)	推定速度 (m/分)	推定タイム (時:分:秒)
10 km	<b>2:45</b>	255.7	271.2	<b>0:36:52</b>	-0.54	277.9	<b>0:35:59</b>	284.4	<b>0:35:10</b>
	<b>3:00</b>	234.4	254.9	<b>0:39:14</b>	-0.65	261.0	<b>0:38:19</b>	267.0	<b>0:37:27</b>
	<b>3:15</b>	216.4	241.1	<b>0:41:28</b>	-0.74	246.7	<b>0:40:32</b>	252.3	<b>0:39:39</b>
	<b>3:30</b>	200.9	229.3	<b>0:43:37</b>	-0.82	234.5	<b>0:42:38</b>	239.6	<b>0:41:44</b>
	<b>3:45</b>	187.5	219.0	<b>0:45:39</b>	-0.89	223.9	<b>0:44:40</b>	228.7	<b>0:43:44</b>
	<b>4:00</b>	175.8	210.1	<b>0:47:36</b>	-0.95	214.6	<b>0:46:35</b>	219.1	<b>0:45:38</b>
	<b>4:15</b>	165.5	202.2	<b>0:49:28</b>	-1.01	206.5	<b>0:48:26</b>	210.7	<b>0:47:28</b>
	<b>4:30</b>	156.3	195.1	<b>0:51:15</b>	-1.05	199.2	<b>0:50:12</b>	203.2	<b>0:49:13</b>
	<b>4:45</b>	148.1	188.8	<b>0:52:57</b>	-1.10	192.7	<b>0:51:54</b>	196.5	<b>0:50:54</b>
	<b>5:00</b>	140.7	183.2	<b>0:54:36</b>	-1.13	186.8	<b>0:53:31</b>	190.4	<b>0:52:31</b>
	<b>5:30</b>	127.9	173.4	<b>0:57:40</b>	-1.20	176.7	<b>0:56:35</b>	180.0	<b>0:55:34</b>
5 km	<b>2:45</b>	255.7	273.6	<b>0:18:16</b>	-0.69	281.2	<b>0:17:47</b>	288.8	<b>0:17:19</b>
	<b>3:00</b>	234.4	258.1	<b>0:19:22</b>	-0.82	265.0	<b>0:18:52</b>	272.0	<b>0:18:23</b>
	<b>3:15</b>	216.4	245.0	<b>0:20:25</b>	-0.94	251.3	<b>0:19:54</b>	257.8	<b>0:19:24</b>
	<b>3:30</b>	200.9	233.7	<b>0:21:24</b>	-1.04	239.6	<b>0:20:52</b>	245.7	<b>0:20:21</b>
	<b>3:45</b>	187.5	223.9	<b>0:22:20</b>	-1.13	229.5	<b>0:21:47</b>	235.1	<b>0:21:16</b>
	<b>4:00</b>	175.8	215.4	<b>0:23:13</b>	-1.20	220.6	<b>0:22:40</b>	225.9	<b>0:22:08</b>
	<b>4:15</b>	165.5	207.9	<b>0:24:03</b>	-1.27	212.7	<b>0:23:30</b>	217.7	<b>0:22:58</b>
	<b>4:30</b>	156.3	201.2	<b>0:24:51</b>	-1.33	205.8	<b>0:24:18</b>	210.5	<b>0:23:45</b>
	<b>4:45</b>	148.1	195.2	<b>0:25:37</b>	-1.39	199.5	<b>0:25:03</b>	204.0	<b>0:24:31</b>
	<b>5:00</b>	140.7	189.8	<b>0:26:21</b>	-1.43	193.9	<b>0:25:47</b>	198.2	<b>0:25:14</b>
	<b>5:30</b>	127.9	180.5	<b>0:27:42</b>	-1.52	184.2	<b>0:27:08</b>	188.1	<b>0:26:35</b>

表4-7 5 km/10 kmのレースの結果からフルマラソンのタイムを予測

レース 距離	レース タイム (時:分)	平均速度 (m/分)	変化率の傾きが推定値+標準誤差の場合			変化率が推定値の場合				変化率の傾きが推定値-標準誤差の場合		
			フルの推定 速度 (m/分)	推定タイム (時:分:秒)	レース タイム の比率	推定変化率 (m/分/km)	フルの推定 速度 (m/分)	推定タイム (時:分:秒)	レース タイム の比率	フルの推定 速度 (m/分)	推定タイム (時:分:秒)	レース タイム の比率
10 km	<b>0:36</b>	277.8	264.3	<b>2:39:40</b>	4.44	-0.69	255.6	<b>2:45:06</b>	4.59	247.7	<b>2:50:21</b>	4.73
	<b>0:38</b>	263.2	245.1	<b>2:52:07</b>	4.53	-0.81	237.1	<b>2:57:59</b>	4.68	229.8	<b>3:03:37</b>	4.83
	<b>0:40</b>	250.0	228.0	<b>3:05:06</b>	4.63	-0.91	220.5	<b>3:11:24</b>	4.79	213.7	<b>3:17:28</b>	4.94
	<b>0:42</b>	238.1	212.4	<b>3:18:40</b>	4.73	-1.01	205.4	<b>3:25:26</b>	4.89	199.1	<b>3:31:56</b>	5.05
	<b>0:44</b>	227.3	198.2	<b>3:32:51</b>	4.84	-1.10	191.7	<b>3:40:05</b>	5.00	185.8	<b>3:47:03</b>	5.16
	<b>0:46</b>	217.4	185.3	<b>3:47:40</b>	4.95	-1.18	179.2	<b>3:55:25</b>	5.12	173.7	<b>4:02:52</b>	5.28
	<b>0:48</b>	208.3	173.5	<b>4:03:13</b>	5.07	-1.26	167.8	<b>4:11:29</b>	5.24	162.6	<b>4:19:26</b>	5.41
	<b>0:50</b>	200.0	162.6	<b>4:19:30</b>	5.19	-1.33	157.3	<b>4:28:20</b>	5.37	152.4	<b>4:36:49</b>	5.54
	<b>0:52</b>	192.3	152.5	<b>4:36:36</b>	5.32	-1.39	147.5	<b>4:46:01</b>	5.50	143.0	<b>4:55:03</b>	5.67
	<b>0:54</b>	185.2	143.2	<b>4:54:35</b>	5.46	-1.45	138.5	<b>5:04:36</b>	5.64	134.3	<b>5:14:14</b>	5.82
<b>0:56</b>	178.6	134.6	<b>5:13:30</b>	5.60	-1.50	130.2	<b>5:24:10</b>	5.79	126.2	<b>5:34:24</b>	5.97	
5 km	<b>0:18</b>	277.8	261.5	<b>2:41:20</b>	8.96	-0.71	251.2	<b>2:47:59</b>	9.33	241.7	<b>2:54:35</b>	9.70
	<b>0:19</b>	263.2	241.5	<b>2:54:45</b>	9.20	-0.84	231.9	<b>3:01:57</b>	9.58	223.1	<b>3:09:06</b>	9.95
	<b>0:20</b>	250.0	223.4	<b>3:08:53</b>	9.44	-0.95	214.6	<b>3:16:40</b>	9.83	206.4	<b>3:24:24</b>	10.22
	<b>0:21</b>	238.1	207.0	<b>3:23:48</b>	9.70	-1.06	198.8	<b>3:32:12</b>	10.10	191.3	<b>3:40:32</b>	10.50
	<b>0:22</b>	227.3	192.2	<b>3:39:33</b>	9.98	-1.15	184.6	<b>3:48:37</b>	10.39	177.6	<b>3:57:35</b>	10.80
	<b>0:23</b>	217.4	178.6	<b>3:56:14</b>	10.27	-1.23	171.5	<b>4:05:59</b>	10.69	165.1	<b>4:15:38</b>	11.11
	<b>0:24</b>	208.3	166.2	<b>4:13:55</b>	10.58	-1.31	159.6	<b>4:24:24</b>	11.02	153.6	<b>4:34:46</b>	11.45
	<b>0:25</b>	200.0	154.7	<b>4:32:41</b>	10.91	-1.38	148.6	<b>4:43:57</b>	11.36	143.0	<b>4:55:05</b>	11.80
	<b>0:26</b>	192.3	144.2	<b>4:52:39</b>	11.26	-1.45	138.5	<b>5:04:46</b>	11.72	133.2	<b>5:16:43</b>	12.18
	<b>0:27</b>	185.2	134.4	<b>5:13:57</b>	11.63	-1.51	129.1	<b>5:26:57</b>	12.11	124.2	<b>5:39:46</b>	12.58
<b>0:28</b>	178.6	125.3	<b>5:36:42</b>	12.03	-1.57	120.3	<b>5:50:39</b>	12.52	115.8	<b>6:04:23</b>	13.01	

## 第4節 考察

5kmレースの結果からフルマラソンの結果を予測する場合について、先行研究との比較を行った。71名の中に、フルマラソンに加えて5キロレースのデータを持つランナーが37名いるため、その37名の実測値と、今回の方法で速度から予測した速度変化率（表4-2のケース2）を用いてマラソンタイムを予測した結果、そしてLiegel Time方式で計算した結果を図4-6に示す。DanielsのVDOTの表を用いた予測値（ダニエルズ，2016）はほぼLiegel Time方式と同じである。

先行研究の予測式はマラソンタイムにかかわらずフルと5 kmの完走時間の比率は一定である（今回の例では約9.5倍）一方、今回の方式では完走時間が長くなるほど比率が大きくなるため、完走時間が長いほどLiegel Time方式と本検討による予測値の差が大きくなっている。実測値との差は全体的には今回の方法の方が小さかった。



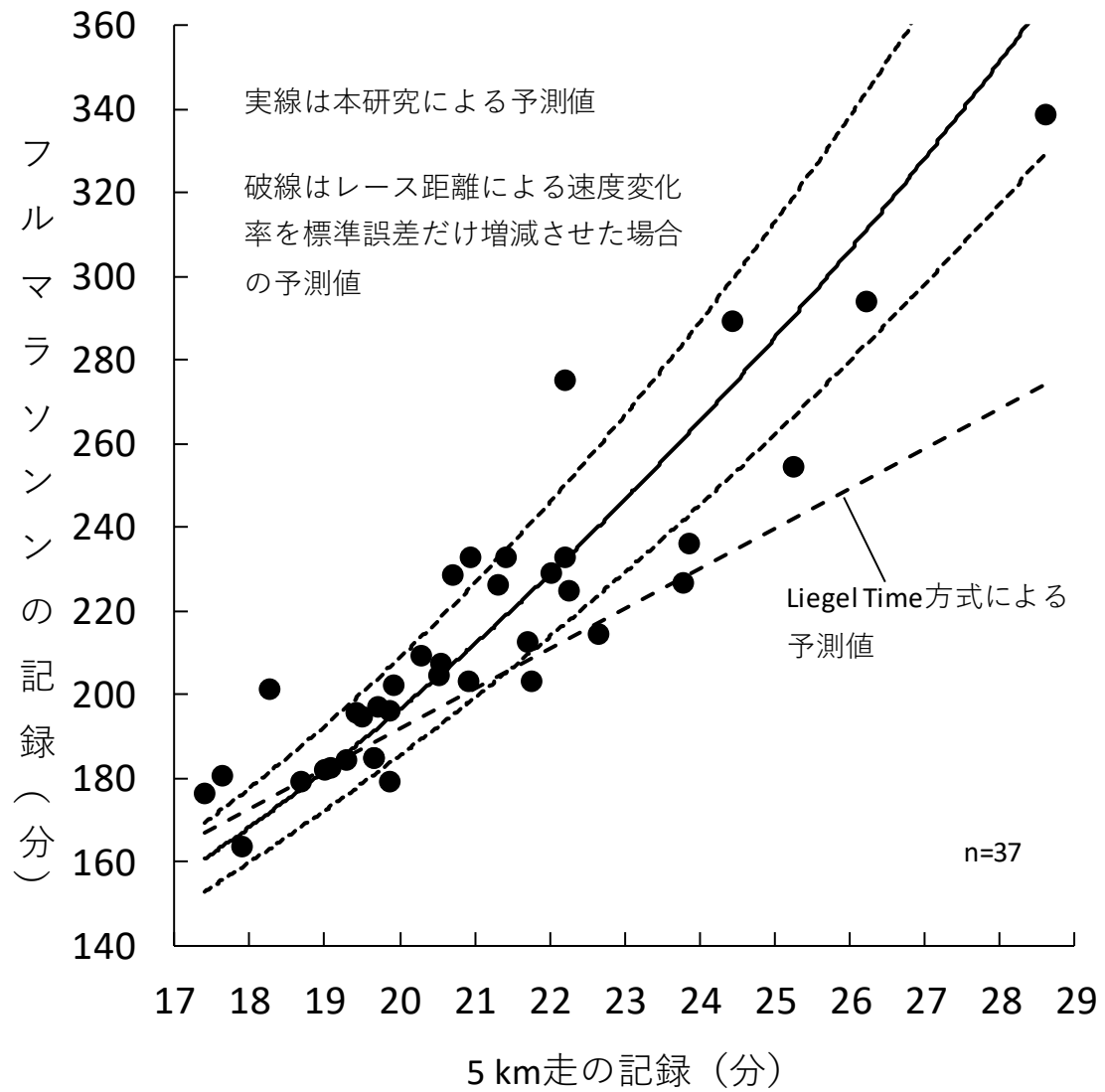


図4-6 5 kmレースの記録からフルマラソンの記録を予測(先行研究との比較)

## 第5節 結論

ランニングクラブに所属し、フルマラソンの大会に参加する40歳から74歳の中高年男性市民ランナー71名を対象として、5kmからハーフまでのレースの結果を含むデータを分析したところ、年齢に対する平均速度の変化率は74歳までを対象とした場合  $-2.3$  m/分/歳、65歳以下に限定した場合は $-1.9$  m/分/歳であり、第1節の結果とほぼ一致した。また、レース距離とレースの平均速度の関係は、レース距離の対数値にではなくて、レース距離に対して直線的に変化することが示唆された。距離に対する平均速度の変化率は平均速度と年齢から推定することが可能であり、速度が大きい程、また年齢が高い程、平均速度の変化率の絶対値は小さかった。平均速度だけを用いるよりも、年齢も用いた方が推定精度はあがるが、平均速度に比べて年齢の与える影響は小さかった。

## 第5章【研究課題3】中高年男性ランナーの最大酸素摂取量の推定

### 第1節 目的

健康に関心の深い中高年男性市民ランナーが「最大酸素摂取量」（全身持久性体力に関する代表的な指標であり、健康との関連が深いことが明らかになってきている）を簡便に調べる方法について検討し、推定式を提案する。さらに我が国の中高年男性ランナーの健康状態を知るための情報のひとつとして、マラソン記録等のデータから最大酸素摂取量の分布の推定を行うことを目的とする。

### 第2節 方法

#### 1. 分析対象

- (1) 茨城県南部在住の中高年男性市民ランナーの体力測定等結果（21名分、表5-1）

茨城県南部において、3年以上のランニング経験があり、かつ3年以内にフルマラソンとハーフマラソン大会に完走した実績のあるランナー21名を対象にした。分析に用いた情報は、体力測定の結果や活動量計の記録、アンケートによる月間走距離のデータ、フル及びハーフマラソンのベストタイムなど。期間（3年間）内に同じ距離のレースで複数回の記録がある場合は、最速記録を採用した。ランナーの年齢としては、フルマラソンにおいてベストタイムを記録した際の年齢を用いた。

表5-1 中高年男性市民ランナーの体力測定等結果 (21名)

ID	測定結果						活動量計 による推 定月間走 距離	アンケート結果					
	身長 (cm)	体重 (kg)	年齢 (歳)	活力度 (歳)	体力度 (歳)	最大酸素摂 取量(自転 車) (ml/分/kg)		ランニング 歴 (年)	平均月間 走距離(自 己申告) (km)	練習の 走速度 (分/km)	故障 経験 数 (回)	フルマラソン ベストタイム (時:分:秒)	ハーフマラソン ベストタイム (時:分:秒)
3	177.5	71.3	42	14.7	-0.1	51.6	314	24	350	4.64	0	2:59:11	1:28:06
9	169.9	55.8	42	11.3	12.4	57.5	516	6	425	5.03	3	2:44:10	1:19:46
14	171.9	64.9	48	17.6	11.3	42.9	307	10	300	6.67	0	3:34:49	1:36:49
17	170.8	53.0	47	13.8	12.8	59.4	168	9	350	5.27	3	3:00:54	1:21:05
29	168.2	59.2	53	6.1	1.9	52	800	8	400	5.75	0	2:48:00	1:21:00
32	169.8	60.3	54	17.4	18.9	47.5	無	3.5	225	6.28	5	3:22:02	1:34:24
34	158.6	54.6	51	17.7	22.2	66.1	271	6	320	6.19	3	2:59:36	1:21:49
35	163.2	61.0	56	17.1	9.9	33.9	16	6	70	7.5	2	5:20:00	2:15:00
53	166.8	59.6	62	23.2	18.6	50.4	229	25	250	6.18	0	4:35:38	1:48:44
59	152.8	51.6	64	11	2.5	38.8	無	8	250	6.58	0	3:47:16	1:49:59
60	175.4	63.1	65	11.3	10.4	36.3	234	25	200	6.88	2	3:32:46	1:38:08
63	167.9	57.0	66	23.9	20.6	39.8	118	5	250	6.1	1	3:51:17	1:45:00
70	172.2	67.7	67	14.2	15.2	44.6	318	4	100	7.3	1	5:29:23	2:33:33
71	161.4	52.0	73	27.4	21.9	45.4	140	31	250	6.7	5	4:49:25	1:52:31
72	169.5	59.1	46	1.3	3	41.5	242	13	250	5.26	3	3:07:56	1:27:50
73	186.4	78.6	53	20.1	28.2	55	739	12	375	6.08	2	3:13:00	1:29:00
74	168.5	59.4	59	15.6	15	45.4	178	11	180	6.3	4	3:46:59	1:43:08
75	174.9	69.9	64	15.3	13.4	53.7	218	28	350	5.75	1	3:00:00	1:26:00
76	167.2	52.2	65	24.8	21.5	46.6	179	6	250	6.06	1	3:29:28	1:33:38
77	168.8	64.2	69	22.3	7.3	40.4	170	10	150	6.5	1	4:28:00	1:59:00
78	164.2	58.4	71	20.2	11.2	36.5	105	58	270	7.17	0	4:14:55	1:49:53

無: データなし

(2) 茨城県南部の中老年男性市民ランナーのレース結果等 (24名分、表5-2)

茨城県南部において、地元のランニングクラブに所属し、3年以内に少なくとも1回以上のフルマラソンの経験があるランナー71名の中で、自転車エルゴメータ（モナーク社製）で最大酸素摂取量の測定を行った40歳以上の男性24名を分析対象とした。分析対象レースとしてはフルマラソン、ハーフマラソン、10kmレース、5kmレースとし、期間（3年間）内に同じ距離のレースで複数回の記録がある場合は、最速記録を採用した。

なお、表5-1と表5-2のIDの数字が同じ場合は同じランナーである（両表共通なのは10名）。表4-1/表5-1/表5-2で示したランナーグループの関係を図4-7に示す。

表5-2 分析対象者一覧 (24名)

ID	フルベスト		ハーフベスト タイム	10キロベスト タイム	5キロベスト タイム	フル 平均速度 (m/分)	ハーフ 平均速度 (m/分)	10キロ 平均速度 (m/分)	5キロ 平均速度 (m/分)	最大酸素 摂取量 実測値 (ml/分/kg)
	年齢 (歳)	タイム (時:分:秒)								
3	41	2:59:11	1:28:06	0:38:50		235.5	239.5	257.5		51.6
9	42	2:44:10	1:19:46		0:17:53	257.0	264.5		279.6	57.5
14	46	3:34:49	1:36:49	0:45:26	0:22:38	196.4	217.9	220.1	220.9	42.9
17	47	3:00:54	1:21:05	0:37:44	0:17:37	233.3	260.2	265.0	283.8	59.4
28	51	3:06:38	1:29:14	0:39:25		226.1	236.4	253.7		55.0
30	51	3:05:13			0:19:39	227.8			254.5	45.8
32	52	3:22:21	1:32:11	0:41:19	0:19:55	208.5	228.9	242.0	251.0	49.2
34	53	2:59:36	1:21:49	0:37:18	0:19:51	234.9	257.9	268.1		66.1
35	53	5:20:00				131.9				37.8
36	54	3:24:40	1:34:24		0:20:30	206.2	223.5		243.9	47.5
38	54	3:14:19				217.1				43.5
40	56	3:32:45				198.3				43.5
43	57	3:53:57				180.4				43.4
44	58	3:26:54				203.9				42.7
47	59	3:14:48	1:29:30	0:39:48	0:19:30	216.6	235.7	251.3	256.4	54.0
51	60	3:46:59	1:43:08		0:23:46	185.9	204.6		210.4	45.4
53	61	4:35:38	1:48:44	0:48:40	0:22:12	153.1	194.0	205.5	225.2	52.8
58	64	3:06:54	1:27:30	0:40:12		225.8	241.1	248.8		53.7
61	68	3:29:28	1:33:38	0:42:19	0:20:17	201.4	225.3	236.3	246.5	46.6
63	68	3:51:17	1:45:00	0:47:00		182.4	200.9	212.8		39.8
65	69	5:29:23	2:33:33	1:01:18		128.1	137.4	163.1		42.3
68	71	4:14:55	1:49:53		0:25:14	165.5	192.0		198.2	36.5
69	72	5:26:01				129.4				33.6
71	74	4:49:25	1:51:07	0:51:16	0:24:25	145.8	189.9	195.1	204.8	45.4

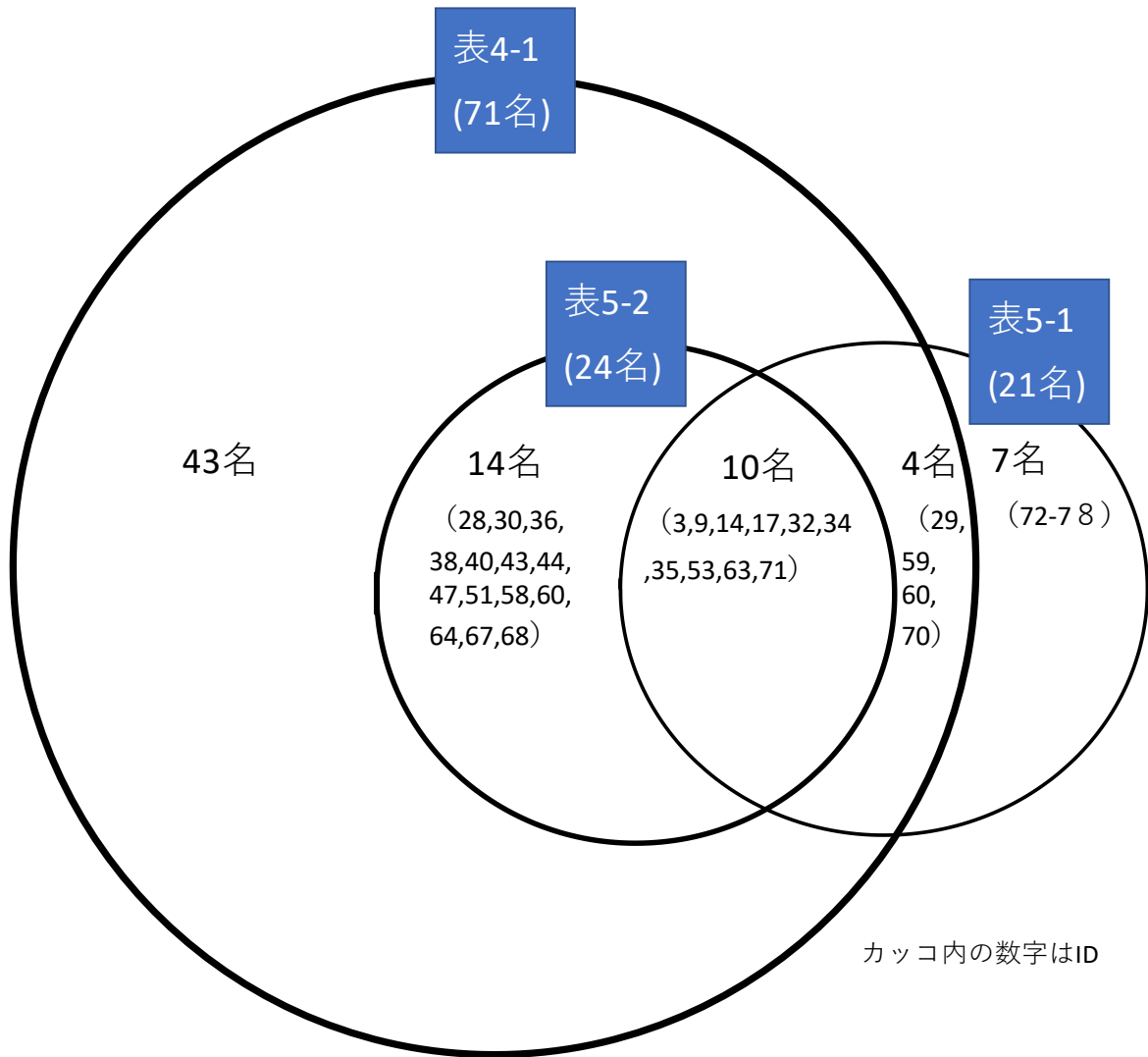


図4-7 表4-1/表5-1/表5-2の間の関係

### (3) 全日本マラソンランキングのデータ

第13回全日本マラソンランキング（2016年4月▶2017年3月）（ランナーズ編集部，2017）のデータ中の中高年男性の年齢別マラソン記録を分析対象とした。

## 2. 作業の流れ

- (1) 最大酸素摂取量と各種パラメータの関係の確認
- (2) マラソン平均速度等を用いた最大酸素摂取量の推定方法と自転車エルゴメータを用いた測定結果の比較
- (3) 既存の推定方法と今回の方法の比較
- (4) 全日本マラソンランキングのデータに今回の計算式を適用して、我が国の中高年男性ランナーの年齢別の最大酸素摂取量の分布を計算



### 3. 評価項目

#### (1) 最大酸素摂取量と各種パラメータの関係の確認

表5-1の21名を対象にして、体力測定結果やランナーへのアンケート結果などを用いて、各種パラメータ間の相関係数を計算し、最大酸素摂取量と関係の深いパラメータを抽出した。

なお、最大酸素摂取量の推定値は、次項の計算式によりフルマラソン記録とハーフマラソンの記録から、12分間走の距離を計算し、その値にCooperの式を適用して求めた。

#### (2) マラソン平均速度等を用いた最大酸素摂取量の推定方法と自転車エルゴメータを用いた測定結果の比較

表5-2の24名の内、フルマラソン以外のレースも完走した18名のデータを用いて、フルマラソン等の記録から推定した最大酸素摂取量の推定値と、自転車エルゴメータを用いた測定値の結果を比較した。

