

1000m 走における疾走動作の分析

内山了治*・大澤幸造**・渡邊誠一***

Kinematical analysis of running motion in middle distance (1000m) running

Ryoji UCHIYAMA, Kohzoh OHSAWA and Seiichi WATANABE

The purpose of this study was to investigate what kinds of factors would make the change of running velocity in middle distance (1000m) running. Subjects were 2 male distance runner of national college of technology. The motion at around 160 meters and 960 meters points from the start in 1000 meters running were filmed by high speed VTR-camera (240 fields/sec) and analyzed. The results were summarized as follows;

- 1) The change of center of gravity increased with its velocity.
- 2) The angle of hip joint decreased on foot contact and take off at 960 meters point. So, it was supposed that these changes brought the decrease of running velocity.
- 3) Both subjects, their toe contacted in the direction of outside on foot contact phase.

キーワード:陸上競技, 中距離走, 関節角度, ピッチ, ストライド

1. はじめに

陸上競技の中長距離種目は、トラック種目の800m・1500m・2000m・5000m・10000m, 2000mSC・3000mSC, ロード種目の各種ロードレース・マラソン・100kmマラソン, リレー種目として4×800m・4×1500m・ロードリレー・各種駅伝, さらには起伏のある丘を走るクロスカントリー競技など非常に幅が広い。これらの競技においては、体力、精神力、ペース配分、試合経験や作戦などが複雑に作用しあい、競技成績を高めるためにはこれらの要因をそれぞれ向上させることが必要である。

体力的な特性に関しては、中長距離の競技パフォーマンスと深く関わる有酸素能力を示す指標のひとつである最大酸素摂取能力や体脂肪に関する研究が数多く行われている²⁾³⁾⁴⁾⁷⁾。有吉¹⁾らは世界の一流ランナーほど最大酸素摂取量が多く、トップクラスの男子選手で体重1kgあたり毎分70~80ml以上、女子選手でも60~70ml 以上の高い値を示し、5000m

を14分台で走るには体重1kgあたり毎分70ml以上必要であることも示唆している。さらに、体脂肪に関しては男子選手で5%~7%、多くても10%以下、女子選手でも10%以下であることを報告している¹⁾。

また、網分⁶⁾らは長距離ランナーにも無酸素的能力が必要であるという報告をもとに、長距離ランナーの身体組成と無酸素能力の関連を論議している。

ペースに関しては大庭⁸⁾らが、大学男子800m走者のペース対応能力について、技術的要因と生理的な要因の変化が心理的要因に及ぼす影響について検証し、ペース対応能力は、ペースアップ中のピッチ増加の影響を受けることを報告している。

一方、技術面に関しては、その重要性は強く指摘されており、ピッチやストライドに関するもの、区間速度に関するもの、さらにはランニングフォーム特性など多岐にわたる研究が行われている。

ランニングフォームについて(財)日本陸上競技連盟の陸上競技指導教本⁹⁾では、「頭部や腰の高い位置、ほどよい上体の前傾、正しい腕の振り、自然な腰の捻り、さらには柔らかな膝の動きや十分なキックと素早い引きつけ」など身体全体の動きの中で、身体各部の正しい動作を身につける必要性を求めている。さらには、リズムやリラックスの大切さ、快

本研究は平成9年度長野高専一般設備費の助成を受け構築された設備を使用して行われた。

*一般科助教授

**電気工学科助教授

***電気工学科助手

原稿受付 1998年10月30日

適な呼吸にあった快調なリズムを身につけることが重要であるとしている。

しかしながら、これらは抽象的であり身体各部分の動作を具体化しにくい。特にランニングフォームが確立されていない初心者には、正しいランニングフォームをイメージしていくことは困難である。

また、指導場面において指導に役立つ有益な情報は、極めて個人的なものであり、平均的な情報では選手個人に適した指導は困難である。技能や体力・運動能力面等を考慮し、個人に適した技術を指導することが必要であり、これらを無視した画一的な指導では、競技成績の向上は期待できない。

これらのことから、本研究は初心者を対象とした指導現場において、有効な指導方法や効率的なトレーニング方法を検討するために、高速度VTRを用いて1000m走における動作分析を行い、競技者個々のランニングフォームの特性を明確にし、指導のための基礎的な資料や知見を得ることを目的とした。

2. 方法

2-1 対象

本研究では、中長短距離種目を専門とする高等専門学校陸上競技部の男子学生2名（競技者A、競技者B、以下A、Bとする）を対象とした。両者とも陸上競技は中学時代から取り組み現在も熱心に活動している。全国高等学校総合体育大会への出場経験はないが、本年度(2年次)になり競技成績が向上してきている。身体的特性及び競技成績は表1、2に示したとおりである。

表1 対象競技者の特性

対象者	年齢	身長(cm)	体重(kg)	専門種目	自己記録
A	16	168.0	52.3	5000m	15分41秒14
B	16	171.1	57.4	800m	2分02秒16

表2 対象競技者のベスト記録と主な競技成績

競技者	A	5000m	1500m	800m
H 9年	17分24秒70	5月(1年次)		
	16分29秒67	4分24秒66	2分12秒52	
	(関東信越地区高専大会 1500m 5位)			
H10年	15分41秒14	4分11秒56	2分01秒51	
	(全国高専大会 5000m 2位)			
競技者 B	1500m	800m	400m	
H 9年	5月(1年次)		60秒13	
		2分06秒66	54秒76	
	(北信高校1年生大会 800m 2位)			
H10年	4分16秒06	2分02秒16		
	(関東信越地区高専大会 800m 3位)			

2-2 撮影期日

日時 平成10年7月23日(木)

場所 長野市営陸上競技場(全天候走路)

2-3 撮影方法

試技1は20mの加速区間に続く30mの全力疾走とした。2台の高速度VTRカメラ(フォトロン製, FASTCAM-Rabbit mini2)を用いて、側方及び正面から疾走動作及び3次元分析に必要なコントロールポイント(較正点)を撮影した。2台のカメラは同期ユニットにより同期させた。撮影速度は240frame/s、露出時間は1/1000秒であった。また、これらの高速度VTRの画像は2台のS-VHSビデオカセットレコーダー(Panasonic製, AG-7500, 及び, SONY製, SLV-RX9)に録画した。

試技2として、十分な休息後に1000mの全力疾走を実施した。スタート後140から160m, 540から560m, 940から960m地点における2歩の疾走動作を側方から高速度VTRカメラで撮影した。

また、試技全体をフィールド中央からVTRカメラ(SONY製, DCR-VX1000)を用いて毎秒60コマ(露出時間1/1000秒)でパンニング撮影した。区間速度算出のためにこの映像にビデオタイマー(朋栄製, VIDEO TIMER VTG-55)を用いて1/1000秒毎の時間をインポーズしS-VHSビデオカセットレコーダー(Panasonic製, AG-7500)に録画した。

気象状況は、天候晴れ、気温28°C、無風だった。

2-4 分析項目と方法

試技1, 2により得られた画像は動作解析システム(電機計測販売製, Frame-DIAS for Windows)により身体各部位、較正点のデジタイズ及び2次元解析を行い、160mと960m地点における疾走動作を比較検討した。ランニング動作は宮下⁹⁾にならって、1サイクルのランニング動作を支持期(脚が地面に接地している期間)、非支持期(身体が空中にある期間)、回復期(脚が離地した瞬間から同じ脚が再び接地するまでの期間)と区分した。

1) 時間分析項目について

①200m毎のLAP及び平均速度。1000m疾走記録:録画画像から、200m毎の通過タイムを読み取り、各区間の平均速度及び1000m疾走記録を算出した。

②接地時間、滞空時間:高速度VTRの画像(1/1000秒まで時間が記録される)から算出した。滞空比は滞空時間/接地時間で求めた。

③ピッチ:連続する2歩に要した時間を求め、この値の1/2を1歩に要した平均時間とした。ピッチはこの逆数(f/s)とした。

2) 空間分析項目について

本研究では、時間分析項目以外の距離及び角度に関する項目を空間分析項目として扱った。

①ストライド：支持期の足先座標の平均値を足先位置とし、足先間距離で求めた。また、次式により求めた値を検証した。

$$\text{速度(m/s)} = \text{ピッチ(f/s)} \times \text{ストライド(m)}$$

②接地距離及び離地距離：接地、離地距離は身体重心を通る鉛直線と足先までの距離とした。

③身体重心の上下動距離：2次元分析により得られた身体重心の垂直方向の変位を上下動距離とした。

④身体関節角度：身体関節角度は図1に示したとおりであるが、引きつけ角度・速度及びもも上げ角度・速度は、支持期におけるスイング脚の分析値である。

3. 結果と考察

分析結果は表3に示したとおりである。これらと録画された映像をもとに160m地点と960m地点の

表3 測定・分析結果

項目	競技者 A		競技者 B	
	LAP(秒)	速度(m/s)	LAP(秒)	速度(m/s)
0-200m	33.1	6.04	33.3	6.01
200-400m	34.9	5.73	35.0	5.72
400-600m	35.7	5.60	35.7	5.60
600-800m	34.8	5.75	33.9	5.90
800-1000m	31.4	6.38	30.2	6.63
1000m記録と平均速度	2' 49.90	5.89	2' 48.03	5.95
	160m地点	960m地点	160m地点	960m地点
疾走速度(m/s)	6.49	6.37	6.49	7.41
ピッチ(回/秒)	3.12	3.33	3.08	3.40
ストライド(m)	2.08	1.91	2.11	2.18
接地時間(秒)	0.197	0.175	0.163	0.154
滞空時間(秒)	0.126	0.115	0.133	0.128
滞空比	0.64	0.66	0.82	0.83
接地距離(m)	0.55	0.58	0.58	0.60
離地距離(m)	0.65	0.75	0.75	0.88
重心上下動距離(m)	0.25	0.16	0.20	0.31
接地時角度(deg)				
股関節	137.08	123.78	149.04	138.03
膝関節	158.01	152.84	172.77	162.49
足関節	100.47	102.18	124.37	109.39
離地時角度(deg)				
股関節	193.25	189.46	192.35	187.25
膝関節	157.07	157.37	157.34	154.46
足関節	120.43	131.94	140.04	112.54
接地中の支持脚(伸展最大角速度)				
股関節(rad/s)	7.52	8.34	7.45	8.07
膝関節(rad/s)	3.48	3.14	3.35	2.84
足関節(rad/s)	9.79	13.49	11.50	11.33
接地中のスイング脚				
引きつけ角度(deg)	49.54	49.66	39.55	34.48
もも上げ角度(deg)	55.39	52.78	52.75	61.88
引きつけ速度(rad/s)	13.68	9.16	10.52	11.34
もも上げ速度(rad/s)	12.01	9.87	8.32	10.88

疾走動作がどのように変化しているのか、また、AとBの動作上の差はどこにあるのかを分析した。

図2は支持期における身体重心高の変位を示し、図3は960m地点の両者のスティック像である。

1) 時間分析項目について

①200m毎のLAP及び平均速度と1000m疾走記録から「走り」を総括すると、両者とも「まだ余力がある」疾走であった。200mから600mにかけては200mのラップタイムで1.7秒から2.6秒ほど低下するが、600mから1000mまでの400mは両者ともラップタイムが向上していた。持続的な種目である中距離種目は、効果的なペース配分が競技成績を高めるための大きな要因である。生理的には前半から積極的に飛び出して、疲労とともに徐々にスピードが低下していく走り方が有効であることが確認されている¹⁾。これらの先行研究と比較しても、両者のペースには改善の余地が

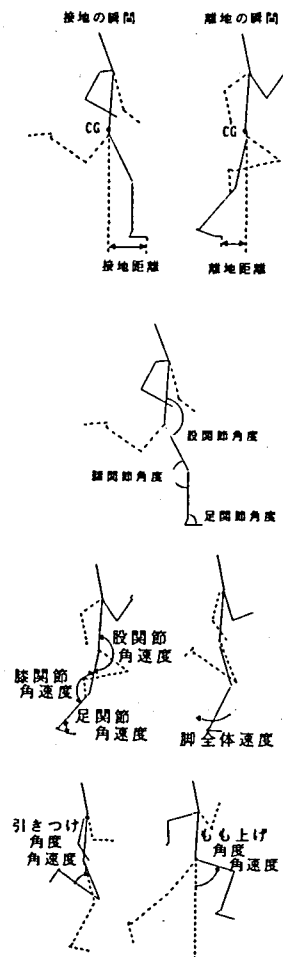


図1 関節角度の定義⁸⁾

あり、記録の向上は可能であるといえる。

疾走速度に関しては、Aはスタート後160m地点が最も高く、Bに関してはゴール直前で最高速度を得ていた。世界の一流競技者の800m競走においては、100m毎の疾走速度は7~8 (m/s) を維持し、前半と後半の顕著なスピード差は認められなかったことが報告されている⁸⁾。Aにおいては全般的に走速度の向上を、Bにはゴール手前200mのランニングが前半からできるようにトレーニングすることが必要であると思われる。

②接地時間、滞空時間、滞空比について：AはBよりも滞空比は小さいが、接地時間が0.02~0.03秒長く滞空時間が0.01秒ほど長いことが滞空比を小さく

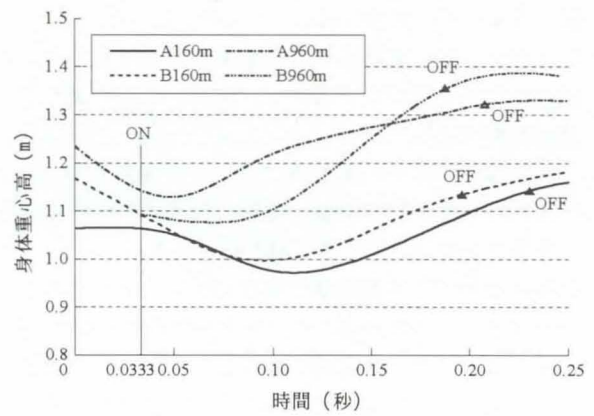
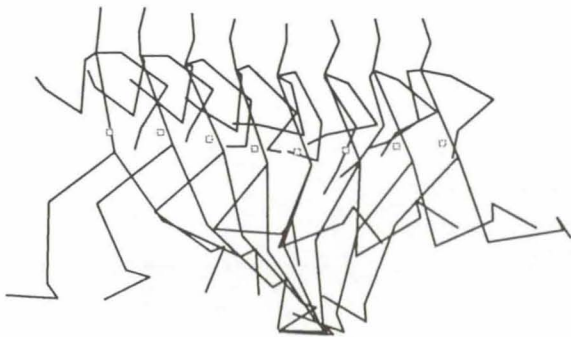


図2 支持期における身体重心高の変化

<競技者 A>



<競技者 B>

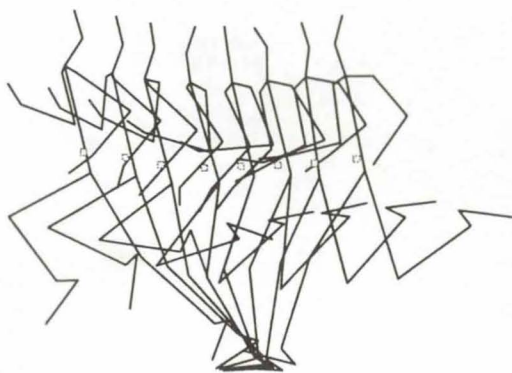
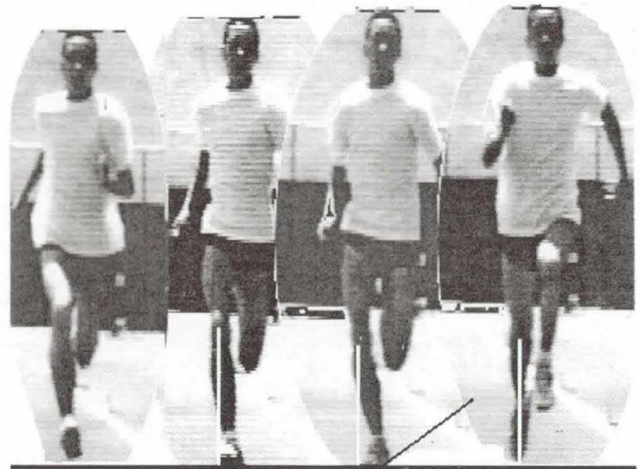


図3 960m地点の支持期中のスティック像



ON

OFF



図4 試技1における正面からの画像

したと考察できる。Bの方が一步一步を飛び跳ねるランニングのように観察できるが、走速度と滞空比を関連づけると実際の動作はAの方が飛び跳ねたランニングであることが確認された。

