

## 解 説

## 世界トップスプリンターの疾走分析

宮 下 憲\*

## 1. はじめに

K. マイネル (1960) によれば運動構造というものは準備, 主要, 終末という3つの局面から構成されている。走運動は地面をキックしている主要局面と, 脚が空中にある一連の局面を終末局面が準備局面と融合した中間局面と呼び, これら2分節の運動が連続的に生じる循環運動と分類される。この運動構造上の問題と疾走速度によって運動が変化するいわゆるモーターシフトの問題, その際の疾走スピードのレベルに関する問題などがスプリント研究に常に内在し問題を複雑にしている。また, 例えば, 100 m 競技のように競技の特性上, 実際の競技場面のフォームを側方から捉ええることは難しく, また, 50歩で走破した場合にはその全てが主要局面となり, また人間の移動として最速であるということである。疾走の分析ができて, 静的な捉え方ではダイナミックな運動や感覚として選手に伝わらないという側面が多いのである。筆者のように日々短距離を指導している者にとってまだ勘と経験が活かされる余地のある分野でもあった。しかし, 近年のパソコンの普及に伴うバイオメカニク的な研究精度の向上によって, 今まで我々が外からの観察によって指導してきたことに多くの示唆を与え始めている。

このような時に本稿が疾走のキネマチックな研究を中心に記述することの拙さと筆者の専門を越えた場に記述することをご寛容頂き, 合わせて忌憚のないご意見を戴きたい。

## 2. 第3回世界選手権大会における100 m 競走について

昨年東京で行われた世界選手権の男子100 m 決勝は6名が9秒台という歴史上最高のレースであったが, 世界記録を更新したC.ルイスとR.バレルがいかに100 mを疾駆したかを最初にみていくことにする(図1)。

## 2.1 スピード変化について

100 mではスタートから各10 m毎の時間が光電管装置またはVTR分析によって計測されている。各区間で得られた時間から速度を算出しその変化をみているのである。最初のスタートからの10 m区間はピストルの合図から動き始めるまでの反応時間とスターティングブロックを蹴って前足がブロックを離れるまでの時間(動作時間)が含まれる。最近開催された世界選手権やオリンピックといった大型競技会については国際陸上競技連盟から科学報告書(1986, 1988, 1989)が出されている。短距離やハードル競走についてはタイム分析が中心で区間タイムに関するデーターが実際の競技のものとは今まで積み重ねられてきたモデルタイムとの比較という形式で発表されている。これらの科学報告書でいう反応時間はフライング判定装置から得られた場合にはスタートのシグナルからある力が水平にスターティングブロックに加わるまでの時間である。この場合, 用いられるスターティングブロックのメーカーによって多少の差があり, しかも全ての力をブロックで受け止めているわけではないため, フライング装置による反応時間は一応の傾向をみることはできるが, 厳密な比較としては誤差が大きい。今回発表された反応時間ではバレルがルイスより0.02秒早い0.120秒。その後10 mまでに両者の差は0.05秒に広がる。しかし, 10 mまでの区間タイムから得られた平均速度よりも実質的な移動速度の差は小さいことになる。

その後40 mまでの加速過程ではバレルが全ての

平成4年2月18日受付

\*筑波大学体育科学系

〒305 つくば市天王台1-1-1

キーワード: 疾走フォーム(sprinting form)

疾走速度(sprinting velocity), ピッチ(step frequency)

ストライド(stride length), DLT法(Direct Linear

Transformation Method)