#### (3) 既存の推定方法と今回の方法の比較

本研究で導出した推定式による推定結果と、先行研究で提案された計算式による推定値、自転車エルゴメータによる測定結果の比較を行った。方式間の相関についても検討した。

#### (4) 我が国の中高年男性ランナーの年齢別の最大酸素摂取量の分布

全日本マラソンランキングのデータに今回の計算式を適用して、我が国の中高年男性ランナーの年齢別の最大酸素摂取量の分布を推定した。

#### 4. 計算式

##### (1) 12分間走の記録の推定方法 (図5-1にイメージ図を示す)

横軸をレースの距離 $X$  (km)、縦軸をレース中の平均速度 $Y$  (m/分) とすると、レース距離に対する平均速度の変化率を $a$  (m/分/km)、切片を $b$  (m/分) として、以下の式が成り立つ。

$$Y = aX + b \quad \dots \dots \dots \textcircled{1}$$

フルマラソンの完走時の平均速度を $FV$  (m/分) とすると、

$X = 42.195$ の時、 $Y = FV$  となる。

これを①に代入すると

$$FV = 42.195a + b$$

$$b = -42.195a + FV \quad \dots \dots \dots \textcircled{2}$$

③ を①に代入すると

$$Y = aX - 42.195a + FV \quad \dots \dots \dots \textcircled{3}$$

一方、12分間走は分速 ( $Y$ ) の12倍が走った距離 ( $X$ ) になる。 $X$ 軸は単位が (km) なので、 $12Y = 1000X$  の関係がある。これを变形すると

$$Y = 83.33X \quad \dots \dots \dots \textcircled{4}$$

になる。③と④から

$$aX - 42.195a + FV = 83.33X$$

$$(83.33 - a)X = FV - 42.195a$$

$$X = (FV - 42.195a) / (83.33 - a) \quad \dots \dots \dots \textcircled{5}$$

式⑤がフルマラソンの記録と距離に対する変化率 (傾き) から12分間走の記録を推定する式である (単位はkm)。

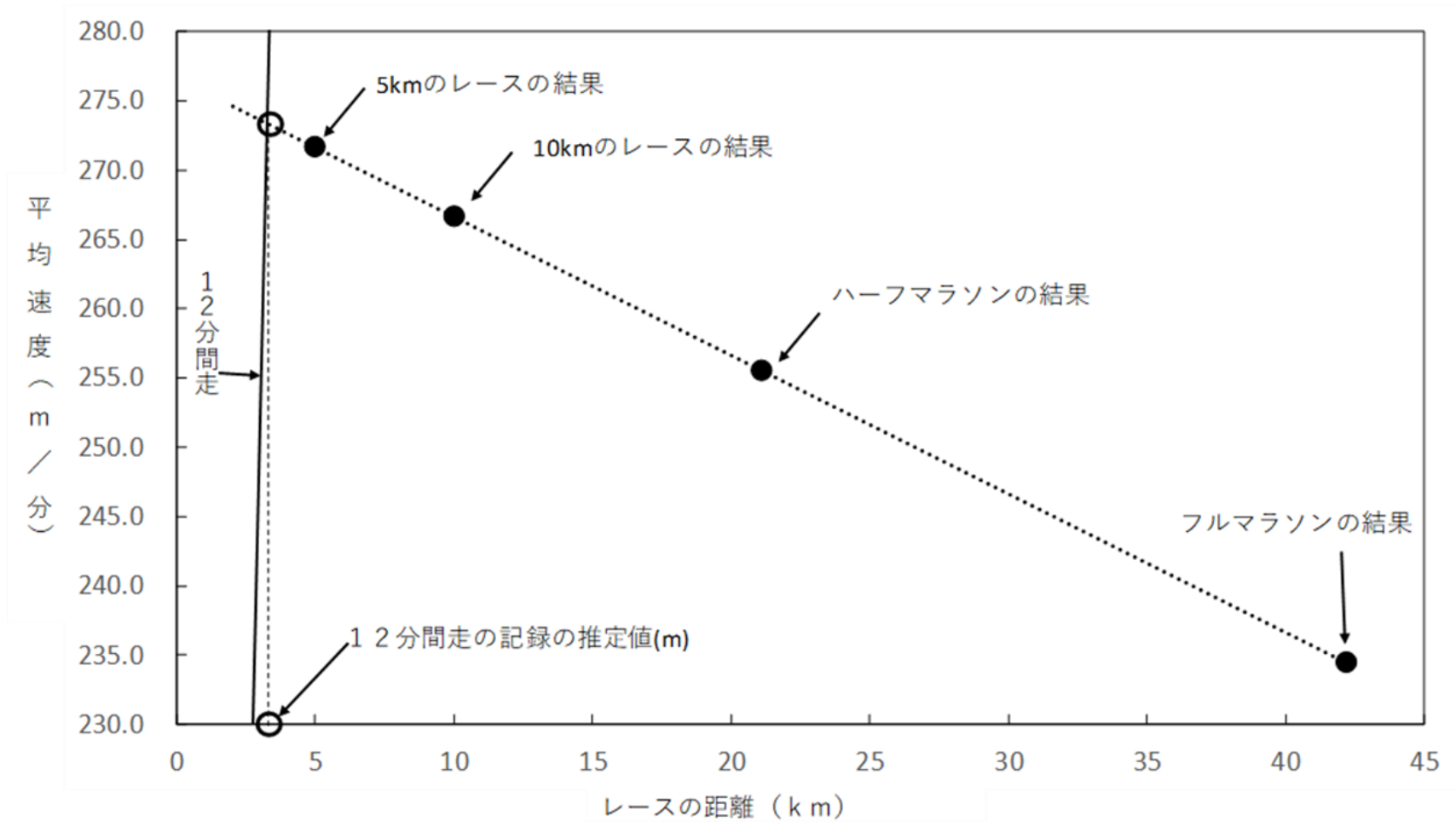


図5-1 フルマラソン等の平均速度と12分間走の記録の関係

(2) 12分間走の記録から最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) を推定する方法

12分間走の距離 (X) から最大酸素摂取量 (Y) を求めるものとしては以下のクーパーの式が有名である。

$$Y = (X - 0.5049)/0.04473 \quad \dots \dots \dots \textcircled{6}$$

⑤を⑥に代入すると

$$\begin{aligned} Y &= ( (FV - 42195a) / (83.33 - a) - 0.5049) / 0.04473 \\ &= (FV - 42.195a) / (83.33 - a) / 0.04473 - 0.5049 / 0.04473 \\ &= 22.36 \times (FV - 42.195a) / (83.33 - a) - 11.29 \dots \dots \dots \textcircled{7} \end{aligned}$$

⑦において分母の a が変化しても分子に比べると無視できるくらい小さいので、a = -1.0とすると

$$\begin{aligned} Y &= 22.36 \times (FV - 42.195a) / (83.33 + 1) - 11.29 \\ &= (22.36/84.33) \times (FV - 42.195a) - 11.29 \\ &= 0.265 \cdot (FV - 42.195a) - 11.29 \\ &= 0.265FV - 11.18a - 11.29 \quad \dots \dots \dots \textcircled{8} \end{aligned}$$

⑧によれば、フルマラソンの平均速度 (FV) が速い程、また、距離に対する速度の変化率 (a) が大きい程、 $\dot{V}O_{2max}$ は多い。

aが既知の場合は⑧を用いて、 $\dot{V}O_{2max}$ を推定することが可能である (推定式1)。

平均速度が同じで、変化率に  $\Delta a$  の差があった場合に  $\dot{V}O_{2max}$  は ⑧より

$$11.18 \times \Delta a \quad \dots \dots \dots \textcircled{9}$$

だけ変わってくる。

### 【最大酸素摂取量の推定式 2】

距離に対する速度の変化率 (a) 値が定数であると想定して、第4章の71名の平均値である - 1.06を代入すると、

$$Y = 0.265FV - 0.56 \quad \dots \dots \dots \textcircled{10}$$

マラソン平均速度 (FV) に0.265をかけると $\dot{V}O_2\max$ が簡易的に計算できる。

### 【最大酸素摂取量の推定式 3】

距離に対する速度の変化率 (a) の値がマラソン平均速度 (FV) の関数であると想定して

$$a = Co + Cs \times FV \quad \dots \dots \dots \textcircled{11}$$

但し、 $Co$  : 回帰式の切片

$Cs$  : 回帰式のマラソン平均速度の係数

⑩を⑧に代入すると

$$\begin{aligned} Y &= 0.265FV - 11.18 \times (Co + Cs \times FV) - 11.29 \\ &= (0.265 - 11.18 \times Cs) \times FV - (11.18 \times Co) - 11.29 \\ &\dots \dots \dots \textcircled{12} \end{aligned}$$

第4章の63名の分析結果 (表4-5のケース2-2) では

$$Co = -2.338$$

$$Cs = 0.0064$$

であったので、これらを⑫に代入すると、

$$Y = 0.193FV + 14.85 \quad \dots \dots \dots \textcircled{13}$$

**【最大酸素摂取量の推定式 4】**

距離に対する速度の変化率 (a) をランナーの年齢 (g) 及びマラソンの速度 (FV) から推定した場合。

$$a = Co + (Cg \times g) + (Cs \times FV) \quad \dots \dots \dots \textcircled{14}$$

但し、Co : 回帰式の切片

Cg : 回帰式の年齢の係数

Cs : 回帰式のマラソン平均速度の係数

⑬を⑧に代入すると

$$\begin{aligned} Y &= 0.265FV - 11.18 \times (Co + Cg \times g + Cs \times FV) - 11.29 \\ &= (0.265 - 11.18 \times Cs) \times FV - (11.18 \times Cg \times g) - (11.18 \times Co) \\ &\quad - 11.29 \quad \dots \dots \dots \textcircled{15} \end{aligned}$$

第4章の63名の分析結果 (表4-2) では

$$Co = - 3.107$$

$$Cs = 0.0076$$

$$Cg = 0.0098$$

であったので、これらを⑮に代入すると。

$$Y = 0.180FV - 0.110g + 23.45 \quad \dots \dots \dots \textcircled{16}$$

また、⑮を変形すると

$$\begin{aligned} (0.265 - 11.18 \times Cs) \times FV &= Y + (11.18 \times Cg \times g) + (11.18 \times Co) + 11.29 \\ FV &= (Y + (11.18 \times Cg \times g) + (11.18 \times Co) + 11.29) / (0.265 - \\ &11.18 \times Cs) \quad \dots \dots \dots \textcircled{17} \end{aligned}$$

⑰に回帰式のパラメータや年齢、求めたいVo<sub>2</sub>max (Y) を入力すると、マラソン平均速度を推定することが可能である。

## 5. 統計解析

統計解析にはIBM SPSS 22.0 for Windowsを用いた。

## 6. 倫理的配慮

レースの結果については、主にランニングクラブのホームページにてインターネットに公開されているものを利用し、不足分及び年齢等の情報については本人から聞き取り調査を行い、その際にはデータを無記名で統計処理して発表することについて了解を得た。最大酸素摂取量については、筑波大学の研究倫理委員会の承認を得て測定した。

## 第3節 結果

### 1. 最大酸素摂取量と各種パラメータの関係の確認

最大酸素摂取量を含む各種パラメータ間の相関係数を計算した結果を表5-3および表5-4に示す。両表の違いは、前者がマラソン記録として完走時間（単位：分）を用いたのに対して、後者はレース中の平均速度（単位：m/分）を用いたことである。結果はほぼ同じだが、マラソン記録と最大酸素摂取量との相関係数は後者の方が大きかった。以降の検討は表5-4について行った。

最大酸素摂取量の推定値と最も相関が高いのはハーフマラソンの平均走速度（相関係数が0.979）であり、フルマラソンの平均走速度（同0.937）、平均月間走距離（同0.843）、平均練習走速度（同-0.832）、最大酸素摂取量の測定値（同0.761）、年齢（同-0.695）と続いた。

自転車エルゴメータによる最大酸素摂取量の測定値と最も相関が高いのは最大酸素摂取量の推定値（相関係数が0.761）であり、ハーフマラソンの平均速度（同0.709）、平均月間走距離（同0.695）フルマラソンの平均速度（同0.655）、平均練習走速度（同-0.614）、年齢（同-0.525）と続いた。



表5-3 各種パラメータ間の相関係数（その1）

		最大酸素 摂取量の 推定値	ハーフマラ ソンのベス トタイム	フルマラ ソンのベ ストタイ ム	平均月間 走距離 (自己申 告)	平均練習 走速度	最大酸素 摂取量の 測定値	年齢	ランニン グ経験 年数	故障経 験数
最大酸素摂取量の推定値	(ml/kg/分)	1.000								
ハーフマラソンのベストタイム	(分)	<b>-0.942</b>	1.000							
フルマラソンのベストタイム	(分)	<b>-0.915</b>	<b>0.957</b>	1.000						
平均月間走距離(自己申告)	(km)	<b>0.843</b>	<b>-0.852</b>	<b>-0.824</b>	1.000					
平均練習走速度	(分/km)	<b>-0.832</b>	<b>0.768</b>	<b>0.781</b>	<b>-0.728</b>	1.000				
最大酸素摂取量(自転車)	(ml/kg/分)	<b>0.761</b>	<b>-0.618</b>	<b>-0.587</b>	<b>0.695</b>	<b>-0.614</b>	1.000			
年齢	(歳)	<b>-0.695</b>	<b>0.597</b>	<b>0.637</b>	<b>-0.527</b>	<b>0.680</b>	<b>-0.525</b>	1.000		
ランニング経験年数	(年)	-0.113	0.014	0.128	0.103	0.147	-0.217	0.381	1.000	
故障経験数	(回)	0.154	-0.136	-0.061	-0.093	-0.058	0.214	-0.121	-0.200	1.000

