

博士論文

日本人男子 100m 走における身長と通過時間, 区間時間,
ステップ変数, およびキネマティクス変数との関係

令和元年度

宮代賢治

筑波大学

目次

目次	i
図表タイトル一覧	ix
第1章 序論	1
第1節 研究背景	2
第2節 目的	8
第3節 問題	9
第4節 仮説	10
第5節 研究課題	11
第6節 略語の定義	13
第7節 用語の定義	15
第8節 研究の限界	18
第2章 文献研究	21
第1節 レース構造特性	22
第2節 コーチング場面における実用的評価指標	30
第3節 測定精度および測定簡便性	31
第4節 走速度に関する文献	33
第5節 通過時間および区間時間に関する文献	36
第6節 ステップ変数に関する文献	40
第7節 走動作に関する文献	46
第8節 競技者の身長および体重等に関する文献	50
第9節 空気抵抗（風速等）に関する文献	57
第10節 記録動向に関する文献	63
第3章 データ収集の方法	71
第1節 身長データの収集方法	72
第2節 100m 走の撮影方法	73
第3節 対象者の選定方法	75

第4章 統計解析方法	77
第1節 回帰分析	78
第2節 重回帰分析における独立変数の選択方法	79
第3節 ステップワイズ法における独立変数選択の基準	81
第4節 重回帰式の推定精度	81
第5章 研究課題 1	83
男子 100m 走における記録・身長・風速別の標準通過時間および 標準区間時間の推定	
第1節 緒言	84
第2節 方法	84
第3節 結果	87
第4節 考察	93
第5節 結論	103
第6章 研究課題 2	105
男子 100m 走における走時間・身長別の標準ステップ変数の推定	
第1節 緒言	106
第2節 方法	107
第3節 結果	114
第4節 考察	128
第5節 結論	142
第7章 研究課題 3	143
男子 100m 走の最大走速度局面における記録（走速度）・身長（下肢長） ・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作） 変数の推定	
第1節 緒言	144
第2節 方法	146
第3節 結果	155
第4節 考察	160
第5節 結論	165

第8章 総合討論	167
第1節 本研究の新規性	168
第2節 本研究の推定式の実践的利用価値	171
第9章 総括	187
第1節 結論	188
第2節 今後の課題	197
注	202
文献	203
付録	219
謝辞	221
博士論文に関連する研究業績一覧	222

図表タイトル一覧

第 1 章 序論

図 1.1	100m 走の記録と通過時間との関係……………	7
-------	-------------------------	---

第 2 章 文献研究

図 2.1	走速度の変化からみた 100m 走のレース構造特性……………	23
図 2.2	100m 走中の走速度, ストライド, およびピッチの 1 ステップ 毎の連続変化 (金高ほか, 2005 より抜粋)……………	26
図 2.3	100m 走中のステップ頻度およびステップ長の事例別連続変化 (松尾ほか, 2011 より抜粋)……………	27
図 2.4	100m 走におけるステップ頻度 (A), 支持時間 (B), 滞空時間 (C), および滞空比 (D) の競技記録レベル別動態 (宮代, 2012 を一部改変)……………	29
図 2.5	100m 走における 1 ステップ毎の支持時間 (=接地時間) の推移 (杉田, 2003a より抜粋)……………	29
図 2.6	世界一流競技者における最高走速度時のステップ頻度 (Mann, 2011 より抜粋)……………	42
図 2.7	世界一流競技者における最高走速度時のステップ長 (Mann, 2011 より抜粋)……………	42
図 2.8	身長と 100m 走の平均ステップ長との関係 (岡野ほか, 1988 より抜粋)……………	44
図 2.9	等速 (最大速度) 局面における走速度と, 相対接地距離 (左図) および相対離地距離 (右図) との関係 (福田・伊藤, 2004 より抜粋)……………	49
図 2.10	身長, 体重, BMI, および SLENDERNESS と 100m 走の記録 との関係……………	53
図 2.11	身長と SLENDERNESS との関係……………	54
図 2.12	男子 100m 走の西暦 (2008–2017 年) 別の日本ランキング上位 3 名 と, 各国上位 3 名以内で構成した世界ランキング上位 24 名の統計量 (最小値, 第 1 四分位数, 中央値, 第 3 四分位数, 最大値) における 記録, 身長, 体重, BMI, および SLENDERNESS の推移……………	55
図 2.13	オリンピック競技大会男子 100m 走の決勝出場競技者および 日本人出場競技者における身長の推移……………	56

図 2.14	国際競技会出場レベルの男女競技者における平地 100m 走の記録への風の影響 (Linthorne, 1994a より抜粋)	61
図 2.15	男子 100m 走における世界記録および日本記録の推移 (2019 年 11 月 23 日現在)	64
図 2.16	男子 100m 走における記録が 9 秒台の国内外競技者数の年次推移 (1975—2019 年)	65
図 2.17	男子 100m 走における記録が 10 秒 49 以内の日本人競技者数の年次推移 (1975—2019 年)	65
図 2.18	男子 100m 走における記録の国籍別 9 秒台達成競技者数 (2019 年 11 月 23 日現在)	66
図 2.19	2016 年の男子 100m 走における風速補正記録と国内順位との関係 ..	69
表 2.1	最高走速度から 100m 走の記録を推定する式	35
表 2.2	100m 走の記録から最高走速度を推定する式	35
表 2.3	100m 走の記録別の標準通過時間および標準区間時間 (阿江ほか, 1994 を改変)	39
表 2.4	100m 走における記録レベル群別の総ステップ数, 平均ステップ頻度, および平均ステップ長① (阿江ほか, 1994 を改変)	41
表 2.5	100m 走における記録レベル群別の総ステップ数, 平均ステップ頻度, および平均ステップ長② (岡野ほか, 1988 を改変)	41
表 2.6	日本人競技者と外国人競技者との間における記録, 身長, 体重, BMI, および SLENDERNESS の比較	54
表 2.7	男子 100m 走における風速の競技規則に関する国内競技規則の改正履歴 (川田ほか, 1995 を基に作表)	60
表 2.8	男子 100m 走における日本歴代 2 位記録の風速・高度別換算記録	62
表 2.9	男子 100m 走における日本歴代 4 位記録の風速・高度別換算記録	62
表 2.10	男子 100m 走において各国で最初に 9 秒台をマークした競技者の一覧 (2019 年 11 月 23 日現在)	67
表 2.11	男子 100m 走における風速による補正記録の世界歴代 30 傑 (2019 年 11 月 23 日現在)	68
第 3 章 データ収集の方法		
図 3.1	100m 走の撮影設定図	74
図 3.2	100m 走の撮影映像の一例	74

第5章 研究課題1

図 5.1	身長および風速のそれぞれと、各通過時間および各区間時間との偏相関関係の散布図行列	90
図 5.2	記録、身長、および風速のそれぞれと、各通過時間および各区間時間との偏相関関係の散布図行列	91
表 5.1	対象者の年齢、身長、体重、分析した 100m 走の記録、風速、および測定項目の平均値±標準偏差〔範囲〕	85
表 5.2	記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰式、推定値の標準誤差、決定係数、および自由度調整済み決定係数	92
表 5.3	先行研究と本研究の推定値(記録が 10.50s の場合)	94
表 5.4	記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間の例	97
表 5.5	日本人競技者と外国人競技者との間の ReT_{30} 、 ReT_{60} 、および ReT_{30-60} の比較	102

第6章 研究課題2

図 6.1	走時間とステップ数との関係	117
図 6.2	身長とステップ数との関係	117
図 6.3	走時間と支持時間との関係	118
図 6.4	身長と支持時間との関係	118
図 6.5	身長と滞空時間との関係	119
図 6.6	走時間と滞空比との関係	119
図 6.7	身長と、走時間 (x) とステップ数 (y) との単回帰分析により算出された残差との関係	120
図 6.8	身長と走時間との関係	120
図 6.9	走時間および身長のそれぞれと、各ステップ数との偏相関関係の散布図行列	121
図 6.10	走時間および身長のそれぞれと、各支持時間との偏相関関係の散布図行列	122
図 6.11	走時間および身長のそれぞれと、各滞空時間との偏相関関係の散布図行列	123
図 6.12	走時間および身長のそれぞれと、各滞空比との偏相関関係の散布図行列	124

表 6.1	対象者の年齢, 身長, 体重, 分析した 100m 走の記録, その時の風速, および測定項目 (後述) の平均値±標準偏差 [範囲]	109
表 6.2	走時間・身長別の標準ステップ数を算出する重回帰式, 推定値の標準誤差, 決定係数, および自由度調整済み決定係数.....	125
表 6.3	走時間・身長別の標準支持時間を算出する重回帰式, 推定値の標準誤差, 決定係数, および自由度調整済み決定係数.....	126
表 6.4	身長別の標準滞空時間を算出する単回帰式, 推定値の標準誤差, 決定係数, および自由度調整済み決定係数.....	127
表 6.5	走時間別の標準滞空比を算出する単回帰式, 推定値の標準誤差, 決定係数, および自由度調整済み決定係数.....	127
表 6.6	100m 走の記録・身長別の標準 S_{100} と誤差範囲.....	131
表 6.7	100m 走の T_{30-60} ・身長別の標準 $SF_{30-60} * SL_{30-60}$ と誤差範囲 (身長 1.60—1.75m).....	132
表 6.8	100m 走の T_{30-60} ・身長別の標準 $SF_{30-60} * SL_{30-60}$ と誤差範囲 (身長 1.80—1.95m).....	133
表 6.9	100m 走の記録・身長別の標準 ST_{100} と誤差範囲.....	136
表 6.10	100m 走の T_{30-60} ・身長別の標準 ST_{30-60} と誤差範囲.....	137
表 6.11	滞空比を推定する回帰式の独立変数 (走時間, 身長, ステップ頻度) に関する結果.....	140
表 6.12	走時間・身長・ステップ頻度別の標準滞空比を算出する重回帰式, 推定値の標準誤差, 決定係数, および自由度調整済み決定係数.....	141
第 7 章 研究課題 3		
図 7.1	60m 全力疾走の実験設定図 (宮代, 2018 の図を一部改変).....	149
図 7.2	分析範囲 (1 サイクル) における支持期, 滞空期, および回復期の定義.....	153
図 7.3	関節角度と身体部分角度の定義.....	153
表 7.1	対象者の年齢, 身長, 体重, 100m 走の最高記録, および測定項目の平均値±標準偏差 [範囲]	147
表 7.2	下肢長, 滞空比, ステップ頻度, および回復比を推定する回帰式, 推定値の標準誤差, 決定係数, 自由度調整済み決定係数	157
表 7.3	走速度・下肢長・ステップ頻度・回復比別の標準キネマティクス (走動作) 変数を算出する重回帰式, 推定値の標準誤差, 決定係数, および自由度調整済み決定係数.....	158

表 7.4	4 条件におけるキネマティクス(走動作)変数の変化の例……………	159
第 8 章 総合討論		
図 8.1	散布図による 100m 走の記録と T_{60} の事例……………	176
図 8.2	散布図による SF_{30-60} と SL_{30-60} の事例……………	182
図 8.3	S_{100} と S_{30} , S_{60} , S_{90} , S_{30-60} , S_{60-90} , および S_{90-100} との関係……………	183
表 8.1	標準 T_{60} および (外)標準 T_{60} の事例……………	175
表 8.2	標準 S_{100} , 推定 SF_{30-60} , および推定 SL_{30-60} の事例……………	181
第 9 章 総括		
図 9.1	T_{30} , T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , および T_{90-100} の残差間の関係……………	198
表 9.1	記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する 重回帰式……………	189
表 9.2	100m 走における記録・身長・風速別の標準通過時間および 標準区間時間の例(記録が 10.50s の場合)……………	189
表 9.3	走時間・身長別の標準ステップ数を算出する重回帰式……………	191
表 9.4	走時間・身長別の標準支持時間を算出する重回帰式……………	191
表 9.5	身長別の標準滞空時間を算出する重回帰式……………	192
表 9.6	走時間別の標準滞空比を算出する重回帰式……………	192
表 9.7	100m 走における記録・身長別の標準 S_{100} の例……………	192
表 9.8	100m 走における T_{30-60} ・身長別の標準 S_{30-60} の例……………	193
表 9.9	100m 走における T_{30-60} ・身長別の標準 $SF_{30-60} \cdot SL_{30-60}$ の例……………	193
表 9.10	100m 走における T_{30-60} ・身長別の標準 ST_{30-60} の例……………	193
表 9.11	走速度・下肢長・ステップ頻度・回復比別の標準キネマティクス (走動作) 変数を算出する重回帰式……………	195
表 9.12	下肢長, 滞空比, ステップ頻度, および回復比を推定する回帰式……………	196
表 9.13	100m 走の最大走速度局面における記録(走速度)・身長(下肢長)・ ステップ頻度・滞空比(回復比)別の標準キネマティクス(走動作) 変数の例……………	196

第 1 章

序論

第1節 研究背景

競技スポーツにおけるパフォーマンスの向上は、適切なトレーニングサイクルを循環させることによって可能となる(図子, 2013, 2014). 陸上競技の100m走の場合、競技会のレース内容^{注1)}について競技者の現状を正確に把握し、レース内容について適切な目標設定を行うことは、記録向上のために必要なプロセスである(図子, 2009). レース内容の現状を正確に把握し、適切な目標設定を行うことができれば、競技者の問題点をより正確かつ具体的に診断でき、その解決のためのトレーニング課題を設定できる. コーチや競技者自身がレース内容の現状把握(評価)と目標設定を客観的かつ的確に行うためには、何らかの基準が必要になる. そのため、バイオメカニクスのレース分析データによって評価や目標設定を行うための基準値を示すことが有効である(山元, 2019; 図子, 2000).

このようにして基準値を明らかにする時、どのような測定項目を利用するかに関しては、100m走のレース構造特性、コーチング場面における実用性や応用性、測定精度、および測定簡便性(詳細は、第2章第1-3節を参照されたい)を考慮することが重要である. したがって、走速度の変化からみた4局面(図2.1: 第1加速局面, 第2加速局面, 速度維持局面, 減速局面)に対応する区分地点として、30m地点, 60m地点, 90m地点の通過時間, 区間時間, 通過ステップ変数^{注2)}, 区間ステップ変数, そしてこれらに影響を及ぼす走動作を測定項目として利用することが良いと考えられる.

100m走に関する研究では、男子競技者を対象の中心として、走速度、通過時間、区間時間、ステップ変数、およびキネマティクス変数を扱ってレース分析したものが数多く行われている. 10m毎の各地点の通過時間および区間時間を扱う先行研究(阿江ほか, 1994)では、100m走の記録と30m地点, 60m地点などの通過時間および区間時間との間に非常に強い正の相関関係が認められており、記録を独立変数、通過時間および区間時間をそれぞれ従属変数とする単回帰式が報告されている(この種の回帰分析は予測することを目的としているので、因果関係を扱わない). これら単回帰式の推定値は、横断的データの統計分析により示されたものであるため、記録別の標準通過時間および標準区間時間と捉えられる^{注3)}. すなわち、これらの推定値は100m走における通過時間および区間時間の評価や目標設定を行うための階層的な(=100m走の記録別の)基準値としての役割を担う. 一方、先行研究の通過時間や区間時間の観測事例および事例対象者の身長データを見ると(図1.1)、記録だけでなく身長も、通過時間および区間時間との間に相関関係を示すことが見え隠れしていることが明らかになり、100m走の記録が同じ横断的データの場合には、身長が低いほど加速局面(速度維持, 減速局面)に対応する通過時間および区間時間が短い(長

い) 傾向のレース展開である可能性が高いといえる。また、一般的に走速度と風速との相対速度が大きいほど空気抵抗が大きいことや、100m 走においてレース中の走速度が一定ではないこと (阿江ほか, 1994 ; 天野, 2012 ; 金高, 2005) から、レースの風速条件の違いが通過時間および区間時間へ及ぼす影響は、走速度が高い局面ほど大きい。それゆえ、100m 走の記録が同じ横断的データの場合には、風速条件が良いほど走速度が高い局面に対応する区間時間が短い傾向のレース展開であり^{注4)}、記録および身長だけでなく風速によっても 100m 走の通過時間および区間時間は変化する可能性が高いといえる。このことは、これを支持する観測事例 (松尾ほか, 2009, 2010a ; Olympics at Sports-Reference.com, online) があることから指摘できる。記録、身長、および風速のみが通過時間および区間時間を変化させるわけではないと推測されるが、以上のことから、多数の競技者から成る横断的データを用いて、記録とともに身長および風速と、各局面に対応する通過時間および区間時間との関係を重回帰分析を用いて検証することにより、記録だけでなく、身長および風速に応じた通過時間および区間時間の基準値として 100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰推定式を新たに作成できると考えられる。このことは、各局面に対応する通過時間および区間時間、並びにレース展開の評価および目標設定を、階層的 (100m 走の記録別) かつ類型的 (身長別, 風速別) に行うために、有益である。また、このように多数の競技者のデータを用いて統計的に求められる基準値は、各競技者や各コーチが各自の経験によって作り上げるバラバラの基準値を統一した客観的かつ科学的なものとなり、多くの競技者やコーチが共通利用できるという点で有益である。共通の基準を利用することで、コーチング場面における競技者とコーチとの間、競技者間、あるいはコーチ間のコミュニケーションは、より円滑に進行するだろう。しかし、これまでに記録、身長、および風速を同時に扱って、100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰推定式の作成を試みた研究は見当たらない。

身長は、身体の大きさを評価する基本的指標であり、個人差を表現する指標の中でも代表的なものである。多くのスポーツ科学論文においては、対象者の身体的特性を表す基本情報として身長が示されるほどである。また、身長は簡便に測定でき、学校教育の中で定期的に測定され、身近な測定項目である。発育・発達のメルクマーク (遠藤, 2018) ともいえる身長は、17 歳辺りまで伸びるが (首都大学東京体力標準値研究会編, 2007), 同一競技者において成人以降に変化することはなく、トレーニングによって変化させることはできない。一方、身長の個人差は決して小さいといえず、身長は 100m 走の競技者において 1.60m から 1.96m までの範囲で変動する (野口・千田, 2013 : 図 2.10, 表 2.6)。その上、身長 (下肢長) がステップ頻度、ステップ

長、および走動作を著しく制限し（阿江，2001；岡野ほか，1988；Paruzel-Dyja et al., 2006），筋力などの体力的要因にも影響する．以上より，身長は競技者を識別するために先ず考慮すべき基本的な個人要因であり，身長に応じた基準値があれば，100m 走のレース内容について，よりの確な評価や目標設定が可能になると考えられる．特に，日本人競技者は外国人競技者に比べて低身長であるので（表 2.6, 図 2.13），身長に応じた評価や目標設定の基準値は，日本人競技者の 100m 走におけるレース戦術を考える上で有用な知見として貢献できる．

続いて，ステップ変数やキネマティクス（走動作）変数を扱う先行研究を見ると，ステップ変数については，レース全体もしくは区間毎に身長別の標準ステップ長を算出する単回帰式（阿江ほか，1994；岡野ほか，1988）が示されているだけである．しかし，ステップ変数は，走時間^{註5)}（もしくは走速度）との間にも相関関係を示すことが報告されている（有川，1991；宮代，2012；Paruzel-Dyja et al., 2006）．したがって，これら単回帰式の推定値は走時間による影響を除去できていないので，ステップ変数の評価や目標設定の基準値としてコーチや競技者が利用するには不十分である．キネマティクス変数については，高い最大走速度における短距離走の重要なキネマティクスの特性について有益な知見が明らかにされているものの（伊藤ほか，1998；Kunz and Kaufmann, 1981；Toyoshima and Sakurai, 2016），特定の走時間（走速度）や身長に応じた基準値を示した研究は見当たらない．しかし，ステップ変数およびキネマティクス変数は、どちらも走時間だけでなく身長との間に相関関係を示すこと（有川，1991；伊藤ほか，1998；宮代，2012；岡野ほか，1998；Paruzel-Dyja et al., 2006；Yokoi et al., 1987）や2つの身長群間に差を示すこと（谷川・内藤，2015；横井，1988）が報告されている．下肢のキネマティクス変数について，一定の角速度の場合には，理論的に下肢長（身長）が長い競技者が高い末端速度を示すものの，下肢長が長い競技者は大きな慣性モーメントを伴う．したがって，下肢長の差は高い最大走速度におけるキネマティクスの差を示す可能性がある．以上より，多数の競技者から成る横断的データを用いて，100m 走の走時間（もしくは走速度）と身長（もしくは下肢長）を同時に扱い，レース全体および各区間におけるステップ変数および最大走速度局面におけるキネマティクスとの関係を重回帰分析を用いて検証することにより，走時間だけでなく，身長に応じたステップ変数およびキネマティクス変数の基準値として，100m 走における走時間・身長別の標準ステップ変数および標準キネマティクス変数を算出する重回帰推定式を新たに作成できると考えられる．このようにして推定式を作成することにより，競技者におけるステップ変数やキネマティクス変数の評価や目標設定を，階層的（走時間別）かつ類型的（身長別）に行えるようになると思われる．また，ステップ頻度およびステップ長を変化させるための

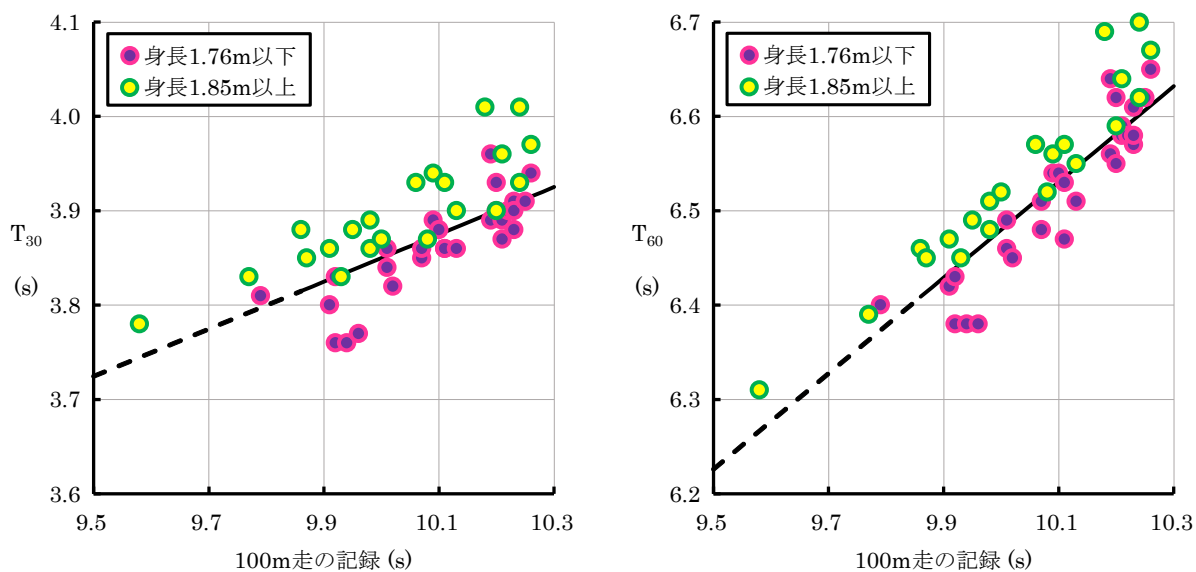
トレーニング手段（マーク走やスティック走など，大村，2015；土江，2009，2011；安井，2015）におけるステップ長の設定基準値として，走時間・身長別の標準ステップ長を利用できると考えられる．しかし，これまでに多数の競技者を対象として，走時間・身長別の標準ステップ変数や標準キネマティクス変数を算出する重回帰推定式の作成を試みた研究は見当たらない．

一方，ステップ長とステップ頻度の組み合わせは，下肢長（身長）により幾分影響を受けるものであるが，高い最大走速度の短距離走のキネマティクスに影響を及ぼす要因である（Toyoshima and Sakurai, 2016）．それゆえ，短距離走のキネマティクスと最大走速度との関係を，下肢長（身長）だけでなくステップ特性を考慮して，検証することは必要不可欠である．ストライド頻度はストライド時間の逆数であり，1ストライドは支持期と回復期から成るので（図7.2），競技者2名のストライド頻度が互いに同じだとしても，支持時間と回復時間の組み合わせ（回復比^{註6}）が様々に存在し得る．回復比は，滞空比^{註7}（支持時間と滞空時間の組み合わせ）との間にも極めて高い相関関係があると推測される．それゆえ，下肢長（身長）だけでなく，これらのステップ特性（ステップ頻度および回復比）を考慮することにより，より高い最大走速度における短距離走のキネマティクスに対する理解が深まる．

走速度に加えて，下肢長（身長）とステップ変数の下肢キネマティクス変数への影響を検証するために，重回帰分析は有益である．重回帰分析により，最大速度局面における走速度，下肢長（身長），ステップ頻度，および回復比を操作することで，キネマティクス変数における変化量を独立変数（最大走速度，下肢長，ステップ頻度，回復比）間で比較および評価することが可能である．100m走の記録は，最大走速度から非常に高い精度で推定され（天野，2012），下肢長は身長，回復比は滞空比との間に非常に高い相関関係を示すことが推測される．したがって，横断的データを用いて最大走速度，下肢長，およびステップ変数（ステップ頻度，回復比）を同時に扱い，各キネマティクス（走動作）変数との相関関係を重回帰分析を用いて検証するだけでなく，単回帰分析により下肢長と身長との相関関係と，回復比と滞空比との相関関係を追加検証することにより，100m走の記録（最大走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準走動作を求める回帰推定式を新たに作成できると考えられる．このようにして推定式を作成することにより，キネマティクス（走動作）についても現状把握（評価）や目標設定を，階層的（記録別）かつ類型的〔身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別〕に行えるようになると考えられる．コーチング場面では，走速度よりも走時間，下肢長よりも身長が扱いやすい尺度であると推測されるので，特に100m走の記録別および身長別に標準キネマティクス変数を明らかにすることは，競技者やコーチにとって有益であると考えられる．しかし，これ

までに 100m 走における各キネマティクス変数の階層的かつ類型的な基準値を明らかにするために、多数の競技者を対象として記録（最大走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数を算出する推定式の作成を試みた研究は見当たらない。

以上のように、通過時間、区間時間、ステップ変数、およびキネマティクス（走動作）変数において、評価や目標設定のための階層的かつ類型的な基準値を明らかにすることで、その時点での競技者の位置を客観的に把握すること（遠藤，2018）が可能である。また、これら変数の階層的かつ類型的な基準値が、目的地（最終的な競技力と最終的な競技の目標）をコーチが正確に把握し、そこに至るまでの道筋に対して確度の高い予測が担保された「地図」（遠藤，2018）の材料としての役割を果たすと考えられ、競技者のパフォーマンス向上のための効果的なトレーニングサイクルの循環に貢献できるだろう。



† T_{30} 、 T_{60} : 30m地点、60m地点の通過時間.

‡ 両図の回帰直線は阿江ほか (1994) の単回帰式 (表2.3) を用いて示した.

‡‡ T_{30} および T_{60} のデータは、文献やWEBサイト (リストは、第2章 第5節を参照されたい) に、公開された値である.
身長データのデータも、文献やWEBサイト (リストは、第2章 第8節を参照されたい) に公開された値である.

図 1.1 100m 走の記録と通過時間との関係

第2節 目的

本研究の目的は、日本人男子競技者を対象に 100m 走における記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間，走時間・身長別の標準ステップ変数（ステップ数，支持時間，滞空時間，滞空比），および記録（最大走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数を算出する推定式を作成することによって，100m 走における競技者の評価や目標設定に貢献することであった。

第3節 問題

100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間，走時間・身長別の標準ステップ変数，および記録（最大走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数を算出する推定式を作成するために，本研究で解決しなければならない一般的問題は，「100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間，走時間・身長別の標準ステップ変数，および記録（走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数を算出する推定式は，どのようなものか」であった．一般的問題を具体的に解決するための下位問題は，以下の通りであった．

1. 100m 走の記録，身長，および風速は，それぞれ通過時間および区間時間との間に，どのような関係があるのか．
2. 100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する推定式は，どのようなものか．
3. 100m 走の走時間（記録，通過時間，区間時間）および身長は，それぞれステップ変数（ステップ数，支持時間，滞空時間，滞空比）との間に，どのような関係があるのか．
4. 100m 走の走時間・身長別の標準ステップ変数を算出する推定式は，どのようなものか．
5. 100m 走の記録（最大走速度），身長（下肢長），ステップ変数（ステップ頻度，滞空比）は，それぞれキネマティクス（走動作）変数との間に，どのような関係があるのか．
6. 100m 走の記録（最大走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数を算出する推定式は，どのようなものか．

第4節 仮説

本研究の一般的問題および下位問題を解決するために検証された仮説は、以下の通りであった。

1. 100m 走の記録，身長，および風速は，それぞれ通過時間および区間時間との間に，相関関係がある。
2. 100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する推定式は，重回帰式である。
3. 100m 走の走時間（記録，通過時間，区間時間）および身長は，それぞれステップ変数（ステップ数，支持時間，滞空時間，滞空比）との間に，相関関係がある。
4. 100m 走の走時間・身長別の標準ステップ変数を算出する推定式は，重回帰式である。
5. 100m 走の記録（最大走速度），身長（下肢長），ステップ変数（ステップ頻度，滞空比）は，それぞれキネマティクス（走動作）変数との間に，相関関係がある。
6. 100m 走の記録（最大走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数を算出する推定式は，重回帰式である。

第5節 研究課題

前述した仮説を検証するための研究課題を、以下のように設定した。

1. 研究課題1：男子100m走における記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間の推定

日本人男子競技者を対象に100m走の記録、身長、および風速と、通過時間および区間時間との相関関係を検証し、記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰推定式を作成する。

仮説1：100m走の記録、身長、および風速は、それぞれ通過時間および区間時間との間に、相関関係がある。

仮説2：100m走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する推定式は、重回帰式である。

2. 研究課題2：男子100m走における走時間・身長別の標準ステップ変数の推定

日本人男子競技者を対象に100m走のレース全体および各区間において、走時間（100m走の記録、通過時間、区間時間）および身長と、ステップ変数（ステップ数、支持時間、滞空時間、滞空比）との相関関係を検証し、走時間・身長別の標準ステップ変数を算出する重回帰推定式を作成する。

仮説3：100m走の走時間（記録、通過時間、区間時間）および身長は、それぞれステップ変数（ステップ数、支持時間、滞空時間、滞空比）との間に、相関関係がある。

仮説4：100m走の走時間・身長別の標準ステップ変数を算出する推定式は、重回帰式である。

3. 研究課題3：男子100m走の最大走速度局面における記録（走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数の推定

日本人男子競技者を対象に、ショートスプリント走の最大走速度局面において、記録（走速度）、身長（下肢長）、ステップ頻度、および滞空比（回復比）と、キネマティクス（走動作）変数との相関関係を検証し、100m走の記録（最大走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数を算出する重回帰推定式を作成する。

仮説5：100m走の記録（最大走速度）、身長（下肢長）、ステップ変数（ステップ頻度、滞空比）は、それぞれキネマティクス（走動作）変数との間に、相関関係がある。

仮説6：100m走の記録（最大走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数を算出する推定式は、重回帰式である。

第6節 略語の定義

本研究を通じて使用される主要な略語の定義は、以下の通りである。

1. T_{30} , T_{60} , T_{90}

100m 走における 30m 地点, 60m 地点, 90m 地点の通過時間.

2. T_{30-60} , T_{60-90} , T_{90-100}

100m 走における 30m 地点から 60m 地点, 60m 地点から 90m 地点, 90m 地点からゴール (100m) 地点までの区間時間.

3. S_{100}

総ステップ数, すなわち 100m 走におけるスタート地点からゴール地点までに要したステップ数.

4. S_{30} , S_{60} , S_{90}

100m 走における 30m 地点, 60m 地点, 90m 地点の通過ステップ数. すなわち, スタート地点から 30m 地点, 60m 地点, および 90m 地点までに要したステップ数.

5. S_{30-60} , S_{60-90} , S_{90-100}

100m 走における 30m 地点から 60m 地点, 60m 地点から 90m 地点, 90m 地点からゴール (100m) 地点までに要したステップ数 (区間ステップ数).

6. ReT_{30} , ReT_{60} , ReT_{90} , ReT_{30-60} , ReT_{60-90} , ReT_{90-100}

研究課題 1 における 100m 走の記録, 身長, および風速を独立変数, 各通過時間 (T_{30} , T_{60} , T_{90}) もしくは各区間時間 (T_{30-60} , T_{60-90} , T_{90-100}) を従属変数とする重回帰分析によって算出された残差.

7. ReS_{100} , ReS_{30} , ReS_{60} , ReS_{90} , ReS_{30-60} , ReS_{60-90} , ReS_{90-100}

研究課題 2 における 100m 走の走時間 (記録, T_{30} , T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , もしくは T_{90-100}) および身長を独立変数, 総ステップ数 (S_{100}), 各通過ステップ数 (S_{30} , S_{60} , S_{90}), もしくは各区間ステップ数 (S_{30-60} , S_{60-90} , S_{90-100}) を従属変数とする重回帰分析によって算出された残差.

8. ST₁₀₀, ST₃₀, ST₆₀, ST₉₀

100m 走のスタート直後にスタートブロックから離れた足の最初 (1 ステップ目) の接地から, ゴール (100m) 地点, 30m 地点, 60m 地点, および 90m 地点の通過直前のステップ接地までの平均支持時間. ST は, Support Time を略したものである.

9. ST₃₀₋₆₀, ST₆₀₋₉₀, ST₉₀₋₁₀₀

100m 走における 30m 地点通過直後のステップ接地から 60m 地点通過直前のステップ接地まで, 60m 地点通過直後のステップ接地から 90m 地点通過直前のステップ接地まで, および 90m 地点通過直後のステップ接地からゴール (100m) 地点通過直前のステップ接地までの平均支持時間.

10. FT₁₀₀, FT₃₀, FT₆₀, FT₉₀

100m 走のスタート直後にスタートブロックから離れた足の最初 (1 ステップ目) の接地から, ゴール (100m) 地点, 30m 地点, 60m 地点, および 90m 地点の通過直前のステップ接地までの平均滞空時間. FT は, Flight Time を略したものである.

11. FT₃₀₋₆₀, FT₆₀₋₉₀, FT₉₀₋₁₀₀

100m 走における 30m 地点通過直後のステップ接地から 60m 地点通過直前のステップ接地まで, 60m 地点通過直後のステップ接地から 90m 地点通過直前のステップ接地まで, および 90m 地点通過直後のステップ接地からゴール (100m) 地点通過直前のステップ接地までの平均滞空時間.

12. FSR₁₀₀, FSR₃₀, FSR₆₀, FSR₉₀

100m 走のスタート直後にスタートブロックから離れた足の最初 (1 ステップ目) の接地から, ゴール (100m) 地点, 30m 地点, 60m 地点, および 90m 地点の通過直前のステップ接地までの平均滞空比 (平均滞空時間/平均支持時間). FSR は, Flight/Support Ratio を略したものである.

13. FSR₃₀₋₆₀, FSR₆₀₋₉₀, FSR₉₀₋₁₀₀

100m 走における 30m 地点通過直後のステップ接地から 60m 地点通過直前のステップ接地まで, 60m 地点通過直後のステップ接地から 90m 地点通過直前のステップ接地まで, および 90m 地点通過直後のステップ接地からゴール (100m) 地点通過直前のステップ接地までの平均滞空比 (平均滞空時間/平均支持時間).

第7節 用語の定義

本研究を通じて使用される主要な用語の定義は、以下の通りである。

1. 標準

標準値, 標準通過時間, 標準区間時間, 標準ステップ変数, 標準ステップ数, 標準ステップ頻度, 標準ステップ長, および標準キネマティクス変数における「標準」は、「平均的であること, 普通, 並み」という意味で用いることとする。ただし, 「標準偏差」, 「推定値の標準誤差」, 「標準化残差」, 「標準化」などの統計量における「標準」はこの限りではなく, 統計学の分野で使用される意味で用いることとする。

2. 通過時間

100m 走のスタート時点から, レース途中の各地点を競技者のトルソー (頭部, 両腕, および両脚を除いた胴体の部分) が通過する時点までの時間。本研究で扱う通過時間は, 30m 地点, 60m 地点, 90m 地点の通過時間 (T_{30} , T_{60} , T_{90}) である。

3. 区間時間

通過時間と別の通過時間との差, もしくは 100m 走の記録と通過時間との差。本研究で扱う区間時間は, 30m 地点から 60m 地点, 60m 地点から 90m 地点, 90m 地点からゴール (100m) 地点までの区間時間 (T_{30-60} , T_{60-90} , T_{90-100}) である。

4. 走時間

本研究では, 100m 走の記録, 30m 地点, 60m 地点, 90m 地点の通過時間 (T_{30} , T_{60} , T_{90}), 30m 地点から 60m 地点, 60m 地点から 90m 地点, 90m 地点からゴール (100m) 地点までの区間時間 (T_{30-60} , T_{60-90} , T_{90-100}) を指す。

5. ステップ

100m 走における 1 歩. 左右一方の足の接地から, 次に他方の足の接地までを表す。

6. ステップ頻度

100m 走における 1s あたりのステップ数, もしくは 1 ステップに要した時間の逆数。国内では, ピッチと呼称されることもある (大村, 2015; 土江, 2009, 2011; 安井, 2015)。本研究では, ピッチはステップ頻度の同義語であるとする。

7. ステップ長

100m 走における走行方向の1ステップの長さ. 国内では, ストライドと呼称されることもある(大村, 2015; 土江, 2009, 2011; 安井, 2015). 本来, ストライド(stride)という用語は, 左右一方の足の接地から, 次に同じ足が接地するまでの1サイクル, すなわち2ステップを表すので(Salo et al., 2011), 国内においてステップ長をストライドと呼称することは, 学術的に誤りである. しかし, 指導書(大村, 2015; 土江, 2009, 2011; 安井, 2015)において, ステップ長としてのストライドという用語が頻繁に用いられているなど, 国内にはステップ長を表す「ストライド」が浸透していることが推測される. したがって本研究では, ストライドはステップ長の同義語であるとする.

8. ステップ変数

本研究では, ステップ数, ステップ頻度, ステップ長, 支持時間, 滞空時間, 滞空比, 回復時間, および回復比の8つを指す.

9. 通過ステップ数

100m 走のスタート時点から, レース途中の各地点を競技者のトルソーが通過する時点までに要したステップ数. 本研究で扱う通過ステップ数は, 30m 地点, 60m 地点, 90m 地点の通過ステップ数 (S_{30} , S_{60} , S_{90}) である.

10. 区間ステップ数

通過ステップ数と別の通過ステップ数との差, もしくは総ステップ数 (S_{100}) と通過時間との差. 本研究で扱う区間ステップ数は, 30m 地点から 60m 地点, 60m 地点から 90m 地点, 90m 地点からゴール(100m) 地点までに要したステップ数 (S_{30-60} , S_{60-90} , S_{90-100}) である.

11. 支持時間

走において足が接地した時点から, その足が離地した時点までに要した時間を指す.

12. 滞空時間

走において足が離地した時点から, 反対足が次に接地した時点までに要した時間を指す.

13. 滞空比

滞空時間を支持時間で除した値である。

14. 回復時間

走において足が離地した時点から、その足が次に接地した時点までに要した時間を指す。

15. 回復比

回復時間を支持時間で除した値である。

16. キネマティクス変数

走動作に関する変数であり、本研究では下肢の関節およびセグメント（部分）の角度および角速度を、キネマティクス変数として扱う（詳細は、第 7 章 研究課題 3 を参照されたい）。

第8節 研究の限界

1. 用語の定義による限界

本章の第7節において、本研究を通じて使用される用語の定義が明確に示されたが、この定義の範囲内で検討がなされ、結論が示される。

2. 標本による限界

本研究では、短距離種目を専門とする成人（18歳以上）の日本人男子競技者を対象として研究課題が検証され、結論が示される。そのため、本研究で示された結論を、外国人競技者、発育段階の競技者、および一般人、さらに本研究の標本とは異なる競技水準の競技者にそのまま当てはめることには限界がある。本研究は男子競技者を対象に実施されたが、Ciacci et al. (2017) は、短距離走のキネマティクスは競技者の性別による影響を部分的に受けることや、キネマティクスの差が主に競技レベルによる差によって生み出されることを明らかにしている。したがって、本研究の知見は、検討された競技レベルの範囲である限り、女子競技者に対して転移できると考えられる。

3. 測定項目による限界

本研究では、100m 走のレース構造特性、コーチング場面における実用性、測定精度、および測定簡便性を考慮して、以下の測定項目を選定している。

- (1) 100m 走の 30m 地点、60m 地点、および 90m 地点の通過時間 (T_{30} , T_{60} , T_{90}) と、30m 地点から 60m 地点、60m 地点から 90m 地点、および 90m 地点からゴール (100m) 地点までの区間時間 (T_{30-60} , T_{60-90} , T_{90-100})。
- (2) 100m 走の総ステップ数、30m 地点、60m 地点、および 90m 地点の通過ステップ数 (S_{100} , S_{30} , S_{60} , S_{90}) と、30m 地点から 60m 地点、60m 地点から 90m 地点、および 90m 地点からゴール (100m) 地点までの区間ステップ数 (S_{30-60} , S_{60-90} , S_{90-100})。
- (3) 100m 走のスタート直後にスタートブロックから離れた足の最初 (1 ステップ目) の接地から、ゴール (100m) 地点、30m 地点、60m 地点、および 90m 地点の通過直前のステップ接地までの平均支持時間 (ST_{100} , ST_{30} , ST_{60} , ST_{90})、平均滞空時間 (FT_{100} , FT_{30} , FT_{60} , FT_{90})、平均滞空比 (FSR_{100} , FSR_{30} , FSR_{60} , FSR_{90})。

- (4) 100m 走の 30m 地点通過直後のステップ接地から 60m 地点通過直前のステップ接地まで、60m 地点通過直後のステップ接地から 90m 地点通過直前のステップ接地まで、および 90m 地点通過直後のステップ接地からゴール (100m) 地点通過直前のステップ接地までの平均支持時間 (ST_{30-60} , ST_{60-90} , ST_{90-100}), 平均滞空時間 (FT_{30-60} , FT_{60-90} , FT_{90-100}), 平均滞空比 (FSR_{30-60} , FSR_{60-90} , FSR_{90-100}).
- (5) 最大走速度局面における走速度, ステップ変数, および下肢のキネマティクス (走動作) 変数 (表 7.1 を参照)

したがって, 本研究の結論は, 以上の選定された測定項目の範囲内で示される.

第 2 章 文献研究

本章では、男子 100m 走を中心とするスプリント走を扱う関連文献のレビューを行う。

コーチや競技者自身が 100m 走におけるレース内容の現状把握（評価）と目標設定を客観的かつ的確に行うためには、何らかの基準が必要である。そのため、バイオメカニクスのレース分析データを用いて、評価や目標設定をするための基準値を示すことが有効である（山元，2019；図子，2000）。このように基準値を明らかにする時、どのような測定項目を利用するかに関しては、100m 走のレース構造特性，コーチング場面における実用性，測定精度，および測定簡便性を考慮することが重要である。以下の第1節から第3節にかけて、これらの要点をまとめ、文献のレビューを行う。

第1節 レース構造特性

1. レースパターンと走速度の変化からみた 100m 走のレース構造特性

100m 走を含む陸上競技の短距離およびハードル種目（100m, 200m, 400m, 800m, 110mH, 100mH, 400mH）の研究や指導書において、レース中の走速度の変化様式（走速度曲線，区間時間曲線）は、国内では「レースパターン」と呼称されている（阿江ほか，1994；Gajer et al., 1999；門野ほか，2008；川上ほか，2004；宮下，2012；森丘ほか，2000；太田・有川，1999；土江，2011，山元ほか，2013）。屋外正式種目の中で最も走距離が短い 100m 走は、競技者がスタート直後からゴールまでほぼ全力で走行することから、オールアウト型のペース配分（All-out pacing strategy,）を示すレースパターンを描く（Abbiss and Laursen, 2008）。すなわち走速度は、概してスタート直後からの急激な加速と緩やかな加速を伴って最高値に到達した後、ゴールまで漸減するというものである（図 2.1）。このようなレースパターンから、100m 走は急激な加速を伴う第1加速局面，最高走速度に到達するまでの比較的緩やかな加速を伴う第2加速局面，速度維持局面，および減速局面の4つの局面に分けられることが少なくない（天野，2012；土江，2009，2011）。

以上より、走速度の変化からみると 100m 走のレース構造特性は 4 つの局面（図 2.1）を有するといえる。

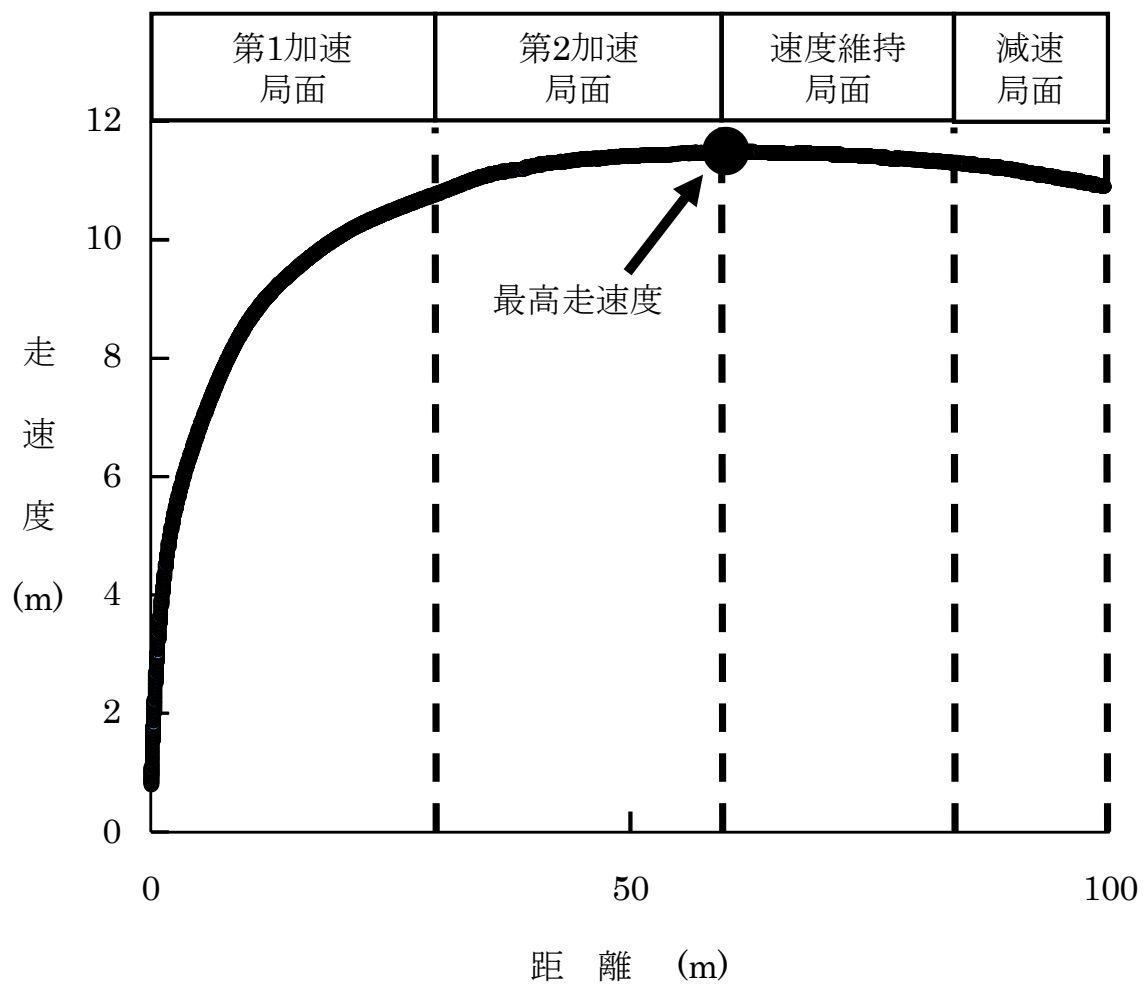


図 2.1 走速度の変化からみた 100m 走のレース構造特性

2. ステップ頻度およびステップ長の変化からみたレース構造特性

100m 走において、走技能を評価するための基本的指標の1つは、ステップ頻度とステップ長である。ステップ頻度は1sあたりのステップ数、ステップ長は1ステップの長さを表し、ステップ頻度とステップ長の積が走速度となる。したがって、ステップ頻度およびステップ長は、競技者がどのようにして走速度を獲得するかに関する情報を提供する (Mann, 2011)。なお、国内ではステップ頻度がピッチ、ステップ長がストライドと呼称されることが多い。

太田・有川 (1999) は、記録が $9.97 \pm 0.09s$ ($n = 14$) の世界一流競技者と $10.48 \pm 0.08s$ ($n = 14$) の日本人競技者を対象に、100m 走の 0–30m 区間、30–60m 区間、60–80m 区間、および 80–100m 区間の計 4 区間における平均ステップ頻度および平均ステップ長を測定している。平均ステップ頻度は、0–30m 区間から 30–60m 区間にかけて増加し、30–60m 区間から 60–80m 区間にかけて低下し、60–80m 区間から 80–100m 区間にかけては、比較的顕著に低下する傾向を示している。一方、ステップ長は、0–30m 区間から 30–60m 区間にかけて増加し、30–60m 区間から最後の 80–100m 区間まで比較的緩やかに増加する傾向を示している。

Gajer et al. (1999) は、記録が $10.18 \pm 0.05s$ ($n = 6$) および $10.52 \pm 0.08s$ ($n = 6$) のフランス人競技者を対象に、比較的細かく、100m 走の 10m 毎に 10 区間の平均ステップ頻度および平均ステップ長を測定している。平均ステップ頻度は、30m 地点までの急加速局面 (第1加速局面) において増加し、30m 地点から 60m 地点までの第2加速局面で維持し、60m 地点からゴール地点まで低下する傾向を示している。一方、平均ステップ長は、第1加速局面において急激に増加し、第2加速局面において緩やかに増加し、減速局面前半において低下もしくは維持し、減速局面後半において増加もしくは維持する傾向を示している。太田・有川 (1999) も、同様に測定しており、ほぼ一致する結果を示している。

金高 (2005) は、記録が $10.39 \pm 0.09s$ ($n = 17$) および $11.00 \pm 0.14s$ ($n = 10$) の日本人競技者を対象に、さらに細かく、100m 走の 1 ステップ毎にゴール付近 (43 ステップ目) までのステップ頻度およびステップ長を測定している。ステップ頻度は、統計的にスタートから 10 ステップ前後 (15m 地点付近) まで顕著に増加し、17 ステップ前後 (30m 地点付近) まで緩やかに増加して最高値を示す。その後、ゴール地点まで低下する傾向を示している。一方、ステップ長は、統計的に 30 ステップ辺り (50–60m 地点付近) まで対数関数的に増加し、ゴール地点まで漸増する傾向を示している (図 2.2)。

以上より、100m 走のステップ頻度は、第1加速局面で増加した後、第2加速局面で維持もしくはやや減少し、速度維持局面および減速局面で減少するというレース構

造特性を有するといえる。また、ステップ長は、第 1 加速局面で急激に増加した後、第 2 加速局面で緩やかに増加し、速度維持局面および減速局面において増加もしくは維持するというレース構造特性を有するといえる。しかし、図 2.3 にあるように、これら一般的傾向と著しく異なる事例も存在する（松尾ほか，2011）。

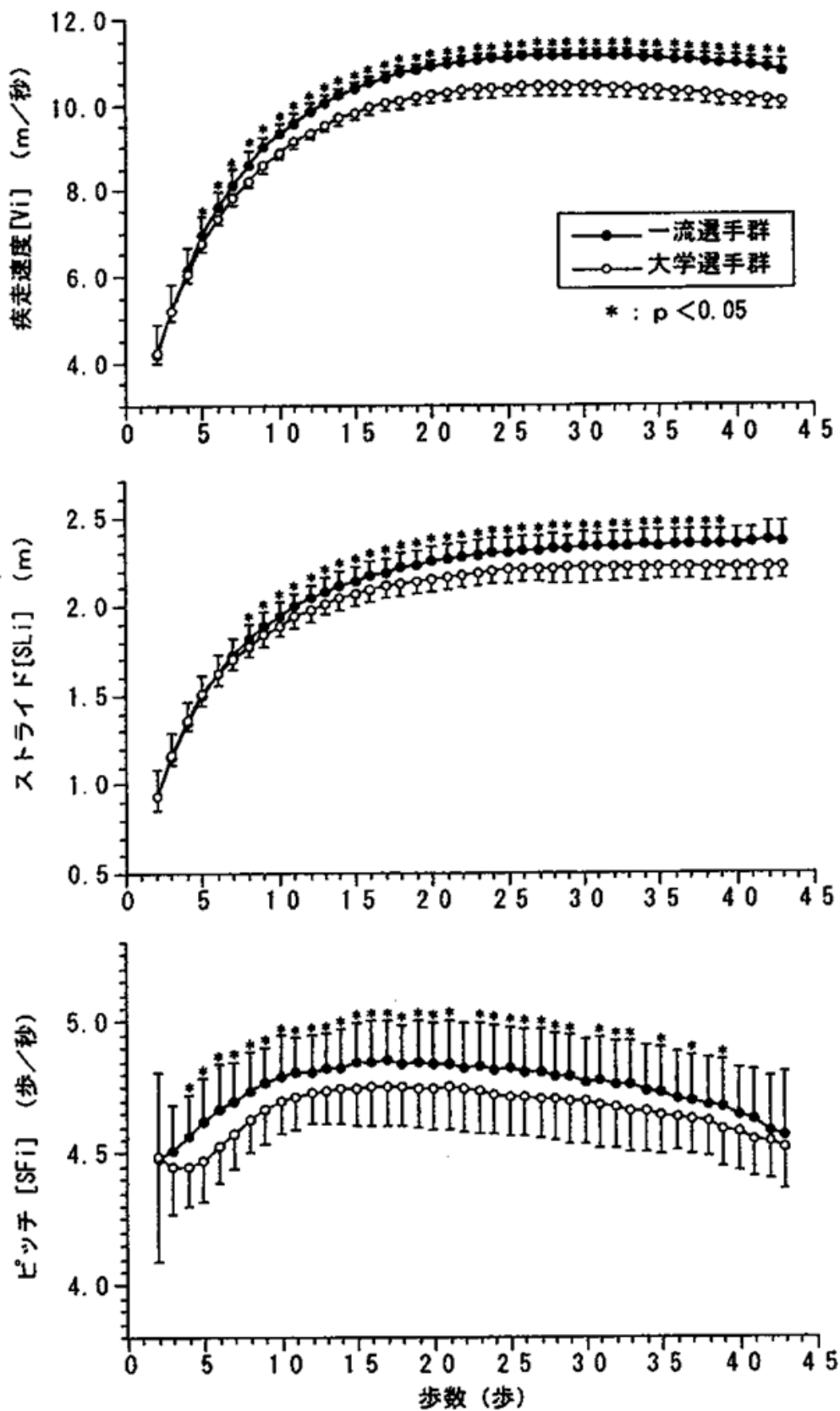


図 2.2 100m 走中の走速度，ストライド，およびピッチの 1 ステップ毎の連続変化（金高ほか，2005 より抜粋）

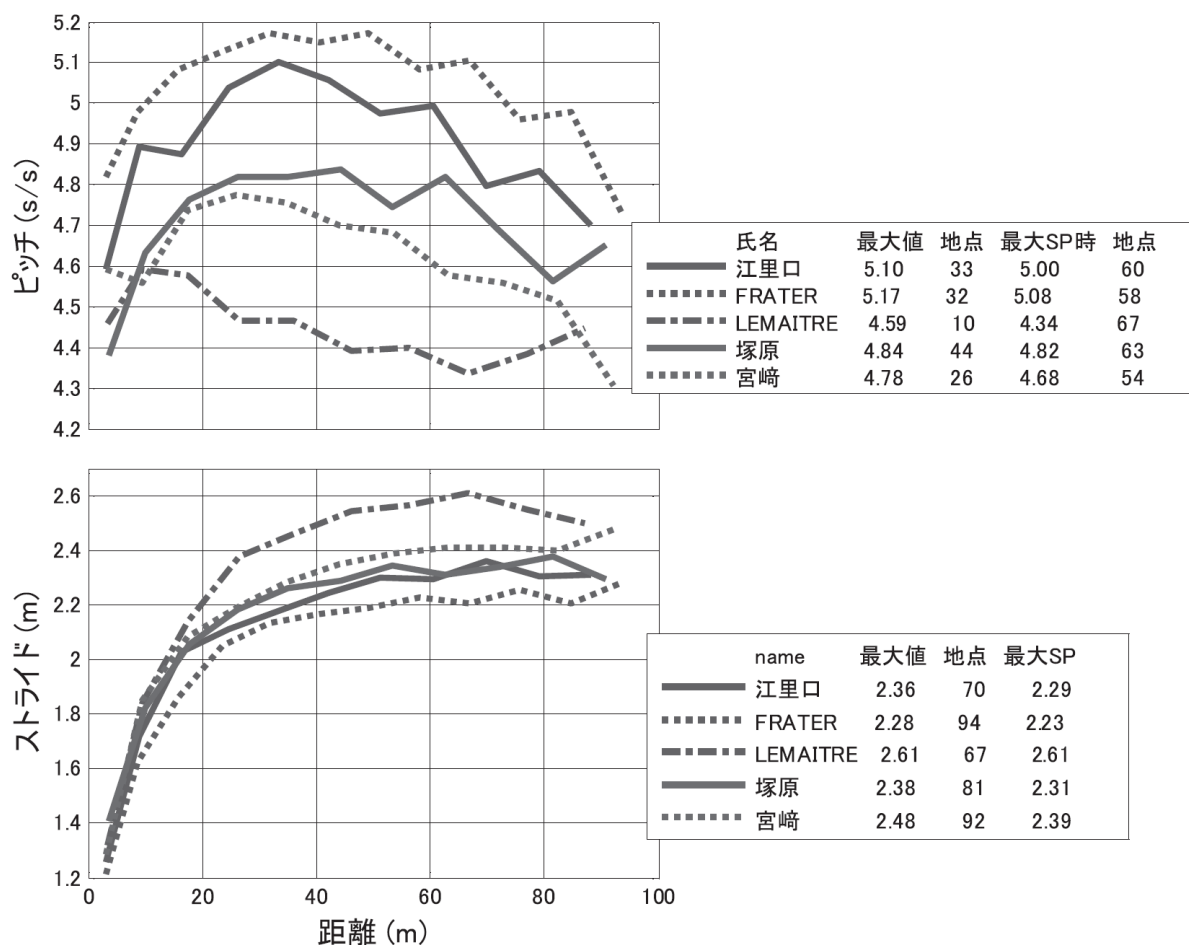


図 2.3 100m 走中のステップ頻度およびステップ長の事例別連続変化
(松尾ほか, 2011 より抜粋)

3. 支持時間、滞空時間、滞空比の変化からみたレース構造特性

ステップ頻度はステップ時間の逆数であり、支持時間と滞空時間で構成される (Hunter et al., 2004). 支持時間と滞空時間は、ステップ頻度とステップ長の組み合わせを左右する.

図 2.4 や図 2.5 に示されるように、100m 走では支持時間と滞空時間はレース中に著しく変化する. すなわち、支持時間はスタート直後が最も長く、そこから 8 ステップ前後まで急激に減少し、最高走速度が発現する 26 ステップ前後までに漸減することで最短となり、その後ゴールまで維持あるいは漸増する (宮代, 2012; 杉田, 2003a). 滞空時間はスタート直後が最も短く、そこから 8 歩前後まで急激に増加し、その後ゴールまで漸増する (宮代, 2012). 滞空時間を支持時間で除した値である滞空比は、スタート直後が最も低く、そこから急激に増加し、12 ステップ前後で支持時間と滞空時間の長さが逆転することで 1.0 を超える. その後、30 ステップ前後まで漸増し、ゴールまで維持あるいは減少する (宮代, 2012).

以上より、100m 走の支持時間は、第 1 加速局面の序盤で急減した後、第 2 加速局面まで漸減して最短となり、速度維持局面および減速局面で維持もしくは漸増するというレース構造特性を有するといえる. 滞空時間は、第 1 加速局面の序盤で急増し、その後ゴール地点まで漸増するというレース構造特性を有するといえる. 滞空比は、第 1 加速局面の中盤まで急増し、速度維持局面まで漸増した後、ゴール地点まで維持もしくは漸減するというレース構造特性を有するといえる.

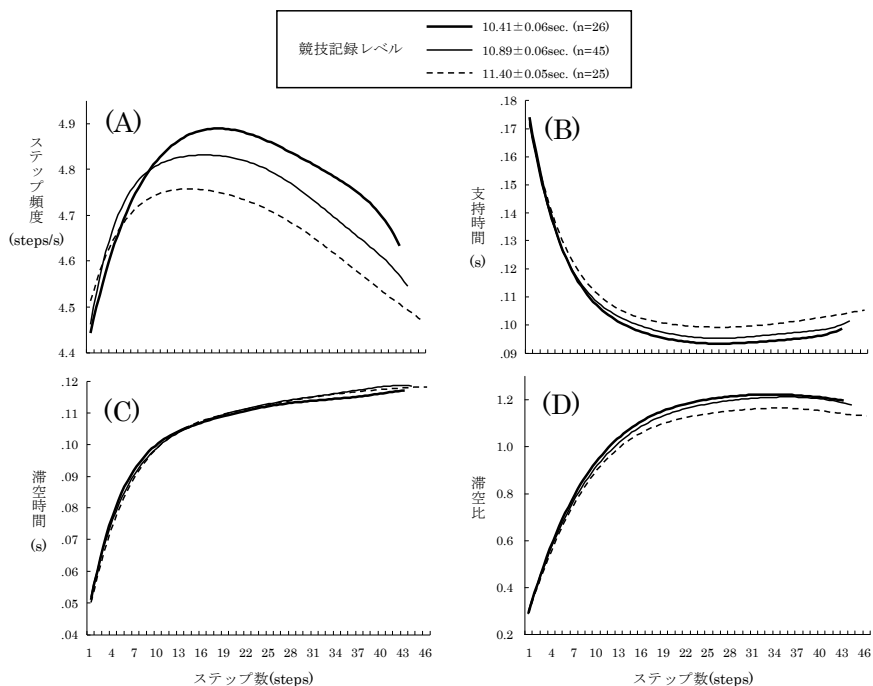


図 2.4 100m 走におけるステップ頻度 (A), 支持時間 (B), 滞空時間 (C), および滞空比 (D) の競技記録レベル別動態 (宮代, 2012 を一部改変)

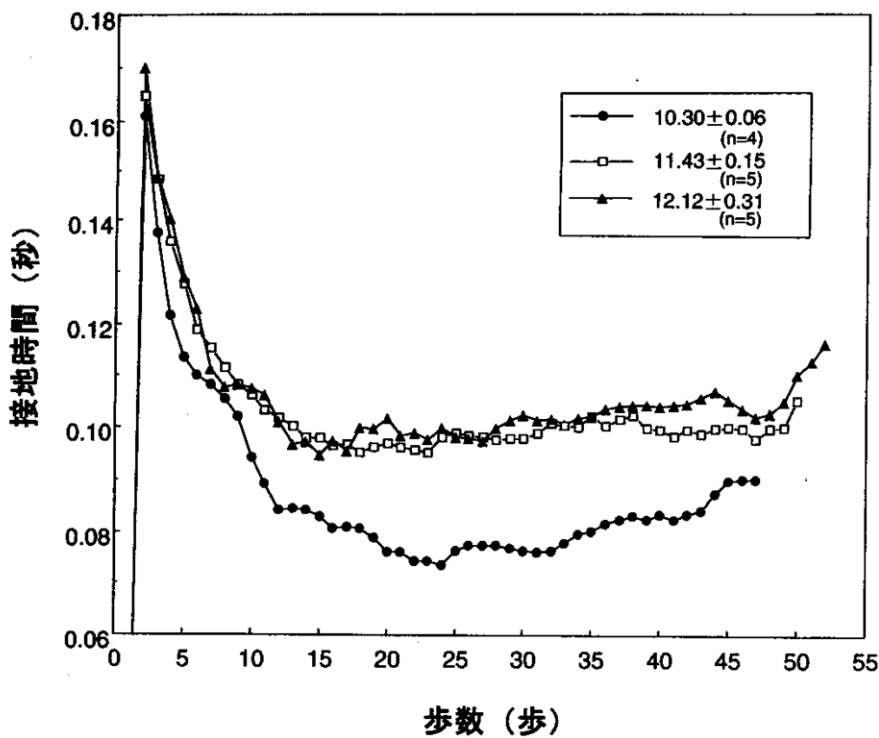


図 2.5 100m 走における 1 ステップ毎の支持時間 (=接地時間) の推移 (杉田, 2003a より抜粋)

第2節 コーチング場面における実用的評価指標

100m 走において 9–11s 台の記録をマークする競技者では、レース途中の 60m 地点前後で最高走速度に到達することが多い(天野, 2012; Gajer et al., 1999; Graubner and Nixdorf, 2011; 松尾ほか, 2014; 米津ほか, 2007). これらの競技者を対象とした指導書(土江, 2009)には、概ねスタート地点から 30m 地点までが第 1 加速局面, 30m 地点から 60m 地点までが第 2 加速局面, 60m 地点からゴール地点までが速度維持局面および減速局面として扱われている. 競技者は、これらの地点を各局面区分点として挙げ、競技会での自己のレース展開の評価, 目標, および課題を述べている(朝原, 2009; 山縣, 2012). また、指導書(宮川, 1992; 宮丸凱・宮丸郁, 1976; 尾縣, 2007; 清水, 2006; 土江, 2009, 2011)や陸上競技専門雑誌(麻場, 2002; 酒井, 2008; 佐藤, 2012)には、各局面の走強化を目的として、30m や 60m などの距離を利用したスプリントトレーニング手段が推奨されている. さらに、各手段では競技会と同じクラウチングスタートだけでなく、スタンディングスタート、「変形スタート」と呼ばれる各種の姿勢や構えによるスタート, あるいは 5–30m 程度の助走を用いて行うことも推奨されている. 実際に競技者や陸上競技の強豪校は、主にこれらの距離を利用した手段(クラウチング, スタンディング, 助走スタートによる 30m 走, 60m 走, 90m 走など)をトレーニングに取り入れている(朝原, 2009; 伊東, 2003; 児玉・田辺, 2008; 酒井, 2008; 高野, 2003; 豊田, 2014). この時、トレーニングの現場では各局面に対応する区分地点の通過時間および区間時間(宮川, 1992; 清水, 2006; 土江, 2011)や、ステップ数, ステップ頻度, ステップ長, 支持時間, 滞空時間, 滞空比といったステップ変数や走動作(宮丸凱・宮丸郁, 1976; 大村, 2015; 清水, 2006; 土江, 2011)を利用することにより、トレーニングマネジメントが進められる. コーチは、これらの測定項目をコーチング場面で扱う重要性を認めている(Dick et al., 1989; イオーノフ, 1968; 伊藤, 2003; 宮川, 1992; Muller, 1991; 谷川, 2019; 谷川・内藤, 2015; 谷川ほか, 2011; 土江, 2011). 杉田(2003b)は、ステップ変数がトレーニングやレースの組み立てを考える根幹をなす戦略的情報として非常に有用であると述べている.

以上より、コーチや競技者は 100m を 4 つの局面(第 1 加速局面, 第 2 加速局面, 速度維持局面, 減速局面)に分類してトレーニング手段を立案し、局面毎に走強化を図りながら記録向上に努めていると考えられる. また、競技者において各局面に対応する区分地点の通過時間, 区間時間, ステップ数, ステップ頻度, ステップ長, 支持時間, 滞空時間, 滞空比, 走動作(キネマティクス)といった測定項目は、コーチング場面において実用的かつ応用的(伊藤, 2003; 杉田, 2003a)な評価指標であるといえる. さらに、以上のことは、100m 走におけるレース内容のより具体的な評価や

目標設定を行うために、これら測定項目の基準値の明示が有効であることを示唆するものと考えられる。

第3節 測定精度および測定簡便性

陸上競技場のトラックには100m走の30m地点、60m地点、および90m地点に相当するマーク（それぞれ、100mHの第3ハードル設置マーク、400mHの第10ハードル設置マーク、4×400mRの第3、4走者のテーク・オーバー・ゾーン入口地点ラインマーク）が記されている。また、近年では家庭用のパソコンや、ハイビジョンおよびハイスピードムービーといった高機能を有するデジタルカメラを安価に購入できる。また、高画質のカメラ機能を有するスマートフォンや、時間分析や動作分析が可能なアプリケーション（例：Kinovea, Field Coach Assessor）も開発され、今後もより精度の高い便利な機器が後発されるだろう。それゆえ、各地点の側方上（であることが望ましい）の観客席から、競技者および各マークを撮影した映像を用いて、競技者が各マークを通過したことを目視で判定でき（内藤ほか, 2014）、誰もが通過時間、区間時間、レース全体および各区間における各ステップ変数（ステップ数、ステップ頻度、ステップ長、支持時間、滞空時間、滞空比、および走動作）を、簡便かつ精度よく測定できる環境が整備されている、あるいは整備されつつあるといえる。したがって、コーチ、競技者、および周辺の協力者が、これらの測定データをコーチング場面で活用できるような環境もまた整っている、あるいは整いつつある。

学術研究を目的として、競技会では、経時的な走速度および走動作の測定が行われる。しかし、どちらの測定も高額かつ専門的な測定機材（レーザー速度測定器、固定用三脚、キャリブレーションポール等）を必要とする。また、事前準備（キャリブレーション等）から測定終了（終了後に、再キャリブレーションを行うこともある）までに、多大な労力を要する（阿江, 1994, 2010）。さらに、測定後の動作分析は、専門的知識および長時間を要する。ただし、技術革新によって測定および分析の環境が改善され、今後これら測定データを簡便に活用しやすい環境が整備される可能性がないとはいえない。

第1節から第3節でまとめた100m走のレース構造特性、コーチング場面における実用性、測定精度、および測定簡便性を考慮すると、走速度の変化からみた4局面（第1加速局面、第2加速局面、速度維持局面、減速局面）に対応する区分地点として、30m地点、60m地点、90m地点の通過時間、区間時間（第1加速局面：スタートから30m地点まで、第2加速局面：30m地点から60m地点まで、速度維持局面：60m地点から90m地点まで、減速局面：90m地点からゴール地点まで）、区分地点の通過

ステップ変数, 区間ステップ変数, および走動作 (キネマティクス) 変数を測定項目として利用することが良いと考えられる. 谷川ほか (2011) も, これらを測定項目とするバイオメカニクスのデータを, 競技会の 100m 走におけるレース内容の評価や目標設定のために活かす必要性を述べている.

100m 走の記録は、100m の平均走速度に変換できるが、レース中の走速度は一定ではない。既に述べたように100m 走の場合、走速度はスタート直後からの急激な加速と緩やかな加速を伴って最高値に到達した後、ゴールまで漸減するというものであり(図 2.1)、直接的に記録に関係する。そのため、走速度は極めて重要な指標である。第4節では、100m 走の走速度に関して要点をまとめ、文献のレビューを行う。

第4節 走速度に関する文献

100m 走において走速度の測定は、レーザー法もしくはビデオ法を用いて行われる。レーザー法は、ドップラー効果を利用したレーザー速度測定器 (LDM300C-Sport, JENOPTIK 社製など) によって、スタート時点からゴール時点まで経時的 (100Hz, もしくは 50Hz のサンプリングレートで) に走速度を測定するものである(松尾ほか, 2007)。一方、ビデオ法は、例えばレース途中の 10m 地点, 20m 地点, …, 90m 地点にビデオカメラを配置し、各地点の通過時間から、各 10m 区間の平均走速度を測定するものである(阿江ほか, 1994)。

先行研究 (Gajer et al., 1999 ; 金高ほか, 2005 ; 松尾ほか, 2010c) の走速度曲線を見ると、記録が良いほどレース全体に渡って走速度が高い関係である。太田・有川 (1999) には、そのことが相関係数を用いて示されている。また、100m 走の記録と最高走速度との間には非常に強い負の相関関係が認められており(天野, 2012; 金高, 2015 ; 松尾ほか, 2015), 最高走速度から 100m 走の記録を推定する式や、その逆の式が作成されている(表 2.1, 表 2.2)。なお、公認記録における最高走速度の最高値は 12.34m/s (Graubner and Nixdorf, 2011 ; Krzysztow and Mero, 2013) である。これは、BOLT 選手が世界記録 (9.58s, 2009 年) およびオリンピック記録 (9.63s, 2012 年) をマークした時に観測されている。松尾ほか (2015) は、測定した記録が 10.01s から 10.72s の日本人一流競技者 9 名を対象に、各競技者に対して少なくとも 10 レース以上の最高走速度を測定し、すべての競技者において、記録と最高走速度との間に非常に強い負の相関関係 ($r = -0.980 - -0.877$, $p < 0.001$) が認められたことを報告している。以上のことから、100m 走では、個人間および個人内に関わらず、記録が良いほどレース全体に渡る走速度および最高走速度が高いレース展開であると考えられる。

つづいて、最高走速度の到達距離または到達区間に着目する。記録が 9s 台 ($n = 19$) の場合、それは 50–60m 区間, 60–70m 区間の順に多く(松尾ほか, 2014), BOLT 選手が 9.58s(世界記録)をマークした時には、67.9m である (Graubner and Nixdorf, 2011)。記録が 10s 台 ($n = 142$) の場合には、50–60m 区間, 40–50m 区間の順に多く(松尾ほか, 2014), 日本歴代 2 位記録 (9.98s) を保持する桐生選手が 10.03s (追

風参考記録)をマークした時には、40–50m 区間である(松尾ほか, 2014)。ただし、松尾ほか(2014)が示した結果は、同一競技者による複数のデータを含んだものであり、純粋な横断的データによる分析結果ではないことを、松尾ほか(2015)は述べている。Gajer et al.(1999)は、記録が $10.18 \pm 0.05\text{s}$ ($n = 6$) および $10.52 \pm 0.08\text{s}$ ($n = 6$) の競技者が統計的に 50–60m 区間で最高走速度に到達したことを報告している。また、天野(2012)は、記録が $10.88 \pm 0.37\text{s}$ (範囲: 10.05–11.50s) の異なる競技者 103 名の最高走速度到達距離が、 $54.00 \pm 7.55\text{m}$ (範囲: 41.16–75.46m) であることを報告しているが、記録と最高走速度の到達距離との間に弱い負の相関関係 ($r^2 = 0.131$, $p < 0.01$) が認められたことも報告している。さらに、11s 台中盤の記録をマークした男子競技者 3 群(各群それぞれ、 $11.63 \pm 0.23\text{s}$, $11.54 \pm 0.28\text{s}$, $11.66 \pm 0.75\text{s}$) のレース分析を実施した米津ほか(2007)は、彼らが 50–60m 区間で最高走速度に到達したことを報告している。上記研究の結果を総括すると、100m 走において 9–11s 台の記録をマークする競技者では、レース途中の 60m 地点前後で最高走速度に到達することが多いが、弱い関係ながらも記録が良いほど加速局面の距離が長く、速度維持局面および減速局面の距離が短いレース展開であることも考えられる。

表 2.1 最高走速度から 100m 走の記録を推定する式

文献	推定式	R^2	N	標本の記録範囲 (s)
天野 (2012)	$y = -0.874 x + 20.147$	0.910	103	10.05 - 11.50
松尾ほか (2015)	$y = -0.740 x + 18.630$	0.953	176	9.58 - 11.00前後

x : 最高走速度 (m/s), y : 100m走の記録 (s), R^2 : 決定係数

表 2.2 100m 走の記録から最高走速度を推定する式

文献	推定式	R^2	N	標本の記録範囲 (s)
金高 (2015)	$y = 100 / (x - 1.16) + 0.262$	0.996	141	10.0 - 20.0

x : 100m走の記録 (s), y : 最高走速度 (m/s), R^2 : 決定係数

既にレビューしたように、100m 走競技者のコーチングおよびトレーニングの場面において測定項目として利用するのは、走速度ではなく各地点の通過時間および区間時間である（宮川，1992；清水，2006；土江，2011）。また、ステップ数，ステップ頻度，ステップ長，支持時間，および滞空時間といったステップ変数（宮丸凱・宮丸郁，1976；大村，2015；清水，2006；土江，2011）も利用する。各ステップ変数は、競技者が高い走速度（短い通過時間および区間時間）をどのように獲得するかに関して有益な示唆を提供する（Mann，2011）。第5節および第6節では、これらの要点をまとめ、文献のレビューを行う。

第5節 通過時間および区間時間に関する文献

100m 走において通過時間および区間時間の測定は、走速度と同様にレーザー法もしくはビデオ法を用いて行われる（阿江ほか，1994；松尾ほか，2007）。これまでに、海外では世界選手権およびオリンピック競技大会，国内では日本選手権，各種グランプリ競技大会，および全国高校選手権（インターハイ）など数多くの競技会を対象として100m 走のバイオメカニクスのレース分析が行われ，各地点の通過時間および区間時間が報告されている（Ae et al., 1992；阿江ほか，1994；ベースボール・マガジン社，1993，1994；Bosse et al., online；Federle et al., online；Ferro et al., 2001；福田・杉田，2003；Graubner et al., 2007a, 2007b, 2009a, 2009b, 2009c；Graubner and Klockmann, 2009；Graubner and Nixdorf, 2011；Graubner and Ringel, 2009；Graubner and Starke, 2009；Hommel et al., online；石井，2013；伊藤，1995；小林ほか，2014, 2018, 2019；小林，1990；Krzysztof and Mero, 2013；松尾，1993, 1994, 1995, 2010；松尾ほか，2007, 2008a, 2008b, 2010a, 2010b, 2010c, 2011, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018；Mirzoev and Vlasov, 2015；Moravec et al., 1988；Muller and Hommel, 1997；野口，1997, 2008；杉田，2001；杉田・福田，2002；杉田ほか，2006；谷川・内藤，2015；柳谷ほか，2013）。先行研究（阿江ほか，1994；松尾ほか，2008a, 2015）では，100m 走の記録と通過時間および区間時間との間に非常に強い相関関係が認められている。阿江ほか（1994）は，記録範囲が9.86–10.58sの男子競技者19名を対象に，記録から通過時間および区間時間を推定する単回帰式を算出し，9.80–10.80sの記録別に，標準通過時間および標準区間時間を示している（表2.3）。算出方法は明記されていないが，同様に記録レベル別に標準通過時間および標準区間時間を示した文献も幾つか（Bondarchuk, 2007；Dick, 1989；メフリカゼ・タバチュニク，1982）ある。なお，公認記録における T_{30} の最短値は3.76s（小林ほか，2019；松尾ほか，2018）である。これは，COLEMAN選手（アメリカ）および蘇選手（中国）が，それぞれ9.94s, 9.92sをマークした時に観測されている。ま

た、 T_{30-60} 、 T_{60-90} 、 T_{90-100} の最短値は、それぞれ2.51s, 2.44s, 0.83s (Krzysztof and Mero, 2013) であり、これらは BOLT 選手が現世界記録 (9.58s, 2009 年) あるいはオリンピック記録 (9.63s, 2012 年, パフォーマンス世界歴代2位記録) をマークした時に観測されている。

一方、通過時間および区間時間の観測事例を見ると、BOLT 選手が 9.58s (世界記録, 2015 年 12 月現在) をマークした時の 60m 地点の通過時間 (以下、「 T_{60} 」と略す) は、6.31s である (Graubner and Nixdorf, 2011)。これは、阿江ほか (1994) の単回帰式 ($y=0.508x+1.40$, x : 100m 走の記録) による T_{60} の推定値 (6.27s) と比較して長い。他に、POWELL 選手が 9.77s (元世界記録, 2005–2008 年) をマークした時の T_{60} は 6.39s (野口, 2008), LEWIS 選手が 9.86s (元世界記録, 1991–1994 年) をマークした時の T_{60} は 6.46s (阿江ほか, 1994) であり、それぞれ単回帰式による T_{60} の推定値 (6.36, 6.41s) よりも長い。これら3名の身長は、それぞれ順に 1.96m, 1.90m, 1.88m (野口・千田, 2013) であり、阿江ほか (1994) の対象者19名の身長 (阿江ほか, 1994; Olympics at Sports-Reference.com, online) の平均値 (1.808m) と比較して高い。この平均値より低い DRUMMOND 選手, 桐生選手, 江里口選手 (それぞれの身長は 1.75m, 1.75m, 1.70m, 野口・千田, 2013) が、それぞれ 9.96s, 10.01s, 10.07s をマークした時の T_{60} は、それぞれ 6.38s (Graubner and Klockmann, 2009), 6.45s (谷川・内藤, 2015), 6.48s (松尾ほか, 2010b) であり、阿江ほか (1994) の単回帰式による T_{60} の推定値 (それぞれ 6.46s, 6.49s, 6.52s) より短い。すなわち、100m 走の記録が同じ場合には身長が低いほど T_{60} が短く、身長が高いほど 60m 地点からゴール (100m) 地点までの区間時間 (以下、「 T_{60-100} 」と略す) が短い傾向のレース展開であり、記録以外に身長が 100m 走の通過時間および区間時間、並びにレース展開を左右する要因である可能性が高い。また、一般的に走速度と風速との相対速度が大きいほど空気抵抗が大きいことや、100m 走ではレース中の走速度は一定ではないこと (阿江ほか, 1994; 天野, 2012; 金高, 2005) から、レースの風速条件の違いが通過時間および区間時間へ及ぼす影響は、走速度が高い局面 (速度維持局面 > 減速局面 > 第2加速局面 > 第1加速局面) ほど大きい。それゆえ、100m 走の記録が同じ横断的データの場合には、風速条件が良いほど走速度が高い局面に対応する区間時間が短い傾向のレース展開であり、記録および身長だけでなく風速条件も 100m 走のレース展開を左右する要因である可能性が高い。このことを支持する通過時間および区間時間の観測事例として、共に 10.20s をマークし、身長が 1.80m である塚原選手と高平選手 (Olympics at Sports-Reference.com, online) の T_{60} は、それぞれ 6.57s, 6.62s である (松尾ほか, 2009, 2010a)。この時の風速は、それぞれ向かい風 0.1m/s, 追い風 2.7m/s (以下、向かい風を「-」、追い風を「+」と

略す) である。すなわち, 100m 走の記録が同じ場合に風速条件が良いほど T_{60} が長く, 平均走速度が比較的高い局面に対応する区間時間である T_{60-100} が短い傾向のレース展開である。

以上より, 記録とともに身長および風速が 100m 走の通過時間, 区間時間, およびレース展開に変化させる可能性が高く, それについて検証の余地がある。また, 多数の競技者から成る横断的データを用いて, 記録とともに身長および風速を同時に扱い, 通過時間および区間時間との関係を統計的に検証することにより, 通過時間および区間時間の評価や目標設定を行うための階層的かつ類型的な基準値として 100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する推定式を新たに作成できると考えられる。これまでに身長などの形態がレース展開を左右する可能性があると考えられてはいるものの (Watts et al., 2012), それを支持する結果を示した研究は見当たらない。また, 上述した推定式の作成を試みた研究も見当たらない。

表 2.3 100m 走の記録別の標準通過時間および標準区間時間
(阿江ほか, 1994 を改変)

変数 (単位)	100 m 走 の 記 録 (s)										
	9.80	9.90	10.00	10.10	10.20	10.30	10.40	10.50	10.60	10.70	10.80
T_{30} (s)	3.80	3.83	3.86	3.88	3.91	3.93	3.96	3.98	4.01	4.03	4.06
T_{60} (s)	6.39	6.44	6.49	6.54	6.59	6.64	6.69	6.74	6.79	6.84	6.89
T_{80} (s)	8.07	8.14	8.22	8.29	8.36	8.44	8.51	8.58	8.66	8.73	8.80
T_{30-60} (s)	2.58	2.61	2.63	2.66	2.68	2.71	2.73	2.76	2.79	2.81	2.84
T_{60-80} (s)	1.68	1.71	1.73	1.75	1.77	1.80	1.82	1.84	1.86	1.89	1.91
T_{80-100} (s)	1.73	1.76	1.78	1.81	1.84	1.86	1.89	1.92	1.94	1.97	2.00
T_{60-100} (s)	3.41	3.46	3.51	3.56	3.61	3.66	3.71	3.76	3.81	3.86	3.91

変数 (単位)	推定誤差 (s)	推定式	備考
T_{30} (s)	± 0.04	$y = 0.251x + 1.34$	
T_{60} (s)	± 0.04	$y = 0.508x + 1.40$	
T_{80} (s)	± 0.02	$y = 0.735x + 0.86$	
T_{30-60} (s)	± 0.02	$y = 0.257x + 0.06$	x : 100m走の記録
T_{60-80} (s)	± 0.02	$y = 0.227x - 0.54$	
T_{80-100} (s)	± 0.02	$y = 0.265x - 0.86$	
T_{60-100} (s)	± 0.04	$y = 0.492x - 1.40$	

† T_{30} , T_{60} , T_{80} : 30m地点, 60m地点, 80m地点の通過時間

‡ T_{30-60} , T_{60-80} , T_{80-100} , T_{60-100} : 30m地点から60m地点, 60m地点から80m地点, 80m地点から100m地点, 80m地点から100m地点までの区間時間

第6節 ステップ変数に関する文献

1. 記録とステップ変数との関係

100m 走では、記録レベルが高いほど、総ステップ数が少なく（阿江ほか, 1994 ; 岡野ほか, 1988), レースの平均ステップ長が長い(阿江ほか, 1994; 岡野ほか, 1988). これらの先行研究には、記録レベル群別にステップ変数の平均値が示されている（表 2.4, 表 2.5).

相関係数から両者の関係を見ると、岡野ほか (1988) には、100m 走の記録（範囲：9.99–11.89s, $n = 266$ ）とレースの平均ステップ長との間には、中等度の相関関係が認められている ($r = -0.594$, $p < 0.001$, $n = 266$). 一方、平均ステップ頻度との間には、ほとんど相関関係が認められていない ($r = -0.110$, $p < 0.05$, $n = 266$). また、Paruzel-Dyja et al. (2006) にも、100m 走の記録（範囲：10.01–11.03s, $n = 109$ ）と平均ステップ長との間に中等度の相関関係が認められている ($r = -0.43$, $p < 0.01$). その一方、平均ステップ頻度との間には、ほとんど相関関係が認められていない ($r = -0.13$, n. s.).

Mann (2011) は、世界一流競技者のデータから、最高走速度時の標準的なステップ頻度およびステップ長を、Good, Average, Poor の 3 つの競技レベル別に示している（図 2.6, 図 2.7). Good では、それぞれ 4.63 steps/second, 2.70 m であった. この標準的なステップ長の値は、100m 走の競技者の中で最も身長が高く、世界記録保持者（2019 年 11 月現在）である BOLT 選手（野口・千田, 2013）が出現したことにより示された（谷川・内藤, 2015).

支持時間、滞空時間、および滞空比（滞空時間／支持時間）を扱う先行研究として、宮代 (2012) は、記録が平均支持時間および平均滞空比との間に、それぞれ弱い正の相関関係 ($r = 0.36$, $p < 0.05$, $n = 111$), 弱い負の相関関係 ($r = -0.23$, $p < 0.05$, $n = 111$) を示すものの、平均滞空時間との間には関係を示さないことを報告している. また、レース全体にわたって、記録が良いほど支持時間が短く、滞空比が高い傾向であることを明らかにしている（図 2.4).

杉田 (2003b) は、記録が最高走速度時（40–55m 区間）の支持時間および滞空比との間に、それぞれ強い相関関係 ($r = 0.701$, $p < 0.001$, $n = 30$), 中等度の相関関係 ($r = -0.657$, $p < 0.001$, $n = 30$) を示したことを報告している. また、離地時間が 4 つの異なる記録レベル群間で有意差を示さなかったを明らかにしている.

福田・伊藤 (2004) は、男子競技者 26 名を対象に全力走を行わせ、40m 地点の走速度 ($9.39 \pm 0.36 \text{m/s}$) と支持時間 ($0.102 \pm 0.009 \text{ s}$) との間に負の相関関係 ($r = -0.563$, $p < 0.01$) があることを報告した.

表 2.4 100m 走における記録レベル群別の総ステップ数, 平均ステップ頻度, および平均ステップ長① (阿江ほか, 1994 を改変)

項目 (単位)	平均値 ± 標準偏差				t検定
	A群 (n=8)	B群 (n=8)	C群 (n=3)	ALL (n=19)	
記録 (s)	9.96 ± 0.09	10.26 ± 0.08	10.53 ± 0.05	10.18 ± 0.22	A<B<C
総ステップ数 (steps)	44.1 ± 1.2	45.2 ± 1.5	47.6 ± 1.5	45.1 ± 1.8	A<C
平均ステップ頻度 (steps/s)	4.43 ± 0.12	4.41 ± 0.12	4.52 ± 0.14	4.44 ± 0.13	
平均ステップ長 (m)	2.27 ± 0.06	2.21 ± 0.07	2.10 ± 0.07	2.22 ± 0.09	A>C

表 2.5 100m 走における記録レベル群別の総ステップ数, 平均ステップ頻度, および平均ステップ長② (岡野ほか, 1988 を改変)

項目 (単位)	平均値 ± 標準偏差						t検定
	A群 (n=21)	B群 (n=23)	C群 (n=48)	D群 (n=56)	E群 (n=72)	F群 (n=46)	
記録 (s)	10.21 ± 0.08	10.40 ± 0.07	10.65 ± 0.07	10.88 ± 0.07	11.10 ± 0.07	11.44 ± 0.17	A<B<C<D<E<F
総ステップ数 (steps)	45.77 ± 1.90	46.52 ± 2.28	48.07 ± 1.65	49.02 ± 2.02	49.66 ± 1.91	50.82 ± 2.31	A, B<C<D, E<F
平均ステップ頻度 (steps/s)	4.48 ± 0.17	4.47 ± 0.22	4.51 ± 0.17	4.51 ± 0.17	4.47 ± 0.17	4.43 ± 0.22	C>F
平均ステップ長 (m)	2.19 ± 0.09	2.15 ± 0.11	2.08 ± 0.07	2.04 ± 0.08	2.02 ± 0.08	1.97 ± 0.09	A, B>C>D, E>F

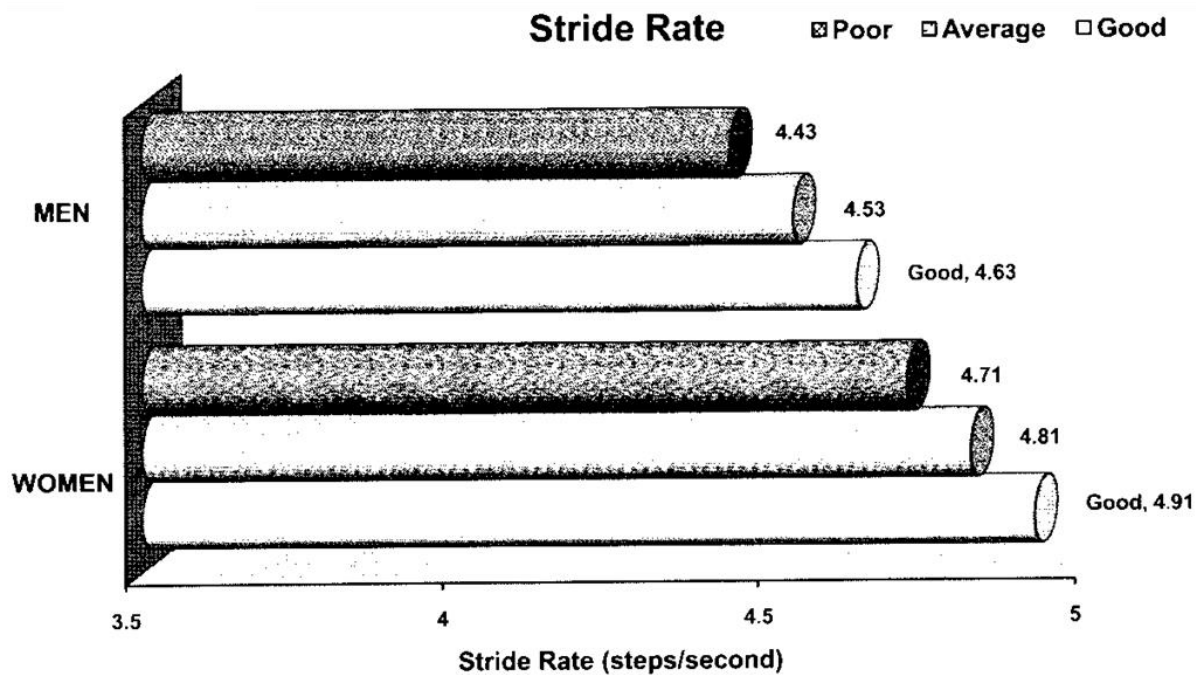


図 2.6 世界一流競技者における最高走速度時のステップ頻度
(Mann, 2011 より抜粋)

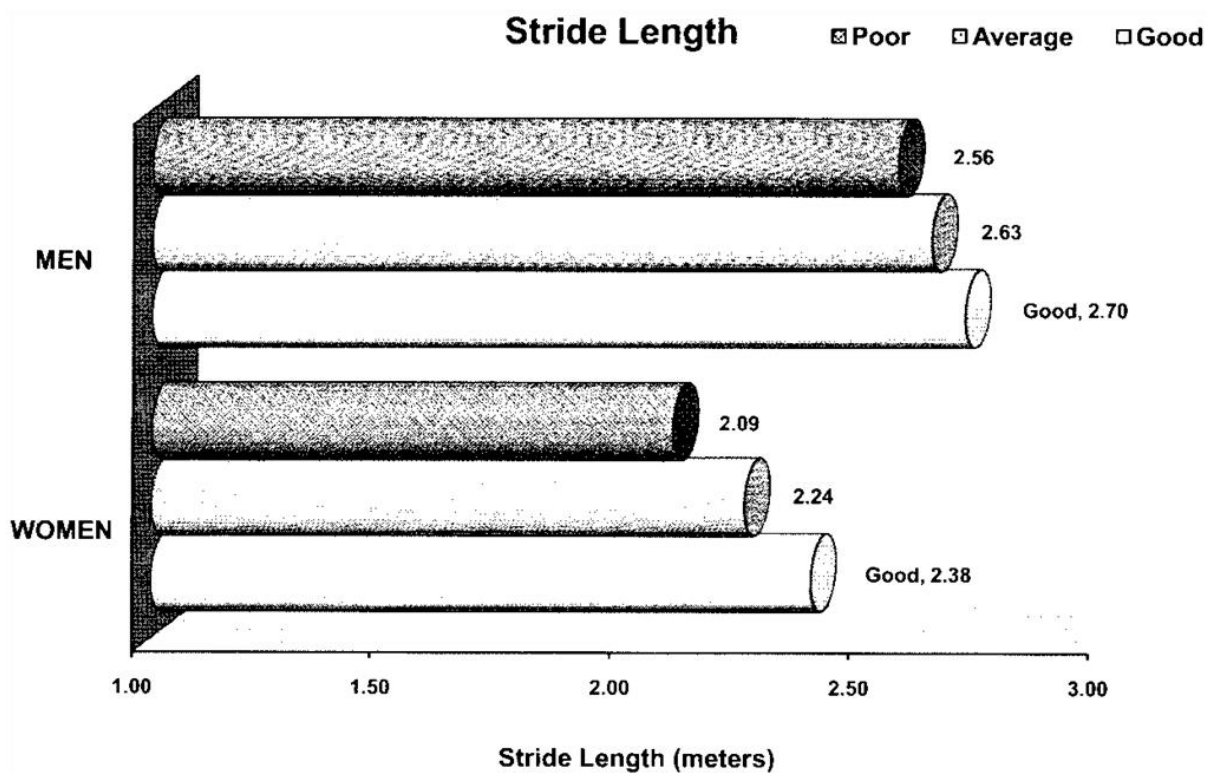


図 2.7 世界一流競技者における最高走速度時のステップ長
(Mann, 2011 より抜粋)

2. 身長とステップ変数との関係

Hoffman (1971) は、当時の世界一流を含む競技者（手動記録の範囲：10.0–11.4s）を対象に、身長と平均ステップ頻度、平均ステップ長、および50m地点から60m地点までの区間で観測された4ステップの平均ステップ長との間に中等度の相関関係（それぞれ、 $r=0.49, 0.69, 0.59, p<0.05$ ）が認められたことを報告している。岡野ほか（1988）は、世界一流および日本一流の短距離競技者15名を対象に、身長と平均ステップ長との間に強い相関関係（ $r=0.70, p<0.01$ ）が認められたことを報告し、身長から100m走の平均ステップ長を推定する単回帰式を作成している（図2.8）。阿江ほか（1994）も、世界一流および日本一流の短距離競技者19名を対象に、身長と、スタート（0m）地点からゴール（100m）地点、スタート地点から30m地点、30m地点から60m地点、80m地点から100m地点までの平均ステップ長との間に中等度から強い相関関係（それぞれ、 $r=0.71, 0.59, 0.79, 0.79, p<0.05$ ）が認められたことを報告し、身長から各平均ステップ長を推定する単回帰式を作成している。また、Paruzel-Dyja et al. (2006) は、世界選手権パリ大会（2003年）の男子100m走に出場した競技者109名（記録範囲：10.01–11.03s）を対象に、身長と平均ステップ頻度および身長と平均ステップ長との間に、それぞれ中等度の相関関係（ $r=-0.40, 0.56, p<0.01$ ）が認められたことを報告している。

支持時間、滞空時間、および滞空比（滞空時間／支持時間）を扱う先行研究として、谷川・内藤(2015)は、記録の平均値が10秒50程度の長身競技者（身長： $1.80\pm 0.03\text{m}$ ）が、記録がほぼ同値の短身競技者（身長： $1.71\pm 0.03\text{m}$ ）に比べて、長い平均支持時間（長身競技者： $0.108\pm 0.003\text{s}$ 、短身競技者： $0.102\pm 0.006\text{s}$ ）を示すこと（ $p<0.05$ ）を報告している。

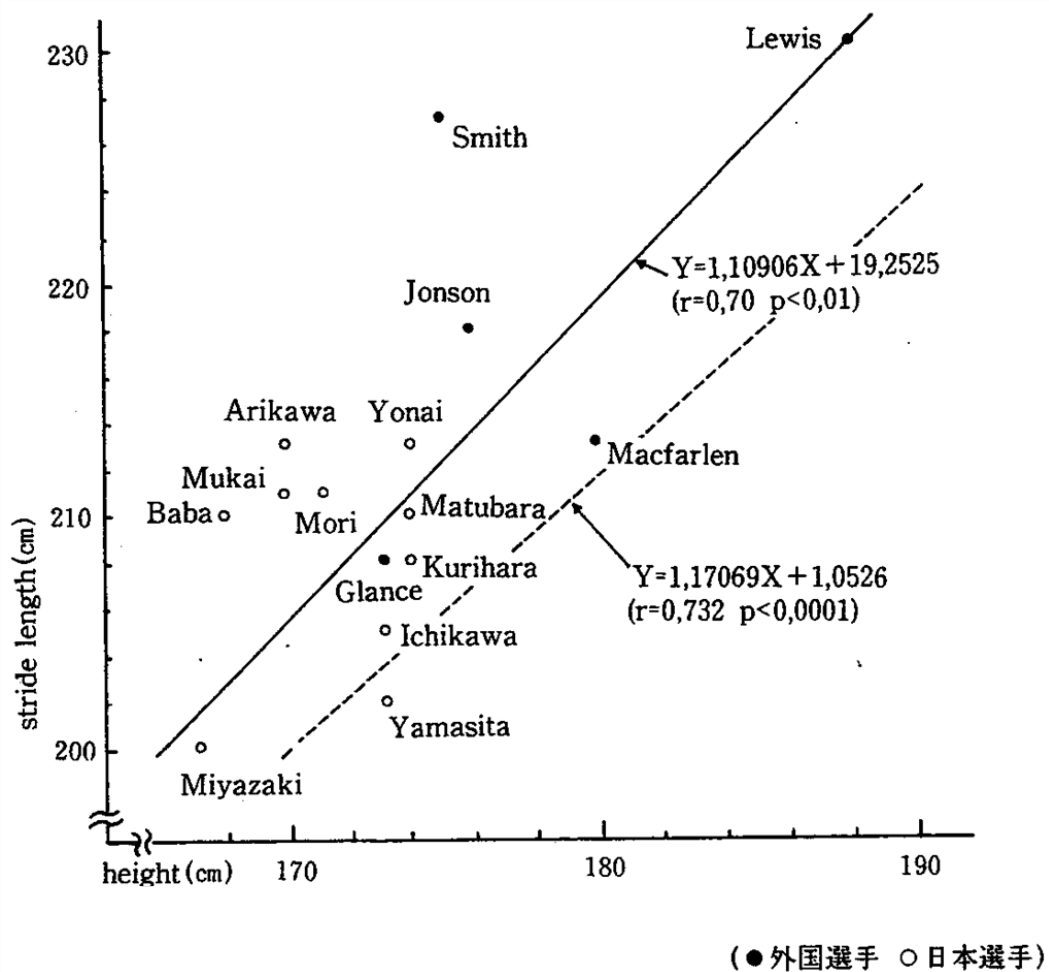


図 2.8 身長と 100m 走の平均ステップ長との関係
(岡野ほか, 1988 より抜粋)

3. ステップ頻度とステップ長との関係

岡野ほか (1988) は、男子競技者 266 名 (記録範囲: 9.99–11.89s) を対象に、平均ステップ頻度と平均ステップ長との間に、強い相関関係 ($r = -0.731$, $p < 0.001$) が認められたことを報告している。Paruzel-Dyja et al. (2006) は、世界選手権パリ大会 (2003 年) の男子 100m 走に出場した競技者 109 名 (記録範囲: 10.01s–11.03s) を対象に、平均ステップ頻度と平均ステップ長との間に、非常に強い相関関係 ($r = -0.84$, $p < 0.01$) が認められたことを報告している。

4. ステップ頻度と支持時間および滞空時間との関係

Hunter et al. (2004) は、スプリント走を含む競技 (陸上競技, サッカー, タッチラグビーなど) の男子競技者 28 名を対象に、25m 走中の 16m 地点を中心とする前後 3m の範囲でステップ変数を測定したところ、ステップ頻度が滞空時間との間に非常に高い相関関係 ($r = -0.81$, $p < 0.05$) を示したものの、支持時間との間には相関関係を示さなかったことを報告している。

以上より、多数の競技者から成る横断的データを用いて、レース全体および各区分において走時間 (100m 走の記録, 通過時間, および区間時間) と身長を同時に扱い、各ステップ変数との関係を統計的に検証することにより、各ステップ変数の評価や目標設定を行うための階層的かつ類型的な基準値として 100m 走の走時間・身長別の標準ステップ数, 標準ステップ頻度, 標準ステップ長, 標準支持時間, 標準滞空時間, および標準滞空比を算出する推定式を新たに作成できると考えられる。しかし、このような推定式の作成を試みた研究は見当たらない。また、走速度の構成要因であるステップ頻度とステップ長は、それぞれステップ数を走時間で除した値, 走距離をステップ数で除した値である。それゆえ、走時間・身長別の標準ステップ頻度および標準ステップ長を算出するには、走時間・身長別の標準ステップ数を算出する推定式を作成するだけで、十分である。

走動作は、ステップ頻度およびステップ長に関わる重要な要因である。走速度が同じ場合においても、ステップ頻度（もしくはステップ長）が異なれば、走動作は異なることが考えられる。さらに、走速度だけでなくステップ頻度が同じ場合には、支持時間と滞空時間の比（以下、「滞空比」とする、滞空比：滞空時間／支持時間）が異なれば、走動作は異なることが考えられる。100m 走競技者のコーチングおよびトレーニングの場面において、ステップ頻度およびステップ長だけでなく、支持時間や滞空時間もステップ変数（宮丸凱・宮丸郁，1976；大村，2015；清水，2006；土江，2011）として、利用される。走動作とステップ変数との関りは、ステップ変数をどのように変化させることで、望ましい動作を獲得して高い走速度を獲得できるかに関して有益な示唆を提供する。第7節では、走動作に関する文献のレビューを行う。

第7節 走動作に関する文献

陸上競技の100m 走に代表されるスプリント走は、走速度の変化から加速局面、最大速度（速度維持）局面、および減速局面に分類されることが多い（天野，2012；Delecluse et al., 1995；土江，2009）。100m 走の記録が10–12s の範囲にある男子競技者の多くは、40m 地点から60m 地点までの間に最大走速度もしくはそれに近い走速度で概ね等速走行し、この際の走速度は、100m 走の記録を決定する重大な要因である（阿江ほか，1994；天野，2012；松尾ほか，2014）。そのため、最大走速度に近い走速度で走行する際の走動作を分析した研究が多く、高いパフォーマンスの獲得に重要な走動作が明らかにされてきた（Ae et al., 1992；Alexander, 1989；Bushnell and Hunter, 2007；Haugen et al., 2018；Ito et al., 2008；伊藤ほか，1998；Kunz and Kaufmann, 1981；宮下ほか，1986；Toyoshima and Sakurai, 2016；Yada et al., 2011；矢田ほか，2011）。

男子競技者を対象に、最大速度局面における走動作と走速度との関係を包括的に検証した代表的な研究として伊藤ほか（1998）は、走速度が高い競技者ほど支持期における股関節伸展角速度に伴う脚全体の後方スイング最大角速度、股関節伸展角変位、離地時点の股関節角度、回復期における腿上げ（大腿）最大角速度が高いもしくは大きい傾向であることを報告している（それぞれ、 $r = 0.672, 0.485, 0.439, 0.520$ ，すべて $p < 0.05$ ）。また、支持期における足関節角度の最小値、股関節伸展角速度の最大値、膝関節屈曲角変位、回復期における引き付け角度（膝関節角度の最小値）についても、走速度との間に比較的弱い正の相関関係が認められている（それぞれ、 $r = 0.353, 0.312, 0.295, 0.320$ ，すべて $p < 0.05$ ）。下肢関節のキネマティクスについて、その他の研究においても、最大走速度が高い競技者は、支持期中間時点の膝関節角度が大きく（Yada et al., 2011）、離地時点の膝関節角度が小さく（Bushnell and

Hunter, 2007; Yada et al., 2011), 回復期の引き付け角度が大きく (Ito et al., 2008), 支持期の股関節伸展角速度が高く (Ae et al., 1992; Ito et al., 2008), 支持期の膝関節伸展角速度が低い (Ito et al., 2008) ことが報告されている。また, セグメントのキネマティクスについては, 最大走速度が高い競技者は, 離地時点の下腿前傾角度が大きく (Yada et al., 2011), 離地時点の大腿前傾角度が小さく (Yada et al., 2011), 接地時点の下腿前傾角速度が高く (Toyoshima and Sakurai, 2016), 支持期の大腿前傾最大角速度が高い (Alexander, 1989)。さらに, 最大走速度が高い競技者は, 接地時点の脚全体後方スイング角速度が大きく (Ae et al., 1992), 接地時点の両膝関節間の水平距離が短い (Bushnell and Hunter, 2007; Yada et al., 2011)。

福田・伊藤 (2004) は, 男子競技者 26 名 (100m 走の最高記録: 10.27–11.50s) を対象に全力走を行わせ, 40m 地点付近の走動作 (走速度: 9.39 ± 0.36 m/s) を分析した。その結果, 相対接地距離および相対離地距離 (接地時点あるいは離地時点の身体重心からつま先までの水平距離を身長で除し 100 を乗じた値) は, 走速度との間に相関関係を示さなかった (図 2.9)。平均値 \pm 標準偏差については, 相対接地距離は $21.52 \pm 2.86\%$, 相対離地距離は $31.45 \pm 2.47\%$ であった。

横井 (1988) は, コンピュータシミュレーションによって得られたデータから, 身長が高い競技者と低い競技者の走動作の特徴を明らかにしている。しかし, 身長を「高い」, 「低い」と相対的に捉えたため, 特定の身長の競技者が用いるべき走動作について十分言及することはできないと述べている。

また, Yokoi et al. (1987) は, 身長が高い競技者群 (1.80 ± 0.028 m, $n = 9$) と低い競技者群 (1.68 ± 0.021 m, $n = 9$) の最高走速度時のステップ変数やキネマティクス (走動作) 変数を比較した。その結果, 低い競技者群の相対接地距離が有意に長かった。しかし, 対象者数が少ないことや身長の群内における個人差があることが影響しているためか, ステップ頻度, ステップ長, およびキネマティクス (走動作) 変数に, 群間の統計的な有意差は認められなかった (ただし, 平均値の値自体には差がある)。

以上のように, 短距離走の走動作については, 走速度との関係を検証し, 高い最大走速度を獲得するために重要なキネマティクスの特性に関して有益な知見を明らかにしているものの, ステップ変数との関係を検証したものは見当たらず, 身長 (下肢長) との関係を検証したものについては極めて少ない。第 1 章 序論で述べたように, 下肢のキネマティクスは, 走速度の個人差だけでなく, 身長 (下肢長) およびステップ変数の個人差によっても異なると推測される。したがって, 多数の競技者から成る横断的データを用いて, 最大走速度 (100m 走の記録との間に極めて高い相関関係がある), 下肢長 (身長), およびステップ変数を同時に扱い, 各キネマティクス (走動

作) 変数との関係を統計的に検証することにより, 各キネマティクス (走動作) 変数の評価や目標設定を行うための階層的かつ類型的な基準値として, 100m 走の記録(走速度)・身長(下肢長)・ステップ頻度・滞空比(回復比)別の標準キネマティクス(走動作)変数を算出する推定式を新たに作成できると考えられる. しかし, このように推定式の作成を試みた研究は見当たらない.

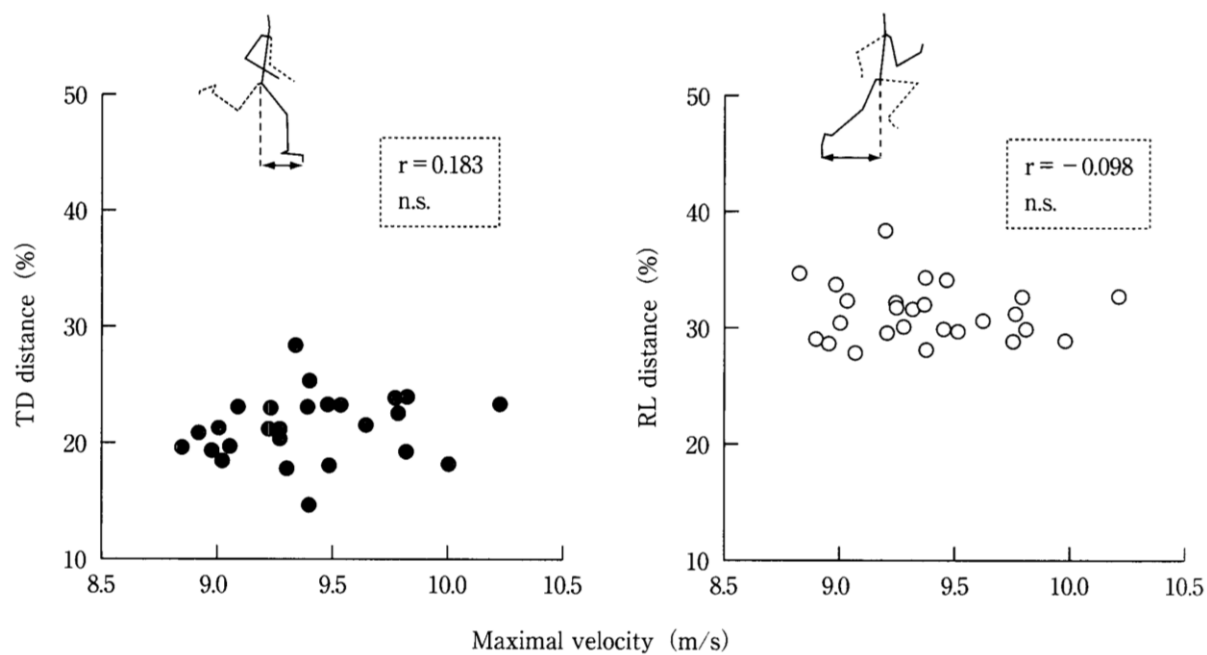


図 2.9 等速（最大速度）局面における走速度と、相対接地距離（左図）および相対離地距離（右図）との関係（福田・伊藤，2004 より抜粋）

身長は、体格あるいは身体の大きさの基本的指標であるとともに、長育の中で最も代表的形質である（高石，2012）。また、身長は17歳前後で発育を終了し（首都大学東京体力標準値研究会編，2007；高石，2012），トレーニングや生活習慣によって変化することもない安定した指標である。100m走における競技者の身長や、身長と比例関係にある体重を主に扱った文献は幾つか存在する。また、著名な競技者の身長や体重のデータは、著書やWEBサイトに公開されている。第8節では、これらの要点をまとめ、文献のレビュー等を行う。

第8節 競技者の身長および体重等に関する文献

Coh et al. (2001) は、100m走の記録が異なる2群（A群，記録 10.52 ± 0.19 s；B群，記録 11.09 ± 0.12 s）の，その他の形態的要因を比較した。その結果，身長（A群， 180.78 ± 6.00 cm；B群， 181.86 ± 4.94 cm），体重（A群， 80.98 ± 6.43 kg；B群， 80.52 ± 8.53 kg），BMI（A群， 24.72 ± 1.76 kg/m²；B群， 24.31 ± 1.64 kg/m²）を含めたすべての形態測定項目において，2群間の有意差は認められなかった。

Uth (2005)は，2004年現在で100m走の記録が世界歴代50傑以内の競技者群（ $n = 42$ ）と，一般人群（アメリカ人（ $n = 724$ ）およびデンマーク人（ $n = 1336$ ）の2群）の身長（それぞれ， 1.80 ± 0.06 m， 1.77 ± 0.08 m， 1.82 ± 0.07 m），体重（それぞれ， 77.0 ± 6.6 kg， 83.4 ± 19.0 kg， 79.8 ± 13.0 kg），およびBMI（それぞれ， 23.7 ± 1.5 kg/m²， 26.6 ± 5.2 kg/m²， 24.1 ± 3.4 kg/m²）の平均値とバラつきを比較した。その結果，平均値については，体重のみ競技者群が2つの一般人群よりも有意に少なかった。バラつきについては，すべての項目で，競技者群が2つの一般人群よりも有意に小さかった。つまり，世界一流競技者では，一般人と比較して体重が少ない上に，狭い範囲で身長，体重，およびBMIが分布していることが示された。

Paruzel-Dyja et al. (2006) は，世界選手権パリ大会（2003年）の男子100m走に出場した競技者109名を，100m走の平均記録である10.28sを境界にFaster群（記録： 10.15 ± 0.07 s）とSlower群（記録： 10.46 ± 0.20 s）に分類した。前者が後者と比較して，身長および平均ステップ長（Faster群で，それぞれ 1.8017 ± 0.0450 m， 2.1931 ± 0.0683 m。Slower群で，それぞれ 1.7779 ± 0.0634 m， 2.1392 ± 0.0712 m）において高いものの（ $p < 0.05$ ），体重およびローレル指数（Faster群で，それぞれ 76.95 ± 5.72 kg， 1.32 ± 0.08 。Slower群で，それぞれ 75.50 ± 6.38 kg， 1.34 ± 0.09 ）において有意に異なっていないことを報告している。

Charles and Bejan (2009) は，1929年から2008年までの100m走の世界記録保持者の形態の変遷について検討した結果，記録変遷に伴い，身長，体重は大きくなるものの，細身へと変化したことや，100m走の世界記録における平均走速度と，体重，

身長、および SLENDERNESS（細身の指標）との間には相関関係が認められたことを報告している。

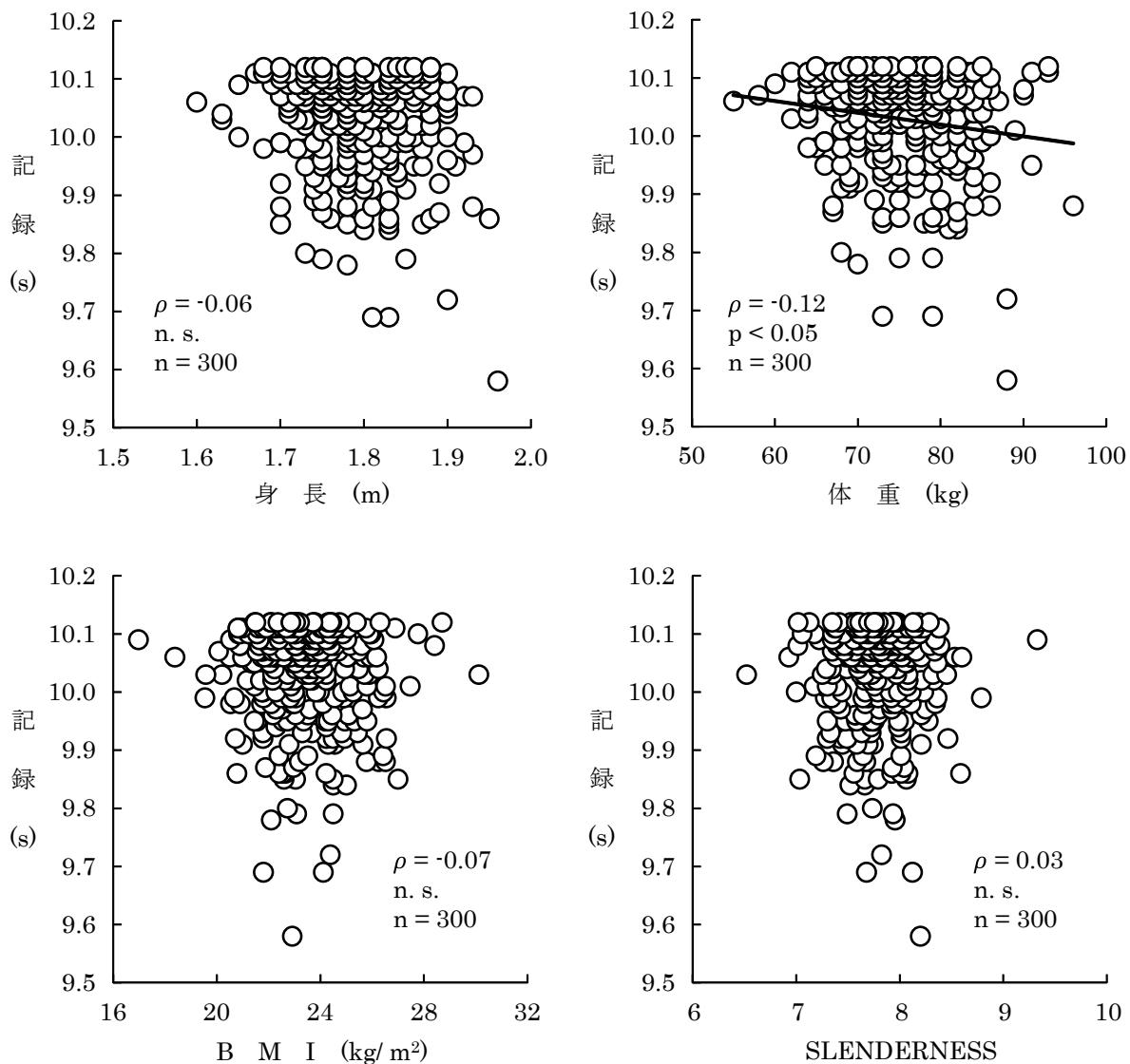
国内外の著名な競技者の身長および体重は、ベースボール・マガジン社 (1987, 1990, 1991, 2009, 2010), 石原 (1992, 1993), 宮崎・吉岡 (1989), 野口・千田 (2013), 野口・山地 (2003, 2004, 2005, 2006, 2007), 高谷・上田 (1988), 山地・石原 (1995, 1996, 1997, 2000), 山地・森 (1994), 山地ほか (1998, 1999, 2001, 2002) など陸上競技専門雑誌や, *Atletica Leggera* (online), *European Athletics* (online), *Fédération Française d'Athlétisme* (online), 日本オリンピック委員会 (online), 日本陸上競技連盟 (online2), *Olympics at Sports-Reference.com* (online), 陸上競技インフォメーションセンター (online), *TEAM GB* (online), *Tilastopaja Oy Track and field statistics* (online), *USA Track & Field* (online), 競技者本人のオフィシャルホームページ, 並びに所属チームなどの WEB サイトに公開されている。

野口・千田 (2013) が編集した世界歴代 300 傑 (2012 年 12 月現在) の競技者における身長, BMI, および SLENDERNESS (Charles and Bejan, 2009) と 100m 走の記録との間には, 相関関係は認められていない (図 2.10). 体重は, 有意ではあるものの 100m 走の記録との間にほとんど相関関係を示していない (図 2.10). また, 身長と SLENDERNESS との間に正の相関関係が認められ (図 2.11), 身長が高いほど細身である傾向を示している。

さらに, 日本人競技者と外国人競技者との間では, 身長, 体重, BMI において日本人競技者が有意に低く, SLENDERNESS において有意に高い (表 2.6). 差の効果量 (Cohen's *d*) は, それぞれ 1.13, 1.68, 1.11, 0.48 であった. これらは, 日本人競技者と外国人競技者がオーバーラップしない割合がそれぞれ 60%, 75%, 59%, 32% 程度であることを示している. 近年 (2008–2017 年) の男子 100m 走における, 日本ランキング上位 3 名とオリンピック競技大会および世界選手権大会の準決勝出場以上の競技レベルに相当する世界ランキング (オリンピック競技大会および世界選手権の各国出場可能人数は最大 3 名であるため, 各国上位 3 名以内で構成したもの) 上位 24 名の競技者の身長を比較しても, 同様の傾向が認められている (図 2.12). また, オリンピック競技大会における 100m 走の日本人出場競技者は, 決勝進出者 (1932 年ロサンゼルス大会のみ日本人競技者 1 名を含む) と比較して, 身長において低い傾向で推移している (図 2.13).

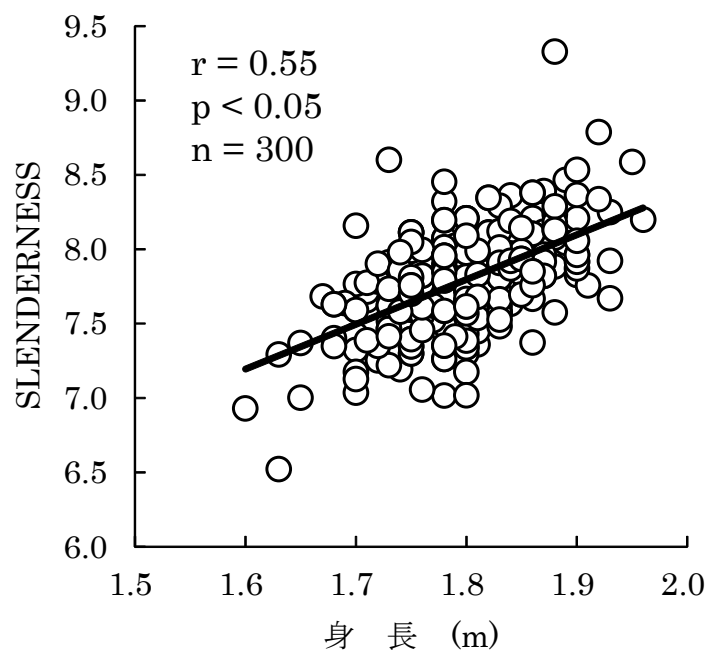
上記文献を総括すると, 100m 走の競技者において身長などの基本的な形態的要因は, 100m 走の記録を決定する要因とはならないといえる. ただし, 日本人競技者は外国人競技者と比較して体格が小さく, 細身の傾向であると推測される. また, 身長

と 100m 走の通過時間および区間時間との関係を検証した先行研究は見当たらない。



† ρ : Spearmanの順位相関係数
 †† $SLENDERNESS = ((1000 \text{ [kg/m}^3] * \pi * \text{身長 [m]}^3) / (4 * \text{体重 [kg]}))^{1/2}$
 †††野口・千田 (2013) が編集した世界歴代300傑 (2012年12月現在) の競技者における身長および体重のデータを用いて、筆者が分析および作図

図 2.10 身長, 体重, BMI, および SLENDERNESS と 100m 走の記録との関係



† $\text{SLANDERNESS} = ((1000 [\text{kg}/\text{m}^3] * \pi * \text{身長} [\text{m}]^3) / (4 * \text{体重} [\text{kg}]))^{1/2}$
 †† 野口・千田 (2013) が編集した世界歴代300傑 (2012年12月現在) の競技者における身長および体重のデータを用いて、筆者が分析および作図

図 2.11 身長と SLANDERNESS との関係

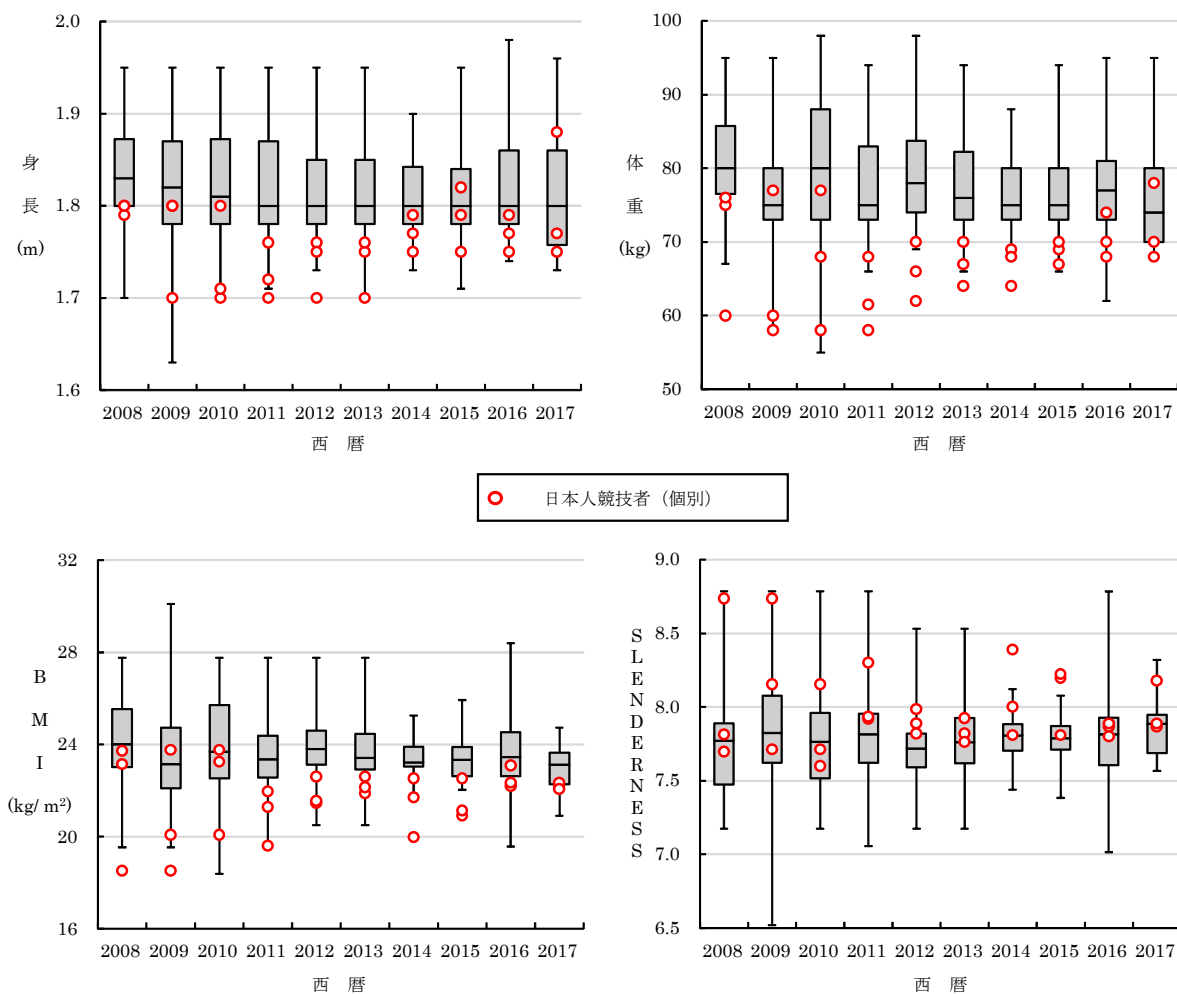
表 2.6 日本人競技者と外国人競技者との間における記録, 身長, 体重, BMI, および SLANDERNESS の比較

項目	日本人 (n = 217)				外国人 (n = 293)				t	効果量
	平均値 ± 標準偏差	最小値	最大値		平均値 ± 標準偏差	最小値	最大値			
記録 (s)	10.379 ± 0.105	10.00	10.50		10.029 ± 0.089	9.58	10.12	39.69 *	3.55	
身長 (m)	1.735 ± 0.048	1.62	1.90		1.796 ± 0.061	1.60	1.96	-12.62 *	1.13	
体重 (kg)	65.6 ± 5.3	51	81		75.5 ± 6.7	55	96	-18.74 *	1.68	
BMI (kg/m ²)	21.78 ± 1.28	18.5	26.8		23.40 ± 1.68	17.0	30.1	-12.38 *	1.11	
SLANDERNESS	7.920 ± 0.259	7.15	8.74		7.780 ± 0.332	6.52	9.33	5.36 *	0.48	

† $\text{SLANDERNESS} = ((1000 [\text{kg}/\text{m}^3] * \pi * \text{身長} [\text{m}]^3) / (4 * \text{体重} [\text{kg}]))^{1/2}$

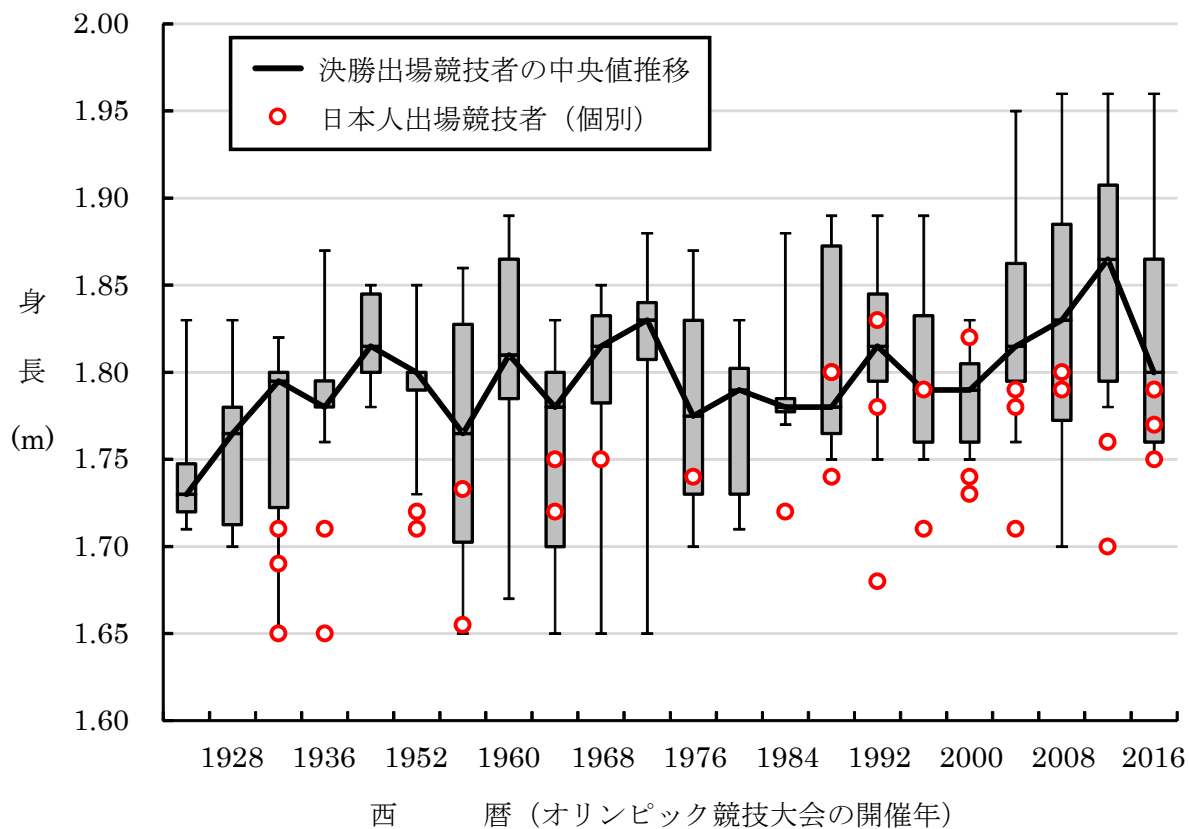
†† 野口・千田 (2013) が編集した世界および日本の歴代300傑 (2012年12月現在) の競技者における身長および体重のデータを用いて、筆者が分析および作表.

††† *: $p < 0.05$



† SLENDERNESS = $((1000 \text{ [kg/m}^3] * \pi * \text{身長 [m]}^3) / (4 * \text{体重 [kg]}))^{1/2}$
 ‡ 陸上競技専門雑誌やWEBサイトに公開されたデータを用いて、筆者が作図

図 2.12 男子 100m 走の西暦 (2008—2017 年) 別の日本ランキング上位 3 名と、各国上位 3 名以内で構成した世界ランキング上位 24 名の統計量 (最小値, 第 1 四分位数, 中央値, 第 3 四分位数, 最大値) における記録, 身長, 体重, BMI, および SLENDERNESS の推移



†Olympics at Sports-Reference.com (online) および日本体育協会 (1958) に掲載されたデータ (身長が判明している者) を用いて, 筆者が作図.

図 2.13 オリンピック競技大会男子 100m 走の決勝出場競技者および日本人出場競技者における身長推移

1936年の国際陸上競技連盟(International Association of Athletics Federations. 以下、「IAAF」とする。なお、IAAFは2019年11月11日に、World Athletics: ワールドアスレティックスに改称された)の総会において、追い風 2.0m/sを超える風速条件で測定された200mまでのトラック競技種目、走幅跳、および三段跳の記録は、公認されないことが承認され、国際競技規則として成立した(Ward-Smith, 1985)。一方、100m走における国内公認記録のための風速条件の許容範囲は、1937年から1954年までの期間では追風 5.0 m/sまで、1955年から1959年までの期間では追風 3.5 m/sまでであった(川田ほか, 1995)。現在のように、追風 2.0 m/sまでの記録が国内公認記録となるという国内競技規則が成立するのは1962年以降であった(表2.7)。第8節では、主に100m走の記録と風速との関係についての要点をまとめ、文献のレビュー等を行う。

第9節 空気抵抗(風速等)に関する文献

100m走では、第1レーンに隣接して(第1レーンから2m以内)、フィニッシュラインから50mの地点に、IAAFに認証された風向風速計(高さは1.22m)を立てる。風力計測員は、風向風速計を用いてスターターの信号器の発射(閃光/煙)から10秒間の平均風速を測定する。得られた測定値が追い風の時に2.0 m/sを超えた場合、そのレースの記録は参考扱いとなり、公認されない(日本陸上競技連盟, online1)。このように競技規則が成立したのは、風速の違いがもたらす空気抵抗力や記録への影響が大きいことが認められたからに他ならない。1936年のIAAFの総会で提出された報告では、男女の競技者を対象にして、様々な風速値の追い風で測定された100m走の記録と向かい風で測定された100m走の記録との差が、平均して0.4s異なっていたことが示された(Ward-Smith, 1985)。その報告では、風速による記録の短縮が0.1sを超えないように、公認記録となる風速条件は、追い風 1.0m/s までにする必要があると結論付けられた(Linthorne, 1994b; Ward-Smith, 1985)。というのは、当時の100m走の記録が、0.1s単位の手動計時によるものであったためである。実際には、上記の通り追い風 2.0m/s までを公認記録の条件として、総会で承認された(Linthorne, 1994b; Ward-Smith, 1985)。その後、電動計時の普及により0.01s単位で記録が公認されるようになり、100m走の記録と風速との関係を検証した研究(Dapena and Feltner, 1987; Heidenstrom, 1982; Ward-Smith, 1985)が幾つか行われたが、関係の程度は研究間で一致しなかった。しかし、両者の関係をより正確に検証した近年の研究(Linthorne, 1994b; Mureika, 2001; Ward-Smith, 1999)では、関係の程度は研究間でほぼ一致している。すなわち、国際競技会に出場する競技レベルの男子競技者では、平地の100m走において、追い風 2.0m/s 条件での記録

が、無風条件での記録と比較して、統計的に 0.10–0.11s 程度良い。一方、向かい風 2.0m/s 条件での記録は、無風条件での記録と比較して、統計的に 0.12–0.13s 程度悪い (図 2.14)。なお Linthorne (1994a, 1994b) は 100m 走の記録と風速との関係を統計的に検証し、風速の影響を排除した 100m 走の記録を算出する推定式を、下記のように作成した。

$$T_0 = T + \alpha (Vw - \beta Vw^2),$$

T_0 : 風速の影響を排除した記録 (s), T : 公式記録 (s),

$\alpha = 1 / 18$ (s²/ m), Vw : 風速 (m/ s), $\beta = 1 / 20$ (s/ m)

また、Linthorne (1994b) は、記録が 1s 増加すると記録の短縮・増加の割合が、10%程度増えることを示した。さらに、身体が大きいほど、走行中に作用する空気抵抗が大きいため風速による記録の短縮・増加の程度が大きいものの、男子競技者の身体の大きさの範囲では、身体の大きさの違いによって発生する記録の短縮・増加時間が、風速による記録の短縮・増加時間の 5%以下であることも示した。すなわち、男子競技者の中では、身体が大きいほど 100m 走の記録と風速との関係の程度が大きいという関係は、ほとんどなかった (Linthorne, 1994b)。

競技規則では、高度 1000m 以上で測定された記録は、公認記録として扱われるものの、記録を左右することから、その記録には A (altitude-assisted) という記号が併記される。先行研究では 100m 走の記録と高度との関係も検証されており、Dapena and Feltner (1987) および Mureika (2001) が両者間の関係を定量的に検証した結果、世界一流水準において平地・無風条件の 100m 走の記録は、高度が 1000m 増加すると、それぞれ 0.02–0.03s, 0.03–0.04s 短縮する関係であることを示した。Mureika (2001) は、コーチ、競技者、およびメディア等が、観測された 100m 走の記録 ($t_{w,H}$) を、風速 (w) および高度 (H) の影響を排除して評価できるように、風速 0m/s および高度 0m に換算した場合の記録 ($t_{0,0}$) を推定する簡易式を、下記のように作成している。

$$t_{0,0} \approx t_{w,H} \left[1.03 - 0.03 \exp(-0.000125 \cdot H) (1 - w \cdot t_{w,H} / 100)^2 \right]$$

$t_{0,0}$: 補正記録 (s), $t_{w,H}$: 公式記録 (s), w : 風速 (m/s), H : 高度 (m)

参考として、この簡易式を用いて 2019 年 11 月 23 日現在で男子 100m 走の日本歴代 2 位記録 (桐生祥秀選手が 2017 年 9 月 9 日にマーク。記録: 9.98s, 風速: +1.8m/s,

高度：7m)と日本歴代4位記録(山縣亮太選手が2017年9月24日にマーク。記録：10.00s, 風速：+0.2m/s, 高度：6m)の風速・記録別換算記録を算出すると、それぞれ表2.8, 表2.9のようになる。風速条件および高度条件を考慮すると、後者が比較的良い記録であると評価される。

さらに、Mureika (2006)は、空気密度に着目し、記録との関係を検証している。空気密度に着目すると、それは気温が高いほど小さく、気圧が低いほど小さく、湿度(%)が高いほど小さい。また、気温、気圧、湿度の順に空気密度への影響は大きいので、同じく100m走の記録への影響も大きい。すなわち無風条件の場合、国内で競技会が行われる3—11月の気温の変化が最大で40°Cと仮定すると、気温が0°Cから40°Cに上昇することにより100m走の記録は理論的には0.04s程度短縮する。同じく、通常(台風を除く)の高気圧と低気圧との差が60hPaと仮定すると、気圧が1030hPaから970hPaに低下することにより、記録は0.02s程度短縮する。一方、湿度(%)が0%から100%に上昇しても記録の短縮は、0.01s未満である。ただし、これら3要因の組み合わせや風速により各要因の記録への影響の程度はわずかに変化する。Mureikaの公式WEBサイト(Mureika, online)では、記録、風速、競技会場の高度、気温、気圧、湿度の値をボックスに入力することにより、標準大気時(気温25°C, 気圧1013hPa, 湿度50%, 風速0m/s, 高度0m)における100m走の推定記録が表示されるようになっている。なお、国内陸上競技場の高度情報は、WEBサイト(Mapion Co.,Ltd., online)で該当する競技場を検索することにより、得られる。また、国内競技会場の開催時間帯の気温、気圧、および相対湿度の情報を得ることは困難である場合が多いものの、会場が立地する都市もしくは近隣都市のそれら情報については、WEBサイト(気象庁, online)で該当する競技会場の都市の日時を検索することにより、得られる。

以上のように、記録と風速との関係を検証した研究は行われており、近年のものではほぼ一致した結果が得られている。しかし、これまでに100m走の通過時間および区間時間を測定し、レース展開と風速との関係を統計的に検証した研究は見当たらない。

表 2.7 男子 100m 走における風速の競技規則に関する国内競技規則の
改正履歴 (川田ほか, 1995 を基に作表)

西暦	改正内容
1937	<p>直走路の競走あるいは幅跳, 三段跳競技では, 競技中競技者の真うしろ或は斜めうしろからの追風が吹く場合, 記録を採用しない. 競技者に影響すると認められる風速は毎秒2mを超えるものとする.</p> <p>※IAAFでは1935 (1936の誤り?) 年上記のように条件付で定められていた. 日本陸連では1937年, 毎秒5mまでを許容限度としていた.</p>
1955	<p>直走路を用いる競走と走幅跳, 三段跳の記録では, 競技者はまうしろから吹く風の助けをかりてはいけない. 走る方向に毎秒3m半 (を含む) の追風があると, それは競技者を利したものと考えられる. 風速を測るには, 競走では10秒間, 跳躍では5秒間とし, それぞれの秒間の平均風速で計算する. 但し, 本連盟が世界記録を国際陸上競技連盟に申請する場合は, 毎秒平均2m (を含む) を超えるものはこれを行わない.</p>
1960	<p>直走路を用いる競走と走幅跳, 三段跳の記録では, 競技者はうしろから吹く風の助けをかりてはいけない. 走る方向に毎秒2m (を含む) の追風があると, それは競技者を利したものと考えられる. 100mまでの競走では, 10秒間風速を測る. 上記の計測時間の平均風速で計算する. 風速に関しては昭和35年1月23日以前に遡及しない.</p>
1962	<p>220ヤードまでの競走, 走幅跳, 三段跳のすべての記録は, 風の状態について報告が必要である. 競技者のうしろから走る方向に測られた追風が, 毎秒2mを超えたならば記録は認められない. 追風はつぎの時間測定するものとする. 100mは10秒間. 上記の時間の間の平均風速を計算する.</p>
1969	100mまたは110ヤードの風力の計測時間は10秒間とする.
1973	風力計測員新設.

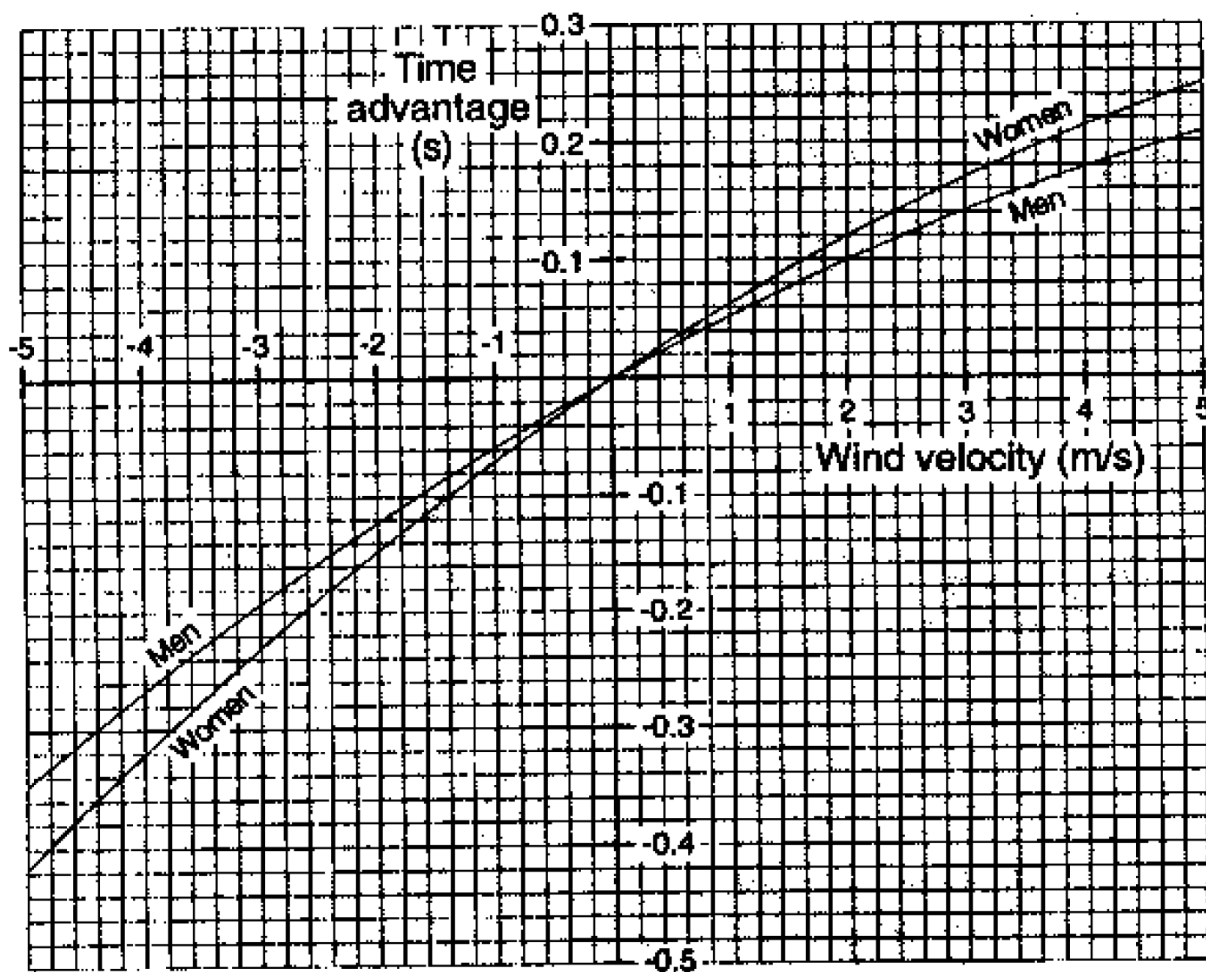


図 2.14 国際競技会出場レベルの男女競技者における平地 100m 走の記録への風の影響 (Linthorne, 1994a より抜粋)

表 2.8 男子 100m 走における日本歴代 2 位記録 (2019 年 11 月 22 日現在.
桐生祥秀選手が 2017 年 9 月 9 日にマーク. 記録 : 9.98s,
風速 : +1.8m/s, 高度 : 7m) の風速・高度別換算記録
(Mureika, 2001 の推定式を用いて作表)

		風速・高度別換算記録 (s)				
		風速 (m/s)				
		-2.0	-1.0	0.0	+1.0	+2.0
高度 (m)	0	10.22	10.14	10.08	10.02	9.97
	500	10.19	10.12	10.06	10.01	9.96
	1000	10.16	10.10	10.04	9.99	9.95
	1500	10.14	10.08	10.03	9.98	9.94
	2000	10.12	10.06	10.01	9.97	9.93
	2500	10.10	10.04	10.00	9.96	9.92
	3000	10.08	10.03	9.98	9.95	9.91

表 2.9 男子 100m 走における日本歴代 4 位記録 (2019 年 11 月 22 日現在.
山縣亮太選手が 2017 年 9 月 24 日にマーク. 記録 : 10.00s,
風速 : +0.2m/s, 高度 : 6m) の風速・高度別換算記録
(Mureika, 2001 の推定式を用いて作表)

		風速・高度別換算記録 (s)				
		風速 (m/s)				
		-2.0	-1.0	0.0	+1.0	+2.0
高度 (m)	0	10.15	10.08	10.01	9.96	9.91
	500	10.12	10.05	9.99	9.94	9.89
	1000	10.10	10.03	9.98	9.93	9.88
	1500	10.07	10.01	9.96	9.91	9.87
	2000	10.05	9.99	9.95	9.90	9.86
	2500	10.03	9.98	9.93	9.89	9.86
	3000	10.01	9.96	9.92	9.88	9.85

第10節 記録動向に関する文献

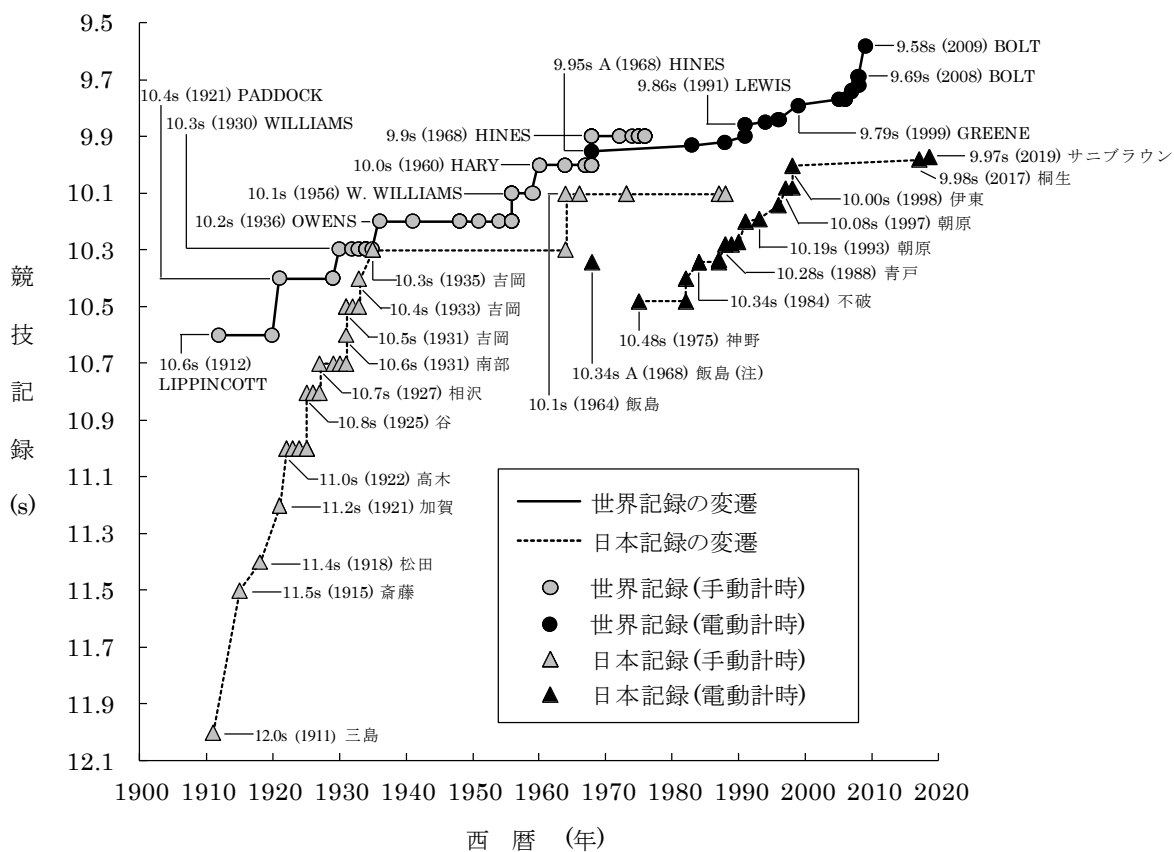
男子 100m 走において、IAAF が初めて公認した世界記録は、LIPPINCOTT 選手が 1912 年にマークした 10.6s (正確には 10.3/5. また、当時は 1/5s 刻みの手動計時) であった。1960 年代より電気計時による記録が広まり、1968 年には HINES 選手が人類史上初めて 9s 台 (9.95s) をマークし、2009 年には BOLT 選手が現世界記録 (2019 年 11 月現在) となる 9.58s をマークした (図 2.15)。一方、初めて公認された日本記録は、三島選手が 1911 年にマークした 12.0s (手動計時) であった。1935 年には、吉岡選手が世界タイ記録となる 10.3s (手動計時) をマークし、2017 年 9 月 9 日には、桐生選手が日本人として初めて 9s 台 (9.98s) をマークした。2019 年 6 月 7 日には、ガーナ出身の父と日本出身の母を持つサニブラウン選手が日本記録を 9.97s に更新した (図 2.15)。

世界歴代記録を見ていくと、1980 年代に同一年次で 9 秒台をマークする競技者が複数存在するようになり、9 秒台をマークする競技者は年々増える傾向を示した (図 2.16)。2011 年以降、年間 20 人程度の競技者が 9 秒台をマークするようになった。一方、日本歴代記録を見ていくと、1980 年代に 10 秒 49 以内をマークする競技者が複数存在するようになり、10 秒 49 以内をマークする競技者は年々増える傾向を示した (図 2.17)。2019 年には、年間 96 人が 10 秒 49 以内をマークした。9 秒台をマークした日本人競技者は、2017 年の桐生選手、2019 年のサニブラウン選手と小池選手の計 3 人のみである。

9 秒台をマークした競技者の国籍の数は、2019 年 11 月 23 日現在で計 29 カ国に及ぶ (MARTINA 選手はオランダとオランダ領アンティルの 2 カ国でマークした)。表 2.10 には、各国で最初に 9 秒台をマークした選手を示した。図 2.18 には、国別で 9 秒台をマークした競技者の数 (2019 年 11 月 23 日現在) を示した。

100m 走の記録は、レース中に測定される風速 (本章 第 9 節を参照) によって、大きく変化することが明らかとなっている。先行研究 (Mureika, 2001) の推定式を用いて、男子 100m 走の風速による補正記録の世界歴代 30 傑を作成すると、表 2.11 のようになる。また、風速補正記録と国内順位との関係は、人口による影響を受けて国間で異なることが示された (図 2.19)

以上のように、100m 走の記録は全体として経年に伴い向上しており、今後もその傾向は持続すると予測される。一方、100m 走の記録は風速によって著しく変化するため、その評価を適切に行うためには、風速に影響を除去することが必要である。本研究では、後述 (第 3 章) するように、2015 年までに競技者の各種データを収集し、分析に用いている。



(注) 1984年に電動計時日本記録として過去に遡及して公認

図 2.15 男子 100m 走における世界記録および日本記録の推移
 (2019 年 11 月 23 日現在)

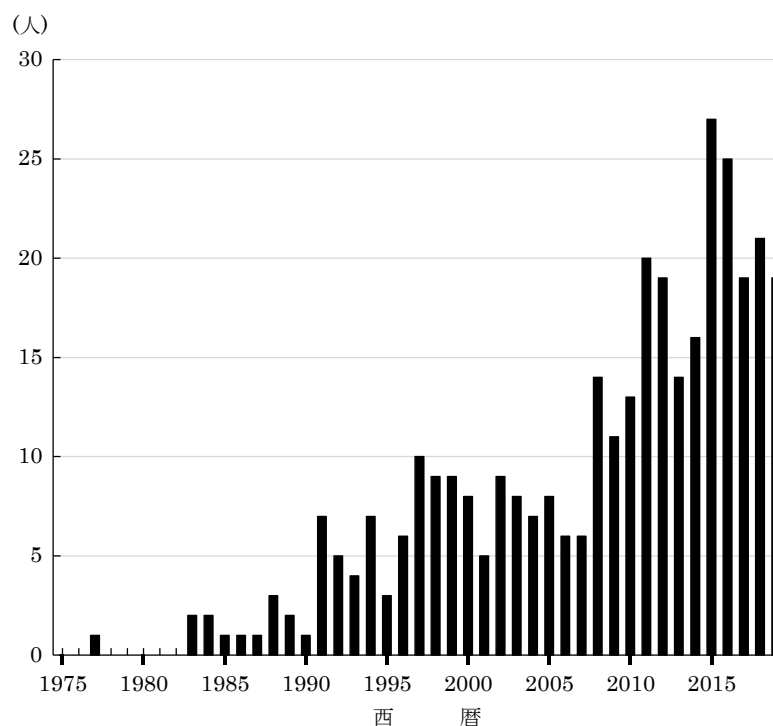


図 2.16 男子 100m 走における記録が 9 秒台の国内外競技者数の年次推移 (1975-2019 年)