③ピッチとストライドに関しては、Aは960m地点では160m地点よりもストライドが20cmほど減少し、ピッチは逆に高まっていた。速度の低下にストライドの減少が大きく関与していたことが伺える。Bについては960m地点で、ストライド、ピッチともに増加させ走速度を向上させていた。走運動中のピッチとストライドについての報告は数多い⁴⁾が、水平速度3.5m/sから6.5m/sの範囲ではストライドの増加によって速度が増加するが、6.5m/s以上の速度ではストライドよりピッチの増加によって速度を増加させる傾向があることが一般的に理解されている。本研究でもAは6.5m/s以下の疾走速度であり、スピードの変化はストライドの変化によることが明らかになった。Bは7.41m/sと高い疾走速度を得ており、960m地点ではピッチを0.32f/sに高め短距離疾走タイプのランニングをしていたといえる。これらから両者とも疾走速度を変化させている要因は従来の報告³⁾と一致するものであった。

2) 空間分析項目について

①身体重心高(Y成分)の変位について。両者とも疾走速度が高くなると、Aは160m地点で9cm、Bは960m地点で11cm変位が増大した。しかし、重心の高さについては、両者とも960m地点の方が15~19cm高い値を示していた。Aはラストスパートによる上下動の変化が逆に疾走速度を低下させたと考えられる。また、両者とも160m地点はスタート直後で、疲労も少なくリラックスして余裕を持った走りであり、接地の際に身体重心の低下は7~8cmほど認められるが緩やかに回復し離地しており、全身の上下動の少ない疾走動作であるといえる。一方960m地点では身体重心の低下は160m地点より少ないが、Bは特に垂直方向への変位が大きく認められ飛び跳ねている動作が明らかになった。図3のスティック像からもこれらの特徴をみることができる。

②支持期の疾走動作について。接地時の股関節角度が小さくなる場合は、上体の前傾が大きくなったか脚の前方への振り出しが大きくなった場合である。両者とも股関節角度は960m地点の方が減少しており、前方への振り出しが大きくなったことにより、接地距離も僅かであるが大きくなり、身体重心の前方に接地する傾向が強まっていた。従って、プレーキ要素が大きくなり、結果として身体重心も高くなったことが推察される。この傾向はBの方が顕著で

あった。膝関節角度に関しては、両者とも膝をほぼ伸ばしきった状態で接地していた。また足関節に関しては速度が高まると角度が小さくなる傾向が認められた。離地瞬間に関しては、両競技者の動作の特徴が認められる。離地瞬間の股関節角度が大きくなる場合は、上体の前傾角度が小さくなる場合(上体が起きる)か、脚を後方へ移動しすぎた場合でいわゆる「足が流れる」現象である。160m地点は両者とも股関節角度・膝関節角度はほとんど同じ値を示したが、足関節角度はBが約20°大きかった。疾走速度は同じであるがBはAより足首を使いストライドを大きくしていたことが確認できた。また、960m地点においては両者とも股関節角度が小さくなったが、上体の前傾角度は変化なく、脚の後方への移動を小さくしたことが認められ、これらの結果として、ピッチが高まったことが推察された。

③支持期におけるスイング脚の動きに関しては、走速度が高い場合は、もも上げ角度が大きくなり、その角速度も高い値を示していた。また、脚の引きつけも小さく速くなることが認められた。

④正面からの脚の動作を、試技1(全力走)において、特に接地脚の膝と足関節に着目し、撮影した画像から検討した(図4)。両者とも接地の際に脚を回外させつま先を外に向けて接地していた。この傾向はBに顕著で、膝が外に割れ、足先が外に開き効率の悪い接地であることが確認できた。このような接地はスポーツ傷害に結びつくことも心配される。さらに接地後から離地までにつま先を中心とした踵のずれがあり、キックの軸のずれが大きいことも確認できた。これらは正面から撮影して初めて確認できたことであった。

4. 今後のトレーニングへの示唆

以上の結果と考察から、走動作を改善するためのトレーニングを効果的なものにするために、意識すべき要因を以下のようにまとめた。

1) 競技者Aについて

疾走速度を高めるためには、現状よりピッチを高めることが必要であり、このためにはまず接地時間を短縮しなければならない。接地距離を短縮し身体重心の近くに接地し、上下方向の運動を極力抑えることが必要であると思われる。これは身体重心の上下動を抑えることであり、キックの方向性を変化させることでもある。今まで指導現場で「身体重心の上下動は大きい」と思われたが、実際の身体重心の上下動は大きいことが判明した。さらには、支持期におけるスイング脚の引きつけ動作を速く行う

動作トレーニングの必要性も示唆された。

2) 競技者Bについて

本来短距離選手でもあるので、今回の疾走動作も短距離選手に近いものがあった。7~8m/sの走速度を維持するには効率的なランニングが特に必要である。そのためにまず、離地時の膝関節角度をもう少し小さくすることが必要である。離地時に膝が伸びきった動作は一見走速度を高めるかのように捉えられるが、接地時間の増大と脚の引きつけ動作の遅延をもたらす結果として走速度の向上には結びつかないことが指摘されている⁹⁾。次には接地脚の回外と足先の外向を抑える必要がある。現状の接地状態を継続すると故障を引き起こすことは明らかである。傷害の予防を含め、キックの軸を作るためにこの矯正は重要なことであるが、困難な面も多く、日常生活の歩から矯正することが必要であろう。さらには、身体重心の上下動を抑えることである。これは接地脚を柔らかく使い、上述した離地時の過伸展を抑えることにより可能であると思われる。

5. まとめ

指導現場において、有効な指導方法や効率的なトレーニング方法を検討するために、高速度VTRを用いて男子競技者を対象として、1000m走における動作分析を行った。その結果、今まで経験的、感覚的にしか捉えられなかった疾走動作が客観的なデータとして把握された。今後は分析対象数を増やし、全体的な傾向の把握も必要かと思われる。また、得られた内容を指導に活用していきたい。

- (1) 疾走速度の平均はAが5.89m/s、Bは5.95m/sであった。160m地点と960m地点の比較では、Aは160m地点(6.49m/s)が、Bは960m地点(7.41m/s)がそれぞれ高い値を示した。
- (2) 身体重心高の変位については、走速度が高くなると変位も大きくなる傾向を示した。
- (3) 支持期の疾走動作に関しては、960m地点において両者とも股関節角度が減少し、脚の前方への振り出しが大きくなっていた。接地時の膝関節に関しては152度から173度と大きな値を示し、膝が伸びきった状態で接地していることが明らかになった。
- (4) 160m地点において、Bが足関節を大きく使っていることが両者の差違として捉えられた。
- (5) 正面からの動作分析は、接地脚の状態がよく把握できた。

謝 辞

平成9年度長野工業高等専門学校一般設備費およびシステム構築に関わっていただいた皆様に深謝いたします。また、撮影に協力していただいた同校陸上競技部学生諸君に深くお礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 有吉正博他：「陸上競技指導教本」, 大衆館書店, 1988
- 2) 井上辰樹・戸塚学他：800m走のラストスパートのエネルギー供給機構。体力科学 42, pp173-182, 1993
- 3) 大庭恵一・佐伯徹郎他：800m走者のペース能力, 陸上競技研究第33号 pp2-11, 1998
- 4) 杉田昌明・松尾彰文他：男子800m走におけるスピード, ピッチ及びストライド長に関する事例的研究, トレーニング科学6 (2), pp119-128, 1995
- 5) 高松潤二・阿江通良他：大きな計測範囲のためのパンニングDLT法の開発, 体育学研究 42, pp19-29, 1997
- 6) 網分憲明・田原靖昭他：高校女子長距離ランナーの身体組成と無酸素能力, 陸上競技研究第32号 pp25-31, 1998
- 7) 松尾彰文・杉田昌明他：世界一流スプリンターの技術分析, 世界一流競技者の技術, pp92-111, ベースボールマガジン社, 1994
- 8) 松尾彰文他：'91世界陸上における中長距離決勝レースのスピード, ピッチ及びストライドについて, J.J.SPORTS SCI. 11(10)pp636-642, 1992
- 9) 宮下 憲・金子公宏他：ハイハードル2選手のキネマティックな変化に関する縦断的研究, スプリント研究7, pp23-38, 1997
- 10) 吉武信二：女子200m競走中の疾走速度遅減に関する研究, 陸上競技研究第31号 pp2-9, 1997