

100m 走の各走局面における腕振り動作の特徴について  
 — 走法別（ストライド型およびピッチ型）の観点から —

The characteristics of arm motion with various running phases during 100-meter sprinting.  
 — from the viewpoint of stride-running and pitch-running styles —

岡 島 喜 信 (福井工業大学)

出 村 慎 一 (金沢大学教育学部)

南 雅 樹 (金沢美術工芸大学)

宮 口 尚 義 (金沢大学教育学部)

Yoshinobu Okajima\*

Shinichi Demura\*\*

Masaki Minami\*\*\*

Hisayoshi Miyaguchi\*\*

### Abstract

The purposes of this study were to analyze various kinematic variables in accordance with running styles (stride and pitch) and running phases (accelerating, maximum-speed and decelerating), and to determine characteristics of arm motion in each running style during 100-meter sprinting. Forty-one male college sprinters (100-meter best record: 11" 43±0.40) were selected as subjects, and they were divided into stride-style (ST, N=22) and pitch-style (PT, N=19) groups in accordance with the ratio of stride-length/body height. Running motion in 100-meter sprinting was filmed with a video camera from the side by 60 fps at eight analysis points set up by 10-meter intervals from the start line. Kinematic variables of arm motion such as amplitude of joint-angle, angular velocity and coefficient of variance (CV) of angle for the shoulder and the elbow-joint angles, were calculated.

The results obtained in this study may be summarized as follows;

- 1) Forward-swing angle of the shoulder-joint during arm motion in both groups showed a significantly greater maximum value in accelerating phases than in the others, and in ST backward-swing angle showed greater value in decelerating phases.
- 2) Significant differences between ST and PT groups were found in CV and minimum value of the elbow-joint angle during arm motion. Especially, CV in PT group was significantly greater than in ST group at all analysis points except for the fourth point.
- 3) As to the characteristics of arm motion, the following was inferred: Amplitude of the shoulder-joint angle and maximum angle during backward swing in ST group increase as running velocity increasing, and ST group tends to swing arms with elbow-joint angle changing during a cycle of running. And the mean value of elbow-joint angle in PT is somewhat greater and PT group tends to swing arms with elbow joint angle fixed during a cycle of running.

\* Fukui University of Technology

\*\* Faculty of Education, Kanazawa University

\*\*\* Kanazawa college of Art

## I. 緒 言

走動作は、上肢と下肢との相反的動作の連続によって構成されており、疾走速度の発現に関して、上肢は下肢とともに重要な働きをすると考えられる。これまで短距離走に関する研究は、運動学的あるいはバイオメカニクスの観点から、映像解析に基づき疾走速度と疾走フォーム、ストライド及びピッチの変化を検討した研究<sup>9-13)15)16)</sup>や運動力学的な観点から関節トルク値他の変量から発揮パワーを検討した研究<sup>1)2)4)13)</sup>等が多い。しかしながら、それらの研究は疾走時の下肢の動きに関するものが多く、上肢の動き、すなわち腕振り動作に関しては現在まで詳細には報告されていない<sup>7)</sup>。

ランニングにおいて腕振り動作が果たす役割について一般的には、走動作のバランスをとる働きや下肢の推進力発現の先導的な働きとして関与することが言われている<sup>10)17)</sup>。疾走時の腕振り動作に関する研究として、小木曾ら<sup>14)</sup>は上肢(肩、肘及び手首)の各セグメントにおいて発揮される機械的エネルギーについて、また、広部ら<sup>3)</sup>は下肢の角運動量に対する上肢の角運動量の貢献度を報告している。しかし、それらは腕振り動作によって疾走時に発揮される機械的パワーやその運動効率を主たる目的としており、また解析対象となった走局面も最大速度局面<sup>2)11)16)</sup>のみが取り上げられている。短距離走に関しては、疾走速度の変化から加速、最大速度および減速と3つの走局面に分類されること<sup>2)12)</sup>や疾走速度の増加または減少にともない下肢の動作様式や疾走動作が変化すること<sup>1)2)12)</sup>、さらに、競技者の経験的な知識から重要視している腕振り動作の留意点が、加速局面と中間局面(本研究では最大速度局面と同義に解釈する)とでは異なることも報告されている<sup>5)6)</sup>。以上のように疾走時の腕振り動作に関しても下肢と同様に映像解析等から走局面によって動作様式の異なることが示唆されている<sup>7)</sup>が、短距離選手の疾走フォームは一様ではなく、一般には「ストライド走法」と「ピッチ走法」のいずれかに分けて、指導が行われている。これまで、腕振り動作に関しては「大きく(前後に)振る」あるいは「速く振る」等といった抽象的な表現の指導内容が中心となっている。また、

疾走フォームが走局面によって異なることや競技者や指導者の経験的な知識として走局面ごとに腕振り動作の留意点に差があることが報告されているにも係わらず、走局面別あるいは走法別の観点から腕振り動作の具体的な特徴や変化について、十分検討されているとは必ずしも言えない。腕振り動作に関する運動学的変量を取り上げ、上述した観点からそれらの比較検討を行い、腕振り動作の特徴を明らかにする必要がある。この問題の解決により、選手および指導者は走局面別、走法別にみた腕振り動作の特徴を客観的、具体的に把握し、また、指導者は各走法ごとの指導ポイントやトレーニング目標の設定に役立てることができると考えられる。

本研究の目的は、大学男子短距離選手を対象として、100m疾走時の腕振り動作に関する変量について、各走局面および走法別の観点から検討し、短距離走における腕振り動作の特徴を走法別に明らかにすることである。これにより、短距離走指導の現場における「ストライド走法」と「ピッチ走法」それぞれの合理的な指導の基礎的資料を提示できるものとする。

## II. 方 法

### 1. 被検者

本研究の被検者は、短距離走を専門種目とする男子学生41名であった。被検者の身体特性、競技経験年数および100m走の最高記録は表1に示した。被検者全てが競技会出場の経験を持ち、全国大会出場経験者10名を含む、競技レベルの比較的高い集団であった。なお、本研究では宮下ら<sup>11)</sup>の方法に基づき、VTR画像解析の結果より、最大疾走速度を記録した区間(注:2.測定方法参照)におけるストライド長を身長で除した値が1.3以上の者をストライド群(以下ST群)、1.3未満の者をピッチ群(以下PT群)と分類した。

### 2. 測定方法

スタート地点から10m間隔毎に80m地点まで8つの解析区間(以下、「区間」)を設定した後、被検者には公認陸上競技場の全天候型100m直走路に

表 1 年齢, 体格, 競技年数および100m 最高記録の基礎統計値

No.	変 量 名	(単位)	全 体 [N=41]	ストライド群(ST) [N=22]	ピッチ群(PT) [N=19]
1.	年齢	〈歳〉	19.8 (1.22)	19.6 (1.19)	19.9 (1.23)
2.	身長	〈cm〉	173.6 (5.07)	172.4 (5.48)	175.0 (4.13)
3.	体重	〈kg〉	64.1 (5.56)	63.7 (6.53)	64.7 (4.12)
4.	胸囲	〈cm〉	87.9 (4.05)	88.3 (4.15)	87.5 (3.90)
5.	競技経験年数	〈年〉	7.4 (1.89)	6.9 (1.83)	7.9 (1.79)
6.	100m最高記録	〈秒〉	11.43(0.40)	11.52(0.40)	11.34(0.38)

[注1] 値は平均値, ( )内は標準偏差, N:人数

[注2] 被検者は身長当たりのストライドの値(ストライト比)より, ST群とPT群の2群に分類した。

[注3] いずれの変量においても2群間に有意な差は認められなかった。

て全力疾走を行わせ, 右側方から毎秒60コマ, 露出時間1/1000秒で疾走動作を撮影した。撮影範囲は各区間ともに腕振り動作の1サイクル以上が撮影可能な8mとし, 被検者には画像解析処理のために肩峰点, 大転子, 橈骨小頭及び茎状突起の4点にマーキングを施した。また, 近赤外線仕様のランニングタイマー(竹井機器:T.K.K.1247)をスタート地点から各解析区間に設置し, 各10mの所要時間を計測した(図1参照)。本研究においては, 所要時間計測機器の限界から, スタート地点から80m地点までを解析対象とし, 被検者には十分な休息時間をはさんで全力疾走の試技を2回実施させた。第1試行ではスタート地点から40m地点

までを, 第2試行は40m地点から80m地点までを撮影範囲とした。撮影されたVTR画像是1コマ毎に較正点及びマーキングの4点の測定点についてX-Y座標を求め, 2次元の動作分析を行った。

### 3. 測定項目

図2のa~hはステックピクチャーによる1ランニングサイクルを表したものである。腕振り動作の肩関節角度は大転子と肩峰点を結ぶ線分が肩峰点と橈骨小頭を結ぶ線分と成す角度とした<sup>14)</sup>。肩関節角度に関する4変量はそれぞれ, 1)前振最大角度(以下, 前振角度)はa~dの範囲での最大角度, 2)後振最大角度(以下, 後振角度)はe~hの

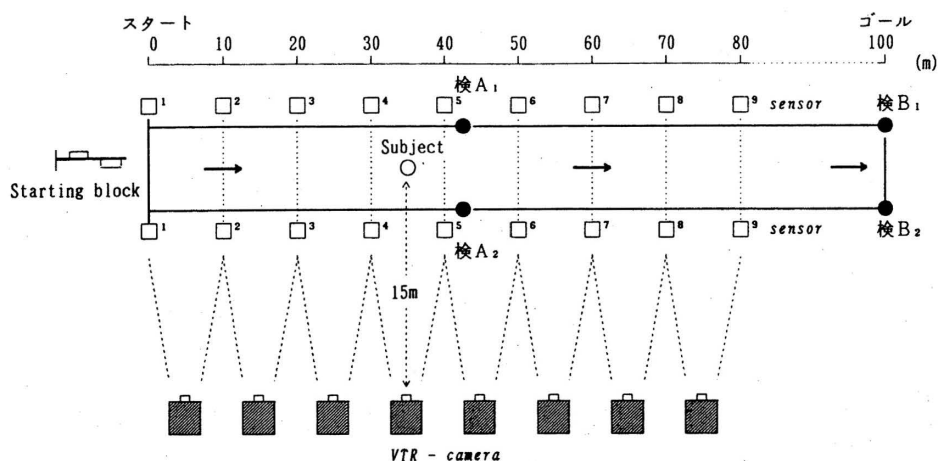
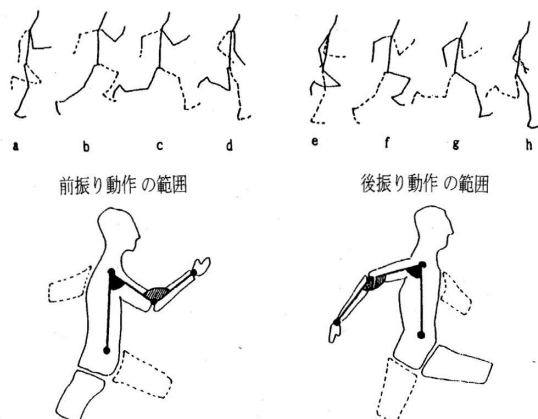


図 1 所要時間測定(疾走速度測定)および疾走動作撮影設定図

[注1] ●検A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>ならびに●検B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>は各々40m, 100m地点の通過タイムを測定する検者を表す。

[注2] □<sup>1</sup>~□<sup>2</sup>はランニングタイマー(竹井機器:T.K.K.1247)を表す。



前振り動作の範囲

後振り動作の範囲

No.	変量名	(単位)	動作範囲*
1)	前振最大角度	(deg)	a~d
2)	後振最大角度	(deg)	e~h
3)	振幅角度	(deg)	a~h
4)	平均角速度	(deg/s)	a~h
5)	最大角度	(deg)	} a~h
6)	最小角度	(deg)	
7)	平均角度	(deg)	
8)	肘関節角度の変動係数		
9)	平均角速度	(deg/s)	

[注] \*) はスタックピクチャーのa~hまでの範囲を表す。

図2 腕振り動作に関する各変量の設定

範囲での最大角度、3)振幅角度(1と2の和)及び4)平均角速度はa~hの範囲での角度の振幅と角運動量の変化に関する変量であった。また、肘関節角度は肩峰点と橈骨小頭を結ぶ線分が橈骨小頭と茎状突起を結ぶ線分と成す角度とした<sup>14)</sup>。肘関節角度については5)最大角度、6)最小角度、7)平均角度、8)関節角度の変動係数および9)平均角速度の5変量を選択した。いずれの変量もa~hの範囲における角度変化、振幅および角運動量に関する変量であった。さらに下肢の動作に関する変量は、VTR画像から読み取った座標値と較正值に基づき算出したストライド長とストライド比の2変量を選択した<sup>12)17)</sup>。各区間の平均疾走速度は距離10mをその所要時間で除した値から算出した。2回の試技に関する測定値の信頼性と客観性を検

討するために、100m走の40m地点およびゴール地点それぞれに公認審判員の資格を有する検者により疾走タイムを計測した。2回の試行における疾走タイムの信頼性( $r=0.97$ )及び客観性( $r=0.99$ )はいずれも0.95以上と非常に高かったことから、2回の試行ともに同様のパフォーマンスが発揮され、スタートから80m地点まで全力疾走動作および所要時間が連続的に記録されたと判断した。

#### 4. 統計的解析

まず、腕振り動作の肩関節角度と肘関節角度の各変量、疾走速度、ストライド長及びストライド比については、走法別に区間ごとの基礎統計量を算出し、腕振り動作の各変量は振幅角度、平均角速度及びその変動係数(肘関節角度のみ)をそれぞれ求めた。次に、算出した各変量について区間および走法の2要因分散分析を適用し、有意な差が認められた場合には、ライアン法による多重比較検定を行った。さらに、分散分析の結果、走法差が認められた変量については走法別に、その他の変量は被検者全体の値を用いて、疾走速度との関係をピアソン積率相関係数から検討した。なお、本研究の有意水準は全て5%とした。

### III. 結果と考察

#### 1. 走法および区間別の平均疾走速度とストライド長

図3は、各解析区間の所要時間から算出された平均疾走速度の変化を走法別に示したものである。本研究の被検者の平均疾走速度の最大値は、ST群、PT群がそれぞれ9.62m/sec、9.75m/secであり、両走法ともに一般男子大学生の最大疾走速度として加藤ら<sup>8)</sup>が報告した約8m/secを1~2m/sec上回る値であった。また、国内一流競技者の最大疾走速度については10~11m/secと報告されている<sup>11)16)</sup>ことから、本研究の実験試行における被検者の走パフォーマンスは比較的高いレベルであったと推測される。分散分析の結果から区間差が認められ、区間④から区間⑦までがその他の区間よりも有意に大きな値を示した。図3に表した疾走速度曲線から従来の報告同様に加速(区間①~③)、最大

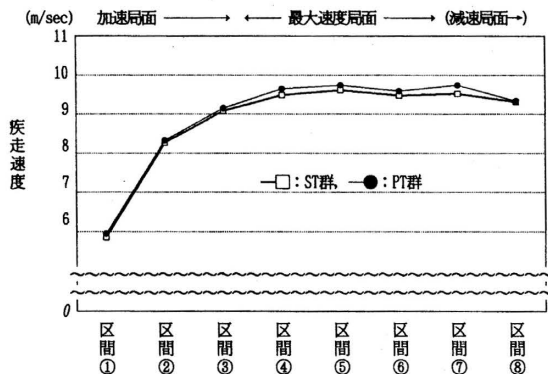


図3 走法別にみた各区間の平均疾走速度の変化  
 [注] 区間①～⑧はスタート地点から10m間隔毎に設定した解析区間であり、従って区間①は0m～10m地点を意味する。