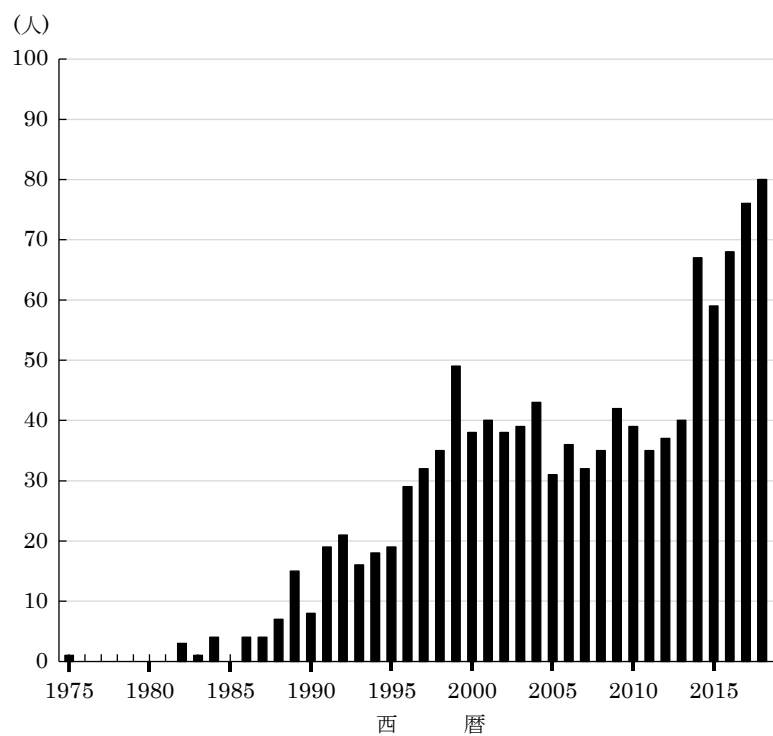
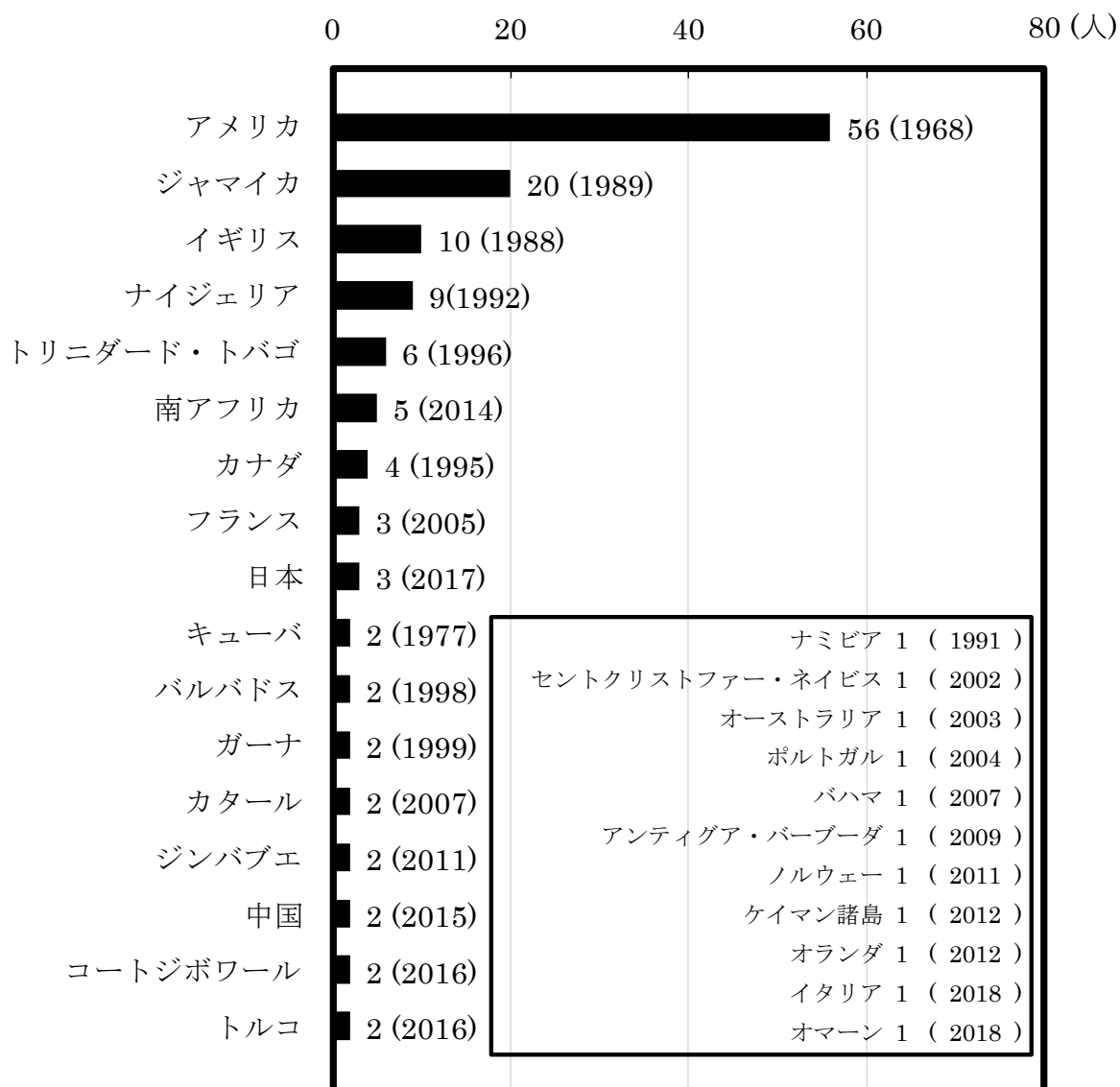


図 2.17 男子 100m 走における記録が 10 秒 49 以内の日本人競技者数の年次推移 (1975-2019 年)



※()内の数値は、各国で最初に9秒台が達成された西暦を表す

図 2.18 男子 100m 走における記録の国籍別 9 秒台達成競技者数
(2019 年 11 月 23 日現在)

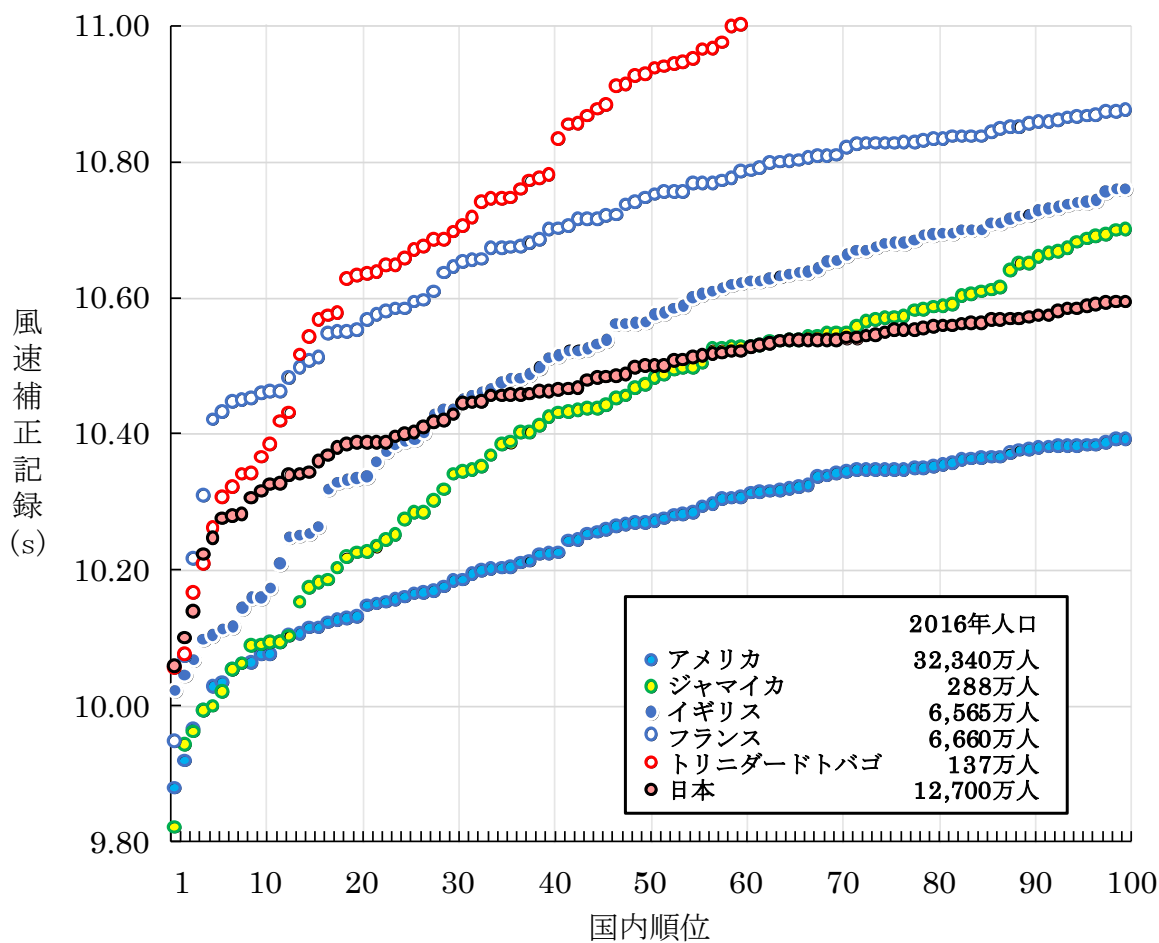
表 2.10 男子 100m 走において各国で最初に 9 秒台をマークした競技者の一覧
(2019 年 11 月 23 日現在)

No.	期日	記録 (s)	風速 (m/s)	競技者名	国籍	年齢 (歳)	開催地
1	1968/10/14	9.95	0.3	Jim HINES	アメリカ	22	Ciudad de México (MEX)
2	1977/8/11	9.98	0.6	Silvio LEONARD	キューバ	21	Guadalajara (MEX)
3	1988/9/24	9.97	1.1	Linford CHRISTIE	イギリス	28	Seoul (KOR)
4	1989/5/20	9.97	1.0	Raymond STEWART	ジャマイカ	24	Waco, TX (USA)
5	1991/8/25	9.95	1.2	Frank FREDERICKS	ナミビア	23	Tokyo (JPN)
6	1992/4/4	9.97	1.2	Olapade ADENIKEN	ナイジェリア	22	Austin, TX (USA)
7	1995/4/22	9.99	0.9	Donovan BAILEY	カナダ	27	Baton Rouge, LA (USA)
8	1996/4/21	9.93	1.3	Ato BOLDON	トリニダード・トバゴ	22	Walnut, CA (USA)
9	1998/9/11	9.87	-0.2	Obadele THOMPSON	バルバドス	22	Johannesburg (RSA)
10	1999/6/5	9.98	1.6	Leonard MYLES-MILLS	ガーナ	25	Boise, ID (USA)
11	2002/7/27	9.98	0.2	Kim COLLINS	セントクリストファー・ネイビス	26	Manchester (GBR)
12	2003/5/5	9.93	1.8	Patrick JOHNSON	オーストラリア	30	Mito (JPN)
13	2004/8/21	9.93	0.0	Francis OBIKWELU	ポルトガル	25	Athina (GRE)
14	2005/7/5	9.99	1.8	Ronald POGNON	フランス	22	Lausanne (SUI)
15	2007/4/28	9.98	2.0	Derrick ATKINS	バハマ	23	Berkeley, CA (USA)
16	2007/7/26	9.99	0.9	Samuel FRANCIS	カタール	20	Amman (JOR)
17	2008/8/15	9.99	-0.1	Churandy MARTINA	オランダ領アンティル	24	Beijing (CHN)
18	2009/5/24	9.99	-0.3	Daniel BAILEY	アンティグア・バーブーダ	22	Belém (BRA)
19	2011/4/23	9.97	2.0	Ngonidzashe MAKUSHA	ジンバブエ	24	Durham, NC (USA)
20	2011/6/30	9.99	1.0	Jaysuma SAIDY NDURE	ノルウェー	26	Lausanne (SUI)
21	2012/7/7	9.95	1.8	Kemar HYMAN	ケイマン諸島	22	Madrid (ESP)
22	2012/8/5	9.91	0.7	Churandy MARTINA	オランダ	28	London (GBR)
23	2014/4/12	9.98	1.4	Simon MAGAKWE	南アフリカ	27	Pretoria (RSA)
24	2015/5/30	9.99	1.5	蘇 炳添	中国	25	Eugene, OR (USA)
25	2016/6/6	9.99	1.1	Ben Youssef MEITÉ	コートジボワール	29	Praha (CZE)
26	2016/6/12	9.92	0.9	Jak Ali HARVEY	トルコ	27	Erzurum (TUR)
27	2017/9/9	9.98	1.8	桐生 祥秀	日本	21	Fukui (JPN)
28	2018/6/22	9.99	0.2	Filippo TORTU	イタリア	20	Madrid (ESP)
29	2018/7/9	9.97	1.7	Barakat AL HARTHI	オマーン	30	Amman (JOR)

表 2.11 男子 100m 走における風速による補正記録の世界歴代 30 傑
(2019 年 11 月 23 日現在)

順位	補正記録 (s)	記録 (s)	風速 (m/s)	競技者名	国籍	年齢 (歳)	開催地	期日
1	9.63	9.58	0.9	Usain BOLT	ジャマイカ	22	Olympiastadion, Berlin (GER)	2009/8/16
2	9.68	9.69	-0.1	Yohan BLAKE	ジャマイカ	22	Pontaise, Lausanne (SUI)	2012/8/23
3	9.73	9.72	0.2	Asafa POWELL	ジャマイカ	25	Pontaise, Lausanne (SUI)	2008/9/2
4	9.76	9.78	-0.4	Tyson GAY	アメリカ	28	Crystal Palace, London (GBR)	2010/8/13
5	9.76	9.78	-0.3	Justin GATLIN	アメリカ	33	Stade Louis II, Monaco (MON)	2015/7/17
6	9.77	9.79	-0.3	Christian COLEMAN	アメリカ	22	Boudewijnstadion, Bruxelles (BEL)	2018/8/31
7	9.80	9.79	0.1	Maurice GREENE	アメリカ	24	Athina (GRE)	1999/6/16
8	9.83	9.78	0.9	Nesta CARTER	ジャマイカ	24	Guidobaldi, Rieti (ITA)	2010/8/29
9	9.84	9.86	-0.4	Frank FREDERICKS	ナミビア	28	Lausanne (SUI)	1996/7/3
10	9.84	9.86	-0.4	Ato BOLDON	トリニダード・トバゴ	24	Athina (GRE)	1998/6/17
11	9.84	9.92	-1.2	Michael RODGERS	アメリカ	30	Olympic Stadium, London (GBR)	2015/7/24
12	9.85	9.84	0.2	Bruny SURIN	カナダ	32	La Cartuja, Sevilla (ESP)	1999/8/22
13	9.86	9.87	-0.2	Obadele THOMPSON	バルバドス	22	SGJ, Johannesburg (RSA)	1998/9/11
14	9.86	9.87	-0.1	Ronnie BAKER	アメリカ	24	Chorzów (POL)	2018/8/22
15	9.87	9.80	1.3	Steve MULLINGS	ジャマイカ	28	Hayward Field, Eugene, OR (USA)	2011/6/4
16	9.87	9.92	-0.8	Kemar BAILEY-COLE	ジャマイカ	23	Olympic Stadium, London (GBR)	2015/7/24
17	9.88	9.84	0.7	Donovan BAILEY	カナダ	28	Olympic Stadium, Atlanta, GA (USA)	1996/7/27
18	9.88	9.91	-0.5	Derrick ATKINS	バハマ	23	Nagai Stadium, Osaka (JPN)	2007/8/26
19	9.88	9.75	2.7	Andre DE GRASSE	カナダ	20	Eugene, OR (USA)	2015/6/12
20	9.89	9.87	0.3	Linford CHRISTIE	イギリス	33	Gottlieb-Daimler Stadion, Stuttgart (GER)	1993/8/15
21	9.89	9.97	-1.3	Leroy BURRELL	アメリカ	25	Estadio Olímpico, Barcelona (ESP)	1992/8/1
22	9.89	9.92	-0.5	Trayvon BROMELL	アメリカ	20	National Stadium, Beijing (CHN)	2015/8/23
23	9.89	9.89	0.0	Shawn CRAWFORD	アメリカ	26	Olympic Stadium, Athina (GRE)	2004/8/21
24	9.89	9.89	0.0	Richard THOMPSON	トリニダード・トバゴ	23	National Stadium, Beijing (CHN)	2008/8/16
25	9.89	10.04	-2.2	Calvin SMITH	アメリカ	22	Bruxelles (BEL)	1983/8/26
26	9.89	9.93	-0.6	Michael MARSH	アメリカ	24	Walnut, CA (USA)	1992/4/18
27	9.89	9.86	0.6	Francis OBIKWELU	ボルトガル	25	Olympic Stadium, Athina (GRE)	2004/8/22
28	9.90	9.91	-0.2	Daniel BAILEY	アンティグア・バーブーダ	22	Paris-St-Denis (FRA)	2009/7/17
29	9.90	10.04	-2.1	Ben Youssef MEITÉ	コートジボワール	28	Brazzaville (CGO)	2015/9/14
30	9.90	9.95	-0.8	Trell KIMMONS	アメリカ	25	Letzigrund, Zürich (SUI)	2010/8/19

† 補正記録は、Mureika (2001)の推定式によって算出されたものである。



†日本のグラフは、陸上競技ランキング (online) のデータを用いて筆者が作図
 ‡日本以外のグラフは、World Athletics (online) のデータを用いて筆者が作図

図 2.19 2016 年の男子 100m 走における各国競技者の風速補正記録と国内順位との関係

第 3 章

データ収集方法

本研究で重要なことの1つは、対象者の身長データを収集することである。本章の第1節では、身長データの収集方法について説明する。

第1節 身長データの収集方法

研究課題1（第5章）では、対象者112名のうち14名の身長データは、身長計（ヤガミ社製，YG-200）を用いて計測されたものである。37名の身長データは、アンケート調査によって申告されたものである。残り61名については、著名な競技者ということもあり、既に第2章 第8節でも述べたように文献やWEBサイトに公開されたものである。

研究課題2（第6章）では、標準ステップ数の推定式を作成するための対象者145名のうち30名の身長データは、身長計を用いて計測されたものである。48名の身長データは、アンケート調査によって申告されたものである。残り67名については、文献やWEBサイトに公開されたものである。また、標準支持時間、標準滞空時間、および標準滞空比の推定式を作成するための対象者100名のうち28名の身長データは、身長計を用いて計測されたものである。40名の身長データは、アンケート調査によって申告されたものである。残り32名については、文献やWEBサイトに公開されたものである。

研究課題3（第7章）では、対象者79名の身長データは、身長計（ヤガミ社製，YG-200）を用いて計測されたものである。

研究課題1–3の身長データについて、一元配置の分散分析により4つの平均値（表5.1，表6.1，表7.1）を比較したところ、有意差は認められなかった（ $p=0.509$ ）。また、Kolmogorov-Smirnov検定を行ったところ、研究課題1–3の身長データには正規性が保証された（ $p=0.231-0.596$ ）。したがって、研究課題1–3の身長データの平均値、バラつき、および分布に、顕著な差は無いと見なすことができる。

以上のように、本研究では3つの方法を用いて身長データ（身長計を用いた計測値、アンケート調査による申告値、文献やWEBサイトの公開値〔申告値か計測値のどちらかであるかは不明〕）を収集した。本来であれば、研究としての身長データはすべて身長計を用いて計測したものであることが望ましいが、調査費用などの問題により、身長計による測定を実施して身長データを得ることは不可能であった。なお、身長計およびアンケート調査によって得られた身長データを本研究で用いるために、対象者やコーチには研究で使用する事の同意を得た。

本研究の研究課題1および研究課題2では、目的を達成するために公認競技会の男子100m走を撮影し、映像データを収集することが必要である。また、映像データから、通過時間および区間時間(研究課題1, 研究課題2)、ステップ変数(研究課題2)のデータを収集することも必要である。その際に重要なのは、第一に適切な方法を用いて撮影し、映像データを収集することである。また、第二に対象者の競技力を反映するデータを収集することである。すなわち、最大努力で走行した対象者のデータを出来る限り収集することが必要不可欠である。最大努力で走行しなかった対象者のデータは、本研究の目的を遂行するためには不適切であるため、対象から除外しなくてはならない。本章の第2節で100m走の撮影方法、次いで第3節で対象者の選定方法について説明する。

第2節 100m 走の撮影方法

2009年から2015年までの公認競技会において、100m走の30m地点(女子100mH走の第3ハードル設置マーク)、60m地点(400mH走の第10ハードル設置マーク)、および90m地点(4×400mR走の第3, 4走者のテーク・オーバー・ゾーン入口地点ライン)の側方上の観客席から、各地点1台で計3台のハイスピードカメラ(CASIO社製, EX-F1, フレームレート: 299.7fps)を用いて、対象者をスタートからゴールまでそれぞれ追従撮影した(図3.1)。そのうち少なくとも1台のカメラは、スタート信号器の紙雷管煙もしくはスタートピストルの閃光を、スタート時点として撮影した後、対象者を追従撮影した(図3.2)。なお、天候、日時、および撮影地点(閃光を撮影するか否か等)などの条件に応じて、カメラの絞り値、シャッタースピード、ISO感度、および画角を変更した。撮影により得られた映像では、30m地点、60m地点、および90m地点のマークおよびラインを目視で確認できた(図3.2)。

以上のようにして100m走を撮影することで、測定精度の高い各種(通過時間、区間時間、およびステップ変数)データが収集できると考えられる。この撮影は観客スタンドから手軽に行えるものであり、カメラがあれば誰もが通過時間、区間時間、およびステップ変数を測定できる。近年ではスマートフォンやタブレット端末などの生活に身近な精密機器のカメラ機能が飛躍的に向上し、高精細な映像(高画質、高いフレームレート等)データを取得することが可能となり、今後もより良い映像が取得できる環境が整備されることが予測される。以上より、この撮影方法はコーチング場面にも活用でき、有益なものであると考えられる。

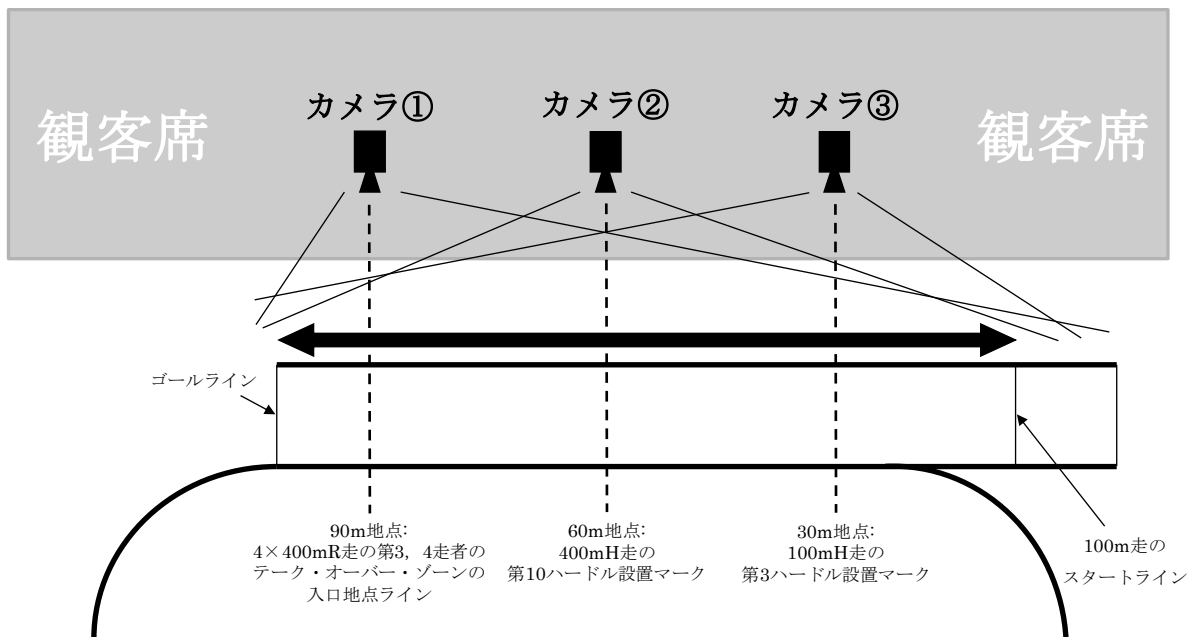


図 3.1 100m 走の撮影設定図

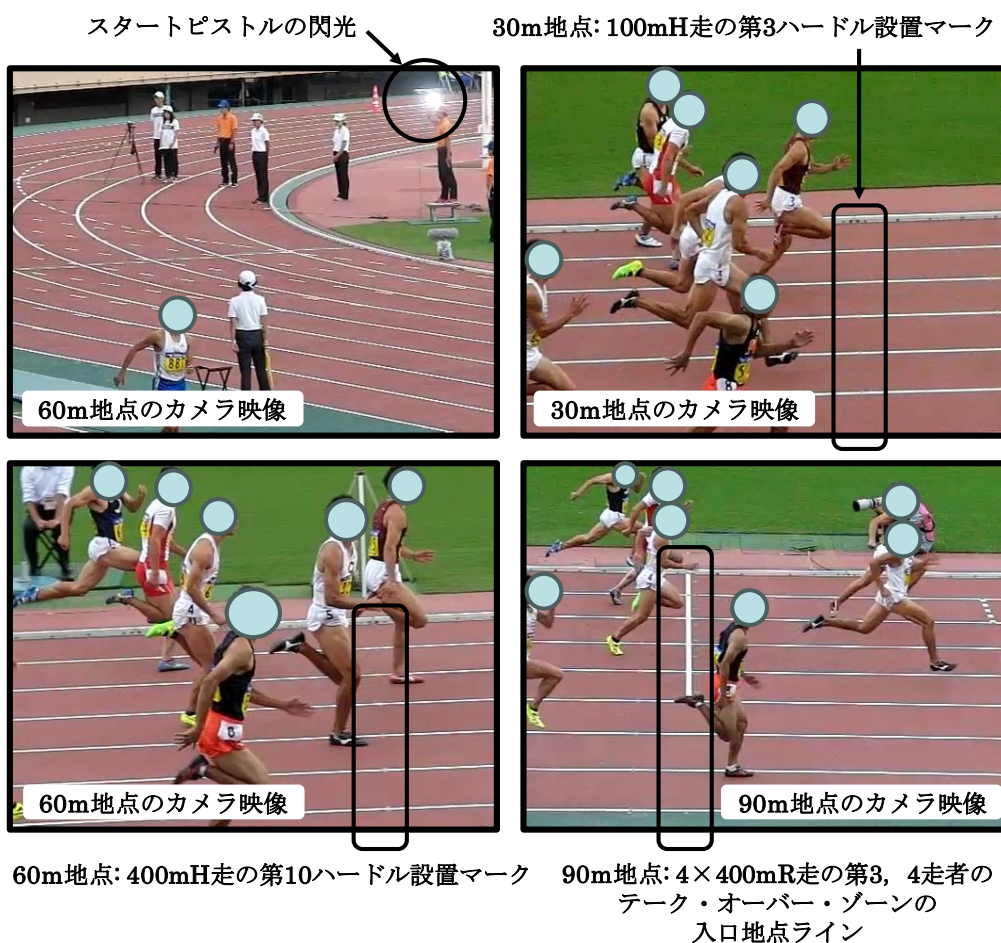


図 3.2 100m 走の撮影映像の一例

第3節 対象者の選定方法

100m 走を撮影した研究課題 1 および研究課題 2 では、宮代ほか (2013a) を参考に以下の (1) ~ (5) ようにして最大努力で走行したか否かを仮定・判断し、対象者を選定した。

- (1) 決勝レースの撮影対象者を、そのレースにおいて最大努力で走行したと仮定し、本研究の対象者とした。
- (2) 予選もしくは準決勝レースの撮影対象者のうち、次ラウンド（ここでは、他の研究との兼ね合いにより、撮影対象外となってしまった）への着順進出条件を、最も遅い着順で満たして進出した競技者（例：着順通過条件が 2 着までの場合、2 着の競技者のみを指し、1 着の者を指さない。着順通過条件が 3 着までの場合、3 着の競技者のみを指し、1 着および 2 着の者を指さない。）、プラス条件で進出した競技者、および落選した競技者を、そのレースにおいて最大努力で走行したと仮定し、本研究の対象者とした。
- (3) 上記 (1) および (2) 以外で次ラウンドへ進出した予選もしくは準決勝レースの撮影対象者のうち、次ラウンド（ここでは、他の研究との兼ね合いにより、撮影対象外となってしまった）における風速の影響を排除した 100m 走の記録（Linthorne, 1994a, 1994b の推定式により算出）と、撮影対象の予選もしくは準決勝における風速の影響を排除した 100m 走の記録との差（絶対値）が、0.1s（約 1%）未満である競技者は、撮影対象の予選もしくは準決勝レースにおいて最大努力で走行したと仮定し、本研究の対象者とした。
- (4) 予選もしくは準決勝レースの撮影対象者のうち、次ラウンド（ここでは、他の研究との兼ね合いにより、撮影対象外となってしまった）における風速の影響を排除した 100m 走の記録と、撮影対象の予選もしくは準決勝における風速の影響を排除した 100m 走の記録との差（絶対値）が、0.1s（約 1%）以上である競技者は、撮影対象の予選もしくは準決勝レースにおいて最大努力で走行しなかったと判断し、本研究の対象から除外した。
- (5) 撮影映像より明らかに最大努力で走行していない（例：レース途中で諦めて、減速した）と目視で確認された競技者は、撮影対象の予選もしくは準決勝レースにおいて最大努力で走行しなかったと判断し、本研究の対象から除外した。

以上のようにして対象者の厳しい選定を実施した本博士論文は、多くの競技者において最大努力による各種データを収集したと見なすことができ、信頼性が高いだけでなく、妥当性のある結果が出されたという点で価値のあるものであると考えられる。

第 4 章 統計解析手法

本章では、本研究で用いる代表的な統計解析方法である（重）回帰分析について、出村（2007）、出村ほか（2004）、内田（2013）を参考に概観する。

第1節 回帰分析

回帰分析とは、1つの従属変数 (y) を、1つまたは2つ以上の独立変数 (x) から予測または説明する分析手法の1つである。独立変数と従属変数は、ともに量的データであることが前提条件となる。独立変数が1つの時を単回帰分析といい、独立変数が2つ以上の時を重回帰分析という。回帰分析の目的は、おおむね以下の2つである。1つは、一方の変数 (x) から他方の変数 (y) を予測する時、どの程度の予測精度であるかを確認することである。もう1つは、独立変数 (x) の増分に対する従属変数 (y) の増分比がどの程度であるか（ただし、独立変数 (x) \Rightarrow 従属変数 (y) の因果関係が仮定できる場合のみ）を確認することである。本研究では、前者を目的として重回帰分析を行っている。

回帰式とその評価

回帰分析の数理モデルは以下の式で表す

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \cdots + \beta_i x_i$$

ここで、 y : 従属変数、 β_0 : 切片、 $\beta_1 \cdots \beta_i$: (偏) 回帰係数、 $x_1 \cdots x_i$: 独立変数、である。得られた回帰式の有意性検定は、分散分析を用いて回帰式には意味がないという帰無仮説を棄却する手続きをとる。回帰式の評価は、(偏) 回帰係数の有意性検定、推定値の標準誤差、決定係数などから行う。(偏) 回帰係数の有意性検定は、t 検定を用いて係数が0であるという帰無仮説を棄却する手続きをとる。推定値の標準誤差は (standard error of the estimate: SEE)、回帰式の精度を相対的に比較する際に用いる。推定値の標準誤差は、独立変数によって説明できない残差における標準偏差と考えられる。決定係数 (R^2) は、独立変数によって従属変数をどの程度説明できるかを示し、重相関係数 (R) の2乗で求められる。

本研究では、100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間、走時間・身長別の標準ステップ変数、および100m 走の記録（走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数を算出する重回帰式を作成するために、重回帰分析を用いている。すなわち、それぞれ100m 走の記録、身長、および風速を独立変数、レース途中の通過時間および区間時間を従属変数とする重回帰分析、100m 走の記録、通過時間、もしくは区間時間と身長を独立変数とし、各地点の通過ステップ数、区間ステップ数、通過平均支持時間、区間平

均支持時間，通過平均滞空時間，区間平均滞空時間，通過平均滞空比，および区間平均滞空比を従属変数とする重回帰分析，さらに最大走速度局面における走速度，下肢長，ステップ頻度，および回復比を独立変数とし，下肢のキネマティクス（走動作）変数を従属変数とする重回帰分析を行っている。

第2節 重回帰分析における独立変数の選択方法

重回帰分析では，推定精度が良い回帰式ほど良いとされ，同程度の精度を持つ回帰式であれば，独立変数の個数が少ないほど良い。重回帰式の推定精度指標の1つである重相関係数の値は，独立変数の個数が増加するにつれて増加するという性質を持つ。すなわち，従属変数とは本質的に無関係且つ不要な独立変数を含む場合でも，個数が多い場合には重相関係数が高くなる。しかし，不要な独立変数の個数を増やすと，実質的には推定精度が悪くなるとともに，回帰係数が不安定になる。重回帰分析では，独立変数の中から従属変数に対する貢献度が高い変数を選択し，より少ない個数の独立変数によって，より高い精度で従属変数を推定できることが望ましいが，そのためには，重回帰式に含める独立変数を客観的に選択する適切な基準が必要となる。重回帰分析における独立変数の客観的な選択方法として，総当たり法と逐次選択法がある。

1. 強制投入法

用意したすべての独立変数を一度に投入して従属変数を推定する方法。目的は，すべての独立変数によって従属変数をどの程度説明できるのかということや，各独立変数独自の従属変数の推定に対する寄与がどの程度であるのかということを知ることである。しかし，無関係の独立変数が分析に用いられると，決定係数が大きくなることにより重要な独立変数の過小評価が生じる。したがって，強制投入法における独立変数の決定は，理論や仮説に基づいて慎重にする必要がある。

2. 総当たり法

すべての独立変数の組み合わせについて回帰式を作成し，どの回帰式が良いかを検討する方法。独立変数の数を m とすると， $2^m - 1$ 通りの回帰式を算出して検討する。すなわち，独立変数の個数が多いほど計算量が増加し，検討する回帰式の数も多くなるので，実務的には独立変数の個数が4ないし5までが総当たり法の利用限度であるとされる。選択の基準として，自由度調整済み重相関係数，もしくは自由度再調整済み重相関係数が最大となる変数の組み合わせを採用する。

3. 逐次選択法

各偏回帰係数の有意性に基づいて、有効な変数と不要な変数とを振り分ける方法。この方法には、変数増加法、変数減少法、変数増減法、変数減増法との4つの方法がある。

(1) 変数増加法

独立変数を1つずつ重回帰式に加えていく方法。

(2) 変数減少法

変数増加法とは反対に、すべての独立変数を用いた分析から1つずつ変数を減らしていく方法。

変数増加法では、一度重回帰式の独立変数に選択した変数は、新たな変数の追加によって回帰への寄与がほとんど無くなっても除外されないという欠点を有する。変数減少法では、一度重回帰式の独立変数から除外した変数は、新たな変数の追加によって回帰への寄与が高くなっても再選択されないという欠点を有する。これらの欠点を修正したものが、変数増減法と変数減増法である。ともにステップワイズ法と呼ばれる。

(3) 変数増減法

最初に従属変数と最も関係の強い独立変数を1つ探し出して選択し、次にその変数と組み合わせた時に最も決定係数が大きくなる変数を選択する。これを順次繰り返す。この過程では、一度重回帰式の独立変数に選択した変数であっても、ある基準を満たさずに不要となった場合、その変数を除外する。

(4) 変数減増法

最初にすべての独立変数を用いた重回帰式を作成し、次に従属変数と最も関係の弱い独立変数を1つ除外する。これを順次繰り返す。この過程では、一度重回帰式の独立変数から除外した変数であっても、ある基準を満たして有効となった場合、その変数を再選択する。

第3節 ステップワイズ法における独立変数選択の基準

独立変数を選択もしくは除去する基準として、F 値を使う場合と F 値の確率 (p 値) を使う場合がある。F 値は、以下のように求められる。

$$F \text{ 値} = \{ (\text{偏回帰係数}) / (\text{偏回帰係数の標準誤差}) \}^2$$

F 値が自由度 (1, n-k-1) (n: 標本の大きさ, k: 独立変数の個数)

この F 値について有意性検定を行い、有意であれば有効、有意でなければ不要な変数と判定する。有意か否かの判定には、経験的な目安として通常 F 値が 2 以上であれば有効、2 未満であれば不要な変数として独立変数選択を行うことが多い。F 値の基準を下げると有効な変数を見落とし、不要な変数を選択する危険性が増す。有効な変数を見落とす危険性を小さくする場合には F 値の基準を 1 に、逆に不要な変数を選択する危険性を小さくする場合には F 値の基準を 3-5 にすると良い (内田, 2013)。有意か否かの判定に p 値 (F 値の確率) を使う場合、重要と思われる変数を可能な限り多く選択したい時には $p = 0.3$ あたりにし、確実に重要と思われる変数のみを選択したい時には $p = 0.05$ にするのが良いと考えられている (内田, 2013)。統計分析ソフト SPSS による重回帰分析の仕方を解説した著書 (出村, 2007) では、投入 (選択) 基準として $p = 0.05$ 、除去基準として $p = 0.10$ が設定されている。

第4節 重回帰式の推定精度

良い回帰式は、推定精度が高く、同程度の推定精度の場合には独立変数が少ないほど良い。推定精度の指標として、決定係数がある。しかし、決定係数は独立変数が多いほど高くなるという性質があり、推定の役に立たない独立変数を増やすと決定係数の値は大きくなる。しかし、推定精度は実質的には低くなる。したがって、推定精度の指標としては、自由度調整済み決定係数を用いると良い。自由度調整済み決定係数の値は、推定の役に立たない変数を独立変数として用いると、小さくなるという性質を持つ。Cohen (1988) は、重回帰分析における自由度調整済み決定係数の解釈について、0.13 未満を「小さい」、0.13 以上 0.26 未満を「中等度」、0.26 以上を「大きい」とした。

第5章 研究課題1

男子 100m 走における記録・身長・風速別の
標準通過時間および標準区間時間の推定

第1節 緒言

100m 走のトレーニングの現場では、各局面（第1加速局面，第2加速局面，速度維持局面，減速局面）に対応する区分地点の通過時間および区間時間を利用することにより，現状把握や目標設定などのトレーニングマネジメントが進められる（宮川，1992；清水，2006；土江，2011）．このことは，100m 走のより具体的な評価や目標設定を行うために，基準値としての通過時間および区間時間の明示が有効であることを示唆するものと考えられる．

100m 走の先行研究（阿江ほか，1994）では，記録を独立変数，レース途中地点（30m 地点，60m 地点など）の通過時間と区間時間をそれぞれ従属変数とする単回帰式が報告されている．これら単回帰式の推定値は，横断的データの統計分析により示されたものであるため，記録別の標準通過時間および標準区間時間と捉えられる．すなわち，これらの推定値は 100m 走における通過時間および区間時間の評価や目標設定を行うための階層的な基準値としての役割を担う．

一方，第2章の文献研究から記録だけでなく身長および風速によっても 100m 走の通過時間および区間時間は変化する可能性が高いといえる．このことから，多数の競技者から成る横断的データを用いて，記録とともに身長および風速と，通過時間および区間時間との関係を統計的に検証することにより，通過時間および区間時間の評価や目標設定を行うための階層的かつ類型的な基準値として，100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する推定式を新たに作成できると考えられる．これら推定式を作成することは，競技者の各局面に対応する通過時間および区間時間，並びにレース展開の現状把握（評価）および目標設定を階層的（100m 走の記録別）かつ類型的（身長別，風速別）に行うために，有益であると考えられる．しかし，これまでに記録，身長，および風速を同時に扱って，100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する推定式の作成を試みた研究は見当たらない．

本研究では，日本人男子競技者を対象に 100m 走の記録，身長，および風速と，通過時間および区間時間との相関関係を検証し，記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰推定式を作成することを目的とした．

第2節 方法

1. 対象者

対象者は，国内で開催された公認競技会（計 30）の 100m 走に出場した日本人男子競技者 112 名であった．表 5.1 に，対象者の年齢，身長，体重，分析した 100m 走の記録，風速，および測定項目（詳細は後述）の平均値 ± 標準偏差（範囲）を示した．対象者の選定については，第3章の第3節を参照されたい．

表 5.1 対象者の年齢, 身長, 体重, 分析した 100m 走の記録, 風速, および測定項目の平均値 \pm 標準偏差 [範囲]

n = 112		
変数 (単位)	平均値 \pm 標準偏差	[範 囲]
年齢 (歳)	22.2 \pm 2.6	[19 — 33]
身長 (m)	1.741 \pm 0.050	[1.64 — 1.88]
体重 (kg)	66.0 \pm 5.2	[57 — 82]
記録 (s)	10.592 \pm 0.216	[10.05 — 11.06]
風速 (m/s)	0.39 \pm 1.08	[-2.2 — 2.0]
T_{30} (s)	3.994 \pm 0.065	[3.85 — 4.16]
T_{60} (s)	6.788 \pm 0.119	[6.51 — 7.08]
T_{90} (s)	9.613 \pm 0.189	[9.15 — 10.04]
T_{30-60} (s)	2.794 \pm 0.062	[2.63 — 2.93]
T_{60-90} (s)	2.826 \pm 0.079	[2.64 — 3.00]
T_{90-100} (s)	0.979 \pm 0.031	[0.90 — 1.05]

† T_{30} , T_{60} , T_{90} : 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過時間

T_{30-60} , T_{60-90} , T_{90-100} : 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール (100m) 地点までの区間時間

2. 100m 走の撮影

第3章の第2節 100m 走の撮影方法に記した内容に基づいて、100m 走を撮影した。

3. 測定項目および算出方法

撮影によって保存された動画ファイルの形式は MOV であった。QuickTime Player (Apple 社製) を用いて動画のフレーム番号を表示し、以下の測定項目を算出した。算出する際に、3 台のカメラの動画における対象者の同一ステップの接地を同時点として、動画を同期した。

(1) 通過時間

30m 地点の通過時間 (以下、「 T_{30} 」と略す) は、対象者のトルソーが 30m 地点を通過する時点のフレームを目視で判定し、そのフレーム番号とスタート時点のフレーム番号との差を、フレームレートで除した値とした。同様に、60m 地点および 90m 地点の通過時間 (以下、「 T_{60} 」, 「 T_{90} 」と略す) を算出した。

(2) 区間時間

30m 地点から 60m 地点, 60m 地点から 90m 地点, 90m 地点からゴール (100m) 地点までの区間時間 (以下、「 T_{30-60} 」, 「 T_{60-90} 」, 「 T_{90-100} 」と略す) を、それぞれ T_{60} と T_{30} との差, T_{90} と T_{60} との差, 記録と T_{90} との差として算出した。

4. 統計処理

100m 走の記録と、 T_{30} , T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , および T_{90-100} との関係を検証するために、相関係数 (r) を算出し、有意性の検定を行った。

先行研究 (阿江ほか, 1994) では、100m 走の記録と通過時間および区間時間との間に非常に強い相関関係が認められており、本研究においても同様の結果が予測される。それゆえ、身長と T_{30} との関係および風速と T_{30} との関係をより正確に検証するためには、100m 走の記録による影響を取り除く必要がある。したがって本研究では、100m 走の記録を制御変数 (z) として、身長 (x) と T_{30} (y) との偏相関係数 ($r_{xy.z}$) および風速と T_{30} との偏相関係数を算出し、それぞれ有意性の検定を行った。 T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , および T_{90-100} についても、それぞれ身長あるいは風速との偏相関係数を算出し、有意性の検定を行った。

また、上記において有意な偏相関関係が認められることも予測されるため、さらに正確に身長と通過時間および区間時間との関係を検証するべく、100m 走の記録だけ

でなく風速も制御変数 (z) として、身長と各通過時間および各区間時間との偏相関係数を算出し、有意性の検定を行った。同じく風速と通過時間および区間時間との関係をさらに正確に検証するために、100m 走の記録だけでなく身長も制御変数 (z) として、風速と各通過時間および各区間時間との偏相関係数を算出し、有意性の検定を行った。記録についても、通過時間および区間時間との関係をより正確に検証するために、身長および風速を制御変数 (z) として、記録と各通過時間および各区間時間との偏相関係数を算出し、有意性の検定を行った。

100m 走の記録、身長、および風速の各 2 変数間の関係を検証するために、相関係数 (r) を算出し、有意性の検定を行った。

記録・身長・風速別の標準 T_{30} を算出するために、記録、身長、および風速を独立変数とし、 T_{30} を従属変数とするステップワイズ (変数増減) 法による重回帰分析を行った。Cohen (1988) に準拠し、重回帰分析における自由度調整済み決定係数の解釈について、0.13 未満を「小さい」、0.13 以上 0.26 未満を「中等度」、0.26 以上を「大きい」とした。ステップワイズ法における独立変数を選択する基準は F 値の確率とし、投入条件は、 $p = 0.05$ 、除外条件は、 $p = 0.10$ に設定した。同様に、 T_{60} 、 T_{90} 、 T_{30-60} 、 T_{60-90} 、および T_{90-100} を、それぞれ従属変数とするステップワイズ (変数増減) 法による重回帰分析を行った。

本研究の有意水準 (α) は 5% とした。統計分析にはアプリケーションソフトウェア IBM (R) SPSS (R) Statistics Version 21 for Windows を用いた。このソフトウェアでは、変数増減法のことをステップワイズ法としている。

第3節 結果

100m 走の記録と T_{30} 、 T_{60} 、 T_{90} 、 T_{30-60} 、 T_{60-90} 、および T_{90-100} との間には、有意な相関関係 ($r = 0.830, 0.956, 0.997, 0.972, 0.951, 0.877, p < 0.05$) が認められた。

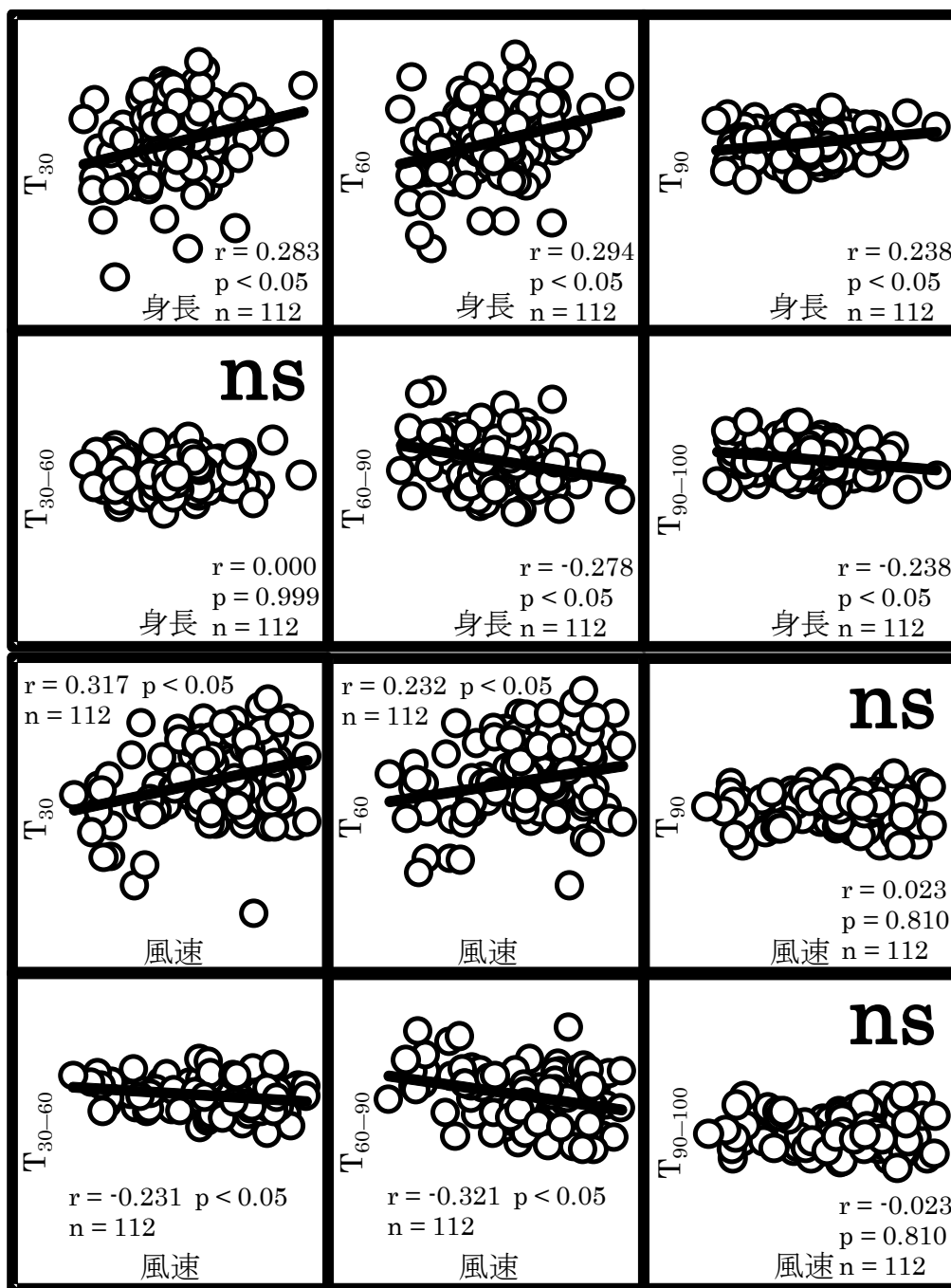
身長と T_{30} 、 T_{60} 、 T_{90} 、 T_{60-90} 、および T_{90-100} との間には、有意な偏相関関係 ($r_{xy.z} = 0.283, 0.294, 0.238, -0.278, -0.238, p < 0.05$ 。但し、制御変数 (z) は 100m 走の記録) が認められた (図 5.1 の上 2 行)。風速と T_{30} 、 T_{60} 、 T_{30-60} 、および T_{60-90} との間には、有意な偏相関関係 ($r_{xy.z} = 0.317, 0.232, -0.231, -0.321, p < 0.05$ 。但し、制御変数 (z) は 100m 走の記録) が認められた (図 5.1 の下 2 行)。図 5.1 の散布図行列を見ると、身長および風速のそれぞれと各通過時間および各区間時間との関係は、いずれも直線の偏相関関係であることが視認された。

記録と T_{30} 、 T_{60} 、 T_{90} 、 T_{30-60} 、 T_{60-90} 、および T_{90-100} との間には、有意な偏相関関係 ($r_{xy.z} = 0.862, 0.962, 0.997, 0.972, 0.956, 0.876, p < 0.05$ 。但し、制御変数 (z) は身長と風速) が認められた (図 5.2 の上 2 行)。すなわち身長と風速条件が同

じ場合に、記録が良いほど、 T_{30} 、 T_{60} 、 T_{90} 、 T_{30-60} 、 T_{60-90} 、および T_{90-100} が短い傾向のレース展開を示した。身長と T_{30} 、 T_{60} 、 T_{90} 、 T_{60-90} 、および T_{90-100} との間には、有意な偏相関関係 ($r_{xy \cdot z} = 0.296, 0.300, 0.238, -0.290, -0.238, p < 0.05$ 。但し、制御変数 (z) は 100m 走の記録と風速) が認められた (図 5.2 の中 2 行)。すなわち 100m 走の記録と風速条件が同じ場合には、身長が低いほど T_{30} 、 T_{60} 、および T_{90} が短く、身長が高いほど T_{60-90} および T_{90-100} が短い傾向のレース展開を示した。風速と T_{30} 、 T_{60} 、 T_{30-60} 、および T_{60-90} との間には、有意な偏相関関係 ($r_{xy \cdot z} = 0.328, 0.240, -0.231, -0.332, p < 0.05$ 。但し、制御変数 (z) は 100m 走の記録と身長) が認められた (図 5.2 の下 2 行)。すなわち 100m 走の記録と身長が同じ場合には、風速条件が良いほど T_{30} および T_{60} が長く、 T_{30-60} および T_{60-90} が短い傾向のレース展開を示した。図 5.2 の散布図行列を見ると、以上の記録、身長、および風速のそれぞれと各通過時間および各区分時間との関係は、いずれも直線の偏相関関係であることが視認された。

100m 走の記録、身長、および風速の各 2 変数間には、有意な相関関係は認められなかった ($r = -0.173-0.027, ns$)。

表 5.2 は、記録・身長・風速別の標準 T_{30} 、 T_{60} 、 T_{90} 、 T_{30-60} 、 T_{60-90} 、および T_{90-100} を算出する重回帰式、推定値の標準誤差、決定係数、および自由度調整済み決定係数を示している。まず、 T_{30} 、 T_{60} 、および T_{60-90} では、記録、身長、および風速の 3 変数を独立変数とする有意な重回帰式が得られた (表 5.2 (A), (B), (E) のステップ 3)。そのうち T_{30} および T_{60} では、記録、身長、および風速の値が小さいほど、重回帰式の推定値は小さかった。一方、 T_{60-90} では、記録の値が小さいほど、重回帰式の推定値は小さかったが、身長および風速の値が小さいほど、重回帰式の推定値は大きかった。記録、身長、および風速の 3 変数で、 T_{30} の 74.46 %、 T_{60} の 92.61 %、 T_{60-90} の 92.21 % を説明した。自由度調整済み決定係数は、 T_{30} で 0.7375、 T_{60} で 0.9240、 T_{60-90} で 0.9200 であった。次に、 T_{90} および T_{90-100} では、記録および身長の 2 変数を独立変数とする有意な重回帰式が得られた (表 5.2 (C), (F) のステップ 2)。そのうち T_{90} では、記録および身長の値が小さいほど、重回帰式の推定値は小さかった。一方、 T_{90-100} では、記録の値が小さいほど、重回帰式の推定値は小さかったが、身長の値が小さいほど、重回帰式の推定値は大きかった。記録および身長の 2 変数で、 T_{90} の 99.41 %、 T_{90-100} の 78.25 % を説明した。自由度調整済み決定係数は、 T_{90} で 0.9940、 T_{90-100} で 0.7785 であった。最後に、 T_{30-60} については、記録および風速の 2 変数を独立変数とする有意な重回帰式が得られた (表 5.2 (D) のステップ 2)。記録の値が小さいほど、重回帰式の推定値は小さかったが、風速の値が小さいほど、重回帰式の推定値は大きかった。記録および風速の 2 変数で T_{30-60} の 94.72 % を説明した。自由度調整済み決定係数は、 T_{30-60} で 0.9462 であった。

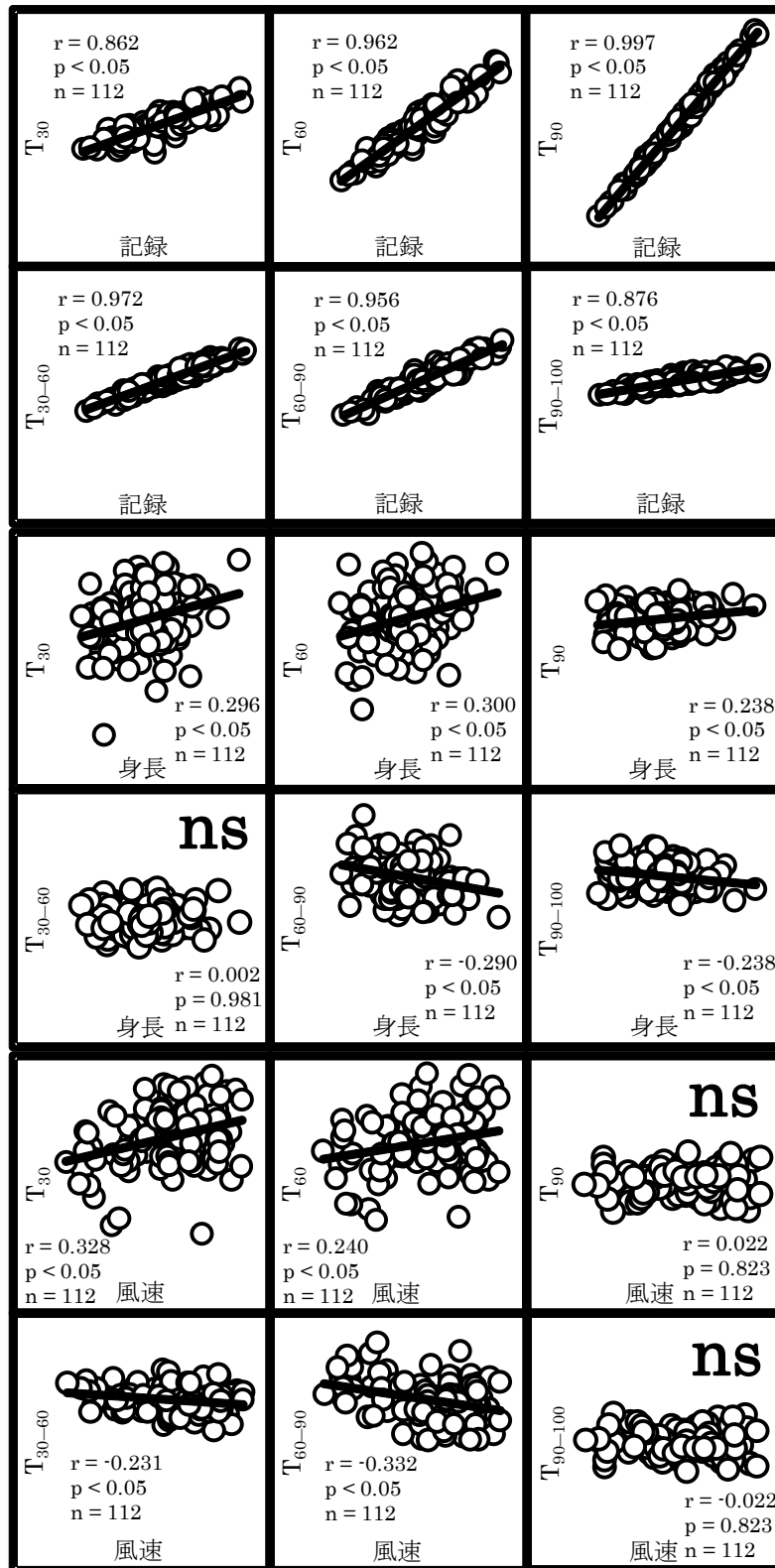


†各散布図は、100m走の記録を制御変数としている

†† T_{30} 、 T_{60} 、 T_{90} ：30m地点、60m地点、90m地点の通過時間

T_{30-60} 、 T_{60-90} 、 T_{90-100} ：30m地点から60m地点、60m地点から90m地点、90m地点からゴール（100m）地点までの区間時間

図 5.1 身長および風速のそれぞれと、各通過時間および各区間時間との偏相関関係の散布図行列



†各散布図のうち、上2行では身長および風速を、中2行では記録および風速を、下2行では記録および身長を制御変数としている

‡ T_{30} 、 T_{60} 、 T_{90} ：30m地点、60m地点、90m地点の通過時間

T_{30-60} 、 T_{60-90} 、 T_{90-100} ：30m地点から60m地点、60m地点から90m地点、90m地点からゴール（100m）地点までの区間時間

図 5.2 記録，身長，および風速のそれぞれと，各通過時間および各区間時間との偏相関関係の散布図行列

表 5.2 記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰式、推定値の標準誤差，決定係数，および自由度調整済み決定係数

従属変数 (単位)		回帰式	SEE	R ²	R ^{*2}
(A) T ₃₀ (s)	ステップ1	Y = 0.2495 X ₁ + 1.3510	0.0366	0.6888	0.6860
	ステップ2	Y = 0.2589 X ₁ + 0.0108 X ₃ + 1.2476	0.0348	0.7201	0.7150
	ステップ3	Y = 0.2637 X ₁ + 0.2052 X ₂ + 0.0107 X ₃ + 0.8390 *	0.0334	0.7446	0.7375
(B) T ₆₀ (s)	ステップ1	Y = 0.5280 X ₁ + 1.1954	0.0353	0.9141	0.9134
	ステップ2	Y = 0.5329 X ₁ + 0.2073 X ₂ + 0.7819	0.0339	0.9215	0.9201
	ステップ3	Y = 0.5394 X ₁ + 0.2058 X ₂ + 0.0075 X ₃ + 0.7125 *	0.0330	0.9261	0.9240
	ステップ外	Y = 0.5346 X ₁ + 0.0076 X ₃ + 1.1224	0.0345	0.9188	0.9173
(C) T ₉₀ (s)	ステップ1	Y = 0.8738 X ₁ + 0.3579	0.0151	0.9938	0.9937
	ステップ2	Y = 0.8755 X ₁ + 0.0717 X ₂ + 0.2149 *	0.0147	0.9941	0.9940
(D) T ₃₀₋₆₀ (s)	ステップ1	Y = 0.2785 X ₁ - 0.1555	0.0148	0.9442	0.9437
	ステップ2	Y = 0.2757 X ₁ - 0.0032 X ₃ - 0.1252 *	0.0144	0.9472	0.9462
(E) T ₆₀₋₉₀ (s)	ステップ1	Y = 0.3458 X ₁ - 0.8375	0.0244	0.9052	0.9043
	ステップ2	Y = 0.3395 X ₁ - 0.0073 X ₃ - 0.7676	0.0232	0.9150	0.9134
	ステップ3	Y = 0.3363 X ₁ - 0.1342 X ₂ - 0.0072 X ₃ - 0.5003 *	0.0223	0.9221	0.9200
(F) T ₉₀₋₁₀₀ (s)	ステップ1	Y = 0.1262 X ₁ - 0.3579	0.0151	0.7695	0.7674
	ステップ2	Y = 0.1245 X ₁ - 0.0717 X ₂ - 0.2149 *	0.0147	0.7825	0.7785

† T₃₀, T₆₀, T₉₀ : 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過時間T₃₀₋₆₀, T₆₀₋₉₀, T₉₀₋₁₀₀ : 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール (100m) 地点までの区間時間‡ X₁ : 記録 (s), X₂ : 身長 (m), X₃ : 風速 (m/s), * : p < 0.05 (n=112), SEE : 推定値の標準誤差, R² : 決定係数, R^{*2} : 自由度調整済み決定係数

††† 灰色の式が, 重回帰分析のステップワイズ (変数増減法) により得られた最終的な重回帰式である

第4節 考察

1. 記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰式と推定精度

本研究の目的は、日本人男子競技者を対象に 100m 走の記録、身長、および風速と、通過時間および区間時間との相関関係を検証し、記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰推定式を作成することであった。

100m 走の先行研究（阿江ほか，1994）では、記録とレース途中の通過時間および区間時間との間に強い相関関係が認められている。本研究においても、記録と各通過時間および各区間時間との間に強い相関関係が認められた（ $r = 0.830-0.997$ ， $p < 0.05$ ）。これらの結果は先行研究とおおよそ一致し、記録が良いほど通過時間および区間時間が短い傾向であった。また、記録、身長、および風速のそれぞれが、各通過時間および各区間時間との間に直線の偏相関関係を示したこと（図 5.1，図 5.2）や、記録、身長、および風速の各 2 変数間で有意な相関関係を示さなかったこと（ $r = -0.173-0.027$ ， ns ）は、100m 走の記録、身長、および風速を独立変数、各通過時間および各区間時間を従属変数とする重回帰分析によって、記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する推定式の作成が可能であることを示している。

ステップワイズ法による重回帰分析の結果得られた重回帰式における身長の回帰係数を見ると、 T_{30} 、 T_{60} 、および T_{90} では正の回帰係数であることから（表 5.2 (A)，(B) のステップ 3，(C) のステップ 2）、記録および風速が同じ場合、身長が低いほど標準 T_{30} 、標準 T_{60} 、および標準 T_{90} が短い関係である。 T_{60-90} および T_{90-100} では負の回帰係数であるので（表 5.2 (E) のステップ 3，(F) のステップ 2）、記録および風速が同じ場合、身長が高いほど標準 T_{60-90} および標準 T_{90-100} が短い関係である。実際に、重回帰式の推定値を算出すると、先行研究の単回帰式による推定値とは異なり、身長が高いほど標準 T_{30} 、標準 T_{60} 、および標準 T_{90} が長く、標準 T_{60-90} および標準 T_{90-100} が短い関係であることがわかる（表 5.3）。すなわち本研究結果は、100m 走の記録および風速が同じ場合、身長が低いほどスタート地点から 30m 地点までの平均走速度が高く、身長が高いほど 60m 地点からゴール（100m）地点までの平均走速度が高い傾向を示すものであり、身長が低いほど第 1 加速局面（スタート地点から 30m 地点まで）に優れ、身長が高いほど速度維持局面および減速局面（60m 地点からゴール地点まで）に優れることが考えられる。言い換えれば、100m 走の記録および風速が同じ場合には身長が低いほどいわゆる“前半型”のレース展開であり、逆に身長が高いほどいわゆる“後半型”のレース展開であるといえる。

表 5.3 先行研究と本研究の推定値（記録が 10.50s の場合）

記録 (s)	測定項目	阿江ほか (1994)	推 定 値 (s)				
			身長 (m)	本 研 究			
				-2.0	0.0	+2.0	
10.50	T ₃₀	3.976	身長 (m)	1.64	3.923	3.944	3.966
				1.76	3.948	3.969	3.990
				1.88	3.972	3.994	4.015
	T ₆₀	6.734		1.64	6.699	6.714	6.729
				1.76	6.724	6.739	6.754
				1.88	6.748	6.764	6.779
	T ₉₀	—		1.64	9.525	9.525	9.525
				1.76	9.534	9.534	9.534
				1.88	9.543	9.543	9.543
	T ₃₀₋₆₀	2.759		1.64	2.776	2.770	2.763
				1.76	2.776	2.770	2.763
				1.88	2.776	2.770	2.763
	T ₆₀₋₉₀	—		1.64	2.826	2.811	2.797
				1.76	2.809	2.795	2.781
				1.88	2.793	2.779	2.764
	T ₉₀₋₁₀₀	—		1.64	0.975	0.975	0.975
				1.76	0.966	0.966	0.966
				1.88	0.957	0.957	0.957

† T₃₀, T₆₀, T₉₀ : 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過時間

T₃₀₋₆₀, T₆₀₋₉₀, T₉₀₋₁₀₀ : 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール
(100m) 地点までの区間時間

†† 阿江ほか (1994) の推定値は, 記録を独立変数とする単回帰式により算出されたものである

††† 本研究の推定値は, 表 5.2の重回帰式により算出されたものである

これらの結果が生じた原因について、以下に考察を示す。加速局面では、ステップ頻度とステップ長の増加により走速度が増加し、走速度が高い（区間時間が短い）競技者ほどステップ頻度が高く、ステップ長が長い（金高ほか、2005）。また、全力疾走の初期加速局面（スタートから4ステップ目迄）では、ステップ頻度が急激に増加し、スタート後の3ステップにわたる加速の優劣はステップ頻度の増加に依存することが指摘されている（永原ほか、2013；Nagahara et al., 2014）。その一方、100m走ではレース全体だけでなく加速局面において、身長が低いほどステップ頻度が高く、ステップ長が短い（Paruzel-Dyja et al., 2006；宮代ほか、2013b）。また、永原・凶子（2014）は、身長や身長と比例関係にある下肢長、下腿長、および大腿長が、全力疾走の初期加速局面において、加速度との間に比較的高い負の相関係数を示すことを報告している。彼らは、脚長が長いことでステップ頻度の増加が困難であり、脚長はスタート直後の加速に対して負の作用を持つと考察している。したがって、本研究において記録および風速が同じ場合に、身長が低いほどスタートから30m地点までの平均走速度が高い傾向を示すのは、この区間において身長が低いほど急激なステップ頻度の増加と高いステップ頻度の発揮により、大きな加速を得ているためであると推察される。なお、本研究では身長が標準 T_{60} を算出する重回帰式の独立変数に選択されており、記録および風速が同じ場合、身長が低いほど加速局面全体に対応するスタート地点から60m地点までの平均走速度が高い傾向も示している。しかし、 T_{60} は T_{30} を含む時間であることや、標準 T_{30-60} を算出する重回帰式の独立変数に身長が選択されていないことから、身長が標準 T_{60} を算出する重回帰式の独立変数に選択されていることは、身長と T_{30} との関係による影響を受けるために生じていると考えられる。同じく標準 T_{90} についても、身長が標準 T_{90} を算出する重回帰式の独立変数に選択されていることは、身長と T_{30} との関係による影響を受けるために生じていると考えられる。一方、速度維持局面および減速局面では、ステップ頻度の低下によって走速度が低下する（遠藤ほか、2008）。また、宮代ほか（2013b）の結果によれば、100m走の記録が同じ場合には、身長が高いほどステップ頻度が低いものの、概ね速度維持局面および減速局面に対応する60m地点以降の区間では、身長が高いほどステップ頻度の低下量が小さい傾向である。それゆえ、本研究において記録および風速が同じ場合には、身長が高いほど60m地点からゴール（100m）地点までの平均走速度が高い傾向であると考えられる。

次に、風速の回帰係数を見ると、 T_{30} および T_{60} では正の回帰係数であることから（表 5.2 (A), (B) のステップ 3）、記録および身長が同じ場合には、風速条件が良いほど標準 T_{30} および標準 T_{60} が長い関係である。 T_{30-60} および T_{60-90} では負の回帰係数であるので（表 5.2 (D) のステップ 2, (E) のステップ 3）、記録および身長が同じ場合には、風速条件が良いほど標準 T_{30-60} および標準 T_{60-90} が短い関係である。実際

に、重回帰式の推定値を算出すると、先行研究の単回帰式による推定値とは異なり、風速条件が良いほど標準 T_{30} および標準 T_{60} が長く、標準 T_{30-60} および標準 T_{60-90} が短い関係であることがわかる (表 5.3)。すなわち本研究結果は、100m 走の記録および身長が同じ場合には、風速条件が良いほどスタート地点から 30m 地点までの平均走速度が低く (「記録が同じであること」に、再注意すること)、風速条件が良いほど 30m 地点から 90m 地点までの平均走速度が高い傾向を示すものであり、風速条件が良いほど第 1 加速局面に劣る代わりに速度維持局面に優れると考えられる。言い換えれば、100m 走の記録および身長が同じ場合には風速条件が良いほどいわゆる“後半型”のレース展開であるといえる。ところで、記録および身長が同じ場合に、風速条件が良いほど標準 T_{30} および標準 T_{60} が長い関係であることは、一般的に同一競技者において風速条件が良いほど走速度が高いことを考えると、誤りであるようにも思われる。しかし、この関係は縦断的データではなく横断的データによる検証結果であり、同記録で様々な風速条件が観測された横断的データの場合には、記録が同じだとしても風速条件が良いほど「風速の影響を排除した記録」が悪い傾向であること (Linthorne, 1994a, 1994b) から、この関係は適切であると考えられる。また、具体例と先行研究を用いて、この関係が適切であるという根拠を以下に考察する。表 5.4 の (A)–(C) に、任意に記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間の 3 事例を示した。

表 5.4 記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間の例

事例	設定した代入値			標準通過時間および標準区間時間					
	記録 (s)	身長 (m)	風速 (m/s)	T_{30} (s)	T_{60} (s)	T_{90} (s)	T_{30-60} (s)	T_{60-90} (s)	T_{90-100} (s)
(A)	10.50	1.76	-2.0	3.948	6.724	9.534	2.776	2.809	0.966
(B)	10.50	1.76	+2.0	3.990	6.754	9.534	2.763	2.781	0.966
(C)	10.28	1.76	+2.0	3.932	6.635	9.341	2.703	2.707	0.939

記録の差 (s)	標準通過時間および標準区間時間の差					
	T_{30} (s)	T_{60} (s)	T_{90} (s)	T_{30-60} (s)	T_{60-90} (s)	T_{90-100} (s)
(A) - (B)	0.00	-0.043	-0.030	0.000	0.013	0.029
(A) - (C)	0.22	0.015	0.089	0.193	0.073	0.103
(B) - (C)	0.22	0.058	0.119	0.193	0.061	0.074

† T_{30} , T_{60} , T_{90} : 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過時間

T_{30-60} , T_{60-90} , T_{90-100} : 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール(100m)地点までの区間時間

‡ 標準通過時間および標準区間時間は, 表5.2の重回帰式により算出されたものである

ここでは、その中で 100m 走の記録を 4 区間の時間に分割した T_{30} , T_{30-60} , T_{60-90} , および T_{90-100} の標準時間に着目する。まず、(B) と (C) を比較する。両者間では身長および風速が同じで記録のみが異なるので、(B) は (C) と比較して競技力が低い競技者のための標準時間を示しているといえる。(B) と (C) との時間差を算出すると、 T_{30} および T_{30-60} では、共に約 0.06s である。 T_{60-90} では約 0.07s, T_{90-100} では約 0.03s (区間距離が 30m であれば、約 0.08s に相当する) と、時間差がやや増加する。これは、100m 走の記録が良いほど最高走速度が高いたけでなくその到達距離が長い傾向になることで (天野, 2012), ゴールに近づくほど記録が良い競技者と記録が悪い競技者との走速度差が大きくなる傾向にあることが考えられ、そのことが反映されているために生じていると推察される。したがって、(B) と (C) との時間差は、記録の差を反映した結果として妥当なものであると考えられる。続いて、(A) と (C) を比較する。 -2.0m/s の風速条件で 10.50s をマークする競技者は、 $+2.0\text{m/s}$ の風速条件であれば理論的には 10.28s にまで記録を短縮する (Linthorne, 1994a, 1994b)。つまり、(A) と (C) との間で 100m 走の記録そのものは異なるものの、風速の影響を排除した 100m 走の記録 (Linthorne, 1994a, 1994b) が同じであるので、(A) と (C) は同じ競技力を有する競技者もしくは同一競技者のための記録・身長・風速別の標準時間を示しているといえる。(A) と (C) との時間差を算出すると、 T_{30} では約 0.02s, T_{30-60} では約 0.07s, T_{60-90} では約 0.10s, そして T_{90-100} では約 0.03s である。すなわち、区間距離が同じでも時間差が著しく異なる。区間距離および区間時間の長さを考慮すると、 T_{30} への風速差の影響が最も小さいといえる。この時、(A) および (C) の各区間における平均走速度を算出すると、両者の T_{30} における平均走速度(それぞれ、7.60m/s, 7.63m/s) は、他区間(それぞれ、10.35–10.81m/s, 10.65–11.10m/s) と比較して著しく低い。また、競技者に作用する空気抵抗は、走速度と風速との相対速度が大きいほど、大きい (Linthorne, 1994a, 1994b)。これらのことから、走速度が低い区間ほど風速差の影響が小さいといえ、平均走速度が最も低い T_{30} への風速差の影響が T_{30-60} , T_{60-90} , および T_{90-100} のものと比較して著しく小さいという結果は妥当なものであると考えられる。一方、 T_{60-90} においては、 T_{30-60} よりも平均走速度がやや低いにもかかわらず、より大きな (A) と (C) との時間差 (約 0.10s) を示している。これは、風速だけでなく、100m 走の記録が良い競技者と記録が悪い競技者の最高走速度の到達距離に差があること (天野, 2012) に起因して、ゴールに近づくほど記録が良い競技者と記録が悪い競技者の走速度の差が大きくなるという影響も受けているために生じていると推察される。したがって、(A) と (C) との時間差は、風速および記録の差を反映した結果として妥当なものであると考えられる。最後に、(A) と (B) を比較する。この両者間では記録および身長が同じものの、風速が異なる。同一競技者では風速条件が良いほど記録が良く、Linthorne (1994a, 1994b) の推定式によれば

風速の影響を排除した 100m 走の記録は、(A) で 10.38s, (B) で 10.60s である。したがって、記録が同じであっても(A) は、(B) と比較して高い競技力を有する競技者のための記録・身長・風速別の標準時間を示しているといえる。(B) と(C) との時間差および(A) と(C) との時間差の結果およびそれらの原因についての考察を考慮すると、(A) と (B) との時間差も結果的に適切であるといえる。すなわち(A) と(B) において、同記録および同身長であっても、風速条件が良い (B) において、より長い標準 T_{30} および標準 T_{60} を示すことも結果的に適切であるといえる。そして、その背景にある主要な根拠は、風速の影響を排除した 100m 走の記録において (A) が(B) よりも良く (それぞれ, 10.38s, 10.60s), (A)が (B)と比較して競技力が高いことにあると推測される。以上より、本研究結果の記録および身長が同じ場合に、風速条件が良いほど標準 T_{30} および標準 T_{60} が長い関係であること (表 5.2) は、概念的にも適切なものであると考えられる。なお、 T_{90} および T_{90-100} については、風速が重回帰式の独立変数として選択されなかった (表 5.2 (C) のステップ 2, (F) のステップ 2)。これは、競技者のゴール付近のフィニッシュ姿勢などの技術的要因による時間変動や、100m 走における記録の測定単位 ($1/100s$) が各通過時間および各区間時間の測定精度 ($1/299.7s$) よりも大きいことによる影響を受けたために生じたと推察される。

最後に、各重回帰式の推定精度指標を評価した。まず推定値の標準誤差を見ると、その範囲は 0.0144–0.0334s であった (表 5.2)。これらの値は、先行研究 (阿江ほか, 1994) のように記録のみを独立変数とした単回帰式の推定値の標準誤差より小さい。また、別の推定精度指標である決定係数の範囲は 0.7446–0.9941, 自由度調整済み決定係数の範囲は 0.7375–0.9940 であった (表 5.2)。ステップワイズ法により得られた重回帰式の決定係数および自由度調整済み決定係数であるため、同じくこれらの値は、記録のみを独立変数とした単回帰式の決定係数 (表 5.2) よりも高い。また、自由度調整済み決定係数ではすべての通過時間および区間時間で 0.26 を大きく上回り、「大きい」と評価される効果量であった。加えて、本研究では 112 名の競技者を対象としている。

以上より、本研究の各重回帰式は、記録に加え、身長および風速あるいはどちらか一方に対応して高い精度の推定値を算出するものであるといえ、信頼性の高い記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰式が新たに作成されたものと考えられる。

2. 重回帰式の適用範囲

本研究の重回帰式は、100m 走の記録範囲が 10.05–11.06s, 身長範囲が 1.64–1.88m, 風速範囲が -2.2 – $+2.0$ m/s の日本人男子競技者 112 名を対象にして作成されたもの

であることから、各範囲内における記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間の精度は保証されていると考えられる。しかし、範囲外で算出すると誤差が大きくなる可能性がある。

一方、文献(陸上競技社・講談社, 1996, 2008)では、朝原選手(自己記録: 10.02s)と塚原選手(自己記録: 10.09s)が、身長において外国人競技者 293 名(記録: 9.58–10.12s)の平均身長(1.796m, 標準偏差は ± 0.061 m, 表 2.6)に近い値(それぞれ, 1.79m, 1.80m, 野口・千田, 2013)でありながら、オリンピック競技大会の100m 走において外国人競技者と比較してレースの序盤で善戦するものの中盤以降に弱いレース展開であったことが述べられている。また、朝原選手は、自身のレース経験から外国人競技者がレース中盤で強いことを述べている(朝原, 2008)。なお、日本人競技者 217 名(記録: 10.00–10.50s)の平均身長は 1.735m(標準偏差は 0.048m, 表 2.6)であるので、朝原選手と塚原選手の身長は日本人競技者の中でも高い方であるといえる。その他に、身長が 1.65–1.76m の日本人競技者ではあるものの、彼らが外国人競技者と比較して 100m 走の序盤で強いことや中盤以降に弱いことが、文献(織田, 1976, 陸上競技社・講談社, 1993, 2012; 吉岡, 1976)には述べられている。これまでに、日本人競技者と外国人競技者のレース展開を比較した研究は見当たらないものの、上記の事例を考慮すると、日本人競技者と外国人競技者のレース展開が異なる可能性や、本研究の対象者属性(記録, 身長, 風速)の範囲内であったとしても本研究で作成された重回帰式が外国人競技者に対して適合しない可能性があると考えられる。近年の文献には、外国人競技者の T_{30} , T_{60} , T_{30-60} のデータが数多く報告されている(Ae et al., 1992; 阿江ほか, 1994; ベースボール・マガジン社, 1993; Bosse et al., online; Federle et al., online; Ferro et al., 2001; Graubner et al., 2007a, 2007b, 2009a, 2009b, 2009c; Graubner and Klockmann, 2009; Graubner and Nixdorf, 2011; Graubner and Ringel, 2009; Graubner and Starke, 2009; Hommel et al., online; 小林, 1990; Krzysztow and Mero, 2013; 松尾, 1994; 松尾ほか, 2007, 2008a, 2008b, 2009, 2010a, 2010c, 2011, 2015; Mirzoev and Vlasov, 2015; Moravec et al., 1988; Muller and Hommel, 1997; 野口, 1997, 2008)。また、野口・千田(2013)などの著書や, *Atletica Leggera* (online), *European Athletics* (online), *Fédération Française d'Athlétisme* (online), *Olympics at Sports-Reference.com* (online), *TEAM GB* (online), *Tilastopaja Oy Track and field statistics* (online), *USA Track & Field* (online) などの WEB サイトには、これら外国人競技者の身長が公表されている。そこで、日本人競技者と外国人競技者のレース展開が異なるか否かと、本研究で作成された重回帰式が外国人競技者に対して適合するか否かの検証を試みた。そのために、本研究対象者(日本人競技者)における T_{30} , T_{60} , および T_{30-60} の残差(以下、それぞれ「 ReT_{30} 」, 「 ReT_{60} 」, および「 ReT_{30-60} 」

と略す)の各平均値と、上記の文献やWEBサイトで記録、身長、風速、 T_{30} 、 T_{60} 、および T_{30-60} が報告されている外国人競技者78名における ReT_{30} 、 ReT_{60} 、および ReT_{30-60} (それぞれ、表5.2(A)、(B)のステップ3と(D)のステップ2の重回帰式を用いて算出)の各平均値を比較した。その結果、 ReT_{30} および ReT_{60} において本研究対象者が有意に低い値であり、差の効果量(Cohen's d)は、それぞれ0.97、0.86であった(表5.5)。各効果量は、両群の差の程度が慣習的には「大きい」と解釈される。これらの結果から、記録、身長、および風速の影響を除去しても日本人競技者は外国人競技者と比較して、スタートから30m地点まで強く、60m地点からゴール地点まで弱い傾向のレース展開であることや、本研究で作成された重回帰式が、本対象者属性(記録、身長、風速)の範囲内であったとしても、外国人競技者に対して適合しないことが考えられる。したがって、本研究の重回帰式による推定値は、日本人競技者のための標準通過時間および標準区間時間と捉えられる。また、外国人競技者のための標準 T_{30-60} は、本研究の重回帰式による推定値と考えて良いといえるが、彼らの標準 T_{30} および標準 T_{60} については、それぞれ本研究の各重回帰式(表5.2(A)、(B)のステップ3)の推定値に0.033s、0.030sを加算した値であると考えられる。さらに、これら結果の背景にある根拠は、日本人陸上競技者が外国人陸上競技者と比較して、身長に対する下肢長の割合が低いこと(日本体育協会, 1965)や、身長と比例関係にある下肢長が短いほど、全力疾走の初期加速局面における加速度が大きい傾向であること(永原・図子, 2014)にあると推察される。その他に、トレーニング方法の地域差にもあると推測される。

表 5.5 日本人競技者と外国人競技者との間の ReT_{30} , ReT_{60} , および ReT_{30-60} の比較

項目	日本人 (n = 112)	外国人 (n = 78)	t (188)	効果量
	平均値 ± 標準偏差	平均値 ± 標準偏差		
ReT_{30} (s)	0.000 ± 0.033	0.033 ± 0.036	-6.57 *	0.97
ReT_{60} (s)	0.000 ± 0.033	0.030 ± 0.038	-5.81 *	0.86
ReT_{30-60} (s)	0.000 ± 0.014	-0.003 ± 0.017	1.40	0.21

† T_{30} , T_{60} : 30m地点, 60m地点の通過時間

†† T_{30-60} : 30m地点から60m地点までの区間時間

††† ReT_{30} , ReT_{60} , ReT_{30-60} : 表5.2 (A), (B) のステップ3, (D) のステップ2の各重回帰式により算出された残差

†††† *: $p < 0.05$, 効果量: Cohen's d

文献（阿江ほか，1994；Graubner and Nixdorf，2011；野口，2008；谷川・内藤，2015）には，現世界記録保持者の BOLT 選手，現アメリカ記録保持者の GAY 選手，前世界記録保持者の POWELL 選手，前々世界記録保持者の GREENE 選手，元世界記録保持者の LEWIS 選手，日本歴代 2 位記録保持者の 桐生選手（彼らの身長はそれぞれ，1.96m，1.80m，1.90m，1.75m，1.88m，1.75m）の記録（風速条件）がそれぞれ 9.58s (+0.9m/s)，9.71s (+0.9m/s)，9.77s (+1.6m/s)，9.79 (+0.1m/s)，9.86s (+1.2m/s)，10.01s (+0.9m/s) であった時に，彼らの T_{60} がそれぞれ 6.31s，6.36s，6.39s，6.40s，6.46s，6.45s であったことが報告されている．この時，表 5.5 の結果を考慮すると 6 名の記録・身長・風速別の標準 T_{60} （外国人競技者の場合には本研究の重回帰式による推定値に，0.03s を加算した値とする）は，それぞれ 6.32s，6.36s，6.42s，6.38s，6.46s，6.48s となる．その一方，阿江ほか（1994）による記録別の標準 T_{60} を算出する単回帰式に，これら 6 名の記録をそれぞれ代入すると，推定値は 6.27s，6.33s，6.36s，6.37，6.41s，6.49s となるので，本研究における（外国人競技者の場合には表 5.5 の結果を考慮した）記録・身長・風速別の標準 T_{60} の方が，6 名の T_{60} に近い．これら事例の結果は，本研究で明らかにされた 100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰式が，本研究対象者の記録範囲および身長範囲を超えても適用できる可能性があることを示唆している．

第5節 結論

本研究の目的は，日本人男子競技者を対象に 100m 走の記録，身長，および風速と，通過時間および区間時間との相関関係を検証し，記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰推定式を作成することであった．その結果，以下の結論が得られた．

- 1： 100m 走の記録，身長，および風速は，それぞれ通過時間および区間時間との間に，相関関係がある．
- 2： 100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する推定式は，重回帰式である．

以上のように，研究課題 1 では身長と通過時間および区間時間との関係について検証した．次章の研究課題 2 では，通過時間および区間時間（＝走速度）の下位要因であるステップ変数を扱い，同じく身長との関係について検証する．

第6章 研究課題2

男子 100m 走における
走時間・身長別の標準ステップ変数の推定

第1節 緒言

100m走のトレーニング現場では、走速度を構成する各ステップ変数(ステップ数, ステップ頻度, ステップ長, 支持時間, 滞空時間, 滞空比)を利用することによって, 現状把握や目標設定などのトレーニングマネジメントが進められる(宮丸凱・宮丸郁, 1976; 土江, 2011). 杉田(2003a, 2003b)は, ステップ変数のデータが, トレーニングへの応用性が高いことや, レースの組み立てを考える根幹をなす戦略的情報として, 有用であると述べている. このことは, より具体的な評価や目標設定を行うために, 基準値としての各ステップ変数の提示が有効であることを示唆するものと考えられる.