太字は相関係数の絶対値が0.5以上

表5-4 各種パラメータ間の相関係数（その2）

		最大酸素 摂取量の 推定値	ハーフマラ ソンのベス ト平均 走速度	フルマラ ソンのベ スト平均 走速度	平均月間 走距離 (自己申 告)	平均練習 走速度	最大酸素 摂取量の 測定値	年齢	ランニン グ経験 年数	故障経 験数
最大酸素摂取量の推定値	(ml/kg/分)	1.000								
ハーフマラソンのベスト平均走速度	(m/分)	<b>0.979</b>	1.000							
フルマラソンのベスト平均走速度	(m/分)	<b>0.937</b>	<b>0.968</b>	1.000						
平均月間走距離(自己申告)	(km)	<b>0.843</b>	<b>0.872</b>	<b>0.842</b>	1.000					
平均練習走速度	(分/km)	<b>-0.832</b>	<b>-0.795</b>	<b>-0.806</b>	<b>-0.728</b>	1.000				
最大酸素摂取量(自転車)	(ml/kg/分)	<b>0.761</b>	<b>0.709</b>	<b>0.655</b>	<b>0.695</b>	<b>-0.614</b>	1.000			
年齢	(歳)	<b>-0.695</b>	<b>-0.672</b>	<b>-0.700</b>	<b>-0.527</b>	<b>0.680</b>	<b>-0.525</b>	1.000		
ランニング経験年数	(年)	-0.113	-0.093	-0.170	0.103	0.147	-0.217	0.381	1.000	
故障経験数	(回)	0.154	0.141	0.070	-0.093	-0.058	0.214	-0.121	-0.200	1.000

太字は相関係数の絶対値が0.5以上

## 2. 最大酸素摂取量の推定値と実測値との比較

### (1) フルマラソンの記録および実際の距離に対する速度の変化率を用いた最大酸素摂取量の推定及び実測値との比較

表5-2の24名の中で、フルマラソンに加えてそれを以外の距離のレースの記録もあるランナー18名について、式⑧を用いて最大酸素摂取量を推定した。ここでFV（フルマラソン時の平均速度、m/分）は2016年度の全日本マラソンランキングの記録（時分秒）を距離（42,195 m）で除して求めた。

本結果と、自転車エルゴメータを用いて実測した最大酸素摂取量の関係を図5-2に示す。相関係数は0.834であり、69歳の1名を除き、後者は前者に対して-20%から+10%の範囲に収まっていた。

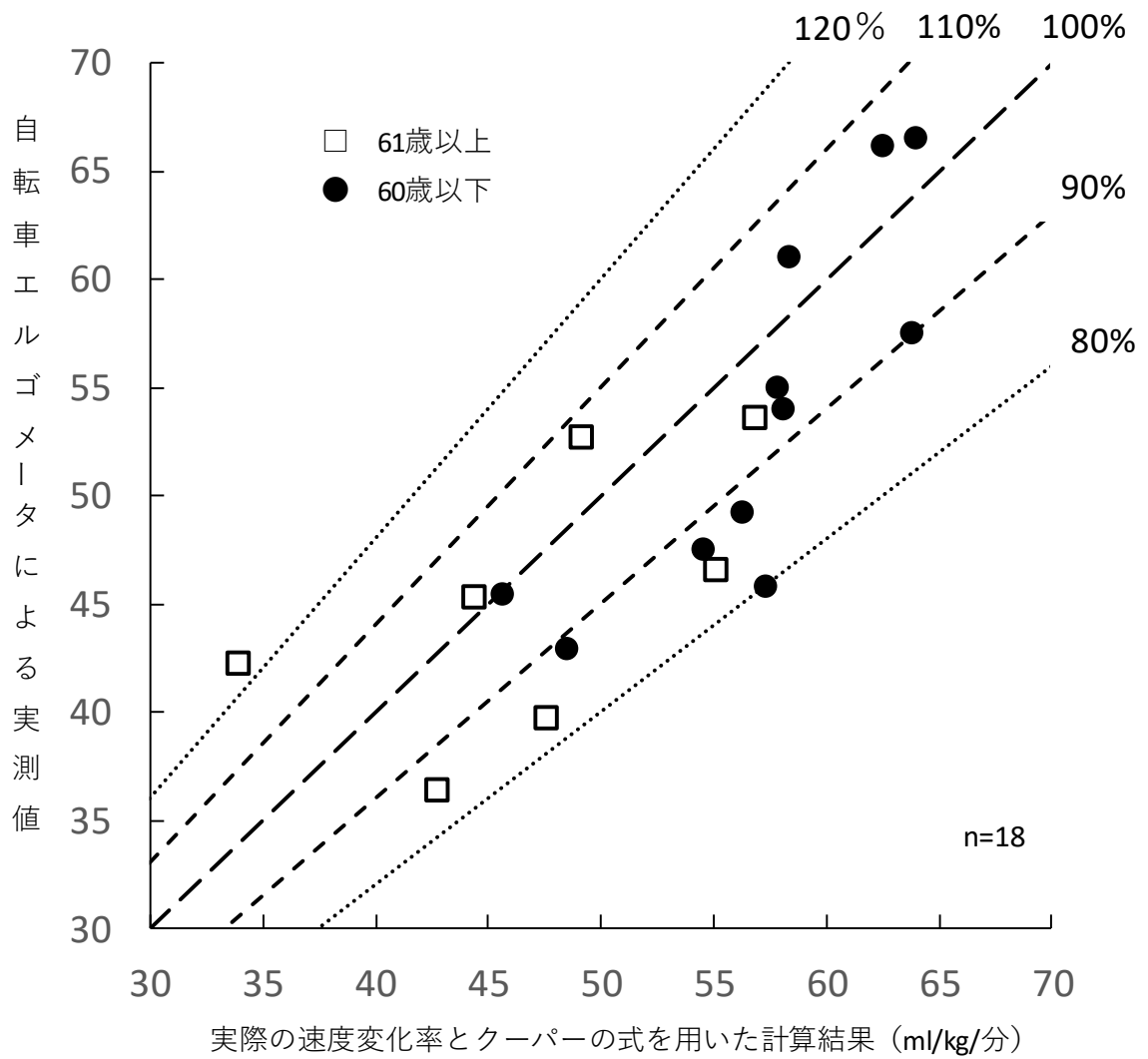


図5-2 マラソン及びその他のレースの記録から推定した最大酸素摂取量と自転車エルゴメータによる実測値の比較（18名分）

## (2) フルマラソン記録及び年齢からの最大酸素摂取量の推定

表5-2のフルマラソンの記録のみの6名を含むランナー24名について、式⑩を用いて、最大酸素摂取量を推定した。

ここでFV（フルマラソン時の平均速度、m/分）は2016年度の全日本マラソンランキングの記録（時分秒）を距離（42,195 m）で除して求めた。回帰係数（ $C_0$ ,  $C_g$ ,  $C_s$ ）は第4章で求めた値を用いた。 $g$ （年齢）は全日本マラソンランキングに掲載されたものを用いた。

このように、年齢とフルマラソンの平均速度のみを用いて計算した最大酸素摂取量と実測値の関係を図5-3に示す。個々のランナーの距離に対する速度変化率を計算している図5-2に比べると相関係数は0.719と小さい。

フルマラソンのタイムと年齢から推定した最大酸素摂取量の値を表5-5に示す。

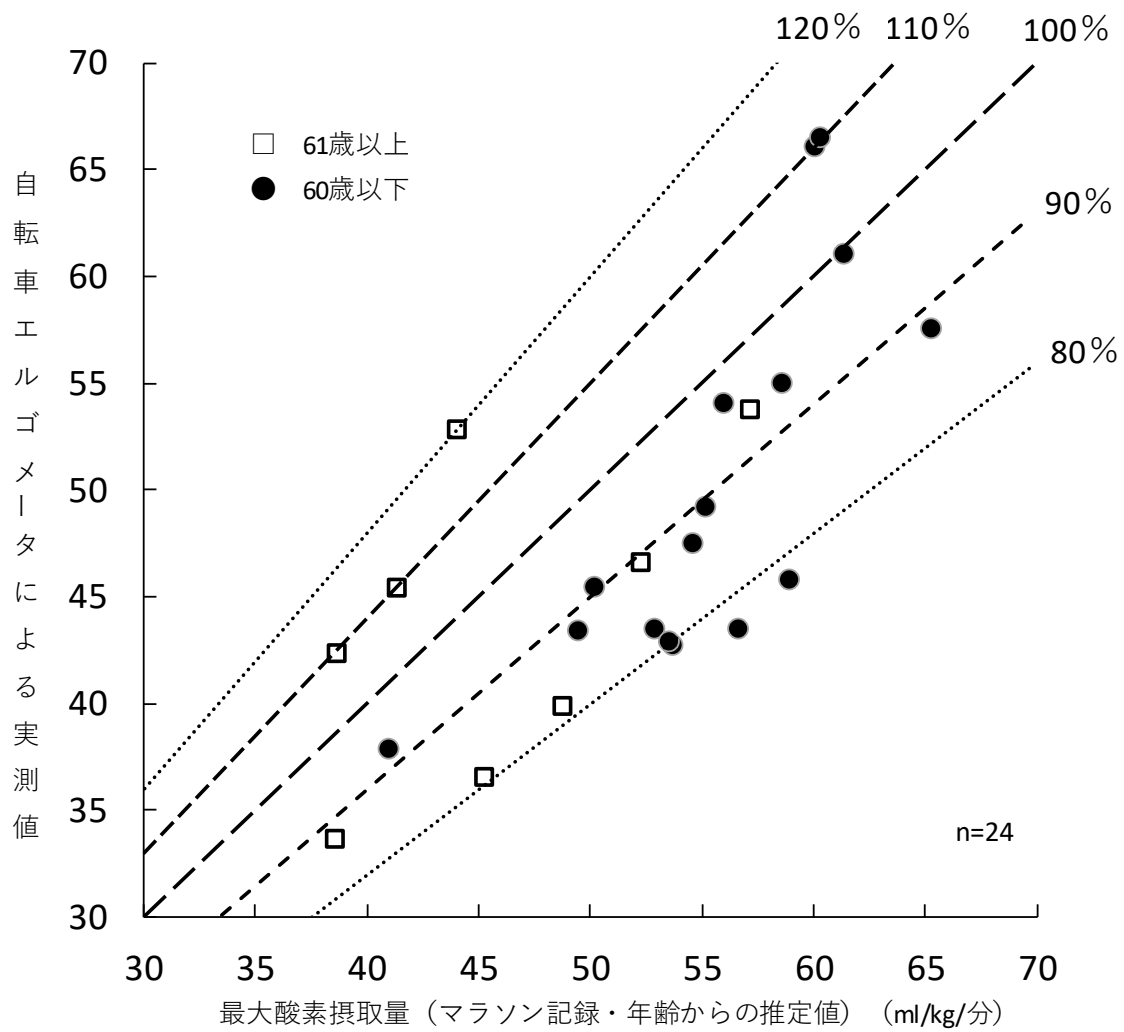


図5-3 マラソン記録及び年齢から推定した最大酸素摂取量と実測値の比較  
(24名分)

表5-5 フルマラソンのタイム・年齢から最大酸素摂取量を推定

完走時間 年齢	完走時間											
	2:45	3:00	3:15	3:30	3:45	4:00	4:15	4:30	4:45	5:00	5:30	6:00
40	65.7	61.7	58.3	55.4	52.9	50.7	48.8	47.1	45.5	44.2	41.8	39.8
45	65.1	61.1	57.7	54.8	52.3	50.1	48.2	46.5	44.9	43.6	41.2	39.2
50	64.6	60.5	57.1	54.2	51.7	49.5	47.6	45.9	44.4	43.0	40.6	38.6
55	64.0	59.9	56.5	53.6	51.1	48.9	47.0	45.3	43.8	42.4	40.0	38.0
60	63.4	59.4	56.0	53.1	50.5	48.3	46.4	44.7	43.2	41.8	39.4	37.4
65	62.8	58.8	55.4	52.5	50.0	47.8	45.8	44.1	42.6	41.2	38.8	36.9
70	62.2	58.2	54.8	51.9	49.4	47.2	45.2	43.5	42.0	40.6	38.2	36.3
75	61.6	57.6	54.2	51.3	48.8	46.6	44.6	42.9	41.4	40.0	37.6	35.7
年齢フリー	64.6	60.4	56.8	53.7	51.0	48.7	46.7	44.9	43.3	41.8	39.3	37.2

完走時間の単位は時間:分、最大酸素摂取量はml/kg/分

### 3. 既存の推定方法と今回の方法の比較

表4-1の71名の内、フルマラソンの記録のみの7名と外れ値の1名を除く63名のデータから計算した回帰係数を用いて、表5-1のランナーの中で表4-1に含まれない7人について、計算式を使って推定値1～推定値4を計算し、自転車エルゴメータを用いた測定値や、先行研究（Foster, 1977）にて報告された計算式で求めた最大酸素摂取量の値と比較を行った（表5-6）。

表5-6によれば測定値と推定値の相関係数は0.66から0.73の間で、先行研究の0.73とほぼ同様であった。推定式1と他の推定値の相関係数は0.95から0.97であった。先行研究と推定値の相関係数は0.97から0.99で相関が最も高かった。