速度(区間④～⑦)及び減速(区間⑧)と考えられる3つの走局面の様相が窺われた。なお、平均疾走速度に走法差は認められなかった。

図4はVTR画像解析の結果から算出したストライド長を示したものである。2要因分散分析の結果、区間差ならびに走法差が認められた。ST群、PT群ともに区間①、②がその他の区間よりも有意に小さな値を、区間⑤から区間⑦まではST群がPT群よりも有意に大きな値を示した。疾走速度はストライドとピッチの関数によって決定される<sup>11)15)16)</sup>こと、さらに図3の平均疾走速度において両群間に差異は認められなかったことを考えれば、最大速度局面と考えられる約40mから70mまでの最大速度局面において、疾走速度への影響はST群ではストライドが、またPT群ではピッチがそれぞれ強いと推測される。

## 2. 走法および区間別の腕振り各変量の比較

腕振り動作の肩関節角度と肘関節角度の各変量について、走法および区間の観点から2要因分散分析ならびに多重比較検定の結果を図5、図6、図7及び図8に示した。

図5より、肩関節角度に関する肩関節前振角度および肩関節後振角度の2変量において区間差が認められた。肩関節前振角度では、ST群、PT群ともに区間①と②がその他の区間よりも有意に大きな値を示し、加速局面では前方に大きく強調

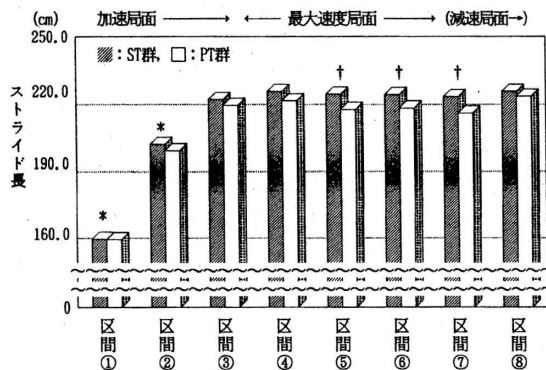


図4 走法別にみた各区間のストライド長の変化と差異の結果

[注1] 区間①～⑧の説明は図3参照  
 [注2] 分散分析の結果 《走法差 †; p<0.05》  
 《区間差 \*; p<0.05》①, ②<③～⑧

した動作で腕が振られていると推測される。稲垣ら<sup>5)6)</sup>は短距離選手が加速局面、中間疾走局面ともに「腕振りて体を引っ張る」や「腕振りて脚を引っ張る」といった内容を経験的に重視する傾向があると報告している。また、加速局面においてはスタートダッシュのキック力に腕振りの反動を用いることで、前方へより大きな推進力を得ることができると<sup>12)</sup>から、本研究の結果はこれらの報告を支持していると考えられる。また、図6の肩関節後振角度では、前振角度と相反するように疾走速度の増加に伴って角度が増加し、特に、ST群の最大速度局面から減速局面にかけてその傾向が顕著であった。齊藤ら<sup>15)</sup>、阿江ら<sup>1)</sup>、及び村木ら<sup>12)</sup>によれば、疾走速度が低速の状態から増加する段階、すなわち加速局面では疾走速度の増加はストライドの増加によるが、最大速度局面後半から減速局面においては、ストライドよりもむしろピッチの維持が疾走速度低下の抑制にとって重要であると指摘している。また、山田ら<sup>17)</sup>は短距離疾走に関する3次元動作解析の結果、上腕の前後への腕振り角度は疾走速度増加にともない腰部の捻れ角の増加と相反するように減少することから、上肢を身体に引きつけて振ることができるように振幅角度は小さくする必要があると報告している。以上のことから、ST群における最大速度局面後半から減速局面にかけての肩関節後振角度の増加傾向は、次第に腕が後方に残る、あるいは腕が後方に流れ

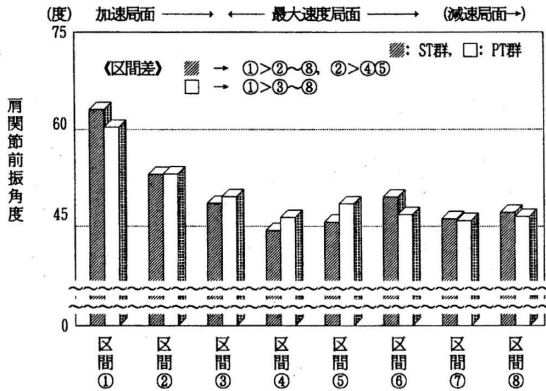


図5 区間別・走法別にみた肩関節前振角度の変化と差異の結果

[注] 区間①～⑧の説明は図3参照

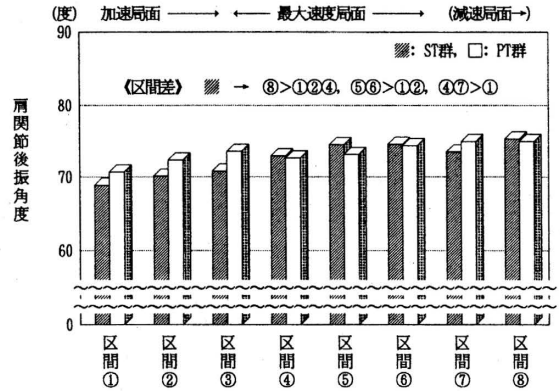


図6 区間別・走法別にみた肩関節後振角度の変化と差異の結果

[注] 区間①～⑧の説明は図3参照

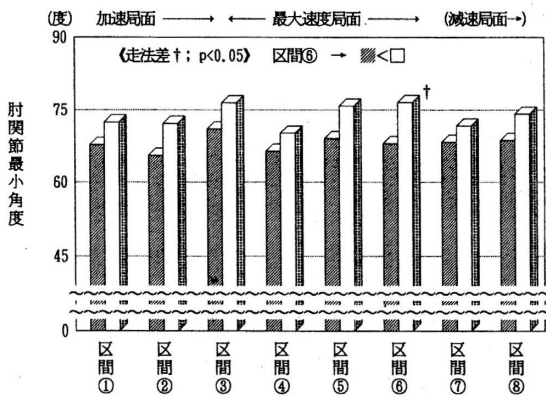


図7 区間別・走法別にみた肘関節最小角度の変化と差異の結果

[注] 区間①～⑧の説明は図3参照

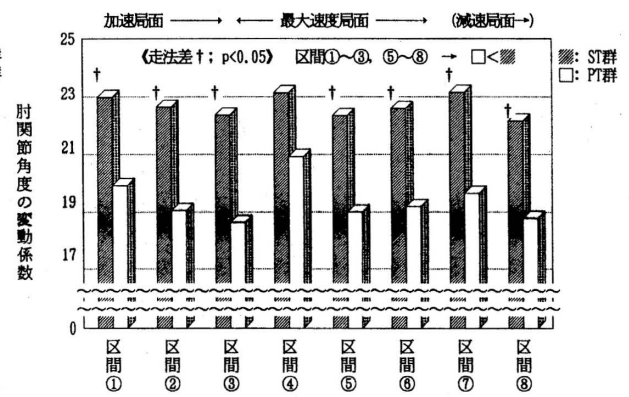


図8 区間別・走法別にみた肘関節角度の変動係数の変化と差異の結果

[注] 区間①～⑧の説明は図3参照

た状態で腕振り動作が行われていることが窺われ、疾走速度の維持にはマイナスの影響となることが示唆される。

肘関節角度の最小角度及び変動係数には両群間で走法差が認められた。図7の最小角度には区間⑥のみ有意な差が認められ、図8の変動係数では区間④を除いた全ての区間においてST群がPT群よりも有意に大きな値を示した。肘関節角度の最小角度と変動係数の結果をあわせて考えた場合、PT群はST群に比べて相対的に肘角度をやや大きく保ち、1ランニングサイクル中にあまり角度を変化させずに腕を振っている。一方、ST群は後方への腕振り動作中において肩関節後振角度と協応するように肘関節角度を大きく変化させていると

推測される。稲垣ら<sup>5)6)</sup>は短距離選手における上肢部の動作に関する経験的知識として、加速局面と比べて中間疾走局面においては「肘の角度を後ろで大きくすること」を重視する値が有意に高いと報告している。このことから、ST群では最大速度局面から減速局面にかけては「肘の角度を後ろで大きくする」傾向が強く、この動作の違いがストライド長の走法差に影響していると考えられる。さらに、表2は疾走中の腕振り動作に関する各変量と疾走速度とのピアソン積率相関係数を示したものである。肩関節角度および肘関節角度のいずれの変量においても、統計的に有意な相関係数は認められなかった。従って、本研究で取り上げた腕振り動作に関する角度および角運動量の観点か



表 2 腕振り動作の各変量と疾走速度の相関関係

No.	変量名 (単位)	区間①	区間②	区間③	区間④	区間⑤	区間⑥	区間⑦	区間⑧	
◆肩関節角度◆										
1)	前振最大角度 (deg)	0.014	-0.136	-0.230	-0.144	-0.097	-0.302	-0.292	-0.266	
2)	後振最大角度 (deg)	0.221	0.238	-0.088	-0.219	-0.006	0.019	-0.142	-0.004	
3)	最大角度 (deg)	-0.140	0.063	-0.254	-0.307	-0.077	-0.229	-0.288	-0.206	
4)	平均角速度 (deg/s)	-0.130	0.343	0.048	-0.236	0.008	-0.097	0.015	-0.036	
◆肘関節角度◆										
5)	最大角度 (deg)	-0.306	-0.148	-0.102	-0.037	-0.082	0.097	-0.099	-0.181	
6)	平均角度 (deg)	-0.273	-0.095	0.020	0.051	0.141	0.029	0.137	-0.025	
7)	平均角速度 (deg/s)	-0.140	0.063	-0.254	-0.307	-0.077	-0.229	-0.288	-0.206	
8)	最小角度 (deg)									
		ST	0.185	-0.130	0.195	-0.045	0.032	0.176	0.344	-0.408
		PT	-0.177	-0.247	0.033	0.253	0.194	0.001	0.174	0.406
9)	変動係数									
		ST	-0.046	0.081	-0.012	0.142	-0.150	0.286	0.095	0.275
		PT	0.126	0.008	-0.283	-0.380	-0.269	-0.034	-0.169	-0.435

[注] ( ) 内は単位を表わす。なお、8)及び9)の変量は走法差が認められるため、群別に相関係数を算出した。

らは、疾走速度との間に有意な関係を示す変量は認められなかった。

以上のことから、ST群は肩関節の振幅、特に後振角度が疾走速度とともに増加し、1 ランニングサイクル中に肘関節角度を変化させながら腕を振る(肘関節角度を後方への腕振りの際に大きくする)といった特徴が窺える。このことはPT群よりも大きなストライドを獲得することが可能であると同時に、疾走速度の低下が認められる局面、即ち最大速度局面後半から減速局面においては、上肢が後ろに残るあるいは流れる等の疾走速度にマイナスの影響が生ずることも考えられる。

PT群は、肩関節角度の各変量に関してST群よりもその振幅が小さい値ではあったが、ほぼ同様の傾向を示した。しかしながら、肘関節角度に関してST群よりも相対的に肘関節角度はやや大きく保たれており、1 ランニングサイクル中において肘関節角度をほとんど変化させずに腕を振るといった傾向がある。このことが最大速度局面におけるストライド長の差に影響していると推測される。

腕振り動作に関する種々の変量を走法別に比較した結果、上述のST群、PT群の特徴が明らかとなったが、山田ら<sup>17)</sup>や稲垣ら<sup>6)</sup>の報告にもあるように「上肢・腕と体との関係」、即ち体幹のねじり

や下肢の動作との関連を検討することや本研究では取り上げなかったピッチとの関係についても、今後更に検討する必要性がある。

#### IV. まとめ

本研究の目的は、大学男子短距離選手を対象として、100m 走疾走時の腕振り動作に関する変量について各走局面および走法別の観点から検討し、短距離走における腕振り動作の特徴を走法別に明らかにすることであった。本研究の被検者、実験方法及び解析方法の限界の下で、以下の結論が得られた。

- 腕振り動作中の肩関節前振角度は両群ともに加速局面において有意に大きな最大値を示し、後振角度はST群のみ減速局面において有意に大きな値を示した。また、ST群とPT群において、肘関節角度の変動係数とその最小角度において有意な走法差が認められた。特に、変動係数は第4区間を除き、いずれもPT群がST群よりも有意に大きな値を示した。
- 腕振り動作の特徴として、ST群では肩関節角度の振幅および後振角度が疾走速度とともに増加し、1 ランニングサイクル中に肘関節角度を変化させながら腕を振る傾向がみられた。一方、

PT群は肘関節の平均角度がST群に比べてやや大きく、角度をあまり変化させずに腕を振る傾向がみられた。

## 追記

本研究の要旨の一部は、第43回日本教育医学会(於：皇学館大学、1995)において発表した。

## 引用・参考文献

- 1) 阿江通良・宮下 憲・横井孝志・大木昭一郎・渋川侃二：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，筑波大学体育科学紀要，9，229-239，1986.
- 2) 後藤幸弘・辻野 昭：短距離疾走の分析的研究—各ステップにおける速度変化と身体各部の動きについて—，大阪市立大学保健体育学研究紀要，9，58-68，1974.
- 3) 広部 巖・武藤芳照・宮下充正：角運動量からみた走運動における腕振りの役割，体力科学，34(6)，450，1985.
- 4) 飯千 明・阿江通良・宮下 憲・末永政治：スタートダッシュフォームと肉離れのバイオメカニクス的研究，体育学研究，34，359-372，1990.
- 5) 稲垣 敦・松浦義行：短距離走の動作に関する経験的知識の研究，体育学研究，36(3)，105-126，1991.
- 6) 稲垣 敦・関岡康雄：短距離走動作に関する感覚的知識の経験的重要性の検討—中間疾走局面の動作に関して—，陸上競技研究，9(2)，21-34，1992.
- 7) 伊藤 章：走りにおける腕の役割(特集—ヒトの運動：腕と脚の役割—)，体育の科学，41(9)，688-692，1991.
- 8) 加藤謙一・宮丸凱史・宮下 憲・阿江通良・中村和彦・麻場一徳：一般学生の疾走能力の発達に関する研究，大学体育研究，9，59-70，1987.
- 9) 金 洪兵・加納明彦・樋口憲生・大島伸洋・門間 博・安田短明・小林平八・湯浅景元：100m疾走の後半における走スピード，ピッチおよびストライドの変化，中京大学体育学論叢，29(1)，45-49，1987.
- 10) 宮丸凱史：「身体運動学概論」(宮下充正編)，大修館書店，東京，pp.156-190，1976.
- 11) 宮下 憲・阿江通良・横井孝志・橋原孝博・大木昭一郎：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(12)，892-898，1986.
- 12) 村木征人・宮川千秋：短距離疾走の加速過程における運動の変化—歩幅，サイクル数，上体の前傾，及び下肢関節群を中心として—，東海大学紀要体育学部，3，55-72，1973.
- 13) 小木曾一之・関岡康雄・森田正利：全力疾走中の回復期後半における下肢の動きのバイオメカニクス的研究—加速区間，最大速度区間，速度維持区間の疾走フォームを比較して—，陸上競技研究，5(2)，2-8，1991.
- 14) 小木曾一之・関岡康雄・安井年文・西垣和彦・森田正利：全力疾走中の上肢における機械的エネルギーの流れ，陸上競技研究，7(4)，12-20，1991.
- 15) 斉藤 満・星川 保・宮下充正・松井秀治：走速度増加に対応する下肢関節の動きについて，体育学研究，16(5)，265-271，1972.
- 16) 斉藤 満・橋本 勲：トップスプリンターの走速度と歩幅と歩数頻度，Jpn. J. Sports Sci，1，237-241，1982.
- 17) 山田憲政・関岡康雄・小林一敏・金子靖仙：走速度増加に伴う身体のねじれに関する力学的研究，筑波大学体育科学紀要，9，247-254，1986.