100m走の先行研究では, 記録レベル別に3つのステップ変数(総ステップ数, 平均ステップ頻度, 平均ステップ長)の平均値(岡野ほか, 1988; 有川, 1991; 阿江ほか, 1994)が提示されている. これらは, それぞれ記録レベル別の標準ステップ変数といえ, ステップ変数の評価や目標設定のための階層的な基準値としての役割を担う. また, 区間毎に身長から標準ステップ長を算出する単回帰式も作成されている(阿江ほか, 1994). 各単回帰式の推定値は身長別の標準ステップ長といえ, ステップ長の類型的な基準値としての役割を担う. しかし, 前者は身長の影響を多く含み, 後者は走時間(100m走の記録, 通過時間, および区間時間)の影響を多く含むと推測され, どちらもコーチや競技者がステップ変数の基準値として利用するには, 不十分であると考えられる. その他のステップ変数として支持時間, 滞空時間, 滞空比(滞空時間/支持時間)を扱う先行研究についても, 記録との関係(宮代, 2012; 杉田, 2003b)だけでなく, 身長との関係(谷川・内藤, 2015)を検証してはいるものの, 評価や目標設定のための基準値を示すまでには至っていない.

このように, ステップ変数については, これまでに走時間(100m走の記録)や身長のそれぞれとの関係を検証した研究はあるものの, その階層的かつ類型的な基準値を明らかにするために, 多数の競技者を対象として走時間および身長との関係を同時に検証し, 走時間・身長別の標準ステップ変数(ステップ数, ステップ頻度, ステップ長, 支持時間, 滞空時間, および滞空比)を算出する推定式の作成を試みた研究は見当たらない. 上記に述べたように, ステップ変数は走時間だけでなく身長との相関関係があると推測されることから, 多数の競技者から成る横断的データを用いて, レース全体および各区間において走時間(100m走の記録, 通過時間, および区間時間)と身長を同時に扱い, 各ステップ変数との関係を統計的に検証することにより, 各ステップ変数の評価や目標設定を行うための階層的かつ類型的な基準値として100m走の走時間・身長別の標準ステップ数, 標準ステップ頻度, 標準ステップ長, 標準支持時間, 標準滞空時間, および標準滞空比を算出する推定式を新たに作成できると考

えられる。ここで、走速度の構成要因であるステップ頻度とステップ長は、それぞれステップ数を走時間で除した値、走距離をステップ数で除した値である。それゆえ、走時間・身長別の標準ステップ頻度および標準ステップ長を算出するには、走時間・身長別の標準ステップ数を算出する推定式を作成するだけで、十分である。このように100m走のレース全体および各区間において、走時間・身長別の標準ステップ変数を算出する推定式を明らかにすることにより、競技者における各ステップ変数の現状把握（相対評価）や目標設定を、階層的（走時間別）かつ類型的（身長別）に行えるようになると考えられる。また、支持時間や滞空時間のコントロールによって、ステップ頻度およびステップ長を変化させるためのトレーニング手段（マーク走やスティック走など、大村，2015；土江，2009a，2011；安井，2015）におけるステップ長の設定基準値として、走時間・身長別の標準ステップ長を利用できると考えられる。

本研究では、日本人男子競技者を対象に100m走のレース全体および各区間において、走時間（100m走の記録，通過時間，区間時間）および身長と、ステップ変数（ステップ数，支持時間，滞空時間，滞空比）との相関関係を検証し、走時間・身長別の標準ステップ変数を算出する重回帰推定式を作成することを目的とした。

第2節 方法

1. 対象者

(1) 標準ステップ数の推定式を作成するための対象者

対象者は、国内で開催された公認競技会（計46）の100m走に出場した日本人男子競技者145名であった。このうち、100名は研究課題1の対象者でもあった。表6.1の左側に、対象者の年齢，身長，体重，分析した100m走の記録，その時の風速，および研究課題2の測定項目（後述）の平均値 ± 標準偏差（範囲）を示した。

(2) 標準支持時間，標準滞空時間，および標準滞空比の推定式を作成するための対象者

対象者は、国内で開催された公認競技会（計35）の100m走に出場した日本人男子競技者100名であった。このうち、37名は研究課題1の対象者でもあった。また、45名は(1)標準ステップ数の推定式を作成するための対象者でもあった。表6.1の右側に、対象者の年齢，身長，体重，分析した100m走の記録，その時の風速，および研究課題2の測定項目（後述）の平均値 ± 標準偏差（範囲）を示した。

このように、標準ステップ数の対象者と、標準支持時間，標準滞空時間，および標準滞空比の対象者が異なるのは、標準ステップ数の対象者における100m走の撮影の

際に、対象者のスタート地点からゴール地点までの全ての接地と離地が撮影できない場合があったためである（ただし、対象者を見失わないように上半身といった身体の一部はスタート地点からゴール地点まで終始撮影された）。

対象者の選定については、研究課題1と同じように行った。すなわち、第3章の第3節に記載した基準に基づいて、対象者が最大努力で走行したか否かを仮定・判断することにより、対象者を選定した。

表 6.1 対象者の年齢, 身長, 体重, 分析した 100m 走の記録, その時の風速, および測定項目 (後述) の平均値±標準偏差 [範囲]

変数 (単位)	n = 145		n = 100	
	平均値 ± 標準偏差	[範囲]	平均値 ± 標準偏差	[範囲]
年齢 (歳)	22.0 ± 2.5	[19 - 33]	21.4 ± 2.6	[19 - 33]
身長 (m)	1.739 ± 0.050	[1.62 - 1.88]	1.745 ± 0.047	[1.65 - 1.85]
体重 (kg)	66.0 ± 5.4	[48 - 82]	66.2 ± 5.1 (n = 93)	[57 - 78]
記録 (s)	10.678 ± 0.226	[10.28 - 11.11]	10.727 ± 0.274	[10.30 - 11.28]
風速 (m/s)	0.22 ± 1.15	[-2.2 - 2.0]	0.43 ± 1.03	[-1.9 - 2.0]
S ₁₀₀ (steps)	49.29 ± 2.01	[44.2 - 53.7]	49.22 ± 2.08	[44.2 - 54.5]
ST ₁₀₀ (s)			0.106 ± 0.006	[0.090 - 0.119]
FT ₁₀₀ (s)			0.106 ± 0.007	[0.089 - 0.122]
FSR ₁₀₀			1.01 ± 0.09	[0.83 - 1.22]
T ₃₀ (s)	4.016 ± 0.069	[3.85 - 4.16]	4.036 ± 0.085	[3.85 - 4.24]
T ₆₀ (s)	6.834 ± 0.126	[6.58 - 7.07]	6.867 ± 0.156	[6.60 - 7.21]
T ₉₀ (s)	9.690 ± 0.198	[9.34 - 10.06]	9.735 ± 0.242	[9.36 - 10.22]
T ₃₀₋₆₀ (s)	2.818 ± 0.065	[2.68 - 2.94]	2.831 ± 0.076	[2.68 - 3.00]
T ₆₀₋₉₀ (s)	2.856 ± 0.081	[2.71 - 3.05]	2.868 ± 0.091	[2.74 - 3.08]
T ₉₀₋₁₀₀ (s)	0.988 ± 0.032	[0.93 - 1.07]	0.993 ± 0.037	[0.93 - 1.07]
S ₃₀ (steps)	17.75 ± 0.73	[15.8 - 19.3]	17.70 ± 0.76	[15.8 - 19.7]
S ₆₀ (steps)	31.48 ± 1.27	[28.3 - 34.2]	31.40 ± 1.33	[28.3 - 34.8]
S ₉₀ (steps)	44.93 ± 1.84	[40.4 - 48.9]	44.86 ± 1.91	[40.4 - 49.7]
S ₃₀₋₆₀ (steps)	13.73 ± 0.59	[12.3 - 15.0]	13.70 ± 0.59	[12.4 - 15.2]
S ₆₀₋₉₀ (steps)	13.45 ± 0.61	[12.0 - 14.8]	13.46 ± 0.61	[12.0 - 14.9]
S ₉₀₋₁₀₀ (steps)	4.36 ± 0.21	[3.8 - 4.8]	4.36 ± 0.21	[3.8 - 4.9]
ST ₃₀ (s)			0.121 ± 0.007	[0.103 - 0.138]
ST ₆₀ (s)			0.110 ± 0.006	[0.093 - 0.123]
ST ₉₀ (s)			0.106 ± 0.006	[0.090 - 0.119]
ST ₃₀₋₆₀ (s)			0.096 ± 0.006	[0.080 - 0.109]
ST ₆₀₋₉₀ (s)			0.098 ± 0.006	[0.081 - 0.112]
ST ₉₀₋₁₀₀ (s)			0.104 ± 0.006	[0.090 - 0.123]
FT ₃₀ (s)			0.090 ± 0.007	[0.072 - 0.108]
FT ₆₀ (s)			0.099 ± 0.007	[0.083 - 0.116]
FT ₉₀ (s)			0.104 ± 0.007	[0.088 - 0.121]
FT ₃₀₋₆₀ (s)			0.111 ± 0.007	[0.094 - 0.129]
FT ₆₀₋₉₀ (s)			0.116 ± 0.007	[0.097 - 0.133]
FT ₉₀₋₁₀₀ (s)			0.122 ± 0.010	[0.103 - 0.151]
FSR ₃₀			0.74 ± 0.08	[0.57 - 0.92]
FSR ₆₀			0.91 ± 0.08	[0.73 - 1.12]
FSR ₉₀			0.99 ± 0.09	[0.81 - 1.21]
FSR ₃₀₋₆₀			1.16 ± 0.11	[0.94 - 1.44]
FSR ₆₀₋₉₀			1.19 ± 0.11	[0.96 - 1.50]
FSR ₉₀₋₁₀₀			1.18 ± 0.12	[0.92 - 1.55]

* 表の左側は標準ステップ数の推定式を作成するための対象者のデータ。右側は標準支持時間, 標準滞空時間, 標準滞空比の推定式を作成するための対象者のデータ

** T₃₀, T₆₀, T₉₀: 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過時間

T₃₀₋₆₀, T₆₀₋₉₀, T₉₀₋₁₀₀: 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール (100m) 地点までの区間時間

*** S₁₀₀, S₃₀, S₆₀, S₉₀: 総ステップ数, 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過ステップ数

S₃₀₋₆₀, S₆₀₋₉₀, S₉₀₋₁₀₀: 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール (100m) 地点までの区間ステップ数

**** ST₁₀₀, ST₃₀, ST₆₀, ST₉₀: スタート直後のステップ接地からゴール (100m) 地点, 30m地点, 60m地点, および90m地点通過直前のステップ接地までの平均支持時間

ST₃₀₋₆₀, ST₆₀₋₉₀, ST₉₀₋₁₀₀: 30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地まで, 60m地点通過直後のステップ接地から90m地点通過直前の

ステップ接地まで, および90m地点通過直後のステップ接地からゴール (100m) 地点通過直前のステップ接地までの平均支持時間

***** FT₁₀₀, FT₃₀, FT₆₀, FT₉₀: スタート直後のステップ接地からゴール (100m) 地点, 30m地点, 60m地点, および90m地点通過直前のステップ接地までの平均滞空時間

FT₃₀₋₆₀, FT₆₀₋₉₀, FT₉₀₋₁₀₀: 30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地まで, 60m地点通過直後のステップ接地から90m地点通過直前の

ステップ接地まで, および90m地点通過直後のステップ接地からゴール (100m) 地点通過直前のステップ接地までの平均滞空時間

***** FSR₁₀₀, FSR₃₀, FSR₆₀, FSR₉₀: スタート直後のステップ接地からゴール (100m) 地点, 30m地点, 60m地点, および90m地点通過直前のステップ接地までの平均滞空比

FSR₃₀₋₆₀, FSR₆₀₋₉₀, FSR₉₀₋₁₀₀: 30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地まで, 60m地点通過直後のステップ接地から90m地点通過直前の

ステップ接地まで, および90m地点通過直後のステップ接地からゴール (100m) 地点通過直前のステップ接地までの平均滞空比

2. 100m 走の撮影

研究課題1と同様に、100m 走を撮影した。撮影方法の詳細は、第3章 第2節を参照されたい。

3. 測定項目および算出方法

研究課題1と同様に QuickTime Player (Apple 社製) を用いて動画のフレーム番号を表示し、以下の測定項目を算出した。算出する際に、3台のカメラの動画における対象者の同一ステップの接地を同時点として、動画を同期した。

(1) 通過時間

走時間として、研究課題1と同様の方法を用いて T_{30} , T_{60} , T_{90} を算出した。なお、本研究では100m 走の記録も、走時間とした。

(2) 区間時間

同じく走時間として、研究課題1と同様の方法を用いて T_{30-60} , T_{60-90} , T_{90-100} を算出した。

(3) 総ステップ数, 通過ステップ数

スタート地点からゴール(100m) 地点までに要したステップ数(総ステップ数。以下、「 S_{100} 」と略す)を、以下のように算出した。対象者のゴール直前において、一方の足が接地する時点のフレーム番号(「 F_{100-} 」とする)、ゴール時点(公認記録に相当する時点)のフレーム番号(「 F_{100} 」とする)、さらにゴール直後に他方の足が接地する時点のフレーム番号(「 F_{100+} 」とする)を読み取った。ゴール直前に一方の足が接地する時点までのステップ数に、 $(F_{100} - F_{100-})$ を $(F_{100+} - F_{100-})$ で除した値を足し、その値を S_{100} とした。同様に、スタート地点から30m 地点, 60m 地点, および90m 地点までに要したステップ数(以下, それぞれ「 S_{30} 」, 「 S_{60} 」, 「 S_{90} 」と略す)を算出した。

(4) 区間ステップ数

30m 地点から60m 地点, 60m 地点から90m 地点, 90m 地点からゴール(100m) 地点までに要したステップ数(以下, 「 S_{30-60} 」, 「 S_{60-90} 」, 「 S_{90-100} 」と略す)を、それぞれ S_{60} と S_{30} との差, S_{90} と S_{60} との差, S_{100} と S_{90} との差として算出した。

対象者におけるレース中の各ステップにおいて接地した時点のフレーム番号と離

地した時点のフレーム番号を目視で判定し、離地した時点のフレーム番号と接地した時点のフレーム番号との差をフレームレートで除した値を、そのステップにおける支持時間とした。また、そのステップにおける滞空時間は、次ステップにおいて接地した時点のフレーム番号とその直前の離地した時点のフレーム番号との差をフレームレートで除した値とした。滞空比は、滞空時間を支持時間で除した値とした。支持時間および滞空時間は、足がスタートブロックを離れた後に、足が最初に走路に接地した時点からゴール（100m）地点通過直前に足が接地した時点までを、分析範囲として算出した。

(5) 各地点通過までの平均支持時間、滞空時間、滞空比

スタート地点からゴール（100m）地点の通過までの平均支持時間（Support Time₁₀₀。以下、「ST₁₀₀」と略す）および滞空時間（Flight Time₁₀₀。以下、「FT₁₀₀」と略す）は、スタート（地点通過）直後のステップ接地からゴール（100m）地点通過直前のステップ接地までの全ステップの支持時間および滞空時間の平均値とした。同様に、スタート地点から30m地点、60m地点、および90m地点の通過までの平均支持時間（以下、「ST₃₀」、「ST₆₀」、「ST₉₀」と略す）および平均滞空時間（以下、「FT₃₀」、「FT₆₀」、「FT₉₀」と略す）を算出した。スタート地点からゴール（100m）地点の通過までの平均滞空比（Flight/Support Ratio₁₀₀。以下、「FSR₁₀₀」と略す）は、FT₁₀₀をST₁₀₀で除した値とした。同様に、スタート地点から30m地点、60m地点、および90m地点の通過までの平均滞空比（以下、「FSR₃₀」、「FSR₆₀」、「FSR₉₀」と略す）を算出した。

(6) 各区間の平均支持時間、平均滞空時間、平均滞空比

30m地点の通過から60m地点の通過までの平均支持時間（以下、「ST₃₀₋₆₀」と略す）および平均滞空時間（以下、「FT₃₀₋₆₀」と略す）は、30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地までの全ステップの支持時間および滞空時間の平均値とした。同様に、60m地点の通過から90m地点の通過まで、および90m地点の通過からゴール（100m）地点の通過までの平均支持時間（以下、「ST₆₀₋₉₀」、「ST₉₀₋₁₀₀」と略す）および平均滞空時間（以下、「FT₆₀₋₉₀」、「FT₉₀₋₁₀₀」と略す）を算出した。30m地点の通過から60m地点の通過までの平均滞空比（以下、「FSR₃₀₋₆₀」と略す）は、FT₃₀₋₆₀をST₃₀₋₆₀で除した値とした。同様に、60m地点の通過から90m地点の通過まで、および90m地点の通過からゴール（100m）地点の通過までの平均滞空比（以下、「FSR₆₀₋₉₀」、「FSR₉₀₋₁₀₀」と略す）を算出した。

4. 統計処理

走時間とステップ数との関係を検証するために、100m 走の記録を独立変数、 S_{100} を従属変数とする単回帰分析を行った。 T_{30} と S_{30} 、 T_{60} と S_{60} 、 T_{90} と S_{90} 、 T_{30-60} と S_{30-60} 、 T_{60-90} と S_{60-90} 、および T_{90-100} と S_{90-100} についても、それぞれ同様に走時間を独立変数、ステップ数を従属変数とする単回帰分析を行った。

身長とステップ数との関係を検証するために、身長と S_{100} との相関係数を算出し、有意性の検定を行った。 S_{30} 、 S_{60} 、 S_{90} 、 S_{30-60} 、 S_{60-90} 、および S_{90-100} についても、それぞれ身長との相関係数を算出し、有意性の検定を行った。

走時間と支持時間、滞空時間、もしくは滞空比との関係を検証するために、100m 走の記録と ST_{100} 、 FT_{100} 、もしくは FSR_{100} をとの相関係数を算出し、有意性の検定を行った。① T_{30} と ST_{30} 、 FT_{30} 、もしくは FSR_{30} ② T_{60} と ST_{60} 、 FT_{60} 、もしくは FSR_{60} ③ T_{90} と ST_{90} 、 FT_{90} 、もしくは FSR_{90} ④ T_{30-60} と ST_{30-60} 、 FT_{30-60} 、もしくは FSR_{30-60} ⑤ T_{60-90} と ST_{60-90} 、 FT_{60-90} 、もしくは FSR_{60-90} ⑥ T_{90-100} と ST_{90-100} 、 FT_{90-100} 、もしくは FSR_{90-100} についても、それぞれ同様に走時間と支持時間、滞空時間、もしくは滞空比との相関係数を算出し、有意性の検定を行った。

身長と支持時間、滞空時間、もしくは滞空比との関係を検証するために、身長と ST_{100} 、 FT_{100} 、もしくは FSR_{100} との相関係数を算出し、有意性の検定を行った。① ST_{30} 、 FT_{30} 、もしくは FSR_{30} ② ST_{60} 、 FT_{60} 、もしくは FSR_{60} ③ ST_{90} 、 FT_{90} 、もしくは FSR_{90} ④ ST_{30-60} 、 FT_{30-60} 、もしくは FSR_{30-60} ⑤ ST_{60-90} 、 FT_{60-90} 、もしくは FSR_{60-90} ⑥ ST_{90-100} 、 FT_{90-100} 、もしくは FSR_{90-100} についても、それぞれ身長との相関係数を算出し、有意性の検定を行った。

身長と、走時間の影響を除去したステップ数との関係を検証するために、身長を独立変数、記録と S_{100} 、 T_{30} と S_{30} 、 T_{60} と S_{60} 、 T_{90} と S_{90} 、 T_{30-60} と S_{30-60} 、 T_{60-90} と S_{60-90} 、および T_{90-100} と S_{90-100} との単回帰分析によって算出された残差（以下、それぞれ「 ReS_{100} 記録」, 「 ReS_{30T30} 」, 「 ReS_{60T60} 」, 「 ReS_{90T90} 」, 「 $ReS_{30-60T30-60}$ 」, 「 $ReS_{60-90T60-90}$ 」, 「 $ReS_{90-100T90-100}$ 」と略す）を、それぞれ従属変数とする単回帰分析を行った。

走時間と身長との関係を検証するために、走時間と身長との相関係数を算出し、有意性の検定を行った。

先行研究（阿江ほか, 1994 ; 有川, 1991 ; 岡野ほか, 1988 ; Paruzel-Dyja et al., 2006）では、100m 走の記録レベルが高いほど総ステップ数が少ないことや、身長が高いほどステップ頻度が低く、ステップ長が長いこと（総ステップ数が少ないこと）が認められており、本研究においても同様の結果が予測される。それゆえ、走時間とステップ数との関係をより正確に検証する際には、身長による影響を取り除く必要が

あり、身長とステップ数との関係をより正確に検証する際には、走時間による影響を取り除く必要がある。したがって本研究では、身長を制御変数 (z) として、記録 (x) と S_{100} (y) との偏相関係数 ($r_{xy \cdot z}$) を算出し、有意性の検定を行った。 S_{30} , S_{60} , S_{90} , S_{30-60} , S_{60-90} , および S_{90-100} についても、それぞれ身長を制御変数 (z) として、それぞれ対応する走時間 (T_{30} , T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , もしくは T_{90-100}) との偏相関係数を算出し、有意性の検定を行った。また、100m 走の記録を制御変数 (z) として、身長 (x) と S_{100} (y) との偏相関係数 ($r_{xy \cdot z}$) を算出し、有意性の検定を行った。 S_{30} , S_{60} , S_{90} , S_{30-60} , S_{60-90} , および S_{90-100} についても、それぞれ対応する走時間 (T_{30} , T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , もしくは T_{90-100}) を制御変数 (z) として、それぞれ身長との偏相関係数を算出し、有意性の検定を行った。

同様に、支持時間、滞空時間、もしくは滞空比についても、走時間との関係をより正確に検証するためには身長による影響を取り除く必要があり、身長との関係をより正確に検証するためには走時間による影響を取り除く必要がある。したがって本研究では、身長を制御変数 (z) として、記録 (x) と ST_{100} (y), FT_{100} (y), もしくは FSR_{100} (y) との偏相関係数 ($r_{xy \cdot z}$) を算出し、有意性の検定を行った。 ST_{30} , ST_{60} , ST_{90} , ST_{30-60} , ST_{60-90} , ST_{90-100} , FT_{30} , FT_{60} , FT_{90} , FT_{30-60} , FT_{60-90} , FT_{90-100} , FSR_{30} , FSR_{60} , FSR_{90} , FSR_{30-60} , FSR_{60-90} , および FSR_{90-100} についても、それぞれ身長を制御変数 (z) として、それぞれ対応する走時間 (T_{30} , T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , もしくは T_{90-100}) との偏相関係数を算出し、有意性の検定を行った。また、100m 走の記録を制御変数 (z) として、身長 (x) と ST_{100} (y), FT_{100} (y), もしくは FSR_{100} (y) との偏相関係数 ($r_{xy \cdot z}$) を算出し、有意性の検定を行った。 ST_{30} , ST_{60} , ST_{90} , ST_{30-60} , ST_{60-90} , ST_{90-100} , FT_{30} , FT_{60} , FT_{90} , FT_{30-60} , FT_{60-90} , FT_{90-100} , FSR_{30} , FSR_{60} , FSR_{90} , FSR_{30-60} , FSR_{60-90} , および FSR_{90-100} についても、それぞれ対応する走時間 (T_{30} , T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , もしくは T_{90-100}) を制御変数 (z) として、それぞれ身長との偏相関係数を算出し、有意性の検定を行った。

走時間・身長別の標準 S_{100} , 標準 ST_{100} , 標準 FT_{100} , および標準 FSR_{100} を算出するために、記録および身長を独立変数とし、 S_{100} , ST_{100} , FT_{100} , および FSR_{100} のそれぞれを従属変数とするステップワイズ (変数増減) 法による重回帰分析を行った。同様に、 T_{30} , T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , および T_{90-100} のそれぞれと身長を独立変数、 S_{30} , S_{60} , S_{90} , S_{30-60} , S_{60-90} , S_{90-100} , ST_{30} , ST_{60} , ST_{90} , ST_{30-60} , ST_{60-90} , ST_{90-100} , FT_{30} , FT_{60} , FT_{90} , FT_{30-60} , FT_{60-90} , FT_{90-100} , FSR_{30} , FSR_{60} , FSR_{90} , FSR_{30-60} , FSR_{60-90} , および FSR_{90-100} のそれぞれを従属変数とするステップワイズ (変数増減) 法による重回帰分析を行った。Cohen (1988) に準拠し、重回帰分析における自由度調整済み決定係数の解釈について、0.13 未満を「小さい」、0.13 以上 0.26 未満を「中

等度」, 0.26 以上を「大きい」とした. ステップワイズ法における独立変数を選択する基準は F 値の確率とし, 投入条件は $p=0.05$, 除外条件は $p=0.10$ に設定した. 本研究の有意水準 α は 5 % とした. 統計分析にはアプリケーションソフトウェア IBM (R) SPSS (R) Statistics Version 21 for Windows を用いた.

第3節 結果

100m 走の記録と S_{100} , T_{30} と S_{30} , T_{60} と S_{60} , T_{90} と S_{90} , T_{30-60} と S_{30-60} , T_{60-90} と S_{60-90} , および T_{90-100} と S_{90-100} との間には, それぞれ有意な正の相関関係が認められ, 有意な単回帰式が得られた (図 6.1).

身長と S_{100} , S_{30} , S_{60} , S_{90} , S_{30-60} , S_{60-90} , および S_{90-100} との間には, 有意な負の相関関係が認められた (図 6.2).

100m 走の記録と ST_{100} , T_{60} と ST_{60} , T_{90} と ST_{90} , T_{30-60} と ST_{30-60} , T_{60-90} と ST_{60-90} , および T_{90-100} と ST_{90-100} との間には, それぞれ有意な正の相関関係が認められ, 有意な単回帰式が得られた (図 6.3) しかし, T_{30} と ST_{30} との間には, 有意な相関関係が認められなかった.

身長と ST_{100} , ST_{30} , ST_{60} , ST_{90} , ST_{30-60} , ST_{60-90} , および ST_{90-100} との間には, 有意な正の相関関係が認められた (図 6.4).

100m 走の記録と FT_{100} , T_{30} と FT_{30} , T_{60} と FT_{60} , T_{90} と FT_{90} , T_{30-60} と FT_{30-60} , T_{60-90} と FT_{60-90} , および T_{90-100} と FT_{90-100} との間には, それぞれ有意な相関関係が認められなかった.

身長と FT_{100} , FT_{30} , FT_{60} , FT_{90} , FT_{30-60} , FT_{60-90} , および FT_{90-100} との間には, 有意な正の相関関係が認められた (図 6.5).

T_{30-60} と FSR_{30-60} および T_{60-90} と FSR_{60-90} との間には, それぞれ有意な負の相関関係が認められた (図 6.6). しかし, 100m 走の記録と FSR_{100} , T_{30} と FSR_{30} , T_{60} と FSR_{60} , T_{90} と FSR_{90} , および T_{90-100} と FSR_{90-100} との間には, それぞれ有意な相関関係が認められなかった.

身長と FSR_{100} , FSR_{30} , FSR_{60} , FSR_{90} , FSR_{30-60} , FSR_{60-90} , および FSR_{90-100} との間には, 有意な相関関係が認められなかった.

身長と, ReS_{100} 記録, ReS_{30T30} , ReS_{60T60} , ReS_{90T90} , $ReS_{30-60T30-60}$, $ReS_{60-90T60-90}$, および $ReS_{90-100T90-100}$ との間には, 有意な負の相関関係が認められ, それぞれ有意な単回帰式が得られた (図 6.7).

身長と 100m 走の記録, T_{30} , T_{60} , T_{90} , および T_{30-60} との間には有意な相関関係が認められなかったものの, T_{60-90} および T_{90-100} との間には有意な負の相関関係が認められた (図 6.8)

走時間と各ステップ数との間には有意な正の偏相関関係が認められた (図 6.9 の上 2 行). また, 身長と各ステップ数との間には有意な負の偏相関関係が認められた (図 6.9 の下 2 行). 散布図行列を見ると, いずれの関係においても直線関係が視認された (図 6.9).

T_{30} と ST_{30} との間を除いて, 走時間と各支持時間との間には有意な正の偏相関関係が認められた (図 6.10 の上 2 行). また, 身長と各支持時間との間には有意な正の偏相関関係が認められた (図 6.10 の下 2 行). 散布図行列を見ると, 偏相関関係が認められたいずれの関係においても, 直線関係が視認された (図 6.10).

各滞空時間については, 身長との間に正の偏相関関係を示したものの (図 6.11 の下 2 行), 走時間との間には有意な偏相関関係を示さなかった (図 6.11 の上 2 行). 散布図行列を見ると, 偏相関関係が認められたいずれの関係においても, 直線関係が視認された (図 6.11 の下 2 行).

T_{30-60} と FSR_{30-60} との間および T_{60-90} と FSR_{60-90} との間では, 有意な負の偏相関関係が認められたものの, その他の走時間および身長のそれぞれと各滞空比との間には, 偏相関関係が認められなかった (図 6.12). 散布図行列を見ると, 偏相関関係が認められたいずれの関係において, 直線関係が視認された (図 6.12 の上から 2 行目中央 2 つの散布図).

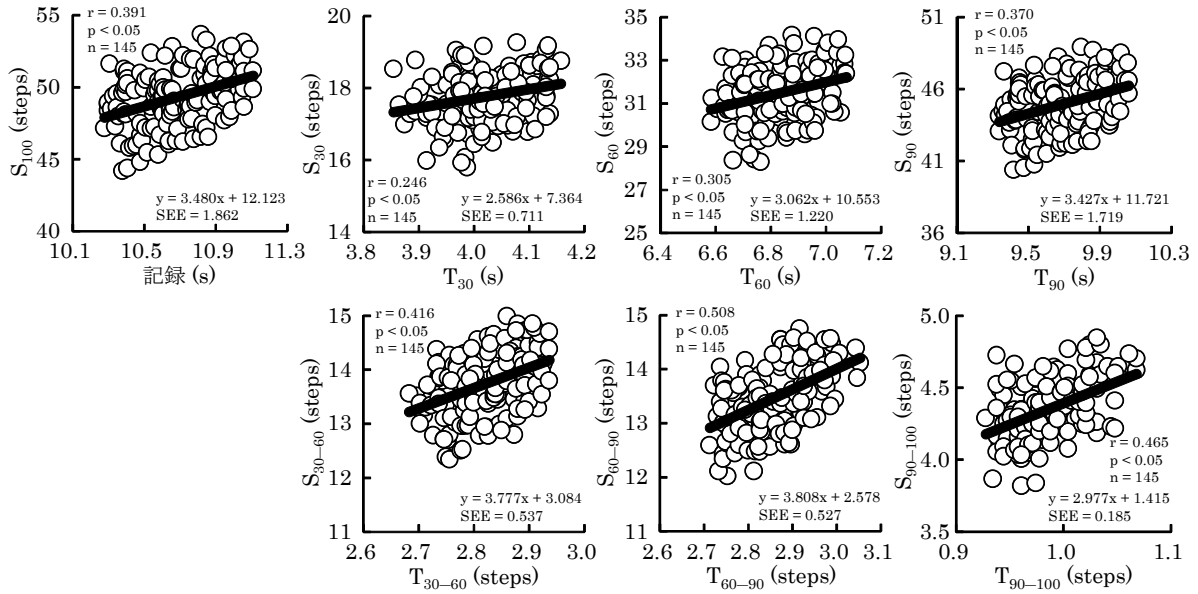
表 6.2 は, 走時間・身長別の標準 S_{100} , S_{30} , S_{60} , S_{90} , S_{30-60} , S_{60-90} , および S_{90-100} を算出する重回帰式, 推定値の標準誤差, 決定係数, および自由度調整済み決定係数を示している. すべてのステップ数で, 走時間 (記録, T_{30} , T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , および T_{90-100}) および身長の 2 変数を独立変数とする有意な重回帰式が得られた. 各重回帰式において走時間 (記録, T_{30} , T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , および T_{90-100}) が短いほど, および身長が高いほど, 重回帰式の推定値は小さかった. 走時間および身長の 2 変数で, S_{100} の 50.5 %, S_{30} の 37.1 %, S_{60} の 44.9 %, S_{90} の 49.3 %, S_{30-60} の 52.6 %, S_{60-90} の 56.0 %, S_{90-100} の 44.6 % を説明した. 自由度調整済み決定係数は, S_{100} で 0.498, S_{30} で 0.362, S_{60} で 0.441, S_{90} で 0.485, S_{30-60} で 0.519, S_{60-90} で 0.554, S_{90-100} で 0.438 であった.

表 6.3 は, 走時間・身長別の標準 ST_{100} , ST_{30} , ST_{60} , ST_{90} , ST_{30-60} , ST_{60-90} , および ST_{90-100} を算出する重回帰式, 推定値の標準誤差, 決定係数, および自由度調整済み決定係数を示している. ST_{30} を除くすべての支持時間で, 走時間 (記録, T_{30} , T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , および T_{90-100}) および身長の 2 変数を独立変数とする有意な重回帰式が得られた. 各重回帰式において走時間 (記録, T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , および T_{90-100}) が短いほど, および身長が低いほど, 重回帰式の推定値は小さかった. 走時間および身長の 2 変数で, ST_{100} の 40.9 %, ST_{60} の 34.4 %, ST_{90} の 39.4 %,

ST_{30-60} の 44.3 % , ST_{60-90} の 46.9 % , ST_{90-100} の 49.2 % を説明した. ST_{30} では身長のみを独立変数とする有意な単回帰式が得られた, 身長で ST_{30} の 24.5 % を説明した. 自由度調整済み決定係数は, ST_{100} で 0.397, ST_{30} で 0.237, ST_{60} で 0.330, ST_{90} で 0.382, ST_{30-60} で 0.431, ST_{60-90} で 0.458, ST_{90-100} で 0.482 であった.

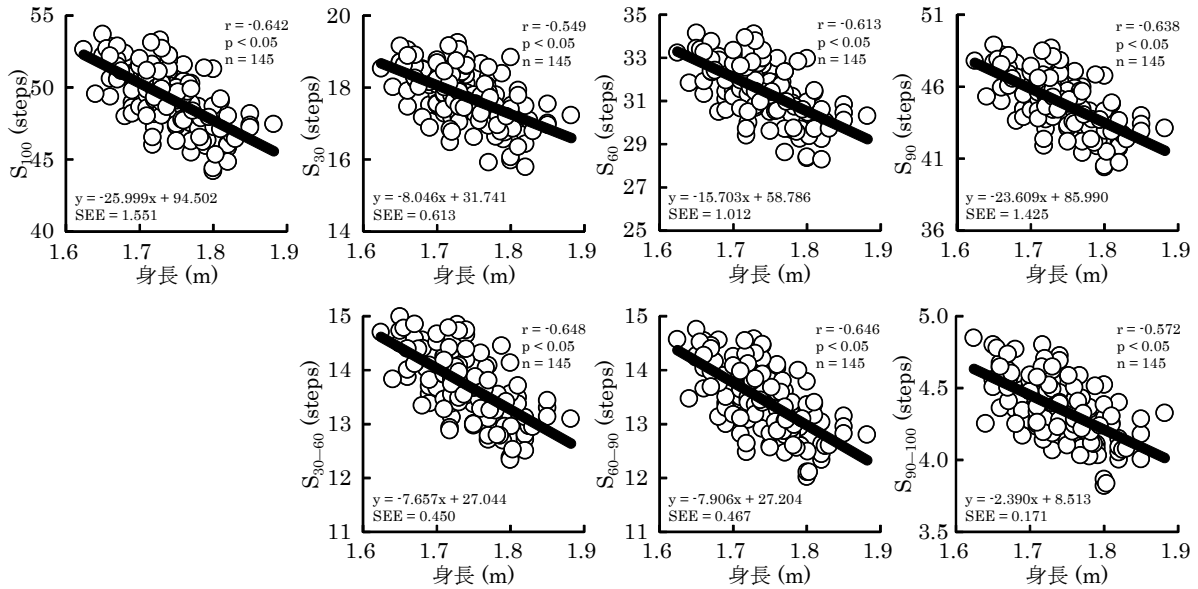
表 6.4 は, 身長別の標準 FT_{100} , FT_{30} , FT_{60} , FT_{90} , FT_{30-60} , FT_{60-90} , および FT_{90-100} を算出する単回帰式, 推定値の標準誤差, 決定係数, および自由度調整済み決定係数を示している. このように, ステップワイズ (変数増減) 法による重回帰分析の結果, 走時間は独立変数として選択されず, 身長のみを独立変数とする有意な単回帰式が得られた. 各単回帰式において, 身長が低いほど単回帰式の推定値は小さかった. 身長のみの変数で, FT_{100} の 12.8 % , FT_{30} の 7.8 % , FT_{60} の 11.4 % , FT_{90} の 12.3 % , FT_{30-60} の 13.3 % , FT_{60-90} の 12.8 % , FT_{90-100} の 7.7 % を説明した. 自由度調整済み決定係数は, FT_{100} で 0.119, FT_{30} で 0.069, FT_{60} で 0.105, FT_{90} で 0.114, FT_{30-60} で 0.124, FT_{60-90} で 0.119, FT_{90-100} で 0.068 であった.

表 6.5 は, 走時間別の標準 FSR_{30-60} および FSR_{60-90} を算出する単回帰式, 推定値の標準誤差, 決定係数, および自由度調整済み決定係数を示している. このように, ステップワイズ (変数増減) 法による重回帰分析の結果, FSR_{100} , FSR_{30} , FSR_{60} , FSR_{90} , および FSR_{90-100} においては有意な回帰式は得られなかった. FSR_{30-60} および FSR_{60-90} においても, 身長は独立変数として選択されず, 走時間 (T_{30-60} もしくは T_{60-90}) のみを独立変数とする有意な単回帰式が得られた. 2つの単回帰式において, 走時間が良い (値が小さい) ほど単回帰式の推定値は大きかった. 走時間のみの変数で, FSR_{30-60} の 7.7 % , FSR_{60-90} の 8.6 % を説明した. 自由度調整済み決定係数は, FSR_{30-60} で 0.068, FSR_{60-90} で 0.076 であった.



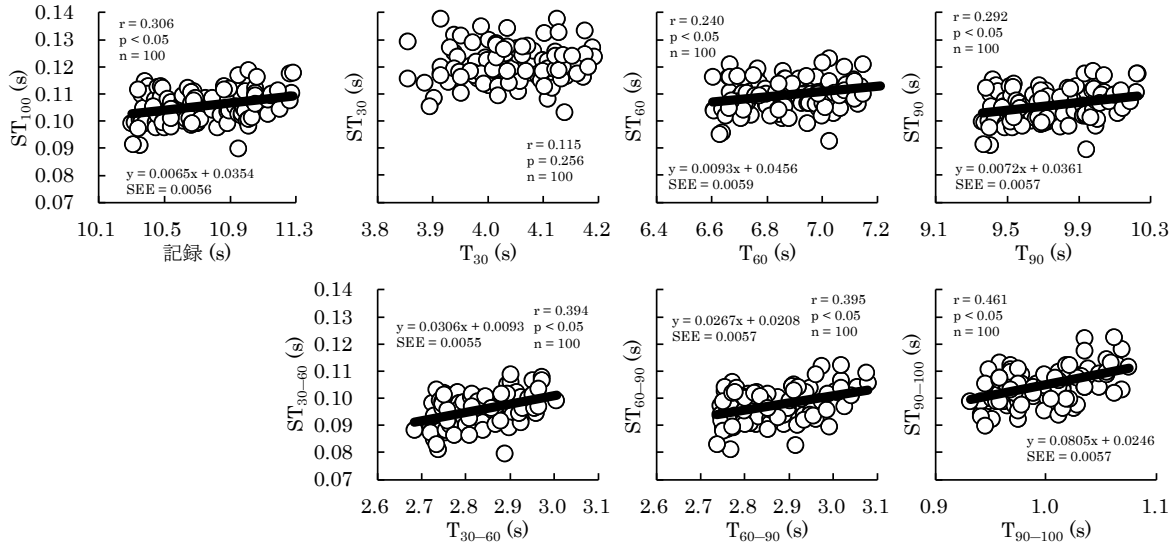
† T_{30} , T_{60} , T_{90} : 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過時間
 T_{30-60} , T_{60-90} , T_{90-100} : 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール (100m) 地点までの区間時間
 †† S_{100} , S_{30} , S_{60} , S_{90} : 総ステップ数, 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過ステップ数
 S_{30-60} , S_{60-90} , S_{90-100} : 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール (100m) 地点までの区間ステップ数

図 6.1 走時間とステップ数との関係



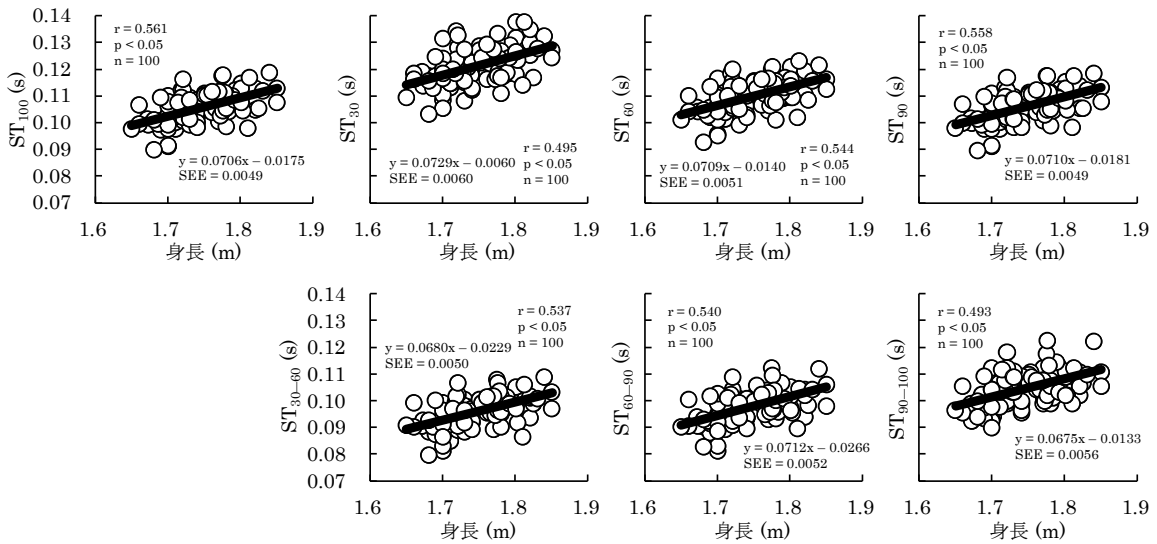
† S_{100} , S_{30} , S_{60} , S_{90} : 総ステップ数, 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過ステップ数
 S_{30-60} , S_{60-90} , S_{90-100} : 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール (100m) 地点までの区間ステップ数

図 6.2 身長とステップ数との関係



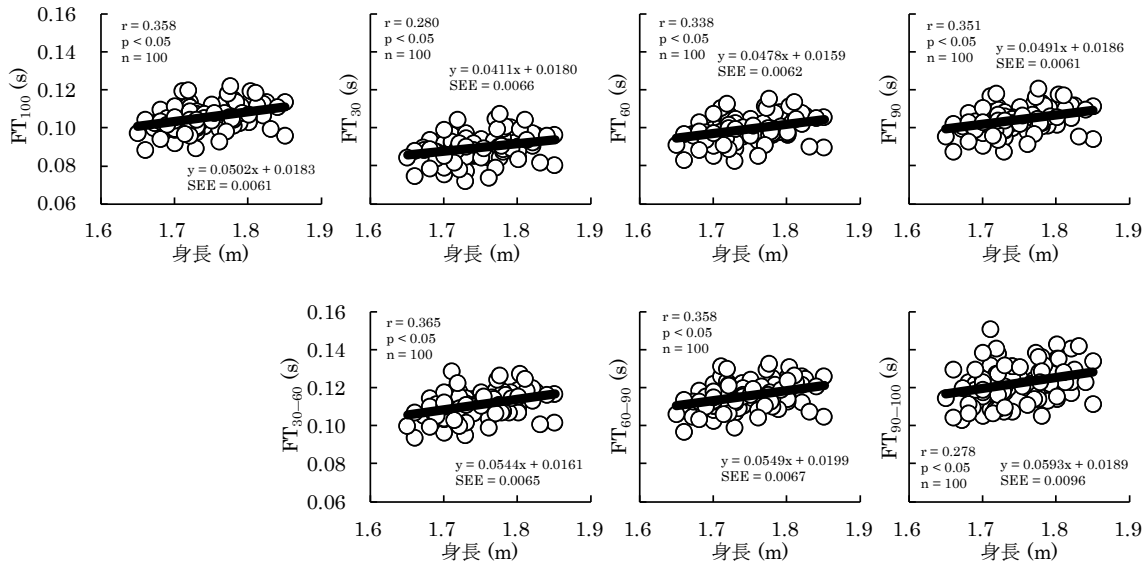
† T_{30} , T_{60} , T_{90} : 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過時間
 T_{30-60} , T_{60-90} , T_{90-100} : 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール(100m)地点までの区間時間
 ‡ ST_{100} , ST_{30} , ST_{60} , ST_{90} : スタート直後のステップ接地からゴール(100m)地点, 30m地点, 60m地点, および90m地点通過直前までの平均支持時間
 ST_{30-60} , ST_{60-90} , ST_{90-100} : 30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地まで, 60m地点通過直後のステップ接地から90m地点通過直前のステップ接地まで, および90m地点通過直後のステップ接地からゴール(100m)地点通過直後のステップ接地までの平均支持時間

図 6.3 走時間と支持時間との関係



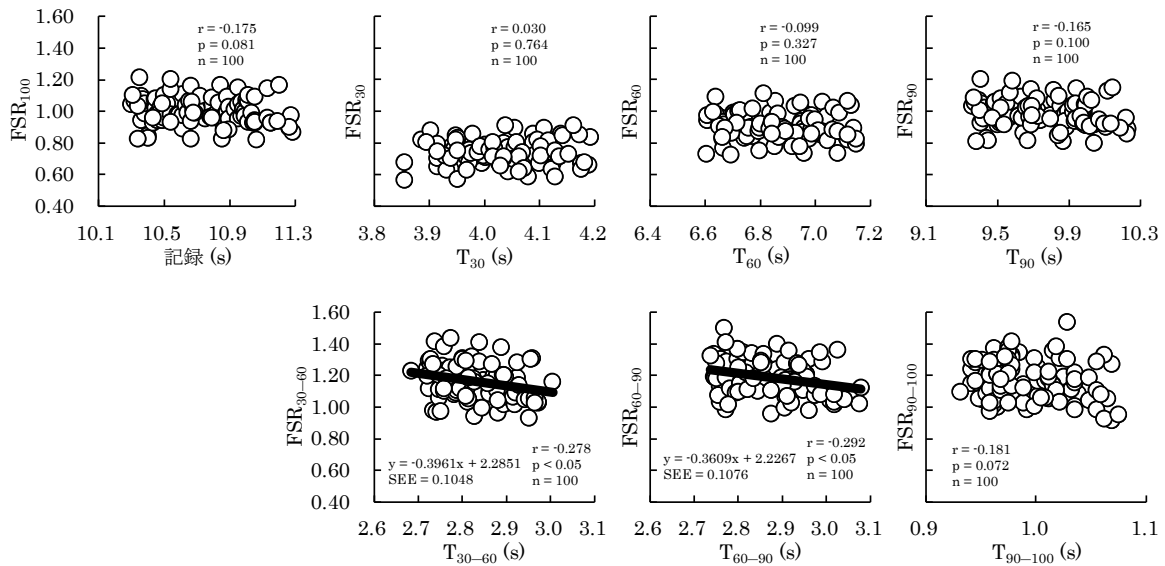
† ST_{100} , ST_{30} , ST_{60} , ST_{90} : スタート直後のステップ接地からゴール(100m)地点, 30m地点, 60m地点, および90m地点通過直前までの平均支持時間
 ST_{30-60} , ST_{60-90} , ST_{90-100} : 30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地まで, 60m地点通過直後のステップ接地から90m地点通過直前のステップ接地まで, および90m地点通過直後のステップ接地からゴール(100m)地点通過直後のステップ接地までの平均支持時間

図 6.4 身長と支持時間との関係



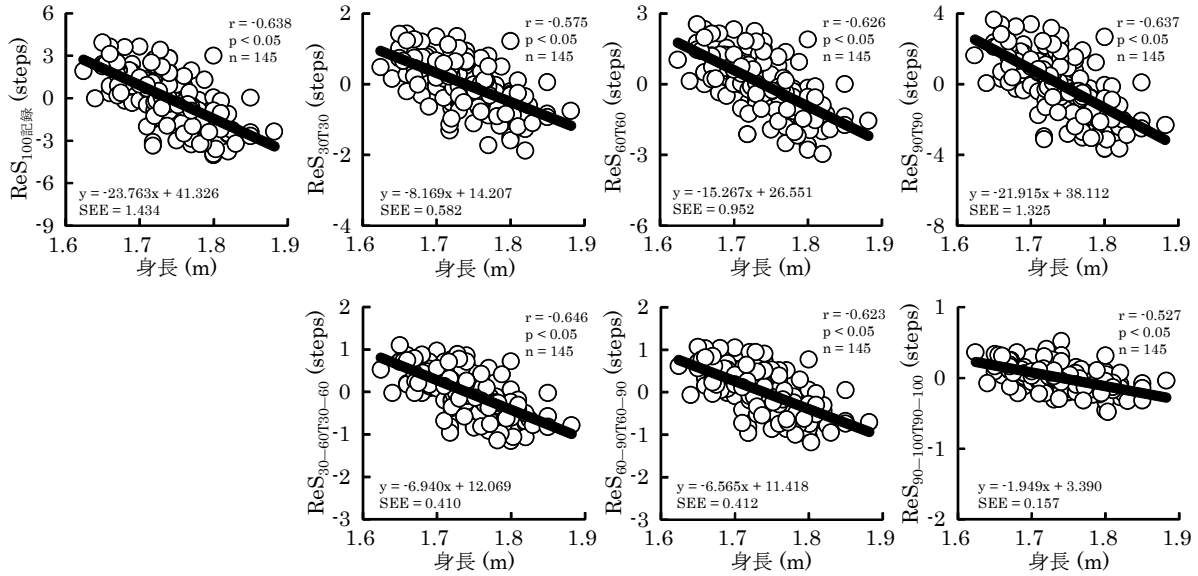
† FT₁₀₀, FT₃₀, FT₆₀, FT₉₀: スタート直後のステップ接地からゴール(100m)地点, 30m地点, 60m地点, および90m地点通過直前までの平均滞空時間
 FT₃₀₋₆₀, FT₆₀₋₉₀, FT₉₀₋₁₀₀: 30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地まで, 60m地点通過直後のステップ接地から90m地点通過直前のステップ接地まで, および90m地点通過直後のステップ接地からゴール(100m)地点通過直後のステップ接地までの平均滞空時間

図 6.5 身長と滞空時間との関係



† T₃₀, T₆₀, T₉₀: 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過時間
 T₃₀₋₆₀, T₆₀₋₉₀, T₉₀₋₁₀₀: 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール(100m)地点までの区間時間
 †† FSR₁₀₀, FSR₃₀, FSR₆₀, FSR₉₀: スタート直後のステップ接地からゴール(100m)地点, 30m地点, 60m地点, および90m地点通過直前までの平均滞空比
 FSR₃₀₋₆₀, FSR₆₀₋₉₀, FSR₉₀₋₁₀₀: 30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地まで, 60m地点通過直後のステップ接地から90m地点通過直前のステップ接地まで, および90m地点通過直後のステップ接地からゴール(100m)地点通過直後のステップ接地までの平均滞空比 (平均滞空時間/平均支持時間)

図 6.6 走時間と滞空比との関係

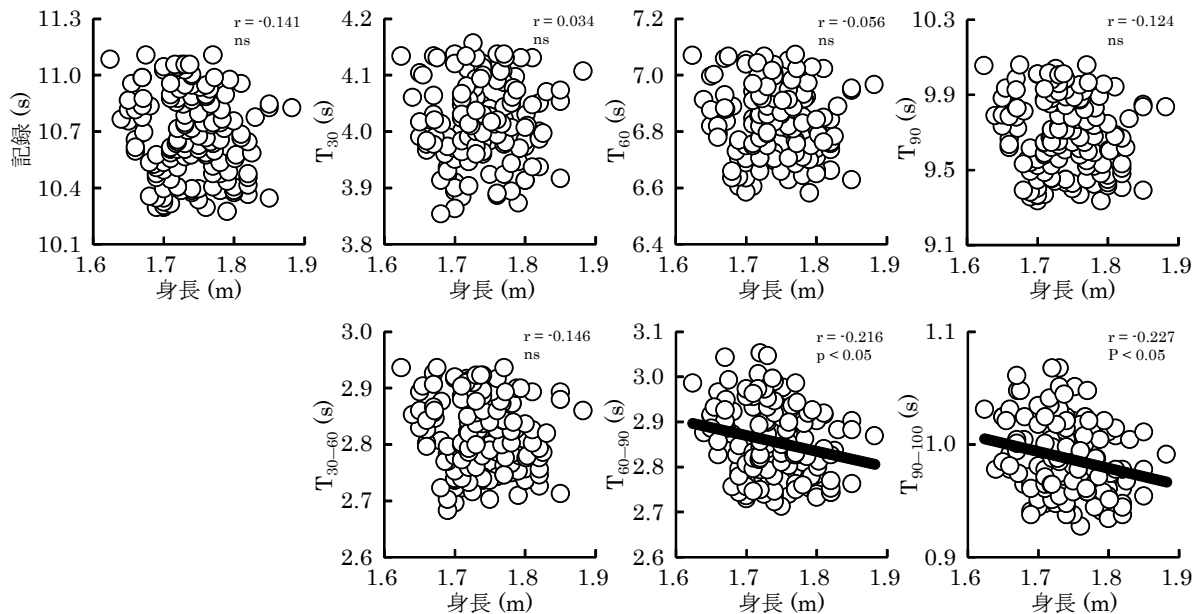


† T_{30} , T_{60} , T_{90} : 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過時間
 T_{30-60} , T_{60-90} , T_{90-100} : 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール(100m)地点までの区間時間

‡ S_{100} , S_{30} , S_{60} , S_{90} : 総ステップ数, 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過ステップ数
 S_{30-60} , S_{60-90} , S_{90-100} : 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール(100m)地点までの区間ステップ数

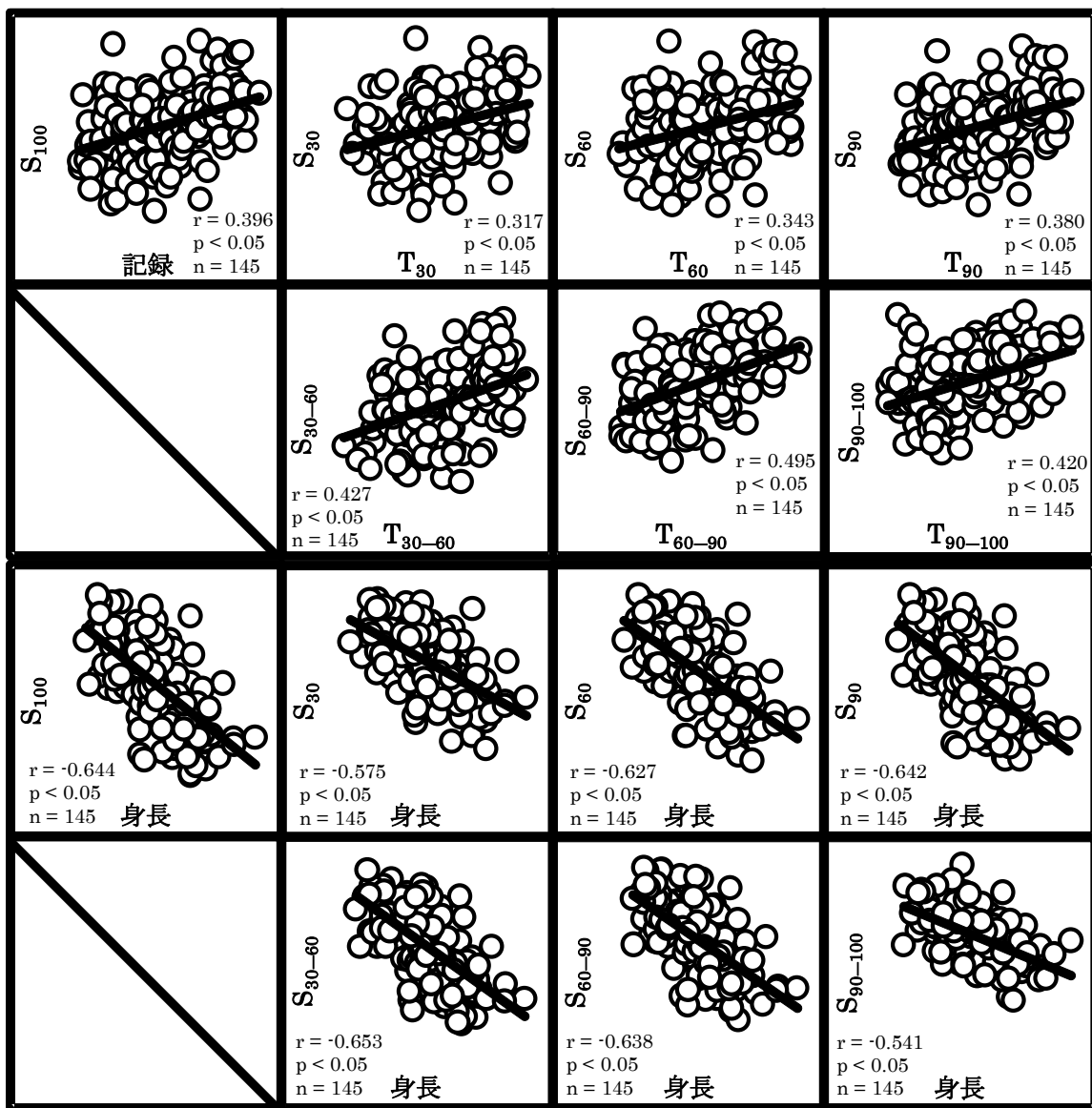
‡‡ ReS_{100} 記録, ReS_{30T30} , ReS_{60T60} , ReS_{90T90} : 記録と S_{100} , T_{30} と S_{30} , T_{60} と S_{60} , および T_{90} と S_{90} との単回帰分析により算出された残差
 $ReS_{30-60T30-60}$, $ReS_{60-90T60-90}$, $ReS_{90-100T90-100}$: T_{30-60} と S_{30-60} , T_{60-90} と S_{60-90} , および T_{90-100} と S_{90-100} との単回帰分析により算出された残差

図 6.7 身長と、走時間 (x) とステップ数 (y) との単回帰分析により算出された残差との関係



† T_{30} , T_{60} , T_{90} : 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過時間
 T_{30-60} , T_{60-90} , T_{90-100} : 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール(100m)地点までの区間時間

図 6.8 身長と走時間との関係



†各散布図のうち、上2行では身長を、下2行では左上から、それぞれ記録、T₃₀、T₆₀、T₉₀、T₃₀₋₆₀、T₆₀₋₉₀、T₉₀₋₁₀₀を制御変数としている

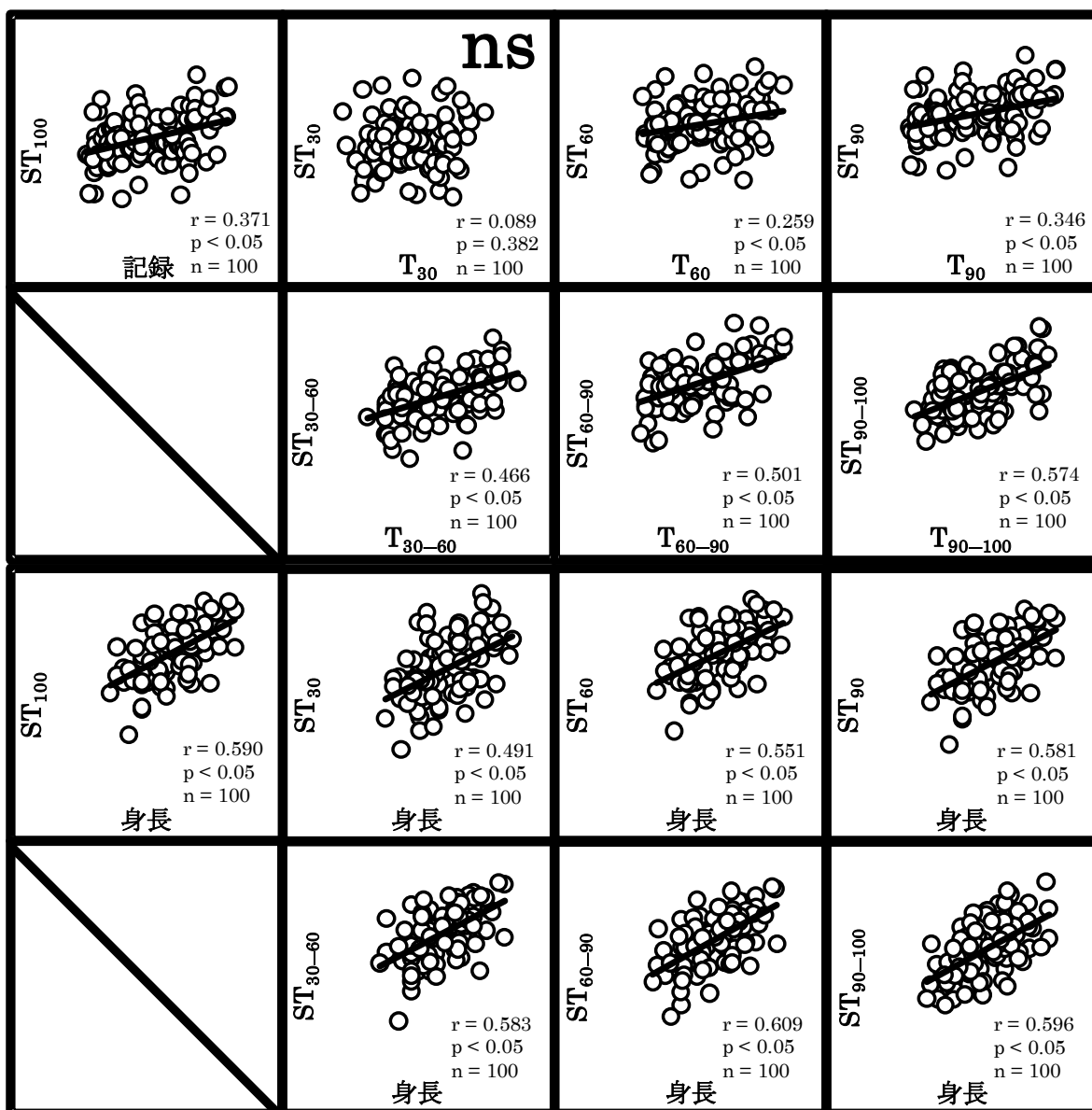
‡T₃₀、T₆₀、T₉₀：30m地点、60m地点、90m地点の通過時間

T₃₀₋₆₀、T₆₀₋₉₀、T₉₀₋₁₀₀：30m地点から60m地点、60m地点から90m地点、90m地点からゴール（100m）地点までの区間時間

‡‡S₁₀₀、S₃₀、S₆₀、S₉₀：総ステップ数、30m地点、60m地点、90m地点の通過ステップ数

S₃₀₋₆₀、S₆₀₋₉₀、S₉₀₋₁₀₀：30m地点から60m地点、60m地点から90m地点、90m地点からゴール（100m）地点までの区間ステップ数

図 6.9 走時間および身長のそれぞれと、各ステップ数との偏相関関係の散布図行列



†各散布図のうち、上2行では身長を、下2行では左上から、それぞれ記録、T₃₀、T₆₀、T₉₀、T₃₀₋₆₀、T₆₀₋₉₀、T₉₀₋₁₀₀を制御変数としている

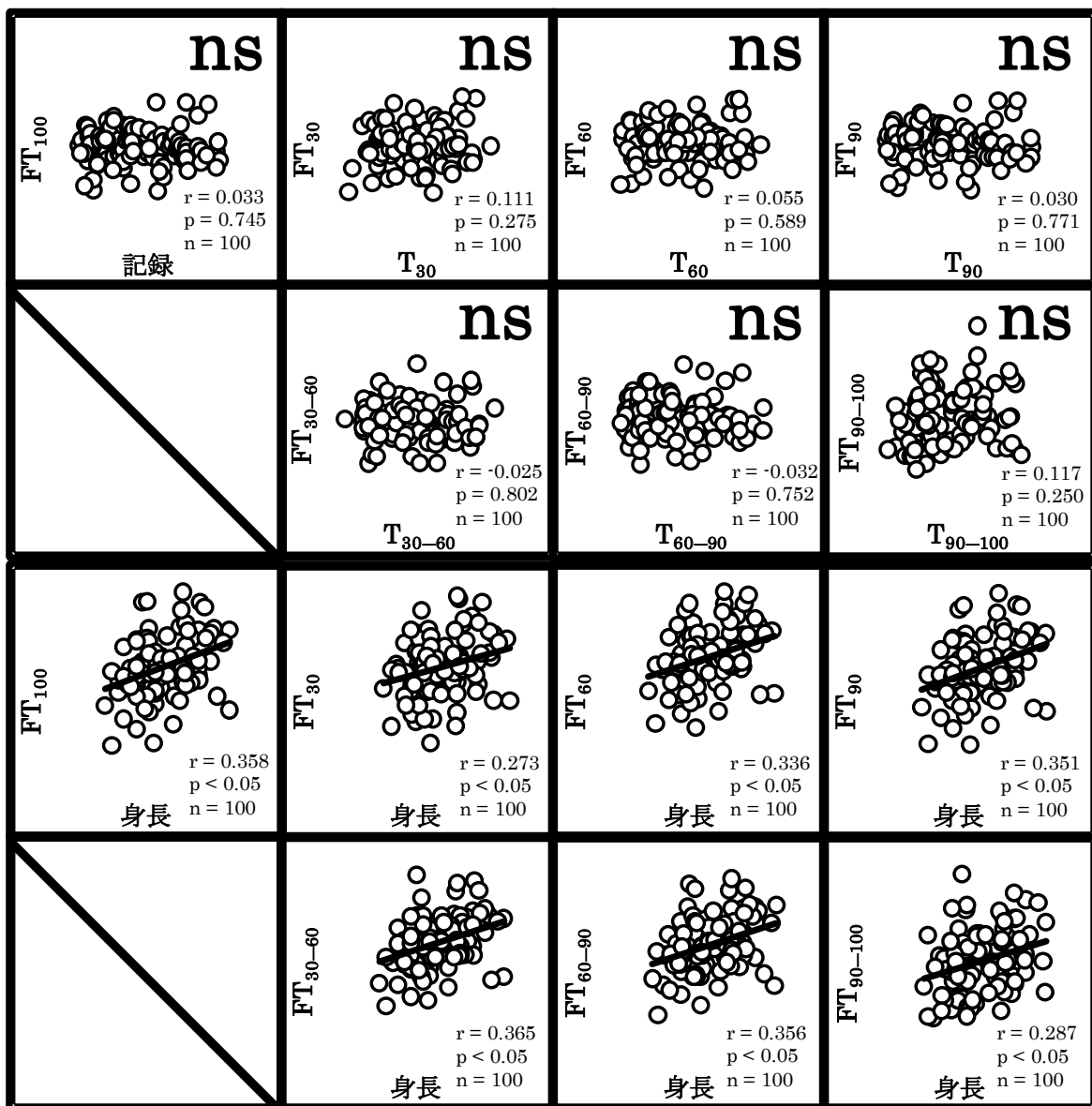
‡T₃₀、T₆₀、T₉₀：30m地点、60m地点、90m地点の通過時間

T₃₀₋₆₀、T₆₀₋₉₀、T₉₀₋₁₀₀：30m地点から60m地点、60m地点から90m地点、90m地点からゴール(100m)地点までの区間時間

‡‡ST₁₀₀、ST₃₀、ST₆₀、ST₉₀：スタート直後のステップ接地からゴール(100m)地点、30m地点、60m地点、および90m地点通過直前のステップ接地までの平均支持時間

ST₃₀₋₆₀、ST₆₀₋₉₀、ST₉₀₋₁₀₀：30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地まで、60m地点通過直後のステップ接地から90m地点通過直前のステップ接地まで、および90m地点通過直後のステップ接地からゴール(100m)地点通過直前のステップ接地までの平均支持時間

図 6.10 走時間および身長それぞれの、各支持時間との偏相関関係の散布図行列



†各散布図のうち、上2行では身長を、下2行では左上から、それぞれ記録、T₃₀、T₆₀、T₉₀、T₃₀₋₆₀、T₆₀₋₉₀、T₉₀₋₁₀₀を制御変数としている

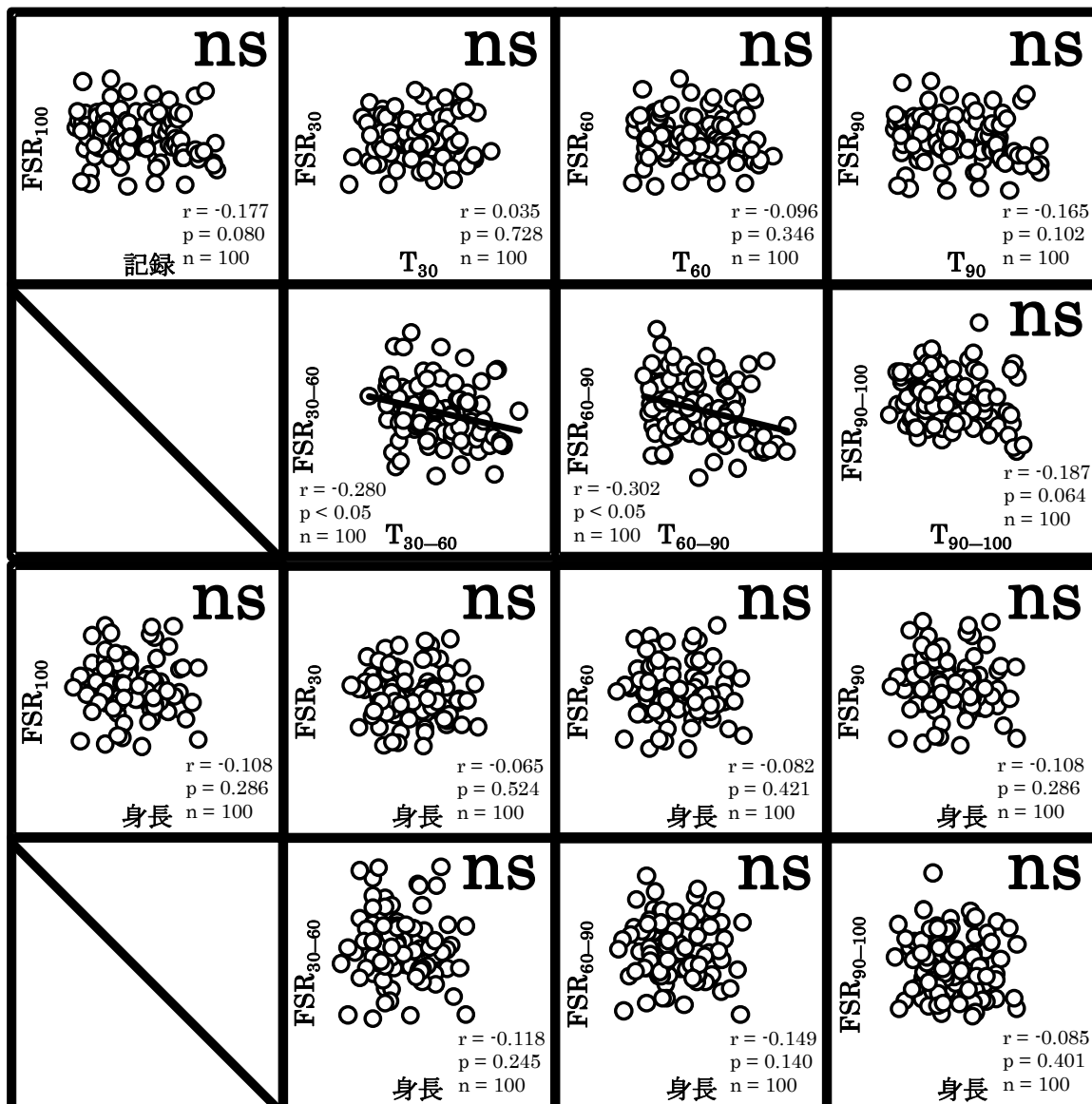
‡T₃₀、T₆₀、T₉₀：30m地点、60m地点、90m地点の通過時間

T₃₀₋₆₀、T₆₀₋₉₀、T₉₀₋₁₀₀：30m地点から60m地点、60m地点から90m地点、90m地点からゴール(100m)地点までの区間時間

‡‡FT₁₀₀、FT₃₀、FT₆₀、FT₉₀：スタート直後のステップ接地からゴール(100m)地点、30m地点、60m地点、および90m地点通過直前のステップ接地までの平均滞空時間

FT₃₀₋₆₀、FT₆₀₋₉₀、FT₉₀₋₁₀₀：30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地まで、60m地点通過直後のステップ接地から90m地点通過直前のステップ接地まで、および90m地点通過直後のステップ接地からゴール(100m)地点通過直前のステップ接地までの平均滞空時間

図 6.11 走時間および身長それぞれの、各滞空時間との偏相関関係の散布図行列



†各散布図のうち、上2行では身長を、下2行では左上から、それぞれ記録、T₃₀、T₆₀、T₉₀、T₃₀₋₆₀、T₆₀₋₉₀、T₉₀₋₁₀₀を制御変数としている

‡T₃₀、T₆₀、T₉₀：30m地点、60m地点、90m地点の通過時間

T₃₀₋₆₀、T₆₀₋₉₀、T₉₀₋₁₀₀：30m地点から60m地点、60m地点から90m地点、90m地点からゴール(100m)地点までの区間時間

‡‡FSR₁₀₀、FSR₉₀、FSR₆₀、FSR₃₀：スタート直後のステップ接地からゴール(100m)地点、30m地点、60m地点、および90m地点通過直前のステップ接地までの平均滞空比(平均滞空時間/平均支持時間)

FSR₃₀₋₆₀、FSR₆₀₋₉₀、FSR₉₀₋₁₀₀：30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地まで、60m地点通過直後のステップ接地から90m地点通過直前のステップ接地まで、および90m地点通過直後のステップ接地からゴール(100m)地点通過直前のステップ接地までの平均滞空比(平均滞空時間/平均支持時間)

図 6.12 走時間および身長のそれぞれと、各滞空比との偏相関関係の散布図行列

表 6.2 走時間・身長別の標準ステップ数を算出する重回帰式，推定値の標準誤差，決定係数，および自由度調整済み決定係数

従属変数(単位)	回帰式		SEE	R ²	R ^{*2}
(A) S ₁₀₀ (steps)	ステップ1	Y = - 25.999 X ₂ + 94.502	1.551	0.413	0.408
	ステップ2	Y = 2.729 X ₁ - 24.246 X ₂ + 62.318 *	1.429	0.505	0.498
ただし，X ₁ : 100m走の記録 (s)，X ₂ : 身長 (m)					
(B) S ₃₀ (steps)	ステップ1	Y = - 8.046 X ₂ + 31.741	0.613	0.301	0.296
	ステップ2	Y = 2.785 X ₁ - 8.179 X ₂ + 20.787 *	0.583	0.371	0.362
ただし，X ₁ : T ₃₀ (s)，X ₂ : 身長 (m)					
(C) S ₆₀ (steps)	ステップ1	Y = - 15.703 X ₂ + 58.786	1.012	0.376	0.371
	ステップ2	Y = 2.726 X ₁ - 15.315 X ₂ + 39.480 *	0.954	0.449	0.441
ただし，X ₁ : T ₆₀ (s)，X ₂ : 身長 (m)					
(D) S ₉₀ (steps)	ステップ1	Y = - 23.609 X ₂ + 85.990	1.425	0.407	0.403
	ステップ2	Y = 2.737 X ₁ - 22.256 X ₂ + 57.119 *	1.322	0.493	0.485
ただし，X ₁ : T ₉₀ (s)，X ₂ : 身長 (m)					
(E) S ₃₀₋₆₀ (steps)	ステップ1	Y = - 7.657 X ₂ + 27.044	0.450	0.420	0.416
	ステップ2	Y = 2.985 X ₁ - 7.090 X ₂ + 17.647 *	0.408	0.526	0.519
ただし，X ₁ : T ₃₀₋₆₀ (s)，X ₂ : 身長 (m)					
(F) S ₆₀₋₉₀ (steps)	ステップ1	Y = - 7.906 X ₂ + 27.204	0.467	0.417	0.413
	ステップ2	Y = 2.900 X ₁ - 6.885 X ₂ + 17.148 *	0.407	0.560	0.554
ただし，X ₁ : T ₆₀₋₉₀ (s)，X ₂ : 身長 (m)					
(G) S ₉₀₋₁₀₀ (steps)	ステップ1	Y = - 2.390 X ₂ + 8.513	0.171	0.327	0.322
	ステップ2	Y = 2.263 X ₁ - 2.055 X ₂ + 5.694 *	0.156	0.446	0.438
ただし，X ₁ : T ₉₀₋₁₀₀ (s)，X ₂ : 身長 (m)					

† T₃₀, T₆₀, T₉₀ : 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過時間T₃₀₋₆₀, T₆₀₋₉₀, T₉₀₋₁₀₀ : 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール (100m) 地点までの区間時間‡ S₁₀₀, S₃₀, S₆₀, S₉₀ : 総ステップ数, 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過ステップ数S₃₀₋₆₀, S₆₀₋₉₀, S₉₀₋₁₀₀ : 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール (100m) 地点までの区間ステップ数*** * : p < 0.05 (n = 145), SEE : 推定値の標準誤差, R² : 決定係数, R^{*2} : 自由度調整済み決定係数

**** 灰色の式が, 重回帰分析のステップワイズ (変数増減法) により得られた最終的な重回帰式である

表 6.3 走時間・身長別の標準支持時間を算出する重回帰式，推定値の標準誤差，決定係数，および自由度調整済み決定係数

従属変数 (単位)		回帰式		SEE	R ²	R ^{*2}
(A)	ST ₁₀₀ (s)	ステップ1	Y = 0.0706 X ₂ - 0.0175	0.0049	0.315	0.308
		ステップ2	Y = 0.0066 X ₁ + 0.0707 X ₂ - 0.0881 *	0.0046	0.409	0.397
ただし，X ₁ : 100m走の記録 (s)，X ₂ : 身長 (m)						
(B)	ST ₃₀ (s)	ステップ1	Y = 0.0729 X ₂ - 0.0060 *	0.0060	0.245	0.237
ただし，X ₂ : 身長 (m)						
(C)	ST ₆₀ (s)	ステップ1	Y = 0.0709 X ₂ - 0.0140	0.0051	0.296	0.289
		ステップ2	Y = 0.0084 X ₁ + 0.0697 X ₂ - 0.0699 *	0.0050	0.344	0.330
ただし，X ₁ : T ₆₀ (s)，X ₂ : 身長 (m)						
(D)	ST ₉₀ (s)	ステップ1	Y = 0.0710 X ₂ - 0.0181	0.0049	0.312	0.305
		ステップ2	Y = 0.0070 X ₁ + 0.0707 X ₂ - 0.0860 *	0.0047	0.394	0.382
ただし，X ₁ : T ₉₀ (s)，X ₂ : 身長 (m)						
(E)	ST ₃₀₋₆₀ (s)	ステップ1	Y = 0.0680 X ₂ - 0.0229	0.0050	0.288	0.281
		ステップ2	Y = 0.0305 X ₁ + 0.0679 X ₂ - 0.1090 *	0.0045	0.443	0.431
ただし，X ₁ : T ₃₀₋₆₀ (s)，X ₂ : 身長 (m)						
(F)	ST ₆₀₋₉₀ (s)	ステップ1	Y = 0.0712 X ₂ - 0.0266	0.0052	0.291	0.284
		ステップ2	Y = 0.0286 X ₁ + 0.0739 X ₂ - 0.1134 *	0.0045	0.469	0.458
ただし，X ₁ : T ₆₀₋₉₀ (s)，X ₂ : 身長 (m)						
(G)	ST ₉₀₋₁₀₀ (s)	ステップ1	Y = 0.0675 X ₂ - 0.0133	0.0056	0.243	0.235
		ステップ2	Y = 0.0873 X ₁ + 0.0726 X ₂ - 0.1089 *	0.0046	0.492	0.482
ただし，X ₁ : T ₉₀₋₁₀₀ (s)，X ₂ : 身長 (m)						

† ST₁₀₀, ST₃₀, ST₆₀, ST₉₀ : スタート直後のステップ接地からゴール (100m) 地点, 30m地点, 60m地点, および90m地点通過直前のステップ接地までの平均支持時間

‡ ST₃₀₋₆₀, ST₆₀₋₉₀, ST₉₀₋₁₀₀ : 30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地まで, 60m地点通過直後のステップ接地から90m地点通過直前のステップ接地まで, および90m地点通過直後のステップ接地からゴール (100m) 地点通過直前のステップ接地までの平均支持時間

*** * : p < 0.05 (n=100), SEE : 推定値の標準誤差, R² : 決定係数, R^{*2} : 自由度調整済み決定係数

††† 灰色の式が, 重回帰分析のステップワイズ (変数増減) 法により得られた最終的な重回帰式である

表 6.4 身長別の標準滞空時間を算出する単回帰式，推定値の標準誤差，決定係数，および自由度調整済み決定係数

従属変数 (単位)			回帰式	SEE	R ²	R ^{*2}
(A)	FT ₁₀₀	(s)	ステップ1 Y = 0.0502 X ₂ + 0.0183 *	0.0061	0.128	0.119
(B)	FT ₃₀	(s)	ステップ1 Y = 0.0411 X ₂ + 0.0180 *	0.0066	0.078	0.069
(C)	FT ₆₀	(s)	ステップ1 Y = 0.0478 X ₂ + 0.0159 *	0.0062	0.114	0.105
(D)	FT ₉₀	(s)	ステップ1 Y = 0.0491 X ₂ + 0.0186 *	0.0061	0.123	0.114
(E)	FT ₃₀₋₆₀	(s)	ステップ1 Y = 0.0544 X ₂ + 0.0161 *	0.0065	0.133	0.124
(F)	FT ₆₀₋₉₀	(s)	ステップ1 Y = 0.0549 X ₂ + 0.0199 *	0.0067	0.128	0.119
(G)	FT ₉₀₋₁₀₀	(s)	ステップ1 Y = 0.0593 X ₂ + 0.0189 *	0.0096	0.077	0.068

† FT₁₀₀, FT₃₀, FT₆₀, FT₉₀: スタート直後のステップ接地からゴール (100m) 地点, 30m地点, 60m地点, および90m地点通過直前のステップ接地までの平均滞空時間

‡ FT₃₀₋₆₀, FT₆₀₋₉₀, FT₉₀₋₁₀₀: 30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地まで, 60m地点通過直後のステップ接地から90m地点通過直前のステップ接地まで, および90m地点通過直後のステップ接地からゴール (100m) 地点通過直前のステップ接地までの平均滞空時間

*** X₂: 身長 (m), *: p < 0.05 (n=100), SEE: 推定値の標準誤差, R²: 決定係数, R^{*2}: 自由度調整済み決定係数

††† 灰色の式が, 重回帰分析のステップワイズ (変数増減) 法により得られた最終的な重回帰式である

表 6.5 走時間別の標準滞空比を算出する単回帰式，推定値の標準誤差，決定係数，および自由度調整済み決定係数

従属変数		回帰式	SEE	R ²	R ^{*2}
(E)	FSR ₃₀₋₆₀	ステップ1 Y = - 0.3961 X ₁ + 2.2851 *	0.1048	0.077	0.068
		ただし, X ₁ : T ₃₀₋₆₀ (s)			
(F)	FSR ₆₀₋₉₀	ステップ1 Y = - 0.3609 X ₁ + 2.2267 *	0.1076	0.086	0.076
		ただし, X ₁ : T ₆₀₋₉₀ (s)			

† FSR₃₀₋₆₀, FSR₆₀₋₉₀: 30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地まで, および60m地点通過直後のステップ接地から90m地点通過直前のステップ接地までの平均滞空比

‡ *: p < 0.05 (n=100), SEE: 推定値の標準誤差, R²: 決定係数, R^{*2}: 自由度調整済み決定係数

††† 灰色の式が, 重回帰分析のステップワイズ (変数増減) 法により得られた最終的な重回帰式である

第4節 考察

1. 重回帰式と推定精度

(1) 走時間・身長別の標準ステップ数

本研究の目的の1つは、日本人男子競技者を対象に100m走のレース全体および各区分間において、走時間および身長とステップ数との相関関係を検証し、走時間・身長別の標準ステップ数を算出する重回帰推定式を作成することであった。

先行研究では、記録レベルが高いほど、総ステップ数が少ないこと(阿江ほか, 1994; 岡野ほか, 1988), レースの平均ステップ長が長いこと(阿江ほか, 1994; 岡野ほか, 1988), およびレースの平均ステップ頻度が高く、平均ステップ長が長いこと(有川, 1991)が報告されている。また、100m走の記録とレースの平均ステップ長との間には、中等度の相関関係が認められている(岡野ほか, 1988, $r = -0.594$, $p < 0.001$, $n = 266$; Paruzel-Dyja et al., 2006, $r = -0.43$, $p < 0.01$, $n = 109$)。これらのことから、第一に走時間別の標準ステップ数を算出する推定式の作成を試みた。その結果、レース全体および各区分間において、走時間とステップ数(記録と S_{100} , T_{30} と S_{30} , T_{60} と S_{60} , T_{90} と S_{90} , T_{30-60} と S_{30-60} , T_{60-90} と S_{60-90} , および T_{90-100} と S_{90-100})との間に、中等度もしくは低い正の相関関係が認められ($r = 0.246-0.508$, $p < 0.05$), 有意な単回帰式が得られた(図 6.1)ので、これらの結果は上記先行研究とおおよそ一致し、走時間が短いほどステップ数が少ない傾向であると考えられる。しかし、各単回帰式の決定係数は低いので($r^2 = 0.061-0.258$), ステップ数の観測値と単回帰式による推定値との差、すなわち残差(ReS_{100} 記録, ReS_{30T30} , ReS_{60T60} , ReS_{90T90} , $ReS_{30-60T30-60}$, $ReS_{60-90T60-90}$)が顕著に示された。これら残差が負値の時、その競技者は走時間別の標準的な競技者よりステップ数が少ないことや、ステップ頻度が低くステップ長が長いことを意味し、正值の時には標準的な競技者よりステップ数が多いことや、ステップ頻度が高くステップ長が短いことを意味するといえる。一方、本研究ではレース全体および各区分間において、身長とステップ数(S_{100} , S_{30} , S_{60} , S_{90} , S_{30-60} , S_{60-90} , および S_{90-100})との間に、中等度の負の相関関係が認められた($r = -0.648-0.549$, $p < 0.05$)。この結果は先行研究で得られた結果(岡野ほか, 1988, $r = 0.70$, $p < 0.01$, $n = 15$; Paruzel-Dyja et al., 2006, $r = 0.56$, $p < 0.01$, $n = 109$)とおおよそ一致し、身長が高いほどステップ数が少ない傾向であるとともに、身長が走時間よりもステップ数との間に強い相関関係を示すといえる。それゆえ、身長が高いほど、これらの残差の値が小さい関係が示されることも推測される。実際に身長と、走時間(x)とステップ数(y)との単回帰分析(図 6.1)により算出された残差(ReS_{100} 記録, ReS_{30T30} , ReS_{60T60} , ReS_{90T90} , $ReS_{30-60T30-60}$, および $ReS_{60-90T60-90}$)との関係を検証すると、各2変数間で有意な相関関係が認められ、有意な単回帰式が得られた。

したがって、身長が高いほどステップ数が少ない傾向であり、図 6.1 の単回帰式と、図 6.7 の単回帰式を利用することによって、100m 走のレース全体および各区分において、走時間・身長別の標準ステップ変数を算出できると考えられる。

しかし、図 6.1 と図 6.7 の単回帰式を用いて算出される走時間・身長別の標準ステップ数は、走時間、身長、およびステップ変数との間の関係を正確に検証していないので、正確ではない。すなわち、図 6.1 で示された走時間とステップ数との関係は、走時間およびステップ数に対する身長の影響を除去していない。走時間およびステップ数と、身長との間の相関係数はゼロではなく（図 6.2, 図 6.8）、一部（100m 走の記録, T_{30} , T_{60} , T_{90} , T_{30-60} ）を除いて有意であるので、走時間とステップ数との関係をより正確に検証するには、身長の影響を除去することが必要であると考えられる。実際に、身長の影響を除去して検証した結果が、図 6.9 の上 2 行である。一方、図 6.7 で示された身長と残差 ($Re S_{100 \text{ 記録}}$, $Re S_{30T_{30}}$, $Re S_{60T_{60}}$, $Re S_{90T_{90}}$, $Re S_{30-60T_{30-60}}$, および $Re S_{60-90T_{60-90}}$) との関係については、身長に対する走時間の影響を除去していない。既に述べたように身長と走時間との間の相関係数はゼロではなく（図 6.8）、一部（100m 走の記録, T_{30} , T_{60} , T_{90} , T_{30-60} ）を除いて有意であるので、身長とステップ数との関係をより正確に検証するには、走時間の影響を除去することが必要であると考えられる。実際に走時間の影響を除去して検証した結果が、図 6.9 の下 2 行である。図 6.9 の散布図行列を見ると、すべての 2 変数間で直線の偏相関関係を示したことから、走時間および身長を独立変数、各ステップ数を従属変数とする重回帰分析によって、レース全体および各区分において、図 6.1 および図 6.7 の単回帰式によるものと比較して適切な走時間・身長別の標準ステップ数を算出する推定式の作成が可能であることを示している。

ステップワイズ法による重回帰分析の結果、得られた重回帰式における走時間の回帰係数を見ると、すべてのステップ数において正の回帰係数であることから（表 6.2）、身長が同じ場合、走時間（100m 走の記録, T_{30} , T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , および T_{90-100} ）が短いほど、標準 S_{100} , 標準 S_{30} , 標準 S_{60} , 標準 S_{90} , 標準 S_{30-60} , 標準 S_{60-90} , および標準 S_{90-100} が少ない関係である。つづいて身長の回帰係数を見ると、すべてのステップ数において負の回帰係数であることから（表 6.2）、走時間が同じ場合、身長が高いほど標準 S_{100} , 標準 S_{30} , 標準 S_{60} , 標準 S_{90} , 標準 S_{30-60} , 標準 S_{60-90} , および標準 S_{90-100} が少ない関係である。表 6.6 は、 S_{100} について重回帰式（表 6.2 (A) のステップ 2) を利用して、走時間・身長別の標準 S_{100} を示したものである。このように重回帰式の推定値を算出すると、走時間が短いおよび身長が高いほど、標準ステップ数が少ない関係であることがわかる。また表 6.7 および表 6.8 は、走時間・身長別の標準 S_{30-60} を算出する重回帰式（表 6.2 (E) のステップ 2) を利用して、30m 地

点から 60m 地点までの走時間・身長別の標準区間平均ステップ頻度(以下,「 SF_{30-60} 」と略す)および標準区間平均ステップ長(以下,「 SL_{30-60} 」と略す)を示したものである。走時間・身長別の標準 SF_{30-60} および標準 SL_{30-60} は,それぞれ対応する標準 S_{30-60} を対応する T_{30-60} で除した値, 走距離(30m)を対応する標準 S_{30-60} で除した値である。走時間が短いほど標準 SF_{30-60} が高く, 身長が高いほど標準 SF_{30-60} が低い関係であることと, 走時間が短いおよび身長が高いほど標準 SL_{30-60} が長い関係であることがわかる(表 6.7, 表 6.8)。これら本研究の結果は, 先行研究(阿江ほか, 1994; 有川, 1991; 岡野ほか, 1988; Paruzel-Dyja et al., 2006)の結果を支持するので, 本研究で示された走時間・身長別の標準ステップ数を算出する重回帰式は, 理論的に適切なものであると考えられる。

最後に, 各重回帰式の推定精度指標を評価した。決定係数の範囲は 0.371–0.560, 自由度調整済み決定係数の範囲は 0.362–0.554 であった(表 6.2)。これらの値は, ステップワイズ法により得られたものであるため, 身長のみを独立変数とした単回帰式の決定係数(表 6.2)よりも高い。また, 自由度調整済み決定係数は, すべてのステップ数において 0.26 を上回り, 「大きい」と評価される効果量であった。加えて, これらの重回帰式(表 6.2)は 145 名の競技者を対象として得られたものである。

以上より, 信頼性の高い走時間・身長別の標準ステップ数を算出する重回帰式が新たに作成されたものと考えられる。

表 6.6 100m 走の記録・身長別の標準 S_{100} と誤差範囲

記録 (s)	標 準 S_{100} (誤 差 範 囲) (step)			
	身長: 1.60m	身長: 1.65m	身長: 1.70m	身長: 1.75m
9.50	49.45 [46.59 - 52.30]	48.23 [45.38 - 51.09]	47.02 [44.16 - 49.88]	45.81 [42.95 - 48.67]
9.60	49.72 [46.86 - 52.58]	48.51 [45.65 - 51.36]	47.29 [44.44 - 50.15]	46.08 [43.22 - 48.94]
9.70	49.99 [47.13 - 52.85]	48.78 [45.92 - 51.64]	47.57 [44.71 - 50.43]	46.36 [43.50 - 49.21]
9.80	50.27 [47.41 - 53.12]	49.05 [46.20 - 51.91]	47.84 [44.98 - 50.70]	46.63 [43.77 - 49.49]
9.90	50.54 [47.68 - 53.40]	49.33 [46.47 - 52.18]	48.11 [45.26 - 50.97]	46.90 [44.04 - 49.76]
10.00	50.81 [47.95 - 53.67]	49.60 [46.74 - 52.46]	48.39 [45.53 - 51.24]	47.17 [44.32 - 50.03]
10.10	51.08 [48.23 - 53.94]	49.87 [47.01 - 52.73]	48.66 [45.80 - 51.52]	47.45 [44.59 - 50.30]
10.20	51.36 [48.50 - 54.21]	50.14 [47.29 - 53.00]	48.93 [46.07 - 51.79]	47.72 [44.86 - 50.58]
10.30	51.63 [48.77 - 54.49]	50.42 [47.56 - 53.27]	49.20 [46.35 - 52.06]	47.99 [45.13 - 50.85]
10.40	51.90 [49.04 - 54.76]	50.69 [47.83 - 53.55]	49.48 [46.62 - 52.34]	48.27 [45.41 - 51.12]
10.50	52.18 [49.32 - 55.03]	50.96 [48.11 - 53.82]	49.75 [46.89 - 52.61]	48.54 [45.68 - 51.40]
10.60	52.45 [49.59 - 55.31]	51.24 [48.38 - 54.09]	50.02 [47.17 - 52.88]	48.81 [45.95 - 51.67]
10.70	52.72 [49.86 - 55.58]	51.51 [48.65 - 54.37]	50.30 [47.44 - 53.15]	49.08 [46.23 - 51.94]
10.80	52.99 [50.14 - 55.85]	51.78 [48.92 - 54.64]	50.57 [47.71 - 53.43]	49.36 [46.50 - 52.21]
10.90	53.27 [50.41 - 56.12]	52.05 [49.20 - 54.91]	50.84 [47.98 - 53.70]	49.63 [46.77 - 52.49]
11.00	53.54 [50.68 - 56.40]	52.33 [49.47 - 55.18]	51.11 [48.26 - 53.97]	49.90 [47.04 - 52.76]
11.10	53.81 [50.95 - 56.67]	52.60 [49.74 - 55.46]	51.39 [48.53 - 54.25]	50.18 [47.32 - 53.03]
11.20	54.09 [51.23 - 56.94]	52.87 [50.02 - 55.73]	51.66 [48.80 - 54.52]	50.45 [47.59 - 53.31]
11.30	54.36 [51.50 - 57.22]	53.15 [50.29 - 56.00]	51.93 [49.08 - 54.79]	50.72 [47.86 - 53.58]
11.40	54.63 [51.77 - 57.49]	53.42 [50.56 - 56.28]	52.21 [49.35 - 55.06]	50.99 [48.14 - 53.85]
11.50	54.90 [52.05 - 57.76]	53.69 [50.83 - 56.55]	52.48 [49.62 - 55.34]	51.27 [48.41 - 54.12]
11.60	55.18 [52.32 - 58.03]	53.96 [51.11 - 56.82]	52.75 [49.89 - 55.61]	51.54 [48.68 - 54.40]
11.70	55.45 [52.59 - 58.31]	54.24 [51.38 - 57.09]	53.02 [50.17 - 55.88]	51.81 [48.95 - 54.67]
11.80	55.72 [52.86 - 58.58]	54.51 [51.65 - 57.37]	53.30 [50.44 - 56.16]	52.09 [49.23 - 54.94]
11.90	56.00 [53.14 - 58.85]	54.78 [51.93 - 57.64]	53.57 [50.71 - 56.43]	52.36 [49.50 - 55.22]
12.00	56.27 [53.41 - 59.13]	55.06 [52.20 - 57.91]	53.84 [50.99 - 56.70]	52.63 [49.77 - 55.49]

記録 (s)	標 準 S_{100} (誤 差 範 囲) (step)			
	身長: 1.80m	身長: 1.85m	身長: 1.90m	身長: 1.95m
9.50	44.60 [41.74 - 47.45]	43.38 [40.53 - 46.24]	42.17 [39.32 - 45.03]	40.96 [38.10 - 43.82]
9.60	44.87 [42.01 - 47.73]	43.66 [40.80 - 46.52]	42.45 [39.59 - 45.30]	41.23 [38.38 - 44.09]
9.70	45.14 [42.29 - 48.00]	43.93 [41.07 - 46.79]	42.72 [39.86 - 45.58]	41.51 [38.65 - 44.36]
9.80	45.42 [42.56 - 48.27]	44.20 [41.35 - 47.06]	42.99 [40.13 - 45.85]	41.78 [38.92 - 44.64]
9.90	45.69 [42.83 - 48.55]	44.48 [41.62 - 47.33]	43.26 [40.41 - 46.12]	42.05 [39.19 - 44.91]
10.00	45.96 [43.10 - 48.82]	44.75 [41.89 - 47.61]	43.54 [40.68 - 46.39]	42.32 [39.47 - 45.18]
10.10	46.23 [43.38 - 49.09]	45.02 [42.16 - 47.88]	43.81 [40.95 - 46.67]	42.60 [39.74 - 45.46]
10.20	46.51 [43.65 - 49.36]	45.29 [42.44 - 48.15]	44.08 [41.23 - 46.94]	42.87 [40.01 - 45.73]
10.30	46.78 [43.92 - 49.64]	45.57 [42.71 - 48.43]	44.36 [41.50 - 47.21]	43.14 [40.29 - 46.00]
10.40	47.05 [44.20 - 49.91]	45.84 [42.98 - 48.70]	44.63 [41.77 - 47.49]	43.42 [40.56 - 46.27]
10.50	47.33 [44.47 - 50.18]	46.11 [43.26 - 48.97]	44.90 [42.04 - 47.76]	43.69 [40.83 - 46.55]
10.60	47.60 [44.74 - 50.46]	46.39 [43.53 - 49.24]	45.17 [42.32 - 48.03]	43.96 [41.10 - 46.82]
10.70	47.87 [45.01 - 50.73]	46.66 [43.80 - 49.52]	45.45 [42.59 - 48.30]	44.23 [41.38 - 47.09]
10.80	48.14 [45.29 - 51.00]	46.93 [44.07 - 49.79]	45.72 [42.86 - 48.58]	44.51 [41.65 - 47.37]
10.90	48.42 [45.56 - 51.27]	47.20 [44.35 - 50.06]	45.99 [43.14 - 48.85]	44.78 [41.92 - 47.64]
11.00	48.69 [45.83 - 51.55]	47.48 [44.62 - 50.34]	46.27 [43.41 - 49.12]	45.05 [42.20 - 47.91]
11.10	48.96 [46.11 - 51.82]	47.75 [44.89 - 50.61]	46.54 [43.68 - 49.40]	45.33 [42.47 - 48.18]
11.20	49.24 [46.38 - 52.09]	48.02 [45.17 - 50.88]	46.81 [43.95 - 49.67]	45.60 [42.74 - 48.46]
11.30	49.51 [46.65 - 52.37]	48.30 [45.44 - 51.15]	47.08 [44.23 - 49.94]	45.87 [43.01 - 48.73]
11.40	49.78 [46.92 - 52.64]	48.57 [45.71 - 51.43]	47.36 [44.50 - 50.21]	46.14 [43.29 - 49.00]
11.50	50.05 [47.20 - 52.91]	48.84 [45.98 - 51.70]	47.63 [44.77 - 50.49]	46.42 [43.56 - 49.28]
11.60	50.33 [47.47 - 53.18]	49.11 [46.26 - 51.97]	47.90 [45.05 - 50.76]	46.69 [43.83 - 49.55]
11.70	50.60 [47.74 - 53.46]	49.39 [46.53 - 52.25]	48.18 [45.32 - 51.03]	46.96 [44.11 - 49.82]
11.80	50.87 [48.02 - 53.73]	49.66 [46.80 - 52.52]	48.45 [45.59 - 51.31]	47.24 [44.38 - 50.09]
11.90	51.15 [48.29 - 54.00]	49.93 [47.08 - 52.79]	48.72 [45.86 - 51.58]	47.51 [44.65 - 50.37]
12.00	51.42 [48.56 - 54.28]	50.21 [47.35 - 53.06]	48.99 [46.14 - 51.85]	47.78 [44.92 - 50.64]

† S_{100} : 総ステップ数‡ 誤差範囲: 重回帰式の推定値 (標準 S_{100}) の ± 2 標準誤差以内. 該当する記録および身長の約95%の競技者の S_{100} が収まる範囲.

表 6.7 100m 走の T₃₀₋₆₀・身長別の標準 SF₃₀₋₆₀ * SL₃₀₋₆₀ と誤差範囲
(身長 1.60-1.75m)

概算の 記録 (s)	T ₃₀₋₆₀ (s)	標準 SF ₃₀₋₆₀ (steps / s) * SL ₃₀₋₆₀ (m / step) [誤 差 範 囲]			
		身長: 1.60m		身長: 1.65m	
9.50	2.49	5.52 * 2.18	[5.19 * 2.32 - 5.84 * 2.06]	5.37 * 2.24	[5.05 * 2.39 - 5.70 * 2.11]
9.60	2.52	5.49 * 2.17	[5.16 * 2.31 - 5.81 * 2.05]	5.35 * 2.23	[5.02 * 2.37 - 5.67 * 2.10]
9.70	2.55	5.46 * 2.16	[5.14 * 2.29 - 5.78 * 2.04]	5.32 * 2.21	[5.00 * 2.36 - 5.64 * 2.09]
9.80	2.57	5.43 * 2.15	[5.12 * 2.28 - 5.75 * 2.03]	5.30 * 2.20	[4.98 * 2.34 - 5.61 * 2.08]
9.90	2.60	5.41 * 2.13	[5.09 * 2.26 - 5.72 * 2.02]	5.27 * 2.19	[4.96 * 2.33 - 5.59 * 2.06]
10.00	2.63	5.38 * 2.12	[5.07 * 2.25 - 5.69 * 2.00]	5.25 * 2.17	[4.94 * 2.31 - 5.56 * 2.05]
10.10	2.66	5.36 * 2.11	[5.05 * 2.24 - 5.66 * 1.99]	5.22 * 2.16	[4.92 * 2.30 - 5.53 * 2.04]
10.20	2.68	5.33 * 2.10	[5.03 * 2.22 - 5.64 * 1.98]	5.20 * 2.15	[4.90 * 2.28 - 5.50 * 2.03]
10.30	2.71	5.31 * 2.08	[5.01 * 2.21 - 5.61 * 1.97]	5.18 * 2.14	[4.88 * 2.27 - 5.48 * 2.02]
10.40	2.74	5.28 * 2.07	[4.99 * 2.20 - 5.58 * 1.96]	5.16 * 2.12	[4.86 * 2.25 - 5.45 * 2.01]
10.50	2.77	5.26 * 2.06	[4.97 * 2.18 - 5.56 * 1.95]	5.13 * 2.11	[4.84 * 2.24 - 5.43 * 2.00]
10.60	2.80	5.24 * 2.05	[4.95 * 2.17 - 5.53 * 1.94]	5.11 * 2.10	[4.82 * 2.23 - 5.40 * 1.99]
10.70	2.82	5.22 * 2.04	[4.93 * 2.16 - 5.51 * 1.93]	5.09 * 2.09	[4.80 * 2.21 - 5.38 * 1.97]
10.80	2.85	5.19 * 2.03	[4.91 * 2.14 - 5.48 * 1.92]	5.07 * 2.07	[4.78 * 2.20 - 5.36 * 1.96]
10.90	2.88	5.17 * 2.01	[4.89 * 2.13 - 5.46 * 1.91]	5.05 * 2.06	[4.77 * 2.19 - 5.33 * 1.95]
11.00	2.91	5.15 * 2.00	[4.87 * 2.12 - 5.43 * 1.90]	5.03 * 2.05	[4.75 * 2.17 - 5.31 * 1.94]
11.10	2.94	5.13 * 1.99	[4.85 * 2.11 - 5.41 * 1.89]	5.01 * 2.04	[4.73 * 2.16 - 5.29 * 1.93]
11.20	2.96	5.11 * 1.98	[4.84 * 2.09 - 5.39 * 1.88]	4.99 * 2.03	[4.72 * 2.15 - 5.27 * 1.92]
11.30	2.99	5.09 * 1.97	[4.82 * 2.08 - 5.37 * 1.87]	4.97 * 2.02	[4.70 * 2.13 - 5.25 * 1.91]
11.40	3.02	5.07 * 1.96	[4.80 * 2.07 - 5.34 * 1.86]	4.96 * 2.01	[4.68 * 2.12 - 5.23 * 1.90]
11.50	3.05	5.05 * 1.95	[4.79 * 2.06 - 5.32 * 1.85]	4.94 * 1.99	[4.67 * 2.11 - 5.21 * 1.89]
11.60	3.07	5.03 * 1.94	[4.77 * 2.05 - 5.30 * 1.84]	4.92 * 1.98	[4.65 * 2.10 - 5.19 * 1.88]
11.70	3.10	5.02 * 1.93	[4.75 * 2.03 - 5.28 * 1.83]	4.90 * 1.97	[4.64 * 2.08 - 5.17 * 1.87]
11.80	3.13	5.00 * 1.92	[4.74 * 2.02 - 5.26 * 1.82]	4.89 * 1.96	[4.62 * 2.07 - 5.15 * 1.86]
11.90	3.16	4.98 * 1.91	[4.72 * 2.01 - 5.24 * 1.81]	4.87 * 1.95	[4.61 * 2.06 - 5.13 * 1.85]
12.00	3.19	4.96 * 1.90	[4.71 * 2.00 - 5.22 * 1.80]	4.85 * 1.94	[4.60 * 2.05 - 5.11 * 1.84]

概算の 記録 (s)	T ₃₀₋₆₀ (s)	標準 SF ₃₀₋₆₀ (steps / s) * SL ₃₀₋₆₀ (m / step) [誤 差 範 囲]			
		身長: 1.70m		身長: 1.75m	
9.50	2.49	5.23 * 2.30	[4.90 * 2.46 - 5.56 * 2.17]	5.09 * 2.37	[4.76 * 2.53 - 5.42 * 2.22]
9.60	2.52	5.21 * 2.29	[4.88 * 2.44 - 5.53 * 2.15]	5.07 * 2.35	[4.74 * 2.51 - 5.39 * 2.21]
9.70	2.55	5.18 * 2.27	[4.86 * 2.42 - 5.50 * 2.14]	5.04 * 2.34	[4.72 * 2.50 - 5.36 * 2.20]
9.80	2.57	5.16 * 2.26	[4.84 * 2.41 - 5.48 * 2.13]	5.02 * 2.32	[4.70 * 2.48 - 5.34 * 2.18]
9.90	2.60	5.14 * 2.25	[4.82 * 2.39 - 5.45 * 2.12]	5.00 * 2.31	[4.68 * 2.46 - 5.31 * 2.17]
10.00	2.63	5.11 * 2.23	[4.80 * 2.38 - 5.42 * 2.10]	4.98 * 2.29	[4.67 * 2.45 - 5.29 * 2.16]
10.10	2.66	5.09 * 2.22	[4.78 * 2.36 - 5.40 * 2.09]	4.96 * 2.28	[4.65 * 2.43 - 5.26 * 2.14]
10.20	2.68	5.07 * 2.20	[4.76 * 2.35 - 5.37 * 2.08]	4.94 * 2.26	[4.63 * 2.41 - 5.24 * 2.13]
10.30	2.71	5.05 * 2.19	[4.75 * 2.33 - 5.35 * 2.07]	4.92 * 2.25	[4.62 * 2.40 - 5.22 * 2.12]
10.40	2.74	5.03 * 2.18	[4.73 * 2.32 - 5.32 * 2.06]	4.90 * 2.24	[4.60 * 2.38 - 5.19 * 2.11]
10.50	2.77	5.01 * 2.17	[4.71 * 2.30 - 5.30 * 2.04]	4.88 * 2.22	[4.58 * 2.36 - 5.17 * 2.10]
10.60	2.80	4.99 * 2.15	[4.69 * 2.29 - 5.28 * 2.03]	4.86 * 2.21	[4.57 * 2.35 - 5.15 * 2.08]
10.70	2.82	4.97 * 2.14	[4.68 * 2.27 - 5.25 * 2.02]	4.84 * 2.19	[4.55 * 2.33 - 5.13 * 2.07]
10.80	2.85	4.95 * 2.13	[4.66 * 2.26 - 5.23 * 2.01]	4.82 * 2.18	[4.54 * 2.32 - 5.11 * 2.06]
10.90	2.88	4.93 * 2.11	[4.64 * 2.24 - 5.21 * 2.00]	4.80 * 2.17	[4.52 * 2.30 - 5.09 * 2.05]
11.00	2.91	4.91 * 2.10	[4.63 * 2.23 - 5.19 * 1.99]	4.79 * 2.16	[4.51 * 2.29 - 5.07 * 2.04]
11.10	2.94	4.89 * 2.09	[4.61 * 2.22 - 5.17 * 1.98]	4.77 * 2.14	[4.49 * 2.28 - 5.05 * 2.02]
11.20	2.96	4.87 * 2.08	[4.60 * 2.20 - 5.15 * 1.97]	4.75 * 2.13	[4.48 * 2.26 - 5.03 * 2.01]
11.30	2.99	4.85 * 2.07	[4.58 * 2.19 - 5.13 * 1.96]	4.74 * 2.12	[4.46 * 2.25 - 5.01 * 2.00]
11.40	3.02	4.84 * 2.05	[4.57 * 2.18 - 5.11 * 1.95]	4.72 * 2.11	[4.45 * 2.23 - 4.99 * 1.99]
11.50	3.05	4.82 * 2.04	[4.55 * 2.16 - 5.09 * 1.93]	4.70 * 2.09	[4.44 * 2.22 - 4.97 * 1.98]
11.60	3.07	4.80 * 2.03	[4.54 * 2.15 - 5.07 * 1.92]	4.69 * 2.08	[4.42 * 2.21 - 4.95 * 1.97]
11.70	3.10	4.79 * 2.02	[4.52 * 2.14 - 5.05 * 1.91]	4.67 * 2.07	[4.41 * 2.19 - 4.94 * 1.96]
11.80	3.13	4.77 * 2.01	[4.51 * 2.12 - 5.03 * 1.90]	4.66 * 2.06	[4.40 * 2.18 - 4.92 * 1.95]
11.90	3.16	4.76 * 2.00	[4.50 * 2.11 - 5.01 * 1.89]	4.64 * 2.05	[4.39 * 2.17 - 4.90 * 1.94]
12.00	3.19	4.74 * 1.99	[4.48 * 2.10 - 5.00 * 1.88]	4.63 * 2.03	[4.37 * 2.15 - 4.89 * 1.93]

† T₃₀₋₆₀: 30m地点から60m地点までの区間時間, SF₃₀₋₆₀: 30m地点から60m地点までの区間平均ステップ頻度,

SL₃₀₋₆₀: 30m地点から60m地点までの区間平均ステップ長

‡ 誤差範囲: 標準SF₃₀₋₆₀ * SL₃₀₋₆₀の±2標準誤差以内. 該当するT₃₀₋₆₀および身長約95%の競技者の

SF₃₀₋₆₀ * SL₃₀₋₆₀が収まる範囲.

表 6.8 100m 走の T_{30-60} ・身長別の標準 SF_{30-60} * SL_{30-60} と誤差範囲
(身長 1.80–1.95m)

概算の 記録 (s)	T_{30-60} (s)	標準 SF_{30-60} (steps / s) * SL_{30-60} (m / step) [誤 差 範 囲]			
		身長: 1.80m		身長: 1.85m	
		標準	誤差	標準	誤差
9.50	2.49	4.95 * 2.44	[4.62 * 2.61 - 5.27 * 2.28]	4.80 * 2.51	[4.48 * 2.69 - 5.13 * 2.35]
9.60	2.52	4.93 * 2.42	[4.60 * 2.59 - 5.25 * 2.27]	4.78 * 2.49	[4.46 * 2.67 - 5.11 * 2.33]
9.70	2.55	4.90 * 2.40	[4.58 * 2.57 - 5.22 * 2.26]	4.76 * 2.47	[4.44 * 2.65 - 5.09 * 2.32]
9.80	2.57	4.88 * 2.39	[4.57 * 2.55 - 5.20 * 2.24]	4.75 * 2.46	[4.43 * 2.63 - 5.06 * 2.30]
9.90	2.60	4.86 * 2.37	[4.55 * 2.54 - 5.18 * 2.23]	4.73 * 2.44	[4.41 * 2.61 - 5.04 * 2.29]
10.00	2.63	4.84 * 2.36	[4.53 * 2.52 - 5.15 * 2.21]	4.71 * 2.42	[4.40 * 2.60 - 5.02 * 2.27]
10.10	2.66	4.82 * 2.34	[4.52 * 2.50 - 5.13 * 2.20]	4.69 * 2.41	[4.38 * 2.58 - 5.00 * 2.26]
10.20	2.68	4.80 * 2.33	[4.50 * 2.48 - 5.11 * 2.19]	4.67 * 2.39	[4.37 * 2.56 - 4.98 * 2.25]
10.30	2.71	4.79 * 2.31	[4.48 * 2.47 - 5.09 * 2.17]	4.65 * 2.38	[4.35 * 2.54 - 4.96 * 2.23]
10.40	2.74	4.77 * 2.30	[4.47 * 2.45 - 5.07 * 2.16]	4.64 * 2.36	[4.34 * 2.52 - 4.94 * 2.22]
10.50	2.77	4.75 * 2.28	[4.45 * 2.43 - 5.04 * 2.15]	4.62 * 2.35	[4.33 * 2.51 - 4.92 * 2.20]
10.60	2.80	4.73 * 2.27	[4.44 * 2.42 - 5.02 * 2.14]	4.60 * 2.33	[4.31 * 2.49 - 4.90 * 2.19]
10.70	2.82	4.71 * 2.25	[4.43 * 2.40 - 5.00 * 2.12]	4.59 * 2.31	[4.30 * 2.47 - 4.88 * 2.18]
10.80	2.85	4.70 * 2.24	[4.41 * 2.38 - 4.98 * 2.11]	4.57 * 2.30	[4.29 * 2.45 - 4.86 * 2.16]
10.90	2.88	4.68 * 2.23	[4.40 * 2.37 - 4.96 * 2.10]	4.56 * 2.29	[4.27 * 2.44 - 4.84 * 2.15]
11.00	2.91	4.66 * 2.21	[4.38 * 2.35 - 4.95 * 2.09]	4.54 * 2.27	[4.26 * 2.42 - 4.82 * 2.14]
11.10	2.94	4.65 * 2.20	[4.37 * 2.34 - 4.93 * 2.07]	4.53 * 2.26	[4.25 * 2.40 - 4.81 * 2.13]
11.20	2.96	4.63 * 2.19	[4.36 * 2.32 - 4.91 * 2.06]	4.51 * 2.24	[4.24 * 2.39 - 4.79 * 2.11]
11.30	2.99	4.62 * 2.17	[4.34 * 2.31 - 4.89 * 2.05]	4.50 * 2.23	[4.23 * 2.37 - 4.77 * 2.10]
11.40	3.02	4.60 * 2.16	[4.33 * 2.29 - 4.87 * 2.04]	4.49 * 2.22	[4.21 * 2.36 - 4.76 * 2.09]
11.50	3.05	4.59 * 2.15	[4.32 * 2.28 - 4.86 * 2.03]	4.47 * 2.20	[4.20 * 2.34 - 4.74 * 2.08]
11.60	3.07	4.57 * 2.13	[4.31 * 2.27 - 4.84 * 2.02]	4.46 * 2.19	[4.19 * 2.33 - 4.72 * 2.07]
11.70	3.10	4.56 * 2.12	[4.30 * 2.25 - 4.82 * 2.01]	4.45 * 2.18	[4.18 * 2.31 - 4.71 * 2.05]
11.80	3.13	4.55 * 2.11	[4.28 * 2.24 - 4.81 * 1.99]	4.43 * 2.16	[4.17 * 2.30 - 4.69 * 2.04]
11.90	3.16	4.53 * 2.10	[4.27 * 2.22 - 4.79 * 1.98]	4.42 * 2.15	[4.16 * 2.28 - 4.68 * 2.03]
12.00	3.19	4.52 * 2.08	[4.26 * 2.21 - 4.77 * 1.97]	4.41 * 2.14	[4.15 * 2.27 - 4.66 * 2.02]

概算の 記録 (s)	T_{30-60} (s)	標準 SF_{30-60} (steps / s) * SL_{30-60} (m / step) [誤 差 範 囲]			
		身長: 1.90m		身長: 1.95m	
		標準	誤差	標準	誤差
9.50	2.49	4.66 * 2.58	[4.33 * 2.78 - 4.99 * 2.41]	4.52 * 2.67	[4.19 * 2.87 - 4.85 * 2.49]
9.60	2.52	4.64 * 2.57	[4.32 * 2.76 - 4.97 * 2.40]	4.50 * 2.65	[4.18 * 2.85 - 4.83 * 2.47]
9.70	2.55	4.63 * 2.55	[4.30 * 2.74 - 4.95 * 2.38]	4.49 * 2.63	[4.17 * 2.83 - 4.81 * 2.45]
9.80	2.57	4.61 * 2.53	[4.29 * 2.72 - 4.92 * 2.37]	4.47 * 2.61	[4.15 * 2.81 - 4.79 * 2.44]
9.90	2.60	4.59 * 2.51	[4.28 * 2.70 - 4.90 * 2.35]	4.45 * 2.59	[4.14 * 2.79 - 4.77 * 2.42]
10.00	2.63	4.57 * 2.50	[4.26 * 2.68 - 4.88 * 2.34]	4.44 * 2.57	[4.13 * 2.76 - 4.75 * 2.40]
10.10	2.66	4.56 * 2.48	[4.25 * 2.66 - 4.86 * 2.32]	4.42 * 2.55	[4.12 * 2.74 - 4.73 * 2.39]
10.20	2.68	4.54 * 2.46	[4.24 * 2.64 - 4.84 * 2.31]	4.41 * 2.53	[4.10 * 2.72 - 4.71 * 2.37]
10.30	2.71	4.52 * 2.44	[4.22 * 2.62 - 4.83 * 2.29]	4.39 * 2.52	[4.09 * 2.70 - 4.69 * 2.36]
10.40	2.74	4.51 * 2.43	[4.21 * 2.60 - 4.81 * 2.28]	4.38 * 2.50	[4.08 * 2.68 - 4.68 * 2.34]
10.50	2.77	4.49 * 2.41	[4.20 * 2.58 - 4.79 * 2.26]	4.37 * 2.48	[4.07 * 2.66 - 4.66 * 2.33]
10.60	2.80	4.48 * 2.40	[4.19 * 2.56 - 4.77 * 2.25]	4.35 * 2.47	[4.06 * 2.64 - 4.64 * 2.31]
10.70	2.82	4.46 * 2.38	[4.17 * 2.55 - 4.75 * 2.24]	4.34 * 2.45	[4.05 * 2.62 - 4.63 * 2.30]
10.80	2.85	4.45 * 2.36	[4.16 * 2.53 - 4.74 * 2.22]	4.32 * 2.43	[4.04 * 2.60 - 4.61 * 2.28]
10.90	2.88	4.43 * 2.35	[4.15 * 2.51 - 4.72 * 2.21]	4.31 * 2.42	[4.03 * 2.59 - 4.60 * 2.27]
11.00	2.91	4.42 * 2.33	[4.14 * 2.49 - 4.70 * 2.19]	4.30 * 2.40	[4.02 * 2.57 - 4.58 * 2.25]
11.10	2.94	4.41 * 2.32	[4.13 * 2.48 - 4.69 * 2.18]	4.29 * 2.38	[4.01 * 2.55 - 4.56 * 2.24]
11.20	2.96	4.39 * 2.30	[4.12 * 2.46 - 4.67 * 2.17]	4.27 * 2.37	[4.00 * 2.53 - 4.55 * 2.23]
11.30	2.99	4.38 * 2.29	[4.11 * 2.44 - 4.65 * 2.16]	4.26 * 2.35	[3.99 * 2.51 - 4.54 * 2.21]
11.40	3.02	4.37 * 2.28	[4.10 * 2.43 - 4.64 * 2.14]	4.25 * 2.34	[3.98 * 2.50 - 4.52 * 2.20]
11.50	3.05	4.36 * 2.26	[4.09 * 2.41 - 4.62 * 2.13]	4.24 * 2.32	[3.97 * 2.48 - 4.51 * 2.18]
11.60	3.07	4.34 * 2.25	[4.08 * 2.39 - 4.61 * 2.12]	4.23 * 2.31	[3.96 * 2.46 - 4.49 * 2.17]
11.70	3.10	4.33 * 2.23	[4.07 * 2.38 - 4.59 * 2.10]	4.22 * 2.29	[3.95 * 2.45 - 4.48 * 2.16]
11.80	3.13	4.32 * 2.22	[4.06 * 2.36 - 4.58 * 2.09]	4.21 * 2.28	[3.94 * 2.43 - 4.47 * 2.15]
11.90	3.16	4.31 * 2.21	[4.05 * 2.35 - 4.57 * 2.08]	4.19 * 2.26	[3.94 * 2.41 - 4.45 * 2.13]
12.00	3.19	4.30 * 2.19	[4.04 * 2.33 - 4.55 * 2.07]	4.18 * 2.25	[3.93 * 2.40 - 4.44 * 2.12]

† T_{30-60} : 30m地点から60m地点までの区間時間, SF_{30-60} : 30m地点から60m地点までの区間平均ステップ頻度,

SL_{30-60} : 30m地点から60m地点までの区間平均ステップ長

‡ 誤差範囲: 標準 SF_{30-60} * SL_{30-60} の ± 2 標準誤差以内. 該当する T_{30-60} および身長の約95%の競技者の

SF_{30-60} * SL_{30-60} が収まる範囲.

(2) 走時間・身長別の標準支持時間，標準滞空時間，および標準滞空比

(1) 以外に，本研究では，日本人男子競技者を対象に 100m 走のレース全体および各区分において，走時間および身長と支持時間，滞空時間，もしくは滞空比との相関関係を検証し，走時間・身長別の標準支持時間，標準滞空時間，および標準滞空比を算出する重回帰推定式を作成することが目的であった。

先行研究（宮代，2012）では，記録が平均支持時間および平均滞空比との間に，それぞれ弱い正の相関関係（ $r = 0.36$, $p < 0.05$, $n = 111$ ），弱い負の相関関係（ $r = -0.23$, $p < 0.05$, $n = 111$ ）を示すものの，平均滞空時間との間には関係を示さないこと（宮代，2012）が報告されている。本研究では，記録と平均支持時間との間に有意な正の相関関係が認められたものの（ $r = 0.306$, $p < 0.05$, 図 6.3），平均滞空時間および平均滞空比（ $r = -0.175$, $p = 0.081$, 図 6.6）との間には相関関係が認められなかった。このことは，先行研究とほぼ一致する結果が得られたことを示しており，本研究において妥当なデータが収集されたと考えられる。

走時間は支持時間および滞空比，身長は支持時間および滞空時間との間に相関関係を示した（図 6.3–6.6）。さらに，これらの各 2 変数間の関係をより正確に検証すると，走時間は支持時間および滞空比，身長は支持時間および滞空時間との間に直線的な偏相関関係を示した（図 6.10–6.12）。以上より，走時間および身長を独立変数とし，支持時間，滞空時間，および滞空比を従属変数とする重回帰分析により，走時間・身長別の標準支持時間，身長別の標準滞空時間，および走時間別の標準滞空比を算出する重回帰式を作成することが可能であると考えられる。実際に，ステップワイズ法による重回帰分析を実施したところ，そのように重回帰式が作成された（表 6.3–6.5）。

重回帰式における走時間の回帰係数を見ると，支持時間において正の回帰係数であり（表 6.3），滞空比において負の回帰係数であることから（表 6.5），身長が同じ場合には走時間が短いほど標準支持時間（ ST_{100} , ST_{60} , ST_{90} , ST_{30-60} , ST_{60-90} , ST_{90-100} ）が短く，標準滞空比（ FSR_{30-60} , FSR_{60-90} ）が高い関係である。また，同じく身長の回帰係数を見ると，支持時間および滞空時間において正の回帰係数であることから（表 6.3, 表 6.4），走時間が同じ場合には身長が低いほど標準支持時間（ ST_{100} , ST_{30} , ST_{60} , ST_{90} , ST_{30-60} , ST_{60-90} , ST_{90-100} ）および標準滞空時間（ FT_{100} , FT_{30} , FT_{60} , FT_{90} , FT_{30-60} , FT_{60-90} , FT_{90-100} ）が短い関係である。実際に，各回帰式の推定値を算出すると，これらの関係が成立していることがよく分かる（表 6.9, 表 6.10）。これら本研究の結果は，先行研究（宮代，2012；杉田，2003b；谷川・内藤，2015）の結果を支持するので，本研究で示された走時間・身長別の標準支持時間，身長別の標準滞空時間，および走時間別の標準滞空比を算出する重回帰式は，理論的に適切なものであると考えられる。

最後に、各重回帰式の推定精度指標を評価した。決定係数の範囲は、支持時間で0.245—0.492 (表 6.3)、滞空時間で0.078—0.133 (表 6.4)、滞空比で0.077—0.086 (表 6.5)であった。自由度調整済み決定係数の範囲は、支持時間で0.237—0.482 (表 6.3)、滞空時間で0.069—0.124 (表 6.4)、滞空比で0.068—0.076 (表 6.5)であった。ST₃₀を除く各支持時間における重回帰式の決定係数および自由度調整済み決定係数は、ステップワイズ法により得られたものであるため、身長のみを独立変数とした単回帰式の決定係数 (表 6.3) よりも高い。また、自由度調整済み決定係数は、ST₃₀を除く各支持時間において0.26を上回り、「大きい」と評価される効果量であったが、ST₃₀において「中等度」、滞空時間および滞空比において0.13を下回り、「小さい」とされる効果量であった。加えて、これらの回帰式 (表 6.3—6.5) は100名の競技者を対象にして得られたものである。

以上より、走時間・身長別の標準支持時間 (ST₁₀₀, ST₆₀, ST₉₀, ST₃₀₋₆₀, ST₆₀₋₉₀, ST₉₀₋₁₀₀) を算出する重回帰式と、身長別の標準ST₃₀、身長別の標準滞空時間、および走時間別の標準滞空比 (FSR₃₀₋₆₀, FSR₆₀₋₉₀) を算出する単回帰式が新たに作成され、特に走時間・身長別の標準支持時間を算出する重回帰式は推定精度の高いものであると考えられる。

表 6.9 100m 走の記録・身長別の標準 ST₁₀₀ と誤差範囲

記録 (s)	標準 ST ₁₀₀ [誤 差 範 囲] (s)			
	身長: 1.60m	身長: 1.65m	身長: 1.70m	身長: 1.75m
9.50	0.087 [0.078 - 0.096]	0.091 [0.082 - 0.100]	0.094 [0.085 - 0.104]	0.098 [0.089 - 0.107]
9.60	0.088 [0.079 - 0.097]	0.092 [0.082 - 0.101]	0.095 [0.086 - 0.104]	0.099 [0.090 - 0.108]
9.70	0.089 [0.080 - 0.098]	0.092 [0.083 - 0.101]	0.096 [0.087 - 0.105]	0.099 [0.090 - 0.108]
9.80	0.089 [0.080 - 0.098]	0.093 [0.084 - 0.102]	0.096 [0.087 - 0.106]	0.100 [0.091 - 0.109]
9.90	0.090 [0.081 - 0.099]	0.094 [0.084 - 0.103]	0.097 [0.088 - 0.106]	0.101 [0.091 - 0.110]
10.00	0.091 [0.082 - 0.100]	0.094 [0.085 - 0.103]	0.098 [0.089 - 0.107]	0.101 [0.092 - 0.110]
10.10	0.091 [0.082 - 0.100]	0.095 [0.086 - 0.104]	0.098 [0.089 - 0.107]	0.102 [0.093 - 0.111]
10.20	0.092 [0.083 - 0.101]	0.096 [0.086 - 0.105]	0.099 [0.090 - 0.108]	0.103 [0.093 - 0.112]
10.30	0.093 [0.084 - 0.102]	0.096 [0.087 - 0.105]	0.100 [0.091 - 0.109]	0.103 [0.094 - 0.112]
10.40	0.093 [0.084 - 0.102]	0.097 [0.088 - 0.106]	0.100 [0.091 - 0.109]	0.104 [0.095 - 0.113]
10.50	0.094 [0.085 - 0.103]	0.097 [0.088 - 0.107]	0.101 [0.092 - 0.110]	0.105 [0.095 - 0.114]
10.60	0.095 [0.085 - 0.104]	0.098 [0.089 - 0.107]	0.102 [0.093 - 0.111]	0.105 [0.096 - 0.114]
10.70	0.095 [0.086 - 0.104]	0.099 [0.090 - 0.108]	0.102 [0.093 - 0.111]	0.106 [0.097 - 0.115]
10.80	0.096 [0.087 - 0.105]	0.099 [0.090 - 0.109]	0.103 [0.094 - 0.112]	0.107 [0.097 - 0.116]
10.90	0.097 [0.087 - 0.106]	0.100 [0.091 - 0.109]	0.104 [0.095 - 0.113]	0.107 [0.098 - 0.116]
11.00	0.097 [0.088 - 0.106]	0.101 [0.092 - 0.110]	0.104 [0.095 - 0.113]	0.108 [0.099 - 0.117]
11.10	0.098 [0.089 - 0.107]	0.101 [0.092 - 0.111]	0.105 [0.096 - 0.114]	0.108 [0.099 - 0.118]
11.20	0.099 [0.089 - 0.108]	0.102 [0.093 - 0.111]	0.106 [0.097 - 0.115]	0.109 [0.100 - 0.118]
11.30	0.099 [0.090 - 0.108]	0.103 [0.094 - 0.112]	0.106 [0.097 - 0.115]	0.110 [0.101 - 0.119]
11.40	0.100 [0.091 - 0.109]	0.103 [0.094 - 0.112]	0.107 [0.098 - 0.116]	0.110 [0.101 - 0.120]
11.50	0.101 [0.091 - 0.110]	0.104 [0.095 - 0.113]	0.108 [0.098 - 0.117]	0.111 [0.102 - 0.120]
11.60	0.101 [0.092 - 0.110]	0.105 [0.096 - 0.114]	0.108 [0.099 - 0.117]	0.112 [0.103 - 0.121]
11.70	0.102 [0.093 - 0.111]	0.105 [0.096 - 0.114]	0.109 [0.100 - 0.118]	0.112 [0.103 - 0.122]
11.80	0.102 [0.093 - 0.112]	0.106 [0.097 - 0.115]	0.110 [0.100 - 0.119]	0.113 [0.104 - 0.122]
11.90	0.103 [0.094 - 0.112]	0.107 [0.098 - 0.116]	0.110 [0.101 - 0.119]	0.114 [0.105 - 0.123]
12.00	0.104 [0.095 - 0.113]	0.107 [0.098 - 0.116]	0.111 [0.102 - 0.120]	0.114 [0.105 - 0.123]

記録 (s)	標準 ST ₁₀₀ [誤 差 範 囲] (s)			
	身長: 1.80m	身長: 1.85m	身長: 1.90m	身長: 1.95m
9.50	0.102 [0.092 - 0.111]	0.105 [0.096 - 0.114]	0.109 [0.099 - 0.118]	0.112 [0.103 - 0.121]
9.60	0.102 [0.093 - 0.111]	0.106 [0.097 - 0.115]	0.109 [0.100 - 0.118]	0.113 [0.104 - 0.122]
9.70	0.103 [0.094 - 0.112]	0.106 [0.097 - 0.115]	0.110 [0.101 - 0.119]	0.113 [0.104 - 0.123]
9.80	0.103 [0.094 - 0.113]	0.107 [0.098 - 0.116]	0.111 [0.101 - 0.120]	0.114 [0.105 - 0.123]
9.90	0.104 [0.095 - 0.113]	0.108 [0.099 - 0.117]	0.111 [0.102 - 0.120]	0.115 [0.106 - 0.124]
10.00	0.105 [0.096 - 0.114]	0.108 [0.099 - 0.117]	0.112 [0.103 - 0.121]	0.115 [0.106 - 0.124]
10.10	0.105 [0.096 - 0.115]	0.109 [0.100 - 0.118]	0.113 [0.103 - 0.122]	0.116 [0.107 - 0.125]
10.20	0.106 [0.097 - 0.115]	0.110 [0.101 - 0.119]	0.113 [0.104 - 0.122]	0.117 [0.108 - 0.126]
10.30	0.107 [0.098 - 0.116]	0.110 [0.101 - 0.119]	0.114 [0.105 - 0.123]	0.117 [0.108 - 0.126]
10.40	0.107 [0.098 - 0.117]	0.111 [0.102 - 0.120]	0.114 [0.105 - 0.124]	0.118 [0.109 - 0.127]
10.50	0.108 [0.099 - 0.117]	0.112 [0.103 - 0.121]	0.115 [0.106 - 0.124]	0.119 [0.110 - 0.128]
10.60	0.109 [0.100 - 0.118]	0.112 [0.103 - 0.121]	0.116 [0.107 - 0.125]	0.119 [0.110 - 0.128]
10.70	0.109 [0.100 - 0.118]	0.113 [0.104 - 0.122]	0.116 [0.107 - 0.126]	0.120 [0.111 - 0.129]
10.80	0.110 [0.101 - 0.119]	0.114 [0.104 - 0.123]	0.117 [0.108 - 0.126]	0.121 [0.112 - 0.130]
10.90	0.111 [0.102 - 0.120]	0.114 [0.105 - 0.123]	0.118 [0.109 - 0.127]	0.121 [0.112 - 0.130]
11.00	0.111 [0.102 - 0.120]	0.115 [0.106 - 0.124]	0.118 [0.109 - 0.128]	0.122 [0.113 - 0.131]
11.10	0.112 [0.103 - 0.121]	0.116 [0.106 - 0.125]	0.119 [0.110 - 0.128]	0.123 [0.114 - 0.132]
11.20	0.113 [0.104 - 0.122]	0.116 [0.107 - 0.125]	0.120 [0.111 - 0.129]	0.123 [0.114 - 0.132]
11.30	0.113 [0.104 - 0.122]	0.117 [0.108 - 0.126]	0.120 [0.111 - 0.129]	0.124 [0.115 - 0.133]
11.40	0.114 [0.105 - 0.123]	0.118 [0.108 - 0.127]	0.121 [0.112 - 0.130]	0.125 [0.115 - 0.134]
11.50	0.115 [0.106 - 0.124]	0.118 [0.109 - 0.127]	0.122 [0.113 - 0.131]	0.125 [0.116 - 0.134]
11.60	0.115 [0.106 - 0.124]	0.119 [0.110 - 0.128]	0.122 [0.113 - 0.131]	0.126 [0.117 - 0.135]
11.70	0.116 [0.107 - 0.125]	0.119 [0.110 - 0.129]	0.123 [0.114 - 0.132]	0.127 [0.117 - 0.136]
11.80	0.117 [0.108 - 0.126]	0.120 [0.111 - 0.129]	0.124 [0.115 - 0.133]	0.127 [0.118 - 0.136]
11.90	0.117 [0.108 - 0.126]	0.121 [0.112 - 0.130]	0.124 [0.115 - 0.133]	0.128 [0.119 - 0.137]
12.00	0.118 [0.109 - 0.127]	0.121 [0.112 - 0.131]	0.125 [0.116 - 0.134]	0.129 [0.119 - 0.138]

† ST₁₀₀: スタート直後のステップ接地からゴール (100m) 地点通過直前のステップ接地までの平均支持時間

‡ 誤差範囲: 重回帰式の推定値 (標準ST₁₀₀) の±2標準誤差以内、該当する記録および身長の約95%の競技者のST₁₀₀が収まる範囲。

表 6.10 100m 走の T_{30-60} ・身長別の標準 ST_{30-60} と誤差範囲

概算の 記録 (s)	T_{30-60} (s)	標準 ST_{30-60} [誤 差 範 囲] (s)			
		身長: 1.60m	身長: 1.65m	身長: 1.70m	身長: 1.75m
9.50	2.49	0.076 [0.067 - 0.084]	0.079 [0.070 - 0.088]	0.082 [0.073 - 0.091]	0.086 [0.077 - 0.095]
9.60	2.52	0.076 [0.068 - 0.085]	0.080 [0.071 - 0.089]	0.083 [0.074 - 0.092]	0.087 [0.078 - 0.096]
9.70	2.55	0.077 [0.068 - 0.086]	0.081 [0.072 - 0.090]	0.084 [0.075 - 0.093]	0.087 [0.079 - 0.096]
9.80	2.57	0.078 [0.069 - 0.087]	0.082 [0.073 - 0.090]	0.085 [0.076 - 0.094]	0.088 [0.079 - 0.097]
9.90	2.60	0.079 [0.070 - 0.088]	0.082 [0.073 - 0.091]	0.086 [0.077 - 0.095]	0.089 [0.080 - 0.098]
10.00	2.63	0.080 [0.071 - 0.089]	0.083 [0.074 - 0.092]	0.087 [0.078 - 0.096]	0.090 [0.081 - 0.099]
10.10	2.66	0.081 [0.072 - 0.090]	0.084 [0.075 - 0.093]	0.087 [0.079 - 0.096]	0.091 [0.082 - 0.100]
10.20	2.68	0.082 [0.073 - 0.090]	0.085 [0.076 - 0.094]	0.088 [0.079 - 0.097]	0.092 [0.083 - 0.101]
10.30	2.71	0.082 [0.073 - 0.091]	0.086 [0.077 - 0.095]	0.089 [0.080 - 0.098]	0.093 [0.084 - 0.101]
10.40	2.74	0.083 [0.074 - 0.092]	0.087 [0.078 - 0.096]	0.090 [0.081 - 0.099]	0.093 [0.085 - 0.102]
10.50	2.77	0.084 [0.075 - 0.093]	0.087 [0.079 - 0.096]	0.091 [0.082 - 0.100]	0.094 [0.085 - 0.103]
10.60	2.80	0.085 [0.076 - 0.094]	0.088 [0.079 - 0.097]	0.092 [0.083 - 0.101]	0.095 [0.086 - 0.104]
10.70	2.82	0.086 [0.077 - 0.095]	0.089 [0.080 - 0.098]	0.093 [0.084 - 0.101]	0.096 [0.087 - 0.105]
10.80	2.85	0.087 [0.078 - 0.096]	0.090 [0.081 - 0.099]	0.093 [0.085 - 0.102]	0.097 [0.088 - 0.106]
10.90	2.88	0.087 [0.079 - 0.096]	0.091 [0.082 - 0.100]	0.094 [0.085 - 0.103]	0.098 [0.089 - 0.107]
11.00	2.91	0.088 [0.079 - 0.097]	0.092 [0.083 - 0.101]	0.095 [0.086 - 0.104]	0.099 [0.090 - 0.107]
11.10	2.94	0.089 [0.080 - 0.098]	0.093 [0.084 - 0.101]	0.096 [0.087 - 0.105]	0.099 [0.090 - 0.108]
11.20	2.96	0.090 [0.081 - 0.099]	0.093 [0.085 - 0.102]	0.097 [0.088 - 0.106]	0.100 [0.091 - 0.109]
11.30	2.99	0.091 [0.082 - 0.100]	0.094 [0.085 - 0.103]	0.098 [0.089 - 0.107]	0.101 [0.092 - 0.110]
11.40	3.02	0.092 [0.083 - 0.101]	0.095 [0.086 - 0.104]	0.099 [0.090 - 0.107]	0.102 [0.093 - 0.111]
11.50	3.05	0.093 [0.084 - 0.101]	0.096 [0.087 - 0.105]	0.099 [0.090 - 0.108]	0.103 [0.094 - 0.112]
11.60	3.07	0.093 [0.085 - 0.102]	0.097 [0.088 - 0.106]	0.100 [0.091 - 0.109]	0.104 [0.095 - 0.113]
11.70	3.10	0.094 [0.085 - 0.103]	0.098 [0.089 - 0.107]	0.101 [0.092 - 0.110]	0.104 [0.096 - 0.113]
11.80	3.13	0.095 [0.086 - 0.104]	0.099 [0.090 - 0.107]	0.102 [0.093 - 0.111]	0.105 [0.096 - 0.114]
11.90	3.16	0.096 [0.087 - 0.105]	0.099 [0.090 - 0.108]	0.103 [0.094 - 0.112]	0.106 [0.097 - 0.115]
12.00	3.19	0.097 [0.088 - 0.106]	0.100 [0.091 - 0.109]	0.104 [0.095 - 0.113]	0.107 [0.098 - 0.116]

概算の 記録 (s)	T_{30-60} (s)	標準 ST_{30-60} [誤 差 範 囲] (s)			
		身長: 1.80m	身長: 1.85m	身長: 1.90m	身長: 1.95m
9.50	2.49	0.089 [0.080 - 0.098]	0.093 [0.084 - 0.101]	0.096 [0.087 - 0.105]	0.099 [0.090 - 0.108]
9.60	2.52	0.090 [0.081 - 0.099]	0.093 [0.085 - 0.102]	0.097 [0.088 - 0.106]	0.100 [0.091 - 0.109]
9.70	2.55	0.091 [0.082 - 0.100]	0.094 [0.085 - 0.103]	0.098 [0.089 - 0.107]	0.101 [0.092 - 0.110]
9.80	2.57	0.092 [0.083 - 0.101]	0.095 [0.086 - 0.104]	0.099 [0.090 - 0.107]	0.102 [0.093 - 0.111]
9.90	2.60	0.093 [0.084 - 0.101]	0.096 [0.087 - 0.105]	0.099 [0.090 - 0.108]	0.103 [0.094 - 0.112]
10.00	2.63	0.093 [0.085 - 0.102]	0.097 [0.088 - 0.106]	0.100 [0.091 - 0.109]	0.104 [0.095 - 0.113]
10.10	2.66	0.094 [0.085 - 0.103]	0.098 [0.089 - 0.107]	0.101 [0.092 - 0.110]	0.104 [0.096 - 0.113]
10.20	2.68	0.095 [0.086 - 0.104]	0.099 [0.090 - 0.107]	0.102 [0.093 - 0.111]	0.105 [0.096 - 0.114]
10.30	2.71	0.096 [0.087 - 0.105]	0.099 [0.090 - 0.108]	0.103 [0.094 - 0.112]	0.106 [0.097 - 0.115]
10.40	2.74	0.097 [0.088 - 0.106]	0.100 [0.091 - 0.109]	0.104 [0.095 - 0.113]	0.107 [0.098 - 0.116]
10.50	2.77	0.098 [0.089 - 0.107]	0.101 [0.092 - 0.110]	0.104 [0.096 - 0.113]	0.108 [0.099 - 0.117]
10.60	2.80	0.099 [0.090 - 0.107]	0.102 [0.093 - 0.111]	0.105 [0.096 - 0.114]	0.109 [0.100 - 0.118]
10.70	2.82	0.099 [0.090 - 0.108]	0.103 [0.094 - 0.112]	0.106 [0.097 - 0.115]	0.110 [0.101 - 0.118]
10.80	2.85	0.100 [0.091 - 0.109]	0.104 [0.095 - 0.113]	0.107 [0.098 - 0.116]	0.110 [0.101 - 0.119]
10.90	2.88	0.101 [0.092 - 0.110]	0.104 [0.096 - 0.113]	0.108 [0.099 - 0.117]	0.111 [0.102 - 0.120]
11.00	2.91	0.102 [0.093 - 0.111]	0.105 [0.096 - 0.114]	0.109 [0.100 - 0.118]	0.112 [0.103 - 0.121]
11.10	2.94	0.103 [0.094 - 0.112]	0.106 [0.097 - 0.115]	0.110 [0.101 - 0.118]	0.113 [0.104 - 0.122]
11.20	2.96	0.104 [0.095 - 0.113]	0.107 [0.098 - 0.116]	0.110 [0.101 - 0.119]	0.114 [0.105 - 0.123]
11.30	2.99	0.104 [0.096 - 0.113]	0.108 [0.099 - 0.117]	0.111 [0.102 - 0.120]	0.115 [0.106 - 0.124]
11.40	3.02	0.105 [0.096 - 0.114]	0.109 [0.100 - 0.118]	0.112 [0.103 - 0.121]	0.115 [0.107 - 0.124]
11.50	3.05	0.106 [0.097 - 0.115]	0.110 [0.101 - 0.118]	0.113 [0.104 - 0.122]	0.116 [0.107 - 0.125]
11.60	3.07	0.107 [0.098 - 0.116]	0.110 [0.101 - 0.119]	0.114 [0.105 - 0.123]	0.117 [0.108 - 0.126]
11.70	3.10	0.108 [0.099 - 0.117]	0.111 [0.102 - 0.120]	0.115 [0.106 - 0.124]	0.118 [0.109 - 0.127]
11.80	3.13	0.109 [0.100 - 0.118]	0.112 [0.103 - 0.121]	0.115 [0.107 - 0.124]	0.119 [0.110 - 0.128]
11.90	3.16	0.110 [0.101 - 0.118]	0.113 [0.104 - 0.122]	0.116 [0.107 - 0.125]	0.120 [0.111 - 0.129]
12.00	3.19	0.110 [0.101 - 0.119]	0.114 [0.105 - 0.123]	0.117 [0.108 - 0.126]	0.121 [0.112 - 0.129]

† T_{30-60} : 30-60m区間時間, ST_{30-60} : 30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地までの平均支持時間‡ 誤差範囲: 重回帰式の推定値 (標準 ST_{30-60}) の ± 2 標準誤差以内. 該当する T_{30-60} および身長の約95%の競技者の ST_{30-60} が収まる範囲.

2. 重回帰式の適用範囲

(1) 標準ステップ数

走時間・身長別の標準ステップ数の重回帰式は、100m 走の記録範囲が 10.28—11.11s、身長範囲が 1.62—1.88m の日本人男子競技者 145 名を対象にして作成されたものであることから、各範囲内における走時間・身長別の標準ステップ数、標準ステップ頻度、および標準ステップ長の精度は保証されていると考えられる。しかし、範囲外で算出すると誤差が大きくなる可能性がある。文献（阿江ほか, 1994 ; 野口, 2009 ; 谷川・内藤, 2015）には、現世界記録保持者の BOLT 選手, 現アメリカ記録保持者の GAY 選手, 前世界記録保持者の POWELL 選手, 元世界記録保持者の LEWIS 選手, 日本歴代 2 位記録保持者の桐生選手(彼らの身長はそれぞれ, 1.96m, 1.80m, 1.90m, 1.88m, 1.75m) の記録がそれぞれ 9.58s, 9.71s, 9.84s, 9.86s, 10.01s であった時に、彼らの S_{100} がそれぞれ 40.92steps, 45.40steps, 44.45steps, 42.9steps, 47.3steps であったことが報告されている。この時、これら 5 名の走時間・身長別の標準 S_{100} [誤差範囲] は、それぞれ 40.94 [38.11—43.76] steps, 45.17 [42.35—47.99] steps, 43.10 [40.28—45.92] steps, 43.64 [40.82—46.46], 47.20 [44.34—50.06] steps となるので、5 名とも個々の S_{100} が走時間・身長別の標準 S_{100} に近い値の誤差範囲内である。これら事例の結果は、本研究で明らかにされた走時間・身長別の標準ステップ数を算出する重回帰式が、本研究対象者の記録範囲および身長範囲を超えても適用できる可能性があることを示唆している。しかしながら、ステップ変数はより直接的には身長よりも下肢長に左右され (Mann, 2011), 外国人陸上競技者は日本人陸上競技者と比較して、身長に対する下肢長の割合が高い (日本体育協会, 1965) ことも明らかにされている。したがって、本研究の重回帰式による推定値を、外国人競技者のための走時間・身長別の標準ステップ数とするには問題が無いとはいえない可能性も考えられる。すなわち、外国人競技者のための走時間・身長別の標準ステップ数は、日本人競技者のものと比較して少ない可能性がある。

(2) 標準支持時間, 標準滞空時間, および標準滞空比

走時間・身長別の標準支持時間, 身長別の標準滞空時間, および走時間別の標準滞空比を算出する重回帰式は、100m 走の記録範囲が 10.30—11.28s、身長範囲が 1.65—1.85m の日本人男子競技者 100 名を対象にして作成されたものであることから、各範囲内における走時間・身長別の標準支持時間, 身長別の滞空時間, および走時間別の滞空比の精度は保証されていると考えられる。しかし、範囲外で算出すると誤差が大きくなる可能性がある。

これまでの研究において、100m 走の支持時間, 滞空時間, および滞空比を測定し、

公表したものが見当たらないので断言することは不可能であるが、標準ステップ数において対象者の記録範囲や身長範囲を超えても、走時間・身長別の標準ステップ数を算出する重回帰式が適用できる可能性があることから、走時間・身長別の標準支持時間、身長別の標準滞空時間、および走時間別の標準滞空比を算出する重回帰式も、対象者の記録範囲および身長範囲を超えても適用できる可能性がある。また、標準ステップ数と同様に、下肢長が直接的にステップ変数を左右すること (Mann, 2011)、外国人陸上競技者が日本人陸上競技者と比較して、身長に対する下肢長の割合が高いこと (日本体育協会, 1965) から、これらの重回帰式による推定値を、外国人競技者に対して適用するには問題が無いとはいえない可能性がある。

ところで、支持時間および滞空時間は、ステップ頻度の構成要因 (下位要因) である (Hunter et al., 2004)。また、ステップ頻度は支持時間との間に負の相関関係を示すものの、滞空時間との間には相関関係を示さないことが報告されている (Hunter et al., 2004)。このことは、走時間や身長だけでなく、ステップ頻度によっても支持時間と滞空時間の組み合わせ (滞空比) が異なる可能性があることを示唆するものである。そこで、走時間 (100m 走の記録, 通過時間, 区間時間) および身長だけでなく、ステップ頻度も独立変数として加え、標準滞空比を算出する重回帰式 (強制投入法) の作成を試験的に試みた。その結果、 FSR_{100} 、 FSR_{90} 、 FSR_{30-60} 、 FSR_{60-90} 、および FSR_{90-100} において、3つの独立変数 (走時間, 身長, ステップ頻度) が $p < 0.05$ であり (表 6.11)、従属変数への影響度が高く、有意な重回帰式が得られた (表 6.12)。また、自由度調整済み決定係数は、 FSR_{30-60} および FSR_{60-90} において 0.13 を上回り、 FSR_{90-100} においては 0.26 を上回り、それぞれ、「中等度」、「中等度」、「大きい」と評価される効果量であった (表 6.12)。これらから、特に 30–60m 区間, 60–90m 区間, および 90–100m 区間において、走時間および身長だけでなく、ステップ頻度によって滞空比が変化すると考えられる。その一方、決定係数は 1 ではないので (0.044–0.416, 表 6.12)、走時間, 身長, およびステップ頻度が同じ場合でも、滞空比 (支持時間, 滞空時間) にはバラつき (個人差) があるとも捉えられる。以上より、ステップ頻度の構成要因である支持時間, 滞空時間, およびそれらの組み合わせ (滞空比) においては、30–60m 区間, 60–90m 区間, および 90–100m 区間で走時間, 身長, およびステップ頻度を独立変数とする重回帰式が新たに作成されたと考えられる。

表 6.11 滞空比を推定する回帰式の独立変数（走時間，身長，ステップ頻度）に関する結果

従属変数	独立変数	SEB	β	r	r^2	$r_{xy \cdot z}$	
FSR ₁₀₀	記録	0.032	-0.276	-0.175	0.031	-0.270	*
	身長	0.243	-0.388	-0.106	0.011	-0.289	*
	SF _{100α}	0.062	-0.421	-0.096	0.009	-0.303	*
	(定数)	0.824					
FSR ₃₀	T ₃₀	0.091	-0.002	0.030	0.001	-0.002	
	身長	0.206	-0.215	-0.062	0.004	-0.172	
	SF _{30α}	0.049	-0.252	-0.121	0.015	-0.197	
	(定数)	0.683			0.000		
FSR ₆₀	T ₆₀	0.053	-0.165	-0.099	0.010	-0.165	
	身長	0.229	-0.311	-0.085	0.007	-0.237	*
	SF _{60α}	0.056	-0.357	-0.117	0.014	-0.264	*
	(定数)	0.774			0.000		
FSR ₉₀	T ₉₀	0.036	-0.252	-0.165	0.027	-0.248	*
	身長	0.243	-0.367	-0.108	0.012	-0.275	*
	SF _{90α}	0.061	-0.392	-0.091	0.008	-0.285	*
	(定数)	0.819			0.000		
FSR ₃₀₋₆₀	T ₃₀₋₆₀	0.139	-0.391	-0.278	0.077	-0.380	*
	身長	0.294	-0.416	-0.114	0.013	-0.319	*
	SF _{30-60α}	0.070	-0.455	-0.080	0.006	-0.335	*
	(定数)	0.977			0.000		
FSR ₆₀₋₉₀	T ₆₀₋₉₀	0.120	-0.430	-0.292	0.086	-0.412	*
	身長	0.306	-0.476	-0.128	0.016	-0.356	*
	SF _{60-90α}	0.075	-0.485	-0.064	0.004	-0.354	*
	(定数)	0.994			0.000		
FSR ₉₀₋₁₀₀	T ₉₀₋₁₀₀	0.295	-0.499	-0.181	0.033	-0.502	*
	身長	0.257	-0.534	-0.070	0.005	-0.490	*
	SF _{90-100α}	0.057	-0.809	-0.356	0.127	-0.626	*
	(定数)	0.797			0.000		

† SEB：回帰係数の標準誤差， β ：標準偏回帰係数，r：相関係数，

r^2 ：決定係数， $r_{xy \cdot z}$ ：偏相関係数，*： $p < 0.05$

†† FSR₁₀₀，FSR₃₀，FSR₆₀，FSR₉₀：スタート直後のステップ接地からゴール（100m）地点，30m地点，60m地点，および90m地点通過直前のステップ接地までの平均滞空比

††† FSR₃₀₋₆₀，FSR₆₀₋₉₀，FSR₉₀₋₁₀₀：30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地まで，60m地点通過直後のステップ接地から90m地点通過直前のステップ接地まで，および90m地点通過直後のステップ接地からゴール（100m）地点通過直前のステップ接地までの平均滞空比

†††† SF_{100 α} ，SF_{30 α} ，SF_{60 α} ，SF_{90 α} ： $1/(ST_{100}+FT_{100})$ ， $1/(ST_{30}+FT_{30})$ ， $1/(ST_{60}+FT_{60})$ ， $1/(ST_{90}+FT_{90})$
SF_{30-60 α} ，SF_{60-90 α} ，SF_{90-100 α} ： $1/(ST_{30-60}+FT_{30-60})$ ， $1/(ST_{60-90}+FT_{60-90})$ ， $1/(ST_{90-100}+FT_{90-100})$

表 6.12 走時間・身長・ステップ頻度別の標準滞空比を算出する重回帰式，
推定値の標準誤差，決定係数，および自由度調整済み決定係数

従属変数	回帰式	SEE	R ²	R ^{※2}
(A) FSR ₁₀₀	Y = - 0.0868 X ₁ - 0.7200 X ₂ - 0.1919 X ₃ + 4.1015 * ただし, X ₁ : 100m走の記録 (s), X ₂ : 身長 (m), SF _{100α} (steps/s)	0.0818	0.130	0.103
(B) FSR ₃₀	Y = - 0.0014 X ₁ - 0.3516 X ₂ - 0.0972 X ₃ + 1.8234 ただし, X ₁ : T ₃₀ (s), X ₂ : 身長 (m), SF _{30α} (steps/s)	0.0757	0.044	0.014
(C) FSR ₆₀	Y = - 0.0869 X ₁ - 0.5486 X ₂ - 0.1502 X ₃ + 3.1828 * ただし, X ₁ : T ₆₀ (s), X ₂ : 身長 (m), SF _{60α} (steps/s)	0.0799	0.085	0.056
(D) FSR ₉₀	Y = - 0.0900 X ₁ - 0.6802 X ₂ - 0.1767 X ₃ + 3.8945 * ただし, X ₁ : T ₉₀ (s), X ₂ : 身長 (m), SF _{90α} (steps/s)	0.0824	0.117	0.089
(E) FSR ₃₀₋₆₀	Y = - 0.5574 X ₁ - 0.9687 X ₂ - 0.2450 X ₃ + 5.6184 * ただし, X ₁ : T ₃₀₋₆₀ (s), X ₂ : 身長 (m), SF _{30-60α} (steps/s)	0.0990	0.192	0.167
(F) FSR ₆₀₋₉₀	Y = - 0.5311 X ₁ - 1.1427 X ₂ - 0.2795 X ₃ + 6.0208 * ただし, X ₁ : T ₆₀₋₉₀ (s), X ₂ : 身長 (m), SF _{60-90α} (steps/s)	0.1005	0.218	0.194
(G) FSR ₉₀₋₁₀₀	Y = - 1.6813 X ₁ - 1.4142 X ₂ - 0.4490 X ₃ + 7.2969 * ただし, X ₁ : T ₉₀₋₁₀₀ (s), X ₂ : 身長 (m), SF _{90-100α} (steps/s)	0.0957	0.416	0.398

† FSR₁₀₀, FSR₃₀, FSR₆₀, FSR₉₀: スタート直後のステップ接地からゴール (100m) 地点, 30m地点, 60m地点, および90m地点通過直前のステップ接地までの平均滞空比
FSR₃₀₋₆₀, FSR₆₀₋₉₀, FSR₉₀₋₁₀₀: 30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地まで, 60m地点通過直後のステップ接地から90m地点通過直前の
ステップ接地まで, および90m地点通過直後のステップ接地からゴール (100m) 地点通過直前のステップ接地までの平均滞空比

‡ *: p < 0.05 (n=100), SEE: 推定値の標準誤差, R²: 決定係数, R^{※2}: 自由度調整済み決定係数

‡‡ SF_{100α}, SF_{30α}, SF_{60α}, SF_{90α}: 1/(ST₁₀₀+FT₁₀₀), 1/(ST₃₀+FT₃₀), 1/(ST₆₀+FT₆₀), 1/(ST₉₀+FT₉₀)

SF_{30-60α}, SF_{60-90α}, SF_{90-100α}: 1/(ST₃₀₋₆₀+FT₃₀₋₆₀), 1/(ST₆₀₋₉₀+FT₆₀₋₉₀), 1/(ST₉₀₋₁₀₀+FT₉₀₋₁₀₀)

第5節 結論

本研究の目的は、日本人男子競技者を対象に 100m 走のレース全体および各区分において、走時間（100m 走の記録，通過時間，区間時間）および身長と，ステップ変数（ステップ数，支持時間，滞空時間，滞空比）との相関関係を検証し，走時間・身長別の標準ステップ変数を算出する重回帰推定式を作成することであった。その結果，以下の結論が得られた。

- 3： 100m 走の走時間（記録，通過時間，区間時間）は，ステップ数，支持時間，および滞空比との間に，相関関係がある。身長は，ステップ数，支持時間，および滞空時間との間に，相関関係がある。
- 4： 100m 走の走時間・身長別の標準ステップ数および標準支持時間を算出する推定式は，重回帰式である。身長別の標準滞空時間，および走時間別の標準滞空比を算出する推定式は，単回帰式である。

以上のように，研究課題2では身長とステップ変数との関係を検証した。次章の研究課題3では，記録（走速度），身長（下肢長），およびステップ変数と走動作の関係を検証し，記録（走速度），身長（下肢長），およびステップ変数に応じて走動作がどのようなものになるか究明する。

第7章 研究課題3

男子 100m 走の最大走速度局面における

記録（走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比

（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数の推定

第1節 緒言

100m 走における最大走速度と記録との間には、強い負の相関関係がある（阿江ほか, 1994 ; 天野, 2012 ; 松尾ほか, 2014 ; Slawinski et al., 2017). したがって、最大走速度で走行する短距離走は、100m 走レースには極めて重要である。また、より高い最大走速度で走行するようになると、200m 走や 400m 走だけでなく走幅跳や三段跳のパフォーマンスが向上するものである（Hanon and Gajer, 2009 ; Koyama et al., 2011 ; Panoutsakopoulos et al., 2016). それゆえ、最大走速度で走行するスプリントパフォーマンスの決定要因を究明することは、100m 走レースのパフォーマンスだけでなく、様々な競技種目のパフォーマンスを向上させる上で有益である。

下肢のキネマティクスと最大走速度で走行するスプリントパフォーマンスとの関係は、数多く報告されている（Ae et al., 1992 ; Alexander, 1989 ; Bushnell and Hunter, 2007 ; Haugen et al., 2018 ; Ito et al., 2008 ; 伊藤ほか, 1998 ; Kunz and Kaufmann, 1981 ; 宮下ほか, 1986 ; Toyoshima and Sakurai, 2016 ; Yada et al., 2011 ; 矢田ほか, 2011). 下肢関節のキネマティクスについて、最大走速度が高い競技者は、支持期中間時点の膝関節角度が大きく（Yada et al., 2011), 離地時点の膝関節角度が小さく（Bushnell and Hunter, 2007 ; Yada et al., 2011), 回復期の引き付け角度が大きく（Ito et al., 2008), 支持期の股関節伸展角速度が高く（Ae et al., 1992 ; Ito et al., 2008), 支持期の膝関節伸展角速度が低い（Ito et al., 2008). セグメントのキネマティクスについて、最大走速度が高い競技者は、離地時点の下腿前傾角度が大きく（Yada et al., 2011), 離地時点の大腿前傾角度が小さく（Yada et al., 2011), 接地時点の下腿前傾角速度が高く（Toyoshima and Sakurai, 2016), 支持期の大腿前傾最大角速度が高い（Alexander, 1989). また、最大走速度が高い競技者は、接地時点の脚全体後方スイング角速度が高く（Ae et al., 1992), 接地時点の両膝関節間の水平距離が短い（Bushnell and Hunter, 2007 ; Yada et al., 2011).

前述の先行研究は、高い最大走速度における短距離走の重要なキネマティクスの特性について有益な知見を明らかにしているのだが、その特性は個人特性に基づいて異なるだろう。理論的に、一定の角速度の場合には下肢長（身長）が長い競技者が高い末端速度を示す。しかし、下肢長が長い競技者は大きな慣性モーメントを伴う。したがって、下肢長の差は高い最大走速度におけるキネマティクスの差を示す可能性がある。下肢長に加えて、ステップ長とステップ頻度の組み合わせ（下肢長により幾分影響を受けるものである）は、高い最大走速度の短距離走のキネマティクスに影響を及ぼす要因である（Toyoshima and Sakurai, 2016). それゆえ、短距離走のキネマティクスと最大走速度との関係を、下肢長だけでなくステップ特性を考慮して、検討することは必要不可欠である。ストライド頻度はストライド時間の逆数であり、1 スト

ライドは支持期と回復期から成るので、競技者2名のストライド頻度が互いに同じだとしても、支持時間と回復時間の組み合わせ（回復比）が様々に存在し得る。それゆえ、下肢長だけでなく、これらのステップ特性（ステップ頻度および回復比）を考慮することにより、より高い最大走速度における短距離走のキネマティクスに対する理解が深まる。

走速度に加えて、下肢長とステップ変数の下肢キネマティクス変数への影響を検証するために、重回帰分析は有益である。重回帰分析により、走速度、下肢長、およびステップ変数を操作することでキネマティクス変数における変化量を評価することが可能である。走速度、下肢長、およびステップ変数の変化によるキネマティクス変数の変化量の差を理解することは、最大走速度の競技パフォーマンスを改善することを目的として競技者を養成するコーチに対して、極めて有益であるだろう。また、各先行研究（Ae et al., 1992 ; Alexander, 1989 ; Bushnell and Hunter, 2007 ; Haugen et al., 2018 ; Ito et al., 2008 ; 伊藤ほか, 1998 ; Kunz and Kaufmann, 1981 ; 宮下ほか, 1986 ; Toyoshima and Sakurai, 2016 ; Yada et al., 2011 ; 矢田ほか, 2011）は、最大走速度の競技パフォーマンスと少数のキネマティクス変数との関係を検討しているため、コーチや競技者が利用できる標準情報としてのデータは制限される。それゆえ、多数のキネマティクス変数を分析することにより、個人特性の要因に基づいた最大走速度の競技パフォーマンスを考えるための標準情報が得られるだろう。

下肢長は身長、回復比は滞空比との間に非常に高い相関関係を示すことが推測される。したがって、単回帰分析により下肢長と身長との相関関係と、回復比と滞空比との相関関係を追加検証することで、下肢長を身長、回復比を滞空比に代替して重回帰式の推定値を見ることが可能である。

本研究では、日本人男子競技者を対象に、ショートスプリント走の最大走速度局面において、走速度、下肢長、ステップ頻度、および回復比と、キネマティクス（走動作）変数との相関関係を検証し、100m 走の記録（最大走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数を算出する重回帰推定式を作成することを目的とした。

第2節 方法

1. 対象者

対象者は、陸上競技の短距離種目を専門とする日本人男子競技者 79 名であった。表 7.1 に、対象者の年齢、身長、体重、100m 走の最高記録、および測定項目（詳細は後述）の平均値 ± 標準偏差〔範囲〕を示した。すべての対象者には、本実験の主旨、内容、および実験にともなう危険性を十分に説明し、参加の同意を得た。なお、本研究は筑波大学大学院人間総合科学研究科研究倫理委員会の承認を得た。

表 7.1 対象者の年齢, 身長, 体重, 100m 走の最高記録,
および測定項目の平均値±標準偏差 [範囲]

n = 79		
変数 (単位)	平均値 ± 標準偏差	[範囲]
年齢 (yrs.)	20.7 ± 1.9	[18 - 27]
身長 (m)	1.749 ± 0.051	[1.618 - 1.850]
体重 (kg)	66.6 ± 5.0	[48.4 - 79.0]
100m走の最高記録 (s)	11.08 ± 0.42	[10.30 - 12.14]
下肢長 (m)	0.812 ± 0.032	[0.732 - 0.885]
最大走速度局面		
時空間変数		
走速度 (m/s)	9.90 ± 0.46	[8.83 - 10.97]
ステップ長	2.15 ± 0.11	[1.88 - 2.37]
ステップ傾度	4.60 ± 0.22	[4.17 - 5.17]
1サイクル時間 (s)	0.435 ± 0.020	[0.387 - 0.480]
左足支持時間 (s)	0.103 ± 0.007	[0.087 - 0.120]
左足滞空時間 (s)	0.112 ± 0.009	[0.093 - 0.133]
右足支持時間 (s)	0.105 ± 0.007	[0.093 - 0.120]
右足滞空時間 (s)	0.115 ± 0.010	[0.093 - 0.133]
右足回復時間 (s)	0.330 ± 0.017	[0.287 - 0.373]
回復比	3.16 ± 0.24	[2.71 - 3.71]
滞空比	1.10 ± 0.11	[0.88 - 1.41]
回復期のキネマティクス変数		
逆足接地時点の大腿角度 (deg)	4.1 ± 8.6	[-17.7 - 22.9]
膝関節引き付け角度 (deg)	31.6 ± 5.6	[22.1 - 47.3]
腿上げ角度 (deg)	70.3 ± 4.6	[62.0 - 83.6]
引き付け最大角速度 (deg/s)	-1184.8 ± 92.0	[-1397.3 - -873.7]
腿上げ最大角速度 (deg/s)	791.6 ± 46.6	[641.4 - 887.0]
振り戻し最大角速度 (deg/s)	-465.8 ± 50.4	[-569.2 - -349.0]
支持期のキネマティクス変数		
相対接地距離 (%)	49.8 ± 3.6	[39.7 - 56.9]
相対離地距離 (%)	72.4 ± 3.9	[62.6 - 83.0]
接地時点の股関節角度 (deg)	131.9 ± 3.7	[123.7 - 140.0]
接地時点の膝関節角度 (deg)	152.3 ± 5.6	[140.3 - 166.5]
接地時点の足関節角度 (deg)	123.2 ± 4.3	[112.8 - 133.6]
離地時点の股関節角度 (deg)	196.4 ± 5.3	[182.2 - 209.6]
離地時点の膝関節角度 (deg)	155.4 ± 4.8	[141.5 - 168.2]
離地時点の足関節角度 (deg)	147.3 ± 4.5	[136.3 - 156.7]
膝関節屈曲角変位 (deg)	-13.6 ± 3.6	[-3.8 - -20.9]
足関節背屈角変位 (deg)	-19.1 ± 3.9	[-7.6 - -28.7]
股関節伸展角変位 (deg)	64.5 ± 5.1	[48.7 - 74.9]
膝関節伸展角変位 (deg)	16.9 ± 5.7	[2.6 - 32.6]
足関節底屈角変位 (deg)	43.2 ± 3.8	[36.2 - 55.7]
股関節伸展角速度の最大値 (deg/s)	849.6 ± 73.3	[614.9 - 991.7]
膝関節伸展角速度の最大値 (deg/s)	442.9 ± 117.8	[97.8 - 725.7]
足関節底屈角速度の最大値 (deg/s)	1008.9 ± 91.5	[798.1 - 1236.4]
接地時点の大腿角度 (deg)	33.0 ± 3.6	[24.0 - 40.2]
接地時点の下腿角度 (deg)	5.3 ± 3.2	[-3.0 - 14.5]
接地時点の足部角度 (deg)	62.1 ± 3.6	[53.7 - 69.4]
離地時点の大腿角度 (deg)	-28.7 ± 3.6	[-37.6 - -15.7]
離地時点の下腿角度 (deg)	-53.3 ± 2.9	[-61.0 - -46.4]
離地時点の足部角度 (deg)	-20.6 ± 4.7	[-32.0 - -10.1]
大腿角変位 (deg)	61.8 ± 5.1	[45.3 - 72.4]
下腿角変位 (deg)	58.6 ± 3.6	[50.4 - 67.7]
足部角変位 (deg)	82.8 ± 4.4	[72.2 - 93.7]
脚全体後方スイング角速度の最大値 (deg/s)	-664.1 ± 43.0	[-750.9 - -572.3]

2. 実験試技および走動作の撮影

対象者には、各自のウォーミングアップ後に各自のスパイクシューズを履いた 60m の全力疾走（スタンディングスタート）を 1 試技行わせ、スタートから 45m 地点を中心に前後 5m 区間の走動作を、右側方より追従撮影した（図 7.1）。また、対象者には 40m 区間から 50m 区間までの間に最大走速度を達成するように指導した。撮影に用いたハイスピードカメラ（EX-F1, Casio 社製, フレームレート：300Hz, 露出時間：1/1000—1/2000s, 記録画素数：512×384 ピクセル）は、1m の高さで水平方向に約 4m の視野に設定し、スタートラインから 45m 地点、走路から右側方 45m 地点に設置した。また、その区間（45m 地点を中心とする前後 5m 区間）の走路の両側に、較正用マーカを 1m 間隔で設置した（図 7.1）。セグメント座標の適切なデジタル画像化を保証するために、粘着性の黒色もしくは白色のマーカを、対象者の右側の第 5 中足骨頭部、足関節、膝関節、および大転子上の解剖学的位置に貼り付けた。60m 全力疾走の撮影は、2013 年までに行われた。

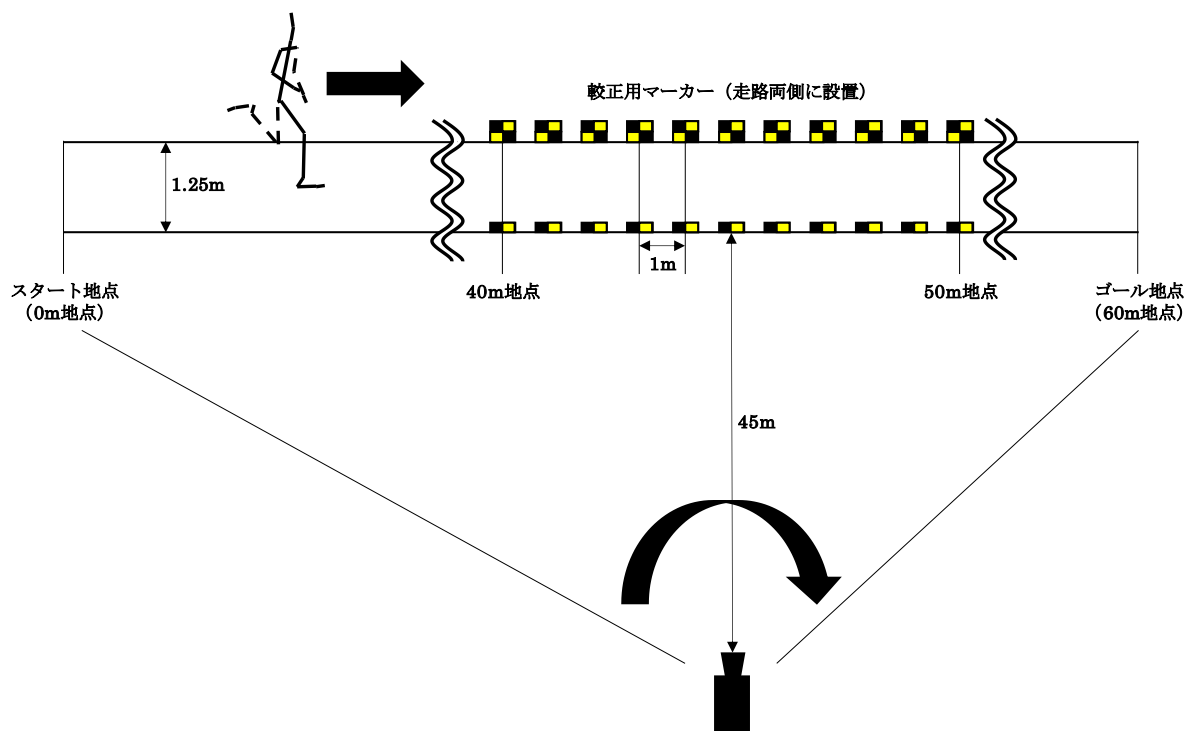


図 7.1 60m 全力疾走の実験設定図

3. 座標データの算出

撮影されたビデオ映像をコンピュータに取り込み、Frame Dias II For Windows (ディケイエイチ社製) を用いて、150Hz のフレームレートで右脚の足先、第5中足骨頭部、踵骨点、外果点、大腿骨外顆、大転子、および胸骨上縁の7点と較正点(対象者の近傍4点)を手動デジタイズすることで、それらの矢状面における2次元座標を読み取った。分析範囲は、左足の接地時点から再び左足が接地する時点までの1サイクル(2ステップ)とした。2次元座標の読み取りは、後の平滑化や演算処理を考慮して分析範囲と前後5コマにわたって行った。接地時点と離地時点の画像は、1人の検者が3回目視により判定し、各時点の画像は全て一致した。映像から読み取った身体各部の座標を、較正点の座標をもとに実座標換算(Nagahara et al., 2014b)した。なお、類似の実験設定と同じカメラを用いた先行研究(Nagahara et al., 2014b)に示された推定誤差は、9mm未満であった。その後、Wells and Winter(1980)が提案した残差方法を用いて分析点ごとに最適遮断周波数を決定し、Butterworth low-pass digital filterにより身体各部の実座標を平滑化した。用いた遮断周波数は、4.5–10.5Hzであった。さらに、右脚の第5中足骨頭部、外果点、大腿骨外顆、大転子、および胸骨上縁の実座標点を用いて、右足部、右下腿、右大腿、および体幹から成る4セグメントリンクモデルを構成した。また、左足を基準とした1サイクルの移動距離を得るために、デジタイズを行った右足支持期直前の左足の接地時点および続く左足の接地時点の左足先と較正点4点の2次元座標を読み取り、2つの左足先の座標を実座標換算した。

4. 測定項目および算出方法

撮影した映像を用いて、1人の検者が以下の測定項目を算出した。

(1) ステップ長

左足の接地と次の左足の接地を目視で3回判定し(画像は、3回ともに一致)、2回の左脚接地時の左足先の水平位置の差を2等分したものをステップ長とした。

(2) 1サイクル時間

左足の接地時点から次の左足の接地時点まで(1サイクル)に要した時間を1サイクル時間とした。

(3) ステップ頻度

1サイクル時間を2等分したものの逆数をステップ頻度とした。

(4) 走速度

ステップ頻度とステップ長の積を走速度として算出した。

(5) 支持時間, 滞空時間, 回復時間

1 サイクルを左足支持期 (左足接地時点から左足離地時点まで), 左足滞空期 (左足離地時点から右足接地時点まで), 右足支持期 (右足接地時点から右足離地時点まで), および右足滞空期 (右足離地時点から左足接地時点まで) の4期に分類し (図 7.2), それぞれに要した時間を, 左足支持時間, 左足滞空時間, 右足支持時間, 右足滞空時間として算出した。また, 左足支持期と左足滞空期を合わせた期間を右足回復後期, 右足滞空期を右足回復前期とし (図 7.2), その両者を合わせた期間を右足回復期とした。右足回復期に要した時間 (左足支持時間, 左足滞空時間, および右足滞空時間の和) を, 右足回復時間として算出した。

(6) 回復比

右足回復時間を右足支持時間で除した値を, 回復比として算出した。

(7) 滞空比

左足滞空時間と右足滞空時間の和を, 左足支持時間と右足支持時間の和で除した値を, 滞空比として算出した。

これ以降, 右足支持期, 右足回復期のことを, それぞれ単に支持期, 回復期と呼称する。

右脚の関節角度および部分角度の定義を, 図 7.3 に示した。体幹 (大転子と胸骨上縁を結ぶ線分) と大腿 (大転子と大腿骨外顆を結ぶ線分) の成す角度を股関節角度, 大腿と下腿 (大腿骨外顆と外果点を結ぶ線分) の成す角度を膝関節角度, 下腿と足部 (外果点と拇指球を結ぶ線分) の成す角度を足関節角度とした。大腿と鉛直線の成す角度を大腿角度, 下腿と鉛直線の成す角度を下腿角度, 足部と鉛直線の成す角度を足部角度とした。脚全体 (大転子と外果点を結ぶ線分) と鉛直線の成す角度を脚全体角度とした。部分角度および脚全体角度の正值は後傾, 負値は前傾を, 関節角速度の正值は伸展 (足関節の場合は底屈), 負値は屈曲 (同じく背屈) を示す。また, これらの角度変化を時間微分したものを角速度とした。身体部分角速度および脚全体角速度の正值は反時計回りを示すこととした。以上の定義にしたがい, 本研究では先行研究 (Ae et al., 1992 ; Alexander, 1989 ; Bushnell and Hunter, 2007 ; Haugen et al., 2018 ; Hunter et al., 2004 ; 伊藤ほか, 1998 ; Ito et al., 2008 ; Kunz and Kaufmann,

1981 ; 宮下ほか, 1986 ; Toyoshima and Sakurai, 2016 ; Yada et al., 2011) を参考として, 以下の右脚のキネマティクス (走動作) 変数を算出した.

(8) 回復期のキネマティクス変数

- ・逆足 (左足) 接地時点の大腿角度
- ・引き付け角度 : 離地後の膝関節角度の最小値
- ・腿上げ角度 : 腿上げ動作における大腿角度の最大値
- ・引き付け最大角速度 : 回復期前半における膝関節屈曲角速度の最大値
- ・腿上げ最大角速度 : 大腿角速度の最大値
- ・振り戻し最大角速度 : 接地直前の脚全体の後方スイング角速度の最大値

(9) 支持期のキネマティクス変数

- ・相対接地距離 : 接地時点の大転子と第 5 中足骨頭部との水平距離を下肢長で除し 100 を乗じた値
- ・相対離地距離 : 離地時点の大転子と第 5 中足骨頭部との水平距離を下肢長で除し 100 を乗じた値
- ・接地時点の股関節, 膝関節, 足関節の角度
- ・離地時点の股関節, 膝関節, 足関節の角度
- ・膝関節, 足関節の屈曲 (背屈) 角変位
- ・股関節, 膝関節, 足関節の伸展 (底屈) 角変位
- ・股関節, 膝関節, 足関節の伸展 (底屈) 角速度の最大値
- ・接地時点の大腿, 下腿, 足部の角度
- ・離地時点の大腿, 下腿, 足部の角度
- ・接地時点から離地時点までの大腿, 下腿, 足部の角変位
- ・脚全体後方スイング角速度の最大値

(10) 下肢長

先行研究 (Toyoshima and Sakurai, 2016) を参考に, 1 サイクルに渡る二次元座標から求めた大腿と下腿の長さの和の平均値を下肢長として算出した.

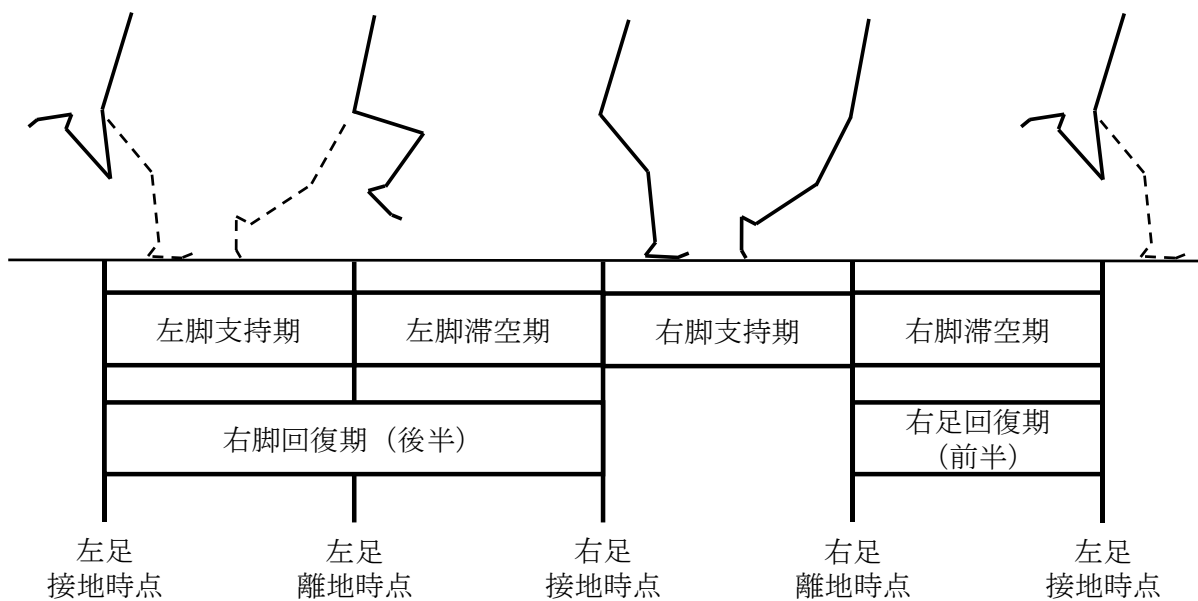


図 7.2 分析範囲 (1 サイクル) における支持期, 滞空期, および回復期の定義

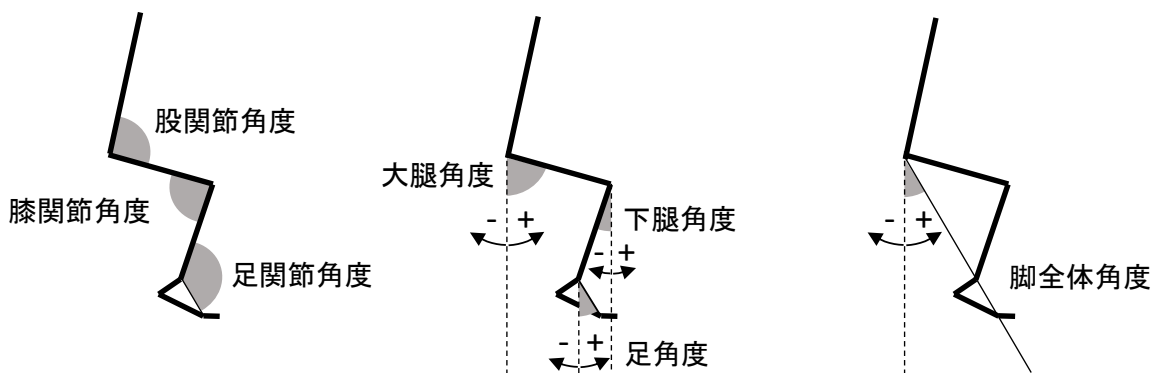


図 7.3 関節角度と身体部分角度の定義

5. 統計処理

身長と下肢長との関係を検証するために、身長を独立変数とし、下肢長を従属変数とする単回帰分析を行った。回復比と滞空比との関係を検証するために、回復比を独立変数とし、滞空比を従属変数とする単回帰分析を行った。走速度と下肢長との関係を検証するために、走速度を独立変数とし、下肢長を従属変数とする単回帰分析を行った。走速度および下肢長とステップ頻度との関係を検証するために、走速度および下肢長を独立変数とし、ステップ頻度を従属変数とするステップワイズ（変数増減）法による重回帰分析を行った。走速度、下肢長、およびステップ頻度と回復比との関係を検証するために、走速度、下肢長、およびステップ頻度を独立変数とし、回復比を従属変数とするステップワイズ（変数増減）法による重回帰分析を行った。走速度、下肢長、ステップ頻度、および回復比と各キネマティクス（走動作）との関係を検証するために、走速度、下肢長、ステップ頻度、および回復比を独立変数とし、各キネマティクス（走動作）を従属変数とする強制投入法による重回帰分析を行った。Cohen（1988）に準拠し、重回帰分析における自由度調整済み決定係数の解釈について、0.13未満を「小さい」、0.13以上0.26未満を「中等度」、0.26以上を「大きい」とした。ステップワイズ法の重回帰分析における独立変数を選択する基準はF値の確率とし、投入条件は $p=0.05$ 、除外条件は $p=0.10$ に設定した。本研究の有意水準（ α ）は5%とした。統計分析にはアプリケーションソフトウェア IBM (R) SPSS (R) Statistics Version 22 for Windows を用いた。表 7.3 の重回帰式における各独立変数（走速度、下肢長、ステップ頻度、もしくは回復比）の変化量に伴う従属変数（キネマティクス）の変化量を評価するために、先行研究（Hunter et al., 2004）を参考に、得られた重回帰式を用いて走速度、下肢長、ステップ頻度、および回復比を操作した。入力した数値は、走速度および下肢長では平均値-2 標準偏差、平均値、平均値+2 標準偏差であった。一方、ステップ頻度および回復比では重回帰式の推定値（平均値に相当する）-2 標準誤差、推定値、推定値+2 標準誤差であった。平均値の ± 2 標準偏差や重回帰式における推定値 ± 2 標準誤差を用いたのは、それぞれの値の範囲内に全データの95.45%が収まることから推定されるからである。すなわち、2 標準偏差もしくは2 標準誤差を用いることにより、走速度および下肢長もしくはステップ頻度および回復比における現実的かつ平等な変化量に伴うキネマティクスの変化量を算出でき、キネマティクスの変化量を各独立変数間で比較できる。操作は、表 7.3 の重回帰式において中等度（自由度調整済み決定係数が0.13）以上の効果量を示すキネマティクス変数に限定した。操作によるキネマティクス変数の変化量は、それを各キネマティクス変数の平均値で除して、百分率にした値で表した。

第3節 結果

身長計を用いて計測した身長と動作分析から得られた下肢長との間には、有意な相関関係 ($r = 0.843$, $p < 0.05$) が認められ、身長別の標準下肢長を算出する有意な単回帰式が得られた (表 7.2)

また、回復比と滞空比との間にも、有意な相関関係 ($r = 0.916$, $p < 0.05$) が認められ、回復比別の標準滞空比を算出する有意な単回帰式が得られた (表 7.2).

一方、走速度と下肢長との間には、有意な相関関係は認められなかった ($r = 0.186$, $p = 0.100$).

走速度および下肢長を独立変数、ステップ頻度を従属変数とした重回帰分析の結果、有意な重回帰式が得られた (表 7.2). 走速度および下肢長のステップ頻度に対する自由度調整済み重決定係数は 0.382 であり、「大きい」と評価される効果量であった.

走速度、下肢長、およびステップ頻度を独立変数、回復比を従属変数とした重回帰分析の結果、有意な重回帰式が得られた (表 7.2). 走速度、下肢長、およびステップ頻度の回復比に対する自由度調整済み重決定係数は 0.183 であり、「中等度」と評価される効果量であった.

走速度、下肢長、ステップ頻度、および回復比を独立変数、回復期のキネマティクス変数を従属変数とした重回帰分析の結果、逆足接地時点の大腿角度、腿上げ角度、引き付け最大角速度、腿上げ最大角速度、および振り戻し最大角速度において、有意な重回帰式 (表 7.3) が得られた. 自由度調整済み重決定係数は 0.122 — 0.378 であり、「小さい」から「大きい」と評価される効果量であった.

同じく走速度、下肢長、ステップ頻度、および回復比を独立変数、支持期のキネマティクス変数を従属変数とした重回帰分析の結果、相対接地距離、相対離地距離、接地時点の股関節角度、接地時点の膝関節角度、接地時点の足関節角度、離地時点の股関節角度、離地時点の膝関節角度、離地時点の足関節角度、膝関節屈曲角変位、股関節伸展角変位、膝関節伸展角変位、股関節伸展角速度の最大値、膝関節伸展角速度の最大値、足関節底屈角速度の最大値、接地時点の大腿角度、接地時点の下腿角度、離地時点の大腿角度、離地時点の下腿角度、離地時点の足部角度、大腿角変位、下腿角変位、足部角変位、および脚全体後方スイング角速度の最大値において、有意な重回帰式 (表 7.3) が得られた. 自由度調整済み重決定係数は 0.074 — 0.757 であり、「小さい」から「大きい」と評価される効果量であった.

回復期における引き付け角度、支持期における足関節背屈角変位、足関節底屈角変位、接地時点の足部角度については、有意な重回帰式は得られなかった.

表 7.4 には、キネマティクス変数を推定する重回帰式について、各独立変数 (走速度、下肢長、ステップ頻度、もしくは回復比) の数値が変化した時のキネマティクス

変数の推定値を示した。ただし、ただし、「中等度」から「大きい」と評価される効果量が得られたもの（全 32 変数中、21 変数）に限定した。独立変数における同じ変化量（すなわち、条件 A と条件 B では ± 2 標準偏差の範囲内での変化量、条件 C と条件 D では ± 2 標準誤差の範囲内での変化量）に伴う推定されたキネマティクス変数の値の変化を 4 群間で比較すると、逆足接地時点の大腿角度、回復期の脚全体後方スイング最大角速度、および支持期の脚全体後方スイング最大角速度の 3 変数は、条件 A において最も大きな変化が認められた。引き付け最大角速度および腿上げ最大角速度の 2 変数は、条件 B において最も大きな変化が認められた。膝関節屈曲角変位の 1 変数は、条件 C において最も大きな変化が認められた。残りの 15 変数は、条件 D において最も大きな変化が認められた。

表 7.2 下肢長，滞空比，ステップ頻度，および回復比を推定する回帰式，
推定値の標準誤差，決定係数，自由度調整済み決定係数

従属変数	(単位)	回帰式	SEE	R ²	R ^{*2}	
(A) 下肢長	(m)	ステップ1 Y = 0.519 X ₄ - 0.095	*	0.017	0.711	0.707
(B) 滞空比		ステップ1 Y = 0.431 X ₅ - 0.261	*	0.045	0.839	0.836
(C) ステップ頻度 (steps/s)		ステップ1 Y = 0.193 X ₁ + 2.691	0.198	0.169	0.158	
		ステップ2 Y = 0.236 X ₁ - 3.320 X ₂ + 4.965	*	0.170	0.398	0.382
(D) 回復比		ステップ1 Y = 0.115 X ₁ + 2.018	0.230	0.051	0.038	
		ステップ2 Y = 0.179 X ₁ - 0.330 X ₃ + 2.906	0.222	0.127	0.104	
		ステップ3 Y = 0.255 X ₁ - 2.624 X ₂ - 0.547 X ₃ + 5.288	*	0.212	0.214	0.183

† X₁: 走速度 (m/s), X₂: 下肢長 (m), X₃: ステップ頻度 (steps/s), X₄: 身長 (m), X₅: 回復比, *: p < 0.05,

SEE: 推定値の標準誤差, R²: 決定係数, R^{*2}: 自由度調整済み決定係数

‡ 灰色の式が，重回帰分析のステップワイズ（変数増減法）により得られた最終的な重回帰式である

表7.3 走速度・下肢長・ステップ頻度・回復比別の標準キネマティクス(走動作)変数を算出する重回帰式、推定値の標準誤差、決定係数、および自由度調整済み決定係数

従属変数(単位)	重回帰式					SEE	R ²	R ^{*2}
	Y =	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄			
逆足接地時点の大腿角度(deg)	Y =	3.59 X ₁ +	73.38 X ₂ +	11.65 X ₃ +	8.70 X ₄ -	7.73	0.242	0.201
腿上げ角度(deg)	Y =	4.57 X ₁ +	2.07 X ₂ -	6.20 X ₃ -	2.45 X ₄ +	4.33	0.167	0.122
引き付け最大角速度(deg/s)	Y = -	45.66 X ₁ +	1165.12 X ₂ -	96.13 X ₃ +	40.61 X ₄ -	76.38	0.345	0.310
腿上げ最大角速度(deg/s)	Y =	53.33 X ₁ -	780.62 X ₂ -	79.02 X ₃ -	51.98 X ₄ +	41.85	0.255	0.194
振り戻し最大角速度(deg/s)	Y = -	49.87 X ₁ +	443.88 X ₂ +	19.51 X ₃ -	75.11 X ₄ -	39.72	0.410	0.378
相対接地距離(%)	Y =	4.24 X ₁ -	57.73 X ₂ -	11.97 X ₃ -	11.60 X ₄ +	2.51	0.532	0.507
(接地時点の大転子と第5中足骨頭との水平距離を 下肢長で除して100を掛けた値)								
相対離地距離(%)	Y =	6.85 X ₁ -	68.05 X ₂ -	11.89 X ₃ -	11.79 X ₄ +	2.76	0.535	0.510
(離地時点の大転子と第5中足骨頭との水平距離を 下肢長で除して100を掛けた値)								
接地時点の股関節角度(deg)	Y = -	2.21 X ₁ +	12.15 X ₂ +	4.29 X ₃ +	7.86 X ₄ +	3.39	0.203	0.159
接地時点の膝関節角度(deg)	Y = -	0.51 X ₁ +	30.25 X ₂ -	1.87 X ₃ +	8.89 X ₄ +	5.21	0.178	0.134
接地時点の足関節角度(deg)	Y =	1.79 X ₁ +	10.68 X ₂ -	7.39 X ₃ +	0.52 X ₄ +	4.11	0.153	0.107
離地時点の股関節角度(deg)	Y =	5.50 X ₁ -	75.78 X ₂ -	9.98 X ₃ -	7.76 X ₄ +	4.85	0.196	0.152
離地時点の膝関節角度(deg)	Y =	1.69 X ₁ -	50.03 X ₂ -	9.99 X ₃ -	1.30 X ₄ +	4.62	0.127	0.080
離地時点の足関節角度(deg)	Y =	2.21 X ₁ -	2.41 X ₂ -	8.46 X ₃ -	1.22 X ₄ +	4.36	0.121	0.074
膝関節屈曲角変位(deg)	Y = -	1.33 X ₁ +	11.32 X ₂ +	9.66 X ₃ +	4.38 X ₄ -	3.25	0.241	0.200
股関節伸展角変位(deg)	Y =	7.71 X ₁ -	87.93 X ₂ -	14.27 X ₃ -	15.62 X ₄ +	3.72	0.500	0.473
膝関節伸展角変位(deg)	Y =	3.41 X ₁ -	89.19 X ₂ -	17.21 X ₃ -	14.61 X ₄ +	4.41	0.425	0.394
股関節伸展角速度の最大値(deg/s)	Y =	100.74 X ₁ -	1214.75 X ₂ -	141.65 X ₃ -	142.50 X ₄ +	61.95	0.323	0.286
膝関節伸展角速度の最大値(deg/s)	Y =	82.39 X ₁ -	1970.14 X ₂ -	340.27 X ₃ -	296.98 X ₄ +	94.19	0.393	0.360
足関節底屈角速度の最大値(deg/s)	Y =	50.30 X ₁ -	703.02 X ₂ -	41.65 X ₃ +	62.17 X ₄ +	87.94	0.124	0.077
接地時点の大腿角度(deg)	Y =	2.18 X ₁ -	37.32 X ₂ -	4.89 X ₃ -	10.76 X ₄ +	2.82	0.410	0.378
接地時点の下腿角度(deg)	Y =	1.67 X ₁ -	7.07 X ₂ -	6.75 X ₃ -	1.87 X ₄ +	3.10	0.129	0.081
離地時点の大腿角度(deg)	Y = -	4.02 X ₁ +	64.31 X ₂ +	10.12 X ₃ +	7.17 X ₄ -	3.04	0.310	0.273
離地時点の下腿角度(deg)	Y = -	2.33 X ₁ +	14.28 X ₂ +	0.13 X ₃ +	5.87 X ₄ -	2.57	0.267	0.228
離地時点の足部角度(deg)	Y = -	4.54 X ₁ +	16.69 X ₂ +	8.60 X ₃ +	7.08 X ₄ -	4.38	0.173	0.129
大腿角変位(deg)	Y =	6.20 X ₁ -	101.63 X ₂ -	15.01 X ₃ -	17.92 X ₄ +	3.25	0.616	0.595
下腿角変位(deg)	Y =	4.00 X ₁ -	21.35 X ₂ -	6.89 X ₃ -	7.73 X ₄ +	3.18	0.257	0.217
足部角変位(deg)	Y =	4.42 X ₁ -	34.44 X ₂ -	7.96 X ₃ -	9.46 X ₄ +	4.00	0.228	0.187
脚全体後方スイング角速度の最大値(deg/s)	Y = -	61.31 X ₁ +	853.19 X ₂ -	16.52 X ₃ -	4.39 X ₄ -	21.23	0.769	0.757

† X₁: 走速度(m/s), X₂: 下肢長(m), X₃: ステップ頻度(steps/s), X₄: 回復比, *: p < 0.05, SEE: 推定値の標準誤差, R²: 決定係数, R^{*2}: 自由度調整済み決定係数

表7.4 4条件におけるキネマティクス(走動作)変数の変化の例

	条件A [†]				条件B ^{††}				条件C ^{†††}				条件D ^{††††}				変 化 量 (%)			
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)	(c)-(a)	(f)-(d)	(i)-(g)	(l)-(j)				
走速度 (m/s)	8.99	9.90	10.82		9.90			9.90			9.90		18.5	0.0	0.0	0.0				
下股長 (m)	0.812	0.812	0.812	0.749	0.812	0.875		0.812			0.812		0.0	16.6	0.0	0.0				
ステップ頻度 (steps/s)	4.39	4.60	4.82	4.81	4.60	4.39		4.60	4.94		4.60		9.4	-9.1	14.7	0.0				
回復比	3.05	3.16	3.28	3.21	3.16	3.11		3.35	2.98		3.16		7.3	-3.2	-11.8	26.9				
100m走記録の推定値 (s) ^{††††}	12.30	11.50	10.70		11.50			11.50		2.74	3.60	3.59	-13.5	0.0	0.0	0.0				
身長 (m)	1.749	1.749	1.749	1.627	1.749	1.871		1.749			1.749		0.0	14.0	0.0	0.0				
右足の支持時間 (s)	0.113	0.104	0.097	0.099	0.104	0.111		0.108	0.102	0.116	0.104	0.095	-15.0	11.6	-5.8	-20.6				
右足の回復時間 (s)	0.343	0.330	0.318	0.317	0.330	0.344		0.361	0.303	0.318	0.330	0.340	-7.7	8.4	-17.6	6.5				
漕空比	1.05	1.10	1.15	1.12	1.10	1.08		1.18	1.02	0.92	1.10	1.28	9.0	-4.0	-14.5	33.3				
逆足接地時点の大腿角度 (deg)	-2.8	4.1	10.9	2.3	4.1	5.8		1.7	6.4	0.4	4.1	7.8	335.4	86.2	114.9	181.7				
引き付け最大角速度 (deg/s)	-1127	-1185	-1243	-1277	-1185	-1093		-1145	-1185	-1225	-1185	-1167	9.8	-15.5	6.8	-2.9				
キネマティクス変数	766	792	817	822	792	761		809	792	774	792	770	6.5	-7.6	-4.3	-5.6				
振り戻し最大角速度 (deg/s)	-416	-466	-516	-494	-466	-438		-486	-445	-434	-466	-498	21.5	-12.0	-8.8	13.7				
相対接地距離 (%)	49.8	49.8	49.8	50.3	49.8	49.2		51.7	49.8	47.9	49.8	44.9	-0.1	-2.2	-7.7	-19.8				
(接地時点の大転子と第5中足骨頭との水平距離を 下股長で除して100を掛けた値)																				
相対離地距離 (%)	70.0	72.4	74.7	73.6	72.4	71.2		74.2	70.6	77.4	72.4	67.4	6.5	-3.3	-5.1	-13.8				
(離地時点の大転子と第5中足骨頭との水平距離を 下股長で除して100を掛けた値)																				
接地時点の股関節角度 (deg)	132.1	131.9	131.7	132.4	131.9	131.4		131.9	131.9	128.6	131.9	135.2	-0.3	-0.8	0.0	5.1				
離地時点の股関節角度 (deg)	152.1	152.3	152.4	150.4	152.3	154.1		154.6	152.3	150.0	152.3	156.1	0.2	2.4	-3.0	5.0				
離地時点の大腿角度 (deg)	194.4	196.4	198.4	198.7	196.4	194.1		198.4	196.4	199.7	196.4	193.1	2.0	-2.3	-2.0	-3.4				
膝関節屈曲角変位 (deg)	-15.0	-13.6	-12.2	-12.1	-13.6	-15.2		-16.1	-13.6	-11.2	-13.6	-11.8	-20.2	22.6	-36.2	-27.3				
股関節伸長角変位 (deg)	62.4	64.5	66.7	66.3	64.5	62.8		66.5	64.5	62.6	64.5	57.9	6.8	-5.5	-6.0	-20.6				
膝関節伸長角変位の最大値 (deg)	19.2	16.9	14.6	18.2	16.9	15.6		20.1	16.9	13.8	23.1	16.9	-27.0	-15.2	-36.9	-73.3				
股関節伸長角変位の最大値 (deg)	804	850	895	889	850	810		871	850	828	850	789	10.7	-9.4	-5.1	-14.3				
膝関節伸長角速度の最大値 (deg/s)	475	443	411	481	443	405		503	443	383	443	317	-14.6	-17.2	-27.2	-67.0				
接地時点の大腿角度 (deg)	33.3	33.0	32.7	33.8	33.0	32.3		32.7	33.0	33.4	37.6	33.0	-1.8	-4.8	2.1	-27.7				
離地時点の大腿角度 (deg)	-28.0	-28.7	-29.4	-30.3	-28.7	-27.1		-30.8	-28.7	-26.6	-31.8	-25.7	4.7	-11.0	-14.6	-21.2				
離地時点の大腿角度 (deg)	-51.9	-53.3	-54.8	-53.9	-53.3	-52.7		-52.3	-53.3	-54.4	-55.8	-50.8	5.4	-2.2	-3.9	-9.3				
大腿角変位 (deg)	61.4	61.8	62.1	64.1	61.8	59.4		63.5	61.8	60.0	69.4	61.8	1.2	-7.7	-5.7	-24.7				
下腿角変位 (deg)	57.4	58.6	59.9	58.2	58.6	59.1		59.5	58.6	57.7	61.9	58.6	4.4	1.7	-3.1	-11.2				
足部角変位 (deg)	81.5	82.8	84.0	82.8	82.8	82.7		82.8	81.8	86.8	82.8	78.7	3.0	-0.1	-2.3	-9.7				
脚全体後方スイング角速度の最大値 (deg/s)	-604	-664	-724	-722	-664	-606		-659	-664	-669	-664	-666	18.2	-17.4	1.4	0.6				

[†] 条件A: 走速度が8.99m/s, 9.90m/s, 10.82m/s (それぞれ, 平均値+2標準偏差, 平均値, 平均値-2標準偏差) および下股長が0.812m (平均値) の時のキネマティクス変数の推定値. ステップ頻度 (4.39steps/s, 4.60steps/s, 4.82steps/s) は, 表7.2(C)の重回帰式に走速度および下股長のこれら数値を代入して算出した. 回復比 (3.05, 3.16, 3.28) は, 表7.2(D)の重回帰式に, 同じく走速度および下股長のこれら数値と, 上述のステップ頻度を代入して算出した.

^{††} 条件B: 走速度が9.90m/s (平均値) および下股長が0.749m, 0.812m, 0.875m (それぞれ, 平均値-2標準偏差, 平均値, 平均値+2標準偏差) の時のキネマティクス変数の推定値. ステップ頻度 (4.81steps/s, 4.60steps/s, 4.39steps/s) は, 表7.2(C)の重回帰式に走速度および下股長のこれら数値を代入して算出した. 回復比 (3.21, 3.16, 3.11) は, 表7.2(D)の重回帰式に, 同じく走速度および下股長のこれら数値と, 上述のステップ頻度を代入して算出した.

^{†††} 条件C: 走速度が9.90m/s (平均値), 下股長が0.812m (平均値), およびステップ頻度が4.27steps/s, 4.60steps/s, 4.94steps/s (それぞれ, 走速度9.90m/s, 下股長0.812mを代入した表7.2(C)の重回帰式における推定値+2標準偏差, 推定値, 推定値-2標準偏差) の時のキネマティクス変数の推定値. 回復比 (3.35, 3.16, 2.98) は, 表7.2(D)の重回帰式に, 走速度, 下股長, およびステップ頻度のこれら数値を代入して算出した.

^{††††} 条件D: 走速度が9.90m/s (平均値), 下股長が0.812m (平均値), ステップ頻度が4.60steps/s, および回復比が2.74, 3.16, 3.59 (それぞれ, 走速度9.90m/s, 下股長0.812m, ステップ頻度4.60steps/sを代入した表7.2(D)の重回帰式における推定値+2標準偏差, 推定値, 推定値-2標準偏差) の時のキネマティクス変数

^{†††††} 100m走の記録の推定値は, 天野 (2012) の推定式: $Y = 0.874X + 20.147$ (Y: 100m走の記録 (s), X: 走速度 (m/s)) に走速度を代入して算出したもの

太字の数値は, 変化の操作をした表7.3における独立変数

第4節 考察

本研究の目的は、下肢長およびステップ変数における差を考慮した、高い最大走速度における短距離走のキネマティクスを理解するために、日本人男子競技者を対象に、ショートスプリント走の最大走速度局面において、走速度、下肢長、ステップ頻度、および回復比と、キネマティクス（走動作）変数との相関関係を検証し、100m 走の記録（最大走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数を算出する重回帰推定式を作成することであった。競技レベルが広範囲（100m 走の最高記録：10.30–12.14s）に及ぶ多数の男子競技者を対象としたので、走速度、下肢長、およびステップ特性を考慮して、最大走速度の短距離走におけるキネマティクスを推定する重回帰式は首尾よく得られた。また、下肢長およびステップ特性に基づく、より高い最大走速度の下肢キネマティクスが、重回帰式を用いて明らかにされた。走速度と各キネマティクス変数との関係を検証する先行研究（Ae et al., 1992 ; Alexander, 1989 ; Bushnell and Hunter, 2007 ; Haugen et al., 2018 ; Ito et al., 2008 ; Kunz and Kaufmann, 1981 ; Toyoshima and Sakurai, 2016 ; Yada et al., 2011）はあったが、本研究が、下肢長とステップ特性の点から見た個人特性を考慮して、より高い競技パフォーマンスのキネマティクスの特性を検証する最初の研究である。また、すべてのキネマティクス変数における重回帰式の自由度調整済み決定係数は、各独立変数（走速度、下肢長、ステップ頻度、および回復比）とキネマティクス変数との単相関係数の2乗（付録1, 付録2）よりも高い値であったので、走速度だけでなく、下肢長およびステップ変数（ステップ頻度および回復比）が下肢キネマティクスに関係しているのは明らかである。

身長と下肢長との相関関係、回復比と滞空比との相関関係、および走速度と下肢長との無関係を示すことから、走速度、下肢長、ステップ頻度、および回復比の間の回帰は、走速度が高いほど、下肢長（身長）を除いてステップ頻度と回復比（滞空比）が高いことを実証している。走速度とステップ頻度との有意な相関関係と、走速度と下肢長との無関係という事実は、対象者が多い先行研究（Ito et al., 2008 ; Nagahara et al., 2018b）においても認められている。また、先行研究（Nagahara et al., 2018b）と一致して、本研究結果は、下肢長が長いほどステップ頻度および回復比が低いことや、ステップ頻度が高いほど回復比が低いことを示している。理論的には、慣性モーメントは一定の質量において長さの2乗に比例するので、長い下肢長は、速く回転しづらく、結果としてステップ頻度の低下を招く。また、一定の走速度およびステップ頻度において、長い下肢長は長い支持期距離を伴って長い支持時間につながる。ステップ頻度は、支持時間と滞空時間から成るステップ時間の逆数であり、一定の走速度と下肢長における支持時間は幾何学的制約によって変化が困難であるので、短いステ

ップ時間と滞空時間による高いステップ頻度は、低い回復比を伴う。したがって、前述の知見は理論的に妥当である。

相対接地距離、接地時点の股関節角度、膝関節角度、大腿角度、離地時点の股関節角度、および大腿角変位は、走速度における ± 2 標準偏差の変動に伴って、小さな変化の割合（2%未満）を示した（表 7.4）。それゆえ、走速度における変化のこれら変数への影響は、無視できると考えられる。回復期では、同じ下肢長の場合には最大走速度が高いほど、逆足接地時点の大腿角度が大きく、引き付け最大角速度および腿上げ最大角速度、および振り戻し最大角速度が高く、それらの動作が重要なキネマティクスの特性であると考えられる。先行研究と比較できない重要な変数もあるが、逆足接地時点の大腿角度と振り戻し最大角速度の重要性は、先行研究（Ae et al., 1992 ; Bushnell and Hunter, 2007 ; Yada et al., 2011）において確認されている。逆足接地時点の大腿角度が大きいことや腿上げ最大角速度が高いことは、スイング脚の素早い回復を示している。また、この動作がスイング脚の鉛直上向きの加速につながる鉛直力の急速な発揮の際に役立ち、その加速は高い最大走速度の短距離走を達成するために必要不可欠である（Weyand et al. 2000）。支持期における身体重心に対する足部の速度は、走速度に等しい。また、脚全体の角速度は足部速度の力学的決定要因の1つであるので、これらの結果は合理的である。

支持期において、相対離地距離が長いこと、膝関節の屈曲角変位や伸展角変位が小さいこと、股関節伸展角変位が大きいこと、股関節伸展最大角速度が高いこと、膝関節伸展最大角速度が低いこと、離地時点の大腿および下腿の前傾角度が大きいこと、下腿および足部の角変位が大きいこと、および脚全体後方スイング最大角速度が高いことが、下肢長が同じ場合の変化量（2%以上）に基づいて、より高い最大走速度の短距離走におけるキネマティクスの特性として定義された。以下のキネマティクスの特性は、先行研究と一致している：支持局面において、膝関節の屈曲角変位が小さいこと（Yada et al., 2011）、膝関節の伸展角変位が小さいこと（Yada et al., 2011）、股関節伸展最大角速度が高いこと（Ae et al., 1992 ; Ito et al., 2008）、膝関節伸展最大角速度が低いこと（Ae et al., 1992 ; Ito et al., 2008）、下腿角変位が大きいこと（Alexander, 1989）、脚全体後方スイング最大角速度が高いこと（Ae et al., 1992）。支持局面の前半に関係するキネマティクス変数については、膝関節屈曲角変位のみが、走速度が増加した時に大きな変化（2%を超えるもの）を示した。接地直後には、高い最大走速度の短距離走のために鉛直力を急速に発揮することが重要である（Clark and Weyand, 2014）。また、支持期前半の膝関節の屈曲は、鉛直力の発揮を抑えるだろう。したがって、支持期序盤における鉛直力を急速に発揮する重要性は、走速度と膝関節の屈曲範囲との関係を説明するのではないだろうか。相対離地距離が長いこと、

離地時点の大腿および下腿の前傾が大きいこと、さらには支持期における股関節、下腿、および足部の角変位が大きいことは、すべて支持期後半で下肢の前傾状態が大きいことを示すものである。より高い走速度のためのこれらのキネマティクスの特性の重要性について、明確な論拠を表すことは困難であるが、1つの考えられることは、下肢の前傾状態は推進力の発揮を促進する可能性があるということである (Kugler and Janshen, 2010)。とはいえ、これは初期の加速局面で決定されることであり、推進力を発揮する重要性は最大走速度局面では無くなる (Nagahara et al., 2018a)。上記に述べられているように、支持期における身体重心に対する足部速度は走速度に等しい。また、下肢の角速度は、股関節伸展速度が下肢の角速度を増加させるということで、力学的に足部速度の決定要因の1つである。支持期において膝関節の伸展は、脚全体の後方スイング速度を減少させるものである (Ito et al., 2008)、股関節伸展速度を増加させ、膝関節伸展速度を減少させることは、支持期における高い下肢の後方スイング速度を促進する役割があり、高い最大走速度における短距離走のための合理的な走技術である。

下肢長(身長)における個人差は、特定の速度における疾走の下肢キネマティクスに影響を及ぼす(表7.4)。走速度の平均値 ± 2 標準偏差の範囲での変動に伴うキネマティクス変数の変化量と比較して、下肢長の平均値 ± 2 標準偏差の範囲での変動に伴うキネマティクス変数の変化量が、全21変数中11変数でより大きいものであった。下肢長の差が、走速度における差と比較して、走キネマティクスに対して同等あるいはそれ以上の影響を及ぼすという事実は、高い最大走速度における短距離走のキネマティクスを明らかにするに際して、下肢長を考慮する重要性を実証する。本研究で得られた知見は、競技者の下肢長の個人差の効果を考慮する際に有益である。直接的な比較ができる先行研究はないが、Nagahara et al. (2018b)は、最大走速度における短距離走において身長が高いほどステップ頻度が低く、支持時間が長いことを報告しており、部分的に本研究の知見を支持している。主要なキネマティクスにおける変化を対象に得られた重回帰式に基づくと、走速度が同じ場合には下肢長が長いほど、ステップ頻度が低く、逆足接地時点の大腿角度が大きく、回復期における引き付け最大角速度が低く、支持期および回復期における脚全体後方スイング速度が低く、支持期における膝関節の屈曲範囲が大きく、伸展範囲が小さく、離地時点の大腿の前傾が小さい。

一定の走速度および下肢長の場合、主要なキネマティクスの変化に関して得られた重回帰式に基づくと、高いステップ頻度は、回復比が低いこと、逆足接地時点の大腿角度が大きいこと、支持期における膝関節の屈曲角変位および伸展角変位が小さいこと、膝関節伸展最大角速度が小さいこと、および離地時点の大腿前傾角度が小さいこ

とを伴って獲得されるものである(表 7.4). それゆえ, スイング脚を早期に回復させ, 支持期において膝関節角度の変化を抑えようとする事は, ステップ頻度の増加につながるだろう. 走速度, 下肢長, およびステップ頻度が同じ場合には, 主要なキネマティクスの変化に関して得られた重回帰式に基づくと, 高い回復比は, 逆足接地時点の大腿角度が大きいこと, 支持期における股関節伸展角変位, 膝関節屈曲角変位, および膝関節伸展角変位が小さいこと, 膝関節伸展最大角速度が低いこと, 接地時点および離地時点における大腿角度が小さいこと(共に鉛直位に近いこと), および支持期における大腿角変位が小さいことを伴って獲得されるものである(表 7.4). それゆえ, スイング脚を早期に回復させ, 支持期において狭い範囲の大腿動作を伴って膝関節角度の変化を抑えようとする事が, 回復比の増加につながるだろう.

本研究の重回帰式は, 走速度, 下肢長, ステップ頻度, および回復比を独立変数としているが, (最大) 走速度は記録, 下肢長は身長, 回復比は滞空比との間に, 非常に高い相関関係を示し(それぞれ, $r^2 = 0.910$: 天野 (2012), $r = 0.843$, $r = 0.916$), 記録は天野 (2012) の推定式 [$Y = -0.874X + 20.147$, Y : 100m走の記録 (s), X : 最大走速度 (m/s)] を用いることで, 最大走速度に変換できる. また, 身長および滞空比は, 表 7.2 の単回帰式により, それぞれ下肢長, 回復比に変換できる. したがって, 本研究では, 100m 走の記録・身長・ステップ頻度・滞空比別の標準キネマティクス(走動作) 変数を算出したことにもなると考えることができる.

本研究の限界に関して, 本研究対象者の 100m 走最高記録は, 10.30–12.14s の範囲である. したがって, 得られた重回帰式は本研究で用いられた競技者の競技レベルの範囲において適切なものである. また, 低い範囲の競技レベルにある競技者を用いた場合には, 結果が異なる可能性がある.

本研究では, 身体部分の 3 次元座標を得るための複数のカメラを用いていないので, 走速度, 下肢長, およびステップ変数の, 最大走速度の短距離走における前頭面および水平面の下肢キネマティクスへの効果は不明である. 身体マークの位置は手動デジタイズされ, 接地時点と離地時点は目視で判定されたので, 赤外線カメラから成るモーションキャプチャーシステムや地面反力を使用する測定では, 本研究結果と比較して異なる結果となる可能性がある.

重回帰式の自由度調整済み決定係数には変動が見られ, このことは, 他の変数が最大走速度の短距離走におけるキネマティクスに影響を及ぼす可能性を示している. 変数の中には, たとえ中等度の効果量(自由度調整済み決定係数が 0.13 以上)があったとしても, その自由度調整済み決定係数は, 重回帰式がキネマティクス変数における変化を部分的に説明することを示すものである. 重回帰式が 79 名の競技者のデータを用いて実施されたように, 本研究は横断的データであったので, 走速度, ステッ

プ頻度, および回復比における変化に関してキネマティクス変数における個人内変動が, 重回帰式による推定値の残差変動と一致していない可能性がある。

本研究では, 対象者に対して 40m 地点から 50m 地点までの区間に最大走速度を達成するように指示したが, 本研究では試技のスタートから走速度の連続変化を測定しなかったため, 対象者の中には最大走速度をその区間で達成していないものがある可能性がある。しかし, 走速度および走様式は, 短距離走の最大走速度周辺で僅かに変化するだけである (Slawinski et al., 2017; Nagahara et al., 2014a)。それゆえ, 最大走速度の位置の差による影響を無視できると考えられる。先行研究 (Alexander, 1989; Bushnell and Hunter, 2007; Yada et al., 2011; Bezodis et al., 2008) においても, 最大走速度の短距離走におけるキネマティクスおよびキネティクスを検討する際には, 本研究と同じ区間を採用している。本研究は男子競技者を対象に実施されたが, Ciacci et al. (2017) は, 短距離走のキネマティクスは競技者の性別による影響を部分的に受けることや, キネマティクスの差が主に競技レベルによる差によって生み出されることを明らかにしている。したがって, 本研究の知見は, 検討された競技レベルの範囲である限り, 女子競技者に対して転移できる可能性がある。

第5節 結論

本研究の目的は、日本人男子競技者を対象に、ショートスプリント走の最大走速度局面において、記録（走速度）、身長（下肢長）、ステップ頻度、および滞空比（回復比）と、キネマティクス（走動作）変数との相関関係を検証し、100m 走の記録（最大走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数を算出する重回帰推定式を作成することであった。その結果、以下の結論が得られた。

- 5： 100m 走の記録（最大走速度）、身長（下肢長）、ステップ変数（ステップ頻度、滞空比）は、それぞれキネマティクス（走動作）変数との間に、相関関係がある。
- 6： 100m 走の記録（最大走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数を算出する推定式は、重回帰式である。

本研究で得られた重回帰式は、競技者やコーチが、異なる下肢長を有する個々の選手において走速度やステップ変数の具体的な目標の変化に基づいて、最大走速度の走動作を改善しようとする際に有益である。

第 8 章 総合討論

第 8 章では、本研究によって明らかにされた新規性（第 1 節）と推定式の実践的な利用価値（コーチング場面において、どのように利用できるのか）（第 2 節）を中心に考察する。本研究を簡潔に説明すると以下のようになる。

100m 走は、そのレースパターンから 4 つの局面（第 1 加速局面、第 2 加速局面、速度維持局面、減速局面）に大別され、トレーニングマネジメントが進められること（天野，2012；土江，2009，2011；図子，2009）が多い。そのため、100m 走では記録だけでなく、通過時間、区間時間、レース展開、ステップ変数、および走動作の評価や目標設定を適切に行うことが、コーチングとして必要不可欠である。また、そのためには基準値が必要となる。そこで本研究では、男子 100m 走の各局面に対応する走時間およびステップ変数、記録に最も影響を及ぼす局面である最大走速度局面におけるキネマティクス（走動作）変数について、現状把握（評価）と目標設定を階層的かつ類型的に行うための基準値を算出する推定式の作成を試みた。その結果、研究課題 1 では 100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰式（表 5.2）が得られた。また、研究課題 2 では 100m 走のレース全体および各区間において、走時間・身長別の標準ステップ数および標準支持時間を算出する重回帰式（表 6.2，表 6.3），身長別の標準滞空時間および走時間別の標準滞空比を算出する単回帰式（表 6.4，表 6.5）が得られた。さらに、研究課題 3 では、最大走速度局面における記録（走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数を算出する重回帰式（表 7.3）が得られた。

第1節 本研究の新規性

本研究の新規性は幾つかあるが、まず多くの競技者を対象として、2 つ以上の独立変数を設定し、重回帰分析を利用することによって、通過時間、区間時間、ステップ変数、およびキネマティクス（走動作）変数の評価や目標設定を行うための階層的（走時間別）かつ類型的（身長〔下肢長〕別，ステップ頻度別，滞空比〔回復比〕別）な基準値を明らかにしたことである。このことは、以下に述べる先行研究とは大きく異なる点であり、本研究の新規性として十分であると予め結論づける。

先行研究では、純横断的データを用いて競技パフォーマンス（記録や走速度）と各種要因（通過時間、区間時間、走速度、ステップ変数、走動作、体力・運動能力など）との単相関分析（伊藤ほか，1998）や、1 つの独立変数を設定する単回帰分析（阿江ほか，1994；松尾ほか，2017）をしたものが数多く行われている。身長と各種要因との単回帰分析（阿江ほか，1994；岡野ほか，1988：図 2.8）についても幾つか行われているが、キネマティクス（走動作）変数について単回帰分析をした研究は見当たらない。単相関分析では 2 変数間の関係の高さを表す指標として Pearson の積率相関

係数が算出されることが多く、その有意性検定が行われる。そこから明らかになるのは、「競技パフォーマンス（記録など）が良いほど、各種要因が優れている」といったように、相対的に捉えた 2 変数間の関係性であり、特定の記録もしくは走速度に応じた各種要因の絶対的な値まで明らかとなるわけではない。単相関分析の一例として、伊藤ほか（1998）は 100m 走の等速局面における走速度とキネマティクス（走動作）変数との関係を検証し、走速度が高い競技者の走動作を明らかにした。一方、単回帰分析では、2 変数間の相関関係から、統計的に有意な単回帰式が導かれる。すなわち、相対的に捉えた 2 変数間の関係性だけでなく、特定の競技パフォーマンス（記録や走速度）に応じた各種要因の絶対的な値が単回帰分析によって明らかになる。その例として、阿江ほか（1994）は、記録別の標準通過時間および標準区間時間を算出する単回帰式（表 2.3）を示した。また、岡野ほか（1988）は身長別の標準平均ステップ長を算出する単回帰式〔図 2.8, $Y = 1.10906X + 19.2525$, Y : 100m 走の平均ステップ長 (cm), X : 身長 (cm)] を示した。このように、先行研究では 1 つの独立変数を設定する単回帰分析を行い、通過時間、区間時間、およびステップ変数のみの基準値を示した。以上より、2 つ以上の独立変数を設定する重回帰分析を用いた本研究の新規性は明らかとなった。その上、先行研究よりも推定精度の高い回帰式を得ることができた点も新規性として重要なことである。さらに、通過時間、区間時間、およびステップ変数を扱ったこれらの先行研究（阿江ほか, 1994 ; 岡野ほか, 1988）では、30 人未満の少ない競技者を対象にしていることから、本研究の基準値（研究課題 1 : $n = 112$, 研究課題 2 : $n = 145$ ）が信頼性の比較的高いものとして示されたことも新規性として捉えられる。

上述したように、本研究では推定精度を高めるために 2 つ以上の独立変数を設定した。第一に身長（下肢長）という最も基本的な形態的要因を独立変数として用いた理由について討論する。身長は、本研究で扱った通過時間、区間時間、ステップ変数、キネマティクス（走動作）変数といった技術的要因だけでなく、筋力などの体力的要因など様々な個人特性要因に大きく影響を及ぼす。競技スポーツにおける数多くの学術論文では、対象者の基礎的情報として身長を示すことが通例である。また、身長は体重のように競技者がコントロールできるものではなく、成人以降に変化することがない極めて安定した形態的特質を有する。これらのことから、身長はあらゆる個人特性要因の始まりともいえる変数であるといってもいい。その上、身長の個人差は決して小さいといえず、100m 走の競技者において、身長は 1.60m から 1.96m までの範囲で変動し（野口・千田, 2013 : 図 2.10, 表 2.6）、競技者のコーチング場面において無視できる要因ではない。したがって、身長を独立変数として回帰分析に利用して、身長別の評価や目標設定のための基準値を明らかにする研究をすることは、様々な身長を有する競技者を抱えるコーチや競技者自身には有益であると考えられる。以上の

ことから、本研究では、身長を独立変数として用いた。これまでの研究では、身長とステップ変数との関係を検証し、身長別の標準ステップ変数を算出する単回帰式を明らかにしたものは幾つか存在するが（阿江ほか，1994；岡野ほか，1988），それらは競技パフォーマンス（記録，走速度など）のステップ変数への影響を加味していないため，評価や目標設定を行うための基準値として利用するには不十分であった。本研究は，そのような欠点を補い，身長と走時間（もしくは走速度）を同時に独立変数として扱っており，ステップ変数だけでなく，通過時間，区間時間，キネマティクス（走動作）変数を従属変数とした重回帰分析によって，階層的かつ類型的な基準値を明らかにした最初の研究である。

研究課題 1 では，身長という対象者の要因だけでなく，風速という外的要因も独立変数として用いた。第二として風速を独立変数として用いた理由は，風速が 100m 走の記録だけでなく，レース展開（記録に対する通過時間，区間時間）にも大きく影響を及ぼすことが物理的に明白である（第 1 章 序論を参照）ためである。それにも関わらず，実際のレースを撮影して収集した分析データを用いて，風速と通過時間および区間時間を検証した研究は見当たらなかった。公認競技会の 100m 走は屋外で行われることが原則であり，風速の影響は避けられない。風速という外的要因によるレース展開の影響が分かれば，競技者の評価をより適切に行うことができ，競技者の解決すべき課題は変わる可能性がある。以上のことから，本研究では風速を独立変数として研究課題 1 で用いた。

さらに本研究では，推定値の標準誤差を求めて利用したことにより，特定の身長および特定の競技パフォーマンス（記録など）等における評価基準もしくは目標とすべき通過時間，区間時間，ステップ変数，キネマティクス（走動作）変数の範囲を示すことができ，より現実的な評価もしくは目標設定が可能になった。このように，横断的データを縦断的にも解釈できる視点を提供したこと（遠藤ほか，2018）もまた，本研究の特筆すべき新規性であろう。

第2節 本研究の推定式の実践的利用価値

1. 通過時間および区間時間，並びにレース展開の評価と目標設定

競技会レースの 100m 走について現状把握および目標設定を行う時，第一に記録を評価する．一般的に，風速条件が良いほど記録は良く，すべてのレースが同じ風速条件になることは無い．それゆえ，競技会レースでマークされた記録を風速の影響を排除した記録に変換することは，記録評価方法の 1 つといえ，異なるレースの記録を比較する際に有効である．また，その変換は，Linthorne (1994a, 1994b) の推定式 [$T_0 = T + \alpha (V_w - \beta V_w^2)$ ， T_0 ：風速の影響を排除した記録 (s)， T ：公式記録 (s)， $\alpha = 1/18 (s^2/m)$ ， V_w ：風速 (m/s)， $\beta = 1/20 (s/m)$]，若しくは Mureika (2001) の推定式 [但し高度 0m と仮定したもの， $t_{0,0} = t_{w,H} [1.03 - 0.03 \exp(-0.000125 \cdot H) (1 - w \cdot t_{w,H} / 100)^2]$ ， $t_{0,0}$ ：風速および高度の影響を排除した記録 (s)， $t_{w,H}$ ：公式記録 (s)， w ：風速 (m/s)， H ：高度 (m)] を利用することにより可能である (記録と風速との関係の程度は，両研究間でほぼ一致する)．例えば，+2.0m/s の風速条件でマークされた 10.30s は，Mureika (2001) の推定式を用いると 0.0m/s の風速条件で 10.41s (風速による補正記録) と期待される．同様に，+1.8m/s の風速条件でマークされた桐生選手の 9.98s (日本人競技者初となる 9 秒台) は，0.0m/s の風速条件では 10.08s と期待され，桐生選手の中で最良の補正記録ではない (表 8.1)．

このように記録を客観的に評価した上で，通過時間および区間時間 (レース展開)，ステップ変数，さらには走動作の評価に進むことができると考えられる．研究課題 1 において，100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰式が作成されたこと (表 5.2) は，100m 走の通過時間および区間時間の基準値が階層的 (記録別) かつ類型的 (身長別および風速別) に示されたことを意味しており，記録だけでなく競技者の身長およびレースで計測される風速に応じて，通過時間および区間時間，並びにレース展開の評価や目標設定を行う必要性を示唆するものである．また重回帰式の回帰係数は，同記録かつ同風速条件の場合に身長が低いほどスタートから 30m 地点までに優れ，身長が高いほど 60m 地点からゴール (100m) 地点までに優れる傾向のレース展開であることや，同記録かつ同身長の場合に風速条件が良いほど 30m 地点から 90m 地点までに優れる傾向のレース展開であることを意味するとともに，競技者やコーチが変化させられない要因 (身長，風速) によって 100m 走の通過時間および区間時間，並びにレース展開が左右されることを示す．その一方，各重回帰式における独立変数の寄与率は 100% ではないので，記録，身長，および風速によって通過時間，区間時間，並びにレース展開を，完全には説明できないことを示している．したがって，これらの重回帰式および推定値の標準誤差 (表 5.2 (A), (B), (E) のステップ 3, (C), (D), (F) のステップ 2) を利用すれば，競技者 1 人ひとりの通過時間および区間時間，並びにレース展開の“記録，身長，および風速以外の

要因によって示される特徴（類型的特徴）”を、定量的に表すことができる。また、単純な重回帰式であるので、コーチや競技者自身がこれを容易に行えると考えられる。例えば、競技会で 1 台の標準カメラもしくはスマートフォンに搭載のハイスピードカメラ（測定アプリケーション例：Field Coach Assessor）を用いて T_{60} を測定することで、対象競技者の類型的特徴を表すという手順である。 T_{60} を測定することは、同時に T_{60-100} を測定することにもなる。記録が 9–11s 台の競技者では、概ねスタート地点から 60m 地点までが加速局面、60m 地点からゴール（100m）地点までが速度維持局面および減速局面（天野，2012；松尾ほか，2014）に相当する。したがって、測定値と同条件（記録，身長，風速）の標準 T_{60} との差（残差）や、測定値と同条件の標準 T_{60-100} （記録－標準 T_{60} ）との差は、対象競技者における加速能力および速度維持能力並びにレース展開の類型的特徴（同記録かつ同身長の競技者の中で、加速能力あるいは速度維持能力に優れるか否か、または前者に優れ後者に劣るレース展開か否か）を、風速による影響を除去して定量的に表すといえる。重回帰式の推定値の±標準誤差以内には該当する記録かつ身長の全競技者の約 70%，±2 標準誤差以内に同じく約 95%が収まるので、それらの利用や残差の標準化（標準化残差。表 8.1 にその事例を示した）により類型的特徴の相対的程度も表すことができる。例えば、多田選手が 10.10s (+0.5) をマークした時の T_{60} の標準化残差は -2.33 であるので、多田選手が極めて加速能力に優れる競技者であることを表すことができる。また、表 5.2 の (A)，(D)，(E) のステップ 2，(B) のステップ外，および (C)，(F) のステップ 1 の重回帰式（記録・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰式）と推定値の標準誤差を用いて同様にすると、同記録のすべての競技者の中での通過時間および区間時間，並びにレース展開の類型的特徴およびその相対的程度を表すことができる。様々な身長を有する競技者がいる中で自己の客観的な位置を知るには、こちらの回帰式を利用するほうが適切であるだろう。さらに、自己のレース展開の特徴を、競技者やそのコーチがより現実的に理解するためには、図 8.1 のように散布図に示すことも有効であると思われる。すなわち、自己の通過時間および区間時間のデータだけでなく、ライバルとなる競技者における通過時間，区間時間，および身長のデータと、記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を表す線〔研究課題 1 において対象者の記録範囲（10.05–11.06s）および身長範囲（1.64–1.88m）を超えても適用できる可能性がある」と示唆されたことから、身長が 1.95m の線および 9.50s の記録まで延伸させた線〕を散布図に描画することより、様々な競技者の中における自己のレース展開の階層的かつ類型的な特徴を視覚的に理解すること（谷川ほか，2011）が可能である。このように、研究課題 1 の回帰式および推定値の標準誤差は、通過時間および区間時間，並びにレース展開の現状把握（評価）をより具体的かつ現実的に行うために活用できると考えられる。

一方、既に述べたように研究課題 1 において各重回帰式における独立変数の寄与率は 100%ではないので、推定値には誤差が生じる。重回帰式 (表 5.2 (A), (B), (E) のステップ 3, (C), (D), (F) のステップ 2) の推定値の ± 2 標準誤差以内は、その条件 (記録, 身長, 風速) にある全競技者の約 95%が達成し得る通過時間および区間時間の範囲を表すものである。したがって、目標記録, 身長, および想定風速を代入して示された標準通過時間および標準区間時間 (重回帰式の推定値) ± 2 標準誤差以内を、その身長の競技者における目標記録および想定風速に対応した通過時間および区間時間の目標値として活用できると考えられる。すなわち、目標値に幅を持たせる (推定値 ± 2 標準誤差以内の範囲で融通がきくようにする) ということになる。この時、現状の記録において観測された通過時間および区間時間の測定値と、目標記録, 身長, および想定風速に対応したそれらの目標値との差は、対象競技者における通過時間および区間時間の階層的特徴といえ、現状と目標像との差を表している。

しかしながら、先行研究で報告された各競技者における T_{60} の縦断的データの事例 (表 8.1) を対象に、研究課題 1 の重回帰式と推定値の標準誤差によって T_{60} の標準化残差の縦断的データを算出したところ、各対象者においてそのデータは、全競技者の約 95%が収まる -2 から 2 までの範囲 (推定値の ± 2 標準誤差以内) よりも小さな範囲で分布していた (表 8.1)。範囲の最小は -0.21 から -0.09 までの大瀬戸選手であり、最大は 2.33 から 0.03 までの小池選手であった。なお、研究課題 1 の重回帰式 (表 5.2) が、対象者の記録範囲 (10.05—11.06s) および身長範囲 (1.64—1.88m) を超えても適用できる可能性があること示唆されたことから、9s 台の記録や 1.90m 以上の身長を示した競技者に対しても T_{60} の標準化残差を算出した (表 8.1)。これらの事例による結果は、個人内において、記録が変化しても通過時間および区間時間、並びにレース展開の類型的特徴については、顕著に変化しない可能性があることを示しているが、更なるトレーニング経過によっては顕著に変化する可能性がないとはいえない。したがって、各競技者の目標記録および想定風速に対応した通過時間および区間時間の目標値については、トレーニングサイクル (図子, 2013) の中で 100m 走の縦断的レース分析を繰り返し実施して類型的特徴の個人内変動を検証することにより、現実的なものに随時更新されていくと考えられる。谷川ほか (2011) も競技者 1 人ひとりが目指すべきスプリント運動を設計するために縦断的レース分析の必要性を指摘しており、この考察を支持するものと推測される。さらに、自己の目標記録に対応した通過時間および区間時間、並びにレース展開の目標を、より現実的に理解するためには、図 8.1 のように自己の通過時間および区間時間の縦断的データと、記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を表す線を散布図に描画することが有効であると考えられる。そして、研究課題 1 の重回帰式および推定値の標準誤差は、通過時間および区間時間の類型的特徴の個人内変動を検証することを可能にし、より現

実的かつ客観的な目標設定のために貢献すると考えられる。このように、重回帰式の推定値と標準誤差を利用することで、横断的なデータを縦断的に解釈することができる（遠藤，2018）。

ところで、表 8.1 の日本人競技者および外国人競技者における T_{60} のデータを描画した散布図（図 8.1）を見ると、日本人競技者 10 名における T_{60} の縦断的データは、外国人競技者のための身長別の標準 T_{60} を示す線（ただし、風速条件が+1.0m/s のもの）付近に描画されることはなく、日本人競技者のための身長別の標準 T_{60} を示す線（ただし、風速条件が+1.0m/s のもの）付近、もしくはそれよりも短い時間を示すところに描画されていることが分かる。すなわち、日本人競技者が外国人競技者と比較して、加速局面に強いものの速度維持および減速局面に弱い傾向のレース展開を示すことや、記録が変化（向上もしくは低下）した場合でも、その可能性があることを視覚的に示している。また、100m 走では記録と身長との間に相関関係がない（図 2.10）ものの、外国人競技者は日本人競技者と比較して、身長において高い傾向である（図 2.12，図 2.13，表 2.6）。したがって、日本人競技者が 9s 台の記録を達成するためには、同記録の外国人競技者と比較してレース序盤からリードするようなレース展開が必要である可能性がある。

表 8.1 標準 T₆₀ および (外)標準 T₆₀ の事例

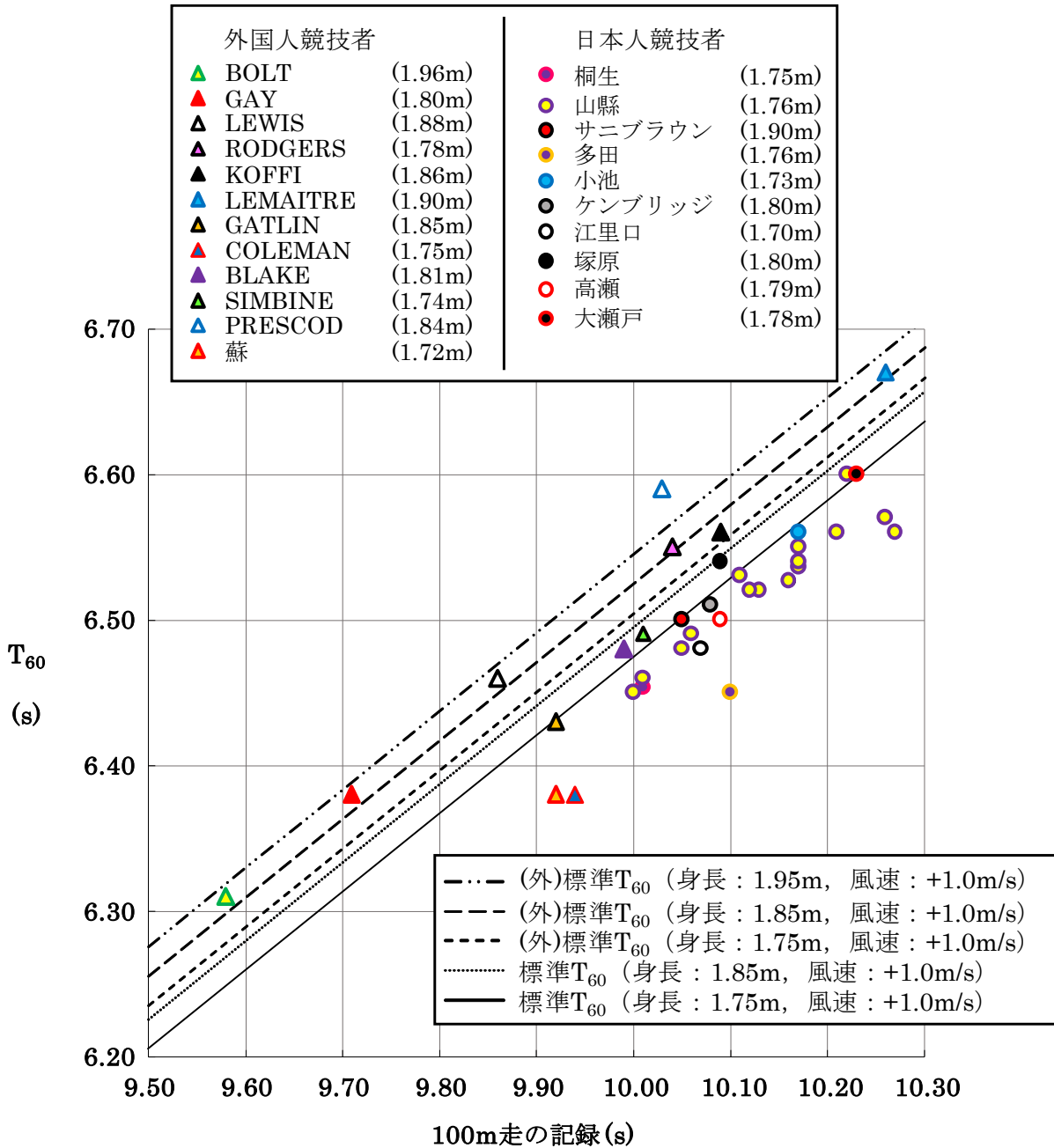
競技者名	身長 (m)	記録 (s)	風速 (m/s)	T ₆₀ (s)	補正記録 (s)	標準T ₆₀ (s)	残差 (s)	標準化残差	(外)標準T ₆₀ (s)	残差 (s)	標準化残差	西暦 (年)	競技会名	ラウンド
BOLT	1.96	9.58	0.9	6.310	9.63				6.320	-0.010	-0.31	2009	世界選手権	決勝
		9.63	1.5	6.360	9.71				6.352	0.008	0.25	2012	オリンピック	決勝
		9.95	-0.8	6.480	9.90				6.507	-0.027	-0.82	2017	世界選手権	決勝
GAY	1.80	9.85	-0.5	6.440	9.82				6.423	0.017	0.53	2007	世界選手権	決勝
		9.71	0.9	6.380	9.76				6.358	0.022	0.68	2009	世界選手権	決勝
LEWIS	1.88	9.93	1.0	6.500	9.99				6.493	0.007	0.20	1987	世界選手権	決勝
		9.92	1.1	6.480	9.98				6.489	-0.009	-0.27	1988	オリンピック	決勝
		9.86	1.2	6.460	9.93				6.457	0.003	0.08	1991	世界選手権	決勝
RODGERS	1.78	10.04	0.2	6.550	10.05				6.526	0.024	0.72	2009	世界選手権	準決勝
KOFFI	1.86	10.09	-0.1	6.560	10.08				6.567	-0.007	-0.22	2015	GGP川崎	決勝
LEMAITRE	1.90	10.26	-1.6	6.670	10.15				6.656	0.014	0.42	2010	GP川崎	決勝
		10.02	-3.5	6.460	9.77				6.502	-0.042	-1.27	2014	GGP東京	決勝
GATLIN	1.85	10.02	-0.4	6.480	10.00				6.525	-0.045	-1.37	2016	GGP川崎	決勝
		9.92	-0.8	6.430	9.87				6.468	-0.038	-1.16	2017	世界選手権	決勝
		10.06	-0.7	6.510	10.02				6.545	-0.035	-1.05	2018	GGP大阪	決勝
COLEMAN	1.75	9.94	-0.8	6.380	9.89				6.459	-0.079	-2.38	2017	世界選手権	決勝
BLAKE	1.81	9.99	-0.8	6.480	9.94				6.498	-0.018	-0.54	2017	世界選手権	決勝
SIMBINE	1.74	10.01	-0.8	6.490	9.96				6.494	-0.004	-0.13	2017	世界選手権	決勝
PRESCOD	1.84	10.03	0.0	6.590	10.03				6.532	0.058	1.77	2017	世界選手権	予選
蘇	1.72	10.10	-0.1	6.500	10.09				6.544	-0.044	-1.33	2015	GGP川崎	決勝
		9.92	0.8	6.380	9.97				6.454	-0.074	-2.23	2018	アジア大会	決勝
桐生	1.75	10.21	0.1	6.563	10.22	6.581	-0.018	-0.54				2012	岐阜国体	決勝
		10.01	0.9	6.453	10.06	6.479	-0.026	-0.79				2013	織田記念	予選
		10.25	0.7	6.590	10.29	6.607	-0.017	-0.52				2013	日本選手権	決勝
		10.22	0.6	6.600	10.26	6.590	0.010	0.30				2014	日本選手権	決勝
		10.27	-0.4	6.580	10.24	6.610	-0.030	-0.90				2016	GGP川崎	決勝
		10.09	-0.5	6.490	10.06	6.512	-0.022	-0.66				2016	布勢スプリント	決勝
		10.29	-1.4	6.590	10.19	6.613	-0.023	-0.69				2016	日本選手権	準決勝
		10.04	-0.3	6.470	10.02	6.486	-0.016	-0.50				2017	織田記念	A決勝
		9.98	1.8	6.500	10.08	6.470	0.030	0.91				2017	日本インカレ	決勝
		10.17	-0.7	6.550	10.13	6.553	-0.003	-0.11				2018	GGP大阪	決勝
		10.16	0.6	6.580	10.20	6.558	0.022	0.67				2018	日本選手権	決勝
10.22	0.0	6.610	10.22	6.586	0.024	0.73				2018	全日本実業団	決勝		
山縣	1.76	10.16	0.0	6.527	10.16	6.555	-0.029	-0.87				2012	織田記念	決勝
		10.17	0.1	6.537	10.18	6.562	-0.025	-0.76				2013	織田記念	予選
		10.11	0.7	6.530	10.15	6.534	-0.004	-0.11				2013	日本選手権	決勝
		10.26	0.7	6.570	10.30	6.615	-0.045	-1.35				2014	織田記念	A決勝
		10.22	0.8	6.600	10.27	6.594	0.006	0.19				2014	日本選手権	準決勝
		10.27	-2.5	6.560	10.09	6.596	-0.036	-1.09				2016	織田記念	A決勝
		10.21	-0.4	6.560	10.18	6.579	-0.019	-0.59				2016	GGP川崎	決勝
		10.06	-0.5	6.490	10.03	6.498	-0.008	-0.23				2016	布勢スプリント	決勝
		10.17	-0.3	6.540	10.15	6.559	-0.019	-0.56				2016	日本選手権	決勝
		10.17	1.3	6.550	10.25	6.571	-0.021	-0.62				2018	織田記念	A決勝
		10.13	-0.7	6.520	10.09	6.534	-0.014	-0.42				2018	GGP大阪	決勝
10.12	-0.7	6.520	10.08	6.529	-0.009	-0.26				2018	布勢スプリント	決勝		
10.05	0.6	6.480	10.09	6.501	-0.021	-0.62				2018	日本選手権	決勝		
10.00	0.8	6.450	10.05	6.475	-0.025	-0.76				2018	アジア大会	決勝		
10.01	0.0	6.460	10.01	6.475	-0.015	-0.44				2018	全日本実業団	決勝		
サニブラウン	1.90	10.34	-0.4	6.650	10.31	6.678	-0.028	-0.86				2016	GGP川崎	決勝
		10.05	0.6	6.500	10.09	6.529	-0.029	-0.89				2017	日本選手権	決勝
多田	1.76	10.10	0.5	6.450	10.13	6.527	-0.077	-2.33				2017	日本選手権	準決勝
		10.32	-0.7	6.600	10.27	6.636	-0.036	-1.10				2018	GGP大阪	決勝
小池	1.73	10.22	0.6	6.550	10.26	6.592	-0.042	-1.28				2018	日本選手権	決勝
		10.42	1.8	6.780	10.53	6.703	0.077	2.33				2014	織田記念	B決勝
ケンブリッジ	1.80	10.17	0.6	6.560	10.21	6.559	0.001	0.03				2018	日本選手権	決勝
		10.32	0.7	6.690	10.36	6.655	0.035	1.05				2014	織田記念	A決勝
		10.16	-0.3	6.580	10.14	6.561	0.019	0.56				2016	日本選手権	決勝
		10.08	-0.9	6.510	10.02	6.514	-0.004	-0.11				2017	日本選手権	予選
		10.26	1.3	6.640	10.34	6.627	0.013	0.38				2018	織田記念	A決勝
江里口	1.70	10.19	-0.7	6.610	10.14	6.575	0.035	1.07				2018	GGP川崎	決勝
		10.21	-0.7	6.580	10.16	6.585	-0.005	-0.16				2018	布勢スプリント	A決勝
		10.14	0.6	6.600	10.18	6.557	0.043	1.29				2018	日本選手権	決勝
		10.07	1.9	6.480	10.17	6.509	-0.029	-0.87				2009	日本選手権	準決勝
塚原	1.80	10.13	1.2	6.550	10.20	6.536	0.014	0.43				2009	日本インカレ	決勝
		10.13	0.8	6.572	10.18	6.553	0.018	0.55				2009	GP大阪	決勝
高瀬	1.79	10.09	1.8	6.540	10.19	6.539	0.001	0.02				2009	日本選手権	予選
		10.23	0.9	6.580	10.28	6.606	-0.026	-0.79				2013	織田記念	予選
		10.13	0.7	6.510	10.17	6.551	-0.041	-1.23				2014	織田記念	決勝
		10.09	-0.1	6.500	10.08	6.523	-0.023	-0.70				2015	GGP川崎	決勝
		10.28	-0.9	6.600	10.22	6.620	-0.020	-0.59				2015	日本選手権	決勝
大瀬戸	1.78	10.25	-0.5	6.550	10.22	6.606	-0.056	-1.71				2016	布勢スプリント	決勝
		10.23	1.3	6.600	10.31	6.607	-0.007	-0.21				2012	織田記念	予選
		10.25	2.0	6.620	10.36	6.623	-0.003	-0.09				2014	織田記念	予選

† T₆₀ : 60m地点の通過時間。標準T₆₀ : 表5.2 (B)のステップ3の重回帰式による推定値。(外)標準T₆₀ : 外国人競技者のための標準T₆₀であり、表5.2 (B)のステップ3の重回帰式による推定値に、0.030s (表5.5)を加算した値。標準化残差 : 残差を、表5.2 (B)のステップ3の重回帰式による推定値の標準誤差 (0.0330) で除した値。

‡ 各競技者のT₆₀は、阿江ほか (1994), Graubner and Nixdorf (2011), Graubner et al. (2009b), Hommel et al. (online), 石井 (2013), 小林 (1990), 小林ほか (2018, 2019), Krzysztow and Mero (2013), 松尾ほか (2010a, 2010b, 2010c, 2011, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018), Moravec et al. (1988), 野口 (2009), 杉田・三浦 (2015), 谷川・内藤 (2015), 谷川ほか (2011) に、公表された値である。

各競技者の身長は、野口・千田 (2013), Tilastopaja Oy Track and field statistics (online), 日本陸上競技連盟 (online3) に、公表された値である。

‡‡‡ 補正記録は、Mureika (2001)の推定式 (第2章 第9節を参照) によって得られた風速補正記録である。



† 各競技者における描画は、表8.1に記載のデータを用いて行った
 ‡ T_{60} : 60m地点の通過時間
 †† 標準 T_{60} : 表5.2 (B)のステップ3の重回帰式による推定値。
 (外)標準 T_{60} : 外国人競技者のための標準 T_{60} であり、表5.2 (B)のステップ3の重回帰式による推定値に、0.030s (表5.5) を加算した値

図 8.1 散布図による 100m 走の記録と T_{60} の事例

2. レース全体および各区間におけるステップ変数の評価と目標設定

基本的には、通過時間および区間時間を同様にして、重回帰式を利用することで、競技者の評価や目標設定を行うことが可能である。各ステップ変数（ステップ数、ステップ頻度、ステップ長、支持時間、滞空時間、滞空比）は、コーチング場面で扱われる走技能指標であり（イオーノフ, 1968 ; 宮丸凱・宮丸郁, 1976 ; Muller, 1991 ; 大村, 2015 ; 谷川ほか, 2011 ; 土江, 2011), そのデータや研究結果は、競技者が高い走速度や短い通過時間および区間時間をどのように獲得するかに関する示唆を提供する (Mann, 2011). ここでは、各ステップ変数のうち、ステップ数、ステップ頻度、ステップ長の 3 変数に着目して、本研究の重回帰式がコーチング場面においてどのように利用できるかについて考察する。研究課題 2 において 100m 走のレース全体および各区間において、走時間・身長別の標準ステップ数を算出する重回帰式が作成された (表 6.2). このことは、100m 走のレース全体および各区間において各ステップ変数の評価や目標設定のための基準値が階層的（走力別）かつ類型的（身長別）に明示されたことを意味しており、各ステップ変数の評価や目標設定を走時間（記録、通過時間、もしくは区間時間）および身長に応じて行うことが必要かつ可能であることを示唆するものである。また重回帰式の回帰係数 (表 6.2) は、同走時間の場合に身長が低いほどレース全体および各区間においてステップ数が多い（ステップ頻度が高く、ステップ長が短い）傾向であることを意味するとともに、競技者やコーチには支配できない要因（身長）によって 100m 走の各局面に対応する各ステップ変数が左右されることを示唆するものと考えられる。その一方、各重回帰式における独立変数の寄与率は 100% ではないので、走時間および身長によってレース全体および各区間におけるステップ数を、完全には説明できないことを示している。したがって、これらの重回帰式および推定値の標準誤差 (表 6.2 (A)–(G) のステップ 2) を利用すれば、競技者 1 人ひとりのレース全体および各区間における各ステップ変数の“走時間および身長以外の要因によって示される特徴（類型的特徴）”を、定量的に表すことができる。すなわち、ある区間におけるステップ数の測定値と、同条件（走時間、身長）の標準ステップ数との差（残差）は、対象競技者における各ステップ変数の類型的特徴（同走時間および同身長の競技者の中で、ステップ数が多いか否か、ステップ頻度が高くステップ長が短いか否か）を定量的に表すといえる。重回帰式の推定値の±標準誤差以内に該当する走時間および身長を有する全競技者の約 70%, ±2 標準誤差以内に同じく約 95% が収まるので、それらの利用や残差の標準化（標準化残差: S_{100} について表 8.2 にその事例を示した）により類型的特徴の相対的程度も表すことができる。例えば、多田選手が 10.10s (+0.5m/s) をマークした時の S_{100} の標準化残差は 1.05 であるので、多田選手がステップ頻度の高い競技者であることを定量的に表すことができる。また、それによって極めて優れた加速能力を発揮していると考えられ、その後

の多田選手の記録低下 (10.32s, -0.7m/s) と再向上 (10.22s, +0.6m/s) に伴って高いステップ頻度という特徴が弱くなって (標準化残差: 0.35) は再度若干強くなった (標準化残差: 0.40) ことから (表 8.2), 多田選手にとって高いステップ頻度という長所を持続しながらトレーニングを進めることが, 良い記録に結び付く可能性がある。さらに, 自己のステップ変数の特徴を, 競技者やそのコーチがより現実的に理解するためには, 図 8.2 のように散布図に示すことも有効であると思われる。すなわち, 自己のステップ変数のデータだけでなく, ライバルとなる競技者におけるステップ変数および身長とのデータと, 走時間・身長別の標準ステップ変数 (図 8.2 の場合では, 標準ステップ頻度および標準ステップ長) を表す線 [研究課題 2 において対象者の T_{30-60} 範囲 (2.68—2.94s) および身長範囲 (1.62—1.88m) を超えても適用できる可能性があるとして示唆されたことから, 身長が 1.90m, 1.95m の線および 2.45s 付近の T_{30-60} まで延伸させた線] を散布図に描画することより, 様々な競技者の中における自己のステップ変数の階層的かつ典型的な特徴を視覚的に理解することが可能である。このように, 研究課題 2 の重回帰式および推定値の標準誤差は, レース全体および各区分における各ステップ変数の特徴をより具体的かつ現実的に表す (評価する) ために活用できると考えられる。

一方, 既に述べたように研究課題 2 においても各重回帰式における独立変数の寄与率は 100% ではないので, 推定値には誤差が生じる。標準ステップ数の誤差範囲 (表 6.2 (A)—(G) のステップ 2 の重回帰式の推定値の ± 2 標準誤差以内) は, その条件 (走時間, 身長) にある全競技者の約 95% が達成し得るステップ数の範囲を表すものであり, 走時間と身長以外の個人特性 (走動作などの技術的要因, 筋力などの体力的要因, その他の形態的要因など) によって, 競技者のステップ数はその誤差範囲内で変化すると推測される。したがって, 全力疾走時における各ステップ変数 (ステップ数, ステップ頻度, ステップ長) の目標設定については, 各競技者の個人特性を見極めながら, 目標とする走時間・身長別の標準ステップ変数の誤差範囲内で行うことが重要であると考えられる。すなわち, 表 6.2 (A)—(G) のステップ 2 の重回帰式の推定値の ± 2 標準誤差以内が, レース全体および各区分におけるステップ数の目標値であり, ステップ頻度およびステップ長の目標値はステップ数の目標値から算出されるものであると捉えられる (表 6.6—6.8 など)。この時, 現状の走時間において観測された各ステップ変数の測定値と, 目標とする走時間および身長に対応した各ステップ変数の目標値との差は, 対象競技者における各ステップ変数の階層的特徴であり, 現状と目標像との差を表すものである。

しかしながら, 先行研究で報告された各競技者における S_{100} の縦断的データの事例 (表 8.2) を対象に, 研究課題 2 の重回帰式と推定値の標準誤差によって S_{100} の標準化残差の縦断的データを算出したところ, 各対象者においてそのデータは, 全競技者

の約 95%が収まる-2 から 2 までの範囲（推定値の ± 2 標準誤差以内）よりも小さな範囲で分布していた（表 8.2）. 範囲の最小は-0.52 から-0.14 までの LEWIS 選手であり，最大は-0.03 から 1.68 までの山縣選手であった．なお，研究課題 2 の重回帰式（表 6.2）が，対象者の記録範囲（10.28—11.11s）および身長範囲（1.62—1.88m）を超えても適用できる可能性があること示唆されたことから，9s 台の記録や 1.90m 以上の身長を示した競技者に対しても S_{100} の標準化残差を算出した．これらの事例による結果は，個人内において，走時間が変化してもステップ変数の典型的特徴については，顕著に変化しない可能性があることを示しているが，競技者やトレーニング経過によっては顕著に変化する可能性がないとはいえない．したがって，各競技者の目標とする走時間に対応したステップ変数の目標値についても，トレーニングサイクル（図子，2013）の中で 100m 走の縦断的レース分析を繰り返し実施して典型的特徴の個人内変動を検証することにより，現実的なものに随時更新されていくと考えられる．さらに，ステップ変数の目標を，より現実的に理解するためには，図 8.2 のように自己およびライバルとなる競技者におけるステップ変数の縦断的データと，走時間・身長別の標準ステップ変数を表す線を散布図に描画することが有効であると考えられる．そして，研究課題 2 の重回帰式および推定値の標準誤差は，ステップ変数の典型的特徴の個人内変動を検証することを可能にし，より現実的かつ客観的な目標設定のためにも貢献すると考えられる．

なお，本研究で測定したステップ数のうち S_{100} は比較的容易に測定できるので，走時間・身長別の標準 S_{100} とその誤差範囲（表 6.2 (A) のステップ 2，表 6.6）を用いて，上述したような各ステップ変数の評価をし易いと考えられる．また，研究課題 2 のデータによって S_{100} と各区間のステップ数（ S_{30} ， S_{60} ， S_{90} ， S_{30-60} ， S_{60-90} ， S_{90-100} ）との間には非常に高い相関関係が認められていること（図 8.3）から，測定した S_{100} およびその重回帰分析結果を用いてレース全体における各ステップ変数の特徴を示すことは，各区間における各ステップ変数の特徴を示すことにもなると考えられる．

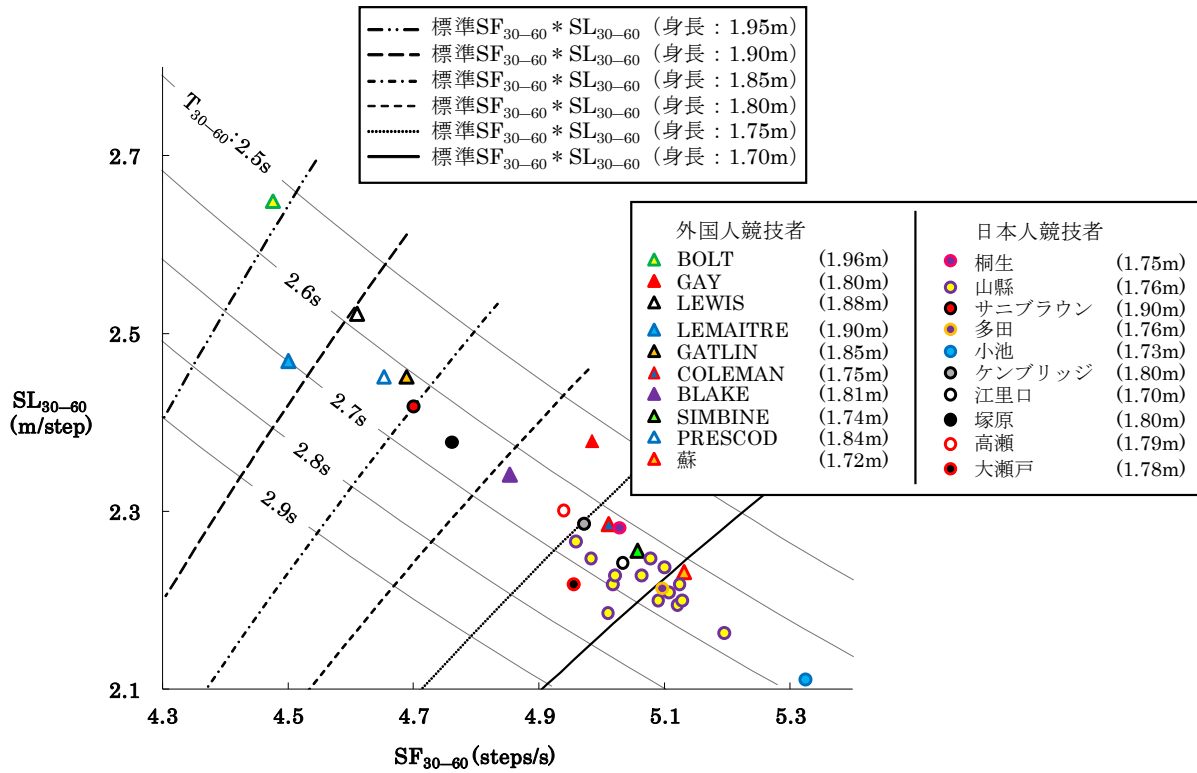
ところで，カメラを十分に用意できないなどの理由で，競技者における区間毎の各ステップ変数を測定できない場合も考えられる．しかし，各区間のステップ数（ S_{30} ， S_{60} ， S_{90} ， S_{30-60} ， S_{60-90} ， S_{90-100} ）は直接測定されなくとも，図 8.3 の各単回帰式を用いることで S_{100} から非常に高い精度で推定される．また，各区間のステップ数の推定値を，対応する区間の記録・身長・風速別の標準時間（表 5.2 の各重回帰式による推定値）で除することで，各区間の平均ステップ頻度も非常に高い精度で推定される．各区間の平均ステップ長についても，区間距離をステップ数で除することで，非常に高い精度で推定される．このように，図 8.3 の結果も競技者の現状把握や目標設定のために役立つと考えられる．以上に考察したことは，同じく明らかにされた走時間・身長別の標準支持時間を算出する重回帰式にも当てはまることであり，コーチング場

面において競技者の評価や目標設定をする上で利用価値の高いものであると考えられる。このように、研究課題 1 と同様に、重回帰式の推定値と標準誤差を利用することで、横断的なデータを縦断的に解釈してコーチングに利用することができる(遠藤, 2018)。

表 8.2 標準 S₁₀₀ , 推定 SF₃₀₋₆₀ , および推定 SL₃₀₋₆₀ の事例

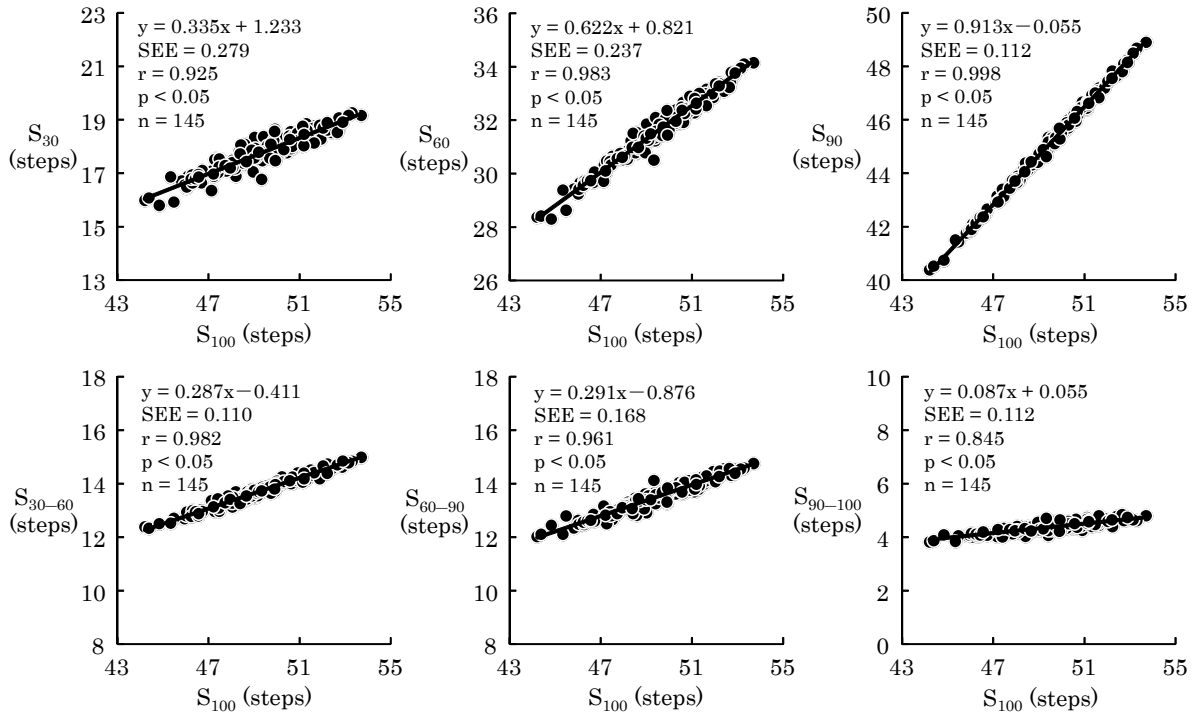
競技者名	身長 (m)	記録 (s)	風速 (m/s)	S ₁₀₀ (steps)	T ₃₀₋₆₀ (s)	標準S ₁₀₀ (steps)	残差 (steps)	標準化残差	推定SF ₃₀₋₆₀ (steps/s)	推定SL ₃₀₋₆₀ (m/step)	西暦 (年)	競技会名	ラウンド	
BOLT	1.96	9.58	0.9	40.92	2.530	40.94	-0.02	-0.01	4.48	2.65	2009	世界選手権	決勝	
		9.63	1.5	41.4	2.520	41.07	0.33	0.23	4.55	2.62	2012	オリンピック	決勝	
		9.95	-0.8	41.1	2.600	41.95	-0.85	-0.59	4.38	2.64	2017	世界選手権	決勝	
GAY	1.80	9.85	-0.5		2.580						2007	世界選手権	決勝	
		9.71	0.9	45.40	2.530	45.17	0.23	0.16	4.99	2.38	2009	世界選手権	決勝	
LEWIS	1.88	9.93	1.0		2.590						1987	世界選手権	決勝	
		9.92	1.1	43.6	2.580	43.80	-0.20	-0.14	4.69	2.48	1988	オリンピック	決勝	
		9.86	1.2	42.9	2.580	43.64	-0.74	-0.52	4.61	2.52	1991	世界選手権	決勝	
RODGERS	1.78	10.04	0.2		2.660					2009	世界選手権	準決勝		
KOFFI	1.86	10.09	-0.1		2.620					2015	GGP川崎	決勝		
LEMAITRE	1.90	10.26	-1.6	43.8	2.700	44.25	-0.45	-0.31	4.50	2.47	2010	GGP川崎	決勝	
		10.02	-3.5	44.2	2.630	44.80	-0.60	-0.42	4.67	2.45	2014	GGP東京	決勝	
GATLIN	1.85	10.02	-0.4	44.9	2.640	44.80	0.10	0.07	4.72	2.41	2016	GGP川崎	決勝	
		9.92	-0.8	44.1	2.610	44.53	-0.43	-0.30	4.69	2.45	2017	世界選手権	決勝	
		10.06	-0.7	44.7	2.650	44.91	-0.21	-0.15	4.68	2.42	2018	GGP大阪	決勝	
		9.94	-0.8	47.2	2.620	47.01	0.19	0.13	5.01	2.28	2017	世界選手権	決勝	
BLAKE	1.81	9.99	-0.8	46.1	2.640	45.69	0.41	0.29	4.85	2.34	2017	世界選手権	決勝	
SIMBINE	1.74	10.01	-0.8	47.8	2.630	47.44	0.36	0.25	5.06	2.26	2017	世界選手権	決勝	
PRESCOD	1.84	10.03	0.0	44.1	2.630	45.07	-0.97	-0.68	4.65	2.45	2017	世界選手権	予選	
蘇	1.72	10.10	-0.1		2.650						2015	GGP川崎	決勝	
		9.92	0.8	48.3	2.620	47.68	0.62	0.43	5.13	2.23	2012	アジア大会	決勝	
桐生	1.75	10.21	0.1	48.0	2.686	47.75	0.25	0.18	4.97	2.25	2018	岐阜国体	決勝	
		10.01	0.9	47.3	2.616	47.20	0.10	0.07	5.03	2.28	2013	織田記念	予選	
		10.25	0.7		2.690									
		10.22	0.6	48.7	2.670	47.77	0.93	0.65	5.08	2.21	2013	日本選手権	決勝	
		10.27	-0.4	47.9	2.680	47.91	-0.01	-0.01	4.97	2.25	2016	GGP川崎	決勝	
		10.09	-0.5	47.7	2.650	47.42	0.28	0.20	5.01	2.26	2016	布勢スプリント	決勝	
		10.29	-1.4	48.5	2.710	47.97	0.53	0.37	4.98	2.22	2016	日本選手権	準決勝	
		10.04	-0.3	48.0	2.660	47.28	0.72	0.50	5.02	2.25	2017	織田記念	A決勝	
		9.98	1.8	47.15	2.630	47.12	0.03	0.02	4.99	2.29	2017	日本インカレ	決勝	
		10.17	-0.7	48.1	2.670	47.64	0.46	0.32	5.01	2.24	2018	GGP大阪	決勝	
		10.16	0.6	47.6	2.660	47.61	-0.01	-0.01	4.98	2.27	2018	日本選手権	決勝	
		10.22	0.0	47.4	2.680	47.77	-0.37	-0.26	4.92	2.27	2018	全日本実業団	決勝	
		10.16	0.0	48.6	2.696	47.37	1.23	0.86	5.02	2.22	2012	織田記念	決勝	
10.17	0.1	48.4	2.683	47.40	1.00	0.70	5.02	2.23	2013	織田記念	予選			
10.11	0.7		2.670											
山縣	1.76	10.26	0.7	47.6	2.670	47.64	-0.04	-0.03	4.96	2.27	2014	織田記念	A決勝	
		10.22	0.8	48.0	2.680	47.53	0.47	0.33	4.98	2.25	2014	日本選手権	準決勝	
		10.27	-2.5	49.3	2.740	47.67	1.63	1.14	5.01	2.18	2016	織田記念	A決勝	
		10.21	-0.4	49.1	2.670	47.50	1.60	1.12	5.12	2.19	2016	GGP川崎	決勝	
		10.06	-0.5	48.4	2.660	47.10	1.30	0.91	5.07	2.23	2016	布勢スプリント	決勝	
		10.17	-0.3	49.0	2.680	47.40	1.60	1.12	5.09	2.20	2016	日本選手権	決勝	
		10.17	1.3	49.8	2.670	47.40	2.40	1.68	5.20	2.16	2018	織田記念	A決勝	
		10.13	-0.7	48.8	2.660	47.29	1.51	1.06	5.11	2.21	2018	GGP大阪	決勝	
		10.12	-0.7	49.0	2.660	47.26	1.74	1.22	5.13	2.20	2018	布勢スプリント	決勝	
		10.05	0.6	48.6	2.640	47.07	1.53	1.07	5.13	2.22	2018	日本選手権	決勝	
10.00	0.8	48.0	2.630	46.93	1.07	0.75	5.08	2.25	2018	アジア大会	決勝			
10.01	0.0	48.2	2.630	46.96	1.24	0.87	5.10	2.24	2018	全日本実業団	決勝			
サニブラウン	1.90	10.34	-0.4	44.8	2.700	44.46	0.34	0.23	4.61	2.41	2016	GGP川崎	決勝	
		10.05	0.6	44.7	2.640	43.67	1.03	0.72	4.70	2.42	2017	日本選手権	決勝	
		10.10	0.5	48.7	2.660	47.20	1.50	1.05	5.10	2.21	2017	日本選手権	準決勝	
多田	1.76	10.32	-0.7	48.3	2.710	47.80	0.50	0.35	4.96	2.23	2018	GGP大阪	決勝	
		10.22	0.6	48.1	2.680	47.53	0.57	0.40	5.00	2.24	2018	日本選手権	決勝	
小池	1.73	10.42	1.8	50.2	2.740	48.80	1.40	0.98	5.11	2.14	2014	織田記念	B決勝	
		10.17	0.6	51.0	2.670	48.12	2.88	2.01	5.33	2.11	2018	日本選手権	決勝	
		10.32	0.7	47.0	2.700	46.83	0.17	0.12	4.84	2.29	2014	織田記念	A決勝	
ケンブリッジ	1.80	10.16	-0.3	47.0	2.670	46.40	0.60	0.42	4.90	2.29	2016	日本選手権	決勝	
		10.08	-0.9	47.2	2.640	46.18	1.02	0.71	4.97	2.28	2017	日本選手権	予選	
		10.26	1.3	46.8	2.700	46.67	0.13	0.09	4.82	2.31	2018	織田記念	A決勝	
		10.19	-0.7	47.4	2.670	46.48	0.92	0.64	4.94	2.27	2018	GGP川崎	決勝	
		10.21	-0.7	47.3	2.680	46.53	0.77	0.54	4.91	2.28	2018	布勢スプリント	A決勝	
10.14	0.6	47.0	2.650	46.34	0.66	0.46	4.93	2.29	2018	日本選手権	決勝			
江里口	1.70	10.07	1.9		2.620						2009	日本選手権	準決勝	
		10.13	1.2	48.10	2.659	48.74	-0.64	-0.45	5.03	2.24	2009	日本インカレ	決勝	
塚原	1.80	10.13	0.8	46.51	2.645	46.32	0.19	0.14	4.89	2.32	2009	GP大阪	決勝	
		10.09	1.8	45.43	2.650	46.21	-0.78	-0.54	4.76	2.38	2009	日本選手権	予選	
高瀬	1.79	10.23	0.9		2.680						2013	織田記念	予選	
		10.13	0.7	46.9	2.640	46.56	0.34	0.24	4.94	2.30	2014	織田記念	決勝	
		10.09	-0.1		2.630							2015	GGP川崎	決勝
		10.28	-0.9		2.690							2015	日本選手権	決勝
大瀬戸	1.78	10.25	-0.5	48.4	2.700	46.89	1.51	1.06	4.99	2.23	2016	布勢スプリント	決勝	
		10.23	1.3		2.700							2012	織田記念	予選
		10.25	2.0	48.6	2.730	47.13	1.47	1.03	4.96	2.22	2014	織田記念	予選	

† S₁₀₀ : 総ステップ数。 T₃₀₋₆₀ : 30m地点から60m地点までの区間時間。 標準S₁₀₀ : 表6.2 (A)のステップ2の重回帰式による推定値。
 標準化残差 : 残差を、表6.2 (A)のステップ2の重回帰式による推定値の標準誤差 (1.429) で除した値。
 ‡ 推定SF₃₀₋₆₀、推定SL₃₀₋₆₀ : 30m地点から60m地点までの区間平均ステップ頻度と区間平均ステップ長の推定値であり、図8.3の左端下図に記載の推定式 (y = 0.287x - 0.411, x : S₁₀₀) と T₃₀₋₆₀ を利用すること [推定SL₃₀₋₆₀ = 30 / (0.287 × S₁₀₀ - 0.411) , 推定SF₃₀₋₆₀ = (30 / T₃₀₋₆₀) / 推定SL₃₀₋₆₀] により算出。
 †† 各競技者のT₃₀₋₆₀およびS₁₀₀は、阿江ほか (1994) , Graubner and Nixdorf (2011), Graubner et al. (2009b), Hommel et al. (online), 石井 (2013) , 小林 (1990) , 小林ほか (2018, 2019) , Krzysstof and Mero (2013), 松尾ほか (2010a, 2010b, 2010c, 2011, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018) , Moravec et al. (1988), 野口 (2009) , 杉田・三浦 (2015) , 谷川・内藤 (2015) , 谷川ほか (2011) に、公表された値である。
 ††† 各競技者の身長は、野口・千田 (2013) , Tilastopaja Oy Track and field statistics (online) , 日本陸上競技連盟 (online3) に、公表された値である。
 †††† 桐生選手の記録が9.98s、風速が追い風1.8m/sのレースにおけるS₁₀₀ (47.15steps)は、著者の依頼により他研究者から提供された映像 (約90m地点で撮影、フレームレート: 119.88fps) を用いて算出した。なお、WEB上のサイト (Twitter) では、47stepsであったというツイートが散見された。



† 各競技者における描画は、表8.2に記載の推定 SF_{30-60} と推定 SL_{30-60} のデータを用いて行った。
 †† T_{30-60} : 30m地点から60m地点までの区間時間。
 SF_{30-60} , SL_{30-60} : 30m地点から60m地点までの区間平均ステップ頻度, 区間平均ステップ長
 ††† 標準 SF_{30-60} : 対応する走時間・身長別の標準 S_{30-60} を対応する T_{30-60} で除した値。
 標準 SL_{30-60} : 走距離 (30m) を, 対応する走時間・身長別の標準 S_{30-60} で除した値。
 S_{30-60} : 30m地点から60m地点までの区間ステップ数

図 8.2 散布図による SF_{30-60} と SL_{30-60} の事例



† S_{100} , S_{30} , S_{60} , S_{90} : 総ステップ数, 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過ステップ数
 S_{30-60} , S_{60-90} , S_{90-100} : 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール (100m) 地点までの区間ステップ数

図 8.3 S_{100} と S_{30} , S_{60} , S_{90} , S_{30-60} , S_{60-90} , および S_{90-100} との関係

3. 最大走速度局面における走動作の評価と目標設定

基本的には、通過時間、区間時間、およびステップ変数と同様にして、重回帰式を利用することにより競技者の評価や目標設定を行うことができる。研究課題 3 において、走速度・下肢長・ステップ頻度・回復比別の標準キネマティクス（走動作）を求めるための重回帰式が示された。記録は天野 (2012) の推定式 ($Y = -0.874X + 20.147$, Y : 100m 走の記録 [s], X : 最大走速度 [m/s]) を用いることで、最大走速度に変換できる。また、身長および滞空比は、表 7.2 の単回帰式により、それぞれ下肢長、回復比に変換できる。したがって、100m 走の記録・身長・ステップ頻度・滞空比別の標準キネマティクス（走動作）変数を算出することも可能である。これらにより、身長（下肢長）、ステップ頻度、および滞空比（回復比）という 3 つの個人的要因における差を考慮した、良い記録（高い最大走速度）における短距離走のキネマティクスを深く理解できるだろう。コーチング場面において、競技者とコーチは個人差を考慮して、最大走速度局面の競技パフォーマンスを改善しようとする。それゆえ、研究課題 3 の知見は、高い競技パフォーマンス（良い記録、高い最大走速度）の短距離走における個々の詳細な特性を明らかにするために利用できる情報も提供するだろう。

研究課題 3 の重回帰式（表 7.3）のコーチング場面における具体的な利用価値について、以下に考察する。この重回帰式を利用すれば、走速度、下肢長、そして表 7.2 の重回帰式やスマートフォンを利用して得られるステップ変数を、表 7.3 の重回帰式に代入し、最大走速度の短距離走における下肢キネマティクスのモデルを提供できる。この時、目標とする記録（走速度）、身長（下肢長）、それらによって推定されるステップ頻度や特定のステップ頻度、さらに推定される滞空比（回復比）や特定の滞空比を代入すれば、キネマティクス変数の目標像が明らかになる。ただし、特定のステップ頻度や回復比は、推定値の ± 2 標準誤差（表 7.2 (C)のステップ 2, (D)のステップ 3 を参照）の範囲内で決定することが望ましいだろう。そのようにしないと、その走速度において非現実的なステップ頻度と回復比となってしまうためである。このように、本研究の重回帰式（表 7.3）は、走動作の目標設定のために利用できるものである。また、競技者の走動作の評価のためにも、以下のように利用できる。角速度を実践から取得することは困難であるが、関節角度は、適切にビデオカメラを設置して得られた画像を分析する無料ソフトウェア（例：Kinovea）を使って、測定できる。これにより、特定の走速度における標準キネマティクスを、競技者固有のキネマティクスと比較することが可能になる。このようにして、本研究の重回帰式（表 7.3）は、競技者およびコーチが高い最大走速度のための下肢キネマティクスの改善を試みるのに有益である。

研究課題 2 や研究課題 3 より、100m 走において競技者が達成し得るステップ頻度、ステップ長、両者のバランス、支持時間、滞空時間、および両者のバランス（滞空比）の範囲が身長によって異なることが、具体的な数値（重回帰式による推定値±2 標準誤差以内）を用いて示された。一方、研究課題 3 から、競技者が達成し得る走動作の範囲が、身長によって異なることが具体的な数値（重回帰式による推定値±2 標準誤差以内）によって示された。身長は、成人以降変えることのできない形態的要因である。これらは、100m 走の目標とする記録が同じ場合でも、目標とする走動作が競技者の身長によって異なることを示すものである。谷川・内藤（2015）は、現場のコーチや競技者は競技者固有のステップ長とステップ頻度の至適なバランスを優先させて、走動作などのバイオメカニクスデータを解釈していると述べている。研究課題 3 の結果は、このことを支持し、裏づける客観的事実として位置づけることができる。一方で、研究課題 3 の結果は、走速度、身長（下肢長）、ステップ頻度、滞空比（回復比）だけで走動作を完全に説明できない（決定係数が 1 ではない）ことも示しているこのことから、100m 走の記録向上のために目標とする走動作は、競技者の競技レベル（記録、走速度）、身長（下肢長）、ステップ頻度（ステップ長）、滞空比（回復比）のみならず、その他の様々な要因（筋力などの体力的要因等）を考慮して決定すべきであると考えられる。

以上のようにして、身長（下肢長）という最も基礎的な個人的要因を独立変数とした本研究の重回帰式をどのように利用するかについて議論した。遠藤（2018）は、横断的な資料に基づいた評価方法に縦断的なサンプリングによって得られたデータを照らし合わせて検討することによって、一般的な発達傾向との対比や能力の類型化を図ることが、競技者の客観的な評価や目標設定のための 1 つの方向であることを指摘している。本研究の重回帰式を、表 8.1–8.2 あるいは図 8.1–8.2 のように表して利用すれば、ライバルとなる競技者との違いを認識するとともに、現時点の自己を客観的に把握できる。また、自己の記録向上過程に伴う通過時間、区間時間、ステップ変数、およびキネマティクス（走動作）変数の変化を、繰り返し散布図に示す（図 8.1–8.2 では、山縣選手の T_{60} および推定 SF_{30-60} 、推定 SL_{30-60} の縦断データを図示した）ことにより、更なる記録向上に伴って、それらがどうなっていく可能性があるのかを知ること（遠藤，2018）ができ、レースパターンだけでなくトレーニングの課題や方向性がより明確になるだろう。本研究の重回帰式は、トレーニングサイクルが効果的に循環することに貢献すると考えられる。

4. トレーニング手段への利用方法

研究課題 2 で明らかにされた走時間・身長別の標準ステップ長とその誤差範囲を用いて、ステップ頻度およびステップ長を変化させるためのトレーニング手段（マーク走やスティック走など）における条件設定を、走時間・身長別に行うことができると考えられる。特に、最高走速度に近い走速度で走行する 30–60m 区間（阿江ほか，1994；太田・有川，1999；松尾ほか，2008）は、同一競技者におけるステップ頻度およびステップ長の変化が小さいので（太田・有川，1999；松尾ほか，2011），走時間・身長別の標準 SL_{30-60} とその誤差範囲（表 6.7–6.8）を、マーク走（土江，2011）やスティック走（安井，2015）におけるステップ長の設定基準値として活用できると考えられる。厳密には 30m 地点から 60m 地点にかけて、1 ステップごとのステップ長が概ね直線的に 0.1–0.2m 程度増加することが多いことから（メフリカゼ・タバチユニク，1982；Gajer et al., 1999；松尾ほか，2011），各競技者の個性を見極めるとともに、（走時間・身長別の標準 SL_{30-60} を中間値として）30m の走行距離の間にマーク（あるいはスティック）間差が直線的に 0.1–0.2m 程度増加するようにして配置する等の工夫をして、標準 SL_{30-60} の誤差範囲内でステップ頻度とステップ長の組み合わせを変化させながら、トレーニングを進めることが必要であると考えられる。その結果として、高い走速度を実現するための各競技者に対応した最適なステップ頻度とステップ長の組み合わせに近づくことが期待される。なお、このトレーニング手段では、あらかじめ競技者における現状の SL_{30-60} を把握していることが重要であると考えられる。既に述べたように、直接測定できない場合には測定した S_{100} と、図 8.3 にある推定 S_{30-60} を算出する単回帰式を利用することで、競技者の SL_{30-60} を推定すると良い。

第9章 総括

第1節 結論

本研究の目的は、日本人男子競技者を対象に 100m 走における記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間、走時間・身長別の標準ステップ変数（ステップ数、支持時間、滞空時間、滞空比）、および記録（最大走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数を算出する推定式を作成することによって、100m 走における競技者の評価や目標設定に貢献することであった。3つの研究課題を通じて、以下に示す結論が得られた。

1. 研究課題 1： 男子 100m 走における記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間の推定

- 1： 100m 走の記録，身長，および風速は，それぞれ通過時間および区間時間との間に，相関関係がある。
- 2： 100m 走の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する推定式は，重回帰式である。

得られた推定式は，表 9.1 の通りである。表 9.2 に示されるように，身長が低いほど，標準 T_{30} ，標準 T_{60} ，および標準 T_{90} は短い。また，身長が高いほど，標準 T_{60-90} および標準 T_{90-100} は短い。さらに，風速条件が良いほど，標準 T_{30} および標準 T_{60} は長く，標準 T_{30-60} および標準 T_{60-90} は短い。

表 9.1 記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する
重回帰式

従属変数 (単位)	回帰式	SEE	R ²	R ^{*2}
(A) T ₃₀ (s)	ステップ3 Y = 0.2637 X ₁ + 0.2052 X ₂ + 0.0107 X ₃ + 0.8390 *	0.0334	0.7446	0.7375
(B) T ₆₀ (s)	ステップ3 Y = 0.5394 X ₁ + 0.2058 X ₂ + 0.0075 X ₃ + 0.7125 *	0.0330	0.9261	0.9240
(C) T ₉₀ (s)	ステップ2 Y = 0.8755 X ₁ + 0.0717 X ₂ + 0.2149 *	0.0147	0.9941	0.9940
(D) T ₃₀₋₆₀ (s)	ステップ2 Y = 0.2757 X ₁ - 0.0032 X ₃ - 0.1252 *	0.0144	0.9472	0.9462
(E) T ₆₀₋₉₀ (s)	ステップ3 Y = 0.3363 X ₁ - 0.1342 X ₂ - 0.0072 X ₃ - 0.5003 *	0.0223	0.9221	0.9200
(F) T ₉₀₋₁₀₀ (s)	ステップ2 Y = 0.1245 X ₁ - 0.0717 X ₂ - 0.2149 *	0.0147	0.7825	0.7785

† T₃₀, T₆₀, T₉₀: 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過時間

T₃₀₋₆₀, T₆₀₋₉₀, T₉₀₋₁₀₀: 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール (100m) 地点までの区間時間

†† X₁: 記録 (s), X₂: 身長 (m), X₃: 風速 (m/s), *: p < 0.05 (n=112), SEE: 推定値の標準誤差, R²: 決定係数, R^{*2}: 自由度調整済み決定係数

表 9.2 100m 走における記録・身長・風速別の標準通過時間
および標準区間時間の例 (記録が 10.50s の場合)

記録 (s)	測定項目	風速 (m/s)				
		-2.0	0.0	+2.0		
10.50	標準T ₃₀ (s)	身長 (m)	1.64	3.923	3.944	3.966
			1.76	3.948	3.969	3.990
			1.88	3.972	3.994	4.015
	標準T ₆₀ (s)	身長 (m)	1.64	6.699	6.714	6.729
			1.76	6.724	6.739	6.754
			1.88	6.748	6.764	6.779
	標準T ₉₀ (s)	身長 (m)	1.64	9.525	9.525	9.525
			1.76	9.534	9.534	9.534
			1.88	9.543	9.543	9.543
	標準T ₃₀₋₆₀ (s)	身長 (m)	1.64	2.776	2.770	2.763
			1.76	2.776	2.770	2.763
			1.88	2.776	2.770	2.763
	標準T ₆₀₋₉₀ (s)	身長 (m)	1.64	2.826	2.811	2.797
			1.76	2.809	2.795	2.781
			1.88	2.793	2.779	2.764
	標準T ₉₀₋₁₀₀ (s)	身長 (m)	1.64	0.975	0.975	0.975
			1.76	0.966	0.966	0.966
			1.88	0.957	0.957	0.957

† T₃₀, T₆₀, T₉₀: 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過時間

T₃₀₋₆₀, T₆₀₋₉₀, T₉₀₋₁₀₀: 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点,
90m地点からゴール (100m) 地点までの区間時間

2. 研究課題2： 男子100m走における走時間・身長別の標準ステップ変数の推定

- 3： 100m走の走時間（記録，通過時間，区間時間）は，ステップ数，支持時間，および滞空比との間に，相関関係がある．身長は，ステップ数，支持時間，および滞空時間との間に，相関関係がある．
- 4： 100m走の走時間・身長別の標準ステップ数および標準支持時間を算出する推定式は，重回帰式である．身長別の標準滞空時間，および走時間別の標準滞空比を算出する推定式は，単回帰式である．

得られた推定式は，表9.3，表9.4，表9.5，および表9.6の通りである．

表9.7：記録が良く，身長が高いほど，標準 S_{100} は小さい．

表9.8： T_{30-60} が短く，身長が高いほど，標準 S_{30-60} は小さい．

表9.9： T_{30-60} が短く，身長が低いほど，標準 SF_{30-60} は大きい．

表9.9： T_{30-60} が短く，身長が高いほど，標準 SL_{30-60} は大きい．

表9.10： T_{30-60} が短く，身長が低いほど，標準 ST_{30-60} は小さい．

表 9.3 走時間・身長別の標準ステップ数を算出する重回帰式

従属変数 (単位)	回帰式	SEE	R ²	R ^{*2}
(A) S ₁₀₀ (steps)	ステップ2 Y = 2.729 X ₁ - 24.246 X ₂ + 62.318 * ただし, X ₁ : 100m走の記録 (s), X ₂ : 身長 (m)	1.429	0.505	0.498
(B) S ₃₀ (steps)	ステップ2 Y = 2.785 X ₁ - 8.179 X ₂ + 20.787 * ただし, X ₁ : T ₃₀ (s), X ₂ : 身長 (m)	0.583	0.371	0.362
(C) S ₆₀ (steps)	ステップ2 Y = 2.726 X ₁ - 15.315 X ₂ + 39.480 * ただし, X ₁ : T ₆₀ (s), X ₂ : 身長 (m)	0.954	0.449	0.441
(D) S ₉₀ (steps)	ステップ2 Y = 2.737 X ₁ - 22.256 X ₂ + 57.119 * ただし, X ₁ : T ₉₀ (s), X ₂ : 身長 (m)	1.322	0.493	0.485
(E) S ₃₀₋₆₀ (steps)	ステップ2 Y = 2.985 X ₁ - 7.090 X ₂ + 17.647 * ただし, X ₁ : T ₃₀₋₆₀ (s), X ₂ : 身長 (m)	0.408	0.526	0.519
(F) S ₆₀₋₉₀ (steps)	ステップ2 Y = 2.900 X ₁ - 6.885 X ₂ + 17.148 * ただし, X ₁ : T ₆₀₋₉₀ (s), X ₂ : 身長 (m)	0.407	0.560	0.554
(G) S ₉₀₋₁₀₀ (steps)	ステップ2 Y = 2.263 X ₁ - 2.055 X ₂ + 5.694 * ただし, X ₁ : T ₉₀₋₁₀₀ (s), X ₂ : 身長 (m)	0.156	0.446	0.438

† T₃₀, T₆₀, T₉₀: 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過時間T₃₀₋₆₀, T₆₀₋₉₀, T₉₀₋₁₀₀: 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール (100m) 地点までの区間時間‡ S₁₀₀, S₃₀, S₆₀, S₉₀: 総ステップ数, 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過ステップ数S₃₀₋₆₀, S₆₀₋₉₀, S₉₀₋₁₀₀: 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール (100m) 地点までの区間ステップ数‡‡‡ *: p < 0.05 (n = 145), SEE: 推定値の標準誤差, R²: 決定係数, R^{*2}: 自由度調整済み決定係数

表 9.4 走時間・身長別の標準支持時間を算出する重回帰式

従属変数 (単位)	回帰式	SEE	R ²	R ^{*2}
(A) ST ₁₀₀ (s)	ステップ2 Y = 0.0066 X ₁ + 0.0707 X ₂ - 0.0881 * ただし, X ₁ : 100m走の記録 (s), X ₂ : 身長 (m)	0.0046	0.409	0.397
(B) ST ₃₀ (s)	ステップ1 Y = 0.0729 X ₂ - 0.0060 * ただし, X ₂ : 身長 (m)	0.0060	0.245	0.237
(C) ST ₆₀ (s)	ステップ2 Y = 0.0084 X ₁ + 0.0697 X ₂ - 0.0699 * ただし, X ₁ : T ₆₀ (s), X ₂ : 身長 (m)	0.0050	0.344	0.330
(D) ST ₉₀ (s)	ステップ2 Y = 0.0070 X ₁ + 0.0707 X ₂ - 0.0860 * ただし, X ₁ : T ₉₀ (s), X ₂ : 身長 (m)	0.0047	0.394	0.382
(E) ST ₃₀₋₆₀ (s)	ステップ2 Y = 0.0305 X ₁ + 0.0679 X ₂ - 0.1090 * ただし, X ₁ : T ₃₀₋₆₀ (s), X ₂ : 身長 (m)	0.0045	0.443	0.431
(F) ST ₆₀₋₉₀ (s)	ステップ2 Y = 0.0286 X ₁ + 0.0739 X ₂ - 0.1134 * ただし, X ₁ : T ₆₀₋₉₀ (s), X ₂ : 身長 (m)	0.0045	0.469	0.458
(G) ST ₉₀₋₁₀₀ (s)	ステップ2 Y = 0.0873 X ₁ + 0.0726 X ₂ - 0.1089 * ただし, X ₁ : T ₉₀₋₁₀₀ (s), X ₂ : 身長 (m)	0.0046	0.492	0.482

† ST₁₀₀, ST₃₀, ST₆₀, ST₉₀: スタート直後のステップ接地からゴール (100m) 地点, 30m地点, 60m地点, および90m地点通過直前のステップ接地までの平均支持時間‡ ST₃₀₋₆₀, ST₆₀₋₉₀, ST₉₀₋₁₀₀: 30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地まで, 60m地点通過直後のステップ接地から90m地点通過直前のステップ接地まで, および90m地点通過直後のステップ接地からゴール (100m) 地点通過直前のステップ接地までの平均支持時間‡‡‡ *: p < 0.05 (n=100), SEE: 推定値の標準誤差, R²: 決定係数, R^{*2}: 自由度調整済み決定係数

表 9.5 身長別の標準滞空時間を算出する回帰式

従属変数 (単位)	回帰式	SEE	R ²	R ^{*2}
(A) FT ₁₀₀ (s)	ステップ1 Y = 0.0502 X ₂ + 0.0183 *	0.0061	0.128	0.119
(B) FT ₃₀ (s)	ステップ1 Y = 0.0411 X ₂ + 0.0180 *	0.0066	0.078	0.069
(C) FT ₆₀ (s)	ステップ1 Y = 0.0478 X ₂ + 0.0159 *	0.0062	0.114	0.105
(D) FT ₉₀ (s)	ステップ1 Y = 0.0491 X ₂ + 0.0186 *	0.0061	0.123	0.114
(E) FT ₃₀₋₆₀ (s)	ステップ1 Y = 0.0544 X ₂ + 0.0161 *	0.0065	0.133	0.124
(F) FT ₆₀₋₉₀ (s)	ステップ1 Y = 0.0549 X ₂ + 0.0199 *	0.0067	0.128	0.119
(G) FT ₉₀₋₁₀₀ (s)	ステップ1 Y = 0.0593 X ₂ + 0.0189 *	0.0096	0.077	0.068

† FT₁₀₀, FT₃₀, FT₆₀, FT₉₀: スタート直後のステップ接地からゴール (100m) 地点, 30m地点, 60m地点, および90m地点通過直前のステップ接地までの平均滞空時間

‡ FT₃₀₋₆₀, FT₆₀₋₉₀, FT₉₀₋₁₀₀: 30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地まで, 60m地点通過直後のステップ接地から90m地点通過直前のステップ接地まで, および90m地点通過直後のステップ接地からゴール (100m) 地点通過直前のステップ接地までの平均滞空時間

‡‡ X₂: 身長 (m), *: p < 0.05 (n=100), SEE: 推定値の標準誤差, R²: 決定係数, R^{*2}: 自由度調整済み決定係数

表 9.6 走時間別の標準滞空比を算出する回帰式

従属変数	回帰式	SEE	R ²	R ^{*2}
(E) FSR ₃₀₋₆₀	ステップ1 Y = -0.3961 X ₁ + 2.2851 * ただし, X ₁ : T ₃₀₋₆₀ (s)	0.1048	0.077	0.068
(F) FSR ₆₀₋₉₀	ステップ1 Y = -0.3609 X ₁ + 2.2267 * ただし, X ₁ : T ₆₀₋₉₀ (s)	0.1076	0.086	0.076

† FSR₃₀₋₆₀, FSR₆₀₋₉₀: 30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地まで, および60m地点通過直後のステップ接地から90m地点通過直前のステップ接地までの平均滞空比

‡ *: p < 0.05 (n=100), SEE: 推定値の標準誤差, R²: 決定係数, R^{*2}: 自由度調整済み決定係数

表 9.7 100m 走における記録・身長別の標準 S₁₀₀ の例

記録 (s)	標準 S ₁₀₀ (step)		
	身長: 1.64m	身長: 1.76m	身長: 1.88m
10.30	50.66	47.75	44.84
10.50	51.21	48.30	45.39
10.70	51.75	48.84	45.93
10.90	52.30	49.39	46.48

† S₁₀₀: 総ステップ数

表 9.8 100m 走における T_{30-60} ・身長別の標準 S_{30-60} の例

T_{30-60} (s)	標準 S_{30-60} (step)		
	身長: 1.64m	身長: 1.76m	身長: 1.88m
2.71	14.12	13.26	12.41
2.77	14.28	13.43	12.58
2.82	14.45	13.60	12.75
2.88	14.61	13.76	12.91

† T_{30-60} : 30m地点から60m地点までの区間時間‡ S_{30-60} : 30m地点から60m地点までの区間ステップ数表 9.9 100m 走における T_{30-60} ・身長別の標準 $SF_{30-60} * SL_{30-60}$ の例

T_{30-60} (s)	標準 SF_{30-60} (steps / s) * SL_{30-60} (m / step)					
	身長: 1.64m		身長: 1.76m		身長: 1.88m	
2.71	5.20	* 2.13	4.89	* 2.26	4.58	* 2.42
2.77	5.16	* 2.10	4.85	* 2.23	4.54	* 2.38
2.82	5.12	* 2.08	4.81	* 2.21	4.51	* 2.35
2.88	5.08	* 2.05	4.78	* 2.18	4.48	* 2.32

† T_{30-60} : 30m地点から60m地点までの区間時間, SF_{30-60} : 30m地点から60m地点までの区間平均ステップ頻度, SL_{30-60} : 30m地点から60m地点までの区間平均ステップ長表 9.10 100m 走における T_{30-60} ・身長別の標準 ST_{30-60} の例

T_{30-60} (s)	標準 ST_{30-60} (s)		
	身長: 1.64m	身長: 1.76m	身長: 1.88m
2.71	0.085	0.093	0.101
2.77	0.087	0.095	0.103
2.82	0.088	0.097	0.105
2.88	0.090	0.098	0.106

† T_{30-60} : 30m地点から60m地点までの区間時間‡ ST_{30-60} : 30m地点通過直後のステップ接地から60m地点通過直前のステップ接地までの平均支持時間

3. 研究課題3： 男子100m走の最大走速度局面における記録（走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数の推定

5： 100m走の記録（最大走速度）、身長（下肢長）、ステップ変数（ステップ頻度、滞空比）は、それぞれキネマティクス（走動作）変数との間に、相関関係がある。

6： 100m走の記録（最大走速度）・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数を算出する推定式は、重回帰式である。

得られた推定式は、表9.11の通りである。表9.13に示されるように、100m走の記録（最大走速度）、身長（下肢長）、ステップ頻度、および滞空比（回復比）によって、下肢のキネマティクス（走動作）変数が異なる。

以上のように、研究課題1-3において示された回帰式は、競技者における通過時間、区間時間、ステップ変数、およびキネマティクス変数の評価や目標設定を、より的確に行うことに貢献する。

表 9.11 走速度・下肢長・ステップ頻度・回復比別の標準キネマティクス
(走動作) 変数を算出する重回帰式

従属変数 (単位)		回帰式					SEE	R ²	R ^{2c}	
回復脚の キネマティクス変数	逆足接地時点の大転角度度 (deg)	Y =	3.59 X ₁ +	73.38 X ₂ +	11.65 X ₃ +	8.70 X ₄ -	172.25 *	7.73	0.242	0.201
	腿上げ角度 (deg)	Y =	4.57 X ₁ +	2.07 X ₂ -	6.20 X ₃ -	2.45 X ₄ +	59.67 *	4.33	0.167	0.122
	引き付け最大角速度 (deg/s)	Y =	- 45.66 X ₁ +	1165.12 X ₂ -	96.13 X ₃ +	40.61 X ₄ -	1364.41 *	76.38	0.345	0.310
	腿上げ最大角速度 (deg/s)	Y =	53.33 X ₁ -	780.62 X ₂ -	79.02 X ₃ -	51.98 X ₄ +	1425.58 *	41.85	0.235	0.194
	振り戻し最大角速度 (deg/s)	Y =	- 49.87 X ₁ +	443.88 X ₂ +	19.51 X ₃ -	75.11 X ₄ -	184.86 *	39.72	0.410	0.378
支持脚の キネマティクス変数	相対接地距離 (%) (接地時点の大転子と第5中足骨頭との水平距離を 下肢長で除して100を掛けた値)	Y =	4.24 X ₁ -	57.73 X ₂ -	11.97 X ₃ -	11.60 X ₄ +	146.43 *	2.51	0.532	0.507
	相対離地距離 (%) (離地時点の大転子と第5中足骨頭との水平距離を 下肢長で除して100を掛けた値)	Y =	6.85 X ₁ -	68.05 X ₂ -	11.89 X ₃ -	11.79 X ₄ +	151.84 *	2.76	0.535	0.510
	接地時点の股関節角度 (deg)	Y =	- 2.21 X ₁ +	12.15 X ₂ +	4.29 X ₃ +	7.86 X ₄ +	99.31 *	3.39	0.203	0.159
	接地時点の膝関節角度 (deg)	Y =	- 0.51 X ₁ +	30.25 X ₂ -	1.87 X ₃ +	8.89 X ₄ +	113.24 *	5.21	0.178	0.134
	接地時点の足関節角度 (deg)	Y =	1.79 X ₁ +	10.68 X ₂ -	7.39 X ₃ +	0.52 X ₄ +	129.15 *	4.11	0.153	0.107
	離地時点の股関節角度 (deg)	Y =	5.50 X ₁ -	75.78 X ₂ -	9.98 X ₃ -	7.76 X ₄ +	274.00 *	4.85	0.196	0.152
	離地時点の膝関節角度 (deg)	Y =	1.69 X ₁ -	50.03 X ₂ -	9.99 X ₃ -	1.30 X ₄ +	229.36 *	4.62	0.127	0.080
	離地時点の足関節角度 (deg)	Y =	2.21 X ₁ -	2.41 X ₂ -	8.46 X ₃ -	1.22 X ₄ +	170.17 *	4.36	0.121	0.074
	膝関節屈曲角度 (deg)	Y =	- 1.33 X ₁ +	11.32 X ₂ +	9.66 X ₃ +	4.38 X ₄ -	68.00 *	3.25	0.241	0.200
	股関節伸屈角度 (deg)	Y =	7.71 X ₁ -	87.93 X ₂ -	14.27 X ₃ -	15.62 X ₄ +	174.69 *	3.72	0.500	0.473
	膝関節伸屈角度 (deg)	Y =	3.41 X ₁ -	89.19 X ₂ -	17.21 X ₃ -	14.61 X ₄ +	181.06 *	4.41	0.425	0.394
	股関節伸屈角速度の最大値 (deg/s)	Y =	100.74 X ₁ -	1214.75 X ₂ -	141.65 X ₃ -	142.50 X ₄ +	1941.08 *	61.95	0.323	0.286
	膝関節伸屈角速度の最大値 (deg/s)	Y =	82.39 X ₁ -	1970.14 X ₂ -	340.27 X ₃ -	296.98 X ₄ +	3732.32 *	94.19	0.393	0.360
	足関節底屈角速度の最大値 (deg/s)	Y =	50.30 X ₁ -	703.02 X ₂ -	41.65 X ₃ +	62.17 X ₄ +	1076.94 *	87.94	0.124	0.077
	接地時点の大転角度度 (deg)	Y =	2.18 X ₁ -	37.32 X ₂ -	4.89 X ₃ -	10.76 X ₄ +	98.26 *	2.82	0.410	0.378
	接地時点の下腿角度 (deg)	Y =	1.67 X ₁ -	7.07 X ₂ -	6.75 X ₃ -	1.87 X ₄ +	31.50 *	3.10	0.129	0.081
	離地時点の大転角度度 (deg)	Y =	- 4.02 X ₁ +	64.31 X ₂ +	10.12 X ₃ +	7.17 X ₄ -	110.38 *	3.04	0.310	0.273
	離地時点の下腿角度 (deg)	Y =	- 2.33 X ₁ +	14.28 X ₂ +	0.13 X ₃ +	5.87 X ₄ -	61.02 *	2.57	0.267	0.228
	離地時点の足部角度 (deg)	Y =	- 4.54 X ₁ +	16.69 X ₂ +	8.60 X ₃ +	7.08 X ₄ -	51.19 *	4.38	0.173	0.129
	大転角度度 (deg)	Y =	6.20 X ₁ -	101.63 X ₂ -	15.01 X ₃ -	17.92 X ₄ +	208.64 *	3.25	0.616	0.595
下腿角度 (deg)	Y =	4.00 X ₁ -	21.35 X ₂ -	6.89 X ₃ -	7.73 X ₄ +	92.52 *	3.18	0.257	0.217	
足部角度 (deg)	Y =	4.42 X ₁ -	34.44 X ₂ -	7.96 X ₃ -	9.46 X ₄ +	133.53 *	4.00	0.228	0.187	
脚全体後方スイング角速度の最大値 (deg/s)	Y =	- 61.31 X ₁ +	853.19 X ₂ -	16.52 X ₃ -	4.39 X ₄ -	659.85 *	21.23	0.769	0.757	

[†] X₁: 走速度 (m/s), X₂: 下肢長 (m), X₃: ステップ頻度 (Hz), X₄: 回復比, * : p < 0.05, SEE: 推定値の標準誤差, R²: 決定係数, R^{2c}: 自由度調整済み決定係数

表 9.12 下肢長，滞空比，ステップ頻度，および回復比を推定する回帰式

従属変数	(単位)	回帰式	SEE	R ²	R ^{*2}	
(A) 下肢長	(m)	ステップ1 Y = 0.519 X ₄ - 0.095	*	0.017	0.711	0.707
(B) 滞空比		ステップ1 Y = 0.431 X ₅ - 0.261	*	0.045	0.839	0.836
(C) ステップ頻度 (steps/s)		ステップ1 Y = 0.193 X ₁ + 2.691		0.198	0.169	0.158
		ステップ2 Y = 0.236 X ₁ - 3.320 X ₂ + 4.965	*	0.170	0.398	0.382
(D) 回復比		ステップ1 Y = 0.115 X ₁ + 2.018		0.230	0.051	0.038
		ステップ2 Y = 0.179 X ₁ - 0.330 X ₃ + 2.906		0.222	0.127	0.104
		ステップ3 Y = 0.255 X ₁ - 2.624 X ₂ - 0.547 X ₃ + 5.288	*	0.212	0.214	0.183

† X₁: 走速度 (m/s), X₂: 下肢長 (m), X₃: ステップ頻度 (steps/s), X₄: 身長 (m), X₅: 回復比, *: p < 0.05,

SEE: 推定値の標準誤差, R²: 決定係数, R^{*2}: 自由度調整済み決定係数

†† 灰色の式が，重回帰分析のステップワイズ (変数増減法) により得られた最終的な重回帰式である

表 9.13 100m 走の最大走速度局面における記録 (走速度)・身長 (下肢長)・ステップ頻度・滞空比 (回復比) 別の標準キネマティクス (走動作) 変数の例

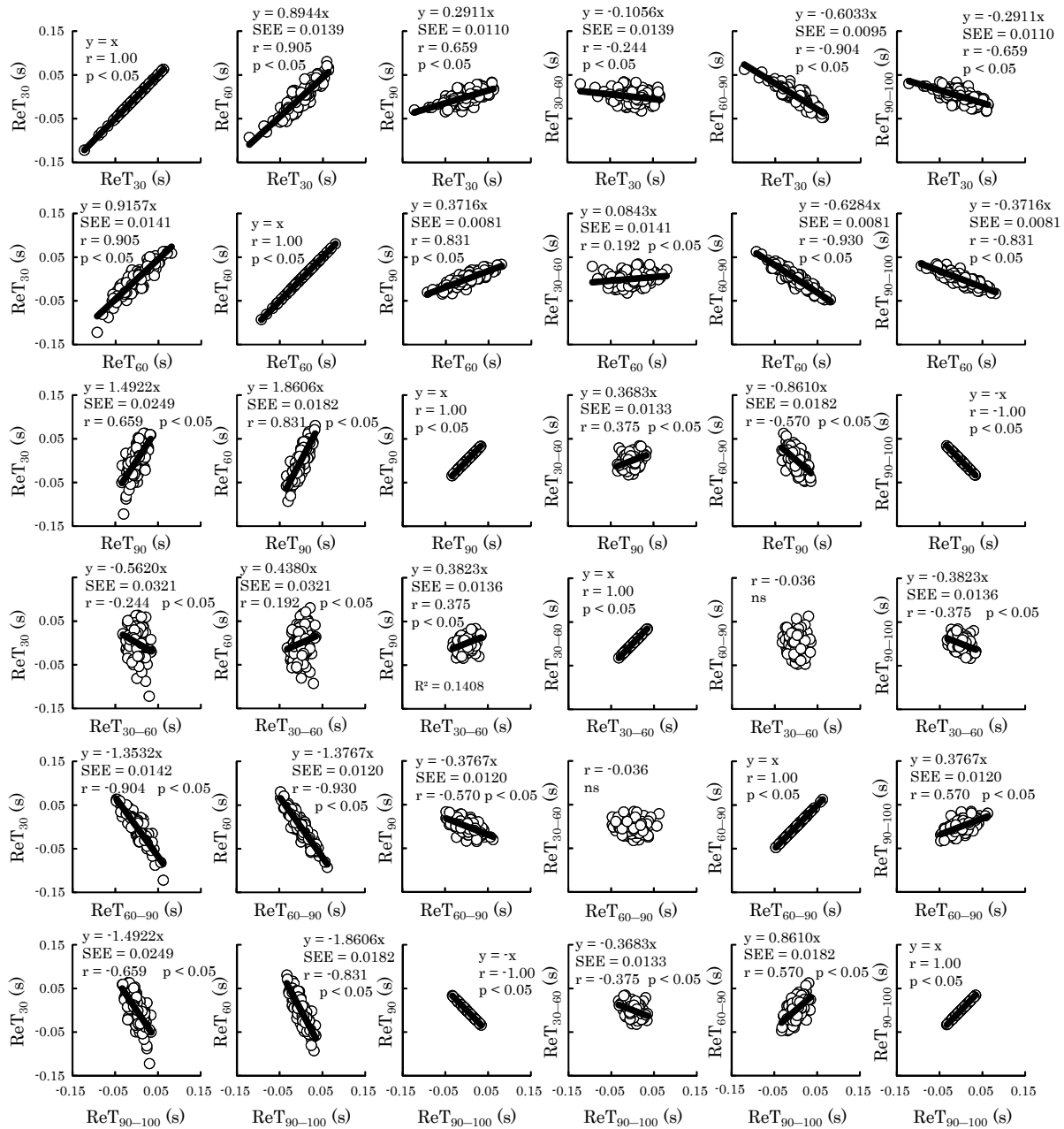
	条件A†			条件B††			条件C†††			条件D††††		
	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)	(i)	(j)	(k)	(l)
最大走速度局面												
走速度 (m/s)	8.99	9.90	10.82		9.90			9.90			9.90	
下肢長 (m)		0.812		0.749	0.812	0.875		0.812			0.812	
ステップ頻度 (steps/s)	4.39	4.60	4.82	4.81	4.60	4.39	4.27	4.60	4.94		4.60	
回復比	3.05	3.16	3.28	3.21	3.16	3.11	3.35	3.16	2.98	2.74	3.16	3.59
100m走記録の推定値 (s) ††††	12.30	11.50	10.70		11.50			11.50			11.50	
身長 (m)		1.749		1.627	1.749	1.871		1.749			1.749	
右足の支持時間 (s)	0.113	0.104	0.097	0.099	0.104	0.111	0.108	0.104	0.102	0.116	0.104	0.095
右足の回復時間 (s)	0.343	0.330	0.318	0.317	0.330	0.344	0.361	0.330	0.303	0.318	0.330	0.340
滞空比	1.05	1.10	1.15	1.12	1.10	1.08	1.18	1.10	1.02	0.92	1.10	1.28
回復脚のキネマティクス変数												
逆足接地時点の大腿角 (deg)	-2.8	4.1	10.9	2.3	4.1	5.8	1.7	4.1	6.4	0.4	4.1	7.8
引き付け最大角速度 (deg/s)	-1127	-1185	-1243	-1277	-1185	-1093	-1145	-1185	-1225	-1202	-1185	-1167
腿上げ最大角速度 (deg/s)	766	792	817	822	792	761	809	792	774	814	792	770
振り戻し最大角速度 (deg/s)	-416	-466	-516	-494	-466	-438	-486	-466	-445	-434	-466	-498
支持脚のキネマティクス変数												
相対接地距離 (%) (接地時点の大転子と第5中足骨頭との水平距離を 下肢長で除して100を掛けた値)	49.8	49.8	49.8	50.3	49.8	49.2	51.7	49.8	47.9	54.7	49.8	44.9
相対離地距離 (%) (離地時点の大転子と第5中足骨頭との水平距離を 下肢長で除して100を掛けた値)	70.0	72.4	74.7	73.6	72.4	71.2	74.2	72.4	70.6	77.4	72.4	67.4
接地時点の股関節角度 (deg)	132.1	131.9	131.7	132.4	131.9	131.4	131.9	131.9	131.9	128.6	131.9	135.2
接地時点の膝関節角度 (deg)	152.1	152.3	152.4	150.4	152.3	154.1	154.6	152.3	150.0	148.5	152.3	156.1
離地時点の股関節角度 (deg)	194.4	196.4	198.4	198.7	196.4	194.1	198.4	196.4	194.5	199.7	196.4	193.1
膝関節屈曲角変位 (deg)	-15.0	-13.6	-12.2	-12.1	-13.6	-15.2	-16.1	-13.6	-11.2	-15.5	-13.6	-11.8
股関節伸展位 (deg)	62.4	64.5	66.7	66.3	64.5	62.8	66.5	64.5	62.6	71.2	64.5	57.9
膝関節伸展位 (deg)	19.2	16.9	14.6	18.2	16.9	15.6	20.1	16.9	13.8	23.1	16.9	10.7
股関節伸展位の最大値 (deg/s)	804	850	895	889	850	810	871	850	828	910	850	789
膝関節伸展位の最大値 (deg/s)	475	443	411	481	443	405	503	443	383	569	443	317
接地時点の大腿角 (deg)	33.3	33.0	32.7	33.8	33.0	32.3	32.7	33.0	33.4	37.6	33.0	28.5
離地時点の大腿角 (deg)	-28.0	-28.7	-29.4	-30.3	-28.7	-27.1	-30.8	-28.7	-26.6	-31.8	-28.7	-25.7
離地時点の下腿角 (deg)	-51.9	-53.3	-54.8	-53.9	-53.3	-52.7	-52.3	-53.3	-54.4	-55.8	-53.3	-50.8
大腿角変位 (deg)	61.4	61.8	62.1	64.1	61.8	59.4	63.5	61.8	60.0	69.4	61.8	54.1
下腿角変位 (deg)	57.4	58.6	59.9	58.2	58.6	59.1	59.5	58.6	57.7	61.9	58.6	55.4
足部角変位 (deg)	81.5	82.8	84.0	82.8	82.8	82.7	83.7	82.8	81.8	86.8	82.8	78.7
脚全体後方スイング角速度の最大値 (deg/s)	-604	-664	-724	-722	-664	-606	-659	-664	-669	-662	-664	-666

†††† 100m走の記録の推定値は，天野 (2012) の推定式: Y = -0.874X+20.147 (Y: 100m走の記録 (s), X: 走速度 (m/s)) に走速度を代入して算出したもの

第2節 今後の課題

1. 記録, 身長, および風速以外の要因と通過時間および区間時間との関係の検証

研究課題1で作成された各重回帰式における独立変数の寄与率は100%ではないので(74–99%, 表5.2), 記録および身長以外の内的要因(体力・運動能力的要因, 技術的要因など)と, (レース中の平均)風速以外の外的要因も, 標準通過時間および標準区間時間を変化させると考えられる. 本研究では記録, 身長, および風速の3つしか扱っていないので, 他にどのような内外的要因が標準通過時間および標準区間時間を変化させるかを検証することは不可能である. しかし, 今後の課題として, 各種の内外的要因を表す実用的指標を用いてその検証を試みることは必要である. ここで, T_{30} , T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , および T_{90-100} の残差(以下, それぞれ「 ReT_{30} », 「 ReT_{60} », 「 ReT_{90} », 「 ReT_{30-60} », 「 ReT_{60-90} », 「 ReT_{90-100} 」と略す)間の関係を検証した. 図9.1は, その検証の結果を示したものである. 図9.1の1行目に示された ReT_{30} と他の残差との関係に着目すると, ReT_{30} は ReT_{30-60} , ReT_{60-90} , および ReT_{90-100} との間に, それぞれ弱い, 非常に強い, 中等度の負の相関関係 ($r = -0.244, -0.904, -0.659, p < 0.05$) を示した. したがって, 記録, 身長, および風速以外の要因によって, 第1加速局面に対応する T_{30} が短いほど, 第2加速局面以降に対応する T_{30-60} , T_{60-90} , および T_{90-100} が長い傾向のレース展開であると考えられる. また, 図9.1の5行目に示された ReT_{60-90} と他の残差との関係を見ると, ReT_{60-90} は ReT_{30} および ReT_{90-100} との間に, それぞれ非常に強い負の, 中等度の正の相関関係 ($r = -0.904, 0.570, p < 0.05$) を示した. したがって, 記録, 身長, および風速以外の要因によって, 速度維持局面に対応する T_{60-90} が短いほど, 第1加速局面に対応する T_{30} が長い, 減速局面に対応する T_{90-100} が短い傾向のレース展開であると考えられる. 記録, 身長, および風速以外のどのような内外的要因が, このようにレース展開を変化させるかについて同時に検討することも, 今後の課題として必要である.



† T₃₀, T₆₀, T₉₀: 30m地点, 60m地点, 90m地点の通過時間

T₃₀₋₆₀, T₆₀₋₉₀, T₉₀₋₁₀₀: 30m地点から60m地点, 60m地点から90m地点, 90m地点からゴール(100m)地点までの区間時間

‡ ReT₃₀, ReT₆₀, ReT₉₀, ReT₃₀₋₆₀, ReT₆₀₋₉₀, ReT₉₀₋₁₀₀: 表4.2 (A)–(F)の最終ステップの各重回帰式により算出された残差

図9.1 T₃₀, T₆₀, T₉₀, T₃₀₋₆₀, T₆₀₋₉₀, および T₉₀₋₁₀₀の残差間の関係

2. 走時間および身長以外の要因とステップ変数との関係の検証

研究課題 2 で作成された各回帰式（ステップワイズ法による最終ステップのもの）についても、その独立変数の寄与率を見るとステップ数では 37–56%（決定係数の範囲は 0.371–0.560, 表 6.2）, 支持時間では 25–49%（決定係数の範囲は 0.245–0.492, 表 6.3）, 滞空時間では 8–13%（決定係数の範囲は 0.078–0.133, 表 6.4）, および滞空比では 7.7–8.6%（決定係数の範囲は 0.077–0.086, 表 6.5）であるので、走時間および身長以外の内的要因（体力・運動能力的要因, 技術的要因など）と外的要因も標準ステップ変数を変化させると考えられる。本研究では走時間（記録, T_{30} , T_{60} , T_{90} , T_{30-60} , T_{60-90} , および T_{90-100} ）および身長の 2 つしか扱っていないので、他にどのような内外的要因が標準ステップ変数を変化させるかを検証することは不可能であるが、今後の課題としてその検証を試みることは必要である。

3. 1 ステップ毎の走時間・身長別の標準ステップ長を算出する推定式の作成

また、ステップ頻度およびステップ長については、今後 1 ステップ毎に走時間・身長別の標準ステップ頻度および標準ステップ長を算出する推定式を作成することが必要な課題である。特に、1 ステップ毎に走時間・身長別の標準ステップ長を算出する推定式が明らかになれば、スタートからのマーク走など、ステップ頻度およびステップ長を変化させて最高走速度の向上を図るスプリントトレーニング手段において、より有効なステップ長の設定基準値として、それを利用できるであろう。

4. 記録（走速度）、身長（下肢長）、ステップ頻度、滞空比（回復比）以外の要因とキネマティクス（走動作）変数との関係の検証

研究課題 3 で作成された各重回帰式においても、独立変数の寄与率は 100% ではない（12–77%, 表 7.3）ので、記録（走速度）、身長（下肢長）、ステップ頻度、および滞空比（回復比）以外の内的要因（体力・運動能力的要因など）と外的要因も、標準キネマティクス（走動作）変数を変化させると考えられる。本研究では、他にどのような内外的要因が標準キネマティクス（走動作）変数を変化させるかを検証することは不可能であるが、今後の課題としてその検証を試みることは必要である。

5. 本研究対象者の属性範囲外での推定式の作成

一方、研究課題 1 の記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する重回帰式は、100m 走の記録範囲が 10.05–11.06s, 身長範囲が 1.64–1.88m, 風速範囲が -2.2 – $+2.0$ m/s の日本人男子競技者 112 名を対象にして作成されたものである。また、研究課題 2 の走時間・身長別の標準ステップ数を算出する重回帰式は、100m 走の記録範囲が 10.28–11.11s, 身長範囲が 1.62–1.88m の日本人男子競技者

145名を対象にして作成されたものであり、走時間・身長別の標準支持時間、身長別の標準滞空時間、および記録別の標準滞空比を算出する重回帰式および単回帰式は、100m走の記録範囲が10.30–11.28s、身長範囲が1.65–1.85mの日本人男子競技者100名を対象にして作成されたものである。さらに、研究課題3の記録・身長（下肢長）・ステップ頻度・滞空比（回復比）別の標準キネマティクス（走動作）変数を算出する重回帰式は、100m走の最高記録の範囲が10.30–12.14s、身長範囲が1.618–1.850mの日本人男子競技者79名を対象にして作成されたものである。今後、範囲外における多数の事例データを収集することによって、より多くの日本人男子競技者に適用可能な記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間を算出する推定式および走時間・身長別の標準ステップ数を算出する推定式を作成し、その信頼性および汎用性を高めることが課題である。また、本研究では年齢範囲が18–33歳の日本人男子競技者を対象者としているので、身長に対する下肢長の割合が比較的高いと考えられる外国人男子競技者、女子競技者、発育段階の競技者、および一般人を対象に多数のデータを収集し、推定式を作成することも必要な課題である。

6. 推定式の再作成

本研究の研究課題で用いられたデータは、2015年までに収集されたものである。2016年にはケンブリッジ選手がオリンピック競技大会の男子100m走において、2017年および2019年にはサニブラウン選手が世界選手権大会の男子100m走において、日本代表選手として活躍した（共に、準決勝進出）。彼らは、両親のどちらかが国外出身である。特に2010年以降の現在（2020年1月時点）に至るまで、彼らのように両親のどちらかが国外（特に、アフリカ大陸の国）出身である競技者が日本人競技者として、オリンピック競技大会や世界選手権大会だけでなく、日本学生対校選手権大会（日本インカレ）や全国高等学校総合体育大会（インターハイ）などの主要競技会で活躍するケースが見られる。また、両親共に国外出身である競技者が主要競技会で活躍し、日本国籍取得の準備を進めているという報道（千葉日報，online）も見られ、そのような競技者が将来的に日本代表選手としてオリンピック競技大会で活躍することも期待されている。今後、このようなケースが益々増え、日本人競技者の形態が著しく変化し、外国人競技者の形態に近づくことも否定できないが、どのようになるかは誰にもわからない。仮に、そのようなケースが劇的に増えた時代の場合（例えば、2040年のオリンピック競技大会の男子100m走におけるすべての日本代表選手の両親共にもしくは両親のどちらかが国外出身であることや、日本インカレ男子100m走におけるすべての入賞競技者の両親共に若しくは両親のどちらかが国外出身であること等）、2015年までのデータを用いて得られた本研究の重回帰式による推定値や推定値の標準誤差は、その時代の日本人競技者のための基準値として活用できな

い可能性があり，その時代の競技者を対象にして，改めて推定式を作成することが課題となり，評価や目標設定のための基準値を明らかにする必要がある．

7. 記録向上に伴う通過時間，区間時間，ステップ変数，キネマティクス変数等の変化の検証

さらに，同一競技者の縦断的レース分析を実施し，記録向上に伴って通過時間，区間時間，レース展開，ステップ変数，およびキネマティクス（走動作）変数，さらには垂直跳躍高，体重などの100m走レース以外の基礎的項目の測定値がどのように変化するか等について検証することも必要である．

これらの残された課題を解決することにより，各競技者の個人内および個人間の特性に応じた最適なレース内容の究明に寄与する知見が得られるものと期待される．今後，これらは速やかに検討されなければならない．

注

- 1) レース内容は、本研究ではレース中の走速度、通過時間、区間時間、ステップ変数、およびキネマティクス(走動作)変数を指すものとする。これらの用語については、第1章 第7節の用語の定義を参照されたい。
- 2) ステップ変数は、本研究ではレース全体および各区間におけるステップ数、平均ステップ頻度、平均ステップ長、平均支持時間、平均滞空時間、平均滞空比、平均回復時間、および平均回復比の8つを指すものとする。
- 3) 本研究における「標準」については、第1章 第7節の用語の定義を参照されたい。
- 4) 風速をゼロにした場合の100m 走の記録(風速補正記録)が異なることに注意されたい。
- 5) 走時間は、100m 走の記録、通過時間、もしくは区間時間を指す。詳細は、第1章 第7節の用語の定義を参照されたい。
- 6) 回復比の定義は、第1章 第7節の用語の定義を参照されたい。
- 7) 滞空比の定義は、第1章 第7節の用語の定義を参照されたい。

文献

- Abbiss, C. R. and Laursen, P. B. (2008) Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. *Sports Medicine*, 38 (3): 239–252.
- 阿江通良 (1994) 第 3 回世界陸上競技選手権大会における日本陸連バイオメカニクス研究特別班の活動について. 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編 世界一流陸上競技者の技術. ベースボール・マガジン社, pp. 10–12.
- 阿江通良 (2001) スプリントに関するバイオメカニクスの研究から得られるいくつかの示唆. *スプリント研究*, 11: 15–26.
- 阿江通良 (2010) 第 11 回世界陸上大会における日本陸連バイオメカニクス研究班の準備と実施. 日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班編, 第 11 回世界陸上競技選手権大会 日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班報告書 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術. 財団法人日本陸上競技連盟, pp. 1–4.
- Ae, M., Ito, A., and Suzuki, M. (1992) The men's 100 metres. *New Studies in Athletics*, 7 (1): 47–52.
- 阿江通良・鈴木美佐緒・宮西智久・岡田英孝・平野敬靖 (1994) 世界一流スプリンターの 100m レースパターンの分析—男子を中心に—. 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編 世界一流陸上競技者の技術. ベースボール・マガジン社, pp. 14–28.
- Alexander M. J. (1989) The relationship between muscle strength and sprint kinematics in elite sprinters. *Can J Sport Sci.*, 14: 148–157.
- 天野秀哉 (2012) 100m 走の疾走速度変化と局面構造によるレース分析. 宮下 憲編, *スプリント&ハードル*. 陸上競技社, pp. 41–46.
- 有川秀之 (1991) 陸上競技 100M 走におけるピッチとストライドの関係. *埼玉大学紀要 体育学篇* 24: 77–84.
- 麻場一徳 (2002) 陸マガ・トレーニングワイド 短距離. *陸上競技マガジン*, 52 (6): 128–129.
- 朝原宣治 (2008) 朝原宣治から「後輩たちへのメッセージ」(中). *月刊陸上競技*, 42 (13): 107–111.
- 朝原宣治 (2009) 朝原宣治から「後輩たちへのメッセージ」(下). *月刊陸上競技*, 43 (1): 77–81.
- Aletica Leggera* (online) Liste mondiali maschili delle passate stagioni. <http://digilander.iol.it/Mennea/index.htm>, (accessed 2016-03-20).
- ベースボール・マガジン社 (1987) 1986 年日本 10 傑内選手 INDEX. *陸上競技マガジン*, 37 (3): 245–251.

- ベースボール・マガジン社 (1990) 1989 年日本 30 傑内選手 INDEX. 陸上競技マガジン, 40 (3): 291–308.
- ベースボール・マガジン社 (1991) 1990 年日本 30 傑内選手 INDEX. 陸上競技マガジン, 41 (3): 291–308.
- ベースボール・マガジン社 (1993) 第 4 回世界選手権バイオメカニクス・データ. 陸上競技マガジン, 43(11): 123–126.
- ベースボール・マガジン社 (1994) DAY WATCHING 全 43 種目完全詳報. 陸上競技マガジン, 44(13): 206–222.
- ベースボール・マガジン社 (2009) 2008 年日本 100 傑内選手 INDEX. 陸上競技マガジン, 59 (7): 294–339.
- ベースボール・マガジン社 (2010) 2009 年日本 100 傑内選手 INDEX. 陸上競技マガジン, 60 (8): 302–345.
- Bezodis, I. N., Kerwin, D. G., and Salo, A.I. (2008) Lower-limb mechanics during the support phase of maximum-velocity sprint running. *Med Sci Sports Exerc.*, 40: 707–715.
- Bondarchuk, A. P.; Yessis, M (2007) Transfer of training in sports. *Ultimate Athlete Concepts*, pp. 27–28.
- Bosse, T., Federle, R., Girbig, R., and Graubner, R. (online) Forschungsgruppe Sprint/Hürden (FGS Halle) am Department Sportwissenschaft der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. http://www.fgs.uni-halle.de/wk2-dat/ec-dat/ec1991_m100.pdf, (accessed 2016-03-20).
- Bushnell, T. and Hunter, I. (2007) Differences in technique between sprinters and distance runners at equal and maximal speeds. *Sports Biomech.*, 6: 261–268.
- Charles, J. D. and Bejan, A. (2009) The evolution of speed, size and shape in modern athletics. *The Journal of Experimental Biology*, 212: 2419–2425.
- 千葉日報 (online) 陸上全国V市長に報告 松戸の中学生ハッサンさんとチュクネレさん 「五輪で表彰台」目標. <https://www.chibanippo.co.jp/news/local/623917>, (参照日 2020 年 1 月 26 日)
- Ciacchi, S., Merni, F., Bartolomei, S., and Di Michele, R. (2017) Sprint start kinematics during competition in elite and world-class male and female sprinters. *J Sports Sci.*, 35: 1270–1278.
- Clark, K. P. and Weyand, P. G. (2014) Are running speeds maximized with simple-spring stance mechanics? *J Appl Physiol.*, 117: 604–615.
- Coh, M., Milanovic, D., and Kampmiller, T. (2001) Morphologic and kinematic characteristics of elite sprinters. *Collegium Antropologicum*, 25 (2): 605–610.

- Cohen, J. (1988) *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd ed. Hillsdale (NJ): Lawrence Erlbaum, pp. 413–414.
- Dapena, J. and Feltner, M. E. (1987) Effects of wind and altitude on the times of 100-meter sprint races. *International Journal of Sport Biomechanics*, 3: 6–39.
- 出村慎一監 (2007) *健康・スポーツ科学のための SPSS による統計解析入門*. 杏林書院.
- 出村慎一・西嶋尚彦・佐藤 進・長澤吉則 (2004) *健康・スポーツ科学のための SPSS による多変量解析入門*. 杏林書院.
- Dick, F. W. (1989) Development of maximum sprinting speed. *Track Technique*, 109: 3475–3480.
- 遠藤俊典 (2018) 「発育・発達論」から「競技者育成論」への展開. *陸上競技学会誌*, 16: 47–59.
- 遠藤俊典・宮下 憲・尾縣 貢 (2008) 100m 走後半の速度低下に対する下肢関節のキネティック的要因の影響. *体育学研究*, 53: 477–490.
- European Athletics (online) <http://www.european-athletics.org/athletes/>, (accessed 2016-03-20).
- Fédération Française d'Athlétisme (online) Biographies. <http://bases.athle.com/asp.net/accueil.aspx?frmbase=biographies>, (accessed 2016-03-20).
- Federle, R., Jung, K., Graubner, R., and Quaas, G. (online) Forschungsgruppe Sprint/Hürden (FGS Halle) am Department Sportwissenschaft der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. http://www.fgs.uni-halle.de/wk2-dat/wch1993/wch93_m100.pdf, (accessed 2015-05-14).
- Ferro, A., Rivera, A., Pagola, I., Ferreruella, M., Martin, A., and Rocandio, V. (2001) Biomechanical analysis of the 7th world championships in athletics Seville 1999. *New Studies in Athletics*, 16(1/2): 25–60.
- 福田厚治・伊藤 章 (2004) 最高疾走速度と接地期の身体重心の水平速度の減速・加速: 接地による減速を減らすことで最高疾走速度は高められるか. *体育学研究*, 49: 29–39.
- 福田厚治・杉田正明 (2003) 長崎インターハイ●バイオメカニクスレポート 男子 100m. *陸上競技マガジン*, 53 (12) 別冊付録: 28–29.
- Gajer, B., Thepaut-Mathieu, C., and Lehenaff, D. (1999) Evolution of stride and amplitude during course of the 100 m event in athletics. *New Studies in Athletics*, 14 (1): 43–50.

- Graubner, R., Bosse, Buckwitz, R., and Starke, A. (2009c) Forschungsgruppe Sprint/Hürden (FGS Halle) am Department Sportwissenschaft der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
http://www.fgs.uni-halle.de/wk2-dat/istaf-dat/ist2009_m100.pdf,
 (accessed 2016-03-20).
- Graubner, R., Bosse, T., Klockmann, M., and Ringel, K. (2007a) Forschungsgruppe Sprint/Hürden (FGS Halle) am Department Sportwissenschaft der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
http://www.fgs.uni-halle.de/wk2-dat/ec-dat/ec2001_m100.pdf, (accessed 2015-05-14).
- Graubner, R., Bosse, and Schulz, H. (2009a) Forschungsgruppe Sprint/Hürden (FGS Halle) am Department Sportwissenschaft der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. http://www.fgs.uni-halle.de/wk2-dat/istaf-dat/ist2001_m100.pdf, (accessed 2015-05-14).
- Graubner, R., Bosse, T., and Starke, A. (2007b) Forschungsgruppe Sprint/Hürden (FGS Halle) am Department Sportwissenschaft der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. http://www.fgs.uni-halle.de/wk2-dat/WAF2007/WAF07_M100G.pdf, (accessed 2015-05-14).
- Graubner, R., Buckwitz, R., Landmann, M., and Starke, A. (2009b) Forschungsgruppe Sprint/Hürden (FGS Halle) am Department Sportwissenschaft der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.
http://www.fgs.uni-halle.de/wk2-dat/wm2009/wch09_m100_final_s.pdf,
 (accessed 2015-05-14)
- Graubner, R. and Klockmann, M. (2009) Forschungsgruppe Sprint/Hürden (FGS Halle) am Department Sportwissenschaft der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. http://www.fgs.uni-halle.de/wk2-dat/istaf-dat/ist2000_m100g.pdf,
 (accessed 2015-05-14).
- Graubner, R. and Nixdorf, E. (2011) Biomechanical analysis of the sprint and hurdles events at the 2009 IAAF world championships in athletics. *New Studies in Athletics*, 26(1/2): 19–53.
- Graubner, R. and Ringel, K. (2009) Forschungsgruppe Sprint/Hürden (FGS Halle) am Department Sportwissenschaft der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. http://www.fgs.uni-halle.de/wk2-dat/ech2002/ech02_m100g.pdf,
 (accessed 2015-05-14).

- Graubner, R. and Starke, A. (2009) Forschungsgruppe Sprint/Hürden (FGS Halle) am Department Sportwissenschaft der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg. http://www.fgs.uni-halle.de/wk2-dat/WAF2008/WAF08_M100G.pdf, (accessed 2015-05-14).
- Hanon, C. and Gajer, B. (2009) Velocity and stride parameters of world-class 400-meter athletes compared with less experienced runners. *J Strength Cond Res.*, 23: 524–531.
- Haugen, T., Danielsen, J., Alnes, L. O., McGhie, D., Sandbakk, O., and Ettema, G. (2018) On the Importance of "Front-Side Mechanics" in Athletics Sprinting. *Int J Sports Physiol Perform.*, 13: 420–427.
- Heidenstrom, P. (1982) Wind assistance adjustment. *New Zealand Athlete*, 21 (6): 73, 77.
- Hoffmann, K. (1971) Stature, leg length, and stride frequency. *Track Technique*, 43: 1463–1469.
- Hommel, H., Baruda, M., Mendoza, L., Bottcher, J., Muller, R., Buckwitz, R., Nixdorf, E., Ernst, O., Perlt, B., Gohlitz, D., Schaa, W., Graubner, R., Schade, F., Isele, R., Schleichardt, A., Landmann, M., Starke, A., and Lehmann, F. (online) International Association of Athletics Federations. 1 - Biomechanics Report WC Berlin 2009 Sprint Men. <http://www.iaaf.org/about-iaaf/documents/research>, (accessed 2016-03-20).
- Hunter J.P., Marshall, R. N., and McNair, P. J. (2004) Interaction of step length and step rate during sprint running. *Med Sci Sports Exerc.*, 36: 261–271.
- イオーノフ, D.: 岡本正巳 訳 (1968) ピッチとストライドがスピードに及ぼす影響. *月刊陸上競技* 2(7): 51–53.
- 石井安里 (2013) 第 97 回日本選手権 REPORT DAY2 注目の大一番 山縣が A 標準突破で初優勝. *陸上競技マガジン*, 63 (12): 10–11.
- 石原ゆりえ (1992) 1991 年日本 50 傑内選手 INDEX. *陸上競技マガジン*, 42 (3): 301–321.
- 石原ゆりえ (1993) 1992 年日本 50 傑内選手 INDEX. *陸上競技マガジン*, 43 (3): 303–323.
- 伊藤 章 (1995) 連続写真&バイオメカニクス・データで見る高校生トップアスリートの技術 PART1 スプリント. *陸上競技マガジン*, 45 (3): 175–180.
- 伊藤 章 (2003) 短距離走に関する研究: コーチングに役立つ科学的根拠を求めて. *体育学研究*, 48: 355–367.

Ito, A., Fukuda, K., and Kijima, K. (2008) Mid-phase movements of Tyson Gay and Asafa Powell in the 100 metres at the 2007 World Championships in Athletics. *N Stud Athletics*, 23: 39–43.

伊藤 章・市川博啓・斉藤昌久・佐川和則・伊藤道郎・小林寛道 (1998) 100m 走中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. *体育学研究*, 43: 260–273.

伊東浩司 (2003) 私の短距離トレーニング (上). 月刊陸上競技編 疾風 (かぜ) になりたい: 「9 秒台」に触れた男の伝言. 出版芸術社, pp. 239–258.

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

川田清八・井上有美・野崎忠信 (1995) 競技規則の主な修改正. 日本陸上競技連盟七十年史. ベースボール・マガジン社, pp. 535–553.

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

金高宏文・松村 勲・瓜田吉久 (2005) 100m 走の加速区間における局面区分の検討—疾走速度, ストライド及びピッチの 1 歩毎の連続変化を手がかりにして—. *スプリント研究*, 15: 89–99.

金高宏文 (2015) 競技会における男子 100m 走レースタイムからの最大走速度の推定式の検討: 10 秒から 20 秒までを対象とした幅広い推定の場合. *スプリント研究*, 24: 59–63.

気象庁 (online)

http://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php?prec_no=40&block_no=476
46, (参照日 2015 年 7 月 13 日).

小林 海・大沼勇人・高橋恭平・松林武生・広川龍太郎・松尾彰文 (2018) 霧生祥秀選手が 10 秒の壁を突破するまでの 100m レースパターンの変遷. *陸上競技研究紀要*, 13: 109–114.

小林 海・高橋恭平・山中 亮・渡辺圭祐・大沼勇人・松林武生 (2019) 2018 年シーズンにおける男子 100m のレース分析結果. *陸上競技研究紀要*, 14: 220–223.

小林 海・山本真帆・山元康平・山中 亮・辻 秀憲・柳谷登志雄・松尾彰文 (2014) Biomechanics report 男子 100m. *陸上競技マガジン*, 64 (18): 128.

小林寛道編 (1990) 走る科学. 大修館書店, pp. 54–55, 112–118.

児玉育美・田辺由紀子 (2008) 陸上競技 強豪校の秘練習法, 教えます!. ベースボール・マガジン社.

Koyama, H., Muraki, Y., and Ae, M. (2011) Target value for the maximum run-up speed of the long jump based on the performance level. *Portuguese J Sport Sciences*, 11(Suppl. 2): 299–302.

- Kugler, F. and Janshen, L. (2010) Body position determines propulsive forces in accelerated running. *J Biomech.*, 43: 343–348.
- Kunz, H. and Kaufmann, D. A. (1981) Biomechanical analysis of sprinting: decathletes versus champions. *Br J Sports Med.*, 15: 177–181.
- Krzysztof, M. and Mero, A. (2013) A kinematics analysis of three best 100 m performances ever. *Journal of Human Kinetics*, 36: 149–161.
- Linthorne, N. (1994a) Wind assistance in the 100m sprint. *Track Technique*, 127: 4049–4051.
- Linthorne, N. P. (1994b) The effect of wind on 100-m sprint times. *Journal of Applied Biomechanics*, 10: 110–131.
- Mann, R.V. (2011) The mechanics of sprinting and hurdling
- Mapion Co.,Ltd (online) <http://www.mapion.co.jp/>, (accessed 2015-05-10)
- 松尾彰文 (1993) 日本陸連科学委員会レポート インターハイ男女 100m 決勝レース分析～第 46 回インターハイ宇都宮大会～. *陸上競技マガジン*, 43 (11): 256–259.
- 松尾彰文 (1994) '93TOTO スーパー陸上 バイオメカニクス・データ報告 スピードから見た男子 100m のレース分析. *陸上競技マガジン*, 44 (3): 184–186.
- 松尾彰文 (1995) 鳥取インターハイ バイオメカニクスデータ速報. *陸上競技マガジン*, 45 (10): 94–95.
- 松尾彰文 (2010) *Biomechanics Report 2010 沖縄インターハイ ベストパフォーマンス分析 1 男子・女子 100m*. *陸上競技マガジン*, 60 (19): 160–167.
- 松尾彰文・広川龍太郎・杉田正明・阿江通良 (2007) レーザー方式による 100m およびハードルのスピード分析. *陸上競技研究紀要*, 3: 59–64.
- 松尾彰文・広川龍太郎・柳谷登志雄・小林 海・松林武生・貴嶋孝太・山本真帆・綿谷貴志・渡辺圭佑・杉田正明 (2014) 2012 年および 2013 年の 100m レースにおけるスピード変化と最高スピード出現区間について. *陸上競技研究紀要*, 9: 50–55.
- 松尾彰文・広川龍太郎・柳谷登志雄・松林武生・山本真帆・高橋恭平・小林 海・杉田正明 (2015) 男女 100m レースにおける記録と、スピード、ピッチおよびストライドの関係について. *陸上競技研究紀要*, 10: 64–74.
- 松尾彰文・広川龍太郎・柳谷登志雄・松林武生・高橋恭平・小林 海・杉田正明 (2016) 2015 シーズンと記録別にみた男女 100m のレース分析について. *陸上競技研究紀要*, 11: 141–149.
- 松尾彰文・広川龍太郎・柳谷登志雄・松林武生・高橋恭平・小林 海・杉田正明 (2017) 2016 シーズンおよび全シーズンでみた男女 100m の速度分析とピッチ・ストライド分析について. *陸上競技研究紀要*, 12: 74–83.

- 松尾彰文・広川龍太郎・柳谷登志雄・松林武生・高橋恭平・小林 海・杉田正明 (2018) 2017 シーズンにおける男女 100m のレース分析および瞬間速度と瞬間加速度. 陸上競技研究紀要, 13: 154—164.
- 松尾彰文・広川龍太郎・柳谷登志雄・持田 尚・杉田正明・松林武生・貴嶋孝太・川崎知美・荻部俊二・土江寛裕・清田浩伸・麻場一徳・中村宏之 (2011) 100m レースにおける 4 ステップごとにみたスピード, ピッチおよびストライドの変化. 陸上競技研究紀要, 7: 21—29.
- 松尾彰文・広川龍太郎・柳谷登志雄・杉田正明 (2009) 2008 年男女 100m, 110m ハードルおよび 100m ハードルのレース分析. 陸上競技研究紀要, 5: 50—62.
- 松尾彰文・広川龍太郎・柳谷登志雄・杉田正明 (2010b) 2009 年シーズンにおける直走路種目のスピードとストライドの分析. 陸上競技研究紀要, 6: 63—71.
- 松尾彰文・広川龍太郎・柳谷登志雄・杉田正明・土江寛裕・阿江通良 (2010a) 100m のレース分析. 日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班編, 第 11 回世界陸上競技選手権大阪大会 日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班報告書 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術. 財団法人日本陸上競技連盟, pp. 5—17.
- 松尾彰文・広川龍太郎・柳谷登志雄・土江寛裕・杉田正明 (2008a) 男女 100m レースのスピード変化. バイオメカニクス研究, 12 (2): 74—83.
- 松尾彰文・広川龍太郎・柳谷登志雄・土江寛裕・杉田正明 (2008b) 2007 年男女 100m, 100m ハードルおよび 110m ハードルのスピード分析報告. 陸上競技研究紀要, 4: 48—55.
- 松尾彰文・持田 尚・法元康二・小山宏之・阿江通良 (2010c) 世界トップスプリンターのストライド頻度とストライド長の変化. 陸上競技研究紀要, 6: 56—62.
- メフリカゼ・タバチュニク: 山本直人訳 (1982) トレーニングの目的は競技モデル: 100m 選手の徹底分析. 陸上競技マガジン, 32 (9): 139—144.
- Mirzoev, O. M. and Vlasov, V. V. (2015) Usain Bolt phenomenon: key points of kinematic parameters of technical skills in 100 m run. *Teoria i Praktika Fiziceskoj Kul'tury*, 4: 66—71.
- 宮川千秋 (1992) 短距離 最新陸上競技入門シリーズ①. ベースボール・マガジン社, pp. 56—60.
- 宮丸凱史・宮丸郁子 (1976) 短距離競走. 金原 勇編, 陸上競技のコーチング (I). 大修館書店, pp. 171—298.
- 宮代賢治 (2012) 100m レースのピッチ, ストライド, 接地時間, 空中時間および滞空比. 宮下 憲編, スプリント&ハードル. 陸上競技社, pp.47—49.

- 宮代賢治・山元康平・内藤 景・谷川 聡・西嶋尚彦 (2013a) 110mH レースにおけるモデルタッチダウンタイムの再検討：13.71s—14.59s の競技者を対象として. 筑波大学体育系紀要, 36: 59—67.
- 宮代賢治, 山元康平, 内藤景, 谷川聡, 西嶋尚彦 (2013b) 男子 100m 走における身長別モデルステップ変数. スプリント研究, 22: 57—76.
- 宮下 憲編 (2012) スプリント&ハードル. 陸上競技社.
- 宮下 憲・阿江通良・横井孝志・橋原孝博・大木昭一郎 (1986) 世界一流スプリンターの疾走フォームの分析. *Jpn. J. Sports Sc.*, 5: 892—898.
- 宮崎勇達・吉岡貴子 (1989) 1988 年日本 20 傑内選手 INDEX. 陸上競技マガジン, 39 (3): 287—297.
- Moravec, P., Ruzicka, J., Susanka, P., Dostal, E., Kodejs, M., and Nosek, M. (1988) The 1987 international athletic foundation / IAAF scientific project report: time analysis of the 100 metres events at the II world championships in athletics. *New Studies in Athletics*, 3: 61—96.
- 森丘保典・杉田正明・松尾彰文・岡田英孝・阿江通良・小林寛道 (2000) 陸上競技男子 400m ハードル走における速度変化特性と記録との関係：内外一流選手のレースパターンの分析から. *体育学研究*, 45: 414—421.
- Muller, H. (1991) Trends in the men's and women's sprints in the period from 1985 to 1990. *New Studies in Athletics*, 6 (1): 7—14.
- Muller, H. and Hommel, H. (1997) Biomechanical research project at the VIth world championships in athletics, Athens 1997: Preliminary report. *New Studies in Athletics*, 12 (2-3): 43—73.
- Mureika, J. R. (2001) A realistic quasi-physical model of the 100 m dash. *Canadian Journal of Physics*, 79: 697—713.
- Mureika, J. R. (2006) The effects of temperature, humidity and barometric pressure on short sprint race times. *Canadian Journal of Physics*, 84 (4): 311—324.
- Mureika, J. R. (online) 100 m Drag Adjustment Calculator.
<http://myweb.lmu.edu/jmureika/track/DensityAltitude.html>, (accessed 2015-05-29)
- Nagahara, R., Matsubayashi, T., Matsuo, A., and Zushi, K. (2014a) Kinematics of transition during human accelerated sprinting. *Biol Open*, 3: 689—699.

- Nagahara, R., Mizutani, M., Matsuo, A., Kanehisa, H., and Fukunaga, T. (2018a) Association of sprint performance with ground reaction forces during acceleration and maximal speed phases in a single sprint. *J Appl Biomech.*, 34: 104–110.
- 永原 隆・内藤 景・宮代賢治・関子浩二 (2013) 全力疾走時の加速度とピッチおよびストライド変化率との関係の変化. *スプリント研究*, 22: 143–145.
- Nagahara, R., Naito, H., Morin, J. B., and Zushi, K. (2014b) Association of acceleration with spatiotemporal variables in maximal sprinting. *International Journal of Sports Medicine*, 35: 755–761.
- Nagahara, R., Takai, Y., Kanehisa, H., and Fukunaga, T. (2018b) Vertical Impulse as a determinant of combination of step length and frequency during sprinting. *Int J Sports Med.*, 39: 282–290.
- 永原 隆・関子浩二 (2014) 全力疾走の加速局面における疾走能力と身体部分長との関係. *スプリント研究*, 23: 5–15.
- 内藤 景・苅山 靖・宮代賢治・山元康平・尾懸 貢・谷川 聡 (2013) 短距離走競技者のステップタイプに応じた 100 m レース中の加速局面の疾走動態. *体育学研究*, 58: 523–538.
- 日本オリンピック委員会 (online) 大会.
<https://www.joc.or.jp/games/>, (参照日 2020 年 1 月 26 日)
- 日本陸上競技連盟 (online1) 陸上競技ルールブック 2015.
<http://www.jaaf.or.jp/athlete/rule/pdf/15.pdf>, (参照日 2015 年 4 月 30 日).
- 日本陸上競技連盟 (online2) 選手名鑑.
<http://www.jaaf.or.jp/fan/player/>, (参照日 2015 年 1 月 24 日).
- 日本陸上競技連盟 (online3) チーム JAPAN
<https://www.jaaf.or.jp/athletes/?event=1>, (参照日 2019 年 12 月 11 日)
- 日本体育協会編 (1958) 第 16 回オリンピック大会報告書. 財団法人日本体育協会: 東京, pp. 285–320.
- 日本体育協会 (1965) 東京オリンピックスポーツ科学研究報告. 財団法人日本体育協会, pp. 37–110.
- 野口純正 (1997) バイオメカニクス・データ. *陸上競技マガジン*, 47(11): 99–103.
- 野口純正 (2008) *STATS ON T&F* 第 74 回 ボルトの世界新に関するあれこれ. *陸上競技マガジン*, 58(13): 110–113.
- 野口純正 (2009) *STATS ON T&F* 第 84 回 ボルトの 9 秒 58 と 19 秒 19. *陸上競*

- 技マガジン 59(17): 124—127.
- 野口純正・千田辰己編 (2013) 全国陸上競技愛好会 創立 50 周年記念 歴代記録集. 全国陸上競技愛好会, pp. 3—6, 180—185.
- 野口純正・山地真理子 (2003) 2002 年日本 100 傑内選手 INDEX. 陸上競技マガジン, 53 (5): 273—316.
- 野口純正・山地真理子 (2004) 2003 年日本 100 傑内選手 INDEX. 陸上競技マガジン, 54 (4): 267—310.
- 野口純正・山地真理子 (2005) 2002 年日本 100 傑内選手 INDEX. 陸上競技マガジン, 55 (4): 265—309.
- 野口純正・山地真理子 (2006) 2005 年日本 100 傑内選手 INDEX. 陸上競技マガジン, 56 (5): 265—310.
- 野口純正・山地真理子 (2007) 2006 年日本 100 傑内選手 INDEX. 陸上競技マガジン, 57 (6): 265—310.
- 織田幹雄 (1976) 改定新版 陸上競技百年. 時事通信社: 東京, pp. 264—265, 326, 348.
- 尾縣 貢 (2007) ぐんぐん強くなる! 陸上競技. ベースボール・マガジン社.
- 岡野 進, 渡部 誠, 品田龍吉 (1988) 競技会における男子 100m レースのタイム・ピッチ・ストライドの関係. 陸上競技紀要 1: 12—18.
- Olympics at Sports-Reference.com (online) Olympic Athlete Directory. <http://www.sports-reference.com/olympics/athletes/>, (accessed 2015-12-09).
- 大村邦英 (2015) 差がつく練習法 陸上競技 東京高校方式ドリル. ベースボール・マガジン社.
- 太田 涼・有川秀之 (1999) 100m レース中の疾走速度, ピッチ, ストライドの変化について —日本と世界一流選手との比較—. 陸上競技研究 37: 8—16.
- Panoutsakopoulos V., Theodorou, A. S., Katsavelis, D., Roxanas, P., Paradisis, G., and Argeitaki, P. (2016) Gender differences in triple jump phase ratios and arm swing motion of international level athletes. *Acta Gymnica.*, 46: 174—183.
- Paruzel-Dyja, M., Walaszczyk, A., and Iskra, J. (2006) Elite male and female sprinters' body build, stride length and stride frequency. *Studies in Physical Culture and Tourism* 13: 33—37.
- 陸上競技インフォメーションセンター (online) Results (過去の記録). <http://gold.jaic.org/jaic/>, (参照日 2016 年 4 月 27 日).
- 陸上競技社・講談社 (1993) 男子 100m. 月刊陸上競技, 27 (10): 92—93.
- 陸上競技社・講談社 (1996) 朝原 28 年ぶりの 100m セミファイナリスト. 月刊陸

- 上競技, 30 (9): 34–35.
- 陸上競技社・講談社 (2008) 初陣・塚原 100m で準決勝進出. 月刊陸上競技, 42 (11): 66–67.
- 陸上競技社・講談社 (2012) ロンドン五輪 スペシャル・インタビュー 男子短距離 山縣亮太. 月刊陸上競技, 46 (11): 74–78.
- 陸上競技ランキング (online) <https://rikumaga.com/>, (参照日 2019 年 12 月 14 日).
- 酒井祐輔 (2008) トレーニング講座 高校編 短距離 100m 系 4, 5 月. 月刊陸上競技, 42 (5): 122.
- Salo, A. I. T., Bezodis, I. N., Batterham, A. M., and Kerwin, D. G. (2011) Elite Sprinting: Are athletes individually step-frequency or step-length reliant?. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 43 (6): 1055–1062.
- 佐藤真太郎 (2012) トレーニング講座 高校編 100m 4, 5 月. 月刊陸上競技, 46 (5): 130.
- 清水禎宏 (2006) 短距離 (PART1 100m・200m). 全国高等学校体育連盟陸上競技部編 ジュニア陸上競技マニュアルー高校トレーニング方式第 6 版ー. 陸上競技社, pp. 46–63.
- Slawinski, J., Termoz, N., Rabita, G., Guilhem, G., Dorel, S., Morin, J. B., and Samozino, P. (2017) How 100-m event analyses improve our understanding of world-class men's and women's sprint performance. *Scand J Med Sci Sports.*, 27: 45–54.
- 杉田正明 (2001) 特集 PLAYBACK 熊本インターハイ SEC.2 バイオメカニクスレポート. 陸上競技マガジン, 51 (11): 194–195.
- 杉田正明 (2003a) 陸上競技・トラックレースの分析について (特集 ゲームとレースの分析). バイオメカニクス研究, 7 (1): 82–88.
- 杉田正明 (2003b) 100m 走における接地時間 (支持時間) について. 月刊陸上競技, 37 (5): 142–145.
- 杉田正明・福田厚治 (2002) 男子 100m●バイオメカニクスレポート. 陸上競技マガジン, 52 (12) 別冊付録: 28.
- 杉田正明・三浦康二編 (2015) アスリートのパフォーマンス及び技術に関する調査研究データブック 2014 年度版. あんざい.
- 杉田正明・柳谷登志雄・鈴木雄太・榎本靖士 (2006) Biomechanics report 男子 100m. 陸上競技マガジン, 56 (14): 142.
- 首都大学東京体力標準値研究会編 (2007) 新・日本人の体力標準値 II. 不味堂出版.
- 高石昌弘監 (2012) からだの発達と加齢の科学. 大修館書店, pp. 20–35.

- 高野 進 (2003) 末續慎吾 「メダリスト」までの5年間 Part② インカレに燃えた大学時代後半. 月刊陸上競技, 37 (13): 90–95.
- 高谷 昌・上田文代 (1988) 1987年日本20傑内選手 INDEX. 陸上競技マガジン, 38 (3): 271–282.
- 谷川 聡 (2019) トレーニング科学はスプリンターのパフォーマンス向上に貢献しているのか?. トレーニング科学, 21 (3): 117–128.
- 谷川 聡・宮代賢治・阿江通良・白木 仁・西嶋尚彦・尾縣 貢 (2011) 100m パフォーマンスの科学データ利用モデルと発達過程に関する研究. 一般財団法人 上月財団.
https://www.kozuki-foundation.or.jp/ronbun/spresearch/spres06_tanigawa.pdf, (参照日 2019年11月17日).
- 谷川 聡・内藤 景 (2015) スプリント・ハードルトレーニングのためのバイオメカニクス知見の活かし方. バイオメカニクス研究, 18 (3): 157–169.
- TEAM GB (online) <https://www.teamgb.com/athletes>, (accessed 2016-03-20).
- Tilastopaja Oy Track and field statistics (online) <http://www.tilastopaja.org/>, (accessed 2016-03-20).
- 豊田裕浩 (2014) 飯塚翔太選手 (ミズノ) の世界で活躍できるスプリンターを目指した取り組み—中央大学での4年間の取り組みを中心に—. 陸上競技研究, 98: 44–49.
- Toyoshima, R. and Sakurai, S. (2016) Kinematic characteristics of high step frequency sprinters and long step length sprinters at top speed phase. *Int J Sports Health Sci.*, 14: 41–50.
- 土江寛裕 (2009) ショートスプリントのトレーニング. 日本トレーニング科学会編, スプリントトレーニング—速く走る・泳ぐ・滑るを科学する—. 朝倉書店, pp. 96–104.
- 土江寛裕 (2011) 陸上競技入門ブック 短距離・リレー. ベースボール・マガジン社.
- 内田 治 (2013) SPSSによる回帰分析. オーム社.
- USA Track & Field (online)
<http://www.usatf.org/Athlete-Bios/Archive.aspx>, (accessed 2016-03-20).
- Uth, N. (2005) Anthropometric comparison of world-class sprinters and normal populations. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4: 608–616.
- Ward-Smith, A. J. (1985) A mathematical analysis of the influence of adverse and favourable winds on sprinting. *Journal of Biomechanics*, 18 (5): 351–357.
- Ward-Smith, A. J. (1999) New insights into the effect of wind assistance on sprinting performance. *Journal of Sports Sciences*, 17: 325–334.

- Watts, A. D., Coleman, I., and Nevill, A. (2012) The changing shape characteristics associated with success in world-class sprinters. *Journal of Sports Sciences*, 30 (11): 1085–1095.
- Wells, R. P. and Winter, D. A. (online) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological, and sporting gaits. In *Human Locomotion I. Proceedings of the Special Conference of the Canadian Society of Biomechanics*, pp. 92-93. London: Canadian Society of Biomechanics; 1980.
- Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., and Wright, S. (2000) Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J Appl Physiol.*, 89: 1991–1999.
- World Athletics (online) Season Top Lists.
<https://www.worldathletics.org/records/toplists/sprints/100-metres/outdoor/men/senior/2016>, (accessed 2019-07-10).
- Yada, K., Ae, M., Tanigawa, S., Ito, A., Fukuda, K., and Kijima, K. (2011) Standard motion of sprint running for male elite and student sprinters. *Portuguese J Sport Sciences*, 11(Suppl. 2): 583–585.
- 矢田恵太・阿江通良・谷川 聡・伊藤 章・福田厚治・貴嶋孝太 (2011) 標準動作モデルによる世界一流および学生短距離選手の疾走動作の比較. *陸上競技研究*, 87: 10–16.
- 山地真理子・石原ゆりえ (1995) 1994 年日本 50 傑内選手 INDEX. *陸上競技マガジン*, 45 (4): 295–316.
- 山地真理子・石原ゆりえ (1996) 1995 年日本 50 傑内選手 INDEX. *陸上競技マガジン*, 46 (3): 293–314.
- 山地真理子・石原ゆりえ (1997) 1996 年日本 50 傑内選手 INDEX. *陸上競技マガジン*, 47 (4): 277–298.
- 山地真理子・石原ゆりえ (2000) 1998 年日本 100 傑内選手 INDEX. *陸上競技マガジン*, 50 (5): 259–301.
- 山地真理子・石原ゆりえ・石井安里 (1998) 1997 年日本 100 傑内選手 INDEX. *陸上競技マガジン*, 48 (4): 283–324.
- 山地真理子・石原ゆりえ・石井安里 (1999) 1998 年日本 100 傑内選手 INDEX. *陸上競技マガジン*, 49 (4): 283–324.
- 山地真理子・石原ゆりえ・熊田大樹・石井安里 (2002) 2001 年日本 100 傑内選手 INDEX. *陸上競技マガジン*, 52 (4): 271–314.

- 山地真理子・石原ゆりえ・熊田大樹・三代沢芳男（2001）2000年日本100傑内選手 INDEX. 陸上競技マガジン, 51(4): 269—311.
- 山地真理子・森まどか（1994）1993年日本50傑内選手 INDEX. 陸上競技マガジン, 44(4): 305—326.
- 山縣亮太（2012）ロンドン五輪スペシャル・インタビュー 男子短距離 山縣亮太（慶大）追求する「自分の走り」 その先に「9秒台とファイナル」がある. 月刊陸上競技, 46(11): 74—78.
- 山元康平（2019）400m走における「基準値」～それぞれに最良のレースパターンを見つけるために～. 月刊陸上競技, 53(10): 206—209.
- 山元康平・宮代賢治・内藤 景・木越清信・谷川 聡・大山卞圭吾・宮下 憲・尾縣 貢（2014）陸上競技男子400m走におけるレースパターンとパフォーマンスとの関係. 体育学研究, 59: 159—173.
- 柳谷登志雄・渡辺圭佑・松尾彰文・小林 海・福田厚治・高橋恭平・山元康平・木村友哉・和田純弥（2013）Biomechanics report 男子100m. 陸上競技マガジン, 63(17): 37.
- 安井年文監（2015）「走り」が変わる！陸上スプリント最強のコツ 50. メイツ出版.
- 横井孝志（1988）形態的要因が走動作に及ぼす影響に関する生力学的研究. 昭和62年度筑波大学大学院教育学博士論文.
- Yokoi, T., Shibukawa, K., Ae, M., and Hashihara, Y. (1987) Effects of stature difference on sprint running motion. in Jonsson, B. (Ed.), *Biomechanics X - B, Human Kinetics Publishers: Champaign*, 881—85.
- 米津 毎・青木和浩・佐久間和彦・越川一紀・金子今朝秋（2007）大学男子短距離走者におけるスプリントバウンディング及びバウンディング運動のトレーニング効果について. 陸上競技研究, 69: 22—29.
- 吉岡隆徳（1976）日本の短距離はなぜ弱いのか？私の意見と提案. 月刊陸上競技, 10(7): 118—119.
- 関子浩二（2000）トレーニングマネジメント・スキルアップ革命—スポーツトレーニングの計画がわかる—～問題解決型思考によるトレーニング計画の勧め～. コーチングクリニック, 14(1—7) 連載.
- 関子浩二（2009）スプリントトレーニングのマネジメント. 日本トレーニング科学会編, *スプリントトレーニング—速く走る・泳ぐ・滑るを科学する—*. 朝倉書店, pp. 1—9.
- 関子浩二（2013）トレーニング理論と方法論. 日本体育協会編, *公認スポーツ指導者養成テキスト共通科目Ⅲ*. 日本体育協会, pp. 104—117.

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

付録

付録 1 研究課題 3 の各キネマティクス（走動作）変数を推定する回帰式の
独立変数（走速度，下肢長，ステップ頻度，回復比）に関する結果 1

従属変数	独立変数	SEB	β	r	r ²	r _{xy-z}	
回復期の キネマティクス変数	走速度	2.54	0.191	0.413	0.171	0.163	
	下肢長	34.84	0.269	0.175	0.031	0.238 *	
	逆足接地時点の大腿角度	ステップ頻度	5.71	0.291	0.226	0.051	0.231 *
	回復比	4.20	0.236	0.216	0.047	0.234 *	
	(定数)	43.53					
	走速度	1.42	0.454	0.310	0.096	0.350 *	
	下肢長	19.50	0.014	0.221	0.049	0.012	
	腿上げ角度	ステップ頻度	3.20	-0.290	-0.089	0.008	-0.220
	回復比	2.35	-0.125	0.023	0.001	-0.120	
	(定数)	24.37					
	走速度	25.07	-0.228	-0.222	0.049	-0.207	
	下肢長	344.35	0.401	0.441	0.194	0.366 *	
	引き付け最大角速度	ステップ頻度	56.43	-0.226	-0.494	0.244	-0.194
	回復比	41.51	0.104	0.063	0.004	0.113	
	(定数)	430.29					
	走速度	13.74	0.525	0.217	0.047	0.411 *	
下肢長	188.70	-0.530	-0.272	0.074	-0.433 *		
腿上げ最大角速度	ステップ頻度	30.93	-0.366	0.100	0.010	-0.285 *	
回復比	22.75	-0.262	-0.052	0.003	-0.257 *		
(定数)	235.79						
走速度	13.04	-0.454	-0.447	0.199	-0.406 *		
下肢長	179.08	0.279	0.184	0.034	0.277 *		
振り戻し最大角速度	ステップ頻度	29.35	0.084	-0.157	0.025	0.077	
回復比	21.59	-0.350	-0.483	0.234	-0.375 *		
(定数)	223.78						
走速度	0.82	0.544	-0.019	0.000	0.513 *		
下肢長	11.32	-0.511	-0.078	0.006	-0.510 *		
相対接地距離	ステップ頻度	1.86	-0.722	-0.176	0.031	-0.600 *	
回復比	1.37	-0.762	-0.493	0.243	-0.703 *		
(定数)	14.15						
走速度	0.91	0.796	0.269	0.072	0.660 *		
下肢長	12.46	-0.546	-0.098	0.010	-0.536 *		
相対離地距離	ステップ頻度	2.04	-0.650	0.004	0.000	-0.560 *	
回復比	1.50	-0.702	-0.385	0.148	-0.674 *		
(定数)	15.57						
走速度	1.11	-0.274	-0.039	0.002	-0.225		
下肢長	15.29	0.104	-0.077	0.006	0.092		
接地時点の股関節角度	ステップ頻度	2.51	0.250	0.017	0.000	0.195	
回復比	1.84	0.499	0.391	0.153	0.444 *		
(定数)	19.10						
走速度	1.71	-0.042	0.045	0.002	-0.035		
下肢長	23.50	0.171	0.168	0.028	0.148		
接地時点の膝関節角度	ステップ頻度	3.85	-0.072	-0.216	0.046	-0.056	
回復比	2.83	0.373	0.364	0.133	0.343 *		
(定数)	29.36						
走速度	1.35	0.189	0.059	0.004	0.153		
下肢長	18.53	0.078	0.255	0.065	0.067		
接地時点の足関節角度	ステップ頻度	3.04	-0.366	-0.324	0.105	-0.272 *	
回復比	2.23	0.028	0.124	0.015	0.027		
(定数)	23.15						
走速度	1.59	0.479	0.148	0.022	0.373 *		
下肢長	21.86	-0.456	-0.184	0.034	-0.374 *		
離地時点の股関節角度	ステップ頻度	3.58	-0.409	0.022	0.001	-0.308 *	
回復比	2.63	-0.346	-0.145	0.021	-0.324 *		
(定数)	27.32						
Running speed	1.52	0.161	-0.098	0.010	0.129		
Leg length	20.81	-0.329	-0.119	0.014	-0.269 *		
Step frequency	3.41	-0.448	-0.242	0.058	-0.322 *		
Right swing/support ratio	2.51	-0.064	0.065	0.004	-0.060		
(constant)	26.00						
走速度	1.43	0.224	0.041	0.002	0.177		
下肢長	19.65	-0.017	0.188	0.035	-0.014		
離地時点の足関節角度	ステップ頻度	3.22	-0.403	-0.294	0.087	-0.292 *	
回復比	2.37	-0.063	0.053	0.003	-0.060		
(定数)	24.55						
走速度	1.07	-0.168	0.150	0.023	-0.143		
下肢長	14.64	0.099	-0.176	0.031	0.090		
膝関節屈曲角変位	ステップ頻度	2.40	0.574	0.421	0.177	0.424 *	
回復比	1.76	0.283	0.148	0.022	0.277 *		
(定数)	18.29						

† SEB : 回帰係数の標準誤差, β : 標準偏回帰係数, r : 相関係数, r² : 決定係数, r_{xy-z} : 偏相関係数, * : p < 0.05

付録2 研究課題3の各キネマティクス（走動作）変数を推定する回帰式の
 独立変数（走速度，下肢長，ステップ頻度，回復比）に関する結果2

従属変数	独立変数	SEB	β	r	r ²	r _{xy-z}
股関節伸展角変位	走速度	1.22	0.691	0.181	0.033	0.592 *
	下肢長	16.75	-0.544	-0.133	0.018	-0.521 *
	ステップ頻度	2.75	-0.601	0.010	0.000	-0.517 *
	回復比	2.02	-0.717	-0.431	0.186	-0.669 *
	(定数)	20.93				
膝関節伸展角変位	走速度	1.45	0.276	-0.223	0.050	0.264 *
	下肢長	19.87	-0.499	-0.151	0.023	-0.463 *
	ステップ頻度	3.26	-0.656	-0.250	0.062	-0.524 *
	回復比	2.40	-0.606	-0.409	0.167	-0.578 *
	(定数)	24.83				
股関節伸展角速度の最大値	走速度	20.34	0.630	0.258	0.067	0.499 *
	下肢長	279.30	-0.524	-0.214	0.046	-0.451 *
	ステップ頻度	45.77	-0.417	0.121	0.015	-0.339 *
	回復比	33.67	-0.457	-0.216	0.046	-0.441 *
	(定数)	349.01				
膝関節伸展角速度の最大値	走速度	30.92	0.321	-0.167	0.028	0.296 *
	下肢長	424.65	-0.530	-0.187	0.035	-0.475 *
	ステップ頻度	69.59	-0.623	-0.189	0.036	-0.494 *
	回復比	51.19	-0.593	-0.388	0.151	-0.559 *
	(定数)	530.63				
足関節底屈角速度の最大値	走速度	28.87	0.252	0.202	0.041	0.199
	下肢長	396.48	-0.243	-0.168	0.028	-0.202
	ステップ頻度	64.98	-0.098	0.076	0.006	-0.074
	回復比	47.79	0.160	0.247	0.061	0.150
	(定数)	495.42				
接地時点の大腿角度	走速度	0.93	0.279	-0.062	0.004	0.264 *
	下肢長	12.72	-0.330	-0.118	0.014	-0.323 *
	ステップ頻度	2.09	-0.295	0.062	0.004	-0.263 *
	回復比	1.53	-0.706	-0.576	0.332	-0.632 *
	(定数)	15.90				
接地時点の下腿角度	走速度	1.02	0.237	0.009	0.000	0.187
	下肢長	13.99	-0.069	0.161	0.026	-0.059
	ステップ頻度	2.29	-0.450	-0.304	0.092	-0.324 *
	回復比	1.69	-0.135	-0.006	0.000	-0.128
	(定数)	17.48				
離地時点の大腿角度	走速度	1.00	-0.517	-0.053	0.003	-0.424 *
	下肢長	13.72	0.571	0.204	0.041	0.479 *
	ステップ頻度	2.25	0.612	0.100	0.010	0.464 *
	回復比	1.65	0.472	0.223	0.050	0.450 *
	(定数)	17.14				
離地時点の下腿角度	走速度	0.84	-0.366	-0.227	0.051	-0.306 *
	下肢長	11.57	0.155	0.053	0.003	0.142
	ステップ頻度	1.90	0.010	-0.276	0.076	0.008
	回復比	1.39	0.472	0.379	0.143	0.439 *
	(定数)	14.45				
離地時点の足部角度	走速度	1.44	-0.444	-0.181	0.033	-0.345 *
	下肢長	19.75	0.113	-0.148	0.022	0.098
	ステップ頻度	3.24	0.395	0.112	0.013	0.295 *
	回復比	2.38	0.355	0.185	0.034	0.327 *
	(定数)	24.68				
大腿角変位	走速度	1.07	0.557	-0.006	0.000	0.560 *
	下肢長	14.64	-0.630	-0.225	0.051	-0.628 *
	ステップ頻度	2.40	-0.635	-0.026	0.001	-0.588 *
	回復比	1.76	-0.825	-0.559	0.313	-0.763 *
	(定数)	18.29				
下腿角変位	走速度	1.04	0.510	0.192	0.037	0.407 *
	下肢長	14.34	-0.188	0.102	0.010	-0.170
	ステップ頻度	2.35	-0.413	-0.049	0.002	-0.322 *
	回復比	1.73	-0.505	-0.313	0.098	-0.461 *
	(定数)	17.92				
足部角変位	走速度	1.31	0.457	0.139	0.019	0.364 *
	下肢長	18.03	-0.246	0.023	0.001	-0.217
	ステップ頻度	2.95	-0.387	-0.023	0.001	-0.299 *
	回復比	2.17	-0.502	-0.322	0.103	-0.452 *
	(定数)	22.53				
脚全体後方スイング角速度の最大値	走速度	6.97	-0.653	-0.576	0.332	-0.715 *
	下肢長	95.72	0.628	0.540	0.292	0.720 *
	ステップ頻度	15.69	-0.083	-0.594	0.353	-0.122
	回復比	11.54	-0.024	-0.197	0.039	-0.044
	(定数)	119.61				

† SEB : 回帰係数の標準誤差, β : 標準偏回帰係数, r : 相関係数, r² : 決定係数, r_{xy-z} : 偏相関係数, * : p < 0.05

謝辞

筑波大学体育系教授・西嶋尚彦・博士に，心から御礼申し上げます．博士論文を遂行するにあたり，データの収集や解析方法，論文投稿の手順などの研究方法全般について，在学中から15年間もの間にわたり，終始懇切丁寧なご指導を頂きました．

筑波大学体育系教授・鍋倉賢治・博士，同教授・内山治樹・博士，同准教授・谷川聡・博士，同助教・木越清信・博士に，深く感謝致します．本論文の作成にあたり，論文全体に対する貴重なご指摘・ご指導を頂きました．

福井工業大学講師の山元康平・博士に，厚く御礼申し上げます．100m走の撮影に際し，長年に渡り多大なるご協力を頂きました．

鹿屋体育大学助教・永原隆・博士，福井工業大学准教授・内藤景・博士，山梨学院大学講師・荻山靖・博士，茨城キリスト教大学准教授・天野秀哉・修士，これら多くの方々から受けたご協力に対して改めて感謝致します．惜しみないご協力により，円滑なデータ収集を行うことができました．

最後に，大学院への進学を勧め，長きにわたり学業や生活を支援し続けてくれた両親に心より感謝します．

2020年2月 宮代賢治

博士論文に関連する研究業績一覧

1. 学術論文（査読あり）

研究課題 1

1) 宮代賢治, 山元康平, 内藤景, 谷川聡, 西嶋尚彦 (2013) 110mH レースにおけるモデルタッチダウンタイムの再検討: 13.71s–14.59s の競技者を対象として. 筑波大学体育系紀要, 36: 59–67.

2) 宮代賢治, 山元康平, 内藤景, 谷川聡, 西嶋尚彦 (2015) 男子 100m 走における記録・身長・風速別の標準通過時間および標準区間時間. スポーツパフォーマンス研究, 7: 356–369.

<http://sports-performance.jp/paper/1537/1537.pdf>

(参照日 2019 年 11 月 9 日)

研究課題 2

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

研究課題 3

4) Miyashiro, K., Nagahara, R., Yamamoto, K., and Nishijima, T. (2019) Kinematics of maximal speed sprinting with different running speed, leg length, and step characteristics. *Frontiers in Sports and Active Living*, 1: 37.

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fspor.2019.00037/full>

(参照日 2019 年 11 月 9 日)

2. 論文（査読なし）

1) 谷川聡, 宮代賢治, 阿江通良, 白木仁, 西嶋尚彦, 尾縣貢 (2011) 100m パフォーマンスの科学データ利用モデルと発達過程に関する研究. 財団法人上月スポーツ・教育財団.

https://www.kozuki-foundation.or.jp/ronbun/spresearch/spres06_tanigawa.pdf

(参照日 2019 年 11 月 9 日)

3. 著書

- 1) 宮代賢治 (2012) 100m レースのピッチ, ストライド, 接地時間, 空中時間および滞空比. 宮下憲 (編), スプリント&ハードル. 陸上競技社, pp.47-49.

4. 学会発表

- 1) 宮代賢治, 谷川聡, 西嶋尚彦 (2011) 100m 走レースにおける競技記録の変化にともなうパフォーマンス変数の変化. 日本体育学会第 62 回大会, 2011. 9. 27. 日本体育学会第 62 回大会予稿集, p. 222.
- 2) 宮代賢治, 山元康平, 谷川聡, 尾縣貢 (2015) 女子スプリンターにおける走力・身長別標準ステップ数. 日本陸上競技学会第 14 回大会, 2015. 11. 28. 日本陸上競技学会第 14 回大会プログラム, p. 20.