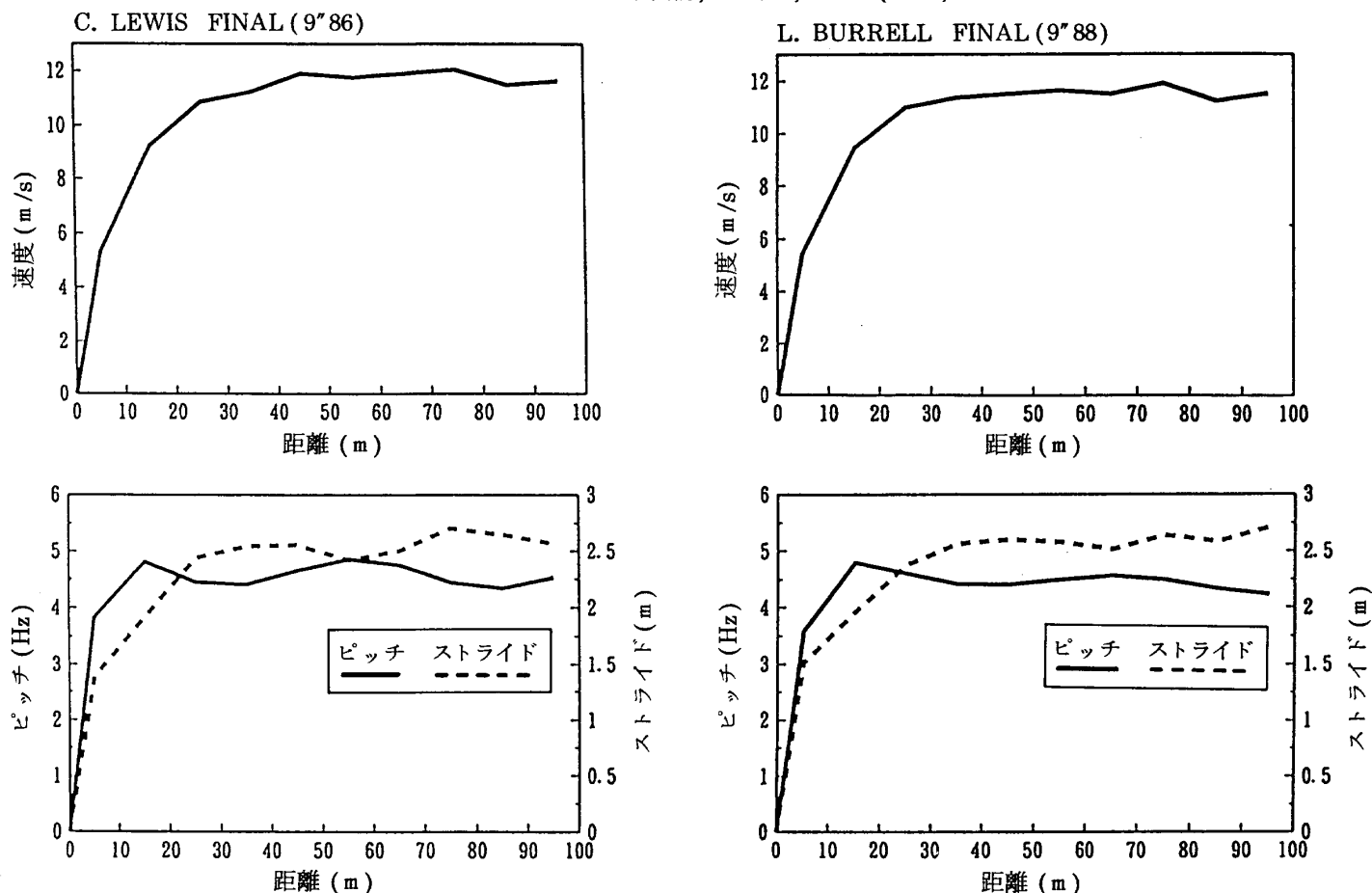


図1 第3回世界選手権大会男子100m決勝におけるC.ルイス, R.バレル選手の疾走速度, ストライド, ピッチの変化

区間でルイスを上回る疾走速度を示した。それに対してルイスは50m以降のいずれの区間でもバレルを上回る速度を示している。このことはバレルはローギアタイプのパワー発揮に優れ、一方、ルイスはハイギア型のパワーに優れていることを示唆している。また、最高速度へ至る過程で両者に2峰性のスピード曲線が認められるが、ルイスは始めのピークが40~50区間であるのに対してバレルは50~60m区間に出現している。第2のピークは両者とも70~80区間に表れレースの最大速度を迎えている。その時、ルイスは12.05 m/s, バレルは11.90 m/sの速度を示し、最高速度ではルイスが上回っている。前半の40m地点まではバレルはルイスに0.09秒の大差をつけているが、80m地点では0.01秒の差に縮っている。その後、両選手とも同じような速度の低下傾向を示し、最高速度に対する最終区間の速度逡減率は両者ともほぼ3.5%である。しかし、ルイスのほうがスピードレベルが高く、90m地点では逆にバレルに0.01秒、ゴールで0.02秒の差をつけ逆転優勝している。スピード曲線からは両者の絶対的なスピードレベルの

差が明暗を分けたといえる。

## 2.2 ピッチとストライドの変化について

次に、疾走速度の要因であるピッチとストライドの変化から世紀の対戦をみていくことにする。ピッチは1歩に要した時間の逆数で表し、ストライドはその距離であることから両者の積が疾走速度ということになる。我々は10m毎の区間タイムから疾走速度を、時間(1/100sec.単位)を撮し込んだVTRでピッチを求めることによって、ストライドの大きさを推定している。

40mまでの両者はピッチの立ち上げに続いてストライドの増加という序列を示し非常に類似した立ち上がりの傾向を見せている。しかし、二人の50m以降の変化に明らかな相違をみる事ができる。バレルのピッチとストライドはわずかに変化するだけで70~80m区間での最高速度を達成する。この区間ではスタート後の最大ストライド(2.64m, 身長比1.44)と最大ピッチ(10~20m区間の4.81f/s)の93.6%でレースの最高速度を出現している。そして、最後の10m区間ではストライドが更に増加して(2.71m, 身長比1.48)レース中

の最大となり、ピッチは低下傾向を示しながらゴールに入っている。一方、ルイスの 50 m 以降はピッチの高まりに続いてストライドの増加によって最大速度を達成する。この時のストライドはレース全体をとうして最大 (2.71 m, 身長比 1.44) であり、ピッチは最大区間 (50-60 m の 4.86 f/s) の 91.6% であった。そして最終区間ではストライドを少し縮めピッチを高めてゴールに入っている。一般的にはバレルのように最後の 10 m でストライドがレースの最大となりピッチはかなり低下してレースを終えるのであるが、追いつけてきたルイスはストライドを犠牲にしてピッチを再度増加しゴールしている。このようにピッチとストライドの変化をみてくると両者のストライドが絶対的にも相対的にも非常に大きい、とりわけルイスの絶対値が最終区間を除いて上回っていた。また、両者とも身長が大きいにもかかわらず大きなピッチを示していることが並みの選手と違うところでもあるが、ここでも 5 cm 身長の大きいルイスのほうがより大きな値を示している。最大速度が同じ区間に出現しているが、ルイスのほうがピッチに余裕を持ち最後の区間でピッチを高められたものと思われる。また、50 m 以降、バレルのピッチやストライドにほとんど変化がみられない。日本代表の 100 m 選手が 1 次予選ではピッチやストライドがダイナミックに変化して通過できたのに対して、2 次予選ではレース後半に両者の変化をほとんどすることなしにレースを終え落選していることと非常に似た傾向である。後日のコーチ談ではバレルは 60 m までトップを取ろうとして前半力み過ぎたと述懐したということである。このことは後半の走りに余裕がなかったことを示唆するものである。一方、同じくコーチの話では人並みにスタートが切れて前半の加速段階を無難に過ぎたルイスはいつものようにリラックスを心掛けて疾走したということである。このような二人の異なるメンタルな状況での疾走は我々が分析したピッチとストライドのダイナミックスと非常に良く符合した。

世紀のレースから我々は世界トップのスプリンターでさえ 100 m の全距離をとうして最大努力で走り切れないことを再確認させられ、戦術 (ペー

ス) やリラクセーションを意識的にトレーニングすることによってより大きな速度やその維持が無意識的に可能になるということの重要性を教えられたのである。

### 3. 疾走フォーム分析について

世紀の大レースの疾走フォーム分析は近々日本陸上競技連盟バイオメカニクス研究班から発表されることになる。本来ならば、その分析結果に基づいて記述できればよいのであるが、今回は我々が 1984 年に分析できた C. ルイスをはじめとする当時の世界一流選手の疾走フォーム分析について (1986) その概略を記することにする。

#### 3.1 研究方法

我々が行う動作分析は特別な実験設定をして実施することが多いのであるが、本研究は 1984 年 9 月に国立競技場で開催された第 3 回 8 カ国対抗陸上競技大会に出場した選手 (表 1) のレース中のフォーム分析である。

表 1 研究対象とした一流選手の特性および競技成績

氏 名 (国籍)	略 称	身長 (m)	体重 (kg)	最高記録 (秒)	レース記録 (秒)	順位
男 子						
Lewis (USA)	LEW	1.88	80	9.97	10.13 (98.4%)	1
Schroeder (GDR)	SCH	1.76	76	10.22	10.27 (99.5%)	2
Tilli (ITA)	TIL	1.75	65	10.16	10.29 (98.7%)	3
Macfarlane (GBR)	MAC	1.80	76	10.27	10.30 (99.7%)	4
Fuwa (JPN)	FUW	1.71	60	10.34	10.43 (99.1%)	8
女 子						
Goehr (GDR)	GOE	1.65	54	10.81	10.97 (98.5%)	1
Kondratjeva (URS)	KOND	1.67	57	10.87	11.06 (98.3%)	2
Bolden (USA)	BOL	1.73	64	11.15	11.35 (98.2%)	3
Konishi (JPN)	KONI	1.65	53	11.74	12.05 (97.4%)	6

これらの資料は本競技会のプログラムによるものである。

• 最高記録およびレース記録は当時の 100 m 競走のものでカッコ内の数字は最高記録の割合を示す。

疾走フォームは第2コースから第7コースまでの、58 m 地点を中心とした前後 4 m の範囲を撮影し、少なくとも2歩にわたって分析された。ホームストレッチ側の観客席上段に固定された2台の16 mm 高速度カメラ(フォトソニック1PL, ミリケン DBM-5D)により、前述の範囲を毎秒60.6コマ、露出時間1/240秒で撮影した。競走の撮影に先立ってDLT法により三次元座標を得るために空間における実座標が既知の較正器(高さ2.5 m)を図2に示した位置に置いて撮影した。本競技会は照明下で行われたため、疾走フォーム分析に最適な撮影条件ではなかった。

表2 疾走速度, ストライド, ピッチおよびそれらを規定する要因

測定項目	LEW	SCH	TIL	NAC	FUW	GOE	KOND	BOL	KONI
疾走速度 (m/s)	11.45	11.49	10.90	11.01	10.19	10.19	10.07	9.57	8.85
ストライド (m)	2.55	2.37	2.34	2.18	2.10	1.85	2.08	2.29	1.90
身長比	1.369	1.349	1.336	1.213	1.225	1.119	1.243	1.323	1.153
支持期距離 (m)	1.10	1.10	1.14	1.07	0.89	0.81	0.89	1.01	0.77
接地距離*	0.50	0.35	0.35	0.45	0.26	0.32	0.37	0.40	0.23
	(0.45)	(0.32)	(0.31)	(0.42)	(0.29)	(0.40)	(0.42)	(0.40)	(0.30)
離地距離*	0.60	0.75	0.79	0.62	0.63	0.49	0.52	0.61	0.54
	(0.55)	(0.68)	(0.69)	(0.58)	(0.71)	(0.60)	(0.58)	(0.60)	(0.70)
非支持期距離 (m)	1.45	1.27	1.20	1.11	1.21	1.04	1.19	1.28	1.13
ピッチ (回/秒)	4.49	4.85	4.66	5.05	4.85	5.51	4.84	4.18	4.66
1歩の時間 (秒)	0.223	0.206	0.215	0.198	0.206	0.182	0.206	0.239	0.215
支持時間	0.099	0.099	0.107	0.099	0.083	0.083	0.091	0.107	0.091
非支持時間	0.124	0.107	0.107	0.099	0.123	0.099	0.115	0.132	0.124
回復時間 (秒)	0.347	0.314	0.322	0.297	0.322	0.281	0.314	0.371	0.338
滞空時間比**	1.25	1.08	1.00	1.00	1.48	1.19	1.26	1.23	1.36

これらの値は、いずれも2歩の平均値である。

\* 接地距離および離地距離のカッコ内の数値は、支持期距離に対するそれぞれの割合を示す。  
\*\* 滞空時間比 = 非支持時間 / 支持時間。

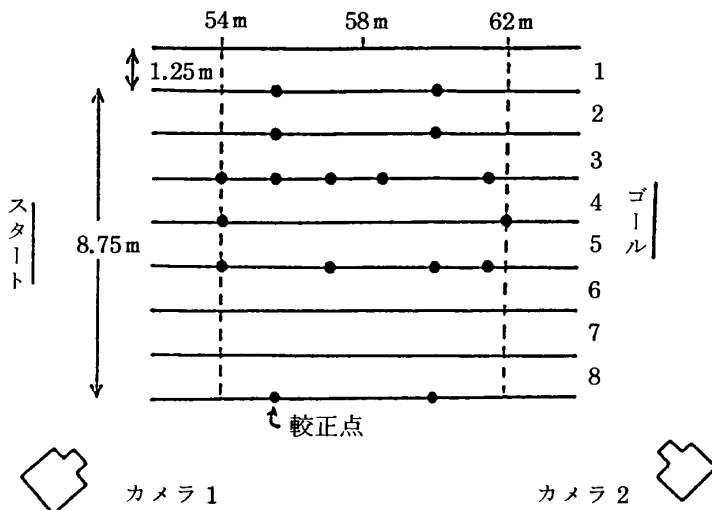


図2 撮影区間およびDLT法のための較正点の位置

撮影されたフィルムのコマ毎に27個の分析点の座標を読み取り、DLT法により身体各部位の三次元座標を算出し、7Hzで平滑化した。2台のカメラの同期には足の接地あるいは離地のコマを用いた。

### 3.2 結果と考察

#### 3.2.1 疾走速度, ピッチ, ストライドについて

表2は分析区間に於ける疾走速度, ピッチ, ストライドに関する諸要因を示したものである。また図3はストライドとピッチの関係を示したものである。

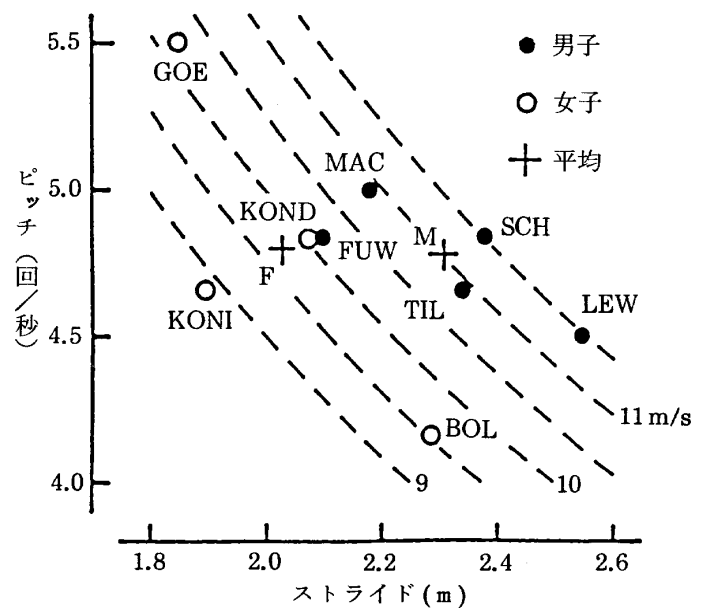


図3 一流スプリンターの中間疾走におけるストライドとピッチとの関係

#### (1) 疾走速度

分析区間における疾走速度はこれまでの研究報告と比較しても非常に大きいものであった。本研究では疾走速度と競技順位は女子では一致したが、男子では一致しなかった。これは本研究で対象とした選手間の記録の差が男子では女子よりも小さかったこと、本研究の分析区間(54~62 m)が100 mの一部分にすぎないことなどによると考えられる。

## (2) ストライド

ストライドは男子で2.10 mから2.55 m, 女子では1.85 mから2.29 mであった. 特にLEWのストライドはこれまでの報告の中でも最大に近く, 女子のBOLも2.29 mで極めて大きかった. 逆にストライドの小さいものは男子ではFUW, 身長比ではMAC (1.213) であり, 女子では疾走速度の大きなGOEの1.85 mが最小であった. 男子ではストライドの大きいものは疾走速度が大きいという傾向がみられたが, 女子にはその傾向をみることはできなかった.

接地距離と離地距離との関係を支持期距離に対するそれぞれの比でみると, ピッチの高いMAC, GOE, KONDの離地距離比はストライドの大きいSCH, TIL, BOLよりも小さい傾向であった. しかし, ストライドが最大のLEWの離地距離比は0.55と9名中最小であった. これは図4からわかるように離地時における支持脚の伸張が小さいことによるものであろう. また日本選手は外国選手よりも接地距離比が小さく, 離地距離比が大きい結果を示した.

## (3) ピッチ

男女ともストライドの大きいものはピッチが小さかった. またイオーノフの報告(1968)とは異なり, 男女間にピッチの差はなく, 女子でもGOEのように著しく高いものもいた.

滞空時間比(非支持時間/支持時間)は1.0から1.48の範囲にあり, これまでの報告に近いものであったが, 日本選手より外国選手の方が小さかった. またピッチの高かったMACとGOEは非支持時間及び滞空時間比が小さかった.

大きな疾走速度を得るにはSCHのようにストライドとピッチが共に大きいか両者の至適な組合わせが必要である. 日本人と同様の身長比ストライドを示した外国選手(MAC, GOE)に比べると日本選手は非支持時間が大きく, ピッチに劣っていた.

## 3.2.2 身体各部位の動き

本研究では, 疾走動作において中心的役割を果たす下肢の動きを検討した. 表3は, 各選手の大腿, 下腿, 足の部分角度及び角速度を示したものである. なお, 部分角度の正の値は各部分がその

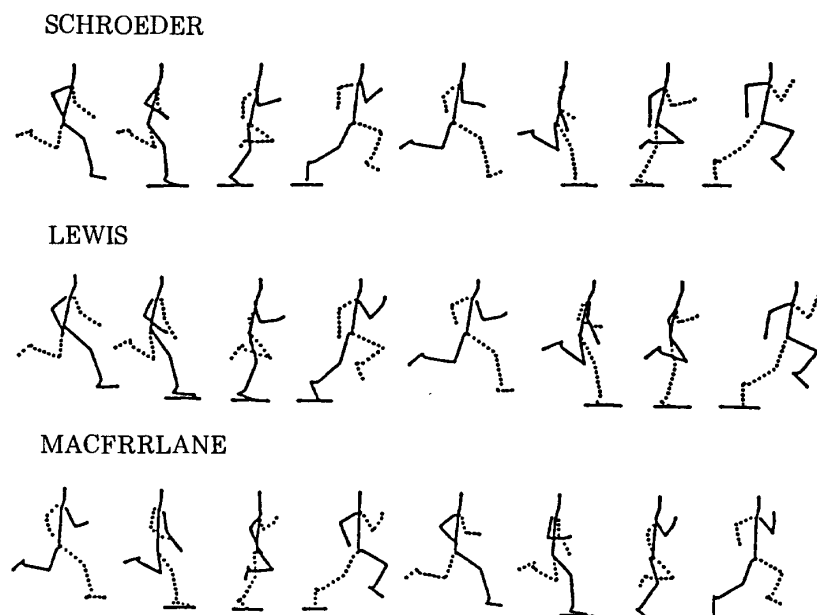


図4 男子一流スプリンターの中間疾走フォーム(実戦は体幹および右上下肢, 点線は左上下肢を示す)

表3 一流スプリンターの中間疾走における下肢各部の角度<sup>\*</sup>および角速度<sup>\*\*</sup>

測定項目	LEW	SCH	TIL	MAC	FUW	GOE	KOND	BOL	KONI
大腿角(deg)									
支持期 接地時	29.7	31.7	28.0	39.3	21.5	25.4	31.0	35.6	24.6
離地時	- 17.1	- 30.0	- 24.0	- 22.5	- 24.8	- 20.0	- 21.3	- 29.1	- 30.3
動作範囲	46.8	61.7	52.0	61.8	46.3	45.4	52.3	64.7	54.9
回復期 後方	- 22.1	- 29.1	- 24.9	- 27.7	- 32.8	- 23.0	- 25.0	- 29.2	- 30.3
前方	67.4	71.9	73.3	62.4	63.7	65.7	66.3	67.5	77.5
動作範囲	89.5	101.1	98.2	90.1	96.5	88.7	91.3	96.7	107.8
大腿角速度(rad/s)									
接地時	- 7.12	- 9.89	- 9.40	- 7.49	- 9.40	- 9.18	- 8.35	- 7.35	- 9.32
支持期 <sup>***</sup>	- 8.25	- 10.88	- 8.41	- 10.90	- 9.79	- 9.60	- 10.06	- 10.53	- 10.56
回復期	6.66	7.91	7.83	6.96	7.96	8.21	7.25	6.05	8.29
下腿角(deg)									
支持期 接地時	12.4	6.6	7.6	7.4	5.3	7.4	6.4	8.7	- 2.5
離地時	- 53.9	- 57.7	- 60.0	- 57.6	- 51.5	- 52.5	- 47.2	- 54.1	- 49.7
動作範囲	66.3	64.3	67.6	65.0	56.8	59.9	53.6	62.8	47.2
回復期 後方	-125.5	-121.3	-127.7	-117.6	-125.0	-117.6	-113.7	-120.5	-126.3
前方	23.7	15.3	19.8	21.6	21.8	15.0	12.3	26.4	14.8
動作範囲	149.2	136.6	147.5	139.2	146.8	132.6	126.0	146.9	141.1
下腿角速度(rad/s)									
接地時	- 8.70	- 8.98	- 10.17	- 9.76	- 10.72	- 7.81	- 7.08	- 8.61	- 9.88
支持期	- 11.69	- 11.34	- 11.00	- 11.46	- 12.02	- 12.67	- 10.31	- 10.22	- 9.08
回復期	11.69	11.63	12.34	12.54	12.84	12.77	11.04	10.86	12.13
足底角(deg)									
支持期 接地時	88.5	82.7	87.0	83.7	86.9	88.3	85.6	96.5	78.0
離地時	13.7	1.1	- 9.3	1.5	0.8	9.0	8.6	- 2.9	- 5.4
動作範囲	74.8	81.6	96.3	82.2	86.1	79.3	77.0	99.4	83.4
回復期 底屈	- 62.5	- 75.5	- 79.0	- 67.9	- 72.7	- 64.5	- 71.6	- 68.6	- 83.6
背屈	86.0	82.7	84.5	83.7	93.6	101.9	93.5	117.2	91.5
動作範囲	148.5	158.2	163.5	151.6	166.3	166.4	165.1	185.8	175.1
足角速度(rad/s)									
接地時	- 5.68	- 4.38	- 6.11	- 4.29	- 3.99	- 6.45	- 4.28	- 3.82	- 5.81
支持期	- 13.19	- 14.39	- 15.67	- 14.49	- 18.21	- 16.78	- 14.81	- 16.18	- 16.04
回復期	8.11	8.80	9.00	8.91	13.37	15.77	14.10	12.80	13.77

・角度の正の値は身体部分の後傾を、負の値は前傾を示す。また回復期における角度は、それぞれの最大値である。

.. 角速度の正の値は反時計まわり方向を、負の値は時計まわり方向を示す。

... 支持期および回復期の角速度は平均角速度である。

上位端から下ろした鉛直線よりも前方にあることを示す。

### (1) 大腿の動き

男子ではLEWのような例外もあるが、疾走速度の大きいものは支持期における大腿の動作範囲が大きいこと、ストライドの大きいものでは大腿が前方へ高く上がっていることがわかる。また、女子では、疾走速度の大きいものは大腿の動作範囲が小さく、このことが大腿を素速く回転させ、ピッチを高めるのに役立っていると考えられる。

### (2) 下腿及び膝関節の動き

#### ① 下腿の動き

男女とも支持期における下腿の動作範囲は外国選手の方が日本選手よりも大きかった。これは外国選手が接地瞬時には下腿をより後傾し、離地瞬時には大きく前傾しているためである。回復期の動作範囲はピッチの大きなものよりもストライドが大きいものの方が大きかった。

男女とも接地瞬時の下腿角速度は疾走速度が大きいほど小さい傾向があった。支持期における下腿の平均角速度は、男子では疾走タイプとの間に明確な関係はないが、女子ではピッチ型のものは大きかった。回復期では男女ともピッチが高いものほど、平均角速度は大きかった。

#### ② 膝関節角度の変化

支持期における膝関節角度(図5)は男子では接地時が最大で( $157.8 \pm 6.4^\circ$ )、離地時はそれよりも小さかった( $147.9 \pm 4.5^\circ$ )。また女子では疾走速度やピッチの高いGOEやKONIではこれらとは逆であった。

このことや下腿の動きから、本研究で対象とした一流スプリンターの多くは足の接地後、素速く足に乗りかかるようにして膝関節を屈曲し、後半では膝関節をあまり大きく伸展させていないことがわかる。この結果は、全速疾走の支持期における膝関節の伸展の大きさや速度が大きな疾走速度を生み出すものではないというWASER(1985)の指摘を支持するものと考えられる。また離地時の膝関節伸展に関して、小野(1960)は膝が十分に伸び切らない走法を研究する必要があることを示唆し、TUPAら(1984)は解剖学的・生理学的

観点から離地時の膝関節角度は $165 \pm 8^\circ$ を越えるべきではないと述べている。

回復期ではストライド型の者は膝関節を深く屈曲して脚の引出しを容易にするような動きを示すが、ピッチの高いものはそれよりも下腿をすばやく前方へ運ぶことを強調した動きをしていると考えられる。

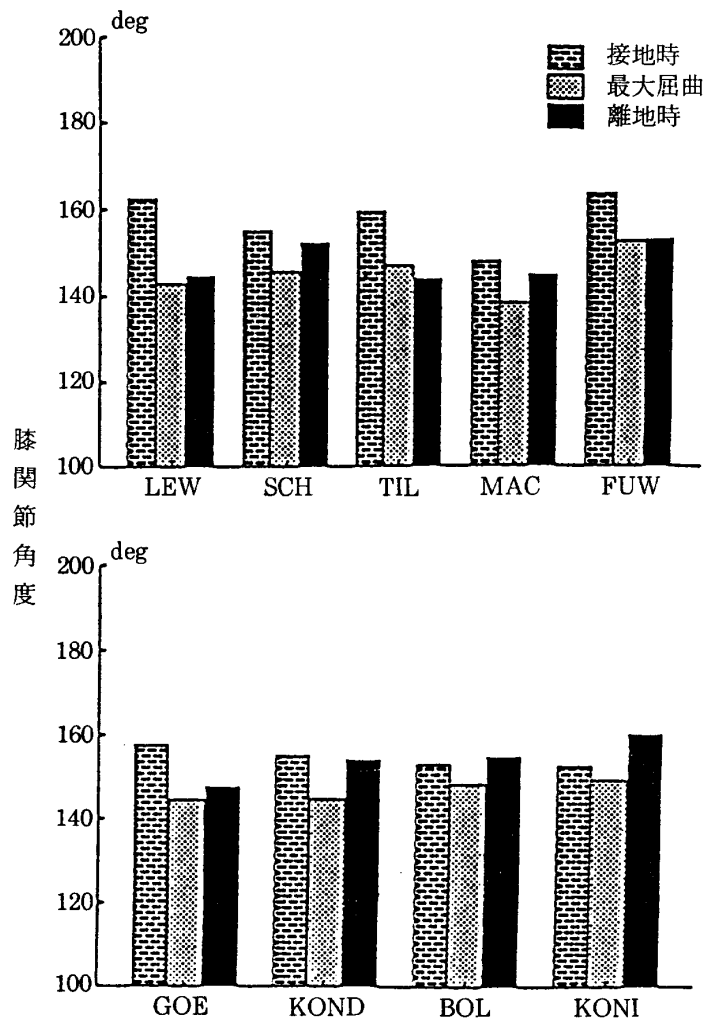


図5 支持期における膝関節角度(左右の平均値)

### (3) 足の動き

短距離における足のキックの重要性を指摘したものは多いが、疾走速度との明確な関係はまだ明らかにされていない。このことは本研究でも同様であった。これは足が回復期よりも支持期前半で

主にショック吸収のために働くこと、疾走速度の増大には遠位筋よりも近位筋がより大きく関与することなどによるものであろう。

#### 結論

第3回8カ国対抗陸上競技大会の男女100 m 競走に出場した世界一流および日本の代表的スプリンターの中間疾走フォームをDLT法を用いて分析した結果、次のことがわかった。

①外国男子選手のストライドは大きかったが、滞空時間比は小さかった。日本選手は男女とも非支持時間が長かった。

②疾走速度の大きい女子選手のピッチは高い傾向にあった。これは、大腿の動作範囲が小さいことによると考えられる。

③外国選手は腰を基準に考えると、日本選手よりも大腿を大きく動かしており、離地後の大腿の後方への振幅が小さかった。

④外国選手は、支持期では下腿を大きくすばやく動かしていた。また回復期における下腿の動作はピッチの高い選手では小さく、ストライド型のものは大きかった。

⑤膝関節は離地ではあまり大きく伸展されていなかった。このことはピッチを高めるために役立つと考えられる。

上述したことは一流スプリンターに見られた特徴であるので、初心者や中級選手が目標とする中間フォームとは異なるであろう。

#### 4. まとめにかえて

今回は第3回世界選手権男子100 m 決勝のレース分析と国際競技会における世界一流スプリンターの疾走フォームについてキネマティックな側面からみてきた。これらの分析をとうして世界の一流選手と日本人の疾走フォームが異なる傾向を示すことが多々あった。その主なものは日本人の中

間疾走中のキックが膝や足関節の伸展に重点があることが暗示された。このことは日本人と西欧人の歩行フォームの比較研究と類似した結果であることと無関係でないだろう。高速疾走では腰を中心とする大腿の動きの重要性が指摘されなければならないだろう。

今回は外に表れたフォームを問題にしたが、今後は動作を引き起こす筋群の作用を同時に検討することが重要になろう。例えば、これまで疾走の主働筋群の第1に大腿四頭筋を挙げてきたが、最近はその拮抗筋であるハムストリングスの働きが注目視されている。大腿の前後に位置する両筋群は2つの関節にまたがって付いている二関節筋であり、それぞれの筋収縮の仕方やその働きとそれらの相互作用が非常に複雑であるが、今後のスプリント研究の重要なポイントとなろう。スプリント能力を規定する主要因を探る研究は今後も続けられるであろうが、その研究成果を詳細に検討し、厳密にトレーニングに生かす努力が世界規模で重要な時代に至っている。



宮下 憲(みやした けん)昭和47年東京教育大学大学院体育学研究科修士課程終了、昭和47年東京学芸大学助手、昭和51年筑波大学体育科学系講師、現在筑波大学体育科学系助教授。運動学(陸上競技-特に短距離ハードル競技)専攻、同大学陸上競技部短距離ハードルコーチ、日本陸上競技連盟シニア部強化委員、関東学生陸上競技連盟強化委員、日本体育学会、日本バイオメカニクス学会の会員。