

## 2011年度 財団法人ミズノスポーツ振興財団研究助成 報告書

## 研究課題

オーダーメイド型疾走動作改善トレーニングに必要な個々人の

疾走技術評価法の開発と実践

研究代表 遠藤 俊典（青山学院大学社会情報学部）  
高島 瑠依（青山学院大学教育人間科学部）  
本道 慎吾（青山学院大学教育人間科学部）

## 1. 緒言

競技者は、疾走能力を向上させるために疾走のトレーニングに加えて、体力的（筋力・ジャンプ）トレーニングと技術的トレーニングとを複合的に行っている。体力的トレーニングの背景にある根拠は、これまで数多く報告されてきた疾走能力と筋力または筋量との関係（狩野ほか, 1997；渡邊ほか, 2003）ジャンプ能力との関係（Young et al., 1995；岩竹ほか, 2002, 2008）、あるいは疾走中の下肢関節の力（トルク・パワー）発揮の知見（阿江ほか, 1986；馬場ほか, 2000）などにある。実際に、トレーニング現場においても筋力トレーニングは頻繁に利用され、一定の効果をあげているのは事実であり、トレーニング介入を試みた実践的研究によってもその効果が確かめられている（Delecluse et al., 1995）。一方、技術トレーニングの背景にある根拠は、疾走スピードと疾走動作との関係が示された知見（宮下ほか, 1986；伊藤ほか, 1998）や、それに付随した一流選手の疾走動作モデルの構築（阿江, 2010）によるところが大きい。しかし、実際のトレーニングの現場では、選手やコーチの感覚や経験則によるトレーニングが先行し、技術トレーニングに対する科学的知見は十分に活用されていないのが現状である。このことは、現状では疾走の運動構造やその特性が十分に理解されていないままに技術トレーニングが行われ、仮に疾走能力が向上したとしても、その背景にある論理のうち個々の感覚や経験のみが蓄積され、客観的な情報や体系化された技術論やトレーニング論が蓄積されること、あるいは創出されることはなくなっていることを示唆するものと考えられる。

技術トレーニングに対する科学的知見が十分に活用されていない理由の1つに、「個々人の動作・技術の特徴」について十分に評価されてこなかったことが挙げられる。スポーツ技術とは、(1) 個々のスポーツ種目で行われる運動の理想的なモデル、(2) 身につけようとしている「理想的な運動」を実現するための仕方、すなわち、選手がもっとも良い運動行為を遂行するために用いる解決策、と定義されている（Grosser and Neumaier, 1995）。これまでに得られた知見は、世界一流競技者のデータから(1)を作成しており、走者個人の形態的特性、筋量や筋力の大きさなどの個人差を強く反映しているために、上述の技術トレーニングの(2)に発展していくためにはその乖離が大きい。実際に、これまでに先述したバイオメカニクスの知見をトレーニングに応用しても動作や疾走スピードが改善されなかった事例も存在している。以上のことから、個人の疾走スピードを向上させるための疾走技術のトレーニングを行うためには、これまでに横断的に明らかにされた「理想の動作モデル」と同一個人内の変化特性、つまり、個々人の縦断的なデータからのみ明らかにされる「個人の動作モデル」との関連性と明確にするとともに、「個人の動作モデル」のトレーニングによる変化特性に関するデータを蓄積することによって、個人の特

性を類型化していく必要がある。これらの課題を検討することによって、「オーダーメイド型疾走技術トレーニング」がはじめて可能となり、トレーニングにおける個別性の原則を重視したより効果的なトレーニングマネジメントを実現することができると考えられる。さらに、「個人の動作モデル」のトレーニングによる変化特性に関する縦断的データ蓄積することによって、どのような特徴を持つ選手は、どのような技術の変化を辿りながらパフォーマンスを向上させていくかということについての知見を得ることができることから、最終的には様々なタイプの選手個人に有用となる技術トレーニングの方法論・計画論を提示することができると考えられる。

以上の課題について検討を進めていくために、本研究では、青山学院大学陸上競技部のトレーニングに実験的に介入し、データの収集および分析を半年間にわたって継続的に行うことによって「個々人に対するオーダーメイド型疾走動作評価法」について検討することを目的とする。

## 2. 方法

### 2.1 対象者

分析対象者は、青山学院大学陸上競技部（短距離）に所属する女子大学生競技者2名とした。表1には、対象者の身体的特性および競技レベルを示した。2名の競技者はそれぞれ2011年度における学生レベルの主要競技会の優勝者であり、日本の女子学生レベルではトップ選手であるといえる。

表1 対象者の身体的特性

	対象者A	対象者B
年齢	21歳	20歳
身長	166 cm	161 cm
体重	47 kg	48 kg
専門種目	200m / 100m	400m / 200m
自己ベスト記録	24.03 (200m)	54.32 (400m)
	11.96 (100m)	24.60 (200m)
競技成績	2011年度 関東インカレ200m優勝	2011年度 日本インカレ400m優勝

### 2.2 データ収集およびデータ分析

2011年度の年間トレーニング計画のうち、試合期に該当する4月から10月においてトレーニング時に行われたスタンディングスタートからの60mの全力疾走を分析試技とした。2名の対象者ともに、4月から10月の間で実験的に介入して測定することが可能であった試技は8試技であった。

各試技を、対象者の側方から高速度ビデオカメラ（EX-F1, CASIO社製）を用いて、毎秒300フレーム、露出時間1/1000あるいは1/2000秒で撮影した。撮影されたビデオ画像をコンピューター（dynabook SS RX2, TOSHIBA社製）に取り込み、ビデオ動作解析システム（FrameDIAS Ver.3 for Windows, ディケイエイチ社製）を用いて、毎秒150フレームで全身23点（両下肢の足先・拇指球・かかと・外果・腓骨頭・大転子、両上肢の肩峰突起・肘・手首・中手骨および胸骨上縁・

耳珠点・頭頂部)と較正マーク(対象者の近傍4点)の2次元座標を読み取った。分析は、右足接地瞬間の3コマ前から、再び右足が接地する瞬間の3コマ後までの1サイクル(2歩)に渡って行った。画像から読み取った身体各部の座標は較正マークをもとに実長換算した後、最適遮断周波数をWells and Winter(1980)の方法にもとづいて決定し(6.0-10.5Hz)、Butterworth Low-Pass Digital Filterを用いて平滑化した。

### 2.3 算出項目

分析を行った1サイクル(2歩)における身体重心の水平移動距離を2等分したものをストライド長、1サイクルに要した時間を2等分したものの逆数をピッチとし、両者の積を疾走速度として算出した(羽田ほか,2003)。なお、身体重心の算出には阿江(1996)の身体部分慣性係数を用いた。支持時間および滞空時間については、右足についてより詳細に検討するために、右足の支持時間を読み取るとともに、右足離地から次の左足接地までに要した時間から滞空時間を算出した。

疾走時の下肢のセグメントおよび関節の角度を算出し、角度変位を時間微分することによって角速度を算出した。それぞれの角度の定義は図1に示した。

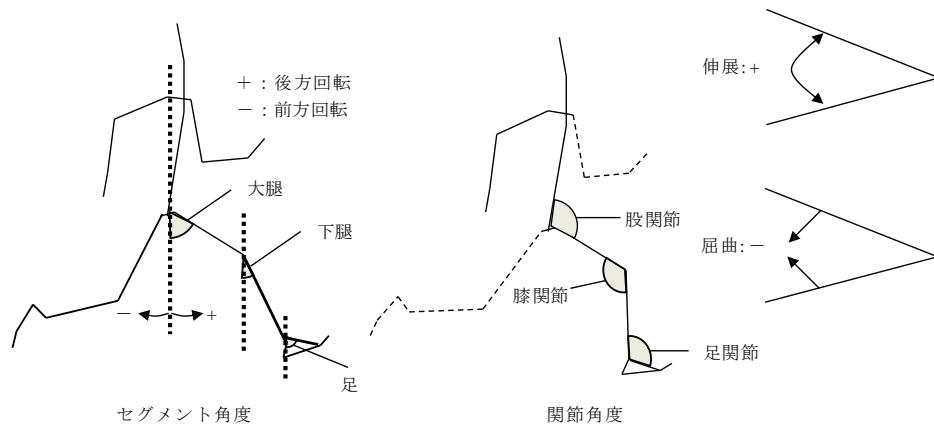


図1 下肢セグメント角度および下肢関節角度の定義

この時、セグメント角度の正の値は後傾、負の値は前傾を、関節角度の正の値は伸展、負の値は屈曲を示すこととした。なお、セグメント角速度は反時計回りを正とした。本研究では、これらの角度の定義に基づいて、伊藤ほか(1998)および加藤ほか(2001)が報告した以下の角度および角速度変数を算出した。

- ・スイング脚の変数(以下の値についてはすべて絶対値で示した)

腿上げ角度:回復期後半における大腿と鉛直線がなす角度の最大値

引き付け角度:回復期前半における膝関節の最小角度

振り出し角度:回復期後半における脚全体(大転子と外踝を結んだ線分)と鉛直線がなす角度の最大値

最大腿上げ角速度:大腿と鉛直線がなす角度の最大角速度

最大引き付け角速度:膝関節の最大屈曲角速度

最大振り出し角速度:膝関節の最大伸展角速度

最大振り戻し角速度:接地直前の脚全体の後方回転速度(以下、脚の後方スイング速度)の最大値

- ・支持脚（キック脚）の変数

接地および離地瞬間の股関節，膝関節，足関節角度

支持期における膝関節および足関節角度の最小値

支持期における股関節，膝関節，足関節（底屈）の最大伸展角速度および脚全体の最大後方スイング速度

## 2.4 動作の局面分け，データの規格化および平均動作の作成

疾走の1サイクルを支持期（右足接地時から離地時），回復期前半（右足離地時から左足接地時）および回復期後半（左足接地時から右足接地時）の3局面に分けた（図2，遠藤ほか，2008）．本研究では，各対象者が支持期に要した時間を100%として支持期のデータを時間規格化した．さらに，対象者ごとの平均動作をAe et al.（2007）の方法を用いて作成した（図3および図4）．具体的には，身体各部位の絶対座標を身体重心を基準とした相対座標に変換して，対象者の身長および各局面の時間によって規格化し，平均することによって作成した．この処理によって，対象者の平均的な動作パターンおよびそのばらつきの程度を視覚的に把握することが可能となる．

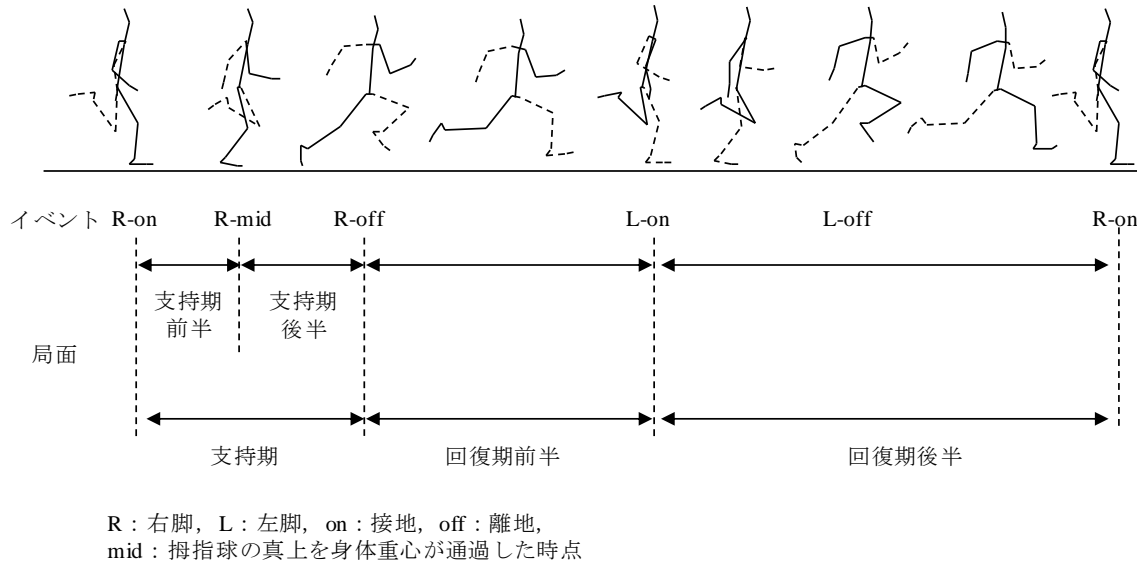


図2 1サイクルにおける各局面の定義

## 2.5 統計処理

値はすべて平均値±標準偏差で示した．また，疾走速度，ストライド長，ピッチ，支持時間，滞空時間，および各時点における角度および角速度の値については変動係数を算出した．測定項目間の相関係数は，Pearsonの方法を用いて算出した．いずれも有意性は危険率5%未満で判定し，10%未満であった項目については有意な傾向があるものとして扱った．

## 3. 結果

表2には，疾走速度およびそれらを規定する一般的要因を示した．対象者Aと対象者Bの疾走速度の最大値は同程度であった（8.93m/s vs. 8.91m/s）が，対象者Aのばらつきは対象者Bと比較して大きい傾向にあった．対象者Aは対象者Bと比較して，ストライド長が大きい傾向にある一方で，ピッチは小さい傾向にあった．また，いずれの対象者においても，支持時間のばらつきが他のパラメータと比較して大きかった．

表2 疾走速度およびそれを規定する一般的要因

	対象者A				対象者B			
	平均値	最大値	最小値	変動係数(%)	平均値	最大値	最小値	変動係数(%)
疾走速度 (m/秒)	8.56 ± 0.29	8.93	8.11	3.40	8.76 ± 0.14	8.91	8.53	1.60
ストライド長 (m)	2.04 ± 0.04	2.12	2.00	1.81	2.00 ± 0.04	2.05	1.92	2.18
ピッチ (Hz)	4.20 ± 0.14	4.36	4.01	3.22	4.38 ± 0.08	4.48	4.29	1.76
支持時間 (秒)	0.111 ± 0.008	0.120	0.100	7.14	0.115 ± 0.005	0.120	0.107	8.42
滞空時間 (秒)	0.183 ± 0.005	0.190	0.177	2.57	0.171 ± 0.003	0.177	0.167	4.10

表3 疾走中におけるスイング脚の動作変数

	対象者A				対象者B			
	平均値	最大値	最小値	変動係数(%)	平均値	最大値	最小値	変動係数(%)
角度の変数 (度)								
腿上げ角度	77.6 ± 3.7	81.8	70.3	4.80	70.2 ± 3.5	75.4	66.0	4.96
引き付け角度	30.4 ± 2.4	34.5	27.3	7.90	26.2 ± 1.4	28.6	24.0	5.32
振り出し角度	33.5 ± 1.6	35.2	29.8	4.72	35.3 ± 2.2	38.9	33.1	6.27
接地時の両大腿の角度差	36.0 ± 9.3	47.0	16.3	25.69	36.6 ± 7.2	46.3	23.6	19.78
角速度の変数 (度/秒)								
最大腿上げ角速度	1435.9 ± 43.1	1495.7	1388.0	3.00	1569.2 ± 93.6	1714.9	1464.5	5.96
最大引き付け角速度	1166.7 ± 61.0	1296.7	1110.2	5.23	1189.2 ± 47.6	1273.6	1110.8	4.00
最大振り出し角速度	1046.1 ± 98.0	1205.3	862.5	9.37	1407.6 ± 53.5	1472.6	1316.6	3.80
最大振り戻し角速度	488.3 ± 45.1	550.4	440.0	9.23	480.7 ± 37.9	514.8	408.9	7.89

表3は、スイング脚の動作変数について示したものである。2名の対象者ともに、接地時の両大腿の角度差のばらつきが顕著に大きかった。また、対象者Aでは、引き付け角度、最大振り出し角速度、および最大振り戻し角速度のばらつきが大きく、対象者Bでは、振り出し角度、最大腿上げ角速度、最大振り戻し角速度のばらつきが大きい傾向にあった。

表4および表5には、支持期の各時点における関節角度および角速度の変数を示した。2名の対象者ともに、接地瞬間および離地瞬間時点の角度のばらつきはそれほど大きくない一方で、支持期中の各関節の動作範囲のばらつきは大きかった。また、対象者Aでは、股関節および膝関節の最大伸展角速度のばらつきが大きく、対象者Bでは、股関節と膝関節の最大伸展角速に加えて、足関節の最大底屈角速度のばらつきも大きい傾向にあった。

対象者Aの平均動作（以下、Ave.）、疾走速度が最も高値を示した試技（以下、MAX）および最も低値を示した試技（以下、MIN）のスティックピクチャーを図3に、対象者Bのそれを図4に示した。また、支持期における下肢関節角度、関節角速度、およびセグメント角速度の時系列変化をそれぞれ図5、6および7に示した。

表4 疾走中における支持期の下肢関節角度変位

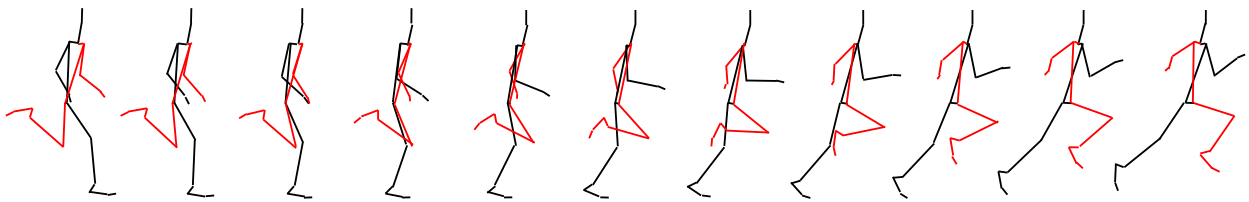
	対象者A				対象者B			
	平均値	最大値	最小値	変動係数(%)	平均値	最大値	最小値	変動係数(%)
股関節(度)								
接地瞬時	134.8 ± 4.4	144.3	130.4	3.3	133.4 ± 7.8	148.1	125.4	1.9
離地瞬時	204.9 ± 2.0	207.4	202.0	1.0	202.7 ± 1.7	205.6	199.9	0.8
伸展量	70.2 ± 5.4	76.7	60.5	7.7	69.2 ± 8.6	80.2	54.1	12.5
膝関節(度)								
接地瞬時	144.5 ± 4.3	153.9	140.2	3.0	150.9 ± 2.7	154.7	147.7	1.8
最大屈曲時	140.8 ± 4.2	149.2	135.1	3.0	142.3 ± 4.2	147.4	134.9	2.9
離地瞬時	165.0 ± 2.1	169.4	162.9	1.3	162.8 ± 1.5	165.7	161.0	0.9
屈曲量	3.7 ± 1.9	5.1	1.4	52.5	8.6 ± 3.1	12.9	3.7	36.9
伸展量	24.2 ± 3.0	28.1	20.2	12.5	20.4 ± 5.1	29.4	14.4	24.8
足関節(度)								
接地瞬時	129.1 ± 6.4	144.2	123.2	5.0	135.9 ± 2.6	140.6	132.6	1.9
最大背屈時	112.4 ± 5.9	122.0	104.3	5.2	116.3 ± 6.9	128.2	107.7	5.9
離地瞬時	157.7 ± 4.0	164.6	153.1	2.5	161.2 ± 1.8	163.0	158.4	1.1
背屈量	16.7 ± 4.6	24.4	11.4	27.7	19.6 ± 5.5	24.9	12.4	28.1
底屈量	45.3 ± 5.7	51.0	36.3	12.5	44.9 ± 7.6	55.2	30.5	17.0

表5 疾走中における支持脚の角速度

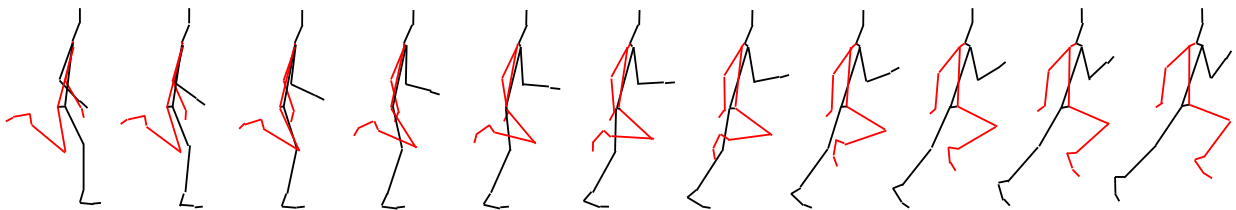
角速度(度/秒)	対象者A				対象者B			
	平均値	最大値	最小値	変動係数(%)	平均値	最大値	最小値	変動係数(%)
股関節の最大伸展角速度	879.2 ± 30.1	931.4	847.2	11.6	833.0 ± 102.0	937.8	674.5	19.1
膝関節の最大伸展角速度	561.1 ± 59.6	641.5	481.0	10.6	546.8 ± 99.2	730.1	441.3	18.1
足関節の最大底屈角速度	1069.5 ± 123.9	1254.9	889.4	3.4	958.3 ± 182.7	1260.6	651.7	12.2
脚全体の最大後方スイング速度	602.8 ± 21.5	620.8	556.0	3.6	635.0 ± 28.2	681.7	597.2	4.4

対象者 A において、MAX と MIN の差は 0.82m/s であった。下肢関節角度をみると、MAX は MIN と比較して接地瞬時の角度が下肢 3 関節ともに伸展位であり、MAX は +1SD の範囲を上回っていた。下肢の関節角速度についてみると、股関節において、MAX は MIN と比較して支持期前半の伸展速度が小さかった。膝関節においては、屈曲・伸展速度ともに MAX は MIN と比較して低値で推移していた。足関節においては、MAX は MIN と比較して支持期前半の背屈速度が大きかった。また、下肢のセグメント角速度については、下腿部回転速度において MAX は MIN と比較すると大きな回転速度であったこと以外は大きな差はみられなかった。

対象者Aの平均動作 (n=8)



対象者A：疾走速度が最も高値を示した試技 (8.93 m/s)



対象者A：疾走速度が最も低値を示した試技 (8.11 m/s)

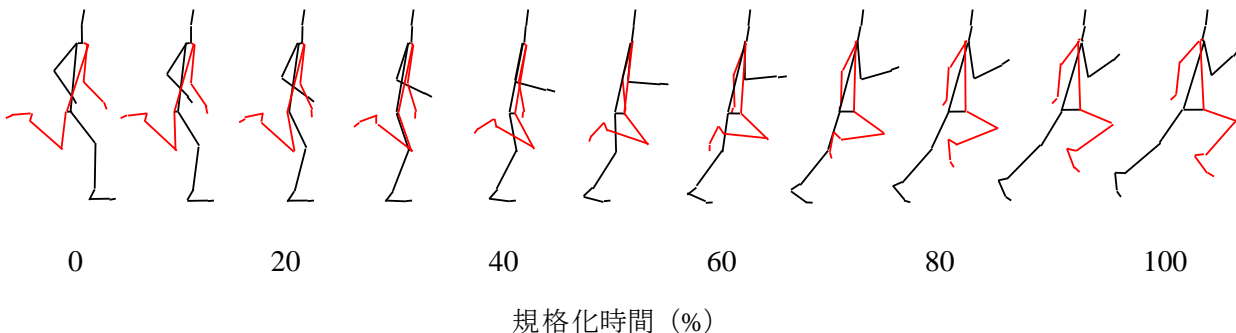
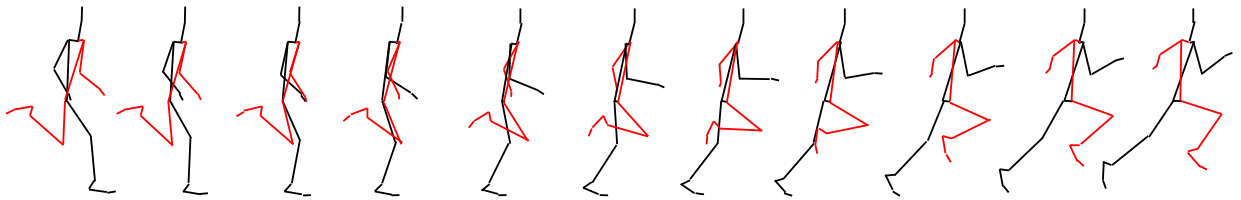


図3 対象者Aにおける支持期のスティックピクチャー

対象者 B において、MAX と MIN の差は 0.38m/s であった。下肢関節角度をみると、接地瞬時および離地瞬時ににおける角度に大きな差はみられなかったが、膝関節および足関節の動作範囲は、MAX は MIN と比較して大きかった。下肢の関節角速度についてみると、股関節において MAX は MIN と比較して支持期後半の伸展速度が大きかった。膝関節および足関節においては、屈曲・伸展速度ともに MAX は MIN と比較して高値で推移していた。また、下肢のセグメント角速度については、支持期前半の下腿部回転速度および支持期後半の大腿部回転速度において MAX は MIN と比較すると大きな回転速度であった。

対象者Bの平均動作 (n=8)



対象者B：疾走速度が最も高値を示した試技 (8.91 m/s)



対象者B：疾走速度が最も低値を示した試技 (8.53m/s)

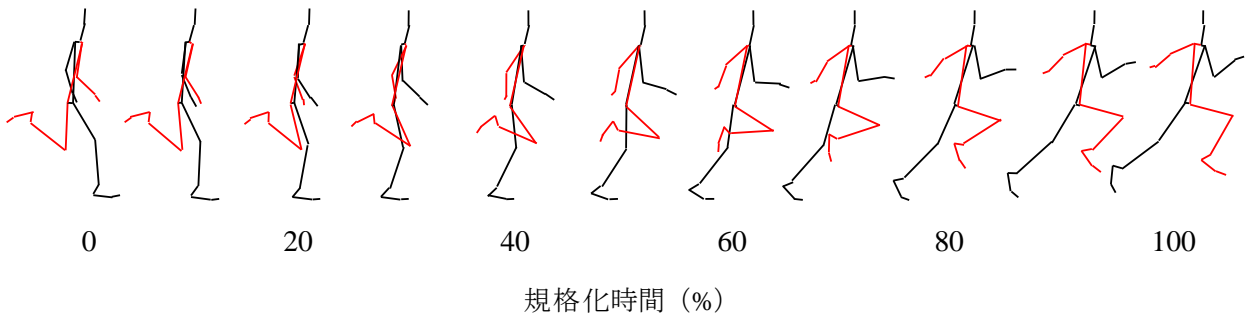


図4 対象者Bにおける支持期のスティックピクチャー



図8には、対象者AおよびBそれぞれにおける個人内の疾走速度、ストライド長およびピッチの関係を示した。対象者Aにおいては、疾走速度とピッチとの間に有意な正の相関関係が認められた。対象者Bにおいては、疾走速度とストライド長との間に正の相関関係 ( $p=0.08$ ) がみられ、ストライド長とピッチとの間に負の相関関係 ( $p=0.08$ ) がみられた。

表6には、対象者AおよびBそれぞれにおける個人内の疾走速度と動作変数との関係を示した。対象者Aにおいて、疾走速度と有意な関係あるいは有意傾向とみなせる関係が認められたのは、接地時の両大腿の角度差、接地瞬時の股関節角度、接地瞬時の足関節角度および支持期中の足関節最小角度であった。また、対象者Bにおいては、最大腿上げ角速度にのみ疾走速度との間に有意傾向とみなせる関係が認められた。表7には、個人内におけるストライド長と動作変数との関係を示した。対象者Aにおいて、ストライド長と有意な関係あるいは有意傾向とみなせる関係が認められたのは、振り出し角度、離地瞬時の股関節角度、脚全体の後方スイング速度であった。対象者Bにおいては、腿上げ角度、支持期中の膝関節最小角度、接地瞬時の足関節角度および支持期中の足関節最小角度、最大振り出し角速度、膝関節の最大伸展角速度、および足関節の最大底屈角速度であった。同様に、表8には、個人内におけるピッチと動作変数との関係を示し

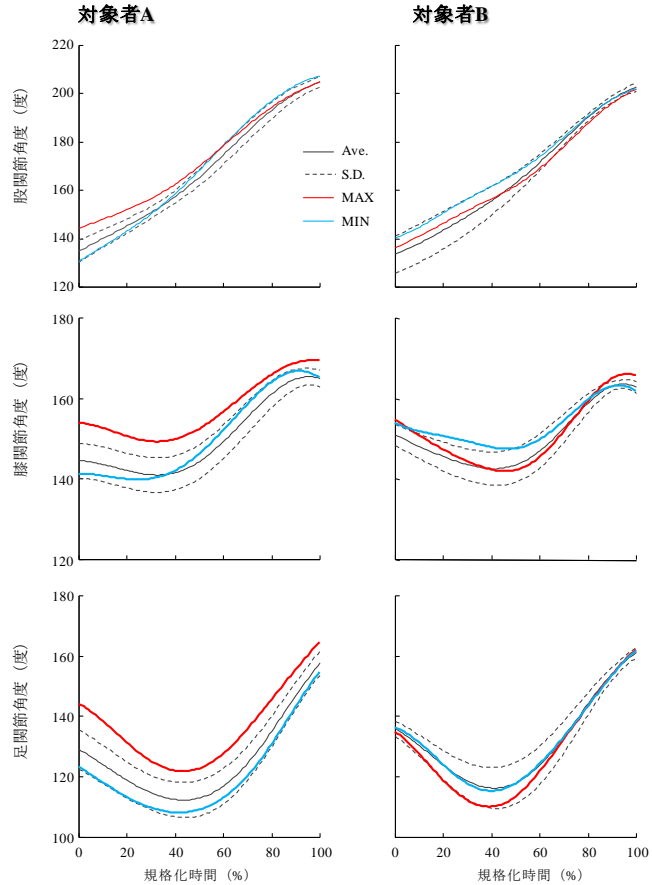


図5 支持期における下肢関節角度の時系列変化  
※Ave.は平均値, S.D.は標準偏差, MAXは疾走速度が最も高値を示した試技, MINは疾走速度が最も低値を示した試技

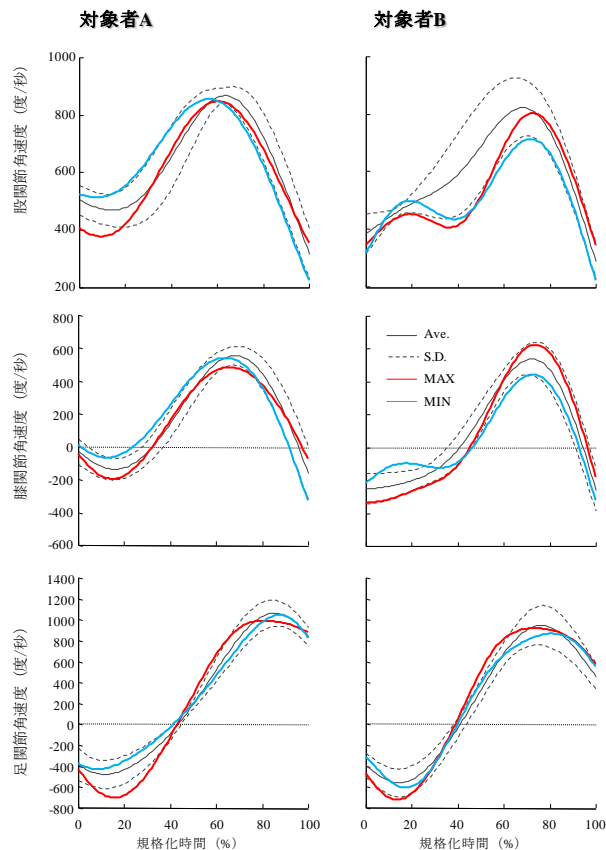


図6 支持期における下肢関節角速度の時系列変化  
※Ave.は平均値, S.D.は標準偏差, MAXは疾走速度が最も高値を示した試技, MINは疾走速度が最も低値を示した試技

た. 対象者 A において, ピッチと有意な関係あるいは有意傾向とみなせる関係が認められたのは, 接地時の両大腿の角度差, 接地瞬時の足関節角度および支持期中の足関節最小角度, および脚全体の後方スイング速度であった. 対象者 B においては, 支持期中の膝関節および足関節最小角度, 膝関節の最大伸展角速度であった.

#### 4. 考察

本研究の対象者は, いずれも本年度に学生チャンピオンに輝き, 専門種目における自己ベスト記録を更新していたことから, 個人内において高いパフォーマンスを発揮できた年であるといえる. また, 試合期を通して分析した試技における平均疾走速度は, 対象者 A では  $8.56 \pm 0.29 \text{ m/s}$ , 対象者 B では  $8.76 \pm 0.14 \text{ m/s}$  であり, 最大値を示した試技は, それぞれ  $8.93 \text{ m/s}$  および  $8.91 \text{ m/s}$  であった.

国内一流女子スプリンター 2 名の実験試技における分析データを示した新井ほか (2004) は試合期における疾走速度は  $8.85 \text{ m/s}$  と  $9.25 \text{ m/s}$  であったことを報告している. これらのことから, 本研究の対象者は, 国内一流女子選手に近いパフォーマンスレベルであると考えられる.

##### 4.1 試合期を通した疾走パフォーマンスの変動性について

本研究における実験試技は, 最大スピードを高めるトレーニング手段としての 60m 走であったことから, 対象者は実験試技においてそれぞれ最大努力で疾走していた. しかし, 分析によって得られた 1 サイクルの平均疾走速度には, 対象者それぞれにばらつきが認められ, 疾走速度を構成する一般的要因の変動係数の大きさも対象者ごとに異なっていた. これらの結果は, 運動パフォーマンスが一回性の原理に支配されていることを示すものであり, 各選手が同一のトレーニング課題に対して同一のトレーニング手段を用いて同一の努力度で運動を行っていたとしても, 結果としてのパフォーマンスは一度として同じではないことを示すものである. このことは, 「動く感じ」や「運動観察」における質的な分析の観点からは十分に説明されていた (金子・朝岡, 1990; 金子, 2005) が, バイオメカニクスの分析から得られた客観的なデータにおいても十分に説明可能であることが明らかにされた. 上述の内容は, 疾走動作の変数をみるとさらに顕著であり, 対象者 A あるいは B において共通する動作と変動の大きい動作が認められた (表 2-5, 図 3-7). 以上のことは, 個人の疾走動作の特徴を評価するためには, 当該シーズンのある 1 回の動作を評価してそれらを一流選手のデータや他の選手のデータと横断的に比較するだけでは不十分であることを示唆するものである. このことは, 本研究のように, 複数回にわたって得られたデータの平均値やばらつきを各個人ごとに評価することではじめて明らかになることから, その評価に

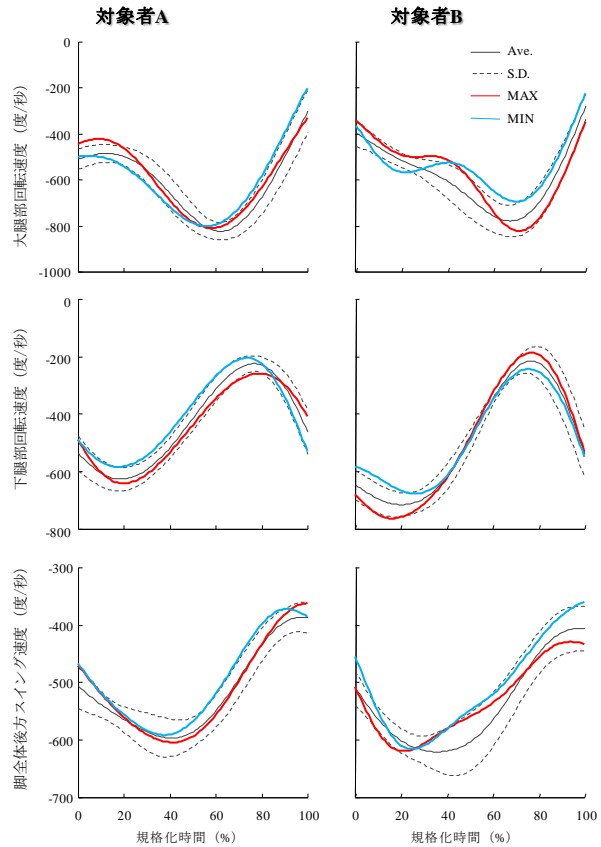


図7 支持期における下肢セグメント角速度の時系列変化

※Ave.は平均値, S.D.は標準偏差, MAXは疾走速度が最も高値を示した試技, MINは疾走速度が最も低値を示した試技

よって得られたデータを「個人の動作モデル」として構築することがオーダーメイド型の疾走技術改善のためのトレーニング立案に必要不可欠であると考えられた。

#### 4.2 個人の動作モデルの構築と個人内における疾走動作の評価

先述のように、本研究の主要な目的の1つは、試合期を通して得られた複数回のデータから、「個人の動作モデル」を作成することであった。そこで、これまで Ae et al. (2007) や阿江 (2010) が提案した一流競技者の動作を平均化・標準化（標準動作モデルを作成）する手法を用いて、対象者 A および B それぞれの平均動作モデルを構築した。図3に対象者 A を、図4に対象者 B を示しているが、本研究では、平均動作モデルと同時に実験試技の中で疾走速度が最も高値および低値を示し

表6 疾走速度と動作変数との関係

	対象者A		対象者B	
	相関係数	p値	相関係数	p値
<b>角度の変数 (度)</b>				
腿上げ角度	-0.317	ns	-0.412	ns
引き付け角度	0.133	ns	0.349	ns
振り出し角度	0.467	ns	-0.288	ns
接地時の両大腿の角度差	-0.648	0.08	0.114	ns
接地瞬時の股関節角度	0.708	*	0.012	ns
離地瞬時の股関節角度	-0.724	*	-0.251	ns
接地瞬時の膝関節角度	0.474	ns	0.164	ns
支持期中の膝関節最小角度	0.440	ns	-0.280	ns
離地瞬時の膝関節角度	0.412	ns	0.331	ns
接地瞬時の足関節角度	0.663	0.07	-0.582	ns
支持期中の足関節最小角度	0.793	*	-0.426	ns
離地瞬時の足関節角度	0.270	ns	0.483	ns
<b>角速度の変数 (度/秒)</b>				
最大腿上げ角速度	-0.277	ns	0.652	0.08
最大引き付け角速度	-0.397	ns	0.518	ns
最大振り出し角速度	0.264	ns	0.505	ns
最大振り戻し角速度	-0.133	ns	-0.376	ns
股関節の最大伸展角速度	-0.055	ns	0.107	ns
膝関節の最大伸展角速度	-0.290	ns	0.312	ns
足関節の最大底屈角速度	-0.219	ns	0.521	ns
脚全体の最大後方スイング速度	0.185	ns	0.203	ns

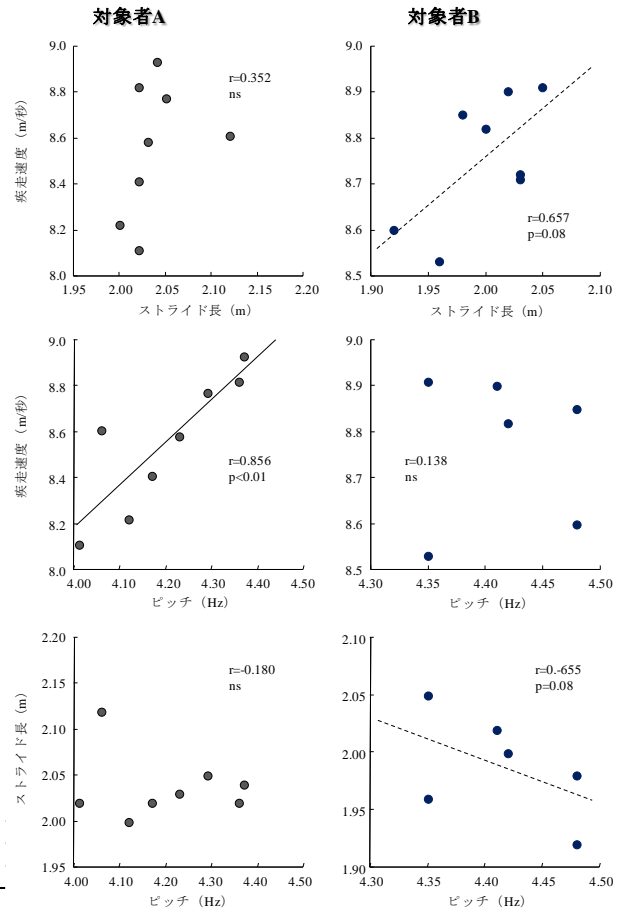


図8 対象者AおよびBそれぞれにおける個人内の疾走速度、ストライド長およびピッチの関係

た試技についても時間規格化して示した。この図によって、対象者の平均的な動作パターンに加えて、いわゆる「良い時の走り」と「悪い時の走り」との動作の違いを視覚的に把握することが可能となる。その具体的な結果について、グラフ化したものが図5-図7である。さらに、本研究では個人内の疾走パフォーマンスと動作との関係を調査し（図8および表6-8）、それらとこれまで多くの先行研究で報告されている横断的なデータから明らかにされた合理的な動作との関連性を検討することによって、オーダーメイドで個人の疾走動作を評価することを試みた。このことによって、対象とした選手が課題とすべき動作や次のレベルに到達するために目指すべき動作について提案できると考えられる。

##### 4.2.1 対象者 A について

対象者 A は、ストライド長が大きいことに特徴のある選手として指導者は認識していた。

表7 ストライド長と動作変数との関係

角度の変数 (度)	対象者A		対象者B	
	相関係数	p値	相関係数	p値
腿上げ角度	-0.059	ns	-0.628	0.10
引き付け角度	-0.286	ns	-0.053	ns
振り出し角度	0.647	0.09	-0.480	ns
接地時の両大腿の角度差	-0.059	ns	0.503	ns
接地瞬時の股関節角度	0.309	ns	-0.149	ns
離地瞬時の股関節角度	-0.678	0.07	0.051	ns
接地瞬時の膝関節角度	0.275	ns	0.043	ns
支持期中の膝関節最小角度	0.237	ns	-0.683	0.06
離地瞬時の膝関節角度	0.289	ns	0.543	ns
接地瞬時の足関節角度	-0.027	ns	-0.708	*
支持期中の足関節最小角度	0.272	ns	-0.803	*
離地瞬時の足関節角度	-0.370	ns	0.291	ns
角速度の変数 (度/秒)				
最大腿上げ角速度	-0.312	ns	0.295	ns
最大引き付け角速度	-0.098	ns	0.552	ns
最大振り出し角速度	0.539	ns	0.655	0.08
最大振り戻し角速度	-0.360	ns	0.100	ns
股関節の最大伸展角速度	0.460	ns	0.285	ns
膝関節の最大伸展角速度	0.052	ns	0.769	*
足関節の最大底屈角速度	-0.183	ns	0.708	*
脚全体の最大後方スイング速度	-0.760	*	0.397	ns

表8 ピッチと動作変数との関係

角度の変数 (度)	対象者A		対象者B	
	相関係数	p値	相関係数	p値
腿上げ角度	-0.512	ns	0.433	ns
引き付け角度	0.297	ns	0.433	ns
振り出し角度	0.116	ns	0.347	ns
接地時の両大腿の角度差	-0.636	0.09	-0.568	ns
接地瞬時の股関節角度	0.558	ns	0.227	ns
離地瞬時の股関節角度	-0.385	ns	-0.340	ns
接地瞬時の膝関節角度	0.333	ns	0.121	ns
支持期中の膝関節最小角度	0.311	ns	0.631	0.10
離地瞬時の膝関節角度	0.260	ns	-0.392	ns
接地瞬時の足関節角度	0.695	0.06	0.343	ns
支持期中の足関節最小角度	0.663	0.07	0.644	0.09
離地瞬時の足関節角度	0.493	ns	0.108	ns
角速度の変数 (度/秒)				
最大腿上げ角速度	-0.090	ns	0.269	ns
最大引き付け角速度	-0.353	ns	-0.198	ns
最大振り出し角速度	0.006	ns	-0.386	ns
最大振り戻し角速度	-0.013	ns	-0.552	ns
股関節の最大伸展角速度	-0.155	ns	-0.285	ns
膝関節の最大伸展角速度	-0.289	ns	-0.709	*
足関節の最大底屈角速度	-0.090	ns	-0.421	ns
脚全体の最大後方スイング速度	0.623	0.10	-0.340	ns

実際に、実験時のストライド長は平均で  $2.04 \pm 0.04$  m (最大値: 2.12m, 最小値: 2.00m) であり、新井ほか (2004) の国内一流女子スプリンターの値 (1.99m および 1.86m) と比較しても大きかった。また、疾走速度とストライド長およびピッチとの関係を見ると、疾走速度が高い時ほどピッチが高いことが認められた。このことから、対象者 A は、試合期を通してストライド長が比較的安定している一方で、ピッチのばらつきが大きく、そのことがパフォーマンスに影響していることが示唆された。この要因について検討するために、まず、図 3 に示した支持期のスティックピクチャーおよび図 5-図 7 をみると、疾走速度が高値を示した試技では、接地瞬間に下肢全体が伸展位で着地していること、接地瞬間の遊脚の大腿部が前方へ引き付けられていること、足関節および膝関節の屈曲が小さいことなどが見受けられた。そこで、各変数間の相関係数を見ると (表 6 および 7)、疾走速度と接地時の両大腿の角度差、接地瞬間および離地瞬時の股関節角度、接地瞬時の足関節角度および支持期中の足関節最小角度との間に、ピッチと接地時の両大腿の角度差、接地瞬時の足関節角度および支持期中の足関節最小角度および脚全体の後方スイング速度との間に有意な関係が認められた。これらの関係と、疾走速度と疾走動作との関係について横断的に評価している伊藤ほか (1998) との関連性についてみると、疾走速度と接地瞬時の足関節角度および支持期中の足関節最小角度の関係のみが一致していた。彼らは、ストライド長やピッチと動作変数との関係を報告していないので、それらの比較はできないが、本研究の対象者 A については、接地瞬時の足関節角度および支持期中の足関節最小角度が大きいことがピッチの大きさ

を介して疾走速度に影響していたことが示唆される。これらは、指導現場で表現される「足首のつぶれ」に相当するものと考えられる。疾走速度が高い時ほど股関節が伸展位で接地していたことを考慮すると、「足首のつぶれ」が小さくなるように脚全体をより伸展位で着地することが、高いピッチを獲得するために必要であることが推察される。また、疾走速度およびピッチとの関係が認められた接地時の両大腿の角度差について、矢田ほか（2011）は世界一流選手の標準動作モデルと男子学生の標準動作モデルとの比較から、世界一流選手が回復脚の引き付けが素早く、そのことが接地時に大きな力を発揮することに関係していると推察している。対象者 A は、ストライド長を確保しながらピッチが高い際に速度が高まっていることから、脚の引き付けが素早いことによって、力を短時間に発揮することが可能となり、相対的に大きなパワーを発揮できていたことが推察される。さらに、脚全体の後方スイング速度について、伊藤ほか（1998）は、疾走速度は脚全体の後方スイング速度と強く関係していることを報告しているが、対象者 A においては、脚全体の後方スイング速度がストライド長およびピッチのそれぞれとは関係していたが、疾走速度の間に関係は認められなかった。この結果には、ピッチとストライド長の組み合わせのばらつきが影響しているものと考えられるが、対象者 A はいずれにしても脚全体の後方スイング速度が高まるような支持脚各部のセグメントの回転が間接的に疾走速度に影響していることが示唆される。このことについては、支持期前半の下腿部の回転を素早くすること（宮下ほか、1986；図子ほか、2007）も関係している（図 7）と考えられた。

以上のことから、対象者 A が疾走速度を高めるための技術的課題としては、脚の挟み込み（シザース動作）をより前方で行うこと、下肢関節を伸展位で接地し、支持期前半の「足首のつぶれ」を小さくすることによってピッチを高める必要のあることが明らかとなった。

#### 4.2.2 対象者 B について

対象者 B は、トレーニング時でも比較的安定してパフォーマンスを発揮できる選手として指導者は認識していた。たしかに、疾走速度のばらつきは対象者 A と比較してかなり小さく、一見すると安定してパフォーマンスを発揮しているかのように見受けられた。しかし、図 8 の結果から、ストライド長とピッチとの間には負の関係が認められ、両者がトレードオフ関係にあることが示された。さらにその中で、ストライド長が大きい時に疾走速度が高い傾向にあることが認められた。対象者 B においては、最大腿上げ角速度にのみ疾走速度との間に関係が認められ、ストライド長と腿上げ角度、支持期中の膝関節最小角度、接地瞬時の足関節角度および支持期中の足関節最小角度、最大振り出し角速度、膝関節の最大伸展角速度、および足関節の最大底屈角速度との間に有意な関係が認められた（表 6 および 7）。伊藤ほか（1998）との関連性についてみると、これらの支持期の動作は横断的にみた場合には、いわゆる合理的ではないとされる動作であると判断されるものであった。一方、ピッチとの間に関係が認められた支持期中の膝関節および足関節最小角度、膝関節の最大伸展角速度（表 8）については、伊藤ほか（1998）の報告する合理的な支持期の動作であった。また、支持期の下腿部回転速度は、疾走速度が高値を示した試技で大きい傾向にあった。接地時の両大腿の角度差について、図 4 のスティックピクチャーをみると、明らかに全体的に脚が後方に流れていることが見受けられ、変動係数も非常に大きかったが、疾走速度の関係は認められず、疾走速度の大小によってその動作に大きな変化はみられなかった。これら変数間の関係がばらついている要因について、対象者 B では、ピッチとストライド長とがトレードオフ関係にあったために、どちらかの要素を大きくしようとした際に、動作のばらつきが偏ってしまうことがその一因であると考えられた。さらに、本研究では、回復脚の動作について

詳細に検討していないが、スティックピクチャーをみると、疾走速度が高値を示した試技においては、支持期の後半における回復脚の膝関節角度が小さく、下腿の振り出しの回転が小さいことがみてとれた。これらの動作は、世界一流選手にみられる動作に類似するもの（阿江，2012）であったことから対象者 B については、回復脚の動作に疾走速度と関係する要因が多くあることが推察される。実際に、本研究の変数の中でも最大腿上げ角速度にのみ疾走速度との間に関係が認められている。これらは今後の課題としたい。加えて、対象者 B のようにピッチとストライド長とがトレードオフ関係にあるような選手においては、ピッチを高めることによって疾走速度を高めている場合とストライド長を高めることによって疾走速度を高めている場合とに分けて動作モデルを構築して、それらと個人の平均モデルや横断的な分析結果とを統合して評価する必要のあることが示唆される。本研究では、試技数が十分でなかったために検討することはできなかったが、今後の新たな検討課題を得ることができた。

以上のことから、対象者 B が疾走速度を高めるための技術的課題としては、脚の挟み込み（シザース動作）をより前方で行うことがあげられ、支持期中の膝関節伸展速度を高める必要があるか否かについては議論の余地があることが明らかにされた。なお、このことについて検討するためには、対象者 B 個人内でピッチ型とストライド型とにわけて検討すること、回復脚の動作について検討することが課題となることが示された。

## 5. まとめ

本研究の結果から、得られた知見をまとめると以下のようなになる。

- 1) 複数回にわたって個人のデータを測定することによって個人内の平均値やばらつきを評価し、「個人の動作モデル」として構築することがオーダーメイド型の疾走技術改善のためのトレーニング立案に必要不可欠である。
- 2) 対象者それぞれにおいて、疾走速度、ストライド長およびピッチと動作の関係は異なり、その関係はこれまでに示されてきた横断的なデータからみた合理的な動作と一致するものもあれば異なるものもある。
- 3) 「個人の動作モデル」を用いることによって、疾走速度と動作との関連性を個人内および個人間で比較することが可能となり、そのことが「オーダーメイド型の疾走技術評価法」の1つの方法として提案できる。

以上のことから、疾走速度に影響を及ぼす技術的要因は個人内および個人間では異なることから、オーダーメイド型の疾走技術評価およびトレーニング立案のためには、対象者の縦断的な評価をとおして、複数回の測定・分析データから得られる「個人の動作モデル」を構築する必要のあることが確認された。今後は、「個人の動作モデル」を評価に用いてトレーニングに介入した結果について検討することによって本動作評価の有用性が確認できるものと考えられる。

## 参考文献

- 阿江通良・宮下 憲・横井孝志・大木昭一郎・渋谷侃二（1986）機械的パワーからみた疾走における下肢筋群の機能および貢献度．筑波大学体育科学系紀要, 9: 229-239
- 阿江通良（1996）日本人幼少年およびアスリートの身体部分係数．Jpn. J. Sports Sci., 15: 155-162
- Ae, M., Muraki, Y., Koyama, H. and Fujii, N. (2007) A Biomechanical Method to Establish a Standard Motion and Identify Critical Motion by Motion Variability: With Examples of High Jump and Sprint Running.

- Bulletin of Institute of Health and Sport Sciences University of Tsukuba, 30: 5-12.
- 阿江通良 (2010) 動きの標準値とバイオメカニクスの評価法. 体育の科学, 60: 151-156.
- 阿江通良 (2012) 一流競技者のスプリントフォーム. 宮下憲 編著. スプリント&ハードル: 東京. pp. 66-68.
- 朝岡正雄・金子明友 (1990) 運動学講義. 大修館書店: 東京.
- 新井宏昌・渡邊信晃・高本恵美・真鍋芳明・前村公彦・岩井浩一・宮下 憲・尾懸 貢 (2004) 国内一流女子スプリンターにおけるトレーニング経過にともなう形態的・体力的要因と疾走動作の変化. 体育学研究, 49: 335-346.
- 馬場崇豪・和田幸洋・伊藤 章 (2000) 短距離走の筋活動様式. 体育学研究, 45: 186-200
- Delecluse, C., Coppinolle, H. V., Willems, E., Leemputte, M. V, Diels, R. and Goris, M. (1995) Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance. Med. Sci. Sports Exerc. 27: 1203-1209.
- Grosser, M. and Neumaier, A (1995) 選手とコーチのためのスポーツ技術のトレーニング. 朝岡正雄・渡辺良夫・佐野 淳 (翻訳). 大修館書店: 東京.
- 岩竹 淳・鈴木朋美・中村夏実・小田宏行・長澤 健・岩壁達男 (2002) 陸上競技選手のリバウンドジャンプにおける発揮パワーとスプリントパフォーマンスとの関係. 体育学研究, 47: 253-261.
- 岩竹 淳・山本正嘉・西菌秀嗣・川原繁樹・北田耕治・凶子浩二 (2008) 思春期後期の生徒における加速および全力疾走能力と各種ジャンプ力および脚筋力との関係. 体育学研究, 53: 1-10.
- 金子明友 (2005) 身体知の形成 (上). 明和出版: 東京
- 狩野 豊・高橋英幸・森丘保典・秋間 広・宮下 憲・久野譜也・勝田 茂 (1997) スプリンターにおける内転筋群の形態的特性とスプリント能力の関係. 体育学研究, 41: 352-359.
- 加藤謙一・宮丸凱史・松本 剛 (2001) 優れた小学生スプリンターにおける疾走動作の特徴. 体育学研究, 45: 530-542.
- 羽田雄一・阿江通良・榎本靖士・法元康二・藤井範久 (2003) 100m走における疾走スピードと下肢関節のキネティクスの変化. バイオメカニクス研究, 7: 193-205
- 伊藤 章・市川博啓・斎藤昌久・佐川和則・伊藤道郎・小林寛道 (1998) 100m 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
- 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 Sci., 5: 892-898
- 渡邊信晃・榎本靖士・大山卞圭悟・宮下 憲・尾懸 貢・勝田 茂 (2003) スプリント走時の疾走動作および関節トルクと等速性最大筋力との関係. 体育学研究, 48: 405-419.
- Wells, R.P. and Winter, D. A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. In: Human Locomotion 1 (Proceedings of the first biannual conference of the Canadian Society of Biomechanics). pp. 92-93
- 矢田恵大・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競技者の疾走動作の特徴. 陸上競技研究, 87: 10-16.
- Young, W., Wilson, G. and Byrne (1995) Relationship between strength qualities and sprinting performance. J Sports Med. Phys. Fitness, 35: 13-19.
- 凶子浩二・永原 隆・石井泰光 (2007) スプリント走パフォーマンス向上に対するプライオメトリックの可能性. スプリント研究, 17: 21-31.