仮に推定式1の計算結果が最大酸素摂取量の真値に最も近いと仮定した場合、それと他の推定値との相関係数がほぼ同じであることから、推定方法に優劣は認められない。



表5-6 最大酸素摂取量の推定値の比較

ID	年齢 (歳)	最大酸素 摂取量 (自転車) (ml/kg/ 分)	最大酸素摂取量の推定値									
			フルマラソンペ スタタイム	ハーフマラソンペ スタタイム	フルマラソン 平均走速度	ハーフマラソ ン平均走速 度	レース距離に対する 平均速度の変化率 (a)	推定式1	推定式2	推定式3	推定式4	Foster (1977)
			(時:分: 秒)	(時:分: 秒)	(m/分)	(m/分)	(m/分/km)	(ml/kg/分)	(ml/kg/分)	(ml/kg/分)	(ml/kg/分)	(ml/kg/分)
<b>71</b>	<b>46</b>	<b>41.5</b>	<b>3:07:56</b>	<b>1:27:50</b>	224.5	240.2	-0.74	<b>56.5</b>	<b>58.8</b>	<b>58.2</b>	<b>58.8</b>	<b>60.9</b>
<b>72</b>	<b>53</b>	<b>55</b>	<b>3:13:00</b>	<b>1:29:00</b>	218.6	237.1	-0.87	<b>56.4</b>	<b>57.3</b>	<b>57.0</b>	<b>57.0</b>	<b>59.5</b>
<b>73</b>	<b>59</b>	<b>45.4</b>	<b>3:46:59</b>	<b>1:43:08</b>	185.9	204.6	-0.88	<b>47.9</b>	<b>48.6</b>	<b>50.7</b>	<b>50.4</b>	<b>49.9</b>
<b>74</b>	<b>64</b>	<b>53.7</b>	<b>3:00:00</b>	<b>1:26:00</b>	234.4	245.3	-0.52	<b>56.6</b>	<b>61.5</b>	<b>60.1</b>	<b>58.6</b>	<b>63.2</b>
<b>75</b>	<b>65</b>	<b>46.6</b>	<b>3:29:28</b>	<b>1:33:38</b>	201.4	225.3	-1.13	<b>54.7</b>	<b>52.7</b>	<b>53.7</b>	<b>52.6</b>	<b>54.8</b>
<b>76</b>	<b>69</b>	<b>40.4</b>	<b>4:28:00</b>	<b>1:59:00</b>	157.4	177.3	-0.94	<b>40.9</b>	<b>41.1</b>	<b>45.2</b>	<b>44.2</b>	<b>38.2</b>
<b>77</b>	<b>71</b>	<b>36.5</b>	<b>4:14:55</b>	<b>1:49:53</b>	165.5	192.0	-1.25	<b>46.6</b>	<b>43.2</b>	<b>46.8</b>	<b>45.4</b>	<b>41.9</b>
測定値と推定値の相関係数:								0.663	0.730	0.730	0.697	0.731
Fosterの推定値と他の推定値の相関係数:								0.967	0.995	0.995	0.991	
推定式1の推定値と他の推定値との相関係数:									0.952	0.952	0.945	0.967

#### 4. 我が国の中高年男性マラソンランナーの最大酸素摂取量の推定

##### (1) 中高年男性マラソンランナーの年齢別1位の最大酸素摂取量の推定

2016年度の全日本マラソンランキングのマラソンタイム、年齢データを式⑩に適用して、40歳から5歳刻みで、それぞれの年齢の1位での最大酸素摂取量を計算した。結果を表5-7に示す。中高年男性の最大酸素摂取量の推定値の最大は71.5 ml/kg/分（40歳の1位，マラソンタイム2:26:19）であり、最小値は29.5 ml/kg/分（78歳の93位，マラソンタイム8:29:34）であった。

表5-7 全日本マラソンランキング各年齢1位等の最大酸素摂取量

年齢 (歳)	順位 (位)	マラソンタイム (時間:分:秒)	最大酸素摂取量の推定値 (ml/kg/分)	備考
40	1	2:26:19	71.5	
<b>42</b>	<b>1</b>	<b>2:25:59</b>	<b>71.4</b>	<b>40歳以上で最速</b>
45	1	2:31:24	69.2	
50	1	2:33:52	67.8	
55	1	2:34:59	66.9	
60	1	2:55:06	60.5	
65	1	3:03:21	58.0	
<b>68</b>	<b>1</b>	<b>2:58:06</b>	<b>59.0</b>	<b>60歳台後半で最速</b>
70	1	3:06:53	56.7	
75	1	3:31:50	51.2	
<b>78</b>	<b>93</b>	<b>8:29:34</b>	<b>29.5</b>	<b>40歳以上で最遅</b>
80	1	3:29:57	51.0	
85	1	4:48:17	40.4	
<b>91</b>	<b>1</b>	<b>6:34:36</b>	<b>32.5</b>	<b>最高齢</b>

(2) 最大酸素摂取量の範囲を決めた場合のそれぞれのランナーの比率

文献研究の結果を踏まえ、健康関連で目安となる最大酸素摂取量の大きさとして、35・38・42を抽出し、各年齢に対応するフルマラソンの平均速度、フルマラソンのタイムを計算した結果を表5-8に示す。

表5-8 目安となる最大酸素摂取量とマラソンタイムの関係

年齢 (歳)	平均速度 (m/分)			マラソンタイム (時間:分:秒)		
	最大酸素摂取量 (ml/kg/分)			最大酸素摂取量 (ml/kg/分)		
	35	38	42	35	38	42
40	88.5	105.2	127.4	7:56:47	6:41:06	5:31:12
45	91.6	108.2	130.5	7:40:39	6:29:58	5:23:20
50	94.6	111.3	133.5	7:26:02	6:19:07	5:16:04
55	97.7	114.3	136.5	7:11:53	6:09:10	5:09:07
60	100.7	117.4	139.6	6:59:01	5:59:25	5:02:15
65	103.7	120.4	142.6	6:46:54	5:50:27	4:55:54
70	106.8	123.5	145.7	6:35:05	5:41:40	4:49:36
75	109.8	126.5	148.7	6:24:17	5:33:33	4:43:46

これらの値を境界として、以下の4レベルを設定した。

- A: 最大酸素摂取量が42以上
- B: 最大酸素摂取量が38以上、42未満
- C: 最大酸素摂取量が35以上、38未満
- D: 最大酸素摂取量が35未満

5歳刻みでそれぞれの境界に対応するランナーの順位を計算し、各レベルに属するランナーの比率を求めると、表5-9および図5-4が得られた。

表5-9 目安となる最大酸素摂取量と対応する順位

年齢 (歳)	2016年度人数 (人)	順位			比率		
		最大酸素摂取量 (ml/kg/分)			最大酸素摂取量 (ml/kg/分)		
		35	38	42	35	38	42
40	8,917	*	8827	7405	約100%	99.0%	83.0%
45	10,014	*	9861	8242	約100%	98.5%	82.3%
50	6,899	*	6727	5430	約100%	97.5%	78.7%
55	5,666	*	5427	4162	約100%	95.8%	73.5%
60	3,268	3258	3014	2093	99.7%	92.2%	64.0%
65	1,823	1798	1554	968	98.6%	85.2%	53.1%
70	661	633	527	304	95.8%	79.7%	46.0%
75	297	196	132	63	66.0%	44.4%	21.2%

\* 対象者なし

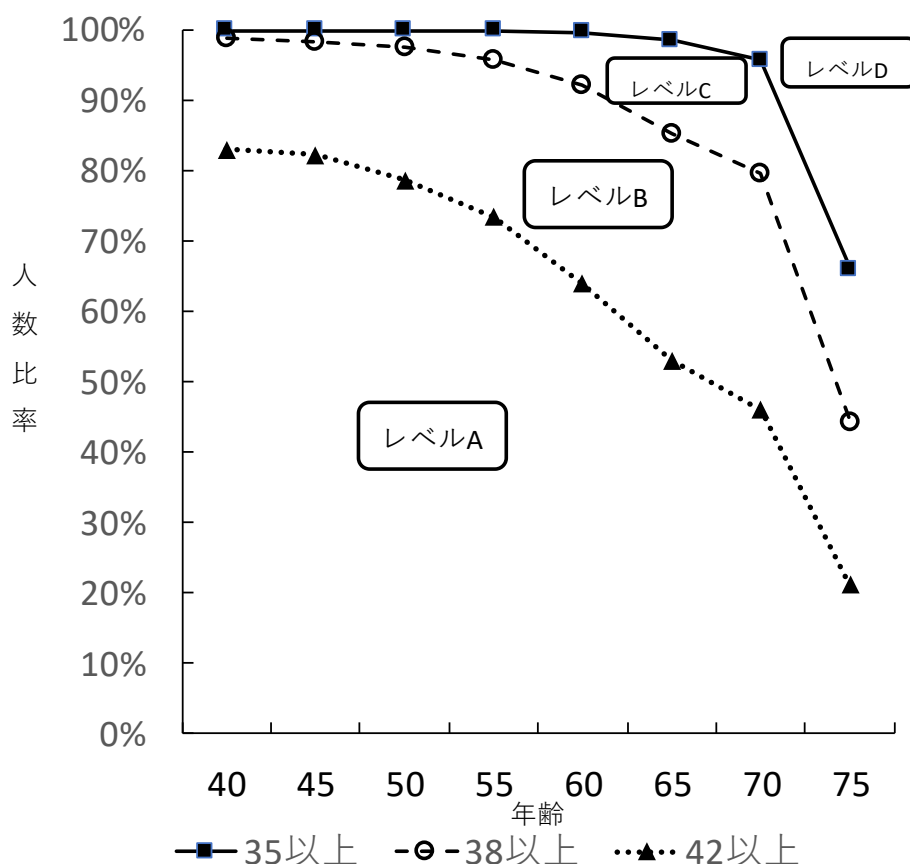


図5-4 年齢と最大酸素摂取量のレベル毎の人数比率の関係

40歳ではレベルAのランナーは8割余りいるが、徐々に最大酸素摂取量の減少の割合が増し、75歳では約2割になった。レベルB以上は40歳では100%近いが、最大酸素摂取量が徐々に減少し、70歳では80%余りに、それ以降は急激に減少して75歳では約44%になった。レベルC以上は60歳まではほぼ100%であるがそれから少しずつ減少し、70歳で約96%に、その後は急激に減少し75歳では66%になった。

## 第4節 考察

### 1. 速度変化率に個々のランナーの実測値を用いた場合と回帰式の係数を用いた場合の比較

フルマラソン以外の距離のレース記録がある64名について、第2節4項で導出した計算式を用いて求めた最大酸素摂取量の推定値を表5-10に示す。

表5-10 フルマラソン以外のレース記録もある64名の最大酸素摂取量の推定値等

ID	年齢 (歳)	フルマラソンのベスト		12分間走 の記録 ⑤式 (km)	推定値				測定値 自転車エル ゴメータ (ml/kg/分)
		タイム (時:分:秒)	速度の変化 率 (m/分/km)		最大酸素摂取量				
					⑦式 (ml/kg/分)	⑧式 (ml/kg/分)	⑬式 (ml/kg/分)	⑯式 (ml/kg/分)	
1	40	2:53:08	-0.95	3.369	64.0	64.0	61.9	62.9	
2	41	2:46:20	-0.61	3.327	63.1	62.7	63.8	64.6	
3	41	2:59:11	-0.62	3.116	58.4	58.0	60.3	61.3	61.0
4	41	2:42:11	-0.66	3.431	65.4	65.1	65.1	65.8	
5	41	3:36:28	-1.42	3.005	55.9	56.2	52.5	54.0	
6	41	6:05:06	-2.10	2.392	42.2	42.9	37.2	39.7	
7	42	2:54:58	-0.79	3.263	61.7	61.4	61.4	62.2	
8	42	2:56:47	-1.14	3.397	64.7	64.8	60.9	61.8	
9	42	2:44:10	-0.59	3.361	63.9	63.5	64.5	65.1	57.5
10	43	2:57:34	-0.46	3.066	57.3	56.8	60.7	61.5	
11	44	3:45:34	-1.27	2.846	52.3	52.5	51.0	52.3	
12	45	3:53:20	-1.42	2.841	52.2	52.5	49.8	51.1	
13	45	3:21:35	-1.76	3.333	63.2	63.9	55.2	56.2	
14	46	3:34:49	-0.67	2.676	48.6	48.3	52.8	53.7	42.9
15	46	3:21:20	-0.82	2.903	53.6	53.4	55.3	56.1	
16	47	3:48:43	-1.47	2.909	53.8	54.1	50.5	51.5	
17	47	3:00:54	-1.22	3.369	64.0	64.2	59.9	60.3	66.5
18	47	5:38:58	-1.41	2.172	37.3	37.5	38.9	40.7	
19	47	3:05:13	-0.72	3.070	57.4	57.1	58.8	59.3	
20	47	3:17:34	-1.12	3.089	57.8	57.8	56.1	56.7	
21	48	3:07:56	-1.04	3.183	59.9	59.9	58.2	58.6	
22	48	3:56:38	-1.39	2.795	51.2	51.5	49.3	50.3	
23	49	3:23:18	-0.70	2.820	51.8	51.5	54.9	55.4	
24	49	4:12:55	-1.14	2.542	45.6	45.6	47.0	48.1	
25	50	4:40:53	-1.38	2.463	43.8	44.0	43.8	45.0	
26	50	3:04:51	-1.08	3.243	61.2	61.2	58.9	59.0	
27	50	4:50:33	-1.35	2.387	42.1	42.3	42.9	44.1	
28	51	3:06:38	-0.81	3.093	57.9	57.7	58.5	58.5	55.0
29	51	2:48:52	-0.50	3.233	61.0	60.5	63.1	62.8	
30	51	3:05:13	-0.72	3.070	57.4	57.1	58.8	58.8	45.8
31	52	3:15:54	-1.13	3.113	58.3	58.4	56.4	56.5	
32	52	3:22:21	-1.11	3.025	56.3	56.4	55.1	55.3	49.2
33	53	3:16:31	-0.99	3.041	56.7	56.7	56.3	56.3	
34	53	2:59:36	-1.04	3.304	62.6	62.6	60.2	59.9	66.1
36	54	3:24:40	-1.00	2.947	54.6	54.6	54.6	54.6	47.5
37	54	2:59:39	-0.91	3.246	61.3	61.2	60.2	59.8	
39	55	3:45:10	-1.02	2.732	49.8	49.8	51.0	51.1	
41	57	3:56:25	-0.84	2.541	45.5	45.4	49.3	49.3	
42	57	3:52:56	-1.55	2.906	53.7	54.1	49.8	49.8	
45	59	3:23:28	-0.80	2.866	52.8	52.6	54.9	54.3	
46	59	3:27:44	-1.05	2.933	54.3	54.3	54.1	53.5	
47	59	3:14:48	-1.08	3.105	58.1	58.2	56.7	55.9	54.0
48	59	5:02:31	-1.61	2.440	43.3	43.6	41.8	42.1	
49	60	3:02:27	-0.83	3.165	59.5	59.3	59.5	58.5	
50	60	3:02:57	-0.88	3.180	59.8	59.7	59.4	58.4	
51	60	3:46:59	-0.67	2.549	45.7	45.5	50.7	50.3	45.4
52	60	3:53:09	-1.12	2.701	49.1	49.1	49.8	49.4	
53	61	4:35:38	-1.82	2.701	49.1	49.6	44.4	44.3	52.8
54	61	3:46:31	-1.19	2.799	51.3	51.4	50.8	50.3	
55	63	4:14:19	-1.10	2.515	44.9	45.0	46.9	46.4	
56	63	4:54:24	-1.37	2.375	41.8	42.0	42.5	42.3	
57	63	3:49:28	-1.07	2.716	49.4	49.4	50.3	49.6	
58	64	3:06:54	-0.72	3.046	56.8	56.5	58.4	57.0	53.7
59	64	3:47:16	-0.29	2.368	41.7	41.2	50.7	49.8	38.8
60	67	3:32:46	-0.86	2.786	51.0	50.9	53.1	51.8	
61	68	3:29:28	-1.17	2.966	55.0	55.1	53.7	52.2	46.6
62	68	4:23:38	-1.15	2.469	43.9	44.0	45.7	44.8	
63	68	3:51:17	-0.93	2.632	47.6	47.5	50.1	48.8	39.8
64	69	3:35:21	-0.99	2.821	51.8	51.8	52.7	51.1	
65	69	5:29:23	-1.00	2.021	33.9	33.9	39.6	38.9	42.3
67	70	4:40:21	-0.87	2.225	38.5	38.4	43.9	42.8	
68	71	4:14:55	-0.90	2.414	42.7	42.6	46.8	45.4	36.5
70	73	6:21:57	-1.94	2.255	39.1	39.7	36.2	35.3	
71	74	4:49:25	-1.55	2.486	44.3	44.6	43.0	41.6	45.4

個々のランナーに対して複数の距離のレースの結果を用いて速度変化率を計算して最大酸素摂取量を計算した結果（式⑦により計算）は最大酸素摂取量の真値に近いと仮定して、この値と、マラソン記録のみから求めた回帰式（式⑬）を用いて計算した最大酸素摂取量の関係を図5-5に示す。

相関係数は0.930であり、64名中59名（92%）については差が±5（ml/分/kg）以下であった。



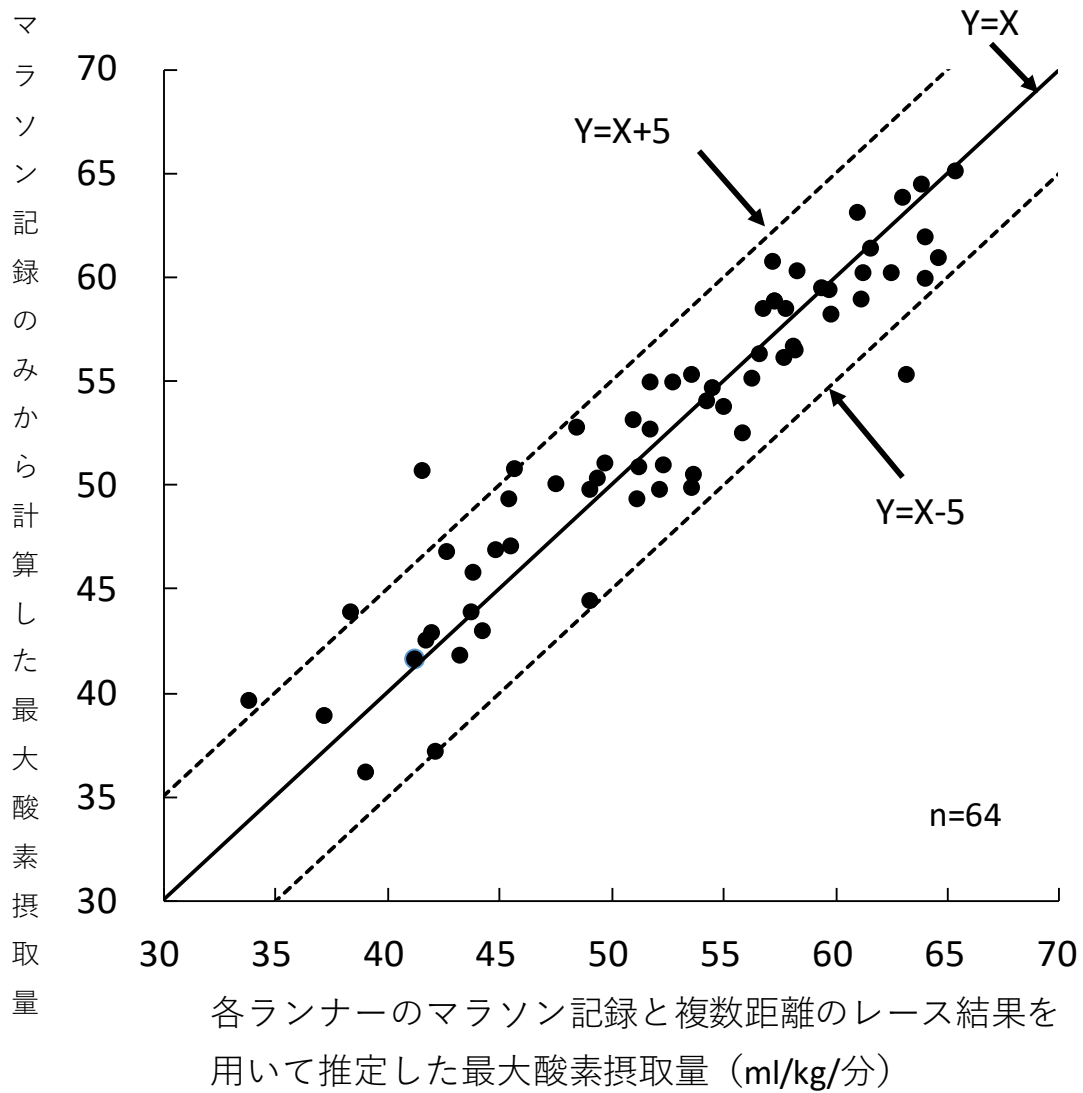


図5-5 各ランナーの複数距離のレースから速度変化率を計算して推定した最大酸素摂取量とマラソン記録のみから推定した最大酸素摂取量の関係

式⑦の結果と、マラソン記録に加えて年齢情報も加味した場合（式⑩により計算）の関係を図5-6に示す。相関係数が0.939と、年齢情報を用いない場合に対して若干大きくなり、64名中60名（約94%）について差が±5（ml/分/kg）以下であった。

年齢情報を使わない場合と使う場合の差は小さく、フルマラソンの記録のみからの最大酸素摂取量の推定でも、複数距離の記録を用いて12分間走の距離を推定してから最大酸素摂取量を計算した場合と比べて最大酸素摂取量の大小にかかわらず、ほぼ±5ml/分/kgに収まっていると考えられる

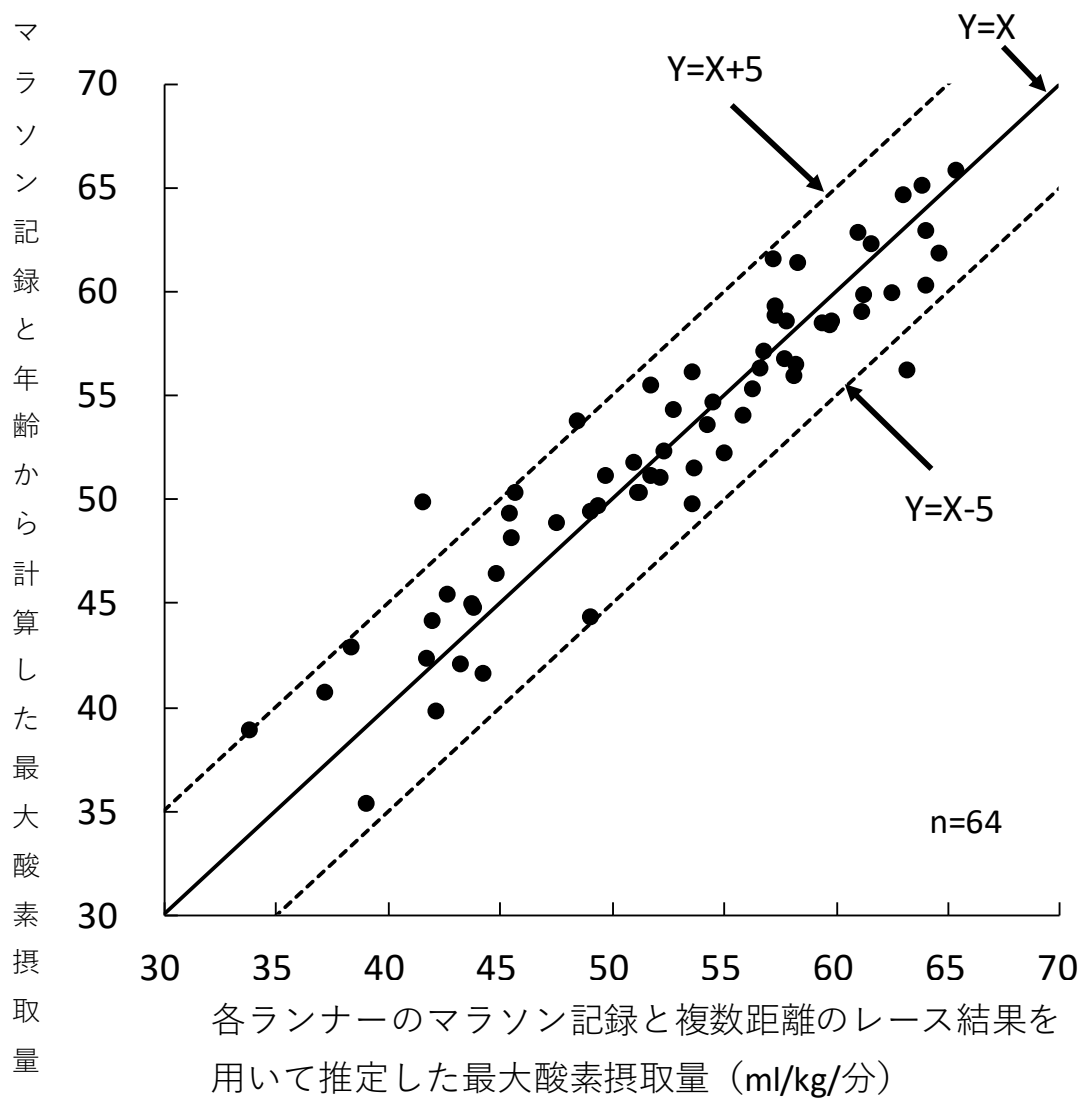


図5-6 各ランナーの複数距離のレースから速度変化率を計算して推定した最大酸素摂取量とマラソン記録および年齢から推定した最大酸素摂取量の関係

## 2. 最大酸素摂取量の推定方法の比較

推定式1から推定式4の内、推定式1はマラソン記録以外に各個人の距離に対する速度変化率及び年齢が必要で、推定式4は年齢が必要なため、マラソン記録のみから最大酸素摂取量を推定するのは推定式2と推定式3である。これらと、先行研究であるフォスターの二つの推定式から計算された値が、マラソン記録（平均速度）に応じてどの程度異なるのかを図5-7に示した。

横軸をマラソン平均速度で表した場合、フォスターの推定式は上に凸の曲線となり、遅い（平均速度が低い）ランナーと非常に速い（平均速度が非常に速い）ランナーについては、フォスターの式が小さく推定され、その中間のランナーではフォスターの式の方が最大5 ml/kg/分程度大きくなっていた。

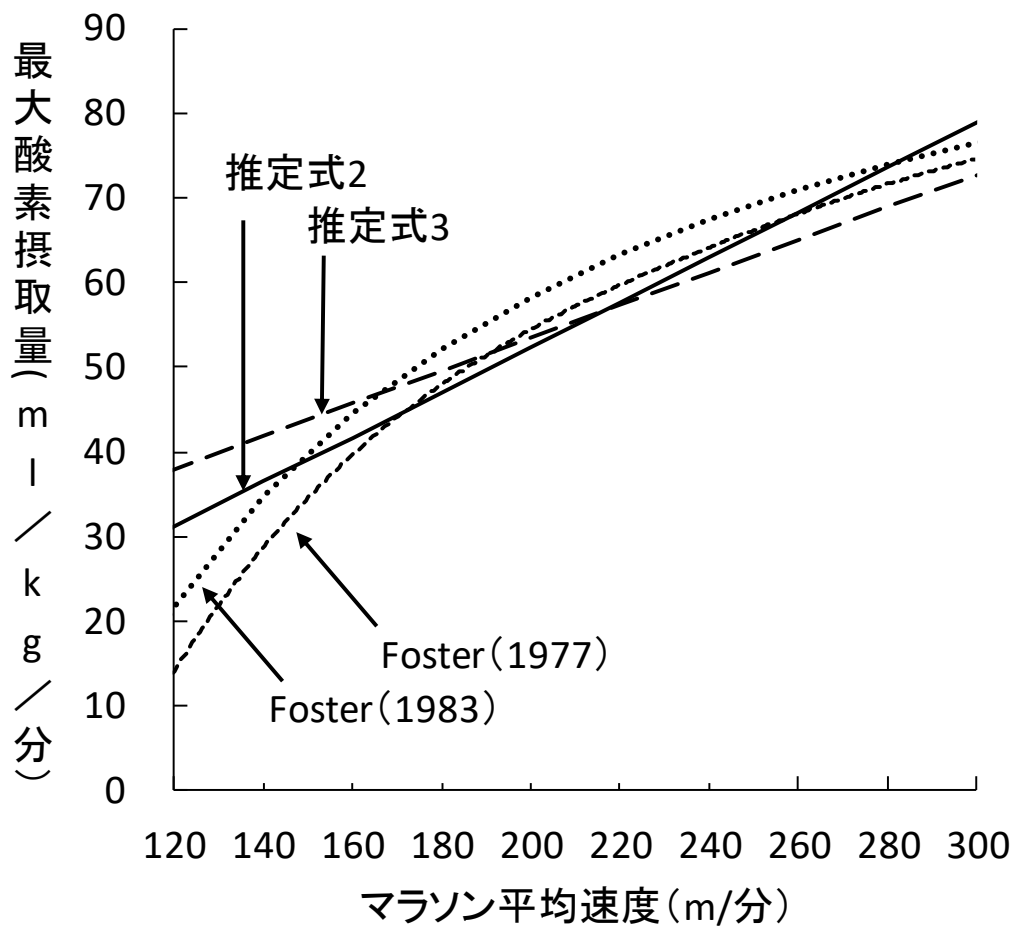


図5-7 マラソン記録のみから最大酸素摂取量を推定する場合の計算式の違い

図5-8に示すように、推定式4は最大酸素摂取量が年齢によっても異なり、同じマラソン記録であっても若いほど最大酸素摂取量の推定値が大きくなる。逆に言えば同じ最大酸素摂取量の場合は高齢であるほどマラソン記録が良い値とし計算値としてされる。

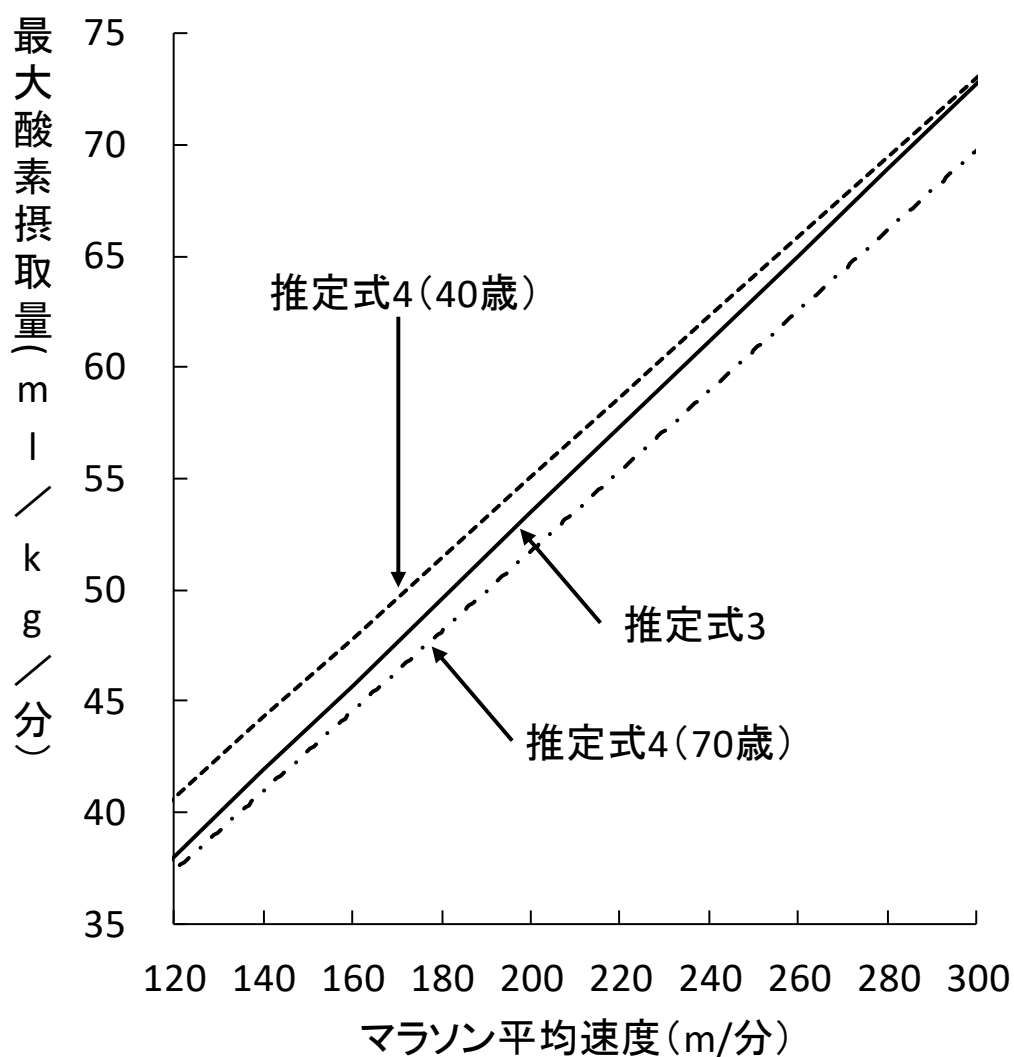


図5-8 推定式3と推定式4の最大酸素摂取量の違い

### 3. 我が国の中老年男性マラソンランナーの最大酸素摂取量の推定結果について

先行研究においては、最大酸素摂取量が42 ml/kg/分以下であると生活習慣病にかかりやすく、38 ml/kg/分以上あるとがんによる死亡リスクが減少し、35 ml/kg/分以下であると疾病にかかりやすくなるとの報告がされている。マラソンランナーにとっては、疾病にかかることは十分な練習が積めないことにもつながる可能性があり、その意味では少なくともレベルC以上の最大酸素摂取量を維持することが望ましいと思われる。

今回の分析によれば、65歳まではほぼ全員のフルマラソン完走者が35 ml/kg/分以上の最大酸素摂取量を維持していると推定されるが、70歳では約4%が35 ml/kg/分以下になり、75歳では約1/3のランナーが35 ml/kg/分以下になっていることが示唆された。年齢の上昇と並行して、フルマラソンの完走者も急激に減少しており、全身持久性体力の減少に疾病の増加が絡んでいることがうかがえる。

その一方、80歳で最大酸素摂取量の推定値が51.0 ml/kg/分（マラソンの記録は3時間30分）、85歳で同40.4 ml/kg/分（マラソンの記録は4時間48分）というランナーもおり、個人差が大きい。

## 第5節 結論

ランニングクラブに所属しフルマラソンの大会に参加する40歳以上の中高年男性市民ランナー24名を対象として、5kmレースからフルマラソンまでのレースの結果と自転車エルゴメータで測定した最大酸素摂取量を分析した結果、マラソン平均速度と、レースの距離による平均速度の変化率を用いて12分間走の結果を推定し、Cooperの式を適用して最大酸素摂取量を推定する方法は、自転車エルゴメータによる実測値との相関係数が0.8程度あり、比較的高かった。

先行研究において、12分間走の記録を用いて推定した最大酸素摂取量の値は、トレッドミルを用いた実測値と相関が高く、自転車エルゴメータによる測定結果よりも数値が10%前後高めに出ると報告されているが、今回も同様の傾向が見られた。

さらに、各ランナーのレース結果から12分間走の記録を推定して計算した最大酸素摂取量が真値に近いと仮定して、年齢と平均速度のみから推定した値と比較すると、相関係数は約0.94であり、非常に高かった。年齢の情報がない場合でも相関係数は約0.93あり、フルマラソンの大会に日常的に参加する中高年市民ランナーの場合は、マラソン記録のみから最大酸素摂取量が比較的精度よく推定可能であることが示唆された。

全日本マラソンランキングの情報を元に、我が国の中高年男性マラソンランナーについて、年齢とマラソン記録から最大酸素摂取量を推定したところ、65歳まではほぼ全員が疾病にかかりやすくなるとされる35 ml/kg/分を上回っていたが、その後少しずつそれを下回るランナーが増加し、70歳では約4%、75歳では34%



のランナーが35 ml/kg/分を下回っていると推定された。並行してフル馬拉ソンの完走者数が急激に減少しており、疾病の増加との関連がうかがわれる。

## 第6章 総括

### 第1節 研究の限界と今後の課題

研究課題1および研究課題2において加齢がマラソン記録に与える影響の分析を行ったが、マラソン記録には加齢だけでなくレースコンディション（道路特性、天候、気温、湿度など）の影響も大きい。一部のデータについて、気温データを用いた補正を試みたが特徴的な傾向は認められなかった。いずれにしても、限られたデータの中での検討であることには注意が必要である。また、特に研究課題1については対象者の年齢やフルマラソン記録以外の情報（マラソンの経験年数、健康診断データなど）も収集できておらず、交絡要因を十分に考慮できていない。

課題1-1は中高年男性ランナーのマラソン記録を順位別に比較したものであるが、年齢の異なる別のランナーの各年度のベストタイムを比較したものであり、加齢の影響だけでなく、トレーニングによる記録の向上の影響が入っており、加齢による影響のみを分析することが難しいという限界がある。

課題1-2は個々の中高年マラソンランナーの複数年のマラソン記録の変化を元に検討したものであり、最初の数年間のデータを用いない、あるいはベスト記録以降のデータを分析するという方法で、加齢以外の影響を減らすことができるが、別の限界が存在する。分析対象者は年齢別100位以内に限定されているので、中高年男性マラソンランナー全体を代表しているわけではない。したがって、分析結果を全体の中高年男性ランナーに適用することはできない。

研究課題2の分析対象者（40歳から74歳までの男性71名）

は母集団である40歳以上の男性マラソンランナーから無作為に抽出された集団ではなく、つくば市近隣のランニングクラブでフルマラソンを完走したランナーである。従って課題2の結果は地域や練習スタイルの異なる集団においてもあてはまるとは言い切ることとはできない（標本抽出に伴う限界）。

## 第2節 結語

本博士論文では、本邦における中高年男性マラソンランナーが生涯スポーツとしてマラソンレースへの参加を継続しようとする場合に有用な情報を抽出することを目的にして検討課題を設定した。

全日本マラソンランキングのデータおよび地域のランニングクラブで活動するフルマラソン完走者のデータを分析した結果、以下の結論を得た。

- 1) マラソン平均速度は、平均的には70歳前後まで加齢のために1年間の速度減少量が緩やかに増大し、それ以降は減少が加速することが示唆された。
- 2) 5kmレースからフルマラソンの範囲では、レースの平均速度はレースの距離の対数値とではなく、レースの距離と直線回帰することが示唆された。
- 3) 複数距離のレース記録からレース距離の変化に対する速度の変化率を推定して、12分間走の距離を推定し計算する方法での最大酸素摂取量の推定値と、自転エルゴメータによる実測値の相関係数が0.80と比較的高く、既存の推定方法と比較しても遜色ない

ことが明らかになった。

4) 全日本マラソンランキングの対象である29万人の中高年男性ランナーについて、本論文の方法により最大酸素摂取量を推定したところ、65歳までは疾病にかかりやすくなるとされる35 ml/kg/分をほぼ全員が上回っていたが、それ以上の年齢では下回るランナーが増加し、70歳では約4%、75歳では3人に一人が下回っていると推定された。

## 謝辞

本稿を終えるにあたり、6年前に大学院生として研究室に迎えて下さり、最後まで丁寧なご指導をいただいた、筑波大学名誉教授 田中喜代次先生に心よりお礼を申し上げます。先生からは、独善的にならずに広い視野で物事を見ることの大切さなど沢山のことを教えていただきました。

田中研究室の先輩であり、JAXAの元同僚でもある（独）労働安全衛生総合研究所の松尾知明博士には田中先生をご紹介いただき、今回の挑戦に対して様々な励ましをいただきました。松尾さんなくして今日の日を迎えることはなかったと思います。

入学前後に在籍していた文部科学省科学技術・学術政策研究所の重茂浩美上席研究官にも前向きに捉えていただき、ご支援いただいたことが大きな力になりました。

島根大学講師の辻本健彦先生には、筑波大学在籍時代から、論文投稿において多大なご指導をいただきました。田中研究室の先輩の中田由夫先生、江藤幹先生、大久保善郎博士、大須賀洋祐博士、相羽達弥博士にも様々なご助言をいただきました。

筑波大学医療系教授 小林裕幸先生には博士論文全体に対して広い視野からの貴重な御指摘、ご指導をいただき、筑波大学体育系教授 鍋倉賢治教授と㈱KDDI総合研究所の高山史徳博士にもランニングの専門家の立場からご助言をいただきました。深く感謝いたします。

筑波大学体育系教授 前田清司先生におかれましては、本年度から指導教官になって下さり、本当にお世話になりました。

先生からも沢山のことを学ばせていただきました。

全日本マラソンランキングのデータ使用にあたって、窓口としてご尽力下さった(株)アールビーズの大平かおるさん、そして快くデータを提供下さったランナーズ編集部の皆さまに心より感謝申し上げます。さらに、研究のためのデータ取得に際しては、「つくばラン」の安藤宗徳会長、小野任博前会長、重田一人博士をはじめとする皆さまに助けていただきました。牛久走友会の小松原幸直前会長、金野金七前副会長、荒木恒一会長、高橋信博さんをはじめとする皆さまにも多大なご協力をいただきました。飯泉卓男会長をはじめとする「JACとえだ豆」の皆さまにも大変お世話になりました。半田啓二会長をはじめとする筑波スクエアダンスクラブの皆様にもご協力を賜りました。心よりお礼を申し上げます。

スポーツ医学専攻事務の野口茂子さんにも、色々と助けていただき、また励ましていただきました。

最後に、個別に名前は挙げませんが、様々な形でご支援いただいた田中研究室の卒業生の皆さま、前田研究室の皆さま、貴重な時間を割いて研究にご協力いただいた皆さま、そして暖かく見守っていただいたスポーツ医学専攻の先生方に心より感謝を申し上げます。

2019年3月 中沢 孝

## 文献

- (1) アールビーズスポーツ財団. 2018年度ランナー世論調査.  
<https://runnet.jp/project/enquete/2018/result/02.html#q10> (2019年3月3日アクセス)
- (2) Aoyagi Y, Katsuta S. Relationship between the starting age of training and physical fitness in old age. *Canadian Journal of Sport Sciences* 15(1):65-71, 1990.
- (3) Beck ON, Kipp S, Roby JM, Grabowski AM, Kram R, Ortega JD. Older runners retain youthful running economy despite biomechanical differences. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 48(4):697-704, 2016.
- (4) Cooper KH. A Means of Assessing Maximal Oxygen Intake Correlation Between Field and Treadmill Testing. *JAMA* 203(3):201-204, 1968.
- (5) ジャック・ダニエルズ. ダニエルズのランニングフォーミュラ 第3版. ベースボールマガジン社, pp.80 (2016)
- (6) Evenson KR, Stevens J, Cai J, Thomas R, Thomas O. The effect of cardiorespiratory fitness and obesity on cancer mortality in women and men. *Med Sci Sports Exerc* 35:270-277, 2003.
- (7) Foster C.  $VO_2$ max and training indices as determinants of competitive running performance.

- Journal of Sports Sciences 1(1):13-22,1983.
- (8) Fries JF. Aging, natural death, and the compression of morbidity. The New England Journal of Medicine 303:130-135, 1980.
- (9) 藤田尚文. 混合正規分布モデルによるマラソン完走タイムの分析－2012年度全日本マラソンランキングに基づいて. 高知大学教育学部研究報告 75:149-159, 2015.
- (10) Helou NE, Tafflet M, Berthelot G, Tolaini J, Marc1A, Guillaume M, Hausswirth C, Toussaint JF. Impact of Environmental Parameters on Marathon Running Performance. PLoS ONE 7(5):1-9, 2012.
- (11) 石井恵子, 樋口満, 吉竹裕, 田畑泉, 村上照美, 太田壽城, 小林修平. 中年男性ランナーの呼吸循環機能の加齢変化に関するフォローアップスタディ. 体力科学 43(6):673, 1994.
- (12) International Association of Athletics Federations(IAAF). WORLD RECORDS.  
<https://www.iaaf.org/records/by-category/world-records> (2019年2月24日アクセス)
- (13) Joyner MJ. Physiological Limiting Factors and Distance Running:Influence of Gender and Age on Record Performances.  
Exerc Sport SciRev 21:103-133, 1993.



- (14) 厚生労働省．健康日本21（第2次）．2012．
- (15) 形本静夫，志村祥．自転車エルゴメータ運動及びトレッドミル走行による実測最大酸素摂取量の比較．体力科学 57:77, 2008．
- (16) 小林寛道，近藤孝晴．高齢者の運動と体力．朝倉書店 (1985)
- (17) 河谷正光．マラソン競争に及ぼす環境温度の影響．体力科学 5, 62-66, 1955．
- (18) 国土交通省 気象庁．各種データ，資料，過去の気象データ検索  
[http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec\\_no=40&block\\_no=0324&year=2015&month=1&day=10&view=](http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=40&block_no=0324&year=2015&month=1&day=10&view=) (1例)
- (19) Laukkanen JA. Cardiorespiratory fitness, lifestyle factors and cancer risk and mortality in Finnish men. Eur J Cancer 46, 2010.
- (20) Leyk D, Erley O, Ridder D, Leurs M, R  ther T, Wunderlich M, Sievert A, Baum K, Essfeld D. Age-related changes in marathon and half-marathon performances. Int J sports med. 28(6):513-517, 2007.
- (21) 松尾知明．労働衛生と体力科学．運動疫学研究 17(2):81-89, 2015．
- (22) 松下宗洋，宮地元彦，川上諒子，岡本隆史，塚本浩二，中田由夫、荒尾孝、澤田亨．全身持久力および飲酒習慣が全

がん死亡率に与える影響：日本人男性を対象としたコホート研究．体力科学 62(5):375-381, 2013.

- (23) McDonough JR, Kusumi F, Bruce RA. Variations in maximal oxygen intake with physical activity in middle-aged men. *Circulation* 41:743-752, 1970.
- (24) 内閣府．国民生活白書．2008.
- (25) 公益財団法人日本生産性本部．レジャー白書2017．2017.
- (26) 丹羽正．ランニング記録の法則性—記録予報— 体力科学 7(4):192-198, 1958.
- (27) 中垣内真樹、熊谷もりえ、鍋倉賢治、佐伯徹郎、三本木温、田中喜代次．全身持久性体力の評価法としての主観的運動強度を用いた最大下12分間走テストの提案．体育学研究 173-180, 1996.
- (28) 鍋倉賢治他．体力学．朝倉書店，pp.140-141(2014)
- (29) 中沢孝，辻本健彦，田中喜代次．日本人中高年マラソンランナーにおける走記録の横断的推移．ランニング学研究 29(2):167-180, 2018.
- (30) 公益社団法人日本マスターズ陸上競技連合．マスターズ道路競技日本記録(2018年3月31日現在)  
[http://japan-masters.or.jp/site\\_data/files/record-Road-M2018.3.31-4.24.pdf](http://japan-masters.or.jp/site_data/files/record-Road-M2018.3.31-4.24.pdf)  
(2019年3月3日アクセス)
- (31) 公益財団法人日本陸上競技連盟(JAAF)．記録，日本記録(2019年2月19日現在)

<https://www.jaaf.or.jp/record/japan/?segment=1>

(2019年2月24日アクセス)

- (32) 小野太佳司. フィットネスプログラムによる最大酸素摂取量の変化. 学習院大学スポーツ・健康科学センター紀要 12:29-32, 2004.
- (33) 大石宗雄他、梶岡義明、山本世志男. スピードから見た長距離・マラソン走の達成可能予測タイムに関する研究(そのII). 日本体育学会 第29回大会号:578, 1979.
- (34) Peel JB, Sui X, Matthews CE, Adams SA, He'bert JR, Hardin JW, Church TS, Blair SN.  
Cardiorespiratory Fitness and Digestive Cancer Mortality: Findings from the Aerobics Center Longitudinal Study. *Cancer Epidemiol Biomarkers Prev* 18(4):1111-1117, 2009.
- (35) Posner JD, Gorman KM, Klein HS, Klein HS, Cline CJ.  
Ventilatory threshold: measurement and variation with age. *Journal of Applied Physiology* 63(4):1519-1525, 1987.
- (36) Pollock ML, Dawson GA, Miller HS Jr, Ward A, Cooper D, Headley W, Linnerud AC, Nomeir MM.  
Physiologic responses of men 49 to 65 years of age to endurance training. *Journal of American Geriatrics Society* 24:104, 1976.
- (37) Pollock ML, Foster C, Knappet D, Rod J, Schmidt DH.  
Effect of age and training on aerobic capacity

and body composition of master athletes.

Journal of Applied Physiology 62(2):725-731,  
1987.

- (38) Quinn TJ, Manley MJ, Aziz J, Padham JL, Mackenzie AM. Aging and factors related to running economy. The Journal of Strength & Conditioning Research 25(11): 2971-2979, 2011.
- (39) ランナーズ編集部. ランナーズ2006年 7月号付録 フルマラソン1歳刻みランキング記録集(2005年4月~2006年3月), PP. 7-20(2006)
- (40) ランナーズ編集部. ランナーズ2008年7月号付録 フルマラソン1歳刻みランキング記録集 (2007/4-2008/3). (2008)
- (41) ランナーズ編集部. ランナーズ2010年7月号付録 フルマラソン1歳刻みランキング記録集(2009/4-2010/3), pp.12-26(2010)
- (42) ランナーズ編集部. ランナーズ2012年7月号付録 全日本マラソンランキング(2011/4-2012/3), pp.12-26(2012)
- (43) ランナーズ編集部. ランナーズ2014年7月号付録 第10回全日本マラソンランキング (2013/4-2014/3), pp.12-26(2014)
- (44) ランナーズ編集部. ランナーズ2016年7月号付録 第12回全日本マラソンランキング(2015/4-2016/3), pp.12-27(2016)
- (45) 須藤美智子, 三谷陽子, 鈴木政登. 健康関連体力の臨界レベ

- ルおよび望ましいレベルー健康診断結果および日常生活に起因した健康阻害要因に基づく設定ー. 体力科学 48 (2):265-279, 1999.
- (46) 鈴木 政登. 日本人の健康関連体力指標最大酸素摂取量基準域及び望ましいレベル. 体力科学 58(1):5-6, 2009.
- (47) Sui X, LaMonte MJ, Blair SN. Cardiorespiratory fitness as a predictor of non fatal cardiovascular events in asymptomatic women and men. *Am J Epidemiol* 165:1413-1423, 2007.
- (48) Sui X, Laditka JN, Hardin JW, Blair SN. Estimated Functional Capacity Predicts Mortality in Older Adults. *J Am Geriatr Soc* 55 (12):1940-1947, 2007.
- (49) Tanaka K, Maeda K. A comparison of maximal oxygen uptake during standing and uphill running. *Japanese Journal of Applied Physiology* 14:215-219, 1984.
- (50) 田中喜代次, 木塚朝博, 大蔵倫博. 健康づくり・介護予防のための体力測定評価法(第2版). (株)金芳堂, pp.8(2013)
- (51) 竹島伸生, 小林章雄, 田中喜代次, 新畑茂充, 渡辺丈真, 鷺見勝博, 鈴木雅裕, 小村発, 宮原満男, 上田一博, 加藤孝之. 中高年ランナーの最大酸素摂取量と乳酸性閾値ー加齢に伴う変化ー. 医学 8, 1989.
- (52) Tanaka H, Higuchi M. Exercise performance, and physiological functional capacities. *Advances in*

- Exercise and Sports Pysiology (AGE) 4(2):51-56,  
1998.
- (53) Tanaka H, Seals DH. Dynamic exercise performance in masters athletes: insight into the effects of primary human aging on physiological functional capacity. *Journal of Applied Physiology* 95(5):2152-2162, 2003.
- (54) 田中喜代次, 木塚朝博、大藏倫博, 健康づくりのための体力測定評価法. 金芳堂, pp.4 (2007)
- (55) 田中喜代次. Cardiorespiratory responses of three different categories of cross-country runners with running scores higher than 847. *体育学研究* 23(1): 81-90, 1978.
- (56) Trappe SW, Costill DL, Vukovich MD, Jones J, Melham T. Aging among elite distance runners: a 22-yr longitudinal study. *Journal of Applied Physiology* 80(1):285-290, 1996.
- (57) Trappe SW. Marathon Runners: how do they age? *Sports medicine* 37(4-5):302-305, 2007.
- (58) 高橋篤志, 友金明香, 池島明子, 豊岡示朗. 市民ランナーのマラソンレース中の推定 $\dot{V}O_{2max}$ の変動—12分間走テストを基にした予測法—. *大阪総合保育大学紀要* 8, 2013.
- (59) Verstappen FTJ, Huppertz RM, Snoeckx LHEM. Effect of Training Specificity on Maximal

- Treadmil and Bicycle Ergometer Exercise. Int J SportsMed 03(1):43-46. 1982.
- (60) Withers RT, Sherman WM, Miller JM, Costill DL. Specificity of the Anaerobic Threshold in Endurance Trained Cyclists and Runners. Eur J Appl Physiol 47:93-104, 1981.
- (61) 山西哲郎. 中高年の長期的ランニング・トレーニングの効果について. 群馬大学教育学部紀要 芸術・技術・体育・生活科学編 19:43-51, 1983.
- (62) 山地啓司, 池田岳子, 横山泰行, 松井秀治. 最大酸素摂取量から陸上中距離走, マラソンレースの競技記録を占うことが可能か. ランニング学研究 1:7-14, 1990.
- (63) 山地啓司. 最大酸素摂取量の科学. 杏林書院, pp. 59(2001)
- (64) 山地啓司. 最大酸素摂取量の科学. 杏林書院, pp. 184(2001)
- (65) 山口政信. フルマラソン100回完走者に関する研究. 明治大学人文科学研究所紀要 第四十二冊 159-172, 1997.

## 関連論文

中沢孝，辻本健彦，田中喜代次．

日本人中高年男性マラソンランナーにおける走記録の横断的  
推移．ランニング学研究 29（2）167-180，2018．

中沢孝，辻本健彦，前田清司，田中喜代次．

年齢別100位以内を維持する中高年男性マラソンランナー  
の加齢に伴うパフォーマンス変化に関する検討．運動疫学研  
究 第21巻1号，2019（3月31日に出版予定）．