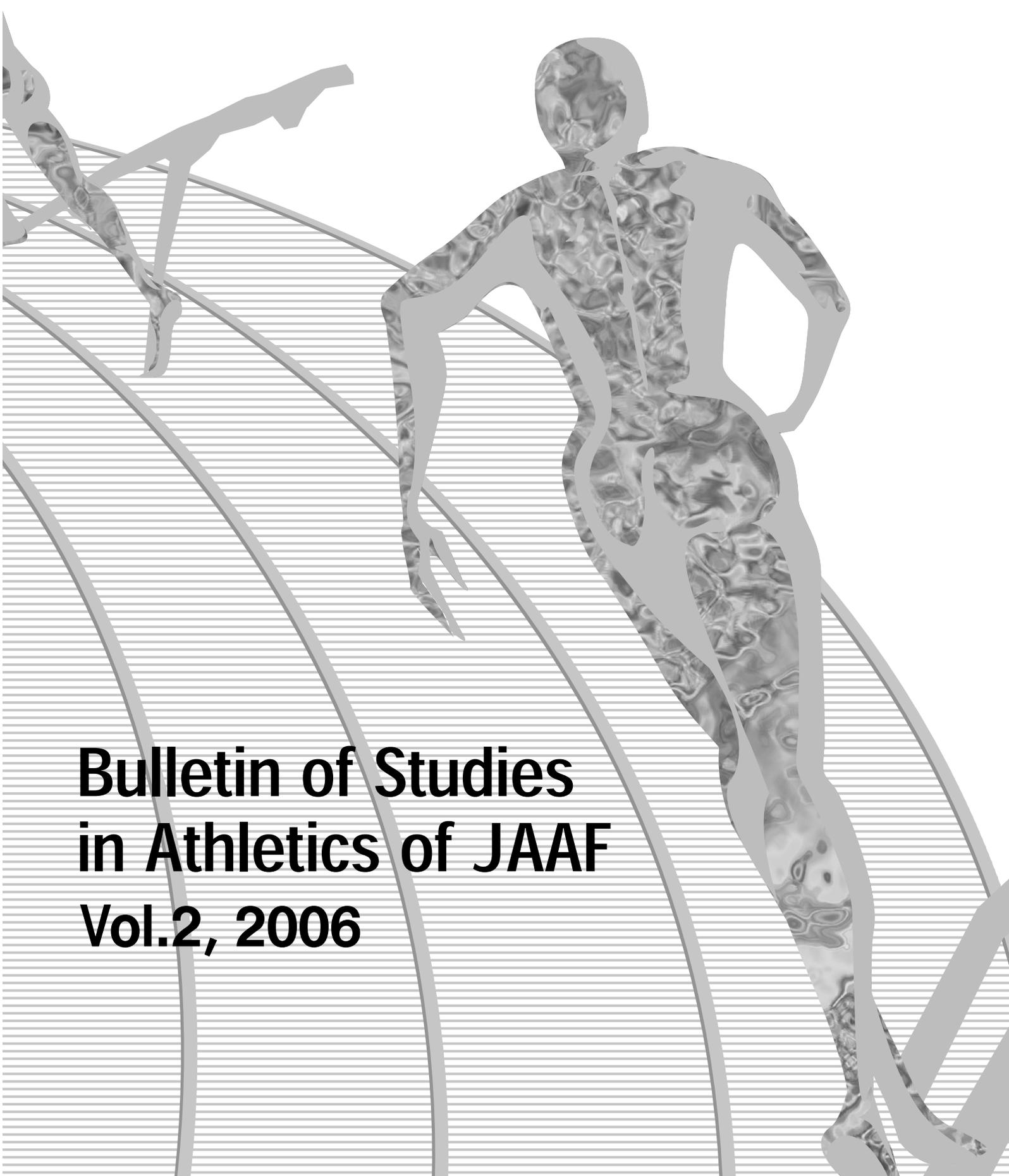


JAAF
財団法人日本陸上競技連盟
ISSN1349-7596

陸上競技研究紀要



**Bulletin of Studies
in Athletics of JAAF
Vol.2, 2006**

「陸上競技研究紀要」

(Bulletin of Studies in Athletics of JAAF)

投稿規定

陸上競技研究紀要編集委員会

1. 投稿資格について

本紀要に投稿できるのは、原則として(財)日本陸上競技連盟登記登録者(例:公認コーチなど)とするが、それ以外でも編集委員会が認めた場合には投稿することができる。

2. 投稿内容および種類について

投稿内容は陸上競技についての理論と実践に関するもので、内容に応じて、総説、原著、購読紹介(外国文献の紹介など)、資料、指導法および指導記録の紹介などに分類される。スタイルは和文、英文のどちらでもよい。

総説および原著には英文のタイトル、著者、所属、要約(150語以内)をつける。

(注:何らかの理由で英文要約等の作成が困難な場合は、編集委員会にその旨をご相談ください。)

3. 採否等について

原稿は査読を行い、査読結果をもとに採否および掲載順序の決定、校正などは編集委員会が行う。

4. 原稿の書き方について

原稿は原則として、ワードプロセッサで作成する。本文は、横42文字×縦38字で1頁とする。(1頁は約1600字、刷り上がり10頁以内、図表もその頁数に含む、すべて白黒にて作成)

英文は、A4サイズタイプ用紙を使用し、15枚以内を原則とする。

計量単位は、原則として国際単位系(m、kg、secなど)とする。

5. 文献の書き方について

本文中の文献は、著者(発行年)という形式で表記する。

例) 田中(1996)は————

文献は、原則として、本文最後に著者名のABC順で記載する。書誌データの記載方法は、著者名(発行年) 論文名、誌名、巻(号)、ページの順とする。

例) 田中競子(1996) 幼少年の疾走能力の発達、体育学研究 55(2)、155-162。

同一著者、同発行年の文献を複数引用した場合は発行年の後にa、b、cをつける。

例) 田中ら(1996 b)は、————

6. 原稿の提出先

投稿原稿(本文、図表など)は、下記へE-mailの添付資料として送付するとともに、プリントしたもの1部を郵送する。

〒150-8050

東京都渋谷区神南1-1-1 岸記念体育会館内

日本陸上競技連盟

「陸上競技研究紀要」編集委員会宛

(Tel 03-3481-2300 Fax 03-3481-2449)

E-mail: kiyou@rikuren.or.jp

7. 原稿の締め切り

原稿の締め切りは、1月15日とし、発刊はその年度の3月末日とする。

8. その他

掲載者には、「陸上競技研究紀要」10部を寄贈する。

問い合わせ先:

〒244-8529 静岡市大谷836

静岡大学教育学部 保健体育講座

伊藤 宏(普及委員会調査研究担当)

Tel 及び Fax 054-238-4668

E-mail: ehhitou@ipc.shizuoka.ac.jp

あ い さ つ

(財) 日本陸上競技連盟
副会長・専務理事 櫻井孝次

昨年から、陸上競技に関する調査・研究を統合して新たな「陸上競技研究紀要」が発刊され、今年2年目を迎える。日本陸上競技連盟の普及委員会・科学委員会を中心に、今年も各方面の調査・分析・考察がなされ、レポートとして纏められた。

ご承知のように、日本陸上競技連盟は陸上競技の普及・発展に国際化は欠かせないとして、2006年4月に世界クロスカントリー選手権大会を福岡で開催し、日本選手の活躍もあり成功裡に終了した。2007年8月には世界陸上競技選手権大会を大阪で開催すべく準備を進めている。

大会の成功を図るには日本選手の活躍が不可欠となるが、現場コーチの指導とそれを支えるアカデミックな調査・分析・考察が車の両輪となり成果を生み出す原動力となる。2006年のトラック&フィールドシーズンも始まったが、日本記録の誕生と共に世界レベルの選手と戦う若手選手の活躍が目立つ。世界陸上を地元大阪で開催することが刺激となっている面もあるだろうが、理論に裏づけされた現場の指導が成果を示しているものと思われる。

日本オリンピック委員会が文部科学省の協力を得て、ナショナルトレーニングセンターの構想が着々と進められ、陸上競技の練習場が他の競技施設に先駆けて建設される予定となった。今後「国立スポーツ科学センター」との連携をより深めて競技力の向上を図っていかねばならない。

この紀要は海外にも配布される予定になっているが、各国の陸連とも連携をとり、広く陸上競技の調査・研究に役立てば幸いである。

陸上競技研究紀要

Bulletin of Studies in Athletics of JAAF

Vol.2 2006

目 次

【原著論文】

- スタートダッシュから中間疾走までの着地位置の変化
ー特に歩隔に着目してー 伊藤 章ほか . . . 1
- 世界選手権第8回から第10回大会における
男子ショートスプリント種目の分析的研究 有川秀之ほか . . . 5
- 中高年齢女性の100m走競技における疾走速度通減率 田中秀一ほか . . . 13
- 大学女子長距離ランナーの等速性脚筋パワー
及び筋量の特性 山内 武ほか . . . 20
- 夏季のフルマラソン完走後における選手の腎機能評価
ー血清シスタチンCを用いてー 石井好二郎ほか . . . 27
- 男子400mハードルにおけるコーナーでのハードリング・イメージに関する研究
ー踏切脚が右脚の競技者と
左脚の競技者との差異の抽出ー 苅部俊二ほか . . . 31
- 力学的エネルギー利用の有効性からみたアテネオリンピック
男子20km競歩におけるメダリストと日本人選手の比較 法元康二ほか . . . 38
- 関節角度の位相差を用いた競歩の運動パターン抽出 平川武仁ほか . . . 47
- 女子4×400mリレーにおける各走者区間タイムからみた
オーダーについての一考察 渡部 誠ほか . . . 53
- 女子棒高跳選手の跳躍動作のバイオメカニクスの分析 吉原 礼ほか . . . 58
- 砲丸投げにおける砲丸速度に対する身体各部位の貢献
ー世界レベル選手と日本レベル選手との比較ー 田内健二ほか . . . 65
- 【資 料】
- 第21回全国小学生陸上競技交流大会優秀選手の身体的・心理的・疾走能力測定の結果
. 伊藤 宏ほか . . . 74
- 【科学委員会研究報告 陸上競技の医科学サポート研究】 85

スタートダッシュから中間疾走までの着地位置の変化
—特に歩隔に着目して—

伊藤 章¹⁾ 貴嶋孝太¹⁾

1) 大阪体育大学

Changes in the step width, step length, and step frequency of the world's top sprinters during a 100 m race

Akira Ito¹⁾ Koji Kijima¹⁾

1) Osaka University of Health and Sport Sciences

Abstract

The purpose of this study is to clarify the changes in the step width, step length, and step frequency of the world's top sprinters during a 100 m race and provide coaches and sprinters with useful step data.

The subjects were 18 male sprinters who participated in the heats of the 10th World Championships in Athletics held in Helsinki, Finland. They were divided into two groups based on race timing: the high performance group (HG; 10.12–10.32 s) and the low performance group (LG; 10.40–10.9 s). We set up two video cameras in the auditorium to record the spot at which the foot came into contact with the surface of the track during the starting dash and the sprint with full stride (approximately 60 m from the starting line). The x-y coordinates of the runners' foot prints on the track were calculated by the two-dimensional direct linear transformation method (DLT method).

The step length was observed to increase with the sprint speed ($p < 0.001$) in both groups; further, the step length of HG was longer than that of LG in the starting dash and the full stride (0.12 ± 0.03 m, $p < 0.003$). The step frequency was maintained at almost the same level (4.56 ± 0.16 steps/s) in the starting dash and the full stride, and no difference was observed between the groups. Although there was no difference in the step width, it decreased in both groups from 0.39 ± 0.07 m in the 1st step of the starting dash to 0.17 ± 0.04 m in the full stride ($p < 0.001$). These results suggest that sprinters change their step length and step width according to the change in acceleration of the sprint running speed.

The results obtained suggest the following conclusions: (1) Sprinters should not be forced to have a higher step frequency in the starting dash. (2) They should attempt a longer step length from the 1st step of the starting dash. (3) They should maintain their step width not only in the starting dash but also in the full stride.

I. 目的

短距離走のスタートダッシュや中間疾走の指導では、一直線上に接地するように指示する場合がある。しかし、選手の多くはやや外側へ足を出しながら着地し、歩数が進むに従い真直ぐの方向へ着地するように変化している。走行中、身体重心は接地期に減

速と加速を繰り返すが（福田と伊藤，2004），身体重心の速度変化を大きく捉えるならば，スタートでは加速度が最も高く，歩数が進むに従い加速度は低下し，一定速度である中間疾走では加速度がゼロとなる。したがって，選手はスタートでは低速条件下で大きな加速力，いわゆる“ローギアのパワー”を發揮し，中間疾走に近づくに従い高速条件下で小さ

な加速力, いわゆる“トップギアのパワー”を発揮できるような性能を持ったキック動作へと変化させねばならない. しかし, スタートではどの位置に着地し, 中間疾走に向かって着地位置がどのような変化をするのか, 明らかにされていない.

本研究では第10回世界陸上競技選手権大会において100mに出場した選手を対象に, スタートおよび中間疾走における着地位置を調べ, 今後の指導に役立つように客観的な数値として提供しようとした.

II. 方法

被験者は, 世界陸上競技選手権大会(ヘルシンキ, 2005)の100mに出場した男子短距離選手18名であった. 分析の対象としたレースは100mの1次予選で, レースにおける記録をもとに上位グループ9名(10.12から10.32秒)と下位グループ9名(10.40から10.90秒)に分けた.

2台のビデオカメラ(DSR-PD;SONY社製)をスタートライン後方の観客席に設置し, 画角を走路中央の3から6レーンが入り, しかも1台はスタート後の8歩目までの着地(ラインから約15mまで)を, 他の1台はスタート後の中間疾走の着地(50m付近の前後約10m)を撮影できるように調整した. そして, 疾走動作を60fpsで撮影した. また, スタートでは画角内の走路上20箇所, 中間疾走では16箇所に置いたコントロールポイントを撮影し, 接地中のつま先の2次元座標値を2次元DLT法を用いて算出した. なお, コントロールポイントの既知の座標値と分析値との誤差(進行方向と左右方向)は, スタートでは0.035mと0.005m, 中間疾走では0.022mと0.004mであった.

測定項目は, スタート1歩目から8歩目までと中間疾走(6歩の平均値)におけるストライド, ピッチ,

そして歩隔(連続する歩数における接地の瞬間のつま先の左右間隔)を求めた(図1). 国際競技大会における測定上の限界があり, 本研究では走速度を身体重心から求めることができず, 上述のようにして求めたストライドにピッチをかけて算出した. そのため, 1歩ごとに姿勢が変化するスタートダッシュでは, 身体重心から求めた速度とはやや異なると考えられる. なお, スタート後の変化, および上位群と下位群の差は二元配置分散分析法によって検定し, 危険率5%未満の場合を有意差ありと判定した.

III. 結果

歩隔はグループ間で差が無く, スタートでは1から2歩目間が $0.39 \pm 0.07\text{m}$ であったが, 7から8歩目間は $0.29 \pm 0.05\text{m}$ まで減少し, 中間疾走では $0.17 \pm 0.04\text{m}$ と最も小さくなった(図1, $p < 0.001$).

ストライドは, スタートから中間疾走まで歩数が進むに従い増加した(図2, $p < 0.001$)が, 上位グループの方が下位グループより常に平均 $0.12 \pm 0.03\text{m}$ 大きかった($p < 0.003$). 両グループの平均値で見ると, スタートの1から2歩目間のストライドは $1.14 \pm 0.17\text{m}$ であったが, 7から8歩目間は $1.88 \pm 0.14\text{m}$ まで増加し, 中間疾走では $2.40 \pm 0.13\text{m}$ に達した.

ピッチはグループ間で差が認められず, スタートから中間疾走までほとんど変化しなかった(図3). なお, スタートから中間疾走までの両グループの平均は 4.56 ± 0.16 歩/sであった.

速度は上位グループの方が下位グループよりスタートから中間疾走まで常に高かった(図4, $p < 0.003$)が, 両グループともスタート後著しく増加し($p < 0.001$), 中間疾走では上位グループは

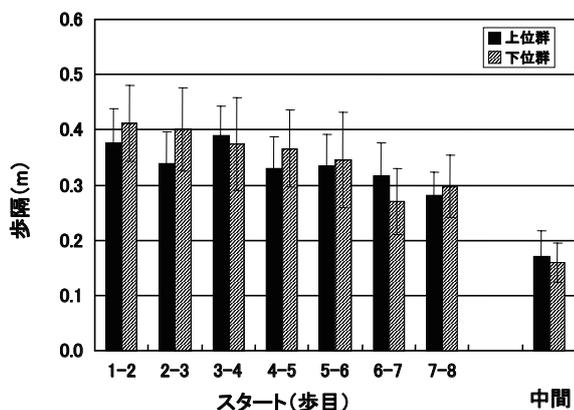


図1 歩隔の変化

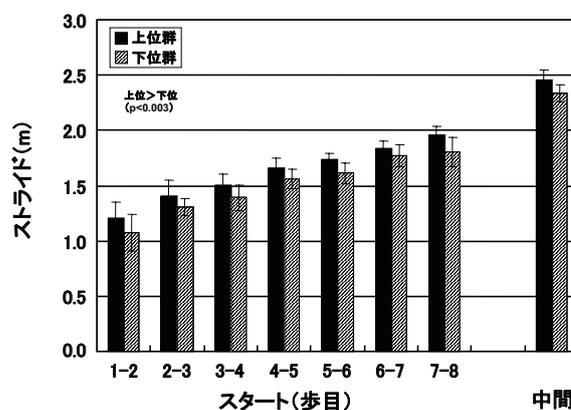


図2 ストライドの変化

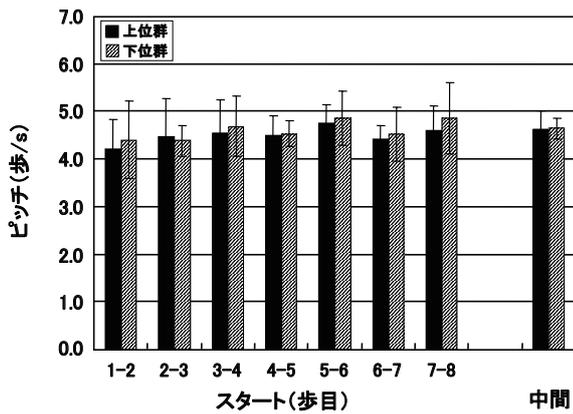


図3 ピッチの変化

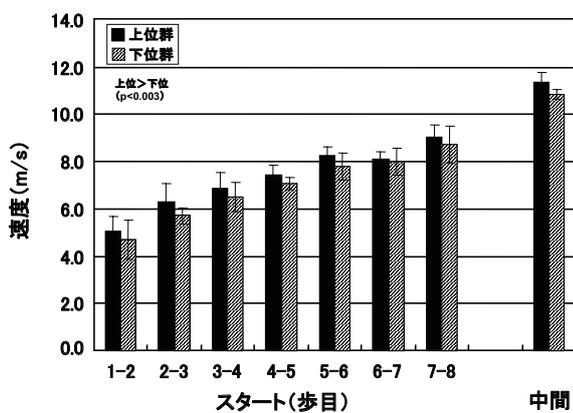


図4 速度の変化

11.38 ± 0.40m/s, 下位グループは 10.84 ± 0.23m/s に達した. なお, スタートの7から8歩目で, 両グループとも中間疾走の速度の約80%にまで達していた.

IV. 考察

短距離走のスタートダッシュや中間疾走の指導では, 一直線上に着地するように指示する場合がある. しかし, 金子 (1990) は, 当時の日本記録保持者であった飯島秀雄選手 (10秒1) が, かつての日本記録保持者である吉岡隆徳氏 (故人) から, スタートの1歩目にとりなるのレーンにはみ出そうほど横方向へ足を出すような指導を受けていたことを報告している.

走行中, 身体重心は接地期に減速と加速を繰り返すが, 身体重心の速度変化を大きく捉えるならば, スタートでは加速度が最も高く, 歩数が進むに従い加速度は低下し, 一定速度である中間疾走では加速度がゼロとなる (福田と伊藤, 2004). つまり, 選手はスタートでは低速条件下で加速力, いわゆる

“ローギアのパワー” を発揮し, 中間疾走に近づくに従い高速条件下で加速力, いわゆる “トップギアのパワー” を発揮できるような性能を持ったキック動作へと変化するのである. スタートから中間疾走までの着地位置の変化は, このいわゆる “ギアチェンジ” をするためのものであると考えられる. 以下はそのような観点に立った議論である.

スタート後, ストライドは増加したがピッチにはほとんど変化が見られなかった. この結果は, スタート後の速度の増加はストライドの増加によるものであることを示しており, 第3回世界陸上競技選手権大会 (東京, 1991) で測定した伊藤ら (1994) の報告と同様の傾向であった. そして, スタートから中間疾走における上位グループと下位グループの速度の違いもストライドにあり, ピッチではなかった.

スタートでは大きな加速力を発揮しなければならない. そのためには, スタート後の1歩ごとのキックによって加速方向の大きな力積を地面から得なければならない. 力積は力と作用時間の積であり, 作用時間はできるだけ長くしなければならない. もし, ピッチを意図的に早くするならば, キック時間は短くなると考えられる. したがって, スタートではピッチを早くするのではなく, 長い時間をかけて後方へキックする, いわゆる “押すようなキック” をする方がよいのかもしれない. しかし, スタートではピッチを早くするような指導をする場合がしばしばある. もし, 指導者が選手にピッチを高めるように指示すれば, その場では選手はストライドを低下させることによってピッチを高めざるを得ない. 本研究の結果は, 一般的にはピッチよりむしろストライドを大きくするような指導が望ましいことを示唆している.

スタート後の加速方向のキック力のピーク値は, 1歩ごとにほとんど違いがないが, 速度の増加に従い, 接地時間は必然的に減少する (福田と伊藤, 2004). つまり, スタートにおける1歩ごとの加速 (力積) の減少は, キック時間の短縮が大きな原因だと考えられる. 感覚的には, スタートでは1歩ごとに “押すようなキック” から “たたくようなキック” へと変化するのである.

100mの記録に関係なく測定したすべての選手において例外なく, 1歩目と2歩目間の歩隔が最も広く, 速度の増加とともに狭まった. 金子 (1990) は歩隔を広くする目的は, キック脚の接地時の膝関節角度を脚伸展力が最も高まる 120° 付近にするためではないかと推察しているが, これは1つの要因であると思われる. 一方, 歩隔を広くすることは斜め

外側の後方へキック力を発揮することになるが、歩隔を狭めてまっすぐ接地する場合とくらべると、股関節によるキック力の発揮に大殿筋だけではなく中殿筋も加わることができるためより大きな加速力が発揮できるかもしれない。そして、股関節で発揮されたキック力を地面に伝える過程で、膝関節にはやや横方向の力が加わることになる。この横方向の力に対しては靭帯などの膝関節の構造が受け止めるため、真直ぐ着地するより膝関節伸展筋群の負担を軽減することとなる。これらも上述の金子（1990）の推察とともに可能性がある要因であろう。

一方、中間疾走では歩隔が両グループとも平均 0.16m にまで減少したが、これは中間疾走でも一直線上に着地していないことを示している。この中間疾走の歩隔は、脚が地面に対してほぼ垂直になる値であり、そのような脚の姿勢が上述の“トップギアのパワー”を発揮しやすいのかもしれない。少なくとも、本研究の結果は中間疾走であっても一直線上に着地する指導をしないほうがよいことを示唆している。

本研究では、世界陸上競技選手権大会の 100m に出場した選手たちの着地の状況を明らかにしたが、なぜそのような着地をするのかというメカニズムは明らかにしていない。実験的な条件下で詳細な調査をし、解明しなければならない課題である。

参考文献

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 1：29－34。

伊藤 章・斉藤昌久・佐川和則・加藤謙一・森田正利・小木曾一之（1994）世界一流スプリンターの技術分析。世界一流陸上競技者の技術。ベースボール・マガジン社。東京，pp. 31-49。

金子公宥（1990）名スプリンター飯島のロケットスタート秘話。コーチング・クリニック 3：72－73。

世界選手権第8回から第10回大会における 男子ショートスプリント種目の分析的研究

有川秀之¹⁾ 高野 進²⁾ 麻場一徳³⁾ 荻部俊二⁴⁾
1) 埼玉大学 2) 東海大学 3) 都留文科大学 4) 法政大学

Study of Analyzed Records of Short-sprint Events for Men in the 8th to 10th IAAF World Championships

Hideyuki ARIKAWA¹⁾ Susumu TAKANO²⁾ Kazunori ASABA³⁾ Shunji KARUBE⁴⁾
1) Saitama University
2) Tokai University
3) Tsuru University
4) Hosei University

Abstract

In this study, we analyzed the record changes of finalists and semifinalists of 100m and 200m for men, so called short-sprint events, through the 8th to 10th IAAF world championships. The result is as follows.

- 1) The average age of the IAAF world championship participation sprinters was around 25 years old. The age range was from 17 years old to about 39 years old.
- 2) The 100m finalists shortened their records from the heat to the semifinal. Between the semifinal and the final, there was scarcely any big difference of their records; it is important to make their best performances in the semifinal. This conclusion is all the more supported from the fact that the 100m semifinal records were worse than those of the quarterfinal.
- 3) As for the 200m finalists, there were not significant differences between the heat and the quarterfinal, also between the semifinal and the final. A difference existed between the quarterfinal and semifinal. 200m finalists ran to keep power till they reach the semifinal, where they made their best records. 200m semifinalists, however, were not shortened from the heat; they should re-examine their way of running from the heat to the semifinal in order to make the best performance in the semifinal.
- 4) As for 100m, we will be able to win medals if we can carry out the strategy of Collins. As for 200m, the way to medals in the final is to win through to the semifinal by reserving power.

I. 研究の目的

我々はエドモントンで行われた第8回とパリで行われた第9回の世界選手権大会における短距離種目の分析的研究(有川ら2002, 2004)を行なった。第8回世界選手権大会の研究において、男子100m決勝進出者(以下「ファイナリスト」という)は、1次予選から2次予選に、2次予選から準決勝に記録

を短縮し、徐々にパフォーマンスを伸ばし、準決勝では決勝との記録差がほとんどないほど、ベストパフォーマンスを発揮していたことを報告した。一方、第9回世界選手権大会の研究において、男子100mファイナリスト8名のうち6名の決勝記録は、2次予選の記録より良くなかったことを報告した。また、男子200mファイナリストらについては、第8回及び第9回世界選手権大会の研究において、1次予選

から2次予選に記録を短縮し、さらに2次予選から準決勝に若干短縮したが、準決勝から決勝にかけては遅くなったことも報告した。

近年、世界的規模の陸上競技大会において日本の男子短距離選手は、決勝に進める競技力を確実につけてきている。第8回世界選手権大会において男子ショートスプリント(100mと200m)種目は、準決勝まで進むことができています。そして、第9回世界選手権大会男子200mで末續慎吾選手が世界選手権史上初めて銅メダル獲得という快挙を成し遂げた。そして、第10回世界選手権大会において、日本の男子ショートスプリント種目は、残念ながら決勝に進むことはできなかったが、16名が残る準決勝までは確実に進んでいる。

そこで本研究は、風の影響を取り除いた手法を用いて、第8回から第10回大会の世界選手権男子ショートスプリント(100mと200m)種目を総括して、ファイナリストや準決勝に進出したが決勝に進出できなかった選手(以下「セミファイナリスト」という)を中心に予選、準決勝、決勝などの各ラウンドの記録を分析することによって、どのような戦略で臨んでいるのか傾向を明らかにすることを目的とした。

II. 研究の方法

本研究は、隔年ごとに開催される世界選手権男子ショートスプリント種目である100mと200mの公式データ(IAAF 2001, 2003, 2005)を収集し、各ラウンドの記録の平均値や標準偏差値、ファイナリスト、セミファイナリストの予選から決勝までの記録推移などを分析した。

なお、自己最高記録の90%未満の記録は、怪我、故障や戦意喪失などで全力に程遠いものと判断して、削除し計算した。

ショートスプリント種目の記録は、陸上競技規則第260条②(4)(日本陸上競技連盟 2005)によって風の影響により公認されない場合があり、風向風速により記録は影響(伊藤宏ら 2001)を受ける。そのため、Linthone Nickの式(Linthorne N 1995)を援用し無風での記録に換算することによって3大会の記録を比較検討することができる。その式は、 $\Delta T = a(V - bV^2)$ で示され、 ΔT は、実際の記録と無風での記録との差、 a は、男子スプリンター「0.056」という定数で、 V は風向風速を、 $b = 1/(2V_{av})$ で表される。 V_{av} は、平均疾走速度を表している。

200mに関しても、前半に走るコーナーで2m

を超える強風を後ろから受けても公式の風向風速記録に反映されないことなどについて議論はある(Mureika J 2000)ものの、同様の式を用いて換算し検討した。

なお、第8回大会100m2次予選は5組行われ、その時の風向風速は各組向風3.5m前後とレース後に一旦表示されたが、その後公式には、計測機器故障として参考記録となった。競技場内でレースを見ていた著者らの感覚、選手の動きや記録から3mを超える追風であることは間違いないと感じていたため、本研究においては、第8回大会100m2次予選の5組すべての風向風速を追風3.5mとして進めることとした。

統計分析は、3群以上の比較の場合は、一元配置の分散分析を行い、有意水準に達したものについて多重比較(LSD法)、年齢については対応のない2組の平均値の差の検定によって行い、有意水準はすべて5%未満とした。

III. 結果と考察

1. 年齢について

表1は、第8回大会、第9回大会、第10回大会の男子100mと200mにおける出場選手の平均年齢を示している。種目ごとに出場選手の年齢差はみられなかった。オゾーリンは、高度な競技活動の年齢帯を、選手が最初に国際試合で成功を収めた年齢帯、最高記録を達成する年齢帯、最高達成水準を維持する年齢帯の3ゾーンに分類している。その年齢帯を村木(1994)が作図したものによれば、高度な活動年齢帯として、男子100mは18~26歳、男子200mは19~26歳と報告している。第8回大会出場選手の平均年齢は、100mが24.6歳、200mが25.0歳であり、100mは19~39歳、200mは17~39歳の範囲であった。第9回大会出場選手の平均年齢は、100mが25.5歳、200mが25.2歳であり、100mは17~36歳、200mは17~41歳の範囲であった。第10回大会出場選手の平均年齢は、両種目とも24.6歳であり、100mは17~33歳、200mは19~34歳の範囲であった。このことは、オゾーリンが1970年に報告している30年前と比べて、高度な活動年齢帯の範囲が延びていることを示唆するものである。男子ショートスプリント種目は36歳頃まで確実に最高水準を維持できる年齢となっている。このことは、2つのゾーン、つまり選手が最初に国際試合で成功を収めた年齢帯や最高記録を達成する年齢帯は、変化がないものと考えられ、残る1つのゾーン

表1 第8回～第10回大会の男子100mと200mにおける出場選手の年齢

		100m			200m		
		全体	ファイナリスト	セミファイナリスト	全体	ファイナリスト	セミファイナリスト
第8回	人数(人)	80	8	8	52	8	8
	年齢(歳)	24.6±3.89	24.9±2.10	28.5±6.72	25.0±3.99	26.1±3.64	24.3±3.06
	年齢帯	19～39	22～28	19～39	17～39	22～33	21～31
第9回	人数	72	8	9	54	8	8
	年齢(歳)	25.5±4.17	26.1±3.31	25.6±4.10	25.2±4.55	27.5±3.96	23.3±2.05
	年齢帯	17～36	19～30	21～31	17～41	23～36	21～27
第10回	人数	62	8	8	61	8	8
	年齢(歳)	24.6±3.96	25.4±2.72	25.5±3.70	24.6±3.83	25.0±4.44	26.3±3.69
	年齢帯	17～33	22～29	21～30	19～34	19～33	21～33

年齢:平均±標準偏差

表2 第8回～第10回大会の100mと200mにおけるファイナリストおよびセミファイナリストの各ラウンドにおける記録

			1次予選	2次予選	準決勝	決勝	分散分析	
100m	第8回	ファイナリスト	人数	8	8	8	8	**
		記録(秒)	10.260±0.076	10.158±0.083	10.026±0.071	9.990±0.138	決=準<2<1	
	セミファイナリスト	人数	8	8	7		ns	
		記録(秒)	10.251±0.045	10.231±0.054	10.247±0.073			
	第9回	ファイナリスト	人数	8	8	8	8	**
		記録(秒)	10.206±0.063	10.090±0.056	10.154±0.032	10.123±0.060	決<1.2<1.準>2	
	セミファイナリスト	人数	9	9	9		**	
		記録(秒)	10.230±0.053	10.193±0.069	10.359±0.096		準>2=1	
	第10回	ファイナリスト	人数	8	8	8	8	**
		記録(秒)	10.254±0.106	10.185±0.076	10.053±0.093	10.096±0.094	決=準<1.準<2	
	セミファイナリスト	人数	8	8	8		ns	
		記録(秒)	10.231±0.067	10.186±0.128	10.178±0.109			
第8回～第10回	ファイナリスト	人数	24	24	24	24	**	
	記録(秒)	10.240±0.082	10.144±0.079	10.078±0.086	10.070±0.112	決=準<2<1		
セミファイナリスト	人数	25	25	24		ns		
	記録(秒)	10.237±0.053	10.203±0.085	10.266±0.118				
200m	第8回	ファイナリスト	人数	8	8	8	8	**
		記録(秒)	20.445±0.125	20.288±0.100	20.203±0.090	20.226±0.093	決=準<1.2<1	
	セミファイナリスト	人数	8	8	8		ns	
		記録(秒)	20.645±0.116	20.510±0.113	20.565±0.126			
	第9回	ファイナリスト	人数	8	8	8	8	**
		記録(秒)	20.510±0.075	20.364±0.176	20.261±0.111	20.429±0.089	決>準.準=2<1	
	セミファイナリスト	人数	8	8	8		ns	
		記録(秒)	20.558±0.154	20.626±0.085	20.591±0.113			
	第10回	ファイナリスト	人数	8	8	8	7	**
		記録(秒)	20.564±0.223	20.774±0.221	20.508±0.136	20.354±0.252	決=準<2	
	セミファイナリスト	人数	8	8	7		*	
		記録(秒)	20.620±0.238	20.834±0.089	20.884±0.137		準=2>1	
第8回～第10回	ファイナリスト	人数	24	24	24	23	**	
	記録(秒)	20.506±0.161	20.475±0.264	20.324±0.174	20.336±0.172	決=準<2=1		
セミファイナリスト	人数	24	24	23		ns		
	記録(秒)	20.608±0.169	20.657±0.161	20.671±0.183				

記録:平均±標準偏差 分散分析:** p<0.01, * p<0.05, ns no significant

である最高達成水準を維持する年齢帯が広がっていると考えられる。その理由として、競技を行うことによって収入を得るなど、生活環境が充実することによって競技に専念できる期間が長くなってきたためと思われる。

また、100m、200mそれぞれのファイナリストら、セミファイナリストらの平均年齢は、それぞれの種目の出場選手全体の平均年齢と比べると、第8回大

会の100mセミファイナリストらの平均年齢に差がみられたが、その他には差はみられなかった。一方、年齢帯をみると100mに比べ200mのファイナリストらは、最大値の年齢が若干高い傾向にあった。したがって、200mについては最高水準を維持し、決勝まで進むためには世界選手権やオリンピックなどの大会出場経験を重ねることが必要であると考えられる。

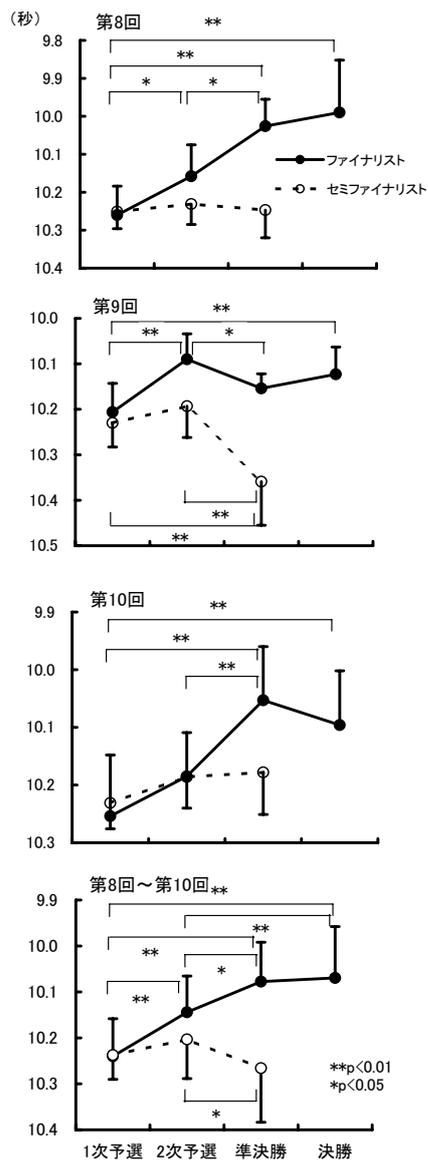


図1 各大会における男子100mファイナリスト、セミファイナリストの平均記録推移

2. ファイナリストら、セミファイナリストらの平均記録について

表2は、第8回大会、第9回大会、第10回大会それぞれの男子100mと200mにおける、ファイナリストらとセミファイナリストらの平均記録をラウンドごとに示している。また、第8回から第10回の3大会をまとめたファイナリストらおよびセミファイナリストらの平均記録もラウンドごとに示している。図1は、第8回大会、第9回大会、第10回大会と第8回から第10回の3大会をまとめた100mのファイナリストらおよびセミファイナリストらの平均記録の推移を図示したものである。図2は、200mの平均記録推移を100mと同様に図示した

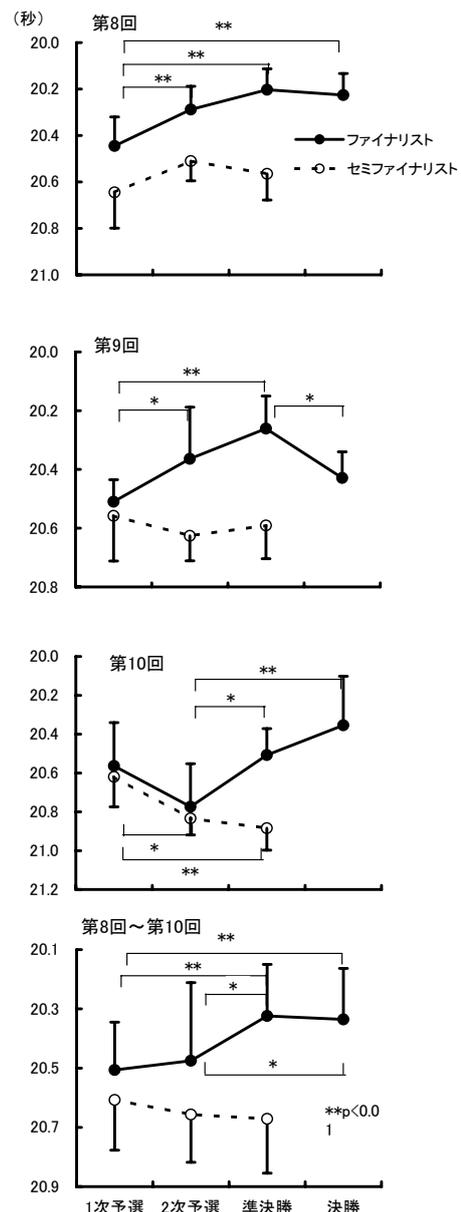


図2 各大会における男子200mファイナリスト、セミファイナリストの平均記録推移

ものである。

第8回大会、第9回大会、第10回大会及び第8回から第10回の3大会をまとめた100mファイナリストらにおける1次予選、2次予選、準決勝、決勝の記録推移は、分散分析によりそれぞれ有意性が認められた(表2)。3大会それぞれでラウンドごとに記録推移の傾向は異なるが、図1の3大会をまとめた記録推移により1次予選と2次予選、準決勝、決勝の記録に明らかに差がみられ、準決勝と決勝に差がみられなかった。これらのことにより、100mファイナリストらは、1次予選から徐々に記録を短縮し、決勝との記録差がほとんどないほど準決勝で最高のパフォーマンスを発揮していたと考えられる。

100 mセミファイナリストらにおける1次予選、2次予選、準決勝の記録推移は、分散分析により第9回大会を除き、2大会は有意な差がみられなかった。第9回大会は、準決勝で記録が悪くなっていたことに、差が認められた。図1の3大会をまとめた記録推移によりセミファイナリストらは、1次予選から準決勝まで記録を短縮できないだけでなく、2次予選の記録より準決勝での記録が悪くなっている。このことは、セミファイナリストらはファイナリストらと準決勝でのレースにおいて、自動化された動きを乱され、予選で発揮した能力を出し切れなかったためと考えられることから、少なくとも準決勝でベストパフォーマンスを出す準備が必要となることが示唆される。日本選手が現在持っている能力でも、自動化された動きを乱されることなく準決勝でベストパフォーマンスを出すことができれば、決勝進出も可能となるであろう。

第8回大会、第9回大会、第10回大会及び第8回から第10回の3大会をまとめた200 mファイナリストらにおける1次予選、2次予選、準決勝、決勝の記録推移は、分散分析によりそれぞれ有意性が認められた(表2)。なお、第10回大会の2次予選の記録が落ち込んでいるのは、当初予定されていた時間に大雨で次の日に延期になり、準決勝のある午前中に行われたため、記録が低下していると考えられる。3大会それぞれでラウンドごとに記録推移の詳細な傾向は異なるが、図2の3大会をまとめた記録推移により1次予選と2次予選の記録に有意な差はみられないが、2次予選と準決勝の記録に有意な差がみられ、決勝では準決勝と有意な差はないが記録が低下している。これらのことにより、200 mファイナリストらは、2次予選まで楽に走り、決勝との記録差がほとんどないほど、準決勝で最高のパフォーマンスを発揮していたと考えられる。

200 mセミファイナリストらにおける1次予選、2次予選、準決勝の記録推移は、分散分析により第10回大会を除き、2大会は有意性が認められなかった。第10回大会は、1次予選と比べ2次予選や準決勝で記録が悪くなっていたことに差が認められた。2次予選の記録の落ち込みについてはファイナリストらと同様、日程の変更が影響しているものと考えられる。図2の3大会をまとめた記録推移からも、セミファイナリストらは、1次予選から準決勝まで記録を短縮することができないことから、準決勝でベストパフォーマンスを出すために力を温存するなど1次予選の走り方から再考する必要があると示唆される。

3. 選手個人の記録推移について

表3は、第8回大会、第9回大会、第10回大会100 mのファイナリスト、セミファイナリストそれぞれの選手について、各ラウンドの記録及び大会時の最高記録を100%とした時の各ラウンドにおける記録割合を表したものである。

第8回大会ゴールドメダリストのグリーン選手と2位のモンゴメリー選手の記録割合推移は、1次予選でそれぞれ95%、94.8%、2次予選で97.7%、97.6%、準決勝で両者とも98.7%、決勝でも両者100%と同じようなパターンを示している。

第9回大会のファイナリストについて、決勝で記録割合が100%の選手は、3位のキャンベル選手、6位のウイリアムス選手の2名しかおらず、その他の6選手は、2次予選で記録割合が100%であった。

第10回大会では、優勝したガトリン選手は、第8回大会グリーン選手やモンゴメリー選手と同様、徐々に記録を伸ばし決勝で記録割合が100%であった。また、準決勝で最も遅い記録で決勝に進んだオビクウェル選手も決勝で最も良い記録で走り4位となっている。

第8回から第10回の3大会を通じて、第8回大会優勝グリーン選手、2位モンゴメリー選手、第10回大会の優勝ガトリン選手は、ラウンドごとに記録を向上させ決勝で記録割合が100%であったことから、他の選手と比べて力の差があったと考えられる。一方、第9回大会の決勝は100分の1秒の中に第1位から第4位までゴールした記録からわかるように、非常に混戦となった大会では、2次予選からファイナリストらも記録割合が100%となり、ラウンドごとに記録を向上させることが難しかったと考えられる。

3大会連続入賞しているコリンズ選手は、第9回大会において準決勝は最も遅い記録で通過しながら優勝している。さらに第10回大会においても2次予選において着順による通過でなく、記録によるプラス通過で準決勝に進み、準決勝でも決勝に進める最下位の4位で通過し、見事決勝では3位に入賞している。このことをコリンズ選手の戦略と判断することは難しいが、100mにおいて何とか準決勝を通過すれば、決勝でのメダル獲得は、可能であると考えられる。

表4は、第8回大会、第9回大会、第10回大会200 mのファイナリスト、セミファイナリストそれぞれの選手について、各ラウンドの記録及び大会時の最高記録を100%とした時の各ラウンドにおける

表3 3大会の100mにおけるファイナリスト、セミファイナリストの各ラウンドの記録および記録割合

成績結果	氏名	記録の推移(秒)				記録割合の推移(%)				
		1次予選	2次予選	準決勝	決勝	1次予選	2次予選	準決勝	決勝	
第8回										
ファイナリスト	F-1	GREENE Maurice	10.33	10.04	9.94	9.81	95.0	97.7	98.7	100.0
	F-2	MONTGOMERY Tim	10.38	10.08	9.97	9.84	94.8	97.6	98.7	100.0
	F-3	WILLIAMS Bernard	10.22	10.11	9.96	9.93	97.2	98.2	99.7	100.0
	F-4	BOLDON Ato	10.13	10.22	10.05	9.97	98.4	97.6	99.2	100.0
	F-5	CHAMBERS Dwain	10.27	10.13	10.00	9.98	97.2	98.5	99.8	100.0
	F-6	COLLINS Kim	10.28	10.16	10.05	10.06	97.8	98.9	100.0	99.9
	F-7	MALCOLM Christian	10.26	10.25	10.14	10.10	98.4	98.5	99.6	100.0
	F-8	ZAKARI Abdul Aziz	10.21	10.27	10.10	10.23	98.9	98.3	100.0	98.7
セミファイナリスト	SF-1-5	LEWIS-FRANCIS Mark	10.25	10.13	10.19		98.8	100.0	99.4	
	SF-2-5	EMEDOLU Uchenna	10.18	10.22	10.19		100.0	99.6	99.9	
	SF-2-6	THOMPSON Obadele	10.30	10.19	10.21		98.9	100.0	99.8	
	SF-2-7	SHRVINGTON Matthew	10.27	10.30	10.22		99.5	99.2	100.0	
	SF-1-6	BAILEY Donovan	10.20	10.27	10.26		100.0	99.3	99.4	
	SF-1-7	ASAHARA Nobuharu	10.23	10.22	10.26		99.9	100.0	99.6	
	SF-1-8	DOUGLAS Troy	10.30	10.25	10.40		99.5	100.0	98.6	
	SF-2-8	SURIN Bruny	10.28	10.27			99.9	100.0		
第9回										
ファイナリスト	F-1	COLLINS Kim	10.14	10.05	10.19	10.07	99.1	100.0	98.6	99.8
	F-2	BROWN Darrel	10.19	10.01	10.14	10.08	98.2	100.0	98.7	99.3
	F-3	CAMPBELL Darren	10.17	10.14	10.15	10.08	99.1	99.4	99.3	100.0
	F-4	CHAMBERS Dwain	10.34	10.06	10.09	10.08	97.3	100.0	99.7	99.8
	F-5	MONTGOMERY Tim	10.16	10.07	10.17	10.11	99.1	100.0	99.0	99.6
	F-6	WILLIAMS Bernard	10.23	10.15	10.14	10.13	99.0	99.8	99.9	100.0
	F-7	ALIU Deji	10.23	10.07	10.17	10.21	98.4	100.0	99.0	98.6
	F-8	EMEDOLU Uchenna	10.19	10.17	10.18	10.22	99.8	100.0	99.9	99.5
セミファイナリスト	SF-2-5	THOMAS Dwight	10.26	10.27	10.22		99.6	99.5	100.0	
	SF-2-6	BOLDON Ato	10.27	10.13	10.25		98.6	100.0	98.8	
	SF-2-7	POGNON Ronald	10.30	10.27	10.28		99.7	100.0	99.9	
	SF-1-5	MACROZONARIS Nicolas	10.22	10.20	10.30		99.8	100.0	99.0	
	SF-2-8	GREENE Maurice	10.15	10.07	10.40		99.2	100.0	96.8	
	SF-1-6	NKANSAH Eric	10.15	10.15	10.42		100.0	100.0	97.4	
	SF-2-9	VIRIES Sherwin	10.24	10.21	10.44		99.7	100.0	97.8	
	SF-1-7	ASAHARA Nobuharu	10.27	10.26	10.45		99.9	100.0	98.2	
SF-1-8	LEWIS-FRANCIS Mark	10.21	10.18	10.47		99.7	100.0	97.2		
第10回										
ファイナリスト	F-1	GATLIN Justin	10.18	10.15	9.93	9.90	97.2	97.5	99.7	100.0
	F-2	FRATER Michael	10.34	10.06	10.12	10.07	97.3	100.0	99.4	99.9
	F-3	COLLINS Kim	10.33	10.25	10.01	10.07	96.9	97.7	100.0	99.4
	F-4	OBIKWELU Francis	10.20	10.23	10.16	10.09	98.9	98.6	99.3	100.0
	F-5	THOMAS Dwight	10.20	10.16	10.00	10.11	98.0	98.4	100.0	98.9
	F-6	SCOTT Leonard	10.12	10.12	10.11	10.15	99.9	99.9	100.0	99.6
	F-7	BURNS Marc	10.44	10.22	10.15	10.16	97.2	99.3	100.0	99.9
	F-8	ZAKARI Abdul Aziz	10.22	10.29	9.94	10.22	97.3	96.6	100.0	97.3
セミファイナリスト	SF-2-5	GARDENER Jason	10.11	10.35	10.02		99.1	96.8	100.0	
	SF-2-6	EMEDOLU Uchenna	10.17	10.10	10.10		99.3	100.0	100.0	
	SF-2-7	BROWN Darrel	10.30	10.04	10.10		97.5	100.0	99.4	
	SF-2-8	POGNON Ronald	10.20	10.05	10.11		98.5	100.0	99.4	
	SF-1-5	FASBA Olusoji A	10.24	10.17	10.21		99.3	100.0	99.6	
	SF-1-6	DEVONISH Marlon	10.27	10.14	10.27		98.7	100.0	98.7	
	SF-1-7	ROSS Jhshua	10.30	10.35	10.30		100.0	99.5	100.0	
	SF-1-8	CRAWFORD Shawn	10.26	10.29	10.31		100.0	99.7	99.5	

成績結果欄のF-1とは、決勝1着を示し、SF-2-4は、準決勝2組4着を示している。

記録割合を表したものである。

第8回大会ゴールドメダリストのケデリス選手の記録割合推移は、1次予選と2次予選で98.5%、準決勝で99.9%、決勝では100%と完璧な優勝パターンを示している。また、2位や3位と同記録ながら4位のクロフォードも1次予選98.1%、2次予選99.8%、準決勝99.8%、決勝100%と決勝で最も良い記録で走っていた。2位から4位まで同記録であるが、3位のコリンズ選手は、準決勝で決勝に進める最下位の4位で通過しメダルを獲得している。5位から8位までの選手は、準決勝が個人の最も良い記録となり、決勝では記録を伸ばすことができなかった。

第9回大会では、ファイナリスト8名すべてが、決勝で記録が準決勝よりも低下していることがわかる。これは、準決勝2組の環境条件は、追風0.6mと0.0m、気温と湿度はともに24度、61%であり、決勝では追風0.1mと悪くない環境であったが、気温17度、湿度82%と良くない環境で行われたことが原因のひとつでもあるが、体力的な疲労としても考えられる。また、決勝3位であった末續選手については、準決勝で4番目の記録であったが、決勝でひとりかわして3位に入賞したのは、勝負強いことがうかがえた。

第10回大会では、優勝したガトリン選手や3位のカペル選手は、2次予選で記録を落としたものの、

表4 3大会の200mにおけるファイナリスト、セミファイナリストの各ラウンドの記録および記録割合

	成績結果	氏名	記録の推移(秒)				記録割合の推移(%)			
			1次予選	2次予選	準決勝	決勝	1次予選	2次予選	準決勝	決勝
第8回 ファイナリスト	F-1	KEDERIS Konstadinos	20.36	20.36	20.07	20.05	98.5	98.5	99.9	100.0
	F-2	WILLIAMS Christopher	20.28	20.22	20.15	20.21	99.4	99.7	100.0	99.7
	F-3	COLLINS Kim	20.44	20.23	20.31	20.21	98.9	99.9	99.5	100.0
	F-4	CRAWFORD Shawn	20.61	20.25	20.25	20.21	98.1	99.8	99.8	100.0
	F-5	MALCOLM Christian	20.34	20.19	20.13	20.23	99.0	99.7	100.0	99.5
	F-6	BUCKLAND Stephane	20.63	20.29	20.20	20.25	97.9	99.6	100.0	99.8
	F-7	LITTLE Kevin	20.42	20.26	20.18	20.26	98.8	99.6	100.0	99.6
	F-8	DEVONISH Marlon	20.48	20.50	20.33	20.39	99.3	99.2	100.0	99.7
	SF-2-5	TORRIERI Marco	20.68	20.49	20.42		98.7	99.7	100.0	
	SF-2-6	SUETSUGU Shingo	20.55	20.54	20.43		99.4	99.5	100.0	
	SF-2-7	EMEDOLU Uchenna	20.64	20.46	20.44		99.0	99.9	100.0	
	SF-1-5	URBAS Marcin	20.44	20.46	20.53		100.0	99.9	99.6	
	SF-1-6	FUJIMOTO Toshiyuki	20.78	20.76	20.61		99.2	99.3	100.0	
	SF-2-8	DA SILVA Claudinei Quirino	20.80	20.50	20.68		98.6	100.0	99.1	
	SF-1-7	HARTONEN Tommi	20.63	20.50	20.70		99.4	100.0	99.0	
	SF-1-8	BATANGDON Joseph	20.64	20.37	20.71		98.7	100.0	98.4	
第9回 ファイナリスト	F-1	CAPEL John	20.56	20.31	20.18	20.31	98.2	99.4	100.0	99.4
	F-2	PATTON Darvis	20.24	20.43	20.06	20.32	99.1	98.2	100.0	98.7
	F-3	SUETSUGU Shingo	20.60	20.35	20.22	20.39	98.2	99.4	100.0	99.2
	F-4	CAMPBELL Darren	20.49	20.36	20.34	20.40	99.3	99.9	100.0	99.7
	F-5	BUCKLAND Stephane	20.42	20.10	20.14	20.42	98.4	100.0	99.8	98.4
	F-6	JOHNSON Jhshua J	20.59	20.26	20.39	20.48	98.4	100.0	99.4	98.9
	F-7	FREDERICKS Frank	20.60	20.50	20.32	20.48	98.6	99.1	100.0	99.2
	F-8	EMEDOLU Uchenna	20.58	20.60	20.44	20.63	99.3	99.2	100.0	99.1
	SF-2-5	WILLIAMS Ricardo	20.57	20.64	20.45		99.4	99.1	100.0	
	SF-1-5	MALCOLM Christian	20.69	20.61	20.46		98.9	99.3	100.0	
	SF-1-6	JEDRUSINSKI Marcin	20.55	20.54	20.51		99.8	99.9	100.0	
	SF-2-6	VRIES Sherwin	20.35	20.63	20.59		100.0	98.6	98.8	
	SF-2-7	CAVALLARO Alessandro	20.39	20.50	20.59		100.0	99.5	99.0	
	SF-2-8	WISSMAN Johan	20.57	20.70	20.66		100.0	99.4	99.6	
	SF-1-7	AL-BISHI Hamed	20.83	20.77	20.73		99.5	99.8	100.0	
	SF-1-8	DEMERITTE Dominic	20.51	20.62	20.74		100.0	99.5	98.9	
第10回 ファイナリスト	F-1	GATLIN Justin	20.77	20.82	20.45	20.01	96.3	96.1	97.8	100.0
	F-2	SPEARMON Wallace	20.34	21.01	20.48	20.17	99.2	96.0	98.5	100.0
	F-3	CAPEL John	20.49	20.53	20.44	20.28	99.0	98.8	99.2	100.0
	F-4	GAY Tyson	20.18	20.57	20.25	20.31	100.0	98.1	99.7	99.4
	F-5	BUCKLAND Stephane	20.78	20.59	20.52	20.38	98.1	99.0	99.3	100.0
	F-6	JOHNSON Patrick	20.65	21.04	20.63	20.55	99.5	97.7	99.6	100.0
	F-7	UNGER Tobias	20.52	21.01	20.62	20.78	100.0	97.7	99.5	98.7
	F-8	BOLT Usain	20.78	20.62	20.67		99.2	100.0	99.8	
	SF-2-5	WILLIAMS Christopher	20.71	20.81	20.70		100.0	99.5	100.0	
	SF-1-5	SAIDY NDURE Jaysuma	20.33	20.88	20.74		100.0	97.4	98.0	
	SF-2-6	SUETSUGU Shingo	20.83	20.86	20.82		100.0	99.8	100.0	
	SF-2-7	DEVONISH Marion	20.82	20.83	20.91		100.0	100.0	99.6	
	SF-1-6	BATMAN Daniel	20.55	20.83	20.97		100.0	98.7	98.0	
	SF-2-8	JEDRUSINSKI Marcin	20.33	21.00	20.97		100.0	96.8	96.9	
	SF-1-7	MALCOLM Christian	20.45	20.77	21.08		100.0	98.5	97.0	
	SF-1-8	ARMSTRONG Aaron	20.94	20.69			98.8	100.0		

成績結果欄のF-1とは、決勝1着を示し、SF-2-4は、準決勝2組4着を示している。

徐々に記録を伸ばし決勝で最高記録を出していた。また、5位に入賞したバックランド選手は、ほとんどの選手が2次予選で記録を落とした中、2次予選でも記録を落とさず1次予選から徐々に記録を伸ばした。

第8回から第10回の3大会を通じて、第8回大会の優勝ケデリス選手、第10回大会の優勝ガトリン選手は、ラウンドごとに記録を向上させ決勝で記録割合が100%であったことから、他の選手と比べて力の差があったと考えられる。また、3大会連続でファイナリストとなったバックランド選手、第9回大会優勝と第10回大会3位のカペル選手は、ラウンドごとに記録を伸ばし試合巧者であるといえ

る。したがって、200mにおいては、メダルを獲得するためには、決勝で最高のパフォーマンスを発揮するために、力を温存して準決勝を通過することが必要と考えられる。

IV. まとめ

本研究では、世界選手権第8回から第10回大会までの3大会を通じてショートスプリント種目である男子100m、200mについて、ファイナリストの記録推移などを分析した。その結果は、次のとおりである。

1. 世界選手権出場選手の平均年齢については、大

会、種目、ラウンドに顕著な年齢差はみられず25歳前後であり、年齢帯は17歳から39歳前後であった。このことから、オゾーリンがいう最高達成水準を維持する年齢帯が延長していると考えられる。

2. 100 mファイナリストらは、1次予選から徐々に記録を短縮し、決勝との記録差がほとんどないほど準決勝で最高のパフォーマンスを発揮していた。100 mセミファイナリストらは、1次予選から準決勝まで記録を短縮できないだけでなく、2次予選の記録より準決勝での記録が低下していることから少なくとも準決勝でベストパフォーマンスを出すことが重要であると考えられる。

3. 200 mファイナリストらは、1次予選と2次予選の記録に有意な差はみられず、2次予選と準決勝の記録に有意な差がみられ、決勝では準決勝と有意な差はみられなかったことにより、2次予選まで楽に走り、準決勝で最高のパフォーマンスを発揮していたと考えられる。200 mセミファイナリストらは、1次予選から準決勝まで記録を短縮することができないことから、準決勝でベストパフォーマンスを出すために1次予選の走り方から再考する必要があると示唆される。

4. ファイナリストの記録推移から、100 mについては、3大会連続入賞しているコリンズ選手が行った戦略を実行することができれば、メダル獲得は可能であると考えられ、200mについては、力を温存して準決勝を通過することが、決勝で最高のパフォーマンスを発揮しメダル獲得を可能にすると考えられる。

参考・引用文献

有川秀之、高野進、麻場一徳 (2004) 男子短距離種目の分析的研究 - 第9回世界選手権大会において -, 日本陸上競技紀要, Vol17, pp66-75.

有川秀之、原田康弘、高野進、川本和久 (2002) 第8回世界選手権大会における短距離種目の分析的研究, 日本陸上競技紀要, Vol15, pp75-86.

IAAF: Official Paper (2001) '8th IAAF World Championships. Edmonton', From Friday 3 August to Sunday 12 August 2001

IAAF: Official Paper (2003) '9th IAAF World Championships in Athletics. Paris', From Saturday 23 August to Sunday 31 August 2003

IAAF: Daily Programme 1・4・Final Results(2005) '10th IAAF World Championships

in Athletics. Helsinki', From Saturday 6 August to Sunday 14 August 2005

伊藤宏、安田睦 (2001) 100mと400mトッブスプリンターの試合構成(試合運び)における実力発揮に関する研究, 日本陸上競技紀要, Vol14, pp62-71.

Linthorne Nick(1995) Wind assistance in the 100m sprint, SPRINT & RELAYS(4th), Track & Field News, pp111-114.

村木征人 (1994) スポーツ・トレーニング理論, ブックハウスエイチジィー.

Mureika Jonas(2000) The legality of wind and altitude assisted performances in the sprints, New Study in Athletics, Vol15.3/4, pp53-58.

日本陸上競技連盟 (2005) 陸上競技ルールブック 2005年版, あい出版.

岡野進 (1995) 第12回広島アジア大会・陸上競技出場選手の成績(記録)についての一考察, 日本陸上競技紀要, Vol18, pp24-35.

中高年齢女性の 100 m 走競技における疾走速度遞減率

田中 秀一¹⁾ 印牧 司人²⁾ 奥村 浩司³⁾

1) 福井大学教育地域科学部 2) 大野市立上庄小学校 3) 福井大学大学院教育学研究科

Deceleration rate of velocity in 100-m races in middle-aged and elderly female runners.

Shuichi TANAKA¹⁾ Morito KANEMAKI²⁾ Koji OKUMURA³⁾

1) Faculty of Education and Regional Studies, Fukui University

2) Kamisho Elementary School, Ohno, Fukui Prefecture

3) Graduate School of Education, Fukui University

Abstract

This study was undertaken to clarify the deceleration rate of velocity in female runners during the final 90-100m in 100-m races. The subjects were 59 middle-aged and elderly female master and recreational runners aged 35 to 80. They were divided into 8 classes (W35, W40, W45, W50, W55, W60, W65 and W70+) based on the ages of the runners. The running performances during the peak velocity phase (30-60m at 10-m intervals) and the final velocity phase (90-100m) were recorded with digital video cameras. Velocity, stride length (SL), stride frequency (SF), contact time (CT) and flight time (FT) during both peak velocity and final velocity phases were measured.

The results were as follows:

- 1) Velocity during the final velocity phase decreased significantly from the peak velocity phase in all classes and the mean deceleration rate of velocity ranged from 8.6% to 18.5%.
- 2) SL during the final velocity phase did not differ from during the peak velocity phase (except W40 class), whereas SF during the final velocity phase decreased from the peak phase significantly in all classes. The rate of reduction in stride frequency was almost equal to the deceleration rate of velocity.
- 3) The relationships between the individual values of deceleration rates and the relative values of the SL and SF were negatively significant.
- 4) Stride time (CT + FT) during the final velocity phase increased from the peak velocity phase significantly in all classes. Both CT and FT also increased significantly in all classes, except FT in W55 and W40 classes.

The results of this study indicated that the deceleration of velocity in the final velocity phase in 100-m races was induced by two factors. One factor is the reduction of both SL and SF. Another one is the rate of reduction of SF being greater than the increased rate of SL. It is suggested that improving the endurance of the extension muscles of hip joints could make it possible to prevent deceleration of the velocity during the final phase.

I. はじめに

運動パフォーマンスは、加齢とともに低下することがよく知られている。その特徴は、多くの異なった筋群が共同して作用することを必要とす

る、全身運動の速度と力を生み出す能力の低下である。神経筋系の能力に大きく依存する複雑な全身運動である短距離走は、筋群が伸張と短縮を繰り返して爆発的な力を発生させる (Mero ら, 1981 ; Mero and Komi, 1986)。中高年齢者を対象にした短

距離走に関する研究はいくつか報告（有川，1992；Hamilton，1993；Korhonenら，2003；田中と印牧，2004；2005）されており、短距離走パフォーマンスも加齢とともに低下することが明らかにされている。Hamilton(1993) はマスターズ競技者を対象にして、100 mと200 m走の最高速度が加齢とともに低下する原因は、主として歩幅が減少するためであると報告した。さらに、エリートの男女マスターズ競技者を対象にしたKorhonenら(2003)、男女の中高齢者を対象にした田中と印牧(2004，2005)は、いずれも100 m走における中間疾走局面の最高速度が加齢とともに低下し、疾走速度を決定する歩幅と歩数頻度について、加齢とともに歩幅は減少したが歩数頻度はほとんど変化しなかったことを報告している。

100 m走記録と最高速度は高い正の相関関係があり、100 m走記録を向上させるためには最高速度を高めることが重要であると、一流選手（阿江ら，1994；大田と有川，1998；小林，2001；杉田と松尾，2001）、小学5・6年生の男女児童（加藤ら，2002）および男女の中高齢者（田中と印牧，2004；2005）について明らかにされている。さらに、最高速度を発揮した後はゴールまで最高速度の高い割合を維持する、すなわち速度逓減率を低くすることも重要であると指摘されている（阿江ら，1994）。中高齢者を対象にした速度逓減率に関しては、Korhonenら(2003)によつてのみ報告（男性では5～10%、女性では6～18%）されているようであり、加齢とともに速度逓減率は大きくなった。本研究は、マスターズ選手を含むスポーツを愛好している中高齢女性を対象にして、100 m走競技の速度逓減率を明らかにすることにより、記録の維持と向上に役立つ知見を得ようとした。

II. 方法

1. 対象

対象にしたのは、第17回全国スポーツ・レクリエーション祭マスターズ陸上競技(2004年10月)および、第17回福井マスターズ陸上競技選手権大会(2005年6月)の100 m走に出場した合計59名の女性選手(韓国人選手2名を含む)であった。参加年齢規定は、スポーツ・レクリエーション祭(4月1日の満年齢)とマスターズ陸上競技選手権大会(大会当日の満年齢)で異なるが、出場選手の年齢は分析資料に用いた競技会の年齢規定に基づく年齢とした。選手の年齢を日本マスターズ陸上競技連合

Table 1 Subjects of different age Classes(mean ± SD).

Class	N	Height (m)	100m Running Time (sec)
W35 (35-39 yr)	6	1.60±0.05	15.48±1.44
W40 (40-44 yr)	13	1.61±0.05	14.72±0.95
W45 (45-49 yr)	11	1.60±0.04	15.38±1.20
W50 (50-54 yr)	8	1.59±0.05	15.84±1.02
W55 (55-59 yr)	8	1.54±0.05	16.94±0.84
W60 (60-64 yr)	5	1.57±0.06	17.17±1.02
W65 (65-69 yr)	6	1.51±0.05	17.31±1.49
W70+(70-80 yr)	2	1.47±0.06	21.74±2.30

の年齢区分にしたがって、5歳毎に35～39歳をW35、40～44歳をW40のごとく、W45、W50、W55、W60、W65およびW70+の8クラスに分けた。表1に各クラスの数、身長および100 m走記録の平均値±SDを示した。

2. VTR撮影

通過タイムを計測するために、走路内側の縁石と8レーンの外側(30 m、40 m、50 m、60 mおよび90 m)にマークを貼り付け、走路両側のマークを結ぶ延長線上およびゴール地点の観客席から、3脚に固定した6台のデジタルビデオカメラで撮影録画(30フィールド/sec)した。ビデオカメラには、映像を同期させるためにLED型光呈示器(PH-106；ディケイエイチ)を取り付けた。

3. 算出したデータ

録画したビデオテープをパソコンに取り込み60フィールド/sec(Dual Stream；ディケイエイチ)で再生して、各10 m区間の所要時間およびその区間における4歩に要した時間と4歩の接地時間を読み取った。これらの時間を用いて、以下のデータを算出した。各区間の疾走速度のうち最も高い疾走速度を最高速度、90-100 m区間の疾走速度を終末速度として、それぞれの区間における速度、歩数および歩幅であった。速度逓減率は中野ら(1991)、阿江ら(1994)および持田ら(1999)にしたがって算出した。身長は選手の承諾を得て、選手招集所にて計測した。

- 各区間の疾走速度(m/sec) = 10 m ÷ 10 m区間の所要時間
- 歩数(歩/10 m) = 10 m区間の所要時間 ÷ 4歩に要した時間 × 4歩
- 歩数頻度(歩/sec) = 歩数 ÷ 10 m区間の所要時間
- 歩幅(m/歩) = 10 m ÷ 歩数

- ・滞空時間 (sec) = 1 歩時間 - 接地時間
- ・速度逡減率 (%) = (最高速度 - 終末速度) ÷ 最高速度 × 100
- ・歩幅変化 (%) = 最高速度区間の歩幅 ÷ 終末速度区間の歩幅 × 100
- ・歩数頻度変化 (%) = 最高速度区間の歩数頻度 ÷ 終末速度区間の歩数頻度 × 100

4. 統計処理

各項目に関する 2 区間の比較は、対応のある t - テストを用いた。W 70+ は対象者が 2 名のために、比較を行えなかった。相関関係はピアソンの相関係数を算出した。有意水準はいずれも 5 % 以下とした。

III. 結果

100 m 走記録 (表 1) は、W 35 の 15.48 ± 1.44sec と W 40 の 14.72 ± 0.95sec から W 70+ の 21.74 ± 2.30sec の範囲に及んだ。最高速度 (表 2) は、最も速い W 40 の 7.74 ± 0.44 m / sec から W 70+ の

5.34 ± 0.98 m / sec まで低下した。終末速度とした 90 - 100 m 区間の速度も、W 35 の 6.59 ± 0.82 m / sec と W 40 の 7.08 ± 0.52 m / sec から W 70+ の 4.36 ± 0.90 m / sec まで低下した。いずれのクラスも終末速度は最高速度よりも有意に逡減 (表 2) し、速度逡減率は W 35 の 12.1 ± 3.1% と W 40 の 8.6 ± 2.1% から W 70+ の 18.5 ± 2.0% であった。100 m 走記録と速度逡減率は有意な正の相関関係 (r=0.658, p<0.01) があり、速度逡減率が大きくなるにしたがって 100 m 走記録は低下した (図 1)。速度逡減率と年齢は、有意な正の相関関係 (r=0.372, p<0.01) があつた。

歩幅を最高速度区間と終末速度区間で比較すると、終末速度区間の歩幅が有意に大きくなった W 40 を除いて、他の 6 つのクラスはいずれも有意な差はなかつた (表 2)。歩数頻度については W 35 から W 65 のすべてのクラスが、最高速度区間よりも終末速度区間は有意に減少し、その減少率は W 45 の 10.2 ± 3.6% から W 65 の 13.4 ± 3.4% であつた (表 2)。終末速度区間における歩幅と歩数頻度を、

Table 2 Comparison of selected performance parameters of the 100-m run (mean ± SD).

	Age Group							
	W35	W40	W45	W50	W55	W60	W65	W70+
Velocity (m/sec)								
Peak phase	7.48 ± 0.69	7.74 ± 0.44	7.46 ± 0.48	7.28 ± 0.41	6.68 ± 0.32	6.72 ± 0.44	6.68 ± 0.49	5.34 ± 0.98
Final phase	6.59 ± 0.82	7.08 ± 0.52	6.69 ± 0.63	6.36 ± 0.50	6.00 ± 0.57	5.95 ± 0.42	5.78 ± 0.59	4.36 ± 0.90
Δ%	12.1 ± 3.1	8.6 ± 2.1	10.5 ± 3.5	12.7 ± 3.4	10.3 ± 5.1	11.4 ± 2.0	13.6 ± 3.7	18.5 ± 2.0
PV vs FV	※※	※※	※※	※※	※※	※※	※※	—
Stride length (m/stride)								
Peak phase	1.84 ± 0.14	1.83 ± 0.07	1.77 ± 0.12	1.72 ± 0.10	1.61 ± 0.09	1.56 ± 0.11	1.54 ± 0.12	1.27 ± 0.20
Final phase	1.83 ± 0.13	1.87 ± 0.09	1.77 ± 0.15	1.70 ± 0.08	1.64 ± 0.10	1.57 ± 0.11	1.53 ± 0.13	1.18 ± 0.18
SLP vs SLF	n.s.	※	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	—
Stride frequency (strides/sec)								
Peak phase	4.06 ± 0.25	4.23 ± 0.18	4.23 ± 0.21	4.24 ± 0.22	4.14 ± 0.14	4.30 ± 0.10	4.35 ± 0.17	4.21 ± 0.10
Final phase	3.60 ± 0.25	3.78 ± 0.19	3.80 ± 0.25	3.74 ± 0.24	3.65 ± 0.29	3.80 ± 0.17	3.77 ± 0.21	3.67 ± 0.20
Δ%	11.3 ± 3.6	10.6 ± 2.8	10.2 ± 3.6	11.7 ± 2.6	11.8 ± 6.6	11.6 ± 3.2	13.4 ± 3.4	12.9 ± 2.5
SFP vs SFF	※※	※※	※※	※※	※※	※※	※※	—
Stride time (sec)								
Peak phase	0.247 ± 0.016	0.237 ± 0.011	0.237 ± 0.011	0.237 ± 0.012	0.242 ± 0.008	0.233 ± 0.005	0.230 ± 0.009	0.237 ± 0.006
Final phase	0.279 ± 0.020	0.265 ± 0.014	0.264 ± 0.017	0.268 ± 0.017	0.276 ± 0.023	0.263 ± 0.011	0.266 ± 0.015	0.273 ± 0.015
STP vs STF	※※	※※	※※	※※	※※	※※	※※	—
Contact time (sec)								
Peak phase	0.125 ± 0.009	0.120 ± 0.008	0.122 ± 0.010	0.120 ± 0.008	0.127 ± 0.011	0.132 ± 0.011	0.122 ± 0.016	0.156 ± 0.033
Final phase	0.139 ± 0.014	0.132 ± 0.013	0.133 ± 0.009	0.141 ± 0.012	0.153 ± 0.017	0.148 ± 0.007	0.147 ± 0.019	0.188 ± 0.036
CTP vs CTF	※	※※	※※	※※	※※	※※	※※	—
Flight time (sec)								
Peak phase	0.122 ± 0.008	0.116 ± 0.010	0.115 ± 0.008	0.117 ± 0.011	0.115 ± 0.012	0.101 ± 0.008	0.108 ± 0.011	0.081 ± 0.027
Final phase	0.140 ± 0.012	0.133 ± 0.010	0.132 ± 0.017	0.128 ± 0.017	0.122 ± 0.018	0.116 ± 0.007	0.119 ± 0.017	0.085 ± 0.021
FTP vs FTF	※※	※※	※※	※	n.s.	※	n.s.	—

PV: peak velocity, FV: final velocity, SLP: stride length during peak phase, SLF: stride length during final phase, SFP: stride frequency during peak phase, SFF: stride frequency during final phase, STP: stride time during peak phase, STF: stride time during final phase, CTP: contact time during peak phase, CTF: contact time during final phase, FTP: flight time during peak phase, FTF: flight time during final phase.
Significant difference using a paired t-test ※ p<0.05 and ※※ p<0.01. n.s.: not significant

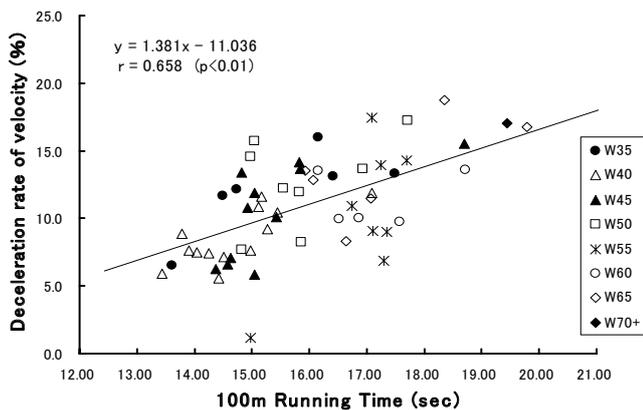


Figure 1 Individual values of deceleration rate of velocity as a function of 100-m running time. Deceleration rate of velocity = (velocity during peak phase - velocity during final phase) ÷ velocity during peak phase × 100.

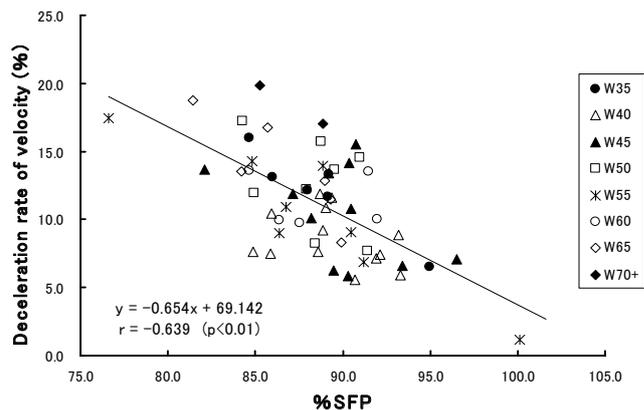


Figure 3 Individual values of deceleration rate of velocity as a function of % SFP. % SFP = stride frequency during final phase ÷ stride frequency during peak phase × 100.

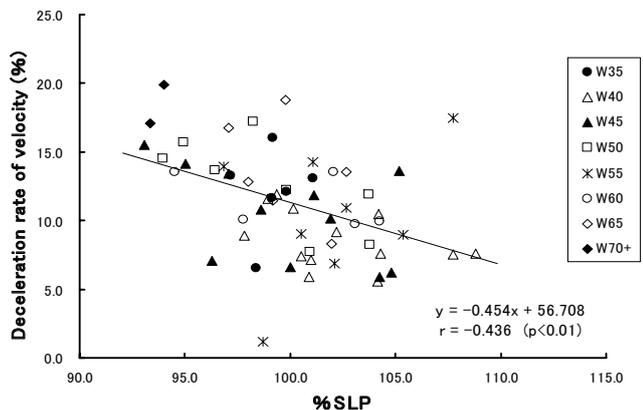


Figure 2 Individual values of deceleration rate of velocity as a function of % SLP. % SLP = stride length during final phase ÷ stride length during peak phase × 100.

最高速度区間に対する相対値 (%) で表して、速度逡減率との関係を図 2 と 3 に示した。歩幅の相対値が 100% を超えた走者は約半数の 31 名であったが、歩数頻度の相対値はすべての走者が 100% を超えなかった。速度逡減率と歩幅の相対値 ($r = -0.436$, $p < 0.01$) および、歩数頻度の相対値 ($r = -0.639$, $p < 0.01$) には有意な負の相関関係があった。

1 歩に要した時間は W 35 から W 65 のすべてのクラスが、終末速度区間は最高速度区間よりも有意に長くなった (表 2)。1 歩時間を構成する接地時間は、1 歩時間と同様に終末速度区間が最高速度区間よりも有意に長くなった。また滞空時間は、W 55 と W 65 に変化がなかったのを除いて、他の 5 つの

クラスは有意に長くなった。

IV. 考察

マスターズ選手を含むスポーツを愛好している中高年齢女性を対象にして、100 m 走競技の速度逡減率を明らかにした。速度逡減率は、世界一流選手の男性で 2 ~ 7 % と女性で 3 ~ 8 % (阿江ら, 1994 ; Ritzdorf, 1997 ; Ferro ら, 2001)、大学男子選手で 4 ~ 7 % (中野ら, 1991 ; 持田ら, 1999) と報告されている。エリートマスターズ競技者を対象にした Korhonen ら (2003) は、男性 37 名を 10 歳毎の 5 クラスに、女性 33 名を 35 - 39 歳以後は 10 歳毎に 6 クラスに分類した。男性の速度逡減率は 40 - 49 歳の 5.2% から 80 - 89 歳の 10.7% へ、女性の速度逡減率は 35 - 39 歳の 6.1% から 80 - 89 歳の 18.0% へと増加して、年齢と有意な相関関係 (男性 $r = 0.51$; $p < 0.01$, 女性 $r = 0.76$; $p < 0.001$) を示した。本研究の結果も、8 つのクラスに分類した W 40 の $8.6 \pm 2.1\%$ から W 70+ の $18.5 \pm 2.0\%$ であり、世界一流選手や大学男子選手よりも大きな速度逡減率であった。100 m 走における速度逡減に関して、中高年齢者では短い距離で最高速度に達するために、若い一流競技者よりも減速局面の距離が長いことを考慮すべきであると指摘 (Korhonen ら, 2003) されているごとく、最高速度に達した後の減速局面が長かったために大きな速度逡減率になったと考えられる。速度逡減率の範囲は、加齢とともに速度逡減率が増加した Korhonen ら (2003) とほぼ一致しているが、本研究では加齢ともなう速度逡減率の増加が明確でなかったために、年齢との相関関係

($r=0.372$)は有意であったものの低かった。疾走速度は、歩幅と歩数頻度の積である。2つの区間における歩幅を比較すると、W 40の終末速度区間(90-100 m)が有意に大きくなったのを除いて、いずれのクラスにも歩幅の変化はなかった。一方、歩数頻度はすべてのクラスの終末速度区間が、最高速度区間よりも有意に減少して、その減少率は速度逡減率に近かった。したがって、5歳毎に分類したクラスの終末速度区間における速度逡減は、歩数頻度が減少したために引き起こされたと考える。

走者毎に終末速度区間における歩幅と歩数頻度を、最高速度区間における歩幅と歩数頻度に対する相対値で表した速度逡減率との関係(図2と3)は、いずれも有意な負の相関関係があった。速度逡減率が大きいと歩幅の相対値は小さくなるという負の相関関係は、持田ら(1999)によって報告されたごとく、速度逡減率が大きいと歩幅の相対値も大きくなり正の相関関係があったこととは異なる。終末速度区間の歩幅が最高速度区間の歩幅よりも大きい走者は約半数の31名であり、このような走者は終末速度区間における疾走動作が変化したと考えられる。この変化には年齢毎によるクラス分けの明確な特徴はなく、クラス別に比較した2つの区間における歩幅に、W 40を除いて相違がなかった原因であろう。歩数頻度の相対値は速度逡減率が低い走者ほど大きく、最高速度区間の歩数頻度を維持していた。これらことから中高年齢女性の100 m走速度逡減は、歩幅と歩数頻度の両方が減少したこと、あるいは歩幅の増加率よりも歩数頻度の減少率が大きくなったこと、二つの原因のどちらかに起因すると考えられる。世界一流選手(阿江ら, 1994)と大学男子選手(岩井ら, 1997; 中野ら, 1991)では、歩数頻度のみが減少して歩幅には変化がなかったと報告されていることから、速度逡減を小さくするためには歩数頻度を維持することが重要であろう。高い歩数頻度を発揮するには脚の高いスティフネスが必要である(Farley and González, 1996)ことから、終末速度区間のみならず最高速度維持局面に続く減速局面では、スティフネスが低下し始めていたとも考えられる。足関節の高いスティフネスが接地時間と負の相関関係にあったこと(Kuitunenら, 2002)、走速度と関連する脚スティフネスに膝関節スティフネスが影響を及ぼし、走速度が増加するにしたがって足関節よりも膝関節スティフネスに大きな変化があった(Arampatzisら, 1999)と報告されている。

終末速度区間の歩数頻度が最高速度区間よりも有意に減少したと同時に、1歩時間も有意に増加した。

1歩時間を構成する接地時間と滞空時間について、接地時間は終末速度区間がいずれのクラスも有意に増加し、滞空時間は変化がなかったW 55とW 65を除いて有意に増加した。本研究は動作解析を行っていないが、股関節伸展速度の低下が減速局面で起きたために終末速度区間の接地時間が増加し、さらにキックの方向が上向きになり身体重心の上下動が滞空時間を増加させた(岩井ら, 1997; Chow, 1987)と推測される。岩井ら(1997)は疾走速度に密接な関係があるとされている脚のスイング速度低下が、脚の接地時間を増加させる主な原因であろうとしている。脚のスイング速度は股関節の伸展速度によって生じ(伊藤ら, 1992)、股関節の伸展速度は疾走速度と有意な正の相関関係がある(伊藤ら, 1998)。また接地時間は接地脚の筋群が身体を前方へ、そして続く滞空期に前方と上方に推進させる速度によって決定する。したがって終末速度区間における接地時間の増加は、接地脚筋群の短縮速度が遅くなったためと考えられる。短い接地時間にはType II線維の急速な動員が必要であるが、加齢にともない選択的に起こるType II線維数の減少(Lexellら, 1988; Frischknecht, 1998)と持久性低下によって、終末速度区間の接地時間が増加したのではないかと考える。春日(1997)は、加齢にともなう筋力低下の原因である筋萎縮の引き金となる運動単位や神経系の変化が、同様に筋持久力の変化にも関係していると考えられている、と述べている。100 m走記録と速度逡減率の有意な相関関係(図1)は、大学男子選手(100 m走記録; 11.37 ± 0.34 sec)を対象にした持田ら(1999)の相関関係($r=0.69$; $p<0.05$)とほぼ同様であった。減速局面では主働筋の筋疲労が関係している(阿部と深代, 1998)こと、終末速度区間の速度維持には股関節伸展筋群の持久力が大きく貢献する(持田ら, 1999)ことなどから、股関節伸展筋群の持久力を高めることによって、高い歩数頻度を維持し速度逡減率を少なくすることが可能になると考えられる。

V. まとめ

本研究は、マスターズ選手を含むスポーツを愛好している35~80歳の中高齢女性59名を対象にして、100 m走における疾走速度逡減率を明らかにしようとした。100 m走の最高速度区間と終末速度区間とした90~100 mにおける疾走速度、歩幅、歩数頻度および1歩時間(接地時間と滞空時間)を、撮影録画したVTRより算出した。以下のような知見

が得られた。

- 1) 疾走速度はすべてのクラスで、最高速度区間よりも終末速度区間が有意に低下し、その通減率の平均は8.6%から18.5%であった。
- 2) 歩幅はW 40を除く他のクラスで、最高速度区間と終末速度区間に差はなかったが、歩数頻度はすべてのクラスで終末速度区間が有意に減少した。歩数頻度の減少率と速度通減率は、ほぼ同じであった。
- 3) 速度通減率と終末速度区間の歩幅および歩数頻度の相対値との関係は、いずれも有意な負の相関関係があった。
- 4) 1歩時間はすべてのクラスで、最高速度区間よりも終末速度区間が有意に長くなり、接地時間と滞空時間(変化がなかったW 55とW 65を除く)ともに増加したためであった。

以上のことから中高年齢女性の100 m走速度通減は、歩幅と歩数頻度の両方が減少したこと、あるいは歩幅の増加率よりも歩数頻度の減少率が大きくなったこと、二つの原因のどちらかに起因すると考えられる。速度通減率を小さくするためには、股関節伸筋群の持久力を高めることで可能になると示唆された。

【謝辞】

データ収集に快く協力していただきました選手の皆様、並びに、ビデオ撮影を許可していただきました梅田善彦会長と鴻池清司理事長(日本マスターズ陸上競技連合)、南後千秋会長と酒井泉事務局長(福井マスターズ陸上競技連盟)、遠藤鉄雄理事長と土田久秋氏(福井陸上競技協会)には、ここに記して厚く感謝いたします。

参考文献

阿部 孝、深代千之(1998)ある仮説:スプリント走における各局面の主要体力要素の研究. バイオメカニクス研究2:316-317.

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100 m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、東京:14-28.

Arampatzis, A., Brüggemann, G.-P. and Metzler, V. (1999) The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. J.

Biomech., 32:1349-1353.

有川秀之(1992)マスターズ陸上競技会100 m走の分析. 埼玉大学紀要 体育学編25:1-11.

Chow, J. W. (1987) Maximum speed of female high school runners. Int. J. Sport Biomech., 3:110-127.

Farley, C. T. and González, O. (1996) Leg stiffness and stride frequency in human running. J. Biomech., 29:181-186.

Ferro, A., Rivera, A., Pagola, I., Ferreruela, M., Martín, Á. and Rocandio, V. (2001) Biomechanical analysis of the 7th World Championships in Athletics Seville 1999. New Studies in Athletics 16:25-60.

Frischknecht, R. (1998) Effect of training on muscle strength and motor function in the elderly. Reprod. Nutr. Dev., 38:167-174.

Hamilton, N. (1993) Changes in sprint stride kinematics with age in master's athletes. J. Appl. Biomech., 9:15-26.

伊藤 章、市川博啓、斉藤昌久、佐川和則、伊藤道郎、小林寛道(1998)100 m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.

伊藤 章、斉藤昌久、佐川和則、加藤謙一(1992)ルイス、バレルと日本トップ選手のキック・フォーム. J. J. Sports Sci., 11:604-608.

岩井雄史、市川博啓、伊藤 章(1997)100 m走における疾走速度通減の要因. 身体運動のバイオメカニクス13:173-177.

春日規克(1997)生理学から筋持久力のエイジングの機構を探る. 山田 茂、福永哲夫編著 骨格筋. ナップ, 東京:189-200.

加藤謙一、佐藤里枝、内原登志子、杉田正明、小林寛道、岡野 進(2002)小学生スプリンターにおける短距離走の適正距離の検討. 体育学研究47:231-241.

小林寛道(2001)ランニングパフォーマンスを高めるスポーツ動作の創造. 杏林書院、東京.

Korhonen, M. T., Mero, A., and Suominen, H. (2003) Age-related differences in 100-m sprint performance in male and female master runners. Med. Sci. Sports Exerc., 35:1419-1428.

Kuitunen, S., Komi, P. V. and Kyröläinen, H. (2002) Knee and ankle joint stiffness in sprint running. Med. Sci. Sports Exerc., 34:166-

173.

- Lexell, J., Taylor, C.C. and Sjöström, M. (1988) What is the cause of the ageing atrophy? Total number, size and proportion of different fiber types studied in whole vastus lateralis muscle from 15- to 83-year-old men. *J. Neurol. Sci.*, 84: 275 – 294.
- Mero, A., Luhtanen, P., Viitasalo, J.T. and Komi, P.V. (1981) Relationships between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scand. J. Sports Sci.*, 3: 16 – 22.
- Mero, A. and Komi, P.V. (1986) Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationships at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 55: 553 – 561.
- 持田 尚、小林 諭、繁田 進、有吉正博 (1999) 100 m 疾走能力と下肢筋力およびその持久性との関係—各疾走局面に着目して—。陸上競技研究 38: 2 – 14.
- 中野正英、尾縣 貢、伊藤道郎、吉武信二 (1991) 100 m レース後半の疾走速度逡減を規定する動作要因の検討。陸上競技研究 6: 2 – 7.
- 太田 涼、有川秀之 (1998) 日本女子一流選手の 100 m レース分析—世界女子一流選手(マリオン・ジョーンズ)との比較—。運動とスポーツの科学 4: 15 – 21.
- Ritzdorf, W. (1997) 100 metres. In: Biomechanical Research Project at the VI th World Championships in Athletics, Athens 1997: Preliminary report. H. Muller and H. Hommel (eds.) *New Studies in Athletics* 12: 45 – 48.
- 杉田正明、松尾彰文 (2001) スピード・ピッチおよびストライド。深代千之ら編 *スポーツバイオメカニクス*。朝倉書店、東京: 18 – 20.
- 田中秀一、印牧司人 (2004) 中高年齢者の 100 m 走中間疾走局面における最高速度、歩数頻度および歩幅の加齢にともなう変化。陸上競技紀要 17: 12 – 19.
- 田中秀一、印牧司人 (2005) 中高年齢女性の 100 m 走中間疾走局面における最高速度、歩数頻度および歩幅の加齢にともなう変化。陸上競技研究紀要 1: 8 – 15.

大学女子長距離ランナーの等速性脚筋パワー及び筋量の特性

山内 武¹⁾ 長谷川 裕²⁾
1) 大阪学院大学 2) 龍谷大学

Characteristics Between Isokinetic Leg Power and Muscle Mass on Collegiate Female Long Distance Runners

Takeshi Yamauchi¹⁾ Hiroshi Hasegawa²⁾
1) Osaka Gakuin University
2) Ryukoku University

Abstract

Although many track coaches has referred to the importance of muscle power, there is little statistical evidence associating muscle power and muscle mass with running performance on long distance runners. The purpose of this investigation was to examine the relationships among isokinetic leg power, muscle mass, and running performance on long distance runners.

Twelve collegiate female long distance runners (18-21 years, 161.7±3.9cm, 49.9±3.4kg) participated in this investigation. Participants were experienced, well-trained competitive runners. Isokinetic leg power was measured at 60, 180, and 300 deg/s during knee extension and flexion by Biodex system 3. Muscle mass were measured at total muscle mass, lower limb muscle mass, muscle mass of thigh, muscle mass of lower thigh by bioelectrical impedance (Muscle- α , Arthaven9) using the electrode configuration method of 12 points applied to the limbs in the supine position. Running performance was assessed by the velocity (m/min) during distance running using a field test on the track.

Results of this investigation show that the height of the runners was positively correlated with the isokinetic leg power of knee extension at 60 deg/s, at 180 deg/s, and at 300 deg/s ($r=0.705$; $p<0.01$, $r=0.608$; $p<0.05$, $r=0.786$; $p<0.01$, respectively). The weight of the runners was positively correlated with the isokinetic leg power of knee extension at 60 deg/s, at 180 deg/s, and at 300 deg/s ($r=0.711$; $p<0.01$, $r=0.607$; $p<0.05$, $r=0.588$; $p<0.05$, respectively). There were no significant correlations between running performance and isokinetic leg power, and there were no significant correlations between muscle mass and isokinetic leg power. Furthermore, there were no significant correlations between running performance and muscle mass. These results suggest; although the weight and the height of the athletes affects the increase in isokinetic leg power, the isokinetic leg power has little effect on running performance on collegiate female long distance runners.

The date also implied that for collegiate female long distance runners, muscle leg power and muscle mass has little effect on running performance. Further work will be needed to address relationships among muscle leg power, muscle mass, and running performance on long distance runners.

I. 目的

従来、長距離走における研究の多くは、代謝系要素とパフォーマンス（競技成績）との関連性に注目

し、酸素摂取量 (Sjödín and Svendenhag 1985 : 山地啓司ほか 1990)、無酸素性作業閾値 (Sjödín and Jacobs 1981 : 大後栄治ほか 1999) 等々を研究対象としてきた。

長距離走のパフォーマンスと脚筋力の関連性について、関連が認められることを報告した研究（江橋ほか 1989）もあるが、具体的に実証した研究はあまり多くない。三本木ほか（2000）は、マラソンレース後半の走速度低下と脚部の筋力・筋パワーと関係していることを指摘している。多くの指導書等では筋力・パワーの重要性を指摘しているが、故障防止・身体バランスの維持のため、全身における一般的筋力・パワーの重要性の指摘がほとんどである（山地啓司ほか 1994；永井純 1989；ラリー・グリーン、ルス・パティ 1999）。

さて、伊藤ほか（1992、2002）は、カール・ルイスなど世界レベルのトップ・スプリンターは、股関節の伸展による大腿部の振り戻しで得られたパワー、すなわち大腿部のスイング動作を中心にして走っていることを明らかにした。これ以降、短距離走においては大腿部のスイング動作の重要性が指導現場にも反映され、スプリント・テクニクに対する考え方や指導法が大きく変化しているように感じられる。このことが日本のスプリンターの競技力向上（末続選手など）につながっていると思われる。

最近、長距離走においてもスプリント走と同様に、大腿部のスイング動作の重要性が指摘されてきている。たとえば女子マラソンの高橋尚子は、大腿部のスイング動作を積極的に用いているとの報告もある（山内、長谷川 2005）。また、榎本ほか（1997）は、長距離走において脚の速いスイングが重要であり、速いスイングは速い大腿のスイングと下腿の前傾が同時に起こることによって達成されるであろうことを指摘している。

大腿部のスイング動作の修得には、下肢筋群の筋力やパワー、特に大腿部筋群の筋力やパワーが影響を及ぼす可能性が高い。こうしたことから、これまで考えられてきた故障防止・身体バランスの維持のために実施する全身の筋力・パワー強化だけでなく、大腿部のスイング動作の修得を意図した下肢筋群の筋力・パワー強化の重要性も考慮すべきであろう。

さて、一般に下肢筋群の筋力・パワーは、再現性、信頼性が高いこと（Viitasalo et al. 1980）から等速性膝屈曲・伸展筋力やパワーが採用されることが多い。同じ走種目であるスプリントにおいては、脚筋力として等速性膝関節屈曲・伸展筋力と、スプリント走パフォーマンスとの関係を検討した研究が多い（深代ほか 1991、杉田ほか 1994、山本ほか 1992、House et al. 1984）。

そしてまた、筋力発揮には筋の量的な要素が大きく影響することは明らかであるとされている（渡辺

ほか 2000）。長距離ランナーにおける下肢筋群の筋力やパワーを検討するためには、筋の量的な要素（筋横断面積を用いる場合が多いが、本研究では筋量を採用）との関連性も分析する必要があるだろう。

上記のことをふまえ、本研究では以下のことを研究目的とした。

「長距離ランナーにおける下肢筋群の等速性パワーと筋量の特性を明らかにする。また下肢筋群の等速性パワー特性および筋量特性と競技力との関連性を分析する」

II. 方法

1. 被験者の特性

本研究においては、大学陸上競技部に所属する女子長距離ランナー 12 名の協力を得て測定が実施された。被験者の年齢は 18 歳から 21 歳で、身長・体重はそれぞれ 161.7 ± 3.9 cm、 49.9 ± 3.4 kg であった。

2. 脚筋力・筋量測定

1) 等速性脚筋パワー

脚筋パワーの測定には Biodex System 3 を用いて、角速度 60deg/s、180deg/s、300deg/s で 3 回から 5 回の全力連続試技をおこない、膝関節の等速性脚筋パワーを測定し、脚筋パワーの指標とした。膝関節の等速性脚筋パワーの測定は椅座位で行い、測定脚は右脚とした。測定は 2003 年 1 月 16 日に実施された。

さて、等速性脚筋パワーにおいて、スプリント走では実測値を用いた方がよいという指摘がある（杉田ほか 1994；渡辺ほか 2000）。しかし、長距離走においては、実測値のパワーとともに体重あたりのパワーも重要度が高いと考えられる。そこで、本研究においては等速性脚筋パワーを、パワー（実測値）と体重あたりのパワー（補正值）の両方で検討することとした。

2) 筋量

筋量の推定は、仰臥位四肢誘導 12 電極法を採用した生体電気インピーダンス方式筋量測定装置（アートヘブンナイン社製、Muscle- α ）を用いて行った。本研究では、下肢筋量及び全身筋量を推定した。筋量の測定は 2003 年 1 月 16 日に実施された。

3. 競技力測定

競技力は、2003 年 2 月 1 日に皇子山陸上競技場（400 m オールウェザートラック）で実施したフィー

ルドテスト（ビルドアップ走）で推定した。この時の気象条件は、天候が曇りときどき雪、気温が摂氏3度であった。ビルドアップ走は、男子ランナーがペースメーカーをつとめる集団走で実施され、1000mごとにペースアップし、設定ペースから遅れたランナーは終了する方法で実施された。そして、もっとも速いラップタイム（1000m）を、競技力を示す指標として採用した。なお、ビルドアップ走の設定ペースは表1を参照のこと。

4. 統計処理

各要因間の関係については、対応のある t 検定とピアソンの相関係数を用い、有意水準は5%以下とした。

III. 結果

1. 競技力の推定

実施されたフィールドテスト（ビルドアップ走）の結果は、前年度（2002年）の5000mベスト記録と比較された（表2）。

前年度（2002年）の5000mベスト記録の分速換算走速度と、フィールドテストにおけるもっとも速

いラップタイム（1000m）の分速換算走速度との相関係数を求めてみると、相関係数は $r = 0.869$ となり1%水準で有意であることが示された。この相関係数自体の大きさ、あるいは5000mベスト記録とフィールドテストにおけるもっとも速いラップタイム（1000m）との分速換算走速度が近似していることからみて、本研究で用いたフィールドテストは、5000mの競技成績との関連性が高いことが推定される。以上のことから、本研究においてはフィールドテストの結果を、筋力測定及び筋量測定時点における各ランナーの競技力を示す指標として採用した。

2. 等速性脚筋パワー並びに筋量

本研究で対象とした大学女子長距離ランナー12名の等速性脚筋パワーと筋量は、表3に示した。また、等速性脚筋パワー測定時における角速度の増加に伴う等速性脚筋パワーの変動は図1、図2に示した。

膝関節屈曲における等速性脚筋パワーは、実測値、補正值（体重あたり）ともに角速度180deg/s（中速）が、角速度60deg/s（低速）、角速度300deg/s（高速）よりも有意に大きいことが示された。また膝関節伸展における等速性脚筋パワーは、実測値、補正

表1 ビルドアップ走の設定ペース

距離	ラップタイム
1000m	04:20.0
2000m	04:10.0
3000m	04:00.0
4000m	03:50.0
5000m	03:40.0
6000m	03:30.0
7000m	03:20.0

表2 大学女子長距離ランナーの競技力

subject	フィールドテスト結果		2002年ベスト記録	
	ベストラップ1000m	分速換算走速度(m)	5000m	分速換算走速度(m)
A	04:11.0	239.0	20:01.0	249.8
B	03:21.0	298.5	16:56.0	295.3
C	03:50.0	260.9	19:12.0	260.4
D	04:07.0	242.9	19:00.0	263.2
E	03:21.0	298.5	18:10.0	275.2
F	03:32.0	283.0	18:16.0	273.7
G	04:08.0	241.9	19:49.0	252.3
H	04:11.0	239.0	20:20.0	245.9
I	03:32.0	283.0	17:45.0	281.7
J	03:35.0	279.1	16:59.5	294.4
K	03:40.0	272.7	18:22.0	272.2
L	03:32.0	283.0	17:28.0	286.3
mean	03:45.0	268.5	17:58.4	270.9
S.D.	00:18.7	21.8	00:52.3	16.1

表3 大学女子長距離ランナーの等速性脚筋パワーと筋量

パワー	パワー(Watt)						体重あたりのパワー(Watt/kg)					
	60(deg/s)		180(deg/s)		300(deg/s)		60(deg/s)		180(deg/s)		300(deg/s)	
	伸展	屈曲	伸展	屈曲	伸展	屈曲	伸展	屈曲	伸展	屈曲	伸展	屈曲
平均	71.1	36.9	123.7	71.5	118.5	65.6	1.46	0.78	2.41	1.45	2.34	1.34
S.D.	11.4	7.1	18.0	15.2	16.1	15.0	0.17	0.12	0.28	0.28	0.27	0.28
筋量	筋量(kg)				体重あたりの筋量(g)							
	全身	下肢(右)	大腿(右)	下腿(右)	全身	下肢(右)	大腿(右)	下腿(右)	全身	下肢(右)	大腿(右)	下腿(右)
平均	16.45	4.06	2.81	1.25	330.3	81.5	117.0	25.1				
S.D.	0.84	0.18	0.13	0.08	17.4	3.8	197.7	1.9				

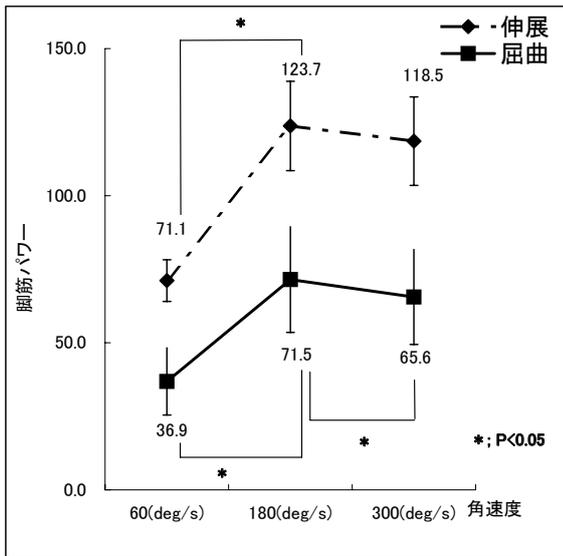


図1 角速度の増加と等速性脚筋パワー

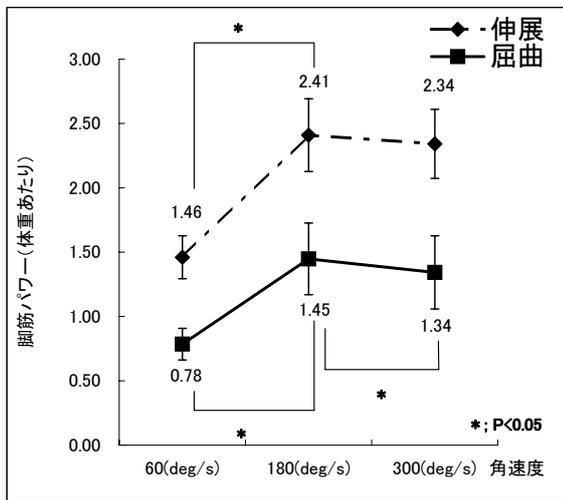


図2 角速度の増加と等速性脚筋パワー (体重あたり)

値 (体重あたり) とともに角速度 180deg/s (中速) が、角速度 60deg/s (低速) よりも有意に大きいことが示された。

3. 等速性脚筋パワー、筋量、競技力、体重・身長の関係

本研究では、等速性脚筋パワー、筋量、競技力の関係を検討することが主な目的である。その関係をより明確にするため、等速性脚筋パワー、筋量、競技力、そして体格 (体重・身長) の4要因全てに相互の相関を求め、その上で等速性脚筋パワー、筋量、競技力の関係を検討することとした。

1) 等速性脚筋パワーと筋量、競技力、体格 (体重・身長) との相関

A. 等速性脚筋パワーと筋量との相関

表4 等速性脚筋パワーと筋量の相関係数

	等速性筋パワー(膝関節屈曲・伸展)					
	(60deg)		(180deg)		(300deg)	
	伸展	屈曲	伸展	屈曲	伸展	屈曲
全身筋量	0.170	0.054	0.255	0.199	0.336	0.211
下肢筋量	0.204	-0.022	0.169	0.154	0.158	0.031
大腿筋量	0.357	-0.143	0.352	0.216	0.410	0.168
下腿筋量	-0.109	0.176	-0.179	0.001	-0.295	-0.195
体重あたり等速性筋パワー(膝関節屈曲・伸展)	(60deg)		(180deg)		(300deg)	
	伸展	屈曲	伸展	屈曲	伸展	屈曲
	全身筋量	-0.476	0.250	-0.200	-0.239	-0.046
下肢筋量	-0.510	0.223	-0.380	-0.353	-0.320	-0.355
大腿筋量	0.122	0.147	0.158	0.015	0.061	-0.066
下腿筋量	-0.436	0.337	-0.454	-0.277	-0.523	-0.385

表5 等速性脚筋パワーと競技力の相関係数

	等速性筋パワー(膝関節屈曲・伸展)					
	(60deg)		(180deg)		(300deg)	
	伸展	屈曲	伸展	屈曲	伸展	屈曲
競技力	0.038	0.062	0.299	-0.064	0.362	-0.046
体重あたり等速性筋パワー(膝関節屈曲・伸展)	(60deg)		(180deg)		(300deg)	
	伸展	屈曲	伸展	屈曲	伸展	屈曲
	競技力	-0.028	0.016	0.263	-0.113	0.347

等速性脚筋パワーと筋量の相関係数をまとめたものを、表4に示した。その結果、等速性脚筋パワーの各項目と筋量の各項目との有意な相関は、実測値、補正值 (体重あたり) とともに全て認められなかった。

B. 等速性脚筋パワーと競技力との相関

等速性脚筋パワーと競技力との相関係数をまとめたものを、表5に示した。その結果、等速性脚筋パワーの各項目と競技力との有意な相関は、実測値、補正值 (体重あたり) とともに全て認められなかった。

C. 等速性脚筋パワーと体格 (身長・体重) との相関

体格 (身長・体重) と等速性脚筋パワーの補正值 (体重あたり) の相関は妥当性に欠けることから、体格 (身長・体重) と等速性脚筋パワーの実測値の相関のみを検討した。

全ての角速度 (60deg、180deg、300deg) における膝関節伸展パワーと身長に、有意な正相関が見られた (それぞれ、 $r = 0.705$, $p < 0.01$, $r = 0.608$, $p < 0.05$, $r = 0.786$, $p < 0.01$)。全ての角速度 (60deg、180deg、300deg) における膝関節伸展パワーと体重に、有意な正相関が見られた (それぞれ、 $r = 0.711$, $p < 0.01$, $r = 0.607$, $p < 0.05$,

表6 等速性脚筋パワーと体格（身長・体重）との相関係数

	等速性筋パワー(膝関節屈曲・伸展)					
	(60deg)		(180deg)		(300deg)	
	伸展	屈曲	伸展	屈曲	伸展	屈曲
身長	<u>0.705</u> p<0.01	-0.126	<u>0.608</u> p<0.05	0.224	<u>0.786</u> p<0.01	0.362
体重	<u>0.711</u> p<0.01	0.041	<u>0.607</u> p<0.05	0.481	<u>0.588</u> p<0.05	0.407

表7 筋量と競技力、体格（身長・体重）との相関係数

	筋量			
	全身筋量	下肢筋量	大腿筋量	下腿筋量
競技力	0.259	0.132	0.200	-0.023
	筋量(体重あたり)			
	全身筋量	下肢筋量	大腿筋量	下腿筋量
競技力	-0.037	-0.194	0.066	-0.199
体重	筋量			
	<u>0.633</u> p<0.05	<u>0.712</u> p<0.01	<u>0.805</u> p<0.01	0.308
身長	-0.098	-0.189	0.041	-0.483

表8 競技力と体重・身長との相関係数

	競技力
体重	0.249
身長	0.308

$r = 0.588, p < 0.05$).

一方、膝関節屈曲パワーと体重及び身長に、有意な相関は見られなかった。

2) 筋量と競技力、体格（体重・身長）との相関

筋量と競技力、体格（体重・身長）との相関係数をまとめたものを、表6に示した。筋量の各項目と競技力との有意な相関は、実測値、補正值（体重あたり）ともに全て認められなかった。

体格項目に関しては、体格（身長・体重）と筋量の補正值（体重あたり）の相関が妥当性に欠けることから、体格（身長・体重）と筋量との実測値の相関のみを検討した。全身筋量、下肢筋量、大腿筋量と体重には有意な正相関が見られた（それぞれ、 $r = 0.633, p < 0.05, r = 0.712, p < 0.01, r = 0.805, p < 0.01$ ）。下腿筋量と体重に有意な相関は見られなかった。筋量の各項目と身長との有意な相関は認められなかった。

3) 競技力と体重・身長との相関

競技力と体重・身長との相関係数を表8に示した。その結果、競技力と体重・身長との有意な相関は認められなかった。

IV. 考察

1. 等速性脚筋パワーの特徴

本研究で被験者とした大学女子長距離ランナーは、2002年度ベスト記録あるいはフィールドテストの結果（表2参照）からみて、中程度のパフォーマンスレベルであると考えられる。

大学女子長距離ランナー（中程度のパフォーマンスレベル）の場合、膝関節屈曲における等速性脚筋パワーは、角速度180deg/s（中速）が、角速度60deg/s（低速）、角速度300deg/s（高速）よりも有意に大きく、膝関節伸展における等速性脚筋パワーも角速度180deg/s（中速）が、角速度60deg/s（低速）よりも有意に大きかった。以上のことから、中程度のパフォーマンスレベルの大学女子長距離ランナーにおける等速性脚筋パワーは、角速度180deg/s（中速）程度まで増大し、それよりも高速域では増大しないものと思われる。

走速度が高速である短距離走の競技者（特に一流選手）では、角速度が高速になるにつれて、等速性脚筋パワーも増大することが報告されている（山本ほか1992）。女子長距離ランナーは、短距離ランナーと比較すると走速度が低速であることが、等速性脚筋パワーが角速度180deg/s（中速）以降の高速域で増加しないことに関連しているのではないかと考えられる。また、本研究で対象とした中程度のパフォーマンスレベルの大学女子長距離ランナーではなく、トップレベルの女子長距離ランナーにおいては角速度300deg/s（高速）まで等速性脚筋パワーが増加する可能性もある。いずれにしても、中程度のパフォーマンスレベルの大学女子長距離ランナーにおいて、300deg/s以上で行う高速の等速性脚筋パワー測定は重要性が低いと考えられる。

等速性脚筋パワーの各項目と筋量の各項目との有意な相関は、全てに認められなかった。渡邊ほか(2000)は、女子スプリンターにおいて、筋横断面積と等速性筋力との間に有意な関係を認めたのは、ハムストリングスと膝関節屈曲(300deg/s)のみで、男子スプリンターに比べて少なかったことを報告している。渡邊ほか(2000)の報告と本研究の結果から、女子ランナーではパワー発揮において、筋量、筋横断面積といった筋サイズではなく、運動単位の動員といった神経的な要因の影響が強い可能性が考えら

れる。

等速性脚筋パワーの各項目と競技力との有意な相関は、全てに認められなかった。本研究で対象とした中程度のパフォーマンスレベルの大学女子長距離ランナーでは、トップレベルの女子長距離ランナーと比べて、代謝系要因（酸素摂取量等）が競技力に与える影響が非常に大きく、筋力的な要因は相対的に小さくなるのかもしれない。

全ての角速度（60deg、180deg、300deg）の膝関節伸展パワーと身長・体重に有意な正相関が見られた。膝関節屈曲パワーと体重及び身長に有意な相関は見られなかった。以上のことから、大学女子長距離ランナー（中程度のパフォーマンスレベル）の場合、膝関節伸展パワーは体のサイズ（身長・体重）との関連があると思われ、体の大きな女子長距離ランナーで膝関節伸展パワーが大きくなる傾向がある。それに対し、膝関節屈曲パワーは体の大きな女子長距離ランナーで大きいとは限らないと考えられる。

2. 筋量と競技力、体格（体重・身長との関係）

筋量と競技力の間には、特に関連性は見いだせなかった。本研究の被験者である大学女子長距離ランナーは、中程度のパフォーマンスレベルにあり、代謝系要因（酸素摂取量、無酸素性作業閾値等）が競技力に与える影響が非常に大きく、筋量的な要因は相対的に小さくなるのかもしれない。

全身筋量、下肢筋量、大腿筋量と体重には有意な正相関が見られた。下腿筋量と体重に有意な相関は見られなかった。以上のことから、体重が多い大学女子長距離ランナーほど、下腿筋量を除く筋量が多いことが推測される。一般に女子長距離ランナーのトレーニングにおいては、体重・体脂肪を落としながら筋肉をつけていくことがねらいとされる。大学女子長距離ランナーの場合、本研究データから体重と筋量が比例することが推測され、体重・体脂肪を落としながら筋肉をつけていくことの困難さがうかがうことができる。

筋量の各項目と身長との有意な相関は認められなかった。大学女子長距離ランナーの場合、身長と筋サイズに特に関連はないようだ。

3. 競技力と体格（体重・身長）との相関

競技力と体格（体重・身長）との有意な相関は認められなかった。一般に体重の軽いランナーほど速く走る可能性が高いと考えられており、競技力と体重とは負の相関が予想されている。本研究において

競技力と体重とに相関関係が認められなかったのは、対象とした中程度のパフォーマンスレベルの大学女子長距離ランナーでは、トップレベルの女子長距離ランナーと比較すると体が絞り切れておらず、長距離ランナーとしては体重が重かったことと関連すると考えられる。

4. 今後の課題

長距離ランナーにおける下肢筋群の筋力特性等を検討するならば、男子を含む幅広い層の被験者が必要であろうが、協力を得られる者が限定されたことから大学女子長距離ランナーのみとなった。

また、パワー・筋量・体格といった要因を説明変数とし、競技力を基準変数とする分析を、今後検討していく必要がある。

V. まとめ

1. 大学女子長距離ランナーにおいて、膝関節屈曲における等速性脚筋パワーは角速度 180deg/s（中速）が、角速度 60deg/s（低速）、角速度 300deg/s（高速）よりも有意に大きいことが示された。膝関節伸展における等速性脚筋パワーは、角速度 180deg/s（中速）が、角速度 60deg/s（低速）よりも有意に大きいことが示された。

2. 等速性脚筋パワーと筋量との有意な相関は認められなかった。等速性脚筋パワーと競技力との有意な相関は認められなかった。全ての角速度（60deg、180deg、300deg）における膝関節伸展パワーと体格（身長・体重）に、有意な正相関が見られた。一方、膝関節屈曲パワーと体格（身長・体重）に、有意な相関は見られなかった。

3. 筋量と競技力との有意な相関は認められなかった。全身筋量、下肢筋量、大腿筋量と体重には有意な正相関が見られた。下腿筋量と体重に有意な相関は見られなかった。筋量と身長との有意な相関は認められなかった。

4. 競技力と体格（体重・身長）との有意な相関は認められなかった。

文献

大後栄治ほか(1999) LTを基にしたトレーニング計画の研究. ランニング学研究 10 : 35-42

江橋 博ほか(1989) 一流マラソンランナーの最大有酸素パワーと等速性最大筋出力. 体力研究 71 : 10-24

- 榎本靖士・阿江通良・岡田英孝(1997) 長距離走の疾走動作と力学的エネルギー利用の有効性. 陸上競技研究 28 : 8-15
- 深代千代・若山章信・原田康弘(1991) トップアスリートの体力とパフォーマンス —陸上・短距離選手について—. 体育の科学 41 : 262-268
- House, T. J., Thorland, W. G., Tharp, G. D., and Clsar, C. J. (1984) Isokinetic leg flexion and extension strength of elite adolescent female track and field athletes. Res. Quart. 55: 347-350
- 伊藤章ほか(1992) ルイス、バレルと日本トップ選手のキック・フォーム. J. J. Sports Sci 11: 604-608
- 伊藤章(2002) : 短距離走の科学的データ. 月刊陸上競技 36-6 p152
- ラリー・グリーン、ルス・パティ : 山西哲郎ほか訳(1999) : 中・高校生のための中長距離走トレーニング、大修館書店 pp75-81
- 永井純(1989) 中・長距離・障害 : 帖佐寛章ほか監 最新陸上競技入門シリーズ2. ベースボール・マガジン社
- 三本木温・佐伯徹郎・山本泰明・鍋倉賢治・高松薫(2000) マラソンレースにおける走速度の低下と筋力および筋パワーの低下との関係. 体育学研究 45 : 503-512
- Sjödín B, and Svendenhag J. (1985) Applied physiology of marathon running. Sports Med. 2: 83-89
- Sjödín B and Jacobs L. (1981) Onset of Blood accumulation and marathon running performance. Int. J. Sports Med. 2: 23-26
- 杉田正明・安部孝・八田秀雄・川上泰雄・小林寛道(1994) 一流女子短距離選手の体力特性とパフォーマンス. 東京大学教養学部体育学紀要 28 : 37-44
- 山地啓司ほか(1990) 最大酸素摂取量から陸上中長距離走、マラソンレース競技記録を占うことが可能か. ランニング学研究 1 : 7-10
- 山地啓司・山西哲郎・有吉正博(1994) ランニング・ワンポイント・コーチ. 大修館書店
- 山本利春・山本正嘉・金久博昭(1992) 陸上競技における一流および二流選手の下肢筋出力の比較 — 100m 走・走幅跳・三段跳選手を対象として—. Jpn. J. Sports Sci. 11: 72-76
- 山内武・長谷川裕(2005) オリンピック・チャンピオン高橋尚子選手のランニングテクニック —シドニーオリンピック・女子マラソンレース時の動作分析—. 大阪学院大学人文自然論叢 51 : 1-15
- Viitasalo, J.T., Saukkonen, S., and Komi, P.V. (1980) Reproducibility of measurements of selected neuromuscular performance variables in man. Electromyogr. Clin. Neurophysiol. 20: 487-501
- 渡邊信晃ほか(2000) スプリンターの股関節筋力とスプリント走パフォーマンスとの関係. 体育学研究 45 : 520-529

夏季のフルマラソン完走後における選手の腎機能評価 ー血清シスタチンCを用いてー

石井好二郎¹⁾ 井本岳秋²⁾ 鳥居 俊³⁾ 惠淑萍⁴⁾ 千葉仁志⁵⁾

- 1) 北海道大学大学院教育学研究科体力科学 2) 静岡県総合健康センター
3) 早稲田大学スポーツ科学学術院 4) 北海道医療大学 薬学部 薬品分析化学講座
5) 北海道大学 医学部保健学科 生体情報学講座

Assessment of renal function by measurement of serum cystatin C concentration in athletes after the finish of a summer marathon

Kojiro Ishii¹⁾ Takeaki Inomoto²⁾ Suguru Torii³⁾ Hui Shu-Ping⁴⁾ Hitoshi Chiba⁵⁾

- 1) Laboratory of Human Performance & Fitness, Graduate School of Education, Hokkaido University
2) Shizuoka Health Institute
3) Faculty of sports sciences, Waseda University
4) Department of Analytical Chemistry for Pharmacy, Faculty of Pharmaceutical sciences, Health Sciences University of Hokkaido
5) Division of Medical Technology, Department of Health Sciences, School of Medicine, Hokkaido University

Abstract

Results of studies on athletes participating in Hokkaido Marathon have revealed the possibility that renal function is an important factor for good performance in a summer marathon. In this study, we measured serum concentrations of cystatin C, a reliable marker of renal function that is not affected greatly by protein level or gender, in athletes after the finish of the Hokkaido Marathon in 2004 (Ta: 17.5 °C, rh: 80%) and in 2005 (Ta: 28.0 °C, rh: 45%). The mean serum cystatin concentration in 2005 (1.08 ± 0.05 mg/L) was significantly ($p < 0.0001$) higher than that in 2004 (0.87 ± 0.04 mg/L), confirming that running in a marathon in a hot environment imposes a large load on the kidneys. However, despite the high temperature during the marathon in 2005, the finish times were good for athletes in whom serum cystatin C concentrations at finish of the marathon were within the normal range, suggesting that renal function affects marathon performance.

I. 緒言

腎臓は体温調節系と密接な相互作用を持つ体液調節系の一つである。すなわち、腎機能が良好であれば、血液の濃度や組成を一定に保つように働く。さらに腎臓は、血圧の調整や赤血球の生成促進、カルシウム吸収の調整をするなど、様々な働きをしている臓器である (Berne and Levy, 2000)。これまで

の北海道マラソンの調査結果より、好成績を収めた選手は、腎機能を一般的に評価する非蛋白性窒素化合物の数値が良好なことが多く、夏のマラソンに好成績を収めるのには腎機能の状態が重要である可能性が高いことが示されている (石井ら, 2004; 石井, 2004)。しかしながら、非蛋白性窒素化合物は蛋白量の影響を受けることから、マラソン走行後の検査値は筋損傷の影響を受けていることが考えられ

た。本研究では、蛋白量や性差の影響が少ない安定した腎機能マーカーである血清シスタチンC (石井, 2005) により、夏のマラソンの競技成績と腎機能の状態の関連を検討することとした。

II. 対象と方法

1. 対象

2004年および2005年に北海道マラソンを完走し、本研究に同意した20位以内の男子選手、および15位以内の女子選手を対象とした。なお、男女で対象の順位の幅が異なっているのは、男子では20位の選手が1位の選手と10分程度のタイム差でゴールしているのに対し、女子選手の20位は1位の選手と約30分のタイム差があり、競技力に極めて差があると判断したためである。その結果、対象数は2004年23名(男性13名, 女性10名), 2005年21名(男性10名, 女性11名)となった。

2. 調査方法

レースゴール後、直ちに救護テント内にて肘部皮下静脈より採血を実施した。ドーピングコントロール対象者はドーピングコントロールルーム内にて、同様に採血を行った。なお、本研究での分析項目は、尿酸、尿素窒素、クレアチニン、および血清シスタチンCであり、すべての検体の分析はSRL北海道に依頼した。

3. 気象状況

2004年の天候は曇り、スタート時の気温17.5℃、相対湿度80%であり、時おり強い風に見舞われ、レース中にも肌寒さを感じるほどの(選手の内省報告)夏季のマラソンとしては涼しい環境であった。一方、2005年の天候は晴れ、気温28.0℃、相対湿度45%(スタート時)、報道ではレース中の気温が30℃を越えていたことが報告されるなど暑熱環境下でのレースとなった。

4. 統計処理

得られたデータは平均値±標準誤差で示した。2004年と2005年の血清シスタチンCの平均値の差の検定には、対応のないt検定を用いた。有意水準は $p < 0.05$ とした。

III. 結果

表1に2004年、表2に2005年の北海道マラソン

表1 2004 北海道マラソン完走後の腎機能血液検査項目

Subj.	尿酸	尿素窒素	クレアチニン	シスタチンC
男子選手				
A	5.4	19.6	<i>1.05</i>	<i>1.00</i>
B	6.9	<i>20.3</i>	1.04	0.95
C	3.8	18.8	<i>1.29</i>	<i>1.27</i>
D	6.3	14.4	<i>1.15</i>	0.69
E	6.7	19.2	<i>1.53</i>	<i>1.23</i>
F	5.2	<i>22.0</i>	<i>1.14</i>	0.93
G	6.9	17.7	<i>1.13</i>	0.90
H	6.5	16.1	<i>1.43</i>	<i>1.10</i>
I	5.4	<i>21.0</i>	0.94	0.78
J	5.3	17.5	0.91	0.84
K	5.9	<i>26.4</i>	<i>1.19</i>	<i>0.97</i>
L	5.0	<i>22.9</i>	0.99	0.84
M	6.0	<i>21.6</i>	<i>1.14</i>	0.76
女子選手				
a	4.7	18.0	0.69	0.63
b	6.5	<i>24.5</i>	<i>1.09</i>	<i>1.04</i>
c	4.9	19.8	<i>0.94</i>	0.77
d	4.5	<i>25.7</i>	<i>0.97</i>	0.89
e	4.6	<i>21.9</i>	<i>0.94</i>	0.77
f	5.6	16.3	0.68	0.63
g	4.4	<i>22.0</i>	0.97	0.77
h	4.5	16.6	0.63	0.64
i	5.7	<i>26.1</i>	<i>0.96</i>	0.81
j	4.9	19.4	<i>0.94</i>	0.72

(斜体に下線の数値は基準値以上を示す)

表2 2005 北海道マラソン完走後の腎機能血液検査項目

Subj.	尿酸	尿素窒素	クレアチニン	シスタチンC
男子選手				
AA	<i>7.1</i>	<i>21.0</i>	<i>1.11</i>	0.92
BB	6.0	<i>25.1</i>	<i>1.20</i>	<i>1.17</i>
CC	<i>8.0</i>	<i>23.9</i>	<i>1.27</i>	0.89
DD	6.1	<i>24.0</i>	<i>1.31</i>	<i>1.01</i>
EE	<i>7.5</i>	<i>21.6</i>	<i>1.43</i>	<i>1.33</i>
FF	6.3	<i>21.1</i>	<i>1.26</i>	0.89
GG	5.4	<i>23.0</i>	<i>1.26</i>	<i>1.01</i>
HH	<i>8.0</i>	<i>24.1</i>	0.98	0.93
II	<i>7.1</i>	<i>24.8</i>	<i>1.21</i>	<i>1.21</i>
JJ	<i>7.7</i>	<i>20.9</i>	<i>1.22</i>	<i>1.01</i>
女子選手				
aa	4.9	17.8	<i>0.97</i>	0.75
bb	5.6	<i>21.7</i>	<i>1.51</i>	<i>1.45</i>
cc	5.2	<i>31.9</i>	<i>0.82</i>	0.81
dd	5.7	<i>21.0</i>	<i>1.28</i>	<i>1.34</i>
ee	6.5	13.8	<i>1.31</i>	<i>1.38</i>
ff	5.7	<i>23.8</i>	<i>1.05</i>	0.85
gg	5.1	18.7	<i>0.90</i>	<i>0.98</i>
hh	4.3	17.0	<i>0.93</i>	<i>1.09</i>
ii	<i>7.6</i>	<i>29.1</i>	<i>1.46</i>	<i>1.15</i>
jj	6.6	<i>24.8</i>	<i>1.62</i>	<i>1.52</i>
kk	4.7	<i>27.7</i>	<i>1.18</i>	<i>1.05</i>

(斜体に下線の数値は基準値以上を示す)

完走後の腎機能血液検査項目の結果をそれぞれ示した。

比較的冷涼環境下のマラソンとなった2004年においては対象選手23名中5名にしか血清シスタチンCの基準値(0.53~0.59mg/L)以上が認められなかったのに対し、暑熱環境下の2005年では21名中13名に基準値以上が認められた。また、平均値の比較においても、2005年(1.08±0.05 mg/L)は2004年(0.87±0.04 mg/L)より血清シスタチンCが高値を示した(図1)。

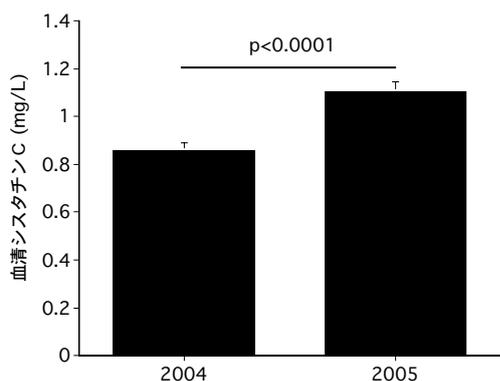


図1 2004年および2005年北海道マラソン完走後の血清シスタチンC

一方、マラソン完走後には血清シスタチンCの基準値以上を示さなくとも、尿素窒素（基準値：6.0～20.0mg/dL）、および血中クレアチニン（基準値：男0.61～1.04mg/dL、女0.47～0.79mg/dL）の基準値以上を示す例が多数認められた。

IV. 考察

冷涼環境下に比べ、暑熱環境下のマラソンレース後の血清シスタチンCは明らかに高値を示しており、暑熱環境下のマラソンは腎機能に対する負担が大きいことが示唆された。暑熱環境下においては、発汗や皮膚血流量の増加により、還流静脈血が減少するため、これを抑制しようと坑利尿ホルモン（バソプレッシン）の放出が上昇する。これは、体液保持のため尿としての水分損失を減少させる合目的な生体反応であると考えられている（Robertsonら、1973）。したがって、暑熱環境下のマラソンでは腎臓が体液調節系の中心として機能し続けた結果、腎機能の低下が見られるものと思われる。

しかしながら、2005年のように暑熱環境下のマラソン後においても、血清シスタチンCが基準値内であった選手も存在した。選手名が特定されるため、詳細については触れることができないが、本研究の対象で2005年の血清シスタチンCが基準値内であった選手は、「優勝」「暑熱環境下でありながら自己記録」あるいは「一般参加でありながら上位入賞」など、全員が非常に良好な競技成績を残している。すなわち、暑熱環境下のマラソンでも腎機能が良好な状態で走行できた者が競り合いを制するようである。

尿素窒素やクレアチニンは蛋白質代謝の最終産物の一つであり（Berne and Levy, 2000）、マラソンのような激しい運動時には骨格筋からの蛋白質代謝の影響を強く受ける。本研究においても2004年、

2005年共に、尿素窒素と血中クレアチニンの基準値以上を示す選手が多数見受けられた。しかし、尿素窒素や血中クレアチニンが基準値以上を示しながら、血清シスタチンCは基準値以内である例も存在した。すなわち、マラソン完走後の尿素窒素や血中クレアチニンの上昇には、腎臓の機能低下による排泄障害ではなく、蛋白質代謝が過剰になったことによって生じたことを示していると考えられる。したがって、日常的に激しいトレーニングを実施しているマラソンランナーの腎機能の評価には、蛋白量や性差の影響が少ない、安定した腎機能マーカーである血清シスタチンCを用いることが有効であると示唆される。

V. 結語

血清シスタチンCは平成17年10月より保険適用を受けられることになったことから、医療現場で普及しつつある。しかし、保険請求上の注意として、「尿素窒素またはクレアチニンにより腎機能低下が疑われた場合、3ヶ月に1回に限り算定できる」との指導が行われている。したがって、選手のコンディションの把握に用いる場合、保険適用は無理である。しかしながら、血清シスタチンCの実施料は130点（1300円）であり、法外な値段ではない。

2007年の世界陸上は8月下旬から9月上旬の大阪で開催され、2008年の北京五輪の陸上競技は8月上旬の開催である。暑熱環境下での戦いとなる可能性は極めて高い。国際競技会では体調不十分な者が勝利を収めることは非常に希有なことであろう。血清シスタチンCにより腎機能の管理を定期的に行うことにより、腎機能を良好に保った状態で、レースに臨むことができる確率は格段に増すであろう。

文献

- Berne RM, Levy MN. (2000) Principles of physiology. Mosby, St. Louis.
- 石井好二郎, 田中宏暁, 井本岳秋, 鳥井俊, 阿江通良, 小林寛道 (2004) 2003北海道マラソン調査報告書-夏のマラソンのコンディショニングを探る-, 日本陸連科学委員会報告書, 3(1): 103-108.
- 石井好二郎 (2004) 連載 陸上競技のサイエンス: 夏のマラソンのコンディショニングを探る. 月刊陸上競技, 38(8): 214-216, 2004.
- 石井好二郎 (2005) スポーツサイエンス領域の検査

の現状と将来展望．臨床化学，34(4)：344-349.
Robertson GL, Mahr EA, Athar S, Sinha T (1973)
Development and clinical application of
a new method for the radioimmunoassay of
arginine vasopressin in human plasma. J Clin
Invest, 52(9)：2340-2352.

男子 400 mハードルにおけるコーナーでの
ハードリング・イメージに関する研究
— 踏切脚が右脚の競技者と左脚の競技者との差異の抽出 —

苅部俊二¹⁾ 平井敏幸²⁾
1) 法政大学 2) 北海道文教大学

Hurdling Images at the corner of Male 400 Meter Hurdlers: Differences between the right legged and left legged hurdlers

Shyunji KARUBE¹⁾ Toshiyuki HIRAI²⁾
1) Hosei University
2) Hokkaido Bunkyo University

Abstract

The purpose of this study was to extract subjective images that the hurdlers that take off with the right leg (right leg group) and that take off with the left leg (left leg group) had in their hurdling at the corner. The competitive levels of the hurdlers were classified into 3 categories; high, medium and low.

The results of the surveys were as follows:

- (1) The t-test was conducted with the right leg and left leg groups of each level. It was found that the high and medium competitive level groups of the left leg group assessed a larger number of factors as important, whereas the low level of the right leg group assessed more factors as important.
- (2) As result, factors demonstrating significant difference among the competitive levels were less in number in the left-leg group than in the right-leg group.

I. 緒言

運動課題の習得には内的言語及び外的言語が効果的であるといわれている。しかし、不適切な言語表現や情報量ではその効果が望めないといえる。Frank, S. (1986) は指導者は言語の効果を理解し、どのようにそれを使うかを学ぶ必要があると述べている。このように、指導者並びに学習者は用いる言語が運動課題を習得するのに適切な言語表現かを常に検討する必要があると思われる。

学習者の運動がどのような運動イメージや感覚で現れたのかを言語化することは指導者が学習者に適切な運動イメージを想起させる言語表現の手掛かり

になると推測される。学習者の運動イメージを言語化した研究には、袴田ら (1986)、村川ら (1987)、田中ら (1988 ; 1990)、稲垣ら (1989 ; 1990 ; 1990 ; 1991 ; 1992)、安井ら (1997) などがある。また、平井ら (2003a ; 2003b ; 2004a ; 2004b) はハードラーを対象として直線での1台のハードルを跳び越えるハードリング・イメージ及び感覚的情報を言語化して抽出し、その言語の重要度を評価することによってハードリングの技能習得に有効なハードリング・イメージおよび言語教示として適切な言語表現を抽出・精選して報告している。特に陸上競技のハードル走はPoulton, E. C. (1957) の分類した closed skill の運動種目となり、そこでは、動

作に関する感覚的情報が重要となってくる。つまり、感覚的情報を言語化することはハードリングの技能習得に貢献できると思われる。

ところで、400 mハードル走（以下、「400 m H」と称す）の技能要素にはコーナーでのハードリングがある。この技能には、スピードの維持、滑らかな踏切、曲線を描いた走りなどが求められる。また、コーナーでの踏切脚が右脚であることが、力学的にも、規則的にも有利といわれている。しかし、一流の競技者の中に左脚踏切で良い成果を上げているものもいると宮下（1991）は述べている。とすれば、当然、コーナーにおいて踏切脚が右脚の場合と左脚の場合では、ハードリング・イメージが異なっていることが予測される。それを抽出することは、それぞれの踏切脚に合わせた技能の習得や指導に役立つと思われる。

筆者らは男子400mハードラーにコーナーでのハードリング・イメージを言語化した項目について、その重要度を主観的に評価してもらった。そして、本研究では踏切脚が右脚の競技者と左脚の競技者がコーナーでのハードリング・イメージをそれぞれどのように捉えているのかを主観的な重要度の評価から抽出することを目的とした。

II. 方法

1. 調査紙の作成

コーナーでのハードル・イメージの主観的重要度の抽出には、かつて平井ら（2003a;2003b;2004a;2004b）が直線での1台のハードルを跳び越えるハードリング・イメージの経験的知識を精選した言語（項目）にコーナーでの特有のハードリング・イメージを言語化した項目を併せて作成した質問紙を用いた。尚、コーナーでの特有のハードリングの言語は男子400 m Hの元日本記録保持者であるハードルの専門家の経験的知識によって項目を精選した。質問紙は、踏切、空中動作、着地の3つの局面に区分し、頭部（H）、上肢部（U）、体幹部（T）、下肢部（L）、全身（B）の身体部位別に応答するように作成した。このように得られた項目は、表1に示すように踏切において32項目、空中動作において27項目、着地において24項目であった。そして得られた各項目を7段階評定尺度法により主観的重要度を評価してもらった。

評定尺度の各カテゴリーに対応する重要度の表現は「1- 全く重要でない」「2- 重要でない」「3- 余り重要でない」「4- どちらでもない」「5- やや重要である」「6- 重要である」「7- 非常に重要である」を

表1 400mHのコーナーでの各局面のハードリング・イメージを言語化した項目

	踏切局面	空中動作局面	着地局面
頭部	H01. あごを引く H02. 視線を前に向ける H03. ハードルの正面を見る H04. 息を吐く H05. 視線を前方内側に向ける	H01. 息を吐いてリラックスする H02. 前方を見る	H01. 視線は前方 H02. 顎を引き息を止める
上肢部	U01. 先導腕は肘でリードし前に出す	U01. 先導腕の逆腕をランニングと同じように動かす U02. 先導腕の手の平を外側に向ける U03. 先導腕をしっかり前に出す U04. 両腕の動きを止めない U05. 身体が浮かないようにバランスをとる	U01. 先導腕を引き戻し両腕でバランスをとる U02. 先導腕を後方に引きすぎない U03. 両腕は大きく強く振る
体幹部	T01. 腰を後ろに残さないようにする T02. 肩のラインをハードルバーに対して平行にする T03. 腰に重心をのせて踏み込む T04. 肩で身体を引き上げる T05. 踏切前半には上体をかぶせない T06. ハードルに対して腰を平行にして、前方に重心を移動させる T07. 腰の位置を高くする T08. 肩のラインをハードルバーに対して多少内側に向ける T09. ハードルに対して腰を多少内側に向ける	T01. ディップ（前傾）する T02. 腰でバランスをとる T03. 両肩をリラックスする T04. ディップはあまり強くかけない	T01. 腰を高く保ち遅れないようにする T02. 肩を開かないようにする T03. 腰は振上脚と同調し前に移動する T04. 上体は前傾を保つ
下肢部	L01. 踏切脚は重心の真下に着き腰を乗せる L02. 振上脚をまっすぐに出す L03. 踏切脚をしっかり伸ばす L04. 振上脚の脚をコンパクトにたたむ L05. 振上脚のあげる角度を調節する L06. 踏切脚をまっすぐ出し、振上脚は膝でリードして引き上げる L07. 振上脚をコーナーに沿って出す L08. 振上脚をコーナーの内側に向かって出す	L01. 振上脚の膝下をリラックスさせる L02. 抜脚はつま先を上方に向けコンパクトに膝を通るように抜く L03. 抜脚は水平に前方に引き出す L04. 振上脚を素早く振り下ろす L05. 振上脚でハードルバーをけるようにする L06. 振上脚の踵をまっすぐに突き出す L07. 振上脚をしっかりと前に出す L08. 振上脚と抜脚を大きく開く L09. 振上脚の膝を前方に振り出す L10. 振上脚と抜脚は同時に動かす L11. 振上脚と抜脚でハードルをはさむように抜いてくる L12. 抜脚のためにつくる L13. 股関節を前後に最大限に伸ばす L14. 振上脚を内側に突き出す L15. 振上脚をコーナーに沿って突き出す	L01. 着地脚に重心をのせ、抜脚はランニングを意識する L02. 着地脚が着く前に抜脚を前に出す準備をし、着地脚は早く離地する L03. 着地脚の膝は曲げない L04. 抜脚は胸に向かって膝位置を高く抜く L05. 抜脚は身体の正面までもっていく L06. 着地脚はハムストリングを使って振りおろす L07. 抜脚の膝は上げすぎず、着地脚の踵はつけない L08. 着地脚に重心をしっかりとのせる
全身	B01. ブレーキがかからないように重心を乗せる B02. 踏切前は加速する B03. 遠くから力強く踏切る B04. 鋭い角度でハードルに対して踏切る B05. ランニングリズムを崩さない B06. レーンの内側に向かって踏切る B07. レーンの内側に沿って踏切る B08. 踏切り前、外側に膨らんでから内側に向かって踏切る B09. 内傾姿勢をとる	B01. 内傾姿勢を保つ	B01. ランニング姿勢を意識する B02. 身体をぶらさず、ブレーキをかけないようにする B03. ハードルの近くに着地する B04. 全身をブロックする B05. 内傾姿勢を保つ B06. 内側に走り込む B07. レーンに沿って走り込む

用いた。7段階評定尺度を用いた重要度尺度において用いた尺度が間隔尺度水準以上であることが必要とされるが、織田（1970;1975;1976）の反対語（非常によいー全然よくない）をもつカテゴリー幅は等間隔性と仮定できるなどの知見を考慮すると、本研究で用いた評定尺度は妥当であると思われる。

また、本調査では踏切脚による比較をするためにハードルを踏切るとき、右脚で踏切なのか、左脚で踏切のかを尋ねた（以下、踏切脚が右の者を「右脚群」、左の者を「左脚群」と称す）。

2. 調査期間と対象者

この調査は、2003年12月から2004年3月までに高校生以上の400mハードラー172名に対して郵送調査法と宿題調査法にて実施した。本研究の標本は回収された男子400mハードラー62名とした。対象者は年齢が16～22歳で50”22～61”13の記録を持つハードラーである。また、右脚群が34名、左脚群が28名であった。競技レベルは2003年度男子400mHの日本および高校の公認記録100傑を参考にして、高レベル群30名（50”22～52”85）、中レベル群12名（53”28～54”76）、低レベル群20名（55”05～61”13）の3群に分類した。

3. 解析方法

各項目の主観的重要度の評価は、母集団の平均値を主観的重要度の評価と定義し、平均的評価として

標本平均によって推定した。左右の踏切脚による主観的重要度を比較するために競技レベルごとに右脚群と左脚群の2群間において重要度の平均値を求め、項目毎にt検定を用いて比較した。さらに、本研究では、各踏切脚において競技レベル間での主観的重要度を比較した。そのために競技レベルを独立変数、各項目を従属変数とした1要因3水準のANOVA（analysis of variance：分散分析）により各項目の平均値の差を検定した。尚、ANOVAの前提条件として母集団の分布の正規性、分散の等質性が必要であることからLeveneの検定を施し、これらの条件が満たされない項目についてはKruskal Wallisの検定を用いた。そして、ANOVAにおいて有意な差（ $p < .05$ ）が認められた項目についてはLSD（Least Significant Difference）法によって、Kruskal Wallisの検定においてはMann-Whitneyの検定を用いて、ライアン法を適用した多重比較にて検討した。尚、すべての統計処理はSPSS. 10.0Jを使用した。

III. 結果及び考察

1. 重要度評価からみた踏切脚の左右差について

表2には各レベル群において右脚群と左脚群との2群間の重要度の平均値を求め、項目毎にt検定を実施して有意な差（ $p < .05$ ）がみられた項目を示した。本調査に用いた評定尺度の5が「やや重要である」

表2. 各レベル群で左右の踏切脚において有意差が認められた項目（ $p < .05$ ）

項 目	右脚群	左脚群
高レベル群		
【踏切】		
T02. 肩のラインをハードルバーに対して平行にする	3.84 (1.68)	5.18 (1.40)
T05. 踏切前半には上体をかぶせない	4.00 (1.25)	4.91 (0.94)
B09. 内傾姿勢をとる	5.16 (0.83)	4.36 (0.92)
【空中動作】		
U03. 先導腕をしっかり前に出す	4.44 (1.46)	5.64 (0.81)
【着地】		
L01. 着地脚に重心をのせ、抜脚はランニングを意識する	5.68 (1.11)	6.45 (0.52)
中レベル群		
【踏切】		
H05. 視線を前方内側に向ける	3.67 (1.37)	5.38 (0.98)
低レベル群		
【踏切】		
T06. ハードルに対して腰を平行にして、前方に重心を移動させる	6.33 (0.50)	5.40 (1.07)
【空中動作】		
T02. 腰でバランスをとる	5.67 (0.87)	4.91 (0.70)
L05. 振上脚でハードルバーをけるようにする	5.00 (1.12)	3.64 (0.92)

() : 標準偏差

であったことから、表2に示す平均値が5.00以上の項目は対象者が重要と評価したと推測される。

1) 高レベル群の重要度評価について

表2において有意差がみられ、なおかつ、いずれかの群に平均値が5.00以上である項目をみると、高レベル群の踏切で「肩のラインをハードルバーに対して平行にする (t(28) = 2.23)」の項目を、また空中動作で「先導腕をしっかりと前に出す (t(27) = 2.47)」の項目を、着地で「着地脚に重心をのせ、抜脚はランニングを意識する (t(27) = 2.58)」の項目において、いずれも左脚群が右脚群よりも重要度を高く評価していた。そして逆に右脚群が左脚群よりも重要度を高く評価しているのは、高レベル群の「内傾姿勢をとる (t(28) = 2.41)」の一項目である。右脚踏切はコースの内側のラインに沿って踏切るが、曲線的に踏み込んでも空中では接線方向に直線的に進むことになり、多少外側に着地することになる。そこで、着地した次の一歩がさらにコースの外側に膨れないようにすることが大切である。特に高速で走る右脚で踏切る高レベル群の競技者は着地後の一歩がコースの外側に膨れないように内傾姿勢を重要視するものと推測される。一方、左脚で踏切ると振上脚が外側になるので内側に向かって踏切ることになる。つまり、内側に踏切る高レベル群

の左脚群は必然的に肩のラインがハードルバーに対して平行になると推測される。また、左脚群が空中で先導腕である左腕をしっかりと前に出しているのは遠心力で上体が外側に振られるのを先導腕でブロックしているためと思われる。一般に左脚群は右脚群よりコーナーにおけるハードル技能の難易度が高く不利な点が多いといわれている。その不利な点を低減するために左脚群は右脚群よりも着地時に着地脚に重心をのせ、抜脚はランニングを意識して素早くインターバルのランニングに移行していると思われる。

以上のように、左脚でハードルを踏切る高レベルの競技者のコーナーでのハードリング・イメージは、肩はハードルバーに対して平行にし、空中では上体が外に振られないように先導腕を前に出し、着地ではランニングを意識することを重要と捉えているといえる。また、右脚で踏切る高レベルの競技者は、内傾姿勢をとるハードリング・イメージを重要と捉えているといえる。

2) 中レベル群の重要度評価について

中レベル群の踏切の重要度評価は「視線を前方内側に向ける (t(10) = 3.15)」を左脚群が右脚群よりも重要度を高く評価している。つまり、この項目は中レベル群で現れる左右の差異ともいえる。中

表3 右脚群において競技レベル間に有意差が認められた項目 (p<.05)

項目	高レベル群	中レベル群	低レベル群	多重比較
【踏切局面】				
H05. 視線を前方内側に向ける	5.44 (1.29)	3.67 (1.37)	5.44 (1.24)	高>中 低>中
T05. 踏切前半には上体をかがせない	4.00 (1.25)	4.17 (0.98)	5.44 (0.88)	低>高 低>中
T06. ハードルに対して腰を平行にして、前方に重心を移動させる	4.37 (1.80)	5.17 (1.94)	6.33 (0.50)	低>高
T07. 腰の位置を高くする	5.00 (1.49)	5.17 (1.47)	6.67 (0.50)	低>高 低>中
L01. 踏切脚は重心の真下に着き腰を乗せる	5.84 (0.96)	4.83 (0.98)	6.33 (1.00)	高>中 低>中
L03. 踏切脚をしっかりと伸ばす	4.44 (1.46)	4.50 (1.38)	5.89 (0.93)	低>高
L04. 振上脚の脚をコンパクトにたたむ	5.47 (1.07)	3.83 (0.75)	5.44 (0.73)	高>中 低>中
【空中動作局面】				
L04. 振上脚を素早く振り下ろす	4.00 (1.05)	3.83 (0.75)	5.33 (1.41)	低>高 低>中
L06. 振上脚の踵をまっすぐに突き出す	3.79 (1.75)	5.00 (0.89)	5.44 (0.88)	低>高
L07. 振上脚をしっかりと前に出す	4.79 (1.23)	5.33 (0.52)	6.11 (0.78)	低>高
【着地局面】				
U01. 先導腕を引き戻し両腕でバランスをとる	5.32 (0.89)	4.50 (1.05)	6.44 (0.53)	高>中 低>高 低>中
U03. 両腕は大きく強く振る	3.84 (1.12)	4.50 (1.22)	5.44 (1.42)	低>高
B02. 身体をぶらさず、ブレーキをかけないようにする	6.74 (0.45)	6.00 (0.89)	6.22 (0.83)	高>中

() : 標準偏差

表4 左脚群において競技レベル間に有意差が認められた項目 (p<.05)

項 目	高レベル群	中レベル群	低レベル群	多重比較
【 踏切局面 】				
B03. 遠くから力強く踏切る	5.18 (1.54)	4.83 (1.33)	6.09 (0.70)	低>中
【 空中動作局面 】				
L09. 振上脚の膝を前方に振り出す	4.55 (1.13)	5.33 (1.21)	5.64 (0.67)	低>高

() : 標準偏差

レベル程度の速度でコーナーを走ると外側に振られることが予測される。前述したように左脚群は内側に踏切ることができ、その準備として視線を前方内側に向けていると思われる。

以上のように、左脚でハードルを踏切る中レベルの競技者は、視線を前方内側に向けるハードル・イメージを重要と捉えているといえる。

3) 低レベル群の重要度評価について

低レベル群は表2に示す「ハードルに対して腰を平行にして、前方に重心を移動させる (t (13) = 2.46)」、「腰でバランスをとる (t (18) = 2.16)」、「振上脚でハードルバーをけるようにする (t (18) = 2.98)」の3項目とも右脚群の方が左脚群より重要度を高く評価している。右脚踏切はルール上、外側に向かって踏切ることになり、コーナーでは内傾姿勢が求められる。しかし、踏切りが右脚の低レベルの競技者には、内傾姿勢を重要と評価する結果が得られなかった。このことは、右脚踏切りの低レベルの競技者にコーナーでの内傾姿勢を意識させる指導が望まれることが示唆されたといえる。

高レベル群と中レベル群では右脚群より左脚群の方が重要と評価している項目が多くみられた。しかし、低レベル群は逆の傾向がみられた。一般的に競技者が400 m Hをはじめの動機として400 m走の走力が高いことがある。つまり、低レベル群の競技者は400 m走から移行して間もない、また並行している競技者が多いと推測される。とすれば、低レベル群において難易度の高いといわれている左脚で踏切をしている競技者は右脚群より走力に自信がある可能性が考えられる。それ故に、走力に頼って400 m Hを行っており、まだハードルの技能をさほど意識していないと思われる。したがって、他のレベル群に比べて低レベル群の左脚群は右脚群より重要視する項目が少ないと推測される。しかし、本調査では400 mの記録などの情報は収集していないので、こ

の推測を検討するには追調査が必要である。

2. 各踏切脚における競技レベル間の差異

表3と表4は各局面において右脚群また左脚群に関して競技レベル間でANOVAまたはKruskal Wallisの検定を用いた結果、有意差 (p<.05) が認められた項目を示してある。さらに、これらの項目にLSD法またはMann-Whitneyの検定を用いた多重比較を施した。

右脚群では踏切において、「視線を前方内側に向ける (F (2) = 4.65)」は中レベル群より高・低レベル群が重要と、「踏切前半には上体をかぶせない (F (2) = 5.23)」は高・中レベル群より低レベル群が重要と、「ハードルに対して腰を平行にして、前方に重心を移動させる (U = 25.500)」は高レベル群より低レベル群が重要と、「腰の位置を高くする (F (2) = 4.65)」は高・中レベル群より低レベル群が重要と、「踏切脚は重心の真下に着き腰を乗せる (F (2) = 4.32)」は中レベル群より高・低レベル群が重要と、「踏切脚をしっかりと伸ばす (F (2) = 3.80)」は高レベル群より低レベル群が重要と、「振上脚の脚をコンパクトにたたむ (F (2) = 7.33)」は中レベル群より高・低レベル群が重要とそれぞれ評価していた。同じく空中動作をみると、「振上脚を素早く振り下ろす (F (2) = 5.03)」は高・中レベル群より低レベル群が重要と、「振上脚の踵をまっすぐに突き出す (U = 35.000)」は高レベル群より低レベル群が重要と、「振上脚をしっかりと前に出す (F (2) = 4.98)」は高レベル群より低レベル群が重要とそれぞれ評価していた。そして、着地をみると「先導腕を引き戻し両腕でバランスをとる (F (2) = 10.39)」は高・中レベル群より低レベル群が重要と、「両腕は大きく強く振る (F (2) = 5.28)」は高レベル群より低レベル群が重要と、「身体をぶらさず、ブレーキをかけないようにする (F (2) = 3.78)」

は中レベル群より高レベル群が重要とそれぞれ評価していた。尚、Kruskal Wallis の検定を用いた項目は、踏切の「ハードルに対して腰を平行にして、前方に重心を移動させる」と 空中動作の「振上脚の踵をまっすぐに突き出す」であった。

左脚群をみると、踏切で「遠くから力強く踏切る (U = 12.500)」は中レベル群より低レベル群が重要と評価し、空中動作で「振上脚の膝を前方に振り出す (F (2) = 3.46)」は高レベル群より低レベル群が重要と評価していた。尚、Kruskal Wallis の検定を用いた項目は 踏切での「遠くから力強く踏切る」であった。着地の項目には有意差がみられなかった。

右脚群と左脚群の結果を総合的にみると低レベル群が重要と評価している項目が多い。400 m H は走力が要求される競技であり、記録向上のために高い走力が求められる。先述したように低レベル群は400 m 走の走力がある競技者が400 m H に移行、また並行して競技していると思われる。とすれば、低レベル群は、高レベル群にくらべるとハードリングの技能が未熟であり、練習の比重がハードリングに傾いていることが予測される。つまり、低レベル群はハードリング技能に対する課題が多く、日頃、指導者から指示されている事柄も多いと予測される。そのために、技能に関する意識が高く重要と評価する項目が多く現れたと思われる。また、別の特性としては中レベル群が他のレベルより重要度評価が低い項目が多くみられる点が挙げられる。例えば右脚群の踏切の「視線を前方内側に向ける」「踏切脚は重心の真下に着き腰を乗せる」「振上脚の脚をコンパクトにたたむ」の3項目の重要度評価は、右脚群において低レベルで重要と評価され、中レベルで評価が下がり、高レベルになると再び重要と評価されているといえる。レベル間の評価を縦断的データとして捉えることが可能だとすれば、この結果は技能の変遷といえる。つまり、これらの項目は走力が多少高くなったときに重要度が一旦下がり、さらに走力を向上させるために最終的に重要となるハードリング・イメージであると推測される。ただし、中レベル群は他のレベルよりもハードリング・イメージに関する重要度評価が低いともいえる。このことは中レベルの競技者にもハードリングの技能をさらに意識させる必要があることを示唆させる結果ともいえる。

さて、高レベル群が最も重要と評価していた項目は右脚群の着地において「身体をぶらさず、ブレーキをかけないようにする」であった。この項目は走

速度を減速しない意識であり高レベル群がより高い走力を意識していることがうかがえる。

IV. まとめ

本研究は男子 400 m H において踏切脚が右脚の競技者と左脚の競技者がコーナーでのハードリング・イメージをそれぞれどのように捉えているのかを主観的な重要度の評価から抽出することを目的とした。そのために、まず、競技レベルごとに踏切脚の左右差を重要度評価から検討した。その結果、左脚で踏切る高レベルの競技者は、肩がハードルバーに対して平行な状態で踏切り、空中で先導腕を前に出し、ランニングを意識して着地することを重要視して捉えていた。一方、右脚で踏切る高レベルの競技者は、内傾姿勢をとることを重要視して捉えていた。左脚で踏切る中レベルの競技者は、視線を前方内側に向けることを重要視して捉えていた。右脚で踏切る低レベルの競技者からは、内傾姿勢を重要と評価する結果が得られなかった。したがって、右脚踏切りの低レベルの競技者にコーナーでの内傾姿勢を意識させる指導が望まれるといえる。

それぞれの踏切脚において競技レベル間で異なる項目を検討した。その結果、左右とも低レベル群が重要と評価している項目が多かった。また中レベル群が他のレベルより重要度評価が低い項目が多くみられ、中レベルの競技者にもハードリングの技能をさらに意識させる必要が示唆された。高レベル群の右脚群が着地において走速度を低速しない意識を重要として捉えており、高レベル群がより高い走力を意識していることが示唆された。

参考文献

- Frank, S., (1986) Psychology from start to finish. Canada: Sport books Publisher Toronto Canada : Toronto , pp.60-61.
- 袴田博秋 伊藤 宏 飯田穎男 (1986) 小学校の短距離走指導における助言に関する研究 -助言の因子構造の検討- 東海体育科学 8 : 9-19.
- 平井敏幸 荻部俊二 渡部近志 (2003a) 110 m、100 m ハードラーのハードリング・イメージの言語化についての研究. 陸上競技紀要 16 : 55-65.
- 平井敏幸 荻部俊二 (2004a) 110 m ハードラーのハードリング・イメージの因子構造と言語化に関する研究. スプリント研究 第 14 巻. pp. 90-100.

- 稲垣 敦 松浦義行 関岡康雄 大沢清二 宮下
憲 (1989) 短距離走の動作に関する主観的情報の
構造—短距離走、中・長距離、跳躍、投擲選手の
比較も加えて—。体育学研究 34 : 201-214.
- 稲垣 敦 松浦義行 関岡康雄 田中喜代次 (1990)
短距離走動作に関する主観的情報の構造の短距離
走力による差異。ランニング学研究 1 : 15-30.
- 稲垣 敦 関岡康雄 松浦義行 (1990) 短距離走動
作に関する経験的知識の研究—加速疾走局面にお
ける動作に関して—。陸上競技研究 2 : 30-45.
- 稲垣 敦 松浦義行 (1991) 短距離走の動作に関す
る経験的情報の研究。体育学研究 36 : 105-126.
- 稲垣 敦 関岡康雄 (1992) 短距離走動作に関する
感覚的知識の経験的重要度の検討—中間疾走局面
の動作に関して—。陸上競技研究 9 : 21-34.
- 苅部俊二 平井敏幸 渡部近志 (2003b) 400m ハー
ドラーのハードリング・イメージの言語化につい
ての研究。陸上競技紀要 第 16 巻. pp. 66-76.
- 苅部俊二 平井敏幸 (2004b) 400 m ハードラーの
ハードリング・イメージの因子構造の抽出に関す
る研究—ハードリング・イメージの言語化を目的
として—。陸上競技紀要 第 17 巻. pp. 51-59.
- 宮下 憲 (1991) 最新陸上競技入門シリーズ 4.
ハードル。ベースボール・マガジン社。東京 :
pp. 45-54.
- 村川俊彦 今村義正 山田秀樹 新出昌明 (1987)
水泳指導における感覚的言語に関する研究。東海
大学紀要体育学部 17 : 37-49.
- 織田揮準 (1970) 日本語の程度量表現用語に関する
研究, 教育心理学研究, 18, (3), 166-176.
- 織田揮準 (1975) 中性カテゴリーの位置効果に関す
る研究, 心理学研究, 45, (6), 300-312.
- 織田揮準 (1976) 反応語のカテゴリー内およ
びカテゴリー間意味効果, 心理学研究, 46,
(6), 305-315.
- Poulton, E. C., (1957) On prediction in skilled
movements, Psychological Bulletin, 54 :
467-478.
- 田中雅人 (1988) 運動動作に対する子供の表象の特
徴。体育の科学 38 : 547-551.
- 田中雅人 (1990) 運動習熟に伴う表象の変容とその
発達。体育学研究 34 : 293-303.
- 安井年文 麻場一徳 井上春英 吉原 紳 大森俊
夫 柳井宗一郎 持田 尚 (1997)
男女におけるハードル走のタイム、動作、意識の
関係—初心者の場合—。ランニング学
研究 8 (1) : 47-56.

力学的エネルギー利用の有効性からみたアテネオリンピック男子 20km 競歩における メダリストと日本人選手の比較

法元康二¹⁾ 阿江通良²⁾

1) 青森県スポーツ科学センター 2) 筑波大学体育科学系

Comparison of the effectiveness of the mechanical energy utilization for medalists and Japanese athletes on the men's 20km race walking of the Olympic Games in Athens

Koji Hoga¹⁾ Michiyoshi Ae²⁾

1) Aomori Prefectural Institute for Sports Sciences

2) Institute of Health and Sports Sciences, University of Tsukuba

Abstract

The purpose of this study was to identify the difference in the effectiveness of the mechanical energy utilization between the medalists and Japanese athletes on the men's 20km race walking of the Olympic Games in Athens. Three medalists and two Japanese athletes who walked on the 2km circuit course during the men's 20km race walking event were videotaped by two VTR cameras. Effectiveness indices of the mechanical energy utilization in race walking for medalists were higher than those for Japanese athletes because medalists have obtained large walking speed with small mechanical work (W_{wb}). The mechanical energy of the support leg for medalists increased with large mechanical energy flow from the recovery leg to the support leg by joint forces at the recovery and support hip in the end of the recovery phase. Increased mechanical energy of the support leg resulted in the large step length and walking speed.

I. 緒言

オリンピックや世界選手権では、競歩種目は男子 20km, 50km, 女子 20km (1997 年までは 10km) の三種目が実施されている。日本人選手の入賞はオリンピックでは達成されていないが、世界選手権では男子 50km で今村選手が東京大会 (1991 年) とアテネ大会 (1997 年) でそれぞれ 7 位と 6 位に入賞し、山崎選手がヘルシンキ大会 (2005 年) で 8 位に入賞している。しかし、男子 20km では柳沢選手がエドモントン大会 (2001 年) で 7 位に入賞しているだけで、女子 20km での入賞は達成されていない。そのため、男女 20km での日本一流選手と世界一流選手との差は、男子 50km と比べて大きいといえる。

競歩種目は、国際競技会において 17 歳以下のユ-

ス種目を含めて 5000m 以上の距離で実施される持久的種目であることから、生理的エネルギーを有効に利用し、レース中にわたって歩行速度を維持することは、高い競技パフォーマンスの達成に重要であると考えられる。Hoga ら (2003) は、日本国内で実施された公式競技会の男子 20km 競歩レースにおいて世界一流選手と日本一流選手を含む 28 名の競技者の回復脚における力学的エネルギーの流れについて分析し、レース中の大きな歩行速度の獲得には、筋によって発生した力学的エネルギーを有効に利用することが重要であることを明らかにしている。しかし、Hoga ら (2003) の研究では世界一流選手と日本一流選手との違いについては明らかにされておらず、また、日本国内の競技会における世界一流選手のパフォーマンスは必ずしも最高に近いコンディ

ションで達成されたものでないことから、日本一流選手と世界一流選手の違いを明らかにするには国際競技会における分析の方が適しているといえよう。

また、競歩種目では、競技規則による競歩の定義に適合しているかどうかを一周 2km 以下の周回コース上に等間隔で配置された五名から八名の競歩審判員が判定し、三名以上の審判員が競歩の定義に反すると判定した競技者は失格となる（財団法人日本陸上競技連盟, 2005）。オリンピックや世界選手権などの国際競技会では、最高ランク（レベルⅢ）の国際審判員のみが判定を行うことから、競技規則に適合する範囲内で大きな歩行速度を獲得する技術を明らかにするためには、レベルⅢの国際審判員が判定する競技会での分析の方が適していると考えられる。

そこで、本研究では、世界一流選手と日本一流選手の違いについて明らかにするために、力学的エネルギー利用の有効性の観点からアテネオリンピック男子 20km 競歩におけるメダリストと日本人選手の違いについて明らかにすることを目的とした。

II. 方法

1. VTR 撮影

アテネオリンピック男子 20km 競歩（2004 年 8 月 20 日）は、オリンピックスタジアムをスタートおよびフィニッシュ地点として、スタジアムから 1km 離れた住宅街に設定された一周 2km の周回コースで行われた。スタートから 2km の地点のコース脇歩道に二台の VTR カメラ（DCR-TRV50, ソニー社製, 毎秒 60 フィールド）を設置して撮影し、レース終了後に幅 3m, 縦 4.5m, 高さ 2m の分析範囲をコース上に設けて三次元 DLT 法のためのキャリブレーションを行った。

2. データ処理

Table 1 Characteristics for subjects

Name	Brugnetti (ITA)	Fernandez (ESP)	Deaks (AUS)	Tanii (JPN)	Yamazaki (JPN)
Place	1	2	3	15	DNF (Retired at 8km)
Age (yrs)	27	27	27	21	20
Height (m)	1.75	1.73	1.83	1.66	1.78
Body Mass (kg)	62	57	66	58	63
Race time	1:19'40"	1:19'45"	1:20'02"	1:23'38"	
Best time	1:19'40"	1:17'22"	1:18'14"	1:20'39"	1:20'38"
Performance Ratio (%)	100.0	97.0	97.8	96.4	

一周ごとに撮影したメダリストおよび日本人選手の VTR 画像から、分析可能であった周回のうち一周 2km のスプリットタイムの変化が小さく、歩行フォームに対する疲労の影響が少なかったと思われる 6km 地点から 14km 地点にかけての歩行 1 サイクルの画像を選択し（表 1）、ビデオ動作解析システム（Frame-DIAS II, ディケイエイチ社製）により身体計測点 25 点の座標をデジタル化した。二台のカメラ画像は右足接地のフィールドによって同期し、DLT 法によって三次元実座標に換算した。分析点の座標の平滑化は、座標成分ごとに最適遮断周波数を決定し（Wells と Winter, 1980）、Butterworth low-pass digital filter を用いて行った。遮断周波数は X 座標が、2.4-7.2Hz, Y 座標が、1.8-7.4Hz, Z 座標が、1.8-7.4Hz, の範囲であった。

3. 算出項目

本研究では、以下の項目について算出した。

1) 歩行速度, ピッチ, ストライド

阿江（1996）の身体部分慣性係数を用いて算出した全身の重心の座標をもとに、右足接地から、再び右足が接地するまでを歩行の 1 サイクルとして、1 サイクル中の平均の重心速度水平前後成分を歩行速度とし、ピッチは 1 サイクルに要した時間を二等分したものの逆数とした。ストライドは 1 サイクル中の重心の水平前後方向変位を二等分したものとした。

また、競技規則ではレース中に競技者が地面との接触を失わないものとして競歩を定義しているが（財団法人日本陸上競技連盟, 2005）、実際のレースでは審判の肉眼ではとらえられない短い時間だけ両足が地面と接触を失う非支持局面が発生することがある。そこで、非支持局面が発生した場合には、歩行の 1 サイクル中にどちらかの足が地面と接触している支持局面の時間を二等分したものを支持時間、非支持局面の時間を二等分したものを非支持時間として算出した。さらに、支持局面における重心の水平前後方向変位を二等分したものを支持距離、非支持局面における重心の水平前後方向変位を二等分したものを非支持距離として算出した。

2) 全身の力学的仕事, 力学的仕事伝達量

身体各部分の部分質量, 重心高, 重心速度, 重心まわりの慣性モーメント, 角速度などから各部分の力学的エネルギーを算出し、部分内および部分間で力学的エネルギーの交換および伝達がおこると仮定した Pierrynowski ら（1980）の方法を用いて、部分の力学的エネルギーのフィールド間の差分から、

全身の力学的仕事 (W_{wb}) を式 (1) により算出した.

$$W_{wb} = \sum_j^{n-1} \left| \sum_i^s (\Delta E_{i,j}) \right| \quad (1)$$

ここで, $\Delta E_{i,j}$ は部分 i の力学的エネルギーの時刻 j と時刻 $j+1$ の間の差分, n は 1 サイクルに要したフィールド数, s は部分の数である.

身体内の力学的エネルギーの伝達量 (T_b) を Pierrynowski ら (1980) の方法を用いて式 (2), (3) により算出した. ここで, W_w は部分内で力学的エネルギーの交換はあるが部分間での力学的エネルギーの伝達がないと仮定した場合の力学的仕事である.

$$W_w = \sum_i^s \sum_j^{n-1} |\Delta E_{i,j}| \quad (2)$$

$$T_b = W_w - W_{wb} \quad (3)$$

力学的エネルギーが歩行速度に有効に利用されたかを評価するため, 阿江と藤井 (1996) が提唱した力学的エネルギーの有効性指数 (EI) を式 (4) により算出した.

$$EI = \frac{\text{EffectiveEnergy}}{\text{MechanicalWork}} = \frac{\frac{1}{2} M V_Y^2}{W_{wb}} \quad (4)$$

ここで, M は身体質量, V_Y は身体重心速度の水平前後成分の 1 サイクルの平均であり, 分子に有効エネルギーとして身体重心速度の水平前後方向成分による運動エネルギーを, 分母に 1 サイクルの力学的仕事を代入した.

3) 地面反力の推定

実際のレースでは, フォースプラットフォームを用いた地面反力の測定ができなかった. そこで, 本研究では, 榎本 (1998) が疾走動作の分析において水平前後方向と鉛直方向の地面反力を推定した方法を用いて, 地面反力を重心加速度および全身の角運動量から推定した.

水平前後方向と鉛直方向の地面反力を重心加速度のみから推定した場合, 水平前後方向成分の地面反力は, ランニング (羽田ら, 2003) 同様に, 競歩においても (法元, 2000), 実測した地面反力と大きく異なる. そこで, 重心加速度からは, 鉛直成分 (Z 成分, GRF_Z) のみを式 (5) によって求めた.

$$GRF_Z = Ma_Z + Mg \quad (5)$$

ここで, M は身体質量, a は重心の加速度, g は

重力加速度である.

身体重心まわりの外力によるモーメントは, 身体重心まわりの全身の角運動量の変化に等しいことから, 榎本 (1998) の方法では, 以下の式 (6), (7), (8) より地面反力の水平前後成分 (Y 成分, $mGRF_Y$) を算出している.

$$H_{CG} = \sum_{i=1}^s (I_i \omega_i + m_i r_{iY} r_{v_{iZ}} - m_i r_{iZ} r_{v_{iY}}) \quad (6)$$

$$\dot{H}_{CG} = d_Y GRF_Z - d_Z mGRF_Y \quad (7)$$

$$mGRF_Y = \frac{d_Y GRF_Z - \dot{H}_{CG}}{d_Z} \quad (8)$$

ここで, H_{CG} は重心まわりの角運動量, s は部分の数, I_i は部分 i の重心まわりの慣性モーメント, ω_i は部分 i の部分重心まわりの角速度, m_i は部分 i の部分質量, r_i は身体重心に対する部分 i の重心の位置ベクトル, r_{v_i} は身体重心に対する部分 i の重心の速度, $mGRF_Y$ は重心まわりのモーメントから算出された水平前後方向の地面反力, d は重心に対する圧力中心の位置ベクトルである.

榎本 (1998) および羽田ら (2003) は, 圧力中心を拇指球に固定して d を算出し, $mGRF_Y$ を推定しているが, 本研究では, 法元 (2000) の方法と同様に, 圧力中心位置は接地直後における踵の Y 座標から離地直前におけるつま先の Y 座標まで等速で移動するものと仮定して d を算出した. 法元 (2000) は, この推定法により算出した圧力中心位置および地面反力の水平前後成分を, 実際にフォースプラットフォームを用いて推定した値と比較している. そして, この推定法による値はピーク値の低下が生じるが, それ以外では実測値に近い地面反力が推定できたと述べていることから, 本研究では, 式 (5) - (8) によって妥当な地面反力の水平前後成分と鉛直成分の推定が可能であると判断した.

また, 地面反力の水平左右成分を水平前後成分と同じ方法で算出したところ, これまで競歩中の地面反力を実測した研究 (Payne, 1978 ; Fenton, 1984; Cairns ら, 1986) で示されたものと比較して, 支持期中盤のピーク値が小さいほかは, 同じような変化パターンを示したことから, 水平前後成分の地面反力と同じ方法による推定は妥当であると判断した.

身体部分を剛体とみなして運動方程式をたて, 手や足など身体の遠位部分から順次解くことによって関節力および関節トルクを算出した. 関節 j における関節力パワー (JFP_j), 関節トルクパワー (JTP_j)

を式 (9), (10) により算出した (Winter, 1990).

$$JFP_j = JF_j \cdot V_j \quad (9)$$

$$JTP_j = JT_j \cdot (SAV_i - SAV_{i+1}) \quad (10)$$

ここで, JF_j は関節 j に作用する関節力, V_j は関節点の速度, JT_j は関節 j の関節トルク, SAV_i は部分 i の部分角速度, SAV_{i+1} は部分 i の近位に隣接する部分 $i+1$ の部分角速度である.

III. 結果

1. 歩行速度, ピッチ, ストライド

表2は, 全ての被験者の歩行速度, ピッチ, ストライドを示したものである. 歩行速度については, ブルニェッティ選手が 4.36 m/s で最も大きく, 次いでディークス選手 (4.34 m/s), フェルナンデス選手 (4.32 m/s) の順であったが, 山崎選手 (4.17 m/s), 谷井選手 (4.11 m/s) とともにメダリストよりも小さかった. ピッチについては, 谷井選手 (3.53 Hz) 以外の全ての選手で 3.33 Hz であったが, ストライドについては, ブルニェッティ選手が 1.31 m, フェルナンデス選手が 1.30 m, ディークス選手が 1.30 m であり, メダリストはほぼ同じ大きさであった. 日本人選手は, 谷井選手が 1.16 m, 山崎選手が 1.25 m で, メダリストよりも小さかった. また, ストライドの身長比についても, メダリストはブルニェッティ選手 (74.7 %) とフェルナンデス選手 (75.0 %) が同じ程度の大きさであり, ディークス選手は 71.5% であったが, 日本人選手 (谷井選手: 70.1 %; 山崎選手: 70.3 %) よりも大きかった.

Table 2 Walking speed, step frequency and step length for all subjects

Name	Brugnetti (ITA)	Fernandez (ESP)	Deaks (AUS)	Tanii (JPN)	Yamazaki (JPN)
Analyzed point (km)	6	10	14	10	6
Walking Speed (m/s)	4.36	4.32	4.34	4.11	4.17
Step Frequency (Hz)	3.33	3.33	3.33	3.53	3.33
Step Time (sec)	0.30	0.30	0.30	0.28	0.30
Support Time (sec)	0.27	0.29	0.25	0.26	0.28
Flight Time (sec)	0.03	0.01	0.05	0.02	0.02
Step Length (m)	1.31	1.30	1.30	1.16	1.25
Support Distance (m)	1.16	1.26	1.08	1.06	1.18
Flight Distance (m)	0.15	0.04	0.22	0.10	0.07
Step Length Ratio to body height (%)	74.7	75.0	71.5	70.1	70.3

Table 3 W_{wb} , T_b and EI for all subjects

Name	Brugnetti (ITA)	Fernandez (ESP)	Deaks (AUS)	Tanii (JPN)	Yamazaki (JPN)
W_{wb} (J/kg)	3.95	2.74	3.51	3.97	5.21
T_b (J/kg)	18.96	18.57	17.31	14.62	16.85
EI	2.40	3.41	2.68	2.12	1.67

また, 本研究で分析した全ての被験者で両足が地面との接触を失う非支持局面が発生していたが, 非支持時間については, フェルナンデス選手が 0.01 秒と最も短かったが, 谷井選手と山崎選手はともに 0.02 秒で, ブルニェッティ選手 (0.03 秒), ディークス選手 (0.05 秒) よりも短かった. また, 支持距離については, フェルナンデス選手は 1.26 m と非常に長かったが, ブルニェッティ選手 (1.16 m) は山崎選手 (1.18 m) と同じ程度であり, ディークス選手 (1.08 m) は谷井選手 (1.06 m) と同じ程度であった. 非支持距離については, フェルナンデス選手は 0.04 m と非常に短かったが, 谷井選手 (0.10 m) と山崎選手 (0.07 m) は, ブルニェッティ選手 (0.15 m), ディークス選手 (0.22 m) よりも短かった.

2. 全身の力学的仕事と力学的エネルギー伝達量, 力学的エネルギーの有効性指数

表3は, 1 サイクル中に全身で発揮した体重 1kg あたりの力学的仕事 (W_{wb}) と全身の部分間で伝達された力学的エネルギー伝達量 (T_b), 力学的エネルギーの有効性指数 (EI) を全ての被験者について示したものである. W_{wb} については, フェルナンデス選手が 2.74 J/kg で最も小さく, 次いでディークス選手が 3.51 J/kg で, ブルニェッティ選手 (3.95 J/kg) と谷井選手 (3.97 J/kg) は, ほぼ同じ大きさであったが, 山崎選手は 5.21 J/kg で最も大きかった. T_b については, ブルニェッティ選手 (18.96 J/kg) とフェルナンデス選手 (18.57 J/kg) が同じくらい大きさで, 次いでディークス選手 (17.31 J/kg), 山崎選手 (16.85 J/kg) の順であり, 谷井選手は 14.62 J/kg で最も小さかった. EI については, フェルナンデス選手が 3.41 と非常に高く, 次いでディークス選手 (2.68), ブルニェッティ選手 (2.40) の順であったが, 日本人選手は谷井選手 (2.12), 山崎選手 (1.67) の両方ともメダリストより低かった.

3. 下肢の関節力パワーと関節トルクパワー, 関節トルク, 関節角速度

図1は全ての被験者の回復脚股関節における関節

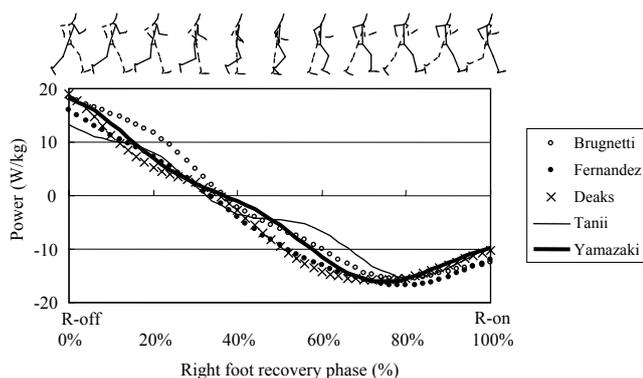


Figure 1 Joint force power of the right hip for all subjects during the normalized recovery phase

力パワーの変化を，右足離地から右足接地までの右足回復期を 100 % として規格化して示したものである．正のパワーは，回復脚股関節力によって体幹から回復脚に力学的エネルギーが流れたことを示し，負のパワーは，回復脚から体幹に力学的エネルギーが流れたことを示している．離地時に正であった股関節力パワーは，回復期 40 % 付近で負のパワーに変化し，回復期 80 % まで負のパワーを増加させていた．回復期前半における正の関節力パワーは，ブルネッティ選手のものほかの選手のものよりも大きかった．負の関節力パワーが増加する回復期 40% から 80% までの局面では，フェルナンデス選手とディークス選手のものが大きく，谷井選手の負の関節力パワーは他の選手のものよりも小さかった．また，回復期 80% から接地までの局面では，ブルネッティ選手とフェルナンデス選手の負の関節力パワーはほぼ同じ大きさであり，ディークス選手，山崎選手，谷井選手の負の関節力パワーよりも大きかった．

図 2 は，全ての被験者の支持脚股関節の関節力パワーの変化を，右足接地から右足離地までの右足支

Figure 2 Joint force power of the right hip for all subjects during the normalized support phase

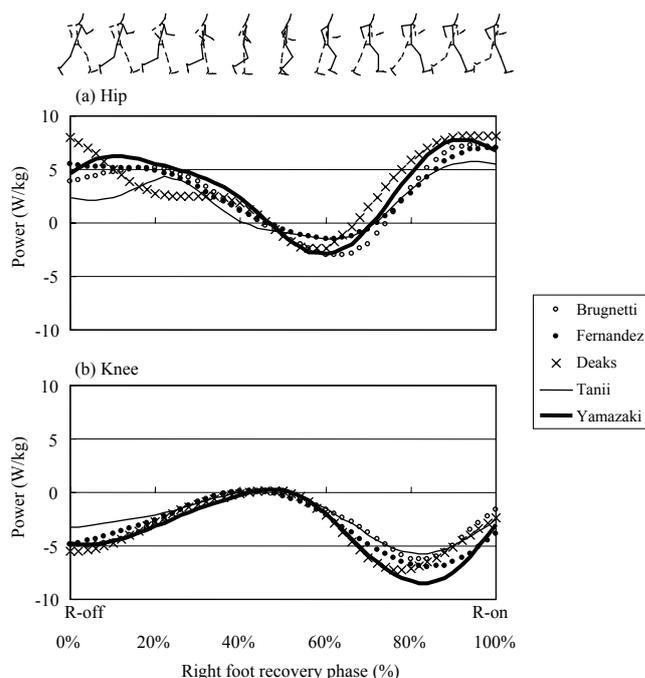


Figure 3 Joint torque power of the recovery hip (a) and knee (b) for all subjects during the normalized recovery phase

持期を 100% として規格化して示したものである．正のパワーは，支持脚股関節力によって体幹から支持脚に力学的エネルギーが流れたことを示し，負のパワーは，支持脚から体幹に力学的エネルギーが流れたことを示している．接地時において全ての被験者の関節力パワーは負であったが，ブルネッティ選手とディークス選手は，支持期 20% から 40% までの局面で正のパワーを示した後に，支持期 40% から 60% あたりまで負のパワーを示して，支持期 60% から離地まで正のパワーを急激に増加させていた．フェルナンデス選手では，支持期 20% から 60% まで非常に小さい負のパワーを示したのち，離地まで急激に負のパワーを増加させていた．谷井選手と山崎選手は，支持期 20% から 50% まで負のパワーを示した後に，離地まで正のパワーを増加させていた．支持期 60% から 80% まで，山崎選手の正の関節力パワーが他の選手のものよりも大きかったが，支持期 80% から離地時における正のパワーは，谷井選手および山崎選手よりもメダリストのほうが大きくなっていた．

図 3 は，全ての被験者の右足回復期における回復脚股関節 (a) と膝関節 (b) の関節トルクパワーの変化である．離地時に正であった股関節トルクパワーは，回復期 40% あたりまで減少して負のパワーに変化し，回復期 70% から接地まで正のパワーを増

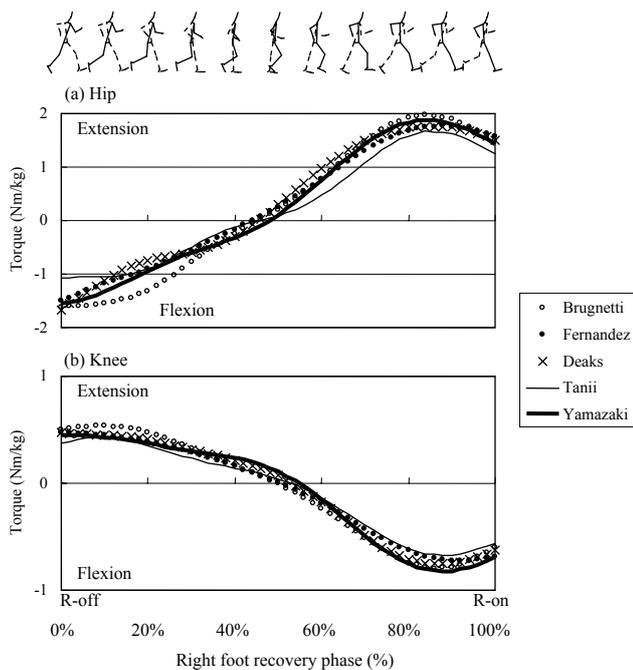


Figure 4 Joint torque of the recovery hip (a) and knee (b) about the medial-lateral axis of the absolute coordinate system for all subjects during the normalized recovery phase

加させていた。回復期前半では、山崎選手の股関節トルクパワーは他の選手のものより大きかった。膝関節の関節トルクパワーについては、離地時に負のパワーを示した後、回復期 40% あたりまで負のパワーが減少し、再び回復期 80% あたりまで負のパワーを増加させていたが、回復期後半における山崎選手の負の膝関節トルクパワーは他の選手のものより大きかった。

図 4 は、全ての被験者の右足回復期における回復脚股関節 (a) と膝関節 (b) における静止座標系左右軸まわりの関節トルクの変化である。正のトルクは伸展を示し、負のトルクは屈曲を示している。股関節トルクは離地時に屈曲トルクを示したが、回復期 40% まで減少して伸展トルクに変化し、回復期 80% まで伸展トルクが増加していた。右足離地から回復期 40% までの局面では、ブルニエッティ選手の股関節屈曲トルクが他の選手よりも大きく、回復期 80% 付近の伸展トルクのピーク値もブルニエッティ選手のものが大きかった。また、回復期後半では、谷井選手の伸展トルクは他の選手よりも小さかった。山崎選手の伸展トルクのピーク値はブルニエッティ選手を除く他の選手よりも大きかったが、接地時にはメダリスト三選手よりも小さくなっていった。膝関節トルクは離地時に伸展トルクであったが、回

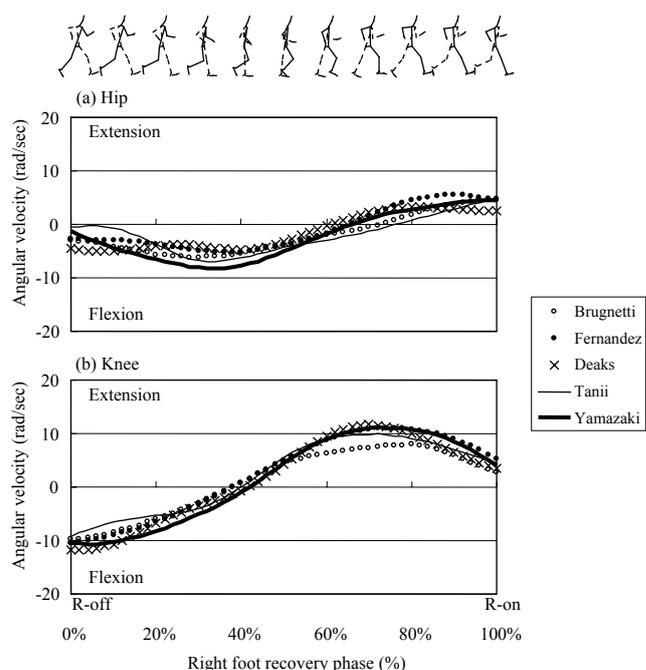


Figure 5 Joint angular velocity of the recovery hip (a) and knee (b) about the medial-lateral axis of the absolute coordinate system for all subjects during the normalized recovery phase

復期 50% に屈曲トルクに変化した後、屈曲トルクを大きく増加させて接地していた。右足離地から回復期 30% までの局面では、ブルニエッティ選手の伸展トルクが他の選手よりも大きく、回復期 80% から右足接地までの局面では、山崎選手の屈曲トルクが他の選手よりも大きく、また、谷井選手は他の選手よりも小さくなっていった。

図 5 は、全ての被験者の右足回復期における回復脚股関節 (a) と膝関節 (b) における静止座標系左右軸まわりの関節角速度の変化である。正の角速度は伸展を示し、負の角速度は屈曲を示している。離地時に屈曲の角速度を示した股関節角速度は、回復期 40% まで屈曲の角速度が増加し、回復期 60% で伸展に変化して接地していた。膝関節角速度は、離地時に屈曲であったが、右足回復期 40% に伸展に変化した後、回復期 70% ぐらいまで増加して接地していた。回復期 20% から 40% までの局面では、山崎選手の股関節と膝関節における屈曲の角速度は他の選手よりも大きかった。また、回復期 70% から 90% までの局面で、山崎選手の膝関節における伸展の角速度はフェルナンデス選手とならんで他の選手よりも大きかったが、接地時には、他の選手と同じ大きさであった。

IV. 考察

本研究で分析を行った被験者の歩行速度は、メダリスト (4.32 - 36 m/s) の方が、日本人選手 (4.11 - 17 m/s) より大きかったが、メダリストのピッチ (3.33 Hz) は、日本人選手 (3.33 - 53 Hz) と同じか小さかったため、歩行速度の違いはストライドの違いによるものであったといえる (表 2)。また、ストライドの身長比についても、メダリスト (71.5 - 75.0 %) は日本人選手 (70.1 - 3 %) よりも大きく、Hoga ら (2003) が日本国内の公式競技会の男子 20km 競歩について分析したのと同じ傾向がみられた。また、本研究における被験者の非支持時間は 0.01 秒から 0.05 秒の範囲であったが、Knicker と Loch (1990) は、両足が地面から両足が離れたと競歩審判員が判定した競技者の平均の非支持時間 (0.046 秒) は、そうでない場合 (0.039 秒) と統計的な有意差はみとめられず、非支持時間とは異なる観点で判断していた可能性があることを報告しており、失格とならずにフィニッシュした本研究の被験者は競技規則に適合した歩型であったといえる。

本研究における被験者の体重 1kg あたりの全身の力学的仕事 (W_{wb}) は、メダリスト (2.74 - 3.95 J/kg) のほうが日本人選手 (3.97 - 5.21 J/kg) よりも少なく、日本人選手よりも歩行速度の高かったメダリストの力学的エネルギーの有効性指数 (EI; 2.40 - 3.41) は、日本人選手 (1.67 - 2.12) より高くなっていた。また、力学的エネルギー伝達量 (T_p) は、メダリスト (17.31 - 18.96 J/kg) のほうが日本人選手 (14.62 - 16.85 J/kg) よりも多かったが、榎本ら (1999) は、公式競技会の男子 5000m 走における分析から、全身の力学的エネルギー伝達量は疾走速度との間に有意な相関があると報告し、力学的エネルギーが身体部分間で多く伝達されることで力学的仕事を小さくし、疾走速度および力学的エネルギーの有効性を高められるとしている。本研究における被験者でも同様な傾向がみられたことから、メダリストでは、日本人選手と比較して多くの力学的パワーを身体部分間で伝達させることによって、少ない力学的仕事で大きな歩行速度を獲得していたと考えられる。

榎本ら (1999) は、長距離走において力学的エネルギーの有効性を高め、大きな疾走速度を獲得するための動作の特徴として、両脚間での力学的エネルギーの伝達が大きいかを挙げている。Hoga ら (2003) は、公式競技会における一流競技者では、回復期後半に回復脚股関節力によって回復脚から体

幹に流れる力学的エネルギーが歩行速度と有意な相関がみられたと報告し、また、実験において競歩中の地面反力を計測した Hoga ら (印刷中) の研究では、支持期終盤において支持脚股関節力によって体幹から支持脚に流れる力学的エネルギーの流れが歩行速度と有意な相関があったことを報告している。本研究における被験者では、接地前において回復脚股関節力によって回復脚から体幹に流れる力学的エネルギーの流れと、支持脚離地前において支持脚股関節力によって体幹から支持脚に流れる力学的エネルギーの流れの両方で、メダリストの方が日本人選手よりも大きく (図 1, 図 2)、競歩における下肢の力学的エネルギーの流れについて検討したこれまでの研究 (Hoga ら, 2003; Hoga ら, 印刷中) と同じような傾向がみられた。さらに、Hoga ら (2003) は、回復期後半における回復脚股関節伸展トルクの大きさが回復脚股関節力による力学的エネルギーの流れに影響すると述べているが、本研究の被験者でも、回復脚接地前におけるメダリストの股関節伸展トルクが日本人選手よりも大きかったように (図 4)、これまでの研究と同じような傾向がみられた。

左右の股関節力によって回復脚から支持脚に流れた力学的エネルギーによって支持脚の力学的エネルギーは増加するが、支持期終盤において、支持脚股関節には前向きの関節力が作用することから (Hoga ら, 印刷中)、支持脚全体は前方に加速することになり、ステップ長を大きくすることに役立つと考えられる。したがって、メダリストのステップ長が日本人選手よりも大きかったのは (表 2)、支持期終盤において回復脚から支持脚に流れた力学的エネルギーが多かったことによると考えられ、それによってメダリストは大きな歩行速度を獲得していたと考えられる。さらに、非支持時間が非常に短く、支持距離が最も長かったフェルナンデス選手が (表 2)、全身の力学的仕事が他の被験者よりも少なく、力学的エネルギーの有効性が最も高かったことから (表 3)、回復脚から支持脚に流れる力学的エネルギーを大きくすることで、両足が地面との接触を失うロス・オブ・コンタクトによる注意や警告を受けにくくなると考えられる。

山崎選手の全身の力学的仕事 (W_{wb}) は、メダリストだけでなく谷井選手と比較しても非常に大きかった (表 3)。部分の力学的エネルギーの変化から全身の力学的仕事を算出する方法 (Pierrynowski ら, 1980) は、関節トルクパワーから算出した力学的仕事よりも小さくなる傾向があるとされている (阿江と藤井, 1996b)。山崎選手の W_{wb} は他の選

手と比較して非常に大きかったことから、関節トルクパワーによって算出した全身の力学的仕事でも他の選手よりも大きかったと考えられる。White と Winter (1985) は、競歩中の地面反力を計測し、関節トルクパワーを算出しているが、その中で、回復脚の股関節と膝関節のトルクパワーと、支持脚の足関節トルクパワーが大きなパワーを示したと報告している。図3で示したように、山崎選手の股関節トルクパワーは、回復脚前半で他の選手のものよりも大きく、膝関節トルクパワーは、回復期後半で他の選手よりも大きかったことから、山崎選手の W_{wb} が他の選手のものより大きかったことには、これらのパワーが関係していたと考えられる。

回復期前半における山崎選手の股関節の屈曲トルクは大きくなかったが、屈曲角速度が他の選手よりも大きかったことから(図4, 5)、この局面における股関節トルクパワーの大きさには、股関節屈曲の角速度が関係していたと考えられる。また、この局面では、膝関節の屈曲角速度も大きかったことから、膝関節を屈曲することで、回復脚全体の股関節まわりの回転半径を小さくし、股関節のすばやい屈曲を行っていたと考えられる。しかし、回復期前半における回復脚膝関節の屈曲は回復脚足部を上方に蹴り上げることになるため、ロス・オブ・コンタクトの注意・警告を受けやすくなると考えられる(法元, 2005)。

また、競歩では接地時に膝関節を伸展させる必要があり、回復期前半に大きく屈曲した膝関節は、回復期後半に再び伸展することになる。回復期80%前後における山崎選手の膝関節伸展角速度はフェルナデス選手と同じで他の選手よりも大きかったが、接地時には他の選手と同じ伸展角速度であったことから(図5)、膝関節トルクパワーが負のピークを示した回復期80%前後における屈曲の角加速度は他の選手よりも大きかったと考えられ、そのことによって膝関節屈曲トルクが大きくなり(図4)、負のトルクパワーが大きくなっていったと考えられる。法元ら(2005)は、接地前における下腿の振り出しが小さい場合にはベント・ニーの注意・警告を受けやすいことを報告しているが、膝関節の伸展角速度は下腿の振り出しに影響するため、接地直前に膝関節の屈曲トルクが大きくなって、膝関節伸展角速度が小さくなることは、負の関節トルクパワーの増加だけでなく、ベント・ニーの注意・警告を受けやすくなると考えられる。

回復期における股関節と膝関節トルクパワーと左右軸まわりの関節トルク、関節角速度に関するこれ

らの考察から、回復期前半における大きな正の股関節トルクパワーの発揮と、回復期後半における大きな負の膝関節トルクパワーの発揮は、一歩中における全身の力学的仕事の増加だけでなく、歩型違反による注意・警告を受けやすくなる可能性があることから、改善すべき点であったと考えられる。

V. 要約

本研究の目的は、世界一流選手と日本一流選手の違いについて明らかにするために、力学的エネルギー利用の有効性の観点からアテネオリンピック男子20km競歩におけるメダリストと日本人選手競技者の違いについて分析することであった。

その結果、以下のことが明らかになった。

- 1) 日本人選手のステップ長が1.16 - 25mであったのに対し、メダリストのステップ長は1.30-1.31mであり、歩行速度の違い(日本人選手:4.11 - 17m/s; メダリスト:4.32 - 36m/s)に大きく影響していた。
 - 2) メダリストは全身で発揮した力学的仕事が日本人選手よりも少なかったが、全身の部分間での力学的エネルギー伝達量が日本人選手よりも多く、力学的エネルギーを有効に利用し大きな歩行速度を獲得していた。
 - 3) メダリストは、回復脚接地前において、左右の股関節力によって回復脚から支持脚に多くの力学的エネルギーを流すことによって支持脚を前方に加速してステップ長を大きくし、大きな歩行速度を獲得していた。
 - 4) 日本人選手のうち、山崎選手は、回復期前半における股関節の正のトルクパワーおよび回復期後半における膝関節の負のトルクパワーが大きく、全身の力学的仕事を大きくしていた。
 - 5) 回復期後半での大きな股関節トルクパワーの発揮は、回復脚股関節と膝関節の大きな屈曲によってロス・オブ・コンタクトの注意・警告を受けやすく、また、回復期後半での大きな膝関節トルクパワーの発揮は、接地時の膝関節の伸展速度の低下によってベント・ニーの注意・警告を受けやすくなるため、改善すべき点となっていた。
- 以上のことから、日本一流選手を世界一流選手に近づけるためには、回復脚接地前における左右の股関節力を大きくすることによって、回復脚から支持脚へ流れる力学的エネルギーを多くし、全身で発揮した力学的仕事を有効に利用して大きな歩行速度を獲得することが重要であることが示唆された。また、回復期前半において回復脚膝関節の屈曲を抑えるこ

とと、回復脚接地直前に膝関節のすばやい振り出しを行うことは、注意・警告を受けにくい動きとなるだけでなく、全身の力学的仕事を小さくし力学的エネルギーの有効性を高める動きであることも示唆された。

謝辞：本研究のデータは、アテネオリンピック競歩男女種目の日本代表選手および専任コーチの協力を得て収集したものである。また、本研究において被験者となった各代表選手と専任コーチには本研究の趣旨をご理解頂き快くデータ開示にご協力いただいた。これらの方々に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 15 (3), 155-162.
- 阿江通良, 藤井範久 (1996) 身体運動における力学的エネルギー利用の有効性とその評価指数. *筑波大学体育科学系紀要*, 19, 127-137.
- Cairns, M. A., Burdett, R. G., Pisciotta, J. C., and Simon, S. R. (1986) A biomechanical analysis of racewalking gait. *Medicine and Science in Sports Medicine*, 18(4), 446-453.
- 榎本靖士 (1998) 力学的エネルギーからみた長距離走者の疾走動作. *筑波大学体育科学研究科平成9年度修士論文*, pp26-33.
- 榎本靖士, 阿江通良, 岡田英孝, 藤井範久 (1999) 力学的エネルギー利用の有効性からみた長距離走の疾走技術. *バイオメカニクス研究*, 3 (1), 12-19.
- Fenton, R. M. (1984) Race walking ground reaction forces. In: *Sports Biomechanics*, J. Terauds, K. Barthels, E. Kreighbaum, R. Mann, and J. Crakes (Eds.) Del Mar, CA: Academic Publishers, 61-70.
- 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 (3), 193-205.
- 法元康二 (2000) 競歩の歩行速度に影響を及ぼすバイオメカニクスの要因. *筑波大学体育研究科平成11年度修士論文*, pp23-27.
- Hoga, K., Ae, M., Enomoto, Y., and Fujii, N. (2003) Mechanical energy flow in the recovery leg of elite race walkers. *Sports Biomechanics*, 2 (1), 1-13.
- 法元康二, 杉田正明, 藤崎 明, 阿江通良 (2005) アテネオリンピックと第43回全日本競歩輪島大会の男子20km競歩におけるペント・ニー判定の比較. *日本陸上競技連盟陸上競技研究紀要*, 第1巻, 124-127.
- 法元康二 (2005) ロス・オブ・コンタクトの判定分析からみた競歩. *月刊陸上競技*, 39 (6), 160-162.
- Hoga, K., Ae, M., Enomoto, Y., Yokozawa, T., and Fujii, N. (in press) Joint torque and mechanical energy flow in the support leg of skilled race walkers. *Sports Biomechanics*.
- Knicker, A. and Loch, M. (1990) Race walking technique and judging the final report of the international athletic foundation research project. *New studies in athletics*, 5 (3), 7-9.
- Payne, A. H. (1978) A comparison of ground reaction forces in race walking with those in normal walking and running. *Biomechanics VI -A*, 293-302.
- Pierrynowski, M. R., Winter, D. A., and Norman, R. W. (1980) Transfer of mechanical energy within the total body and mechanical efficiency during treadmill walking. *Ergonomics*, 23 (2), 147-156.
- Wells, R. P. and Winter, D. A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. *Human Locomotion I*, 92-93.
- White, S. C., and Winter, D. A. (1985) Mechanical power analysis of the lower limb musculature in race walking. *International Journal of Sport Biomechanics*, 1, 15-24.
- Winter, D. A. (1990) *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley and Sons Inc., New York, pp.103-139.
- 財団法人日本陸上競技連盟 (2005) *陸上競技ルールブック 2005年度版*. あい出版, 東京.

関節角度の位相差を用いた競歩の運動パターン抽出

平川武仁¹⁾ 吉田 茂²⁾

1) 筑波大学体育センター 2) 筑波大学体育科学系

Extraction of Movement Patterns during Race Walking using Phase Differences of Joint Angles

Takehito Hirakawa¹⁾ Shigeru Yoshida²⁾

1) Sport and Physical Education Center, University of Tsukuba

2) Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

Abstract

Movement patterns during race walking were extracted and the phase relations of joint angles and body segments were analyzed. Four skilled and four semi-skilled male subjects walked on a treadmill at their best speed for 10000 m W. Their motions were videotaped from the right side of the body and each 10 second segment was digitized. Principal component analysis (PCA) with oblique rotation was applied for six angles of the right side joints and segments (upper arm, elbow, upper body, thigh, knee, and ankle). Results indicated the following.

- (1) Cumulative contribution of factors was more than 80%.
- (2) All subjects had a similar movement pattern.
- (3) The movement patterns could be classified into two groups: "upper arm, upper body, thigh, and ankle" and "elbow and knee".
- (4) The phase differences of the upper arm, the upper body, and the thigh were small, and that of the ankle showed a little phase lag as compared with other parts of the body.
- (5) The phase difference of the elbow and the knee was small. Movement patterns extracted by PCA with phase relations are important for novices in understanding, and in training to perform basic race walking.

I. 緒言

陸上競技の種目の中でも競歩競技（以下、競歩）は、「歩」という意味で歩行に分類されると考えられるが、膝伸展着地という競技規定を遵守するために、自然歩行とは大きく異なった動作となっている。これに加えて、伸展させて着地した膝への衝撃を緩和するために、腰の捻転動作が必要（楠本ほか、1983）となっているため、陸上競技の他の種目に比べて、非日常的で複雑な動作となる。

陸上競技に限らず、各種スポーツにおける複雑な運動は、各身体関節の角変位の位相が同じ（in-phase: 同位相）、反対（anti-phase: 逆位相）、ずれ

ている（phase difference: 位相差）という3要素によって構成されている。この3要素の組合せがあるからこそ、非常に多様な動作が可能となっている。競歩の位相に関しては、平川・吉田（2006）が前額面における肩と腰の協応パターン（coordination pattern）について検討している。その結果、熟練者の動作には、腰に対して肩の位相が遅延していること、すなわち位相差があることを指摘した。この流れで体幹動作の解析をさらに発展させ、指導現場に生かす知見を得るには、計測する身体関節・部位を増やすことが必要である。

複数の関節における角変位の位相解析には、多変量の交差相関係数を用いて、動作パターンを定量化

することが有効である (Mah et al., 1994). これは、同位相になれば相関係数が高く (1.0 に近い)、逆位相であれば低い (-1.0 に近い) ことを利用する。複数の関節の位相が類似しているならば、これらの関節は主成分分析によって同パターンとして抽出される。反対に、類似していないならば、異パターンとして抽出される。この分析方法によって得られた結果は、初心者が新たに習得しなければならない動作パターンを抽出したものであるため、習得の目標パターンとして有効利用できる。

本研究では、競歩動作における複数関節の角変位に主成分分析を適用し、これらの位相関係をモデル化することによって、競歩の動作パターンを数量的に抽出する。そして、初心者が理解し練習への方向づけに役立つ提案をすることを目的とした。

II. 方法

1. 被験者

競歩競技を専門とする男子選手 8 名であった (10000m 競歩の自己記録の平均と標準偏差は、上位群 4 名: $40' 26'' 3 \pm 49'' 5$, 下位群 4 名: $47' 01'' 3 \pm 1' 50'' 6$)。上位群には、陸上競技世界選手権大会 20km 競歩 (2003 年) に出場した 2 名とアテネ五輪 20km 競歩 (2004 年) に出場した 1 名が含まれていた。結果と考察では、自己最高記録 (自己記録) の良い順に A から H までのアルファベットで表記した。実験では、測定手順、身体負荷などの実験内容について十分な説明を行い、参加の同意を得た。

2. 実験設定

電動トレッドミル (以下、トレッドミル) 上で 100m/min から開始し、10000m 競歩の自己記録の平均速度まで 30s ごとに 10m/min で増速する漸増負荷条件であった。それゆえ、終了時の速度は被験者によって異なっていた。

撮影にはビデオカメラ (SONY 社製 DCR-TRV17, 30fps, 露出時間 1/250-1/4000s) を用いた。被写体の奥行き誤差、ビデオカメラの鉛直垂直誤差を減少させるため、遠方から撮影することが望ましいが、実験室の広さに制限があったため、被験者の右側方から約 4m 離れた位置から撮影することとした。ただし、トレッドミル上を歩行する被験者に対して真横から撮影できるように、まずビデオカメラを上下に振ることで鉛直方向の軸を決定し、次にビデオカメラに設置した水準器に基づいてビデオカメラの水平方向の軸を決定した。本研究の統計解析では、角

変位が最大・最小になる時間が重要であるため、今回の撮影条件で十分であると判断した。

また被験者がトレッドミル歩行に慣れるために、まず漸増速度条件で自然歩行をし、次に、競歩の歩型での歩行を納得するまで行わせた。そこでは、希望する準備運動に基づいて、被験者は通常練習の歩行速度で数分、あるいは高速度で 10s から 20s を数回繰り返した。

3. データ処理

自己記録の平均速度における 30s 間の中間 10s の映像を 720×480 dots でパーソナルコンピュータに取り込み、デジタイズした (片足で十数歩)。分析

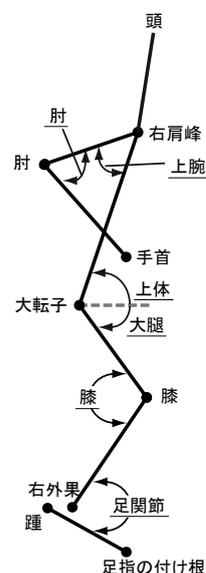


図 1 分析点と身体関節の角度定義。

図中の分析角度には下線を引いている。上体と大腿の分析角度のみ、画像上の水平面を基準に分離した。

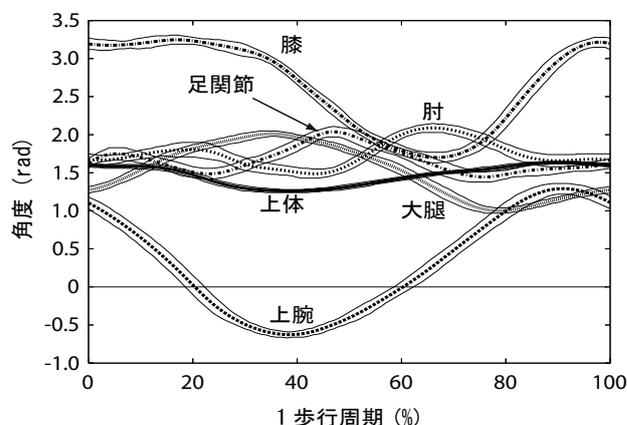


図 2 各身体関節の角変位の例。

実験参加者 A の 16 周期分の平均の角変位とその標準偏差。各時系列データの上下にある細線が標準偏差を示す。

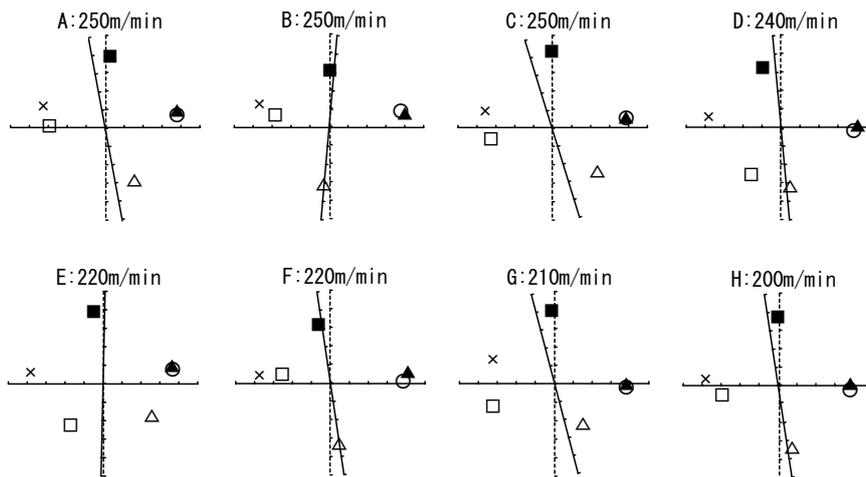


図3 斜交回転後の主成分負荷量。

10,000m競歩における自己記録の良い実験参加者から順にAからHとした。アルファベットの右の表記は歩行速度を示す。横軸に第1主成分，縦軸に第2主成分を配置した。両軸とも-1.2から1.2の範囲である。図中の記号は，○上体，▲上腕，△肘，×大腿，■膝，□足首を示す。

点は右肩峰，肘，手首，大転子，膝，右外果，踵，足指の付け根の計8箇所であり，これらの分析点をもとに上体，上腕，肘，大腿，膝，足関節の角度（図1）の時系列データを作成した（1周期分のデータ例を図2に示す）。実長換算と平滑化はしなかった。

4. 統計処理

上体，上腕，肘，大腿，膝，足関節の角度の時系列データを用いて，被験者ごとに主成分分析を適用し，次元の単純構造化のために斜交回転を施した。斜交回転には，予備回転として算出したバリマックス回転を強調して作成した仮説行列との差異を最小化するプロマックス回転を施し，単純構造を推定した（柳井，1994，pp.132-134；柳井・高根，1985，pp.128-137）。仮説行列作成のための累乗指数は4乗とした（中村，2002，pp.136-143；柳井・高根，1985，pp.128-137）。次にサー斯顿の回帰式によって主成分得点を推定した。主成分数の採択においては，固有値1.0以上，スクリー基準，累積寄与率をもとにして最適解を求めた（古谷野，1988，pp.126-147；村上，1985，pp.166-167）。各主成分

を構成する変数の分類では，主成分負荷量の基準値を絶対値0.40とした。統計的な有意水準は $p=.05$ とした。

今回，利用する主成分分析は，複数関節の角変移データが屈曲から伸展，あるいは伸展から屈曲というように，角変位の方向が切り替わるタイミングをデータの類似度として利用する。そのため，複数関節の動作のタイミングを1つの主成分として抽出する有効な手法である。

III. 結果

1. 主成分の抽出

被験者全員の固有値の平均と標準偏差は，第1主成分が 3.26 ± 0.15 ，第2主成分が 1.58 ± 0.11 であった。これらは全分散の説明率の平均が80.52%であった。この結果から，主成分数の決定においては，固有値の基準と累積寄与率の基準を満たしているため，第1・第2主成分に主成分数を固定し，再分析し解析を進めた。

図3に被験者全員の第1主成分と第2主成分の負

表1 斜交回転後の主成分負荷量の平均と標準偏差

(a)上位群		主成分		共通性
身体関節	第1	第2		
上腕	.98 ± .01	.12 ± .06	.96 ± .02	
上体	.96 ± .02	.10 ± .08	.93 ± .02	
大腿	-.90 ± .05	.23 ± .06	.91 ± .04	
足関節	-.66 ± .16	-.15 ± .33	.59 ± .13	
膝	.17 ± .19	.90 ± .11	.78 ± .17	
肘	.06 ± .23	-.77 ± .04	.68 ± .16	
寄与率	54.20 ± 3.48	26.81 ± 2.39	81.01 ± 4.47	
固有値	3.25 ± .21	1.61 ± .14		
主成分間	第1 1.00	-.07 ± .17		
相関係数	第2 -.07 ± .17	1.00		

(b)下位群		主成分		共通性
身体関節	第1	第2		
上腕	.96 ± .03	.10 ± .10	.94 ± .02	
上体	.95 ± .01	.03 ± .11	.92 ± .02	
大腿	-.92 ± .06	.17 ± .10	.91 ± .01	
足関節	-.66 ± .17	-.23 ± .29	.64 ± .21	
膝	.24 ± .29	.92 ± .05	.74 ± .15	
肘	.04 ± .15	-.69 ± .20	.65 ± .11	
寄与率	54.32 ± .47	25.71 ± .61	80.03 ± .96	
固有値	3.26 ± .03	1.54 ± .04		
主成分間	第1 1.00 ± .15	-.06 ± .15		
相関係数	第2 -.06 ± .15	1.00		

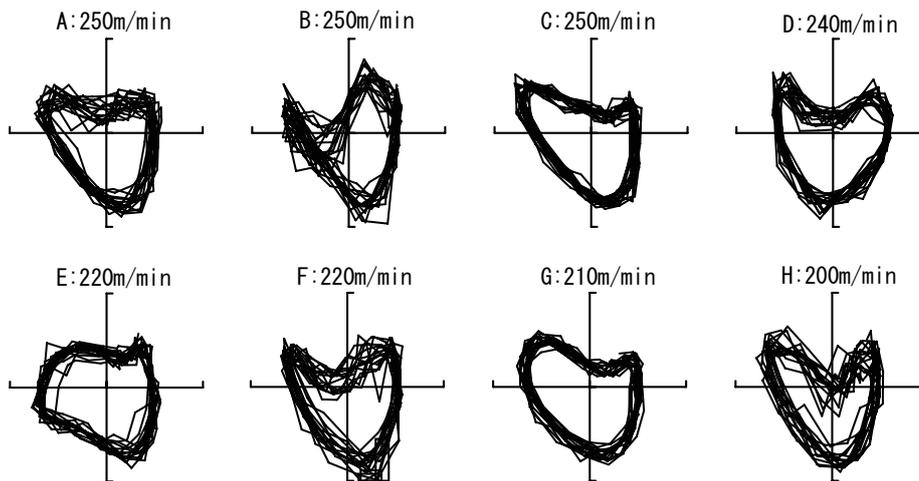


図4 斜交回転後の主成分得点。

10,000m 競歩における自己記録の良い実験参加者から順に A から H とした。アルファベットの右の表記は歩行速度を示す。横軸に第 1 主成分，縦軸に第 2 主成分を配置した。両軸とも -2.5 から 2.5 の範囲である。

荷量の結果を示した。この図は、横軸に第 1 主成分負荷量，縦軸に第 2 主成分負荷量を配置したものである。表 1a に上位群，表 1b に下位群における斜交回転後の主成分負荷量の平均と標準偏差の結果を示した。

主成分負荷量の結果（値）から，第 1 主成分は上体，上腕，大腿，足，第 2 主成分は肘，膝で構成されていることが認められた。そこで，各群内での被験者の主成分負荷量の一致の程度を検討するため，第 1 主成分と第 2 主成分それぞれについて，各被験者の負荷量を用いて Kendall の一致係数 (τ) を算出した結果，高い相関関係（第 1：上位群 .97，下位群 .94；第 2：上位群 .97，下位群 .73）があった。これらの結果から，各群内で主成分負荷量の傾向が類似していることが認められた。

さらに，各被験者の第 1・第 2 主成分の負荷量を代表値として，身体関節ごとに順位和検定によって群間差を検定した結果，いずれの身体関節においても有意差はなかった（上体： $\chi^2(7)=1.79$, $p=.18$ ；上腕： $\chi^2(7)=1.27$, $p=.24$ ；肘： $\chi^2(7)=0.00$, $p=1.00$ ；大腿： $\chi^2(7)=0.19$, $p=.66$ ；膝： $\chi^2(7)=0.18$, $p=.66$ ；足関節： $\chi^2(7)=0.00$, $p=1.00$ ）。この結果から，群間の主成分負荷量の傾向が類似していることが認められた。

2. 主成分間相関係数

第 1 主成分と第 2 主成分の間の相関関係について，群間の差異を検討するため，主成分間相関係数（上位群における主成分間相関係数の平均と標準偏差は -0.14 ± 0.13 ，下位群は -0.13 ± 0.10 ）を用いて，順位和検定をした。その結果，群間に有意な差はな

かった ($\chi^2=0.06$, $p=.81$)。この結果から，主成分間の類似の程度に，群間の差異がないことが認められた。

3. 主成分得点

第 1 主成分を横軸に，第 2 主成分を縦軸に配置し，主成分間の関係を示したのが図 4 である。この結果から，被験者 E 以外のいずれの被験者もハート型の形状になっていることが認められ，競技水準による明確な差異はなかった。この結果から，各被験者の代表値として扱える主成分得点について，群間の差異がないことが認められた。

IV. 考察

分析対象にした身体関節は，主成分数を決定する固有値および累積寄与率の結果から，第 2 主成分までが抽出された。これは，矢状面における競歩動作が大きく分けて 2 つの位相で構成されており，今回の解析によって動作パターンを 80% 以上説明していることを示している（表 1）。さらに，各主成分を構成する身体関節が両群で同一であり，主成分負荷量，主成分間相関係数，主成分得点において上位群と下位群に明確な差が認められなかったことは，本研究で抽出された動作パターンが，競技水準に影響を受けない頑健なモデルであることを示す。

第 1 主成分の下位項目である上腕と上体の主成分負荷量が同符号であったのは，上腕を後方にスウィングする動作と上体が後傾していく動作の角変位が同方向であったことを示し，主成分負荷量の高さ（上位群の上腕 .98，上体 .96；下位群の上腕 .96，

上体.95) が同位相であることを意味している (図 5a). ただし本研究では, 上体の角変位について, 身体前方への腰の移動と, 身体後方への肩の移動, の 2 つの割合を分離できないので, 支持足側の腰に対して遊脚側の腰の移動の程度を評価する方法や, 肩と腰の移動を別々に評価する方法などで詳細に検討していくことが必要である.

大腿と足の主成分負荷量が同符号であったのは, 後方に大腿を伸展させる動作と, 足が伸展 (底屈) する動作の角変位が同方向であったことを示している. 大腿の主成分負荷量の絶対値が高い (上位群 .90 ; 下位群 .92) ことは, 上腕と上体と同位相であること, また足関節の主成分負荷量の絶対値が中程度 (両群ともに .66) であったことは, 上腕, 上体, 大腿との位相差があったことを意味する. これは図 2 に示した熟練者 A の角変位から判定すると, 足関節の遅延が若干あったことを示す (図 5b). これは, 大腿が最大伸展した後に, 足関節が伸展 (底屈, あるいは身体後方にキック) している動作である.

第 2 主成分の下位項目である膝と肘の主成分負荷量が異なる符号であったのは, これら 2 つの角変位が反対方向であることを示している. これは, 後方へ腕をスウィングしながら肘角度を大きくしていく動作と, 後方から前方に脚をスウィングするときに膝を屈曲していく動作の位相が近いことを意味する (図 2 と図 5c).

以上のように, 主成分分析を用いることによって, 複数の身体関節の角変位の位相関係から動作パターンを抽出し, 動作の特徴を概ね捉えることができることがわかった. そして, 図 5 で示したように, 競歩における 3 つの動作パターンを習得できるように, 初心者を指導することが重要と考えられる.

ただし, 競技水準と複数の身体関節の位相差の関

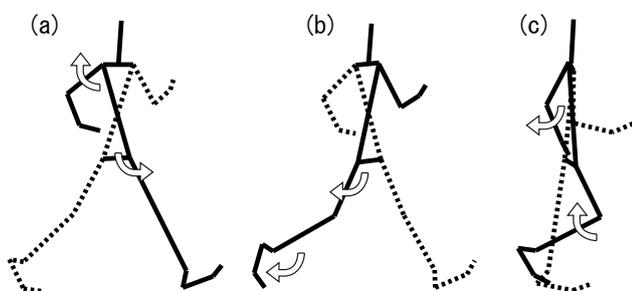


図 5 主成分分析によって抽出された動作パターン.

実線が身体の右側面であり, 破線は身体の左側面を示す. 矢印は, 主成分分析によって抽出された角変位の方向を示す.

係については, 主成分負荷量に群間の差異が認められなかったことからわかるように, 微細な解析は困難である. そのため, 主成分分析によって動作パターンを抽出することと, 2 変量の交差相関による時間差 (位相の尚早・遅延) の抽出を併用することが望ましい. さらに, 平川・吉田 (2005) が, 電動トレッドミル上での漸増歩速度条件で大腿と下肢の位相差パターンを検討した結果, 10,000mW の自己記録平均速度 (100%) と低速度 (60%, 80% 相対速度) において, 熟練者の動作パターンに変化は認められなかったが, 初級者の位相パターンは 100% 相対速度で遅延することを報告している. このように, 歩行速度の変化によって協応パターンが変化することもあるため, 個人内変動を踏まえて多次元的に検討していくことが, 今後必要であると考えられる.

V. 要約

本研究では, 競歩における身体関節の位相関係から, 動作パターンを数量的に抽出し, 初心者が有効利用できる習得の目標パターンを提示することを目的としていた. 得られた結果は以下のように要約される.

1) 主成分分析によって抽出された矢状面の動作パターンは 80% 強の説明率である. また, 動作パターンは, 大きく 2 つの位相 (「上腕, 上体, 大腿, 足関節」と「肘, 膝」) に分類される.

2) 上腕, 上体, 大腿の角変位は同位相に近似しているが, 足関節の位相は若干遅れていることが中程度の主成分負荷量から認められた. これは, 上腕を身体後方へスウィングする動作と反時計回り方向に上体が傾斜していく動作が同位相であることを意味する. ただし, 身体後方への肩の移動と身体前方への腰の移動のいずれがこの角変位に大きく寄与しているかを判断することができない. そして, 足関節の遅延は, 大腿が最大伸展した後に, 足関節を伸展していることを意味している.

3) 後方へ腕をスウィングしながら肘角度が大きくなっていく動作と, 後方から前方に脚をスウィングしながら屈曲していく動作との位相が近似していることが認められた.

文献

平川武仁・吉田 茂 (2005) 競歩の漸増速度条件における腰膝位相パターンの遅延. 日本体育学会第 56 回大会予稿集, 203.

- 平川武仁・吉田 茂 (2006) 競歩選手における肩腰動作の位相遅延と円滑性. スポーツ心理学研究, 33 (1), 1-10.
- 古谷野 亘 (1988) 数学が苦手な人のための多変量解析ガイド, 川島書店, 東京.
- 楠本秀忠・後藤幸弘・辻野昭 (1983). 競歩の筋電図的研究. 体育学研究, 28 (1), 43-54.
- Mah C D Hulliger M, Lee R G, and Callaghan I S (1994) Quantitative analysis of human movement synergies: constructive pattern analysis for gait. Journal of Motor Behavior, 26 (2), 83-102.
- 村上 隆 (1985) 変数間の関係の構造を探る. 海保博之 (編), 心理・教育データの解析法 10 講基礎編, 福村出版, 東京, pp. 150-172.
- 中村知靖 (2002) 構成概念を測定する. 渡部洋 (編), 心理統計の技法, 福村出版, 東京, pp. 128-150.
- 柳井晴夫 (1994) 多変量データ解析法—理論と応用—, 朝倉書店, 東京.
- 柳井晴夫・高根芳雄 (1985) 新版多変量解析法, 朝倉書店, 東京.

女子4×400mリレーにおける各走者区間タイムからみた オーダーについての一考察

渡部 誠¹⁾ 斎藤隆志¹⁾ 岡野 進²⁾
1) 日本女子体育大学 2) 明海大学

Research of each runner's time in girl 4×400m relay order

Makoto WATABE¹⁾ Takasi SAITO¹⁾ Susumu OKANO²⁾
1) Japan Women's College of Physical Education
2) Meikai University

Abstract

The video shooting such as girls 4×400mR of IH was done, and in this research, the section time of four people was measured and analyzed. The runner arrangement histogram arranged the ace from the seen order in the second runner at the preliminary contest of IH girl level and the semifinal level. At the IH final level, there were a lot of team that arranged the ace in the anchor. At the IH final level that had been seen at the section time, an exclusion it was the second runner, she was the fourth runner, and the second runner was the fastest section time often especially at the section time as for the winning team. The first prize of the IC finals levels and the team of the second prize appointed the runner who was fast gradually, and it was the construction of the order IH winning team.

I. はじめに

現在、リレー種目として行われているのは、4×100mR、4×400mRが中心である。その中で、女子のリレーについてみていくと、国際的には、1921年にフランスなどの5ヶ国の参加を得て、モンテカルロで行われた第1回国際女子陸上競技大会の一人75mずつ走る300mリレーが導入された頃より始まったと言われている。オリンピック大会に女子種目が初めて採用された1928年の第9回アムステルダム大会から女子4×100mRが採用され、カナダチームが優勝を飾ったが、女子4×400mRは1972年の第20回ミュンヘン大会であった。日本選手権では、女子4×100mRは1925年(大正14年)の第12回大会が最初であるが、女子4×400mRは1970年(昭和45年)の第54回大会が最初であった。日本学生対校選手権(以下日本ICとする)で

は1990年に、全国高校総合体育大会(以下全国IHとする)では2001年より採用された。

4×400mRは、一人400mという短距離種目の中で最もきつい種目であり、全区間を全力で走りきるのは困難とされている。競技的な特性としてスピードとスピード持久力が必要とされ、さらに重要となるのはペース配分である。また、3ヶ所のバトンプスの良否が記録や順位に少なからず影響を与えてくる。そして、戦術的においてオーダーの並べ方については、チームにとって最高のパフォーマンスを出すために他のチームのオーダーも見据えながら考えなければならない最も重要なものであり、記録や順位を左右する要因であるといっても過言ではない。しかしながら、国内での女子4×400mRの歴史は浅いため研究のデータは少なく、その実態について把握することは重要であるといえる。

そこで、本研究の目的は、全国IHの女子4×

400 m Rを中心にビデオ撮影を行い4人の区間タイムを計測し、また出場校に対してアンケート調査を実施することにより、その実態について明らかにしていくことである。

II. 研究方法

1. 対象レース

第58回全国IH女子4×400 m Rの予選・準決勝・決勝の各レース（13レース・延べ89チーム）と、日本ICの女子4×400 m Rの決勝の各レースを対象とした。

2. ビデオ撮影・ビデオの分析方法

2台のビデオカメラを用いて撮影を行った。撮影したビデオより、スタート時の閃光をスタートとし、各区間通過タイムについてはバトンを基準とし、撮影したビデオカメラ（60Hz）を基に区間タイムを算出した。

3. 出場校に対するアンケート調査

全国IHの女子4×400 m Rの出場校72校、男子決勝出場校8校に対しリレーのオーダーやトレーニングの内容について郵送によるアンケート調査を行った。回収率は、47.5%（38校）であった。

III. 結果と考察

全国IHにおける女子4×400 m Rの出場チームを予選において敗退したチームを予選レベル、準決勝において敗退したチームを準決勝レベル、決勝進出チームを決勝レベルとして分析を進めた。また、日本IC女子は、決勝レベルを対象とした。

1. 各区間タイムによる走者配置ヒストグラムからみたオーダーについて

図1～図4は、各走者区間タイムによる走者配置ヒストグラムからオーダーについてみたものである。走者順の配置については、区間タイムより一番速い者を1st・・・として示した。予選レベル（図1）では、第2走者に一番や速い走者（以下エースとする）を配置しているチームが多く、次に第4走者（アンカー）は2番目に速い走者（準エースとする）のチームが多かった。また、第1走者が一番遅い走者を配置しているチームが多かった。つまり、予選レベルでは、全体的なレース展開として第2走者にエースを配置することにより、少しでも順位を上げていき

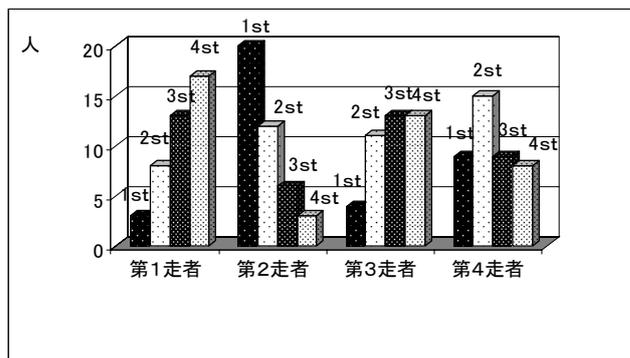


図1 IH 予選レベルにおけるヒストグラム

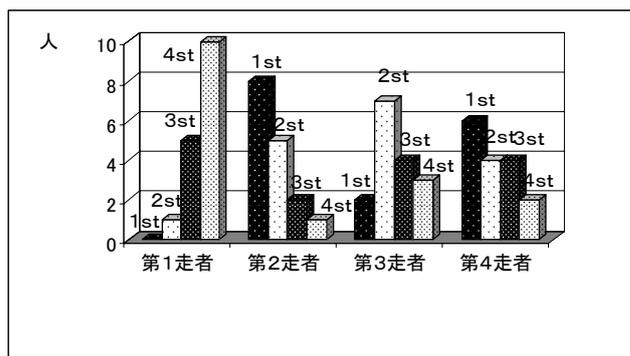


図2 IH 準決レベルのヒストグラム

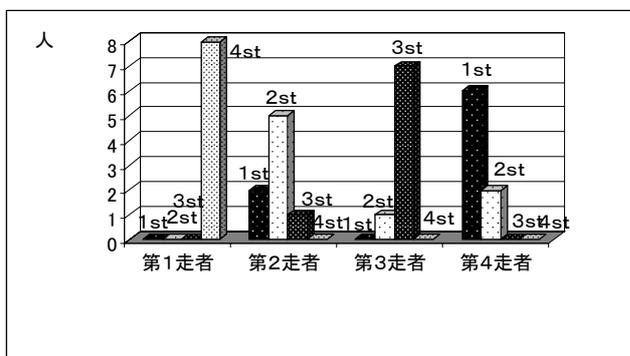


図3 IH 決勝レベルのヒストグラム

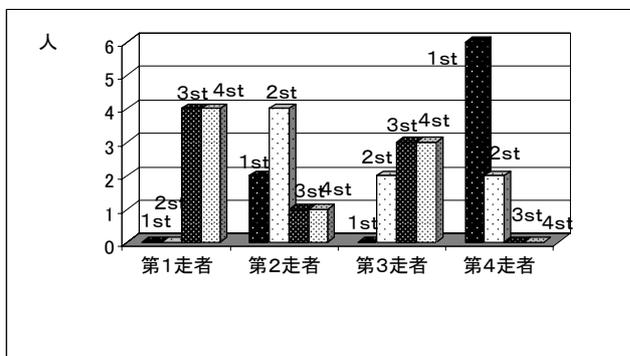


図4 日本IC女子決勝レベルのヒストグラム

たいチームが多かったと思われる。

準決勝レベル（図2）では、予選レベルと同じように、エースを第2走者に配置しているチームが最

も多かったが、アンカーにエースを配置しているチームも多く見られた。また、第3走者に準エースを配置しているチームが多かった。つまり、準決勝レベルでは、第2走者において先頭グループにつけ第3走者とアンカーへとつなげ決勝への進出を伺っているチームが多かったと推察できる。しかし、決勝レベルでは、エースをアンカーに配置しているチームが6チームあり、準エースは第2走者に配置しているチームが多かった。また、第1走者は全てのチームが遅い走者を配置し、第3走者は3番目の選手を配置しているチームが多かった。つまり、決勝レベルにおいてアンカーで順位をあげていきたいというチームが多かったと思われる。

次に、日本 IC 女子 (図4) については、アンカーにエースを配置し、準エースを第2走者に配置しているチームが多かった。このことは、第2走者において全体的なレースの流れをつかみ、アンカーで順位を上げていきたいというチームが多かったと思われる。

2. 各走者区間タイムの平均からみたオーダーについて

図5は、全国IHの各レベル別及び日本IC決勝レベルの区間タイムの平均を現したものであり、表1は平均と標準偏差をまとめたものである。予選レベルの平均は、第1走者61秒7(±1.50秒)、第2

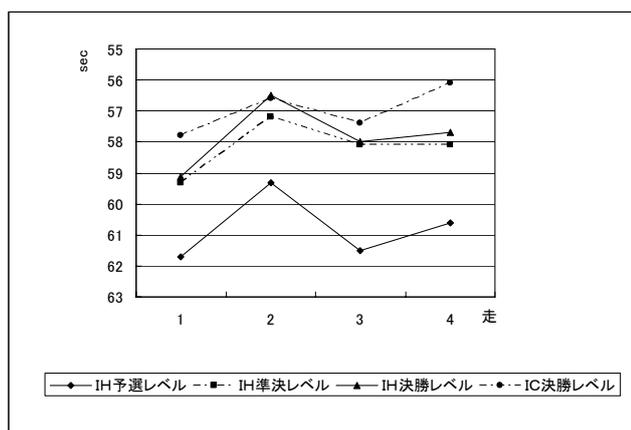


図5 各レベルにおける区間タイムからみた走者順の推移

表1 各レベル別の走者毎の平均(標準偏差)

	第1走者	第2走者	第3走者	第4走者
IH予選レベル	61.7(1.51)	59.3(2.10)	61.5(2.41)	60.6(3.71)
IH準決レベル	59.3(0.66)	57.2(1.34)	58.1(2.41)	58.1(3.71)
IH決勝レベル	59.1(0.66)	56.5(0.84)	58.0(1.07)	57.7(1.13)
IC決勝レベル	57.8(1.43)	56.6(1.04)	57.4(1.59)	56.1(1.93)

走者59秒2(±2.10秒)、第3走者61秒4(±2.41秒)、第4走者60秒7(±3.71秒)となっており、第2走者のみが60秒以内という状況であり女子400mからみた場合には、決して高いレベルではないと思われる。

次に、準決勝レベルでは、第1走者59秒3(±0.66秒)、第2走者57秒2(±1.34秒)、第3走者58秒1(±1.39秒)、第4走者58秒1(±2.14秒)であった。第1走者と第2走者の間に有意差($P < 0.01$)が認められた。

全国IH決勝レベルでは、第1走者59秒1(±0.65秒)、第2走者56秒5(±1.34秒)、第3走者58秒0(±1.39秒)、第4走者56秒4(±1.28秒)となっている。第1走者と第2走者及び第1走者と第4走者の間に有意差($P < 0.01$)が認められた。特に決勝レベルでは、400mのレベルの高い選手が準決勝レベルが一人に対して、2人存在していることがわかる。

つまり、全国IH女子における区間タイムからみたオーダーの構成では、各レベルの差はなく、速い順に第2走者→第4走者→第1走者→第3走者の順であった。しかし、第1走者はスタートからのタイムであり、他の走者は加速した状態から受け渡しをしているので、走力としては第3走者とほぼ同じ位ではないかと推察される。また、全国IH女子4×400mRでは、予選レベルと準決勝・決勝レベルとの差は著しいといえる。

次に、日本IC決勝レベルの平均は、第1走者57秒8(±1.43秒)、第2走者56秒6(±1.04秒)、第3走者57秒4(±1.60秒)、第4走者55秒9(±1.93秒)であった。速い順に第4走者→第2走者→第1走者→第3走者の順であった。しかし、各走者間の有意差は、認められなかった。

3. 各走者区間タイムからみた全国IH決勝と日本IC決勝のオーダーについて

図6は、全国IH女子4×400mRの決勝8校の区間タイムの推移である。優勝校を除き第2走者と第4走者でラップタイムがよく、特に第2走者が一番速い区間タイムであった。しかし、優勝校は、徐々に区間タイムを上げエースを第4走者に配置しており、レースの展開としては他のチームとの違いがみられた。また、決勝では、第3走者を400m決勝に進出している選手を起用しオーダーを変えている点からしても、このチームの層の厚さが伺えた。

次に、図7は、日本IC決勝の各チーム区間タイムの推移を示したものである。図5より、最も速い

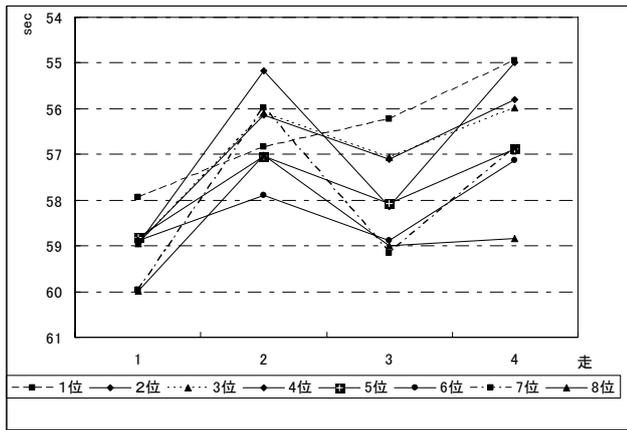


図6 IHの決勝レベルの各チームにおける区間タイムの推移

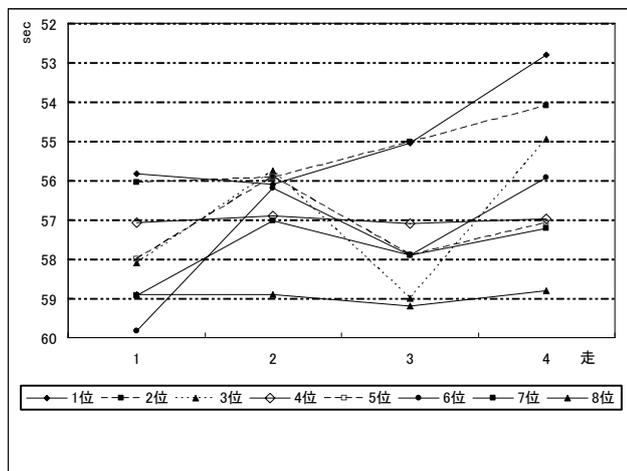


図7 日本IC決勝レベルの各チームにおける区間タイムの推移

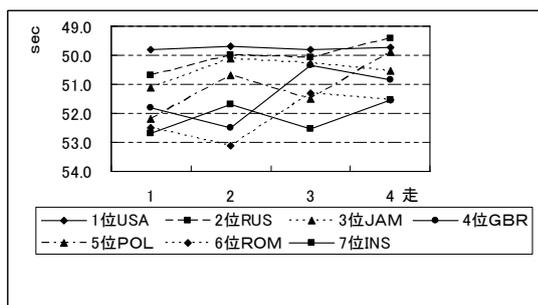


図8 アテネオリンピック決勝の各国チームにおける区間タイムの推移
野口(2005)より作成(8位除く)

走者を多くのチーム(6チーム)が起用していたことがわかる。特に、1・2位のチームは、区間タイムから見ると徐々に速い走者を起用しており、他チームとの層の厚さの違いを伺わせた。また、両チームとも3位以下のチームと比較すると、第1走者は、スタートからのタイムであることからしても、4人

の走力においてバランスのよいチームであるといえる。この点、全国IH優勝チームと同じオーダーの構成であったことがわかる。

図8は、野口ら(2005)を基にアテネオリンピック女子4×400mR決勝におけるチーム毎の区間タイムを図示したものである。各チームそれぞれのオーダーで推移しているが、平均的なものとしてはレースが進むにしたがって上昇傾向にあることがわかる。特に、優勝したUSAはワールドクラスの選手を配置してむらなく平均的な区間タイムであることがわかる。日本ICの上位2チームと類似した傾向であるといえる。

つまり、IH優勝チームや日本ICの上位2チームについては、チーム全体のレベルも高く、アンカーに非常に走力の高い選手の存在があったことも大きく走順の配置を決定づけ、徐々に上げていくオーダーを組んだのではないと思われる。

この点について野口ら(2005)は、「4×400mリレーにおいて優勝候補であるチームの一般的な並べ方は、走力の高い順位、4走→2走→1走→3走である場合が多い、・・・」と述べている。また、安井(2005)は、女子の関東ICと日本ICのオーダーについて、「エースをアンカーに配置しているケースが多かった。さらに4×400mリレーにおいて準エースはエースと対局位置となる部分、すなわち第2と第4走者のどちらかに配置されていた。」と述べているおり、本研究の結果と一致した。

4. アンケートからみたオーダーの決定について

全国女子IHの指導者に対するアンケート結果からは、予選レベルでは、速い順に第4走者→第2走者→第1走者→第3走者が8チームで最も多く、第2走者→第4走者→第1走者→第3走者」が5校、第4走者→第1走者→第2走者→第3走者が3校、その他が15校でありばらつきがみられたが、第2走者と第4走者に速い走者を起用しているチームが多い傾向であった。また、準決勝レベルでは、アンケートに回答した12チーム中7チームは第2走者にエースを起用しており、また決勝においてはアンケートに回答した5チーム中全てが第2走者にエースを起用していた。これらは、区間タイムの平均からみたデータとほぼ同じ傾向であったといえる。

準決勝レベルでは、アンケートに答えた7チーム中3チームがオーダーを変更していたが、そのパターンは様々であった。IH女子決勝レベルでは、アンケートの答えた5チームに関しては、オーダーの変更はなくそのパターンは様々であった。

さらに、オーダーの決定理由について、各レベルで最も多かったのは、「本人の特性を重視して」(45%)であったが、様々な理由でオーダーを決定しているようである。オーダーについて、「誰が決めているのか」という質問に対し、記載のあった全国IH女子の全てのチーム(24チーム)は「指導者が決定している」とい回答であった。これに対し、全国IH男子の決勝レベルでは、「指導者とキャプテン」が5校、「指導者と選手全員」が3校という結果であった。この点については、男女の指導法の相違なのか興味深い結果であるといえる。

IV. まとめ

本研究の結果は、以下のようにまとめられる。

1. 走者配置ヒストグラムみたオーダーからは、IH女子予選レベルとIH女子準決勝レベルでは、第2走者にエースを配置していたが、IH女子決勝レベルでは、アンカーにエースを配置しているチームが多かった。日本IC女子では、準エースを第2走者に配置し、アンカーにエースを配置しているチームが多かった。
2. 全国IH女子における区間タイムの平均からみたオーダーの構成では、各レベルの差はなく、速い順に第2走者→第4走者→第1走者→第3走者の順であった。しかし、予選レベルと準決勝・決勝レベルとの記録差は著しかった。日本IC決勝レベルの平均からは、速い順に第4走者→第2走者→第1走者→第3走者の順であった。
3. 区間タイムからみた全国IH決勝レベルでは、優勝校を除き第2走者と第4走者で区間タイムがよく、特に第2走者が一番速いラップタイムであった。しかし、優勝校は、徐々に区間タイムを上げエースを第4走者に配置していることが優勝につながったと考えられ、レースの展開としては他のチームとの違いがみられた。
4. 日本IC決勝レベルでは、最も速い走者を多くのチーム(6チーム)が第2走者に起用していた。しかし、日本IC1・2位のチームは、区間タイムから見るとIH優勝チームと同じくエースをアンカーに起用できたことも、走順の配置を決定づける要因であったと考えられた。
5. 全国女子IHの指導者に対するアンケート結果からは、区間タイムからみたオーダーの構成とほぼ同じ傾向であった。
6. オーダーの決定についてのアンケート結果からは、全国IH女子のチームは、全て「指導者が決

定している」の対し、全国IH男子の決勝レベルでは、「指導者とキャプテン」が5校、「指導者と選手全員」が3校という結果であった。

参考・引用文献

- (社)日本学生陸上競技連合(1998)日本学生陸上競技70年史
野口純正ら(2005)オリンピック・世界選手権4×400mリレーの各走者区間のタイムについて、スプリント研究第15巻、
岡尾恵一、陸上競技のルーツをさぐる、1996、図書出版；文理閣
大島鎌吉ら(1971)陸上競技事典、講談社、
トム・エッカー、澤村博監修(1999)基礎からの陸上競技のバイオニクス、ベースボール・マガジン社
渡部 誠・武田 一、岡野 進(1995)日本学生陸上競技選手権大会における男子4×100mリレー競走の分析、1995、日本女子体育大学紀要、第25巻、25-30
安井年文(2005)対校戦におけるリレーの戦術について―走順の観点―、スプリント研究第15巻、60

女子棒高跳選手の跳躍動作のバイオメカニクスの分析

吉原 礼¹⁾ 武田 理¹⁾ 小山 宏之¹⁾ 阿江 通良²⁾
1) 筑波大学大学院 2) 筑波大学体育科学系

Biomechanical analysis of the pole vaulting for woman vaulters

Aya Yoshihara¹⁾ Osamu Takeda¹⁾ Hiroyuki Koyama¹⁾ Michiyoshi Ae²⁾
1) Master's Program in Health and Physical Education, University of Tsukuba
2) Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba

Abstract

The purpose of this study was to analyze pole vaulting motion for woman pole vaulters. The subjects were sixteen vaulters including elite woman vaulters, man and woman student vaulters. They were videotaped in official competitions with a VTR camera for two dimensional DLT technique. The result were as follows;

- 1) There were significant relationships of the record to CG velocity ($r = 0.90$, $p < 0.001$) and takeoff angle at the takeoff ($r = -0.80$, $p < 0.01$).
- 2) There was significant relationship in woman vaulters between CG velocity ratio (average CG vertical velocity in the pole straightening phase to that in the pole bending phase) and the maximum pole bending ratio ($r = 0.92$, $p < 0.001$).
- 3) Vaulting types were classified into two: a pole recoiling type was characterized by a great pole bend and recoil, and a pole rotation type was by a smaller bend. Most of woman vaulters analyzed belonged to the pole rotation type.
- 4) The woman vaulters with the elbow angle less than 120° at the takeoff showed great trunk angular velocity immediately after the takeoff. However, their trunk angle of swinging was smaller at the maximum pole bending and at the pole straight than other vaulters.

I. 緒言

女子棒高跳が世界レベルで競われるようになったのは近年であり、1999年に世界選手権、2000年にオリンピックの正式種目となった。それ以来、女子棒高跳の記録の向上はめざましく、現在の女子の世界記録はイシンバエワ選手（ロシア）の樹立した5m01である。日本においては2004年に中野選手が4m31の日本記録を、次いで近藤選手が4m35の日本記録を樹立した。日本の女子棒高跳に関しては今後、更なる記録の向上が期待される。

棒高跳に関するバイオメカニクスの研究には、男子一流選手を対象にした技術分析や、最大重心高に

影響を及ぼす要因を検討したものが多く、淵本ら（1994）、高松ら（1997a）はそれぞれ1991年の世界選手権、1994年のアジア大会に出場した国内外の男子一流棒高跳選手の動作を分析し、さらに、高松（1997b）は棒高跳選手の跳躍動作中のボックス反力を推定し、3次元関節トルクなどを算出している。そして、淵本ら（1994）、高松ら（1997a）の研究では最大重心高と助走速度との間に正の相関がみられたことから、大きな助走速度が最大重心高を増加させるために重要であり、また、ポールを大きく湾曲させ、ポールの反発を生かすためには上半身の筋力に優れている必要があるとされている。男子選手に比べて助走速度や筋力に劣る女子選手には、男子選

手と異なる跳躍の特徴があると考えられ、女子選手に特有の技術やトレーニング方法を検討することも必要であろう。しかし、上述した研究はすべて男子選手に関するもので、女子棒高跳選手の跳躍動作に関する研究はこれまで見られない。

本研究の目的は、競技レベルの異なる女子棒高跳選手の跳躍動作をバイオメカニクスの的に分析して比較し、女子棒高跳のトレーニングへの示唆を得ることである。

II. 方法

1. データ収集

2005年に行なわれた公認陸上競技会に出場した国内外の女子一流棒高跳選手および男女学生選手、計16名を分析対象者とした。分析対象者の身長、体重はそれぞれ女子 $1.67 \pm 0.06\text{m}$, $55.9 \pm 4.4\text{kg}$ 、男子 $1.74 \pm 0.04\text{m}$, $67.4 \pm 7.8\text{kg}$ であった。VTR撮影はデジタルビデオカメラ (VX-2000, SONY社) 1台を用い、ボックスから助走路側に6m、マット側に2mの範囲を撮影し、2次元DLT法を用いて2次元座標を算出するためにボックス先端(0m)から助走路側に2m, 4m, 6m, 8mの各地点に順次キャリブレーションポールを立てて撮影した。撮影スピードは毎秒60フィールド、露出時間は1/1000秒であった。なお、本研究で用いたVTRテープの一部は、日本陸上競技連盟科学委員会バイオメカニクス班の活動により撮影されたものである。

2. データ処理

撮影したVTR画像から、踏切1歩前接地5コマ前からポール伸展後5コマまでの動作を、ビデオ画像解析システム(Frame-DIAS II, DKH社)を用いて1コマごとにデジタル化し、身体計測点23点の座標を得た。得られた身体計測点23点の座標は2次元DLT法を用いて実座標に換算した。次に、得られた実座標をButterworth low-pass digital filterを用いて平滑化した。最適遮断周波数はWells and Winter (1980)の方法により計測点の座標成分ごとに決定した。なお、その最適遮断周波数は、2.4Hz～5.4Hzの範囲であった。

3. 測定項目と測定法

身体計測点の2次元座標から阿江ら(1996)の身体部分慣性係数を用いて、身体および部分の重心位置を算出し、身体重心速度は身体重心変位を時間微分して求めた。

次いで以下の項目を算出した。

1) 踏切局面における身体重心水平速度減速率:踏切足接地から踏切足離地までの身体重心水平速度減速率(DR)は以下の式で算出した。

$$DR = (VX_{off} - VX_{on}) / VX_{on} \times 100$$

ここで、 VX_{on} は踏切足接地時の身体重心水平速度、 VX_{off} は踏切足離地時の身体重心水平速度を示している。

2) 跳躍角:踏切足離地時の身体重心速度ベクトルが水平面となす角度を跳躍角とした。

3) グリップ高と抜きの高さ:ポール伸展時における上側のグリップとポール下端までの距離からボックスの深さ(0.2m)を引いた値をグリップ高とし、バーの高さからグリップ高を引いた値を抜きの高さとした。

4) ポール湾曲率および最大ポール湾曲率:上側のグリップとポールの下端を結んだ線分の長さを弦長とし、ポール伸展時の弦長に対する各時点の弦長の割合をポール湾曲率として以下の式により算出した。最も湾曲率が大きい時点を最大ポール湾曲時とし、そのときの湾曲率を最大ポール湾曲率とした。
ポール湾曲率 = $100 - (各時点の弦長 / ポール伸展時の弦長) \times 100$

5) 身体重心鉛直速度比:ポール湾曲局面およびポール伸展局面における身体重心鉛直速度の平均値をそれぞれ算出し、以下の式により算出した。本研究では、ポール湾曲局面を踏切足離地時から最大ポール湾曲時まで、ポール伸展局面をポール最大湾曲時からポール伸展時までとした。

身体重心鉛直速度比 = $ポール伸展局面の平均身体重心鉛直速度 / ポール湾曲局面の平均身体重心鉛直速度$

6) 関節角度、身体部分角度および角速度:身体計測点の2次元座標から肩関節角度(上腕と体幹のなす角度)、肘関節角度(上腕と前腕のなす角度)および体幹の角度(体幹と肩から下ろした鉛直線のなす角度)を算出した。体幹角度は、鉛直線に対して反時計まわりを正とした。また角変位を時間微分して角速度を求めた。

分析項目間の相関関係を調べるため、ピアソンの相関係数を算出し、統計的有意水準は5%以下とした。

III. 結果

1. パフォーマンスに関する基礎的要因

表1は分析記録とパフォーマンスに関する基礎

表1 パフォーマンスに関する基礎的要因

	分析記録(m)	踏切足接地		踏切足離地		減速率(%)	跳躍角(deg)	変換率(%)	グリップ高(m)	抜きの高さ(m)	湾曲率(%)
		水平(m/s)	鉛直(m/s)	水平(m/s)	鉛直(m/s)						
A	4.50(失敗)	7.89	0.61	6.98	2.62	11.6	20.57	116.7	4.10	0.40	27.5
B	4.10	7.64	0.11	6.19	2.56	19.0	22.47	107.8	4.10	0.00	24.0
C	4.10	7.69	0.24	6.07	2.41	21.0	21.66	111.9	4.01	0.09	23.1
D	4.20	7.49	0.38	6.18	2.55	17.4	22.45	116.2	3.80	0.40	25.8
E	4.20	7.46	0.19	6.59	2.57	11.6	21.29	121.0	3.93	0.27	30.7
F	4.00	7.66	0.24	6.46	2.38	15.7	20.21	108.0	3.89	0.11	27.1
G	3.80	7.12	-0.01	6.13	2.45	13.8	21.77	115.8	3.86	-0.06	24.6
学生A	4.00	7.68	-0.05	6.10	2.70	20.6	23.91	102.1	3.94	0.06	22.8
学生B	3.90	7.37	0.17	6.00	2.57	18.7	23.22	107.7	3.73	0.17	22.7
学生C	3.80	7.18	0.17	5.96	2.63	17.0	23.80	111.3	3.73	0.07	23.2
学生D	3.70	7.43	0.17	5.77	2.77	22.3	25.67	103.8	3.69	0.11	24.8
学生E	3.40	6.69	0.68	5.55	2.84	17.1	27.13	113.7	3.53	-0.13	20.1
学生F	4.80	8.68	0.18	6.47	2.99	25.4	24.76	104.7	4.17	0.63	24.0
学生G	4.80	8.07	0.30	6.71	2.89	16.9	23.28	119.6	4.15	0.65	23.8
学生H	4.60	8.59	-0.07	6.69	2.98	22.1	24.01	101.2	4.00	0.60	19.4
学生I	4.40	8.32	0.31	6.56	2.82	21.1	23.28	99.7	4.06	0.34	19.1
平均	4.36	7.68	0.23	6.27	2.67	18.2	23.09	110.1	3.92	0.23	23.9
標準偏差	±0.38	±0.53	±0.21	±0.38	±0.19	±3.9	±1.83	±6.7	±0.19	±0.25	±3.0
女子一流選手平均	4.07	7.56	0.25	6.37	2.51	15.7	21.49	113.9	3.96	0.17	26.1
標準偏差	±0.21	±0.24	±0.20	±0.32	±0.09	±3.6	±0.87	±4.9	±0.12	±0.19	±2.6
女子学生選手平均	3.76	7.27	0.23	5.87	2.70	19.2	24.74	107.7	3.72	0.06	22.7
標準偏差	±0.23	±0.37	±0.27	±0.22	±0.11	±2.3	±1.62	±4.9	±0.15	±0.11	±1.7
男子学生選手平均	4.65	8.41	0.18	6.61	2.92	21.4	23.83	106.3	4.09	0.56	21.6
標準偏差	±0.19	±0.28	±0.18	±0.11	±0.08	±3.5	±0.71	±9.1	±0.08	±0.14	±2.7

的要因などを示したものである。踏切足接地時の身体重心水平速度は男子学生選手が最も大きく(8.41 ± 0.28m/s), 次いで女子一流選手(7.56 ± 0.24m/s), 女子学生選手(7.27 ± 0.37m/s)であった。踏切足接地時の身体重心水平速度と記録との間には被験者全体で有意な正の相関がみられた(r = 0.90, p < 0.001)。踏切足離地時の重心水平速度は男子学生選手が最も大きく(6.61 ± 0.11m/s), 次いで女子一流選手(6.37 ± 0.32m/s), 女子学生選手(5.87 ± 0.22m/s)であった。踏切足離地時の身体重心水平速度と記録の間には有意な正の相関がみられた(r = 0.86, p < 0.001)。跳躍角は女子学生選手が最も大

きく(24.7 ± 1.6deg), 女子一流選手が最も小さかった(21.5 ± 0.9deg)。跳躍角と記録との間には, 女子選手で有意な負の相関がみられた(r = -0.80, p < 0.01)。また, 跳躍角と最大ポール湾曲率との間には被験者全体で有意な負の相関がみられた(r = -0.62, p < 0.01)。

2. ポール湾曲局面に対するポール伸展局面の身体重心鉛直速度比

図1は最大ポール湾曲率と身体重心鉛直速度比との関係を示したものである。図中の点線は女子選手の平均値を示す。最大ポール湾曲率と身体重心鉛直速度比との間には, 被験者全体(r = 0.66, p < 0.01)でも女子選手(r = 0.92, p < 0.001)でも有意な正の相関がみられた。また, 最大鉛直速度と抜きの高さには有意な正の相関がみられ(r = 0.85, p < 0.01), 女子選手では身体重心鉛直速度比と記録との間(r = 0.67, p < 0.05), 最大ポール湾曲率と記録の間(r = 0.68, p < 0.05)にも有意な正の相関がみられた。

3. 関節角度および体幹角度

図2は踏切後の体幹角速度ピーク値と踏切足離地時の左肘関節角度(右足踏切の被験者Cは右肘)との関係を示したものである。左肘関節角度は120度から140度を示す選手が多かったが, 左肘関節角度

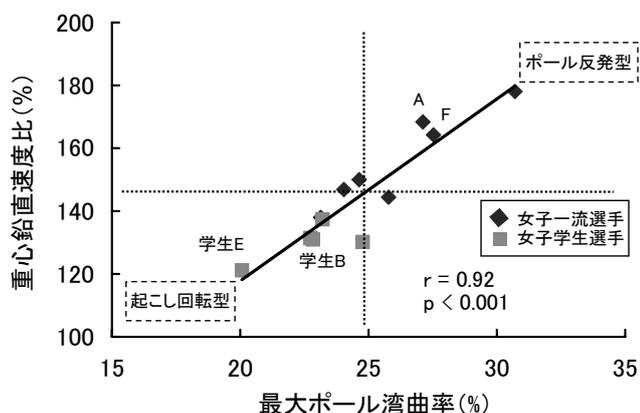


図1 最大ポール湾曲率と身体重心鉛直速度比との関係

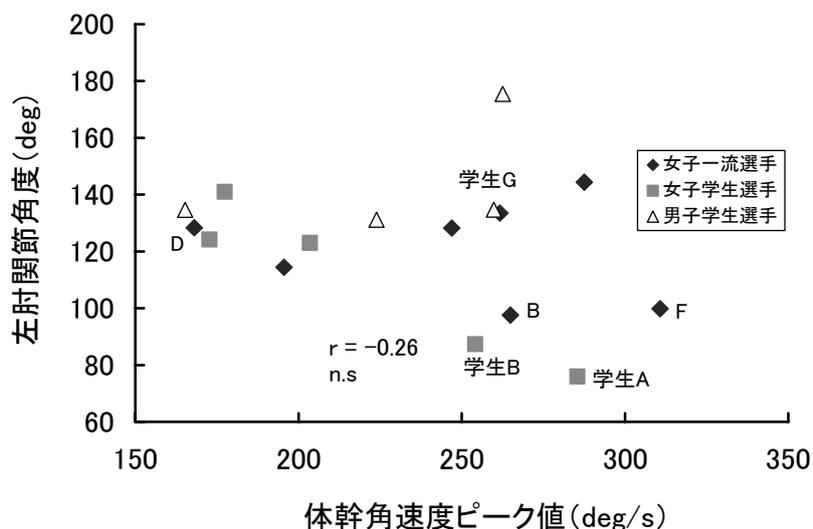


図2 踏切後の体幹角速度ピーク値と踏切足離地時の左肘関節角度との関係

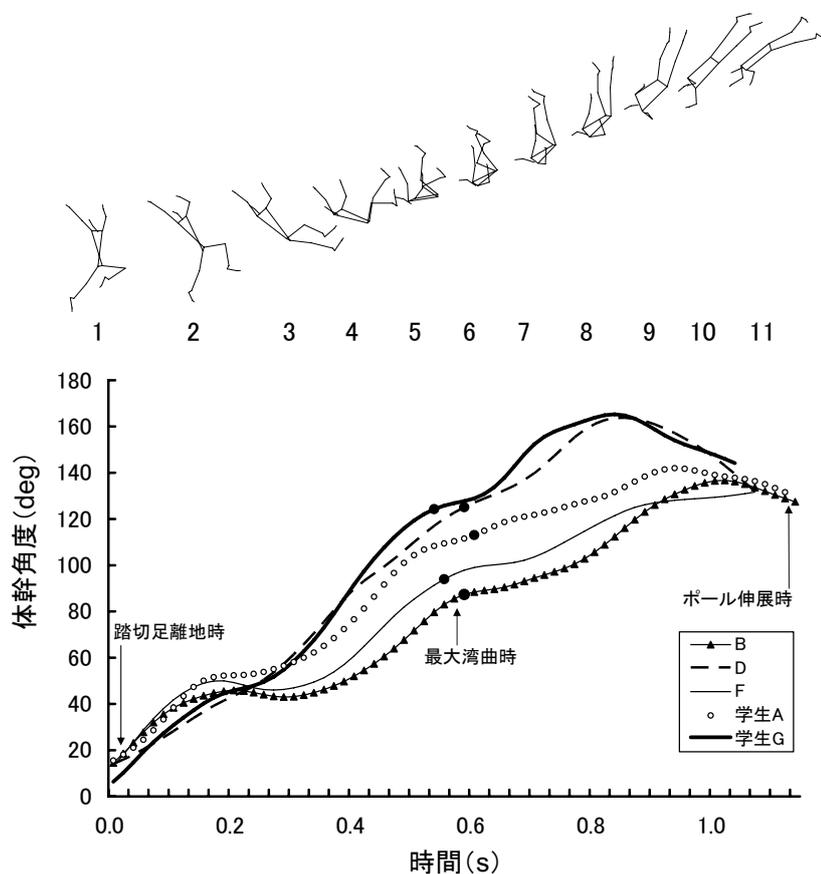


図3 踏切足離地時からポール伸展時における体幹角度の変化

が120度より小さい選手(被験者B,Fおよび学生A,B)もみられた。図3は被験者B,D,F,および学生A,Gの踏切足離地時からポール伸展時までの体幹角度の変化を示したものである。被験者Dや学生Gの体幹角度は踏切足離地後、約160度まで増加を続けた。被験者B,F,および学生Aの体幹角度は踏切足離地直後には一時的に急増するが、約40度から50度まで増加したところで停滞や減少する局

面がみられ、ポール伸展時には被験者Dや学生Gより20度近く小さかった。図4は図3で事例として示した被験者の左肘関節と左肩関節の角度について踏切足接地時、離地時、最大屈曲時(左肘)、あるいは最大時(左肩)の値を示したものである。左肘関節は被験者B,F,および学生Aは被験者Dおよび学生Gと比較すると踏切足接地から離地の間に著しく減少していた。左肩関節は被験者D,Fは踏切

足離地までに大きく増加していたが、学生 A は踏切足離地までの増加が少なく、最大値も小さかった。

4. ポール湾曲開始時のフォーム

図 5 はポール湾曲開始時（ポールがボックスについた時点と仮定）のスティックピクチャーと踏切足位置を示したものである。踏切足位置と上側グリップの関係を見ると、踏切足接地位置に対してグリップが身体より後方になる選手が多かったが、特に被験者 B, C, F でグリップ位置が身体に対して大きく後方であった。また、左腕について見ると、被験者 A は左手が前上方の高い位置に上げられているのに対し、被験者 F, および学生 A, B は左肘関節の屈曲が大きく、左手の位置が低かった。

IV. 考察

1. 記録と助走速度および跳躍角の関係

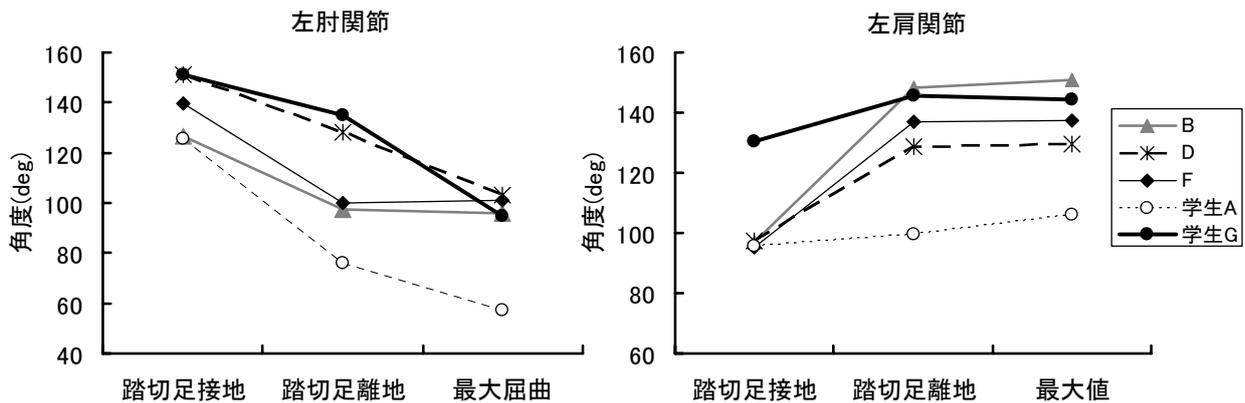


図 4 左肘関節角度と左肩関節角度の変化

2. 跳躍タイプについて

高松 (1997b) は、ポール湾曲の大きさと鉛直速

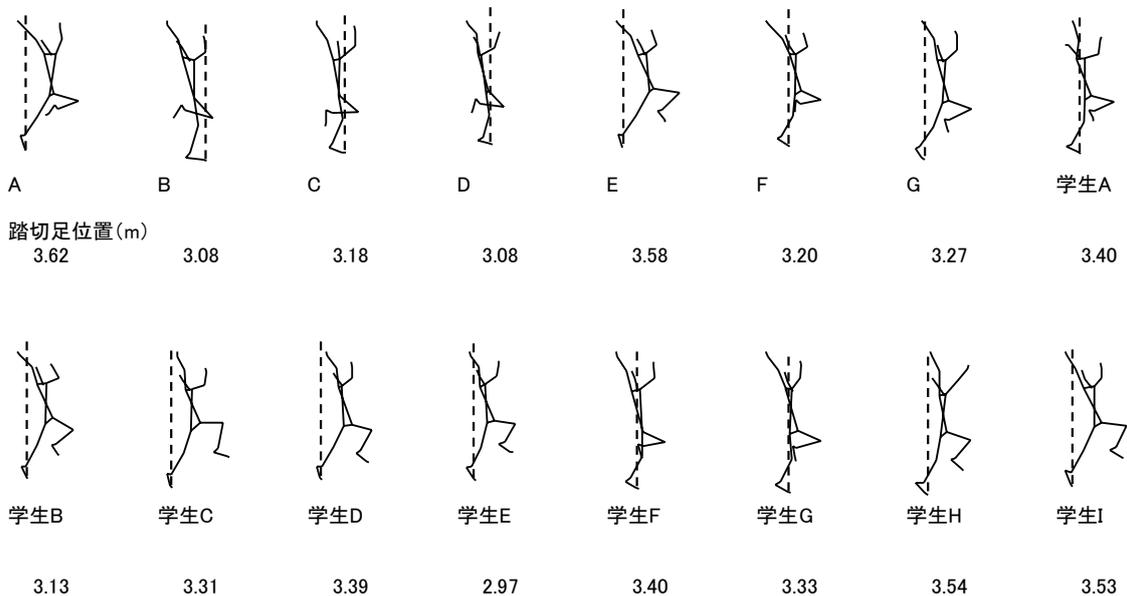


図 5 ポール湾曲開始時のスティックピクチャーと踏切足位置

度の関係から男子一流棒高跳選手の跳躍タイプを、ポールをより大きく曲げ、ポールの反発を生かしてポール伸展局面での鉛直速度を大きくする跳躍タイプ（ポール反発型）と、跳躍角をやや大きく（ポール湾曲局面での鉛直速度を大きく）してポールを垂直に立てることを強調したタイプ（起こし回転型）に分類している。この分類に従うと、図1で最大ポール湾曲率が大きく、鉛直速度比の大きい選手はポール反発型、最大ポール湾曲率が小さく、鉛直速度比の小さい選手は起こし回転型になると考えられる。図1では平均値かそれ以下の値を示す選手が多く、被験者AやFのように平均値より大きな値を示す選手は少なかった。このことから、女子選手は起こし回転型の跳躍タイプの選手が多いといえるであろう。最大鉛直速度と抜きの高さとの間($r = 0.85$, $p < 0.01$)に有意な正の相関がみられた。また、重心鉛直速度比と記録との間($r = 0.67$, $p < 0.05$)、最大ポール湾曲率と記録の間($r = 0.68$, $p < 0.05$)にも有意な正の相関がみられた。これらのことから、ポールを大きく曲げて、ポールの反発を利用できる女子選手がより高い記録を出していると考えられる。

そこで、ポールの湾曲に影響を及ぼす要因を考える。跳躍角と最大ポール湾曲率の間には有意な負の相関がみられ($r = -0.71$, $p < 0.01$)、跳躍角が小さい場合にポールを大きく湾曲させやすいと示唆される。また、高松(1997b)はポール湾曲局面において、下側の手がポールに加えた力の平均値と下側の手の仕事との間に有意な負の相関が見られたことから、ポール湾曲局面で積極的に下側の手でポールを押すことによってより大きなエネルギーをポールに伝達できることを示唆している。一方、ポール起こし回転型の選手は、踏切後に身体のポール下端まわりの慣性モーメントを小さくして、ポールを垂直に立たせやすくする必要があるので、身体全体をポールに近づけるような動作や踏切足離地時に前上方へ振り上げたリード足を踏切足離地後に下げる動作が多くみられた。これらの動作は、ポールをより大きく湾曲させるより、ポール下端まわりの慣性モーメントを小さくしてポールを回転させ垂直に立たせるのに有効な動作であると考えられる。

3. 体幹角度の変化について

図2に示したように、多くの選手は踏切足離地時に左肘関節の角度が約120度から140度の間であったが、左肘関節が120度より小さい選手（被験者B, F, および学生A, B）はいずれも体幹角速度が高い

値を示した。このことから、これらの選手では左肘関節の大きな屈曲が生じたため（いわゆる、つぶれたため）、体幹が前方へ振り出されてしまっていたと考えられる。

踏切足離地時に左肘関節が120度より小さかった選手（被験者B, F, 学生A）の踏切足接地時からポール伸展時までの体幹角度は（図3）、踏切足離地直後に急増した後の変化が緩やかであり、体幹が水平（90度）に達するまでに時間を要した。その後の変化を見ると、被験者B, F, 学生Aは被験者D, 学生Gと比較して最大ポール湾曲時の体幹角度やポール伸展時の体幹角度がともに小さかった。このことから、ポール湾曲局面において体幹角度が減少する、あるいは増加が小さくなることで、最大ポール湾曲時やポール伸展時の体幹角度を大きくしにくくなると考えられ、クリアランスにむけて十分な倒立姿勢をとることが難しくなると考えられる。

上で述べたような体幹角度の変化を示した選手（被験者B, F, 学生A）は踏切足接地時に左肘関節角度が小さく、踏切足接地から離地の間に著しく減少していた（図4）。一方、左肩関節角度は学生Aを除くと、他の選手は踏切中に増加していたことから、いわゆる「つぶれる」という現象は踏切中に左肘関節が大きく屈曲することが原因と考えられる。

左肘関節が踏切中に屈曲するのは、ポールをボックスに突っ込む際の衝撃などによると考えられる。そこで、ポールの湾曲開始時（ポールがボックスについた時点と仮定）の各選手のフォーム（図5）を見ると、被験者B, Fは踏切足位置がグリップに対して近く、足が入った状態にあることがわかる。そのため、左肩関節は伸展するが、左肘関節が屈曲してしまったと考えられる。一方、被験者Aを見ると、グリップの位置が踏切足つま先のほぼ真上で、しかも、左肩関節および左肘関節が大きく伸展し、左手を高く上げた姿勢でポールの湾曲を開始させていることがわかる。このように見てくると、ポール湾曲開始時には、踏切足つま先の真上にグリップを保ち、左肩関節と左肘関節を伸展して左手を上げておくことが重要であると考えられる。

4. トレーニングへの示唆

女子選手では、ポール起こし回転型の選手が多いことがわかった。しかし、さらに記録を向上させるためには、これらの選手はより大きくポールを湾曲させて反発を利用するポール反発型に近い跳躍をすることが必要であると考えられる。試合と同じポールの硬さや長さをそのまま用いてポールを大きく湾

曲させるための動作を強調してトレーニングすることは難しいであろう。そこで、トレーニングにおいては試合で使用するポールよりも柔らかいポールを使用し、踏切では、前方へ低く跳び出す、下側の手を前上方に高く上げてポールを積極的に押していくことを強調することが役立つと考えられる。

また、女子選手では踏切後に体幹が振られ、スイング動作が十分でない選手が多かった。高松(1997)は、男子棒高跳選手の動作をキネティクスの的に分析し、右肩では踏切足離地直後に屈曲トルク（挙上した腕を後方へ回転させるトルク）を示していたと述べている。このような上肢のトルクは、胴体が前方へ振られるのを抑制するように作用する。したがって、本研究において体幹が前方へ振られる傾向にある選手は、このような肩関節のトルクが十分に発揮されていないと考えられる。鉄棒や吊り輪を用いた懸垂姿勢やあふり動作は棒高跳の運動と類似しているので、これらの運動において右肩関節でトルクを発揮し、身体を固定することを強調したトレーニングを行なうことは、技術トレーニングとしても、専門的筋力トレーニングとしても有効であると考えられる。

V. まとめ

本研究をまとめると、以下のようなになるであろう。

- 1) 踏切足接地時の重心水平速度と記録との間には有意な正の相関がみられた ($r = 0.90$, $p < 0.001$)。
- 2) 跳躍角と記録との間には、女子選手で有意な負の相関がみられ ($r = -0.80$, $p < 0.01$)、男子選手と同様であった。
- 3) 最大ポール湾曲率と重心鉛直速度比の間には女子選手で有意な正の相関が見られた ($r = 0.92$, $p < 0.001$)。
- 4) 跳躍タイプをポール反発型と起こし回転型に分類すると、女子選手には起こし回転型の選手が多かった。
- 5) 踏切足離地時に左肘関節が 120 度より小さい選手は、踏切後の体幹角速度が大きくなる傾向があった。また、このような選手は、最大ポール湾曲時およびポール伸展時における体幹角度が小さく、身体のスイング動作が不十分であった。

これらのことから、以下のような示唆が得られるであろう。

- 1) 踏切時の左肘の屈曲や、踏切後に体幹が前方へ振られてしまうのを抑制するには、ポール湾曲

開始時にグリップ位置を踏切足つま先上に保ち、左肘関節および左肩関節を伸展させて左手を高く上げることが重要であると考えられる。

- 2) 女子選手のトレーニングでは、より湾曲させやすい柔らかめのポールを使用した技術トレーニングや、鉄棒などで懸垂姿勢やあふり動作中に身体を固定する動作を強調したトレーニングを取り入れることが有効であると考えられる。

参考文献

- 阿江通良 (1996) : 日本人幼少年およびアスリートの身体部分関数係数. *Japanese Journal of Sports Science* 15 (3), 155-162.
- 淵本隆文, 高松潤二, 阿江通良 (1994) : 棒高跳の動作学的力学的分析, 世界一流競技者の技術. ベースボールマガジン社, 東京, pp. 193-204.
- 高松潤二, 阿江通良, 飯干明, 藤井範久, 金高宏文, 結城匡啓, 森丘保典 (1997a) : アジア大会における棒高跳のバイオメカニクスの分析, アジア一流陸上競技者の技術~第 12 回広島アジア大会陸上競技バイオメカニクス研究班報告~, 財団法人日本陸上競技連盟, 東京, pp. 137-146.
- 高松潤二 (1997b) 棒高跳に関するバイオメカニクスの研究 - 最大重心高増大のための技術的要因 - 筑波大学大学院博士論文.
- 武田理, 村木有也, 小山宏之, 阿江通良 (2005) 身体重心速度およびポール湾曲度からみた男子棒高跳選手のバイオメカニクスの分析, 陸上競技研究紀要, 1, 30-35.
- Wells, R. P and Winter, D. A (1980) : Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. *Human Locomotion I*, pp. 92-93.

砲丸投げにおける砲丸速度に対する身体各部位の貢献

—世界レベル選手と日本レベル選手との比較—

田内健二¹⁾ 村上雅俊²⁾ 高松潤二¹⁾ 阿江通良³⁾

1) 国立スポーツ科学センター 2) 愛媛女子短期大学 3) 筑波大学

Contribution of the body segments to shot velocity in the shot put
-Comparisons between female athletes of World level and Japan national level-

Kenji Tauchi¹⁾ Masatoshi Murakami²⁾ Junji Takamatsu¹⁾ Michiyoshi Ae³⁾

1) Japan Institute of Sports Sciences

2) Ehime Women's Junior College

3) University of Tsukuba

Abstract

The purpose of this study was to elucidate the contribution of the body segments to the shot velocity through whole of the shot put movement in glide technique, and comparison between female athletes of World level and Japan national level. Shot put movements of sixteen Japan national level (top8: Good group, low8: Poor group) and two World level shot putters (World group) were filmed and analyzed by three dimensional motion analysis technique. Leg-trunk-arm model was used to evaluate the contribution of the body segments to the shot velocity, which could be calculated the shot velocity by the leg motion, trunk extension, trunk rotation, arm horizontal rotation and arm extension. Good group were significantly higher in arm extension and lower in trunk rotation than Poor group during push off phase. Both of World group and Good group had the same level of arm extension, in addition World group had greatly higher trunk rotation compared to Good group. These findings indicate that the major difference between World level and Japan national level shot putters was contribution of trunk rotation with respect to the shot velocity.

I. 緒言

砲丸投げの技術は、横向きステップ投法、横向きホップ投法、グライド投法、そして回転投法へと変遷しており、それにもなつて世界記録は更新されてきた(大山, 2005)。このような技術の変遷は、砲丸により大きなエネルギーを作用させるために、下肢、体幹および上肢をできる限り効果的に利用することを旨とした結果であると考えられる。なお、現在の主流の投法は、世界的にみると男子では回転投法、女子ではグライド投法である。

これまでの砲丸投げに関する研究は、リリー

スパラメータ(植屋ら, 1994; 橋本ら, 1995; Linthorne, 2001), あるいは下肢(西藤, 1969; 古谷と畑, 1989), 上肢(篠原ら, 1997; 末吉と辻尾, 1998), 体幹(橋本ら, 2004)などの身体各部の動作について、競技レベルの高い者と低い者とを比較したものがある。しかし、それらの研究の多くは、一連の投てき動作のある局面、あるいは一部位に焦点をあてているために、得られた知見が実際の砲丸速度に対してどのような影響を及ぼしているのかを明確にすることが困難であると考えられる。また、他の局面、部位との関連性についても、十分に検討することはできないものと考えられる。

西藤 (1977) によると、グライド投法による投てき動作の流れは、予備動作、グライド動作、押し上げ、捻り、突き出しによる投動作、そしてリリース後の踏み替え動作であるとしている。これらの動作は、最終的に砲丸速度を高めるために発現していると考えられるが、それぞれの動作が、砲丸速度に対してどの程度貢献しているのかを明らかにした研究はみあたらない。一連の投てき動作において砲丸速度に対する身体各部位の貢献の仕方を知ることができれば、砲丸投げの技術を評価するための着眼点を明確にすること、あるいは他の動作との関連性を検討することに役立つものと考えられる。阿江と渋川 (1984) は、垂直跳びにおける踏み切り動作を例にして、下肢、体幹、上肢の動作について相対運動の考え方 (例えば、下肢は、下肢の速度と同時に体幹および上肢の速度も生み出している) を導入することによって、各部位の貢献度を明らかにできることを報告している。

そこで、本研究では阿江と渋川 (1984) の考え方をもとにして、グライド投法における砲丸速度に対する下肢、体幹、上肢に関する各動作の貢献の仕方を明らかにし、その貢献の仕方の競技レベル差を検討することを目的とした。

II. 方法

1. 分析対象

分析対象は、2005年に開催された日本選手権女子砲丸投げに出場した選手16名 (上位8名を Good 群, 下位8名を Poor 群とした), およびスーパー陸上に出場した世界選手権優勝者 (World1: 自己最高記録 21.09m, 身長 1.80m, 体重 78.0kg) および3位入賞者 (World2: 自己最高記録 19.87m, 身長 1.96m,

体重 120kg) の2名 (World 群) である。なお、すべての対象者はグライド投法を用い、右投げであった。

2. データ収集

砲丸投げの試技を、サークルの後方および右側に設置した2台のデジタルビデオカメラ (DCR-VX2000, Sony) を用いて、毎秒60コマ、露出時間 1/1000 秒で撮影した。本研究では、投てき方向を Y 軸, Y 軸に対して左右方向を X 軸, 鉛直方向を Z 軸とした右手系の静止座標系を設定した。また、サークルの中心を原点として、前方 2m, 後方 1.5m, 左右方向 1.5m の9カ所にキャリブレーションポール (高さ 2m, マーク間隔 0.4m) を立てた (図1)。なお、データ収集は、日本陸上競技連盟科学委員会バイオメカニクス班の活動として行われた。

3. データ分析

撮影された VTR 画像を PC に取り込み、画像上の分析点 (左右の肩峰, 左右の大転子, 砲丸) を動作解析システム (Frame - DIAS II, ディケイエイチ) を用いて毎秒60コマでデジタル化した。各分析点の座標を3次元 DLT 法により実長換算し、残差分析法 (Winter, 1990) によって決定された最適遮断周波数 (3 - 7 Hz) で、バタワースデジタルフィルタにより平滑化した。

4. 算出項目

各分析点の速度は、座標値を時間微分することによって算出した。本研究では、砲丸速度に対する身体各部位の貢献の仕方を明らかにするために、投てき動作を XY 平面に投影し、下肢 (両大転子の中点) - 体幹 (両大転子の中点 ~ 両肩の中点) - 上肢 (右

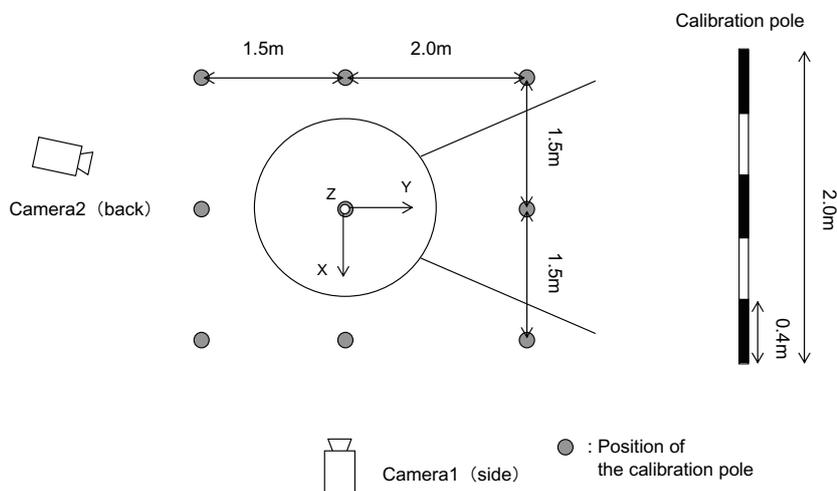


Figure 1 Setup for filming

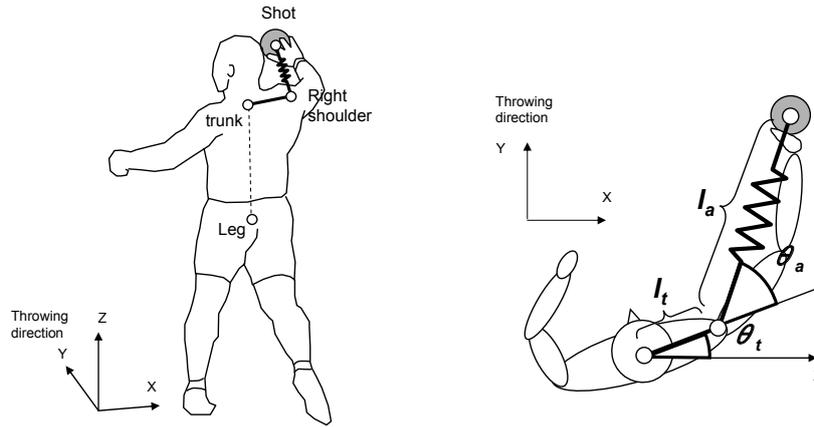


Figure 3 Definitions of the leg-trunk-arm model (left) and polar coordinate in trunk-arm model (right).

肩峰～砲丸)にモデル化した(図3a).そして,砲丸速度(V_s)を下肢(v_h),下肢に対する体幹($v_{t/h}$),体幹に対する砲丸($v_{s/t}$)の相対速度で示した(式1).なお,以下に示す各速度はすべて投てき方向(Y成分)のみを分析した.

$$V_s = v_{s/t} + v_{t/h} + v_h \quad \dots \text{式1}$$

ここで, v_h は下肢の動作による砲丸速度(下肢), $v_{t/h}$ は体幹の伸展動作による砲丸速度(体幹の起こし), $v_{s/t}$ は上肢の動作による砲丸速度を示すことになる.また, $v_{s/t}$ については,両肩の midpoint から右肩峰までの線分(l_t), l_t とX軸とのなす角(θ_t),右肩峰から砲丸までの線分(l_a), l_a と l_t とのなす角(θ_a)(図3b)による局座標で示した(式2).

$$v_{s/t} = \dot{l}_t \sin \theta_t + \dot{\theta}_t (l_t \cos \theta_t + l_a \cos(\theta_a + \theta_t)) + \dot{l}_a \sin(\theta_a + \theta_t) + \dot{\theta}_a l_a \cos(\theta_a + \theta_t) \quad \dots \text{式2}$$

ここで, θ_t , l_a , θ_a の微分項は,順に体幹の長軸周りの回転動作による砲丸速度(体幹の回転),上肢の伸展動作による砲丸速度(上肢の伸展),上肢の水平内外転動作による砲丸速度(上肢の回転)を示すことになる.なお,体幹の長さ変化はないとみなせることから, l_t の微分項は0とした.

本研究では,Marhold(1974)が示した局面分けを参考にして,一連の投てき動作について砲丸の最下点(Mid),右足離地(R-off),右足接地(R-on),左足接地(L-on)およびリリース(Release)の各イベントを設定し, Mid から R-off までをスタート局面(P1), R-off から R-on までをグライド局面(P2), R-on から L-on までを移行局面(P3), L-on から Release までを突き出し局面(P4)とした(図2).また,各データは,群間の比較を可能にするために,各局面の開始時点を0%,終了時点を100%として3次のスプライン関数によって101個のデータに規格化した.

5. 統計処理

各算出項目を平均値±標準偏差で示した. Good 群と Poor 群との有意差の検定には,対応のない t-test を用いた.有意性は,5%および1%未満で判定した.

III. 結果

表1に,各被験者のパフォーマンスを示した.投てき記録は, Good 群が Poor 群と比較して有意に高値を示した. World 群の記録は,それぞれ2005年

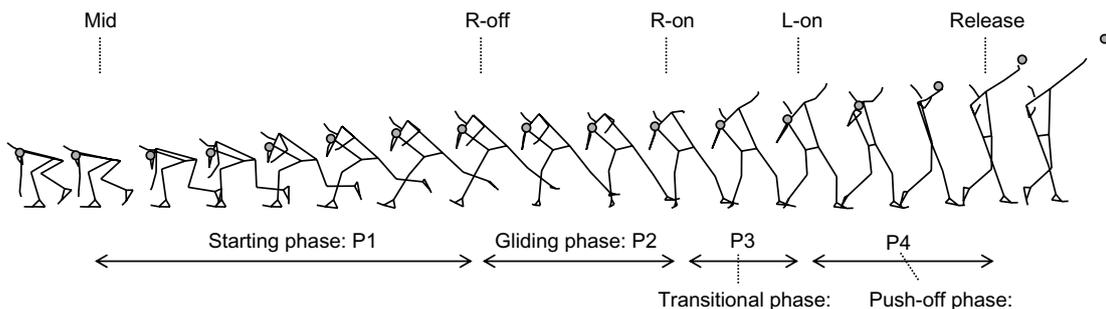


Figure 2 Definitions of the events and phases.

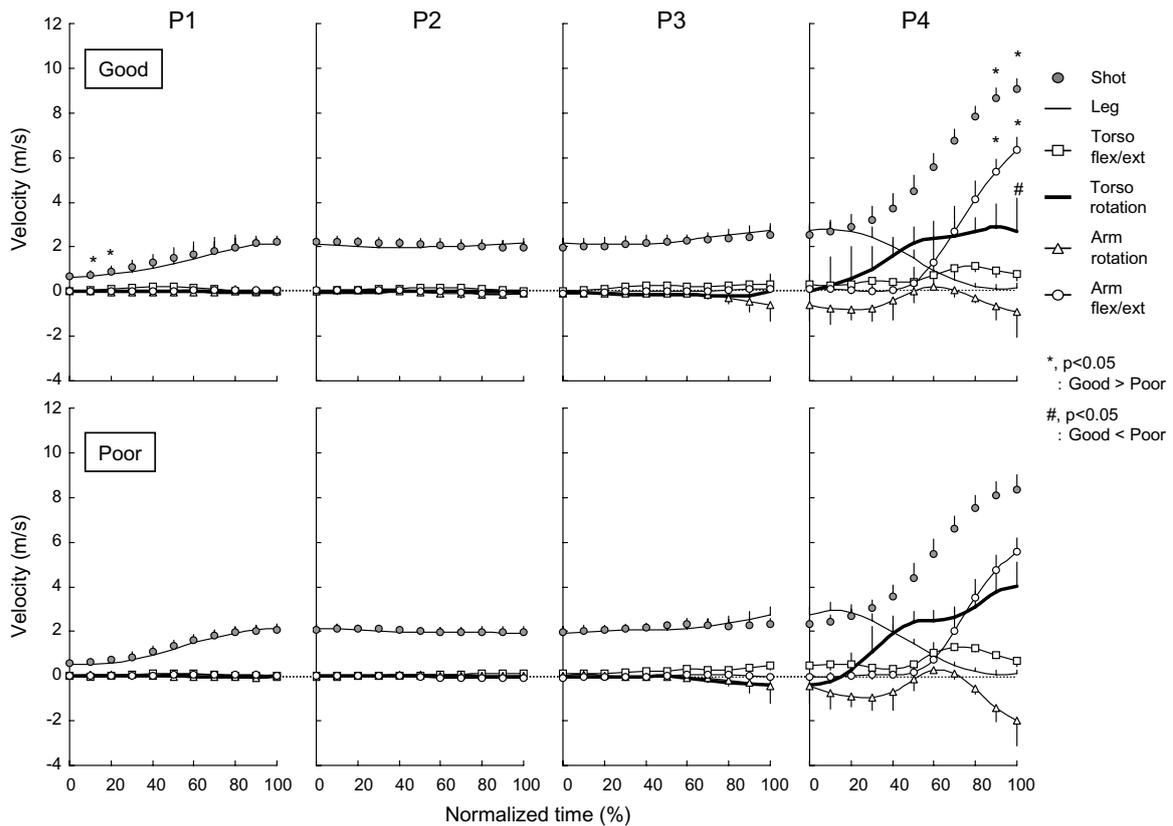


Figure 4 Shot velocity and each motion velocity in Good (Upper) and Poor (lower) groups. The positive values means counterclockwise and extension movement for the rotation (torso, arm) and the flex/ext (torso, arm), respectively.

度世界ランキング3位, 11位に相当していた. リリース速度は, Y成分のみ Good群が Poor群と比較して有意に高値を示し, World群はいずれの成分も両群と比較して高値を示した. 局面時間には, Good群と Poor群との間に有意差は認められなかったが, P3において Good群が低値を示す傾向が認められ, World群は両群と比較して顕著に低値を示した.

図4に, Good群および Poor群における各局面の砲丸速度および各動作による砲丸速度を示した. 両群ともに砲丸速度は, P1 から P3 まではほぼ下肢によるものであった. P4 では体幹の回転, 加えて50%以降では上肢の伸展および体幹の起こしによるものであり, 上肢の回転はほぼマイナスに作用して

いた. 砲丸速度は, P1の10-20%および P4の90-100%において Good群が Poor群と比較して有意に高値を示した. また, 上肢の伸展は, P4の90-100%において Good群が Poor群と比較して有意に高値を示し, 体幹の回転は, P4の100%において Poor群が Good群と比較して有意に高値を示した.

図5に, World群における各局面の砲丸速度および各動作による砲丸速度を示した. 両者の砲丸速度に対する身体動作の貢献パターンは, おおまかにみると Good群および Poor群と同様であった. つまり, P1から P3 までは下肢, P4 では体幹の回転, 上肢の伸展および体幹の起こしによるものであり, 上肢の回転はほぼマイナスに作用していた. P4について

Table 1 Performances of shot put in the subjects.

	Record (m)	Shot velocity at release (m/s)			Duration time (s)			
		X	Y	Z	P1	P2	P3	P4
Good	14.60±0.90 **	1.05±0.24	9.08±0.37 *	6.57±0.15	0.258±0.102	0.148±0.014	0.165±0.063	0.233±0.031
Poor	13.15±0.98	0.89±0.41	8.37±0.33	6.54±0.28	0.233±0.028	0.154±0.019	0.210±0.031	0.235±0.019
World1	20.12	1.91	10.35	8.07	0.267	0.167	0.083	0.217
World2	18.94	2.27	9.96	7.29	0.433	0.133	0.117	0.233

** , p<0.01, *, p<0.05 : Good > Poor

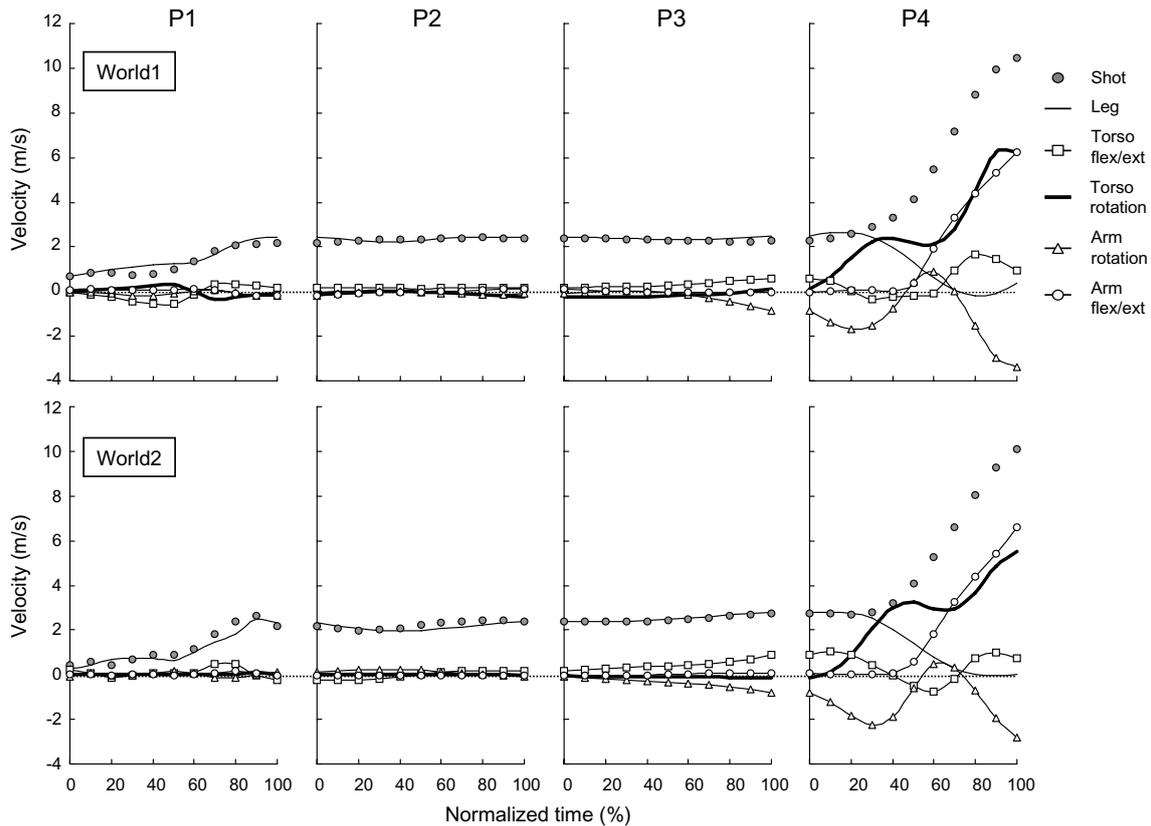


Figure 5 Shot velocity and each motion velocity in Word1 and World2. The positive values means counterclockwise and extension movement for the rotation (torso, arm) and the flex/ext (torso, arm), respectively.

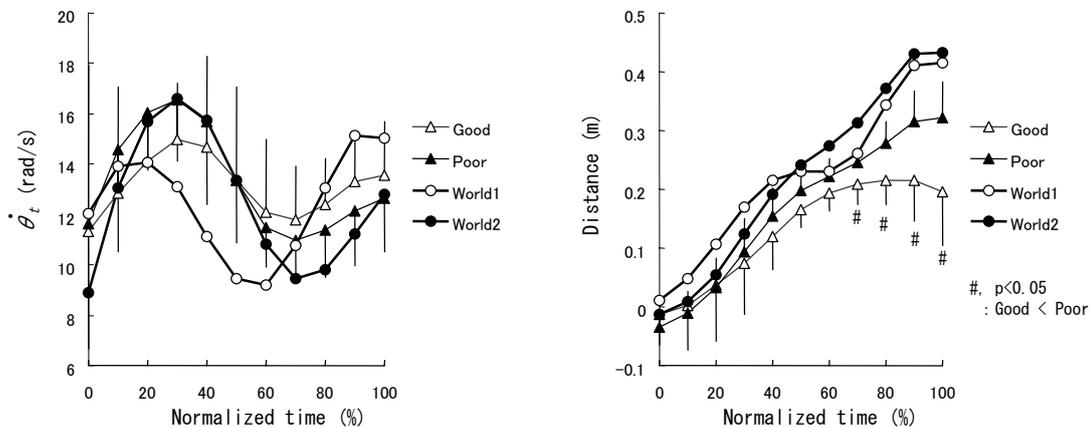


Figure 6 Trunk angular velocities (left) around long axis and distances between trunk and shot (right) during P4. Distance is sum of cosine components of trunk length and arm length. See figure 3.

て詳細にみると、両者はともに Good 群および Poor 群と比較して、前半では体幹の回転が若干高値を示し、後半ではさらに顕著に高値を示した。また、上肢の伸展は Good 群とほぼ同値であった。

図 6 に、P4 における体幹の長軸周りの角速度（以下、単に体幹の角速度）および体幹と砲丸との距離を示した。体幹の角速度は、前半にピークを迎えた後にいったん減少し、後半には再び増加した。3 群

間に顕著な差は認められなかった。体幹と砲丸との距離は、70 – 100%において Poor 群が Good 群と比較して有意に高値を示し、World 群は、Poor 群よりもさらに高値を示した。

図 7 に、P4 における Good 群、Poor 群および World 群の動作の特徴を示す典型的な選手（それぞれ G 選手、P 選手、World1 選手）のスティックピクチャを示した。G 選手は、砲丸が体幹の近くに位

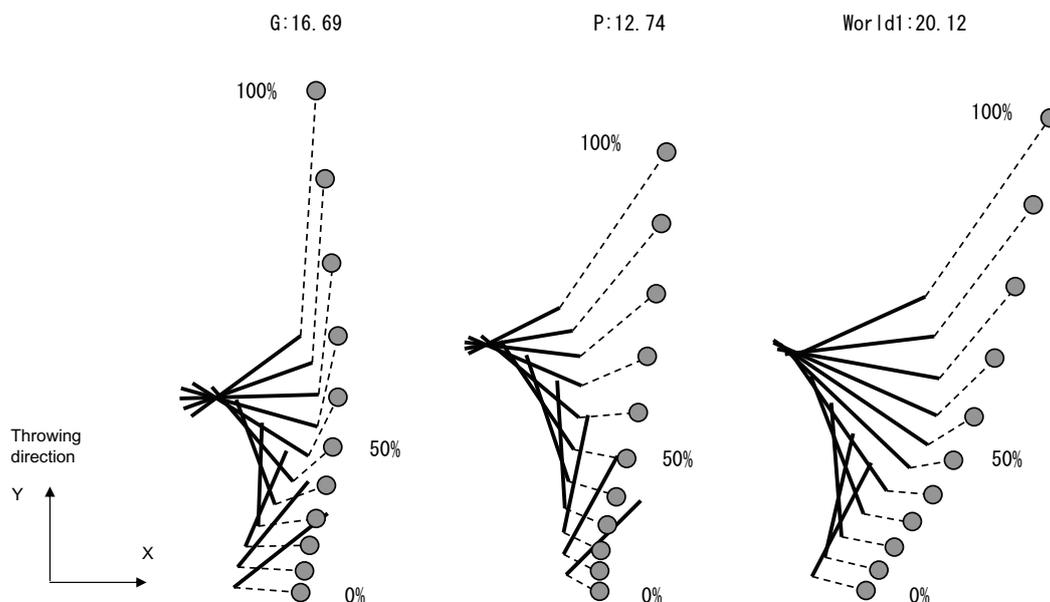


Figure 7 Stick pictures of the trunk and the right arm of the typical subjects in Good, Poor and World groups during P4. The solid line is trunk (connected right shoulder to left shoulder), and the dotted line is arm (connected right shoulder to shot).

置し、ほぼ直線的な軌跡を示した。World1選手は、砲丸が体幹の遠くに位置し、円を描くような軌跡を示した。P選手は、両者の中間的な特徴を示したが、体幹が投てき方向から左方向へ傾く傾向が認められた。

IV. 考察

本研究では、一連の砲丸投げ動作における砲丸の速度に対して、どのような動作がどの程度貢献しているのかを明らかにするために、下肢-体幹-上肢モデルを定義し、各動作による砲丸速度を算出した。なお、本研究では投てき方向のみの砲丸速度を分析した。これは、リリース時の砲丸速度をみるとGood群とPoor群との間には投てき方向の速度においてのみ有意差が認められており(表1)、両群間における記録の差の主要因は、投てき方向の速度にあると考えられたためである。その結果、おおまかにみるとすべての被験者が次に示す動作の貢献パターンを示した。つまり、砲丸の速度に対して、P1からP3まではほぼ下肢の動作(グライド動作)の貢献によるものであり、砲丸が最も加速されるP4では、前半では下肢の貢献が急激に減少すると同時に体幹の回転の貢献が増大し始め、続いて上肢の回転、後半では上肢の伸展の貢献が顕著に増大していた(図4, 5)。このことは、砲丸投げの主要な動作順序を説明した西藤(1977)の見解とおおよそ一致する。また、下肢から体幹、上肢へと中枢から末

端の部分が順次砲丸の加速に参加する、いわゆる運動連鎖が行われていたことを示唆しており、砲丸投げにおいては、この運動連鎖を適切に行うことが重要であることも指摘されている(Lanka, 2000)。これらのことから、本研究で用いたモデルおよび各動作の評価方法は、砲丸投げの動作の特徴を十分に捉えられるものであったと考えられる。したがって、以下には競技レベルの異なる被験者における砲丸速度に対する各動作の貢献の相違について検討することにする。なお、上肢の回転はほぼマイナスに作用していたが、これは水平面内において反時計回りに回転する体幹に対して上肢が水平外転していく状態を示しており、砲丸を投てき方向へ位置づけるための役割を果たしたものと考えられる。

1. 日本レベル選手の上位群と下位群との比較

Good群はPoor群と比較してP4の90-100%における砲丸速度および上肢の伸展が有意に高値を示した(図4)。このことは、日本レベル選手においては、いわゆる突き出し動作の速さによって砲丸速度の優劣が決定していることを示唆している。上肢は、運動連鎖の順序から最終的に速度が高まり、砲丸にエネルギーを直接作用させる部位であることを考慮すると、この結果は十分に理解できよう。一方、Poor群はGood群と比較してP4の後半において体幹の回転が高値を示し、100%の時点(リリース時)において有意差が認められた(図4)。このことは、Poor群はGood群よりも突き出し局面後半において、

体幹の長軸周りの回転を砲丸速度に利用していたことを示唆するものである。身体各部の力学的仕事能は、下肢、体幹、上肢の順に低くなる（阿江と藤井，2002）ことから、Poor 群においては、重い砲丸に対して上肢の伸展動作のみでは大きな出力が困難であったために、より出力の大きい体幹を意識的あるいは無意識的に参加させていたことが考えられる。一方、Good 群においては、上肢の伸展が速かったが、このことは同時に突き出す方向と反対方向の力（反作用）も大きくすることになるために、上肢と連結する体幹の角速度が抑えられ、結果として体幹の回転の貢献が低くなったことも考えられる。いずれにしても、日本レベル選手においては、上肢の突き出し動作を速くできるような技術・体力を獲得することによって砲丸の記録を高めていたものと考えられる。なお、体幹の回転の貢献については、世界レベル選手の結果も考慮して、以下にさらに考察を進めることにする。

2. 世界レベル選手と日本レベル選手との比較

本研究における世界レベル選手と日本レベル選手との記録の差はおよそ 4～6m であった。World 群の砲丸速度をみると、Good 群および Poor 群と比較して P3 まではほぼ同値であり、P4 において顕著な差が認められた（図 4, 5）。同様の結果は、日本レベル選手（13.65 ± 0.71 m）と世界レベル選手（18.07 ± 0.94 m）の砲丸速度を 2 次元平面で比較した田内ら（2005）によっても報告されている。したがって、世界レベル選手と日本レベル選手との差の原因は、主に砲丸の突き出し局面の動作にあると考えられる。そこで、World 群の P4 における各動作による砲丸速度を日本レベル選手と比較すると、上肢の伸展は Good 群とほぼ同値であったが、体幹の回転が顕著に高値を示した（図 4, 5）。特に、P4 の 50% 以降において Good 群では体幹の回転の貢献が維持あるいは低下するのに対して、World 群では増加するパターンを示した。なお、このパターンは Poor 群と類似していた。このことは、世界レベル選手と日本レベル選手、特に Good 群との記録の差には、日本レベル選手内での比較で指摘した突き出し動作の速さではなく、砲丸速度に対する体幹の回転の貢献の大きさが影響していることを示唆するものである。

ここで注意しなければならないのは、体幹の回転の貢献が、単に体幹の回転速度（角速度）の大きさを示しているのではないことである。式 2 の θ_t の微分項をみると、体幹の回転は、体幹の長軸周りの

角速度（以下、単に体幹の角速度）と体幹から砲丸までの距離（X 成分）との掛け算であることがわかる。そこで、P4 における砲丸に対する体幹の回転の貢献についてさらに詳細に検討するために、各群の体幹の角速度および体幹と砲丸との距離を比較した。その結果、体幹の角速度にはいずれの群にも顕著な差は認められなかったが（図 6 右）、体幹と砲丸との距離においては、70～100% において Poor 群が Good 群と比較して有意に高値を示し、World 群は Poor 群よりも高値を示した（図 6 左）。このことは、体幹の回転の貢献の大きさは、体幹の角速度よりも、むしろ体幹と砲丸との距離に強く依存していたことを示唆するものである。この示唆については、各群の典型的な被験者のスティックピクチャによってよく説明できよう（図 7）。つまり、体幹の回転の貢献が低い Good 群は、砲丸が体幹の近くに位置し、ほぼ直線的な軌跡を示したのに対して、体幹の回転の貢献が P4 の後半に顕著に増加する World 群は、砲丸が体幹の遠くに位置し、円を描くような軌跡を示した。また、Poor 群はその中間的な軌跡を示した。

上述したように、出力の大きい体幹を砲丸速度に利用することは極めて合理的である。本研究の結果から、そのための 1 つの要因として、P4 において体幹から砲丸を遠くに位置させて突き出すことがあげられる。しかし、このことは、体幹-砲丸系の回転半径が長くなることによって、体幹の角速度を高めることが困難になること、砲丸の速度ベクトルと上肢の力ベクトルを一致させることが困難になることなどのマイナス面も含んでいる。このように考えると、World 群はそれらのマイナス面を克服して、なお体幹の角速度を日本レベル選手と同レベルまで高められる技術および体力を獲得していたものと考えられる。なお、Poor 群は砲丸を遠くへ位置させながら突き出すことによって、体幹の回転の貢献を大きくできたが、体幹が左に移動しながら砲丸を右方向へリリースしているために、砲丸の速度ベクトルと上肢の力ベクトルにずれが生じ、砲丸を効果的に突き出すことができなかったものと推察される（篠原ら，1997）。一方、Good 群は回転半径が短いことから、体幹の角速度を高め易いと考えられるが、体幹と突き出す方向との角度が 90 度（体幹の回転の接線方向）に近くなり、突き出し動作による反作用が直接体幹の角速度の抑制に作用してしまうために、十分に角速度が高められなかったと考えられる。なお、Good 群における体幹の回転の接線方向への突き出し動作は、砲丸の速度ベクトルと上肢

の力ベクトルを一致させることを優先させた結果であるとも解釈できよう。

以上の結果から、砲丸投げの技術を評価する際には、主に突き出し局面の体幹の回転および上肢の伸展動作に着目することが有効であることが示唆された。しかし、本研究では、身体を下肢、体幹、上肢にモデル化しているために、詳細な動作は検討できない。したがって、今後は体幹の回転を生み出す役割としての下肢の動作、あるいは体幹の捻り動作などを上肢の伸展動作と関連付けて、さらに検討することが課題となるであろう。また、本研究ではWorld群が2名であったために、世界レベル選手の特徴を十分に捉えられなかった可能性がある。今後は世界レベル選手のデータ数を増やし、さらに詳細に検討することも課題としてあげられる。

V. 要約

本研究の目的は、グライド投法における砲丸速度に対する身体各部位の貢献の仕方を明らかにし、その貢献の仕方の競技レベル差を検討することであった。日本選手権に出場した女子砲丸投げ選手16名(上位8名: Good群, 下位8名: Poor群)および世界選手権で上位入賞の経験を持つ2名(World群)を対象にして、各選手の投てき動作について3次元動作解析を行った。砲丸速度に対する身体各部位の貢献の仕方を明らかにするために、下肢-体幹-上肢モデルを定義し、各部位の相対速度を算出した。また、体幹に対する上肢(砲丸)の速度は、体幹-上肢モデルを極座標で示した。なお、本研究では一連の投てき動作について砲丸の最下点(Mid)、右足離地(R-off)、右足接地(R-on)、左足接地(L-on)およびリリース(Release)の各イベントを設定し、MidからR-offまでの局面をP1、R-offからR-onまでの局面をP2、R-onからL-onまでの局面をP3、L-onからReleaseまでの局面をP4とした。主な結果は、次の通りである。1) 砲丸の速度に対して、P1からP3まではほぼ下肢の動作の貢献によるものであり、砲丸が最も加速されるP4では、前半では下肢の貢献が急激に減少すると同時に体幹の回転の貢献が増大し始め、続いて上肢の回転、後半では上肢の伸展の貢献が顕著に増大していた。2) P4においてGood群はPoor群と比較して、上肢の伸展の貢献が高く、体幹の回転の貢献が低かった。3) P4においてWorld群はGood群と比較して、上肢の伸展の貢献は同程度であったが、体幹の回転の貢献が顕著に高かった。これらの結果は、日本レベル選手

は、上肢の突き出し動作を速くする技術・体力を獲得することによって砲丸の記録を高めていること、世界レベル選手は、日本レベルの上位の選手と同様の上肢の突き出し動作を行いながら、さらに体幹の回転を砲丸の速度に利用できる技術・体力を獲得していることを示唆するものである。

参考文献

- 阿江通良, 渋川侃二 (1980) 身体運動における身体各部位の貢献度のバイオメカニクス的分析—垂直跳の踏み切りを例にして—。体育学研究 25: 233-243.
- 阿江通良, 藤井範久 (2002) スポーツバイオメカニクス 20 講。朝倉書店: 東京.
- 古谷嘉邦, 畑康太郎 (1989) 砲丸投げのグライド動作に関する実験的研究—主として振り出し脚について—。東海大学スポーツ医科学雑誌 1: 72-78.
- 橋本勲, 池上康男, 桜井伸二, 岡本敦, 若山章信, 小坂井和歌子 (1995) 競技レベルの異なる砲丸投げ選手の投動作—世界と日本の一流選手, 大学選手の比較—。総合保健体育科学 18: 37-44.
- 橋本勲, 大北英紀, 阪本孝男, 斉藤良太, 安藤好郎, 佐野真也, 池上康男 (2004) 大学女子砲丸投げ選手のエネルギー発揮に関する研究—脚部および体幹の役割について—。中京女子大学研究紀要 38: 21-29.
- Lanka, J (2000) Shot Putting. Biomechanics in Sport (ed) Zatsiorsky, Blackwell Science, MA: pp. 435-457.
- Linthorne, N., P. (2001) Optimum release angle in the shot put. J. Sports. Sci. 19: 359-72.
- 大山卍圭悟 (2005) 投てき。人間の許容限界辞典。朝倉書店, 東京: 397-402.
- 西藤宏司 (1969) 砲丸投の投てき技術に関する研究(グライド動作について)。中京体育学論叢 11: 309-325.
- 西藤宏 (1977) 砲丸投・ハンマー投げ, 陸上競技入門シリーズ 8。ベースボールマガジン社: 東京, pp. 30-37.
- 篠原邦彦, 阿江通良, 藤井範久 (1997) 一流砲丸投げ選手が砲丸に発揮したパワーの変化と上肢の機能。身体運動のバイオメカニクス: 288-293.
- 末吉靖宏, 辻尾昇三 (1998) 砲丸投げ突き押し動作における最適な上肢関節トルクの配置。鹿児島大学教育学部研究紀要自然科学編 50: 79-89.
- 田内健二, 持田尚, 榎本靖士, 阿江通良 (2005) 女

子砲丸投げのグライド投法における世界レベル競技者と日本国内レベル競技者との相違. 陸上競技研究紀要1 : 36-44.

植屋清見, 池上康夫, 中村和彦, 桜井伸二, 岡本敦, 池上哲史 (1994) 砲丸投げのバイオメカニクスの分析. 佐々木秀幸, 小林寛道, 阿江通良監修, 世界一流競技者の技術. ベールボールマガジン社 : 東京, pp. 207-219.

第21回全国小学生陸上競技交流大会優秀選手の身体的・心理的・疾走能力測定の結果

伊藤宏¹⁾ 岡野 進²⁾ 井筒紫乃³⁾ 三宅 聡⁴⁾

1) 静岡大学 2) 明海大学 3) 城西国際大学 4) (財)日本陸上競技連盟

I. はじめに

日本陸上競技連盟普及委員会(以下、「普及委員会」とする)では、2005年4月、これまで以上に現場の課題に対応できるようにと、いくつかの「調査・研究プロジェクト」を立ち上げた。今回立ち上げた「普及委員会」のプロジェクトは、「全国中学校駅伝参加者追跡調査」、「全国小学生陸上競技クラブ調査」、「陸上競技の一貫指導に関する検討」、「全国大会のボール投げに関する検討」、「中学生の普及振興対策の検討」と、本報告と関連する「全国小学生優秀選手育成プラン」である。

全国小学生陸上競技交流大会(以下、「全国大会」とする)が始められるにあたっては、多くの専門家や指導者たちは、早期専門種目化や早熟化の危険性を懸念し、本大会の開催に難色を示した。しかし、これらの大会に出場した選手の追跡調査(岡野、2004年)からは、意外にも多くの優秀選手が輩出していることが判明した。具体的には、土江・末續・高平・山口選手らのオリンピック代表や女子の信岡・池田選手らの世界選手権代表が育ってきているのを始め、全日本中学生選手権大会、日本ジュニア選手権、全国高校陸上、ジュニアオリンピック、日本インターカレッジ、日本選手権大会等で活躍する選手が多数見られている。

こうした実情を踏まえ、「普及委員会」は先に述べた「全国小学生優秀選手育成プランの検討」プロジェクトを立ち上げ、「第21回全国大会」に出場した優秀選手をいかに指導し、育てていけば良いかということ課題に掲げるとともに、2005年9月、第21回「全国大会」に出場した選手の中から、各種目の優勝者ならびにその指導者を集めた「第1回全国小学生陸上競技優秀選手研修会(以下、「研修会」とする)」を実施した。

本報告は、「研修会」に参加した優秀選手の身体的(形態・体力・運動能力)・心理的・疾走能力を測定した結果を明らかにするものである。同時に、これからの選手育成の課題とされている陸上競技の「一貫指導システムの構築(競技者育成プログラム策定)」のための貴重な資料としたい。

II. 研究方法

1. 優秀選手の選考条件と研修会について

第21回「全国大会」出場選手の中から優秀選手(今回は、各種目の優勝者)を選出し、将来の有望選手としての意識・意欲づけと、彼らの指導者に陸上競技の一貫指導(発育発達に応じた指導の重要性)を理解してもらうことをねらいとして、「横浜市日産スタジアム」で開催された「2005 スーパー陸上」を観戦してもらうと同時に、一貫指導に関する研修ならびに参加選手の身体的・心理的・疾走能力の測定を行うことにした。

選手選考条件は、以下の2点から行なった。

1) 各種目(100m、80mH、走幅跳、走高跳)優勝者男女1名ずつの8名と、4×100mリレーの男女優勝チーム(各4名)の、男女合計16名を選抜した。
2) 選手選考に当たっては、「中学校でも継続して陸上競技を行うこと、また将来オリンピック選手になりたいという意欲(高いモチベーション)を持っている者」であること。また、「5・6年生時の新体力テストの提出と、今後日本陸上競技連盟の調査に協力できること」等を条件とした(岡野ら、2005)。以上の選考の結果、今回の「研修会」参加選手(以下、「選手」とする)は、女子走高跳を除く15名であった。

2. 測定・調査方法

「選手」の測定は、2005年8月28日に「日産スタジアム」内の「横浜市スポーツ医科学センター」において、形態面、体力面の測定を行ない、また翌29日に、同サブトラックにおいて、60m疾走中の疾走フォームの測定を行なった。また、「選手」の心理面・生活面に関する調査を、28日の夜の研修時に行なった。

1) 測定項目

「横浜市スポーツ医科学センター」で行なった測定項目は、立位体前屈、全身反応時間、垂直跳び、骨量ならびにBMI、体脂肪率、足底荷重分布であった。また、「普及委員会」が行なった調査・測定は、日常生活調査、運動能力感、不定愁訴、疾走感、PCI（心理的コンディション調査）、60m疾走能力（速度、歩数頻度、歩幅、疾走フォーム）であった。

2) 新体力テスト（結果）については、「選手」から提出されたものである。

Ⅲ. 結果と考察

1. 身長と体重

「選手」の身長と体重の平均値と標準偏差ならびに同年齢の平成16年度全国平均値と標準偏差（平成16年度 体力・運動能力調査報告書 文部科学省）を図1、2、3に示した。昨年度「普及委員会」が報告した結果（小野ら、2005）と同様に、男子選手の身長と体重、そして女子選手の身長は、全国平均値を有意に上回っていたが、女子選手の体重は全国平均値とほぼ同じ値を示していた。BMI値からも、女子選手の瘦身傾向がはっきりと見られた。以上の結果、今回の「男女選手」の形態値は、同世代のそれらよりも明確に上回っていることが分かった。

加藤ら（1999）は、「全国大会」出場選手の形態値が有意に大きいことから、男女とも早熟傾向にあることを報告している。しかし、今回測定した「選手」の体脂肪率や骨量（図4、5、6、7）からは、脂肪が少なく、骨がしっかりしていることが分かった。いずれにしても、「選手」が早熟傾向であるかどうかの判断は、形態面だけでなく、これら「選手」の今後の発育経過や骨年齢などを継続的に見ていく必要がある。

2. 日常生活における読書、PC・TVゲーム、TV・ビデオ、勉強、遊び時間

文科省（2005）は、6歳から19歳までは、加齢にともなって運動を実施する頻度が高いほど、新体

力テストの総合評価点が高い傾向があると報告している。「選手」も毎日の外遊び時間が2時間くらいあり、練習時間も含まれていると思われるが、体力アップに必要な運動時間が確保されていることが分かった。しかし、勉強時間が1時間で、テレビ、テレビゲーム時間などが合計3時間近くあることから、時間の有効利用という観点から、まだまだ工夫する余地があると思われる。

3. 新体力テストと垂直跳び、全身反応時間の測定結果

「新体力テスト」は、握力、上体起こし、長座体前屈、反復横とび、20mシャトルラン、50m走、立ち幅とび、ソフトボール投げの8項目である。これらの8項目

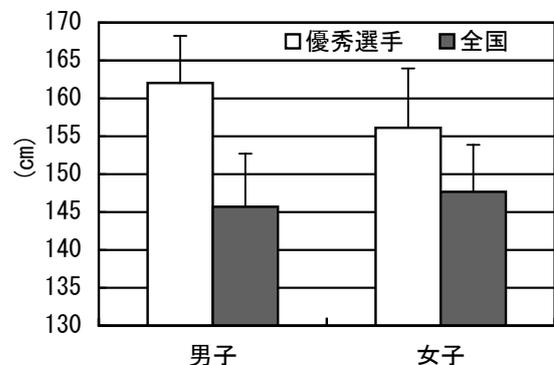


図1 男女優秀選手と全国平均値の身長

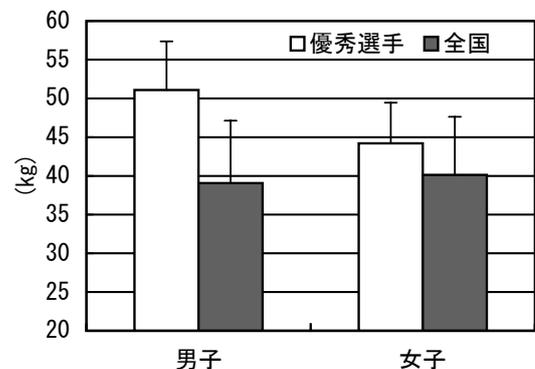


図2 男女優秀選手と全国平均値の体重の比較

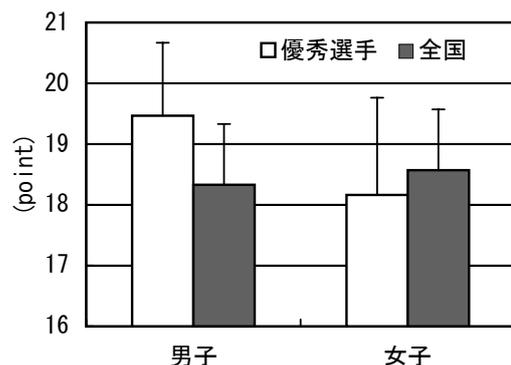


図3 男女優秀選手と全国平均値のBMIの比較

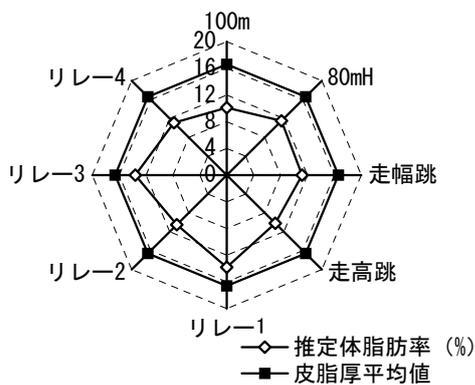


図4 男子の推定体脂肪率

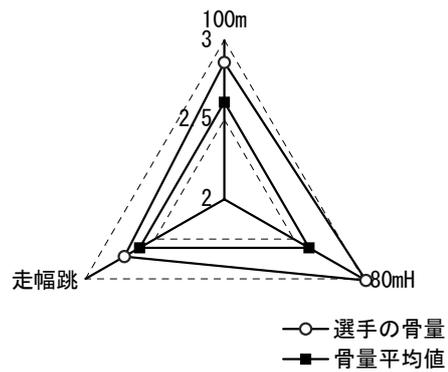


図7 女子の骨量

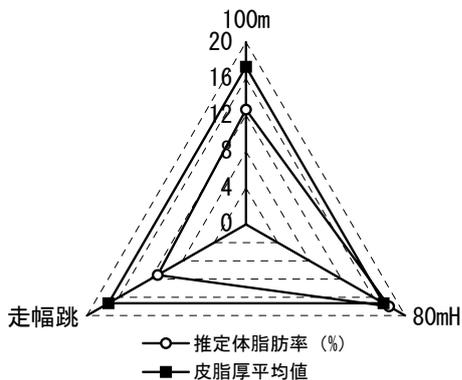


図5 女子の推定体脂肪率

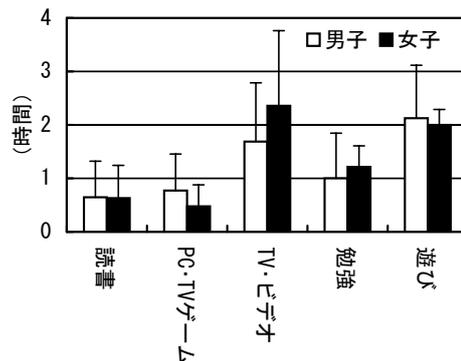


図8 男女の日常生活における時間の使い方

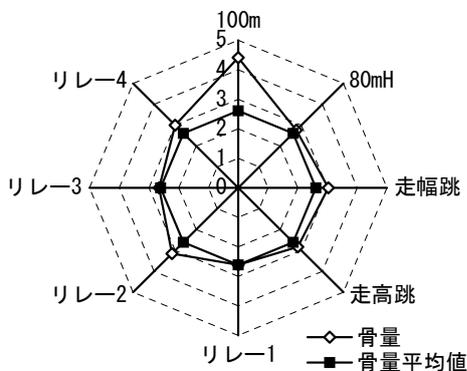


図6 男子の骨量

と垂直跳びは、全国の学校で普通に行われている測定項目である。今回、これらの「選手」の測定結果を明らかにすることは、今後続く後輩の選手や彼らを指導する指導者に、優秀選手の体力水準を客観的に実感することができるので、有益なものになるはずである。

図9から図28に、測定項目ごとの結果を示した。各図中に示された種目名は、「選手」を示す(具体的な選手名を個人情報保護の観点から記さず、種目名で表すことにした)。

男子選手の優れた項目は、筋力の指標である握

力、筋力・筋持久力の指標である上体起こし、スピード・走能力の指標である50m走、筋パワー(瞬発力)の指標である立ち幅跳び、跳躍能力の指標である垂直跳び、動作の素早さの指標である全身反応時間であった。このことから、男子「選手」は、筋力・パワー(スピード・筋力)・神経系統の能力に優れていることが明らかになった。また、中でも特に50m疾走能力は群を抜いて優れていた。このことは、全国大会で採用されている種目の共通特性として、疾走能力に優れていることが求められているということであろう。

いっぽう、敏捷性の指標である反復横とびは、全国平均値よりは優れてはいるものの際立った成績ではなかった。また、優れた成績を示さなかったのは、柔軟性の指標である長座体前屈と全身持久力の指標である20mシャトルラン、そして筋パワー(瞬発力)の指標であるソフトボール投げであった。

女子「選手」で優れた項目は、筋力・筋持久力の指標である上体起こし、スピード・走能力の指標である50m走、筋パワー(瞬発力)の指標である立ち幅とび、跳躍能力の指標である垂直跳び、動作の素早さの指標である全身反応時間であった。これらは筋力、パワー、神経系統の能力を示すものである。女子「選手」も男子同様、50m疾走能力は群を抜い

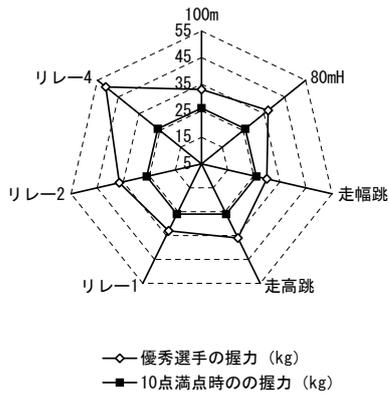


図9 男子優秀選手の握力

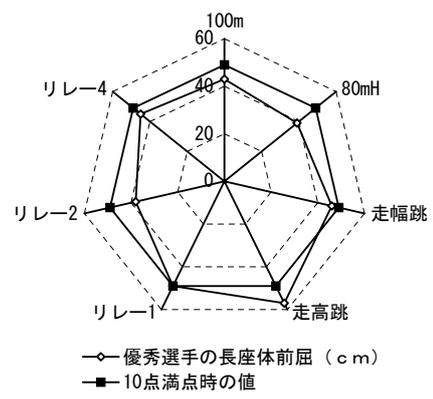


図13 男子優秀選手の長座体前屈

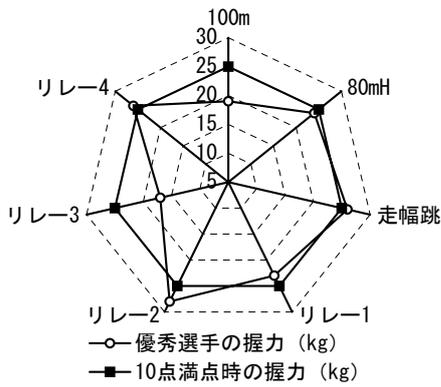


図10 女子優秀選手の握力

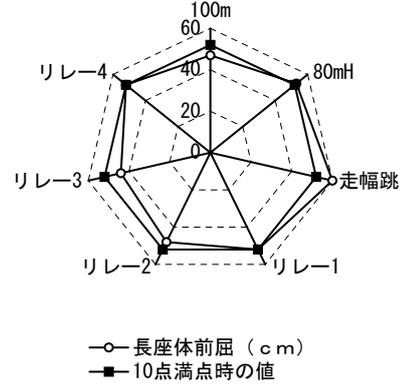


図14 女子優秀選手の長座体前屈

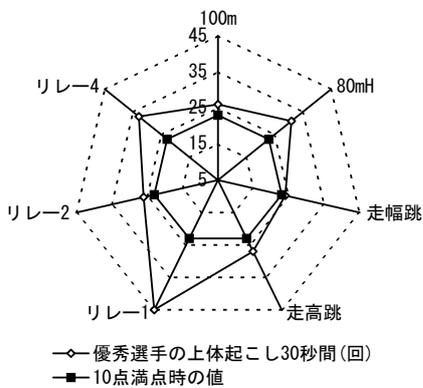


図11 男子優秀選手の上体起こし

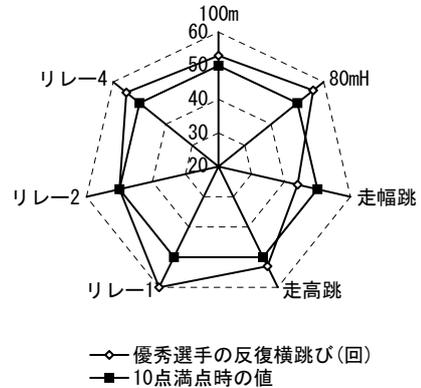


図15 男子優秀選手の反復横とび

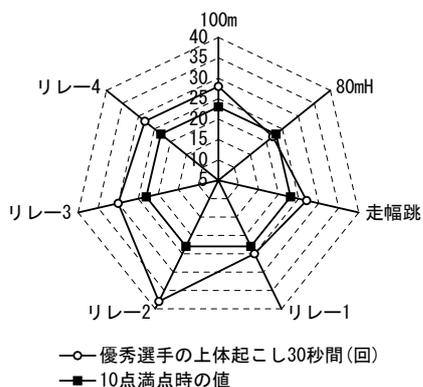


図12 女子優秀選手の上体起こし

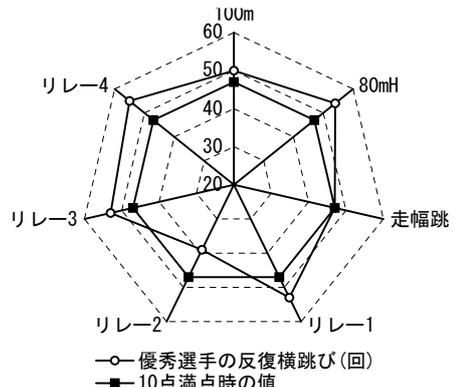


図16 女子優秀選手の反復横とび

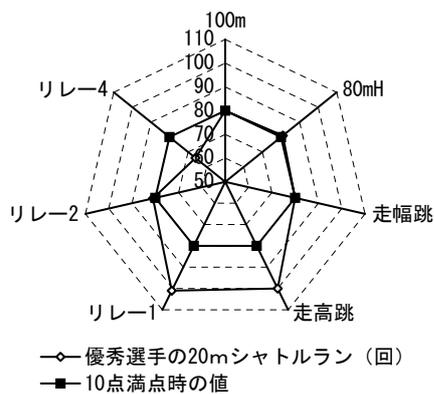


図 1 7 男子優秀選手のシャトルラン

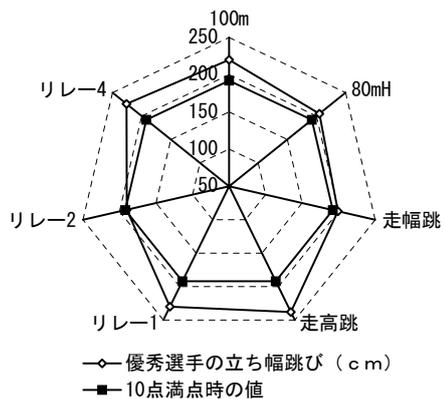


図 2 1 男子優秀選手の立ち幅跳び

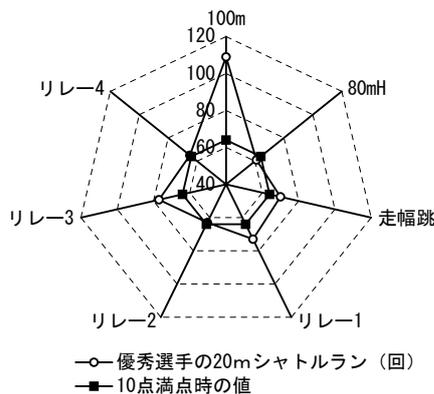


図 1 8 女子優秀選手のシャトルラン

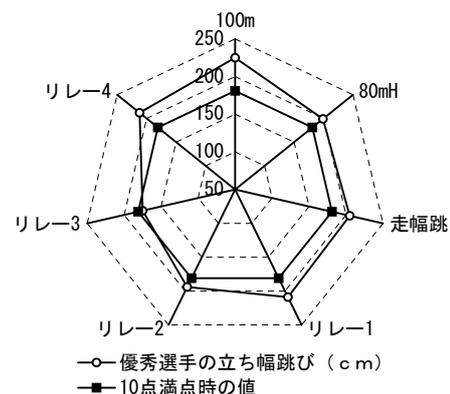


図 2 2 女子優秀選手の立ち幅跳び

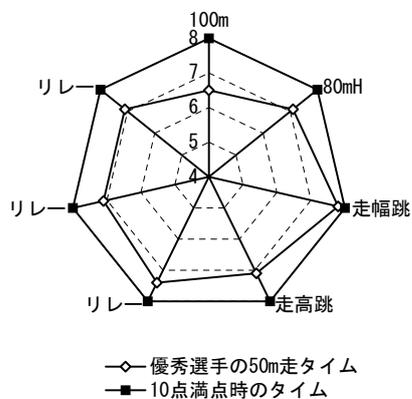


図 1 9 男子優秀選手の50m走

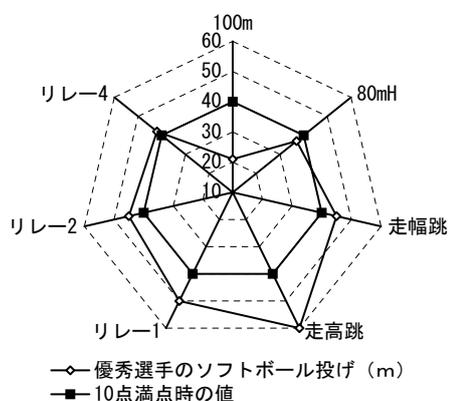


図 2 3 男子優秀選手のソフトボール投げ

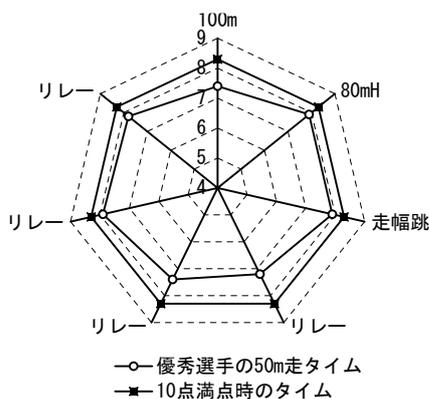


図 2 0 女子優秀選手の50m走

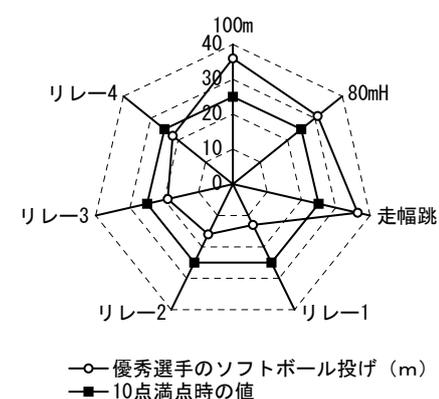


図 2 4 女子優秀選手のソフトボール投げ

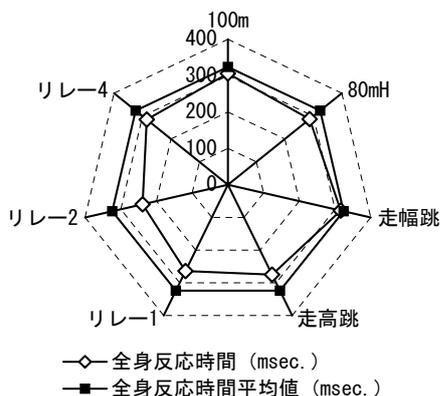


図 2 5 男子優秀選手の全身反応時間

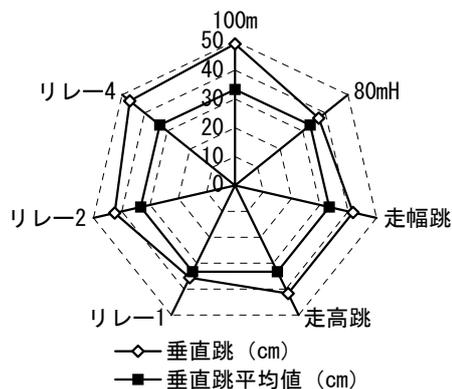


図 2 7 男子優秀選手の垂直跳

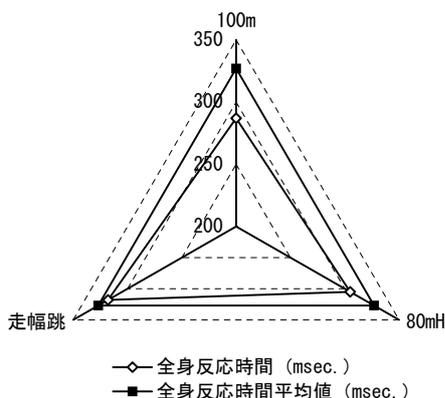


図 2 6 女子の全身反応時間 (msec)

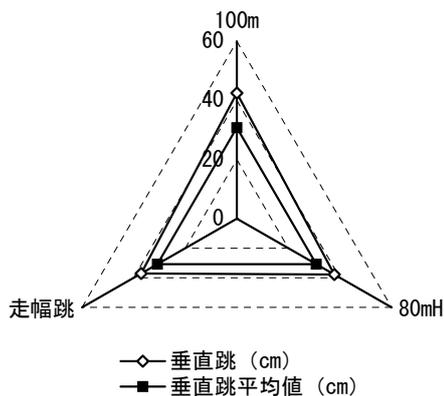


図 2 8 女子優秀選手の垂直跳

て優れていた。しかし、敏捷性の指標である反復横跳びでは、全国平均値よりは優れてはいるものの際立ったものではなかった。また、優れた成績を示さなかったのは、筋力の指標である握力、柔軟性の指標である長座体前屈、100m 選手を除いて全身持久力の指標である 20m シャトルラン、筋パワー（瞬発力）の指標であるソフトボール投げであり、男子と同様であった。

これらの結果から、男女選手は「新体力テスト」の筋力、スピード、パワーの能力に秀でていることが判明した。小・中・高校に至る「一貫指導」の観点から、中学校で競技能力を確実に飛躍させるには、これらの能力をいっそう高めるトレーニングを中核としながら、さらに種目特性の動き作りと併せ、総合的にバランスのとれた体力作りに取り組んでいくことが望ましいと思われる。さらに、今回の調査から、男女選手とも長座体前屈の成績が悪いことから、腰背部、ハムストリング、ふくらはぎの柔軟性を高めるトレーニング（ストレッチングなど）を段階的かつ継続的に取り組むことが必要であると思われる。なぜなら、これらの筋群は疲労などによって収縮する傾向が見られるので、「選手」に腰痛や脚部の肉離れなどの怪我を発生させやすくなる

予想されるからである。

4. 不定愁訴と運動有能感

「不定愁訴」は、日常生活における何となく感じる倦怠感のようなもので、これを感じているとすぐに病状が悪化するというのではなく、直接的に病気に影響するものではないが、生活習慣の見直しに利用される。「不定愁訴」の測定項目は、3つの因子から構成されている。1つめは身体的健康度として「肩が凝る」と「体がだるい」、2つめは精神的健康度として「気が散る」と「やる気がない」、そして3つめが生理的健康度として「トイレに行きたくなる」と「おなかが痛くなる」という項目からなり、各項目は、5段階（5がよくあてはまる・・・1がほとんどない）で回答させるものである。

「運動有能感」は、自分自身の運動への思いを調査するもので、これも3つの因子から構成されている。1つめは運動能力感として「運動能力が優れていると思う」と「たいていに運動は上手にできる」、2つめは努力達成感として「練習すれば必ず技術や記録は伸びると思う」「少しむずかしい運動でも努力すれば出来ると思う」、そして3つめが友達親和感として「一緒に運動しようと誘ってくれる友達が

いる」と「運動をしているとき、友達が励ましてくれる」という項目からなり、やはり「不定愁訴」と同じように5段階で回答してもらった。

図29と図30から、男女選手の「不定愁訴」は3要因とも2点台であり、健康的な日常生活を送っていることが推察された。また、女子の身体的健康度が男子よりも比較的高めに出ていたが、男女間には有意差は認められなかった。運動有能感では、男子選手は3因子とも4点以上を示し、自分自身の運動有能感に自信を持っていることが判明した。女子選手では運動能力感のみが3点台を示していたが、他の2因子には4点台を示しており、努力感、友達親和感をしっかり感じていることが分かった。男女選手間においては、努力達成感に有意差が認められ、男子選手は努力すれば報われることを感じていることが分かった。

5. 心理的コンディショニング調査 (PCI : Psychological Conditioning Inventory) について

PCIは、猪俣(2000)らが開発したもので、日常の練習やトレーニング時に自分自身で配慮すべき心構えをチェックするものである。測定される側面は7項目からなっており、以下各項目を挙げて説明する。F1: 一般的元気(生活一般に積極的に取り組む状態)、F2: 技術効力感(自己の技術に対する自信

や状態)、F3: 闘志(競技における闘争心や競争意欲)、F4: 期待認知(期待をどの程度に感じているかを示す)、F5: 情緒的安定感(情緒の安定感に関する尺度)、F6: 競技失敗不安(競技における失敗についての程度)、F7: 疲労感(心身両面の疲労感)。これらは、5段階評価で行われる。F1の一般的元気からF5の情緒的安定感までの評価はTスコアが50以上を示すと良い傾向と解釈し、F6の競技失敗不安とF7の疲労感はTスコアが50より低いと良い状態であると解釈される。

図31と図32から、男子80mH選手と女子リレー選手3、4の心理的コンディショニング状態が気になる。男子80mH選手は、競技不安感や心理的な疲労感が低いので、試合などでの心構えには問題ないと推察されるが、一般的元気から情緒的安定感までの項目のTスコアが低いことから、日頃の練習にあまり積極的に臨めない何かがあるものと考えられる。

女子リレー選手4は男子80mH選手よりはもっと深刻で、日頃の練習で自分の技術に自信が持てず、積極的に練習に取り組めないでおり、そのことで試合時も実力が出せない、メンタル面に疲労感があるなど日常の練習に消極的な態度があると推察される。さらに女子リレー選手3もメンタル的に疲れていることが伺われた。

上記3名の選手の対応策としては、指導者が選手

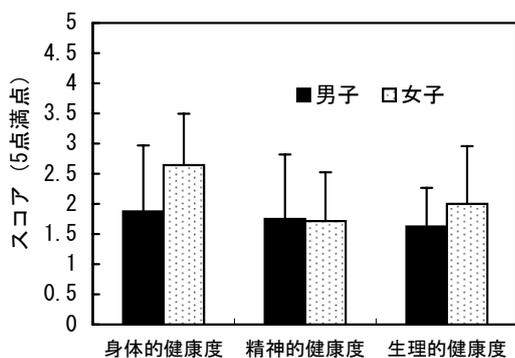


図29 男女優秀選手の不定愁訴

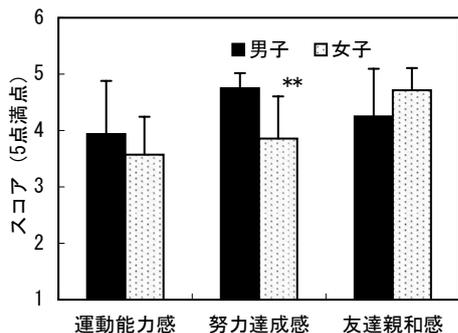


図30 男女優秀選手の運動有能感

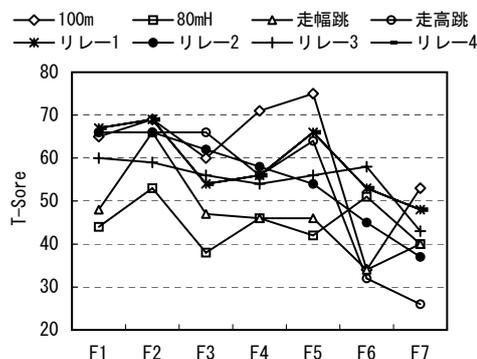


図31 男子優秀選手のPCI

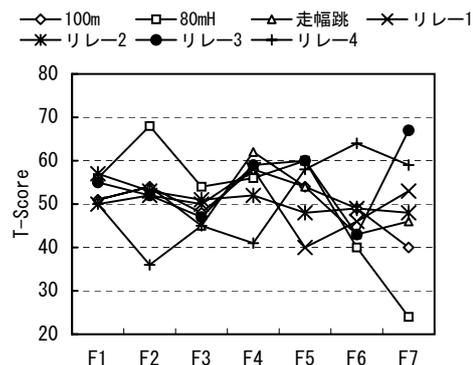


図32 女子優秀選手のPCI

に対して、練習過程のどの段階でやる気をなくしているのか、技術のどの局面でつまづいているのかをじっくりと聞いて、練習課題をそれぞれの「選手」のニーズに応じて立て直すことが必要になると思われる。

6. 50m 走、100m 走に対する運動イメージ

伊藤 (2001) は児童の短距離走に対するイメージは意欲性、緊張性、競争性の3因子から構成されていると報告している。一つめの因子は意欲性として「走りたいー走りたくない」「楽しいーつまらない」「最高-最低」、二つめの因子は緊張性として「長いー短い」「疲れる-楽だ」「緊張する-余裕だ」そして三つめの因子は競争性として「はやいーおそい」「するどいーにぶい」「強いー弱い」のそれぞれ三つの測定項目から構成されている。今回の分析では、それぞれ三つの因子それぞれの測定項目合計を平均し、その平均値をそれぞれの因子の代表値として図33、34に図示した。

50m 走、100m 走それぞれに対して男女選手とも、ほぼ同じイメージを表していた。ただ、男女選手間に有意差が認められたのは競争性で、50m 走でも100m 走でも男子選手の方が速い、鋭い、強いイメージを持っていた。また、100m 走に対しては、有意差は認められなかったものの、女子選手の方が男子

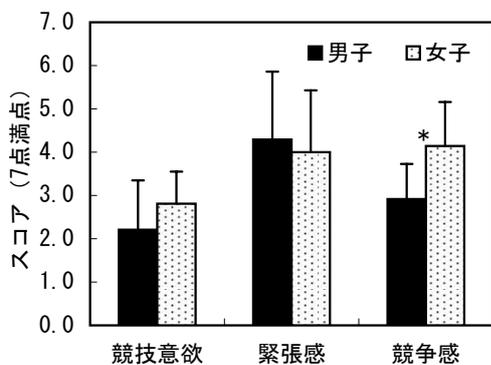


図 3 3 50m 疾走に対するイメージ

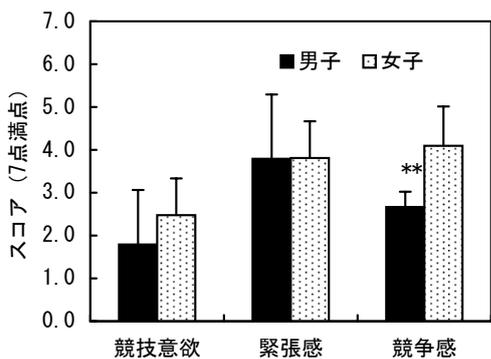


図 3 4 100m 疾走に対するイメージ

選手よりも、緊張感を持っていたと言える。

7. 60m 走における疾走フォーム

スタート地点から 60m まで疾走する選手を VTR カメラでパニング撮影し、その映像をパソコンのハードデスクに AVI ファイルとして保存させ、その映像を再生し、各通過地点の時間を時間速度分析ソフト (siliconCOACHpro) を使って求めた。求められた通過時間と各通過区間の一步の接地時間から伊藤 (2000) がエクセルで作成した分析ソフトで速度、歩幅、歩数頻度を求めた。

疾走フォームは、50m 地点を側方から VTR カメラで固定撮影を行い、この映像を AVI ファイルとしてパソコンのハードデスクに保存し、再生した映像を、2 次元ビデオ動作解析システム (DHK Frame-DIASII) を用いて、身体の 24 点をスプリント 1 サイ

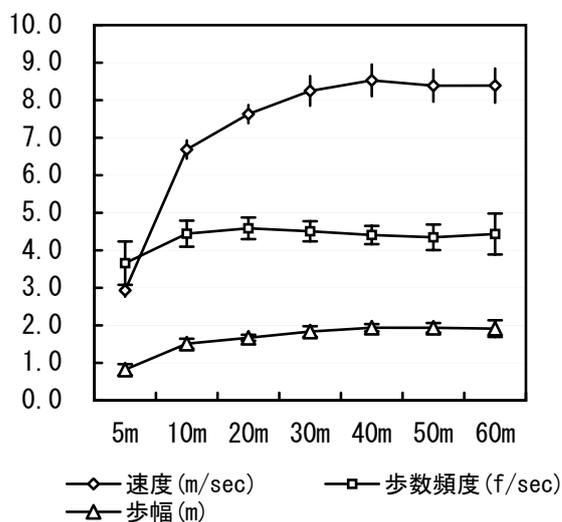


図 3 5 男子優秀選手の 60m 疾走中の速度、歩数頻度、歩幅

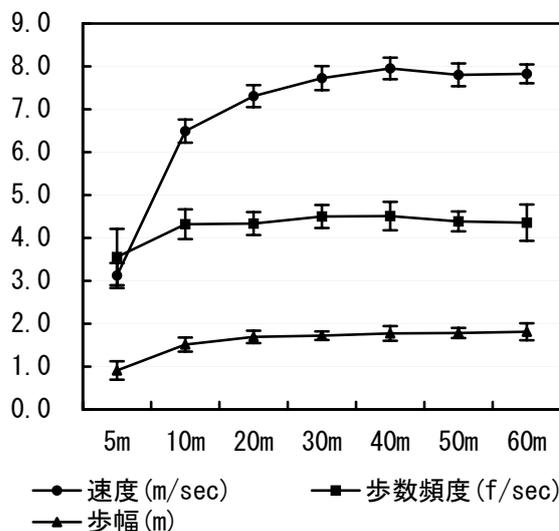


図 3 6 女子優秀選手の 60m 疾走中の速度、歩数頻度、歩幅

クル分をデジタイズし、さらに画面上の4点から実長換算をおこなった。得られた2次元座標をデジタルフィルターで平滑化して右足の膝、足首、足先の角度と速度を算出した。これらを図37、38、39、40、41に示した。

ここでは、小林(2001)の報告を参考に、成人優秀選手が最速で疾走している中間疾走局面での離地瞬間時のキック脚の膝関節角度、中間時点(脚が最も屈曲した瞬間)の足関節角度とスイング脚(下肢)の振り戻し時の最大角速度の図中に、「選手」のデータを挿入し、図37、38、39に示した。これらの諸局面は、疾走速度と有意な関係を示すものと考えられている。

今回の「選手」は、離地瞬間局面の膝角度、中間時点の足関節角度に成人優秀選手と同様な直線上にプロットされており、一流選手並みの動きを示していることが判明した。しかし、振り戻しの脚の速度にはばらつきが見られ、疾走速度と有意な関係を示しているとは言えなかった。これらの事から、今回の「選手」は一流選手ほどの速い速度を現在は持っていないが、動き自体は望ましい方向にあり、今後は発育発達をふまえた体力アップトレーニングを継続し、現在の動き、タイミングなどを総合的に捉えながら、より速い動きづくりへステップアップしていくことが望まれる。

IV. まとめ

第21回「全国大会」で各種目に優勝した「選手」の形態値、体力、疾走能力、生活習慣、メンタル面について測定・調査した結果、以下のことが明らかにされた。

1. 形態値については、男子「選手」の身長と体重、女子「選手」の身長は全国平均値より有意に高く重いものであった。しかし、女子「選手」の体重は全国平均値並みであったことから、「瘦身」傾向であった。
2. 日常生活において、男女「選手」とも遊びや運動時間は十分取れていたが、それと並行してテレビやパソコンゲームに費やす時間が3時間と多く、勉強時間は1時間であった。
3. 「新体力テスト」では男女とも50m走が非常に優れていた。続いて筋力や筋パワーの指標を示す立ち幅とび、垂直とび、そして素早さを表す全身反応時間が有意に優れていたが、反復横とびや20mシャトルラン、ソフトボール投げは全国平均値並みであった。

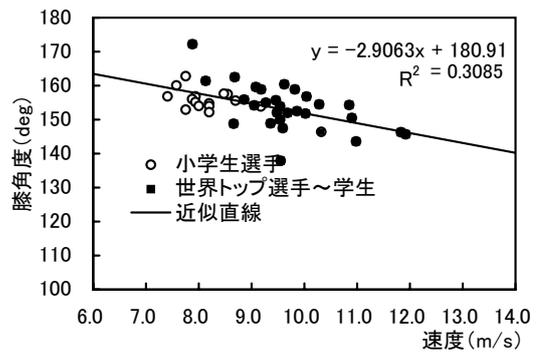


図37 離地瞬間時におけるキック脚の膝関節角度

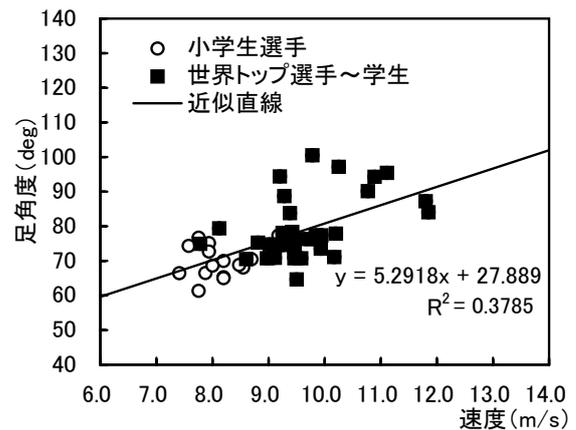


図38 キック脚の体の真下時の足関節角度

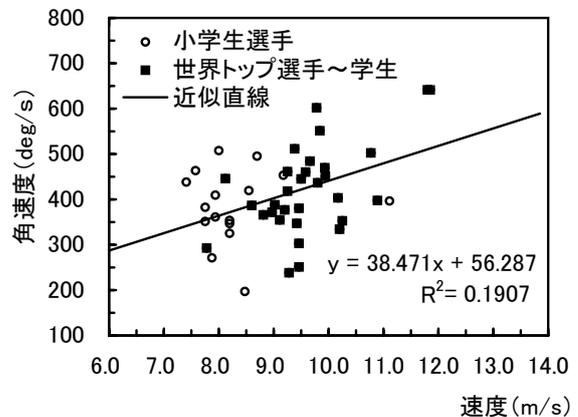


図39 スイング脚の振り戻し時の最大角速度

4. 「不定愁訴」のスコアからは、「選手」は健康的な日常生活を送っていると思われ、また「運動有能感」では高スコアを示しており、「選手」は運動をすることや技能習得には大きな自信を持っていることが分かった。
5. 「心理的コンディショニング」については、一部(3名)の「選手」を除いて、望ましい心構えで練習に取り組んでいることが分かった。
6. 「短距離走(50m、100m走)についてのイメージ」は、速い、鋭い、強いイメージを持っており、男子「選

小林寛道 (2001) ランニングパフォーマンスを高めるスポーツ動作の創造 杏林書院 p24-32
文部科学省 (2005) 平成 16 年度体力・運動能力調査報告書 p56

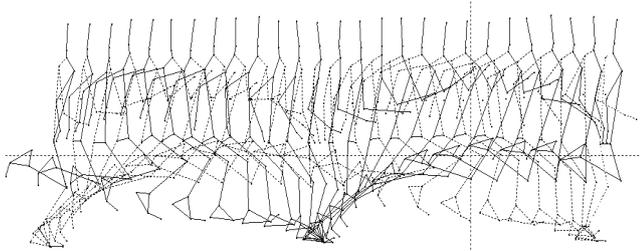


図 4.0 男子 100m 選手の 60m 疾走フォーム

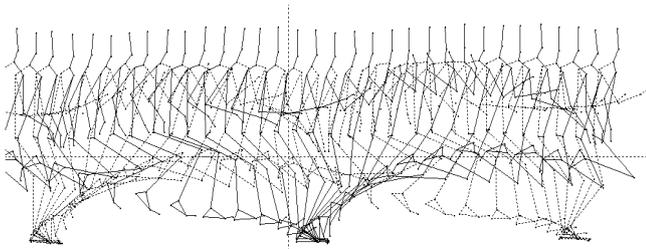


図 4.1 女子 100m 選手の 60m 疾走フォーム

手」よりも女子「選手」の方が競争に対して緊張感を示していた。

7. 「疾走フォーム」については、成人スプリンターと同じ動きで、足首を固定気味にし、キックのフィニッシュ時でも膝を伸展させない動きであった。

以上のように、小学生優秀「選手」の体力、日常生活、疾走能力などの実態が明らかになった。今回は「研修会」に参加した「選手」の全体像の把握に取り組んだが、今後は個人個人の特性を解明していくことから、各「選手」の練習や指導に役立てられるような報告をしたい。

最後に、形態・体力面の測定に当たってくださった持田尚氏ら横浜市スポーツ医科学センターの方々に感謝申し上げたい。

引用・参考文献

- 伊藤宏 (2003) 中学 2 年男女生徒の短距離走に対する意識構造について スプリント研究 13 p40-48
猪俣公宏 (1996) 競技における心理的コンディショニング診断テストの標準化 文部省科学研究費 (一般研究 B) 研究成果報告書 p1-48
岡野進 (2004) 競技者育成プログラムと国際競技力向上 競技者育成プログラム (日本陸連編) p5-14
岡野進・伊藤宏・井筒紫乃 (2005) 第 21 回全国小学生陸上競技交流大会優秀選手「研修会」実施報告「同報告書」 p 56-59
加藤謙一ら (1999) 小学生における短距離走の検討

日本陸連科学委員会研究報告 第5巻 (2006)

陸上競技の医科学サポート研究 REPORT2005

序 文

本報告書は、2005年度に行なわれた日本陸上競技連盟科学委員会の活動の一部をまとめたものである。しかし、今年度から報告書は大きく変化した。すなわち、これまで20年以上の歴史を積み重ねてきた「陸上競技紀要」と発展的合併を行い、名称が「陸上競技研究紀要」となり、前編は研究論文を主体に、後編は従来の科学委員会報告書という形をとることになった。

本委員会の今年度の活動は、バイオメカニクス研究サポートを中心に行なわれたが、昨年につづいてインターハイ入賞者を対象にした実態調査、北海道マラソンにおける生理学的調査を行なった。また、合宿に帯同してのジュニアアスリートに関する調査を行なっているが、下肢のアラインメント計測には成果の予兆がみられるようになった。また、国立スポーツ科学センターをはじめとする国内外での合宿への帯同によるサポート活動も昨年以上に活発に行なわれた。このことは、本委員会の成果がコーチングの現場で利用され始めていることを示すものと思われる。

最後になったが、科学委員会の活動に多大なご協力をいただいた関係各位に深く感謝申し上げます次第です。

科学委員会委員長

阿江通良

2006年3月

平成17年度 科学委員会メンバー

阿江 通良 筑波大学体育科学系
松尾 彰文 国立スポーツ科学センター
杉田 正明 三重大学教育学部保健体育科
持田 尚 (財)横浜市スポーツ振興事業団スポーツ医科学センター
榎本 靖士 京都教育大学教育学部
伊藤 章 大阪体育大学
深代 千之 東京大学大学院生命環境科学系
田中 宏暁 福岡大学スポーツ科学部運動生理学研究室
鳥居 俊 早稲田大学スポーツ科学部スポーツ医科学科
飯干 明 鹿児島大学教育学部
井本 岳秋 静岡県総合健康センター
石島まり子 マダム石島株式会社
杉浦 克己 明治製菓株式会社 ザバス スポーツ&ニュートリション・ラボ
若山 章信 東京女子体育大学
石井好二郎 北海道大学大学院教育学研究科
加藤 謙一 宇都宮大学教育学部
林 忠男 日本体育大学・情報処理研究室
高松 潤二 国立スポーツ科学センター
広川龍太郎 東海大学体育学部
田内 健二 国立スポーツ科学センター
高井 和夫 文教大学
山崎 史恵 新潟医療福祉大学
法元 康二 青森県スポーツ科学センター

日本陸連科学委員会研究報告 第4巻 (2005)
陸上競技の医科学サポート研究 REPORT2004 目次

国内 GP において収集した外国人選手の疾走速度分析	90
広川龍太郎, 杉田正明, 松尾彰文, 金子太郎	
2005 スーパー陸上の 400 m 走におけるタイム分析について	92
杉田正明, 榎本靖士, 高野 進, 川本和久, 阿江通良	
男子一流 110m ハードル選手の踏切および踏切準備動作に関する バイオメカニクスの分析	95
大橋祐二, 横澤俊治, 門野洋介, 藤井範久, 阿江通良	
日本一流 400m ハードル選手のレースパターン分析	100
森丘保典, 山崎一彦, 榎本靖士, 広川龍太郎, 杉田正明, 阿江通良	
一流女子中距離選手の 1500m レース分析	104
榎本靖士, 杉田正明, 松尾彰文, 阿江通良	
女子中距離走者のレースペースと走動作 — 2005 年千葉 IH 女子 800m での小林祐梨子選手に着目して—	107
門野洋介, 阿江通良, 榎本靖士, 杉田正明	
全国高等学校総合体育大会でのサプリメント摂取状況調査	113
石井好二郎	
マラソン選手の貧血対策から鉄中毒になる健康管理上の問題	114
井本岳秋, 石井好二郎, 鳥居俊	
競歩審判員・競技者向けの国際競技会歩型判定動画資料の編集	118
法元康二, 藤崎明, 阿江通良	
走高跳の助走終盤におけるコース取りと踏切準備動作の関係	122
赤井裕明, 村木有也, 阿江通良	
競技会における一流男女走幅跳, 三段跳および棒高跳選手の助走速度分析	129
小山宏之, 村木有也, 武田理, 阿江通良, 伊藤信之	
男子棒高跳における重心水平速度変化およびポール湾曲度	144
武田理, 村木有也, 小山宏之, 阿江通良	

女子棒高跳選手の跳躍動作のバイオメカニクスの分析	147
吉原礼, 武田理, 小山宏之, 阿江通良	
2005 スーパー陸上におけるイシンバエワ選手の動作分析	151
林忠男, 小林史明	
日本一流男子槍投げ選手の技術分析	155
田内健二, 村上雅俊, 高松潤二, 阿江通良	
やり投げの投射条件, 助走速度と記録との関係	
—第11回世界陸上競技選手権大会決勝進出者と日本選手の測定結果—	159
伊藤章, 村上雅俊, 田辺 智	
日本一流男子ジュニア 400m 走競技者の	
アネロビックパワー発揮特性について	162
持田尚, 原田康弘, 松尾彰文, 高松潤二, 深代千之, 阿江通良	

「国内 GP にて収集した外国人選手の疾走速度分析」

広川龍太郎¹⁾ 杉田正明²⁾ 松尾彰文³⁾ 金子太郎⁴⁾

1) 北海道東海大学 2) 三重大学 3) 国立スポーツ科学センター 4) 東海大学

はじめに

疾走スピードの分析とフィードバックは'91世界選手権に端を発して、今では日本選手権や各グランプリ大会、インターハイ等において継続的に行われている。データを選手・コーチにフィードバックすることが主な目的のため、日本人選手を対象とすることが殆どであるが、'04と'05大阪グランプリ大会と'03水戸国際において一流外国人選手のジャスティン・ガトリン、モーリス・グリーン(以上、アメリカ)、パトリック・ジョンソン(オーストラリア)のデータを収集することができたので、ここに報告する。

方法

レーザードップラー式速度測定器 Laveg-Sport 300C (Jenoptik/ヘンリージャパン社)を用いて、レース中の疾走速度を測定した。サンプリング周波数は100Hzであり、平滑化処理はローパスバターワースフィルタを用いた。最適遮断周波数はWinterの方法を用いて算出し、0.5〜1Hzの間とした。

結果及び考察

試合結果は9"97〜10"15秒であった。図1は0〜100m中の速度曲線である。図中の矢印は最高速度の98%以上を維持している区間を、●印は最高速度の出現した位置である。表1は記録・最高速度・

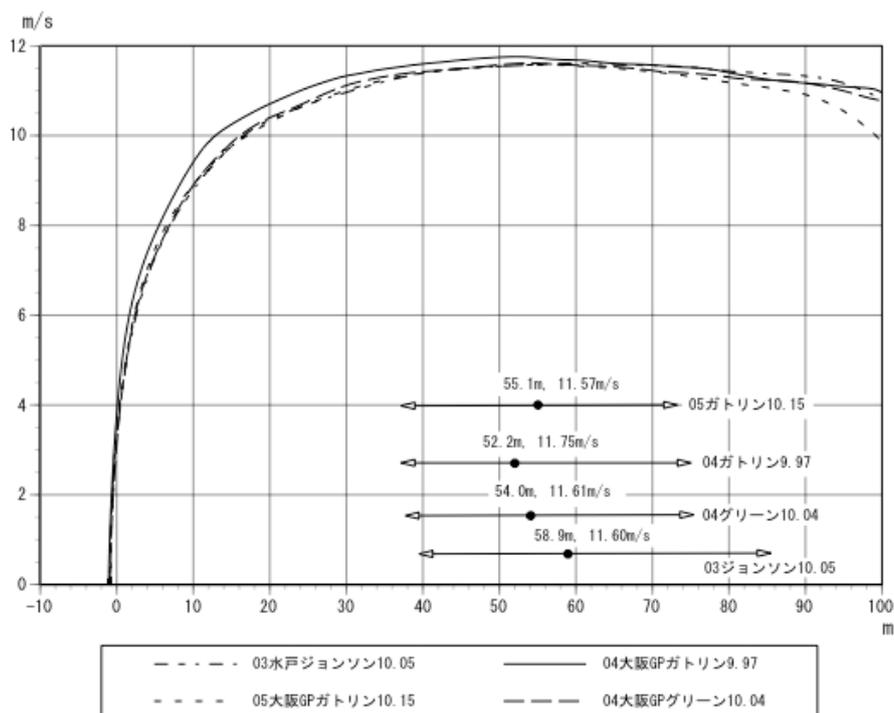


図1 スピード曲線

表1 最高速度一覧

	記録 (sec)	最高速度 (m/s)	到達地点 (m)	大会名
B.ジョンソン※	9.79	12.05	50-60	88Seoul
D・ベイラー	9.84	12.10	59.8	96Atlanta
C.ルイス	9.86	12.05	70-80	91東京
M.グリーン	9.86	11.87	58.1	97Athenes
R.バレル	9.88	11.90	70-80	91東京
D.ミッチェル	9.91	11.63	60-80	91東京
C.ルイス	9.92	12.05	50-60	88Seoul
A.ボルドン	9.93	12.00	85.0	96Atlanta
F.フレデリクス	9.94	12.00	72.4	96Atlanta
J.ガトリン	9.97	11.75	52.2	04大阪GP
末續慎吾	10.03	11.54	54.3	03水戸
M.グリーン	10.04	11.61	54.0	05大阪GP
P.ジョンソン	10.05	11.60	58.9	03水戸
朝原宣治	10.05	11.67	50-60	02日本選手権
伊東浩司	10.08	11.63	50-60	98日本選手権
末續慎吾	10.13	11.57	55.7	03日本選手権
J.ガトリン	10.15	11.57	55.1	05大阪GP

※ドーピングにて失格
(杉田らより広川改変)

到達地点について、過去の知見と今回収集したデータをまとめたものである。

1) スピード曲線のパターンについて

パターンはピークの数によって1〜3峰性に、おおむね分けられる1)。'91世界選手権では単峰性が42%、2峰性が44%と、レースの殆どが単峰性もしくは2峰性であった1)。今回はスピード曲線に多少のうねりがみられるが、すべて“ピークが1つのみの単峰性”であった。また9.97秒のガトリンは、曲線の立ち上がりが鋭く、他の10秒台の結果と比べて加速段階で“ひとつ上を行く速さ”を出していることがみられた。10m/sへの到達位置をみても、9.97秒の時では13mで到達しているが、他の結果では17〜18m付近であり、4m以上の差があった。また10.15秒のガトリンは70m付近で勝負を決めたあとは、かなり“流して”いることもうかがえた。

2) 最高速度について

9.97秒のガトリンの11.75m/sが一番速い結果であった。9秒台で走る競技者はおおむね60m以降に11.63m/s以上のピークが来る2)と報告されているが、この時のガトリンは比較的早い段階で最高速度に到達したことがわかった。また10.04秒のグリーンは11.61m/s、10.05秒のジョンソンは11.60m/s、10.15秒のガトリンは11.57m/sであった。これらることより、走記録が同じ位であれば、日本人も外国人も最高速度はほとんど変わらないことがわかった。

3) 速度の維持について

高い疾走速度がより長く持続されていれば、それだけタイムは短縮されると考える。そこで最高速度の98%以上で走る区間の長さを検討してみた。ジョンソンが46.1mであった。ガトリンは9.97秒の時に38.0m、10.15秒の時に36.1m、グリーンは38.0mであった。過去の報告では、末續は10.03秒で走ったときに43.9mの長さであった3)。40m以上維持する末續やジョンソンは速度の維持能力が相当高い可能性がうかがえた。

おわりに

現在、日本人選手のデータと合わせて加速期・減速期の割合やパターンを検討している。分析が出来次第、追って報告する。

参考文献

- 阿江通良ほか、世界一流スプリンターの100mレースパターンの分析，世界一流競技者の技術，ベースボールマガジン社，pp14-28, 1994
杉田正明・広川龍太郎・阿江通良（2003）日本選手権の男女100m走中のスピード分析．陸上競技の医科学サポート研究 REPORT2003. pp19-23.
広川龍太郎ら（2004）“末續慎吾”の100m走中の疾走速度分析．陸上競技の医科学サポート研究 REPORT2004. pp108-110.

2005 スーパー陸上の 400 m 走におけるタイム分析について

杉田正明¹⁾ 榎本靖士²⁾ 高野 進³⁾ 川本和久⁴⁾ 阿江通良⁵⁾

1) 三重大学 2) 京都教育大学 3) 東海大学 4) 福島大学 5) 筑波大学

はじめに

近年の男子 4 × 400 m ナショナルチームは、選手個々人のスプリント能力向上や選手層の厚みも増して、男子では世界選手権およびオリンピックにおいて、男子 4 × 100 m と同様にほとんどのレースで決勝に進出し、メダルを狙う水準に達している。若い金丸選手（大阪高校）の台頭もあり、今後ますます期待の持てる種目であるといえる。また、同女子チームも丹野選手（福島大学）が 51 秒台を連発し、選手層の厚みも増しており期待できる陣容となってきた。

科学委員会ではこれまで 100 m については、国内外の一流選手を対象として、ビデオカメラを用いる方法や Laveg を用いる方法で疾走中のスピード変化について継続したデータ収集を行い、詳細にそれらを分析して、100 m 走における競技力向上に寄与する資料を提出し続けてきているが、400 m について

は散発的に見受けられるものの、継続したデータ収集および分析は残念ながら行われてきていない。4 × 400 m リレーでの強化を考えたとき、個々の 400 m の競技力向上に関する客観的データは必要不可欠であり、それらを元にしたトレーニングメニューへの活用やレースでの戦略的な資料として大変有用であると考えられる。そこで、本稿では、2005 スーパー陸上において男女 400 m について分析を行ったので報告することとする。

タイム分析の方法

分析は、得られたビデオ画像から通過タイムを分析し、区間タイムおよび区間速度の算出を行った。今回の 400 m 走では 100 m ごとに撮影、分析し、最後の 100 m は 50 m ごととした。各レーンの各地点の通過がわかるように縁石の内側と外側にガムテープを貼付した。撮影には 100 m、200 m 地点には各 2 台、

表 1 スーパー陸上 (2005. 9. 19) 男子 400 m 決勝

順位	レーン	名前		100m	200m	300m	350m	350-400m
1	4	金丸祐三	通過タイム(秒)	11.33	22.02	33.23	39.12	45.47
			区間タイム(秒)	11.33	10.68	11.21	5.89	6.35
			スピード (m/s)	8.82	9.36	8.92	8.49	7.87
2	7	ダニエル	通過タイム(秒)	11.45	22.12	33.22	39.21	45.62
			区間タイム(秒)	11.45	10.67	11.10	5.99	6.41
			スピード (m/s)	8.74	9.37	9.01	8.35	7.80
3	5	レナード	通過タイム(秒)	11.34	22.10	33.25	39.28	45.86
			区間タイム(秒)	11.34	10.76	11.15	6.03	6.58
			スピード (m/s)	8.82	9.29	8.97	8.29	7.60
4	2	堀籠佳宏	通過タイム(秒)	11.47	22.46	33.52	39.36	45.89
			区間タイム(秒)	11.47	11.00	11.06	5.84	6.53
			スピード (m/s)	8.72	9.09	9.05	8.56	7.66
5	6	ダアン	通過タイム(秒)	11.22	21.63	32.75	38.95	45.95
			区間タイム(秒)	11.22	10.41	11.12	6.20	7.00
			スピード (m/s)	8.92	9.60	8.99	8.06	7.14
6	3	佐藤光浩	通過タイム(秒)	11.13	21.37	33.20	39.32	46.30
			区間タイム(秒)	11.13	10.24	11.83	6.12	6.98
			スピード (m/s)	8.98	9.77	8.46	8.17	7.16
7	8	井上洋佑	通過タイム(秒)	11.33	22.24	33.44	39.78	46.72
			区間タイム(秒)	11.33	10.92	11.19	6.35	6.94
			スピード (m/s)	8.83	9.16	8.93	7.88	7.21
8	1	小坂田淳	通過タイム(秒)	11.26	22.17	33.92	40.28	47.40
			区間タイム(秒)	11.26	10.91	11.75	6.36	7.12
			スピード (m/s)	8.88	9.16	8.51	7.86	7.02

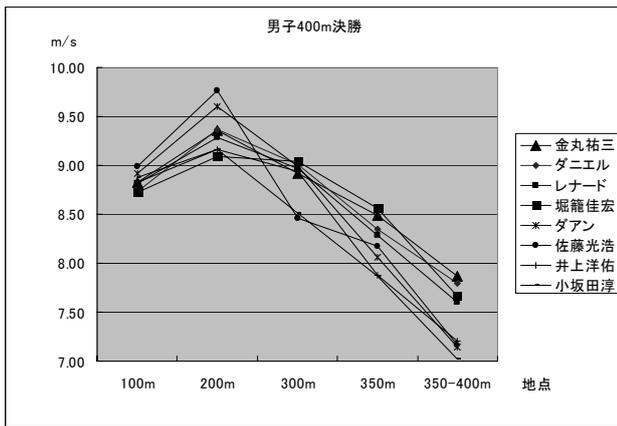


図1 男子400m走のスピード曲線

300 m、350 m地点には各1台の計6台のビデオカメラを用い、撮影を行った。これまでの競技会でのこうした活動は、ほとんどビデオ映像を用いてタイム分析を行っている。このような分析による通過タイムと公式記録との差は、最大でも0.02秒(平均では0.01秒以内)であり、分析精度はきわめて高い1)。

男子400m走のタイム分析結果および考察

男子400m走のタイム分析結果を表1と図1に示した。

金丸祐三(大阪高)選手が最後の50mでトップにたち、ダニエル・ダブロフスキ選手(ポーランド)に0秒15差をつけて45秒47の高校新記録・ジュニア日本新記録で優勝した。この時の記録は、日本高校記録および日本ジュニア記録の好記録であった。

序盤は佐藤選手(富士通)が先行し、100m11秒13、200mを21秒37で通過したが、300m地点ではダアン・クラーク選手(ジャマイカ)が32秒75で先頭に立ち、350mでも先頭(38秒95)で通過した。金丸選手は、100m地点では4位、200m地点を3位、300m地点を4位、350m地点を2位で通過し、ゴールまで残り50mの区間で逆転するというレースであった。金丸選手の最後の50mのタイムは6秒35と全選手中(6秒35～7秒12)で最も速いタイムを示した。今夏の千葉インターハイ(46秒18で優勝)の時には100m11秒03、200mを21秒63で通過タイムを示していた3)が、今回のレースではそれぞれ11秒33、22秒02と前半を約0.3～0.4秒程度抑え気味で入っていることがうかがえ、ラストスパートにおける余力が残されていたものと推察される。これまでに報告されている

分析結果として、高野進選手(1988年)が44秒90で走ったときの各100m毎の通過タイム2)は、11秒43、21秒98、32秒90を示していたことから、200mの通過タイムでは金丸選手もほぼこれに近いタイムで通過していたことがわかる。200～300m区間の100mのタイムは高野選手が10秒92で金丸選手は11秒21、300～400m区間では高野選手が12秒00、金丸選手は12秒24とそれぞれ約0.2秒程度の差が認められている。このことから考えると、レースのスピード変化は前半までは高野選手が44秒台を記録したレースと比べ、ほぼ同様のパターンを示しているといえるが、後半200mに高野選手と比べるとわずかなスピード低下が見受けられたといえる。レースパターンがこのまま変わらないのであれば、後半200mのスピード低下をより抑えることができれば44秒台が期待できるものと考えられる。

女子400m走のタイム分析結果および考察

女子400m走のタイム分析結果を表2と図2に示した。

ヘルシンキ世界陸上5位のディーディー・トロッター選手(アメリカ)が50秒03で優勝した。序盤はクリスティン・アマティル選手(アメリカ)が先行し、100m12秒53、200m24秒40、300m地点を36秒42の通過タイムを示したが、350m地点ではトロッター選手が42秒93で先頭にたちそのまま逃げ切るレース運びであった。

丹野麻美選手(福島大学)は4位ながら51秒80の日本新記録を樹立した。この時の100m毎の通過タイムは100m12秒83、200m25秒14、300m37秒80の通過タイムを示した。丹野選手より0秒35先着した3位のイロナ・ウソビチ(ベラルーシ)選手(51秒45)はベストタイムが50秒96であり、比較の対象として適切であると判断し、

丹野選手との通過タイムを比較してみることにした。前半の200mのタイム差は0秒25(丹野25秒14、ウソビチ24秒89)みられたが、200～300m区間では0秒02、300～350m区間では0秒03、350～ゴール区間では0秒05といずれもウソビチ選手の方が速い傾向を示している。しかし、そのタイム差は僅かであり、すなわち前半のタイム差がゴールタイムの差に大きく影響したと考えることができる。

一方、上位2選手のトロッター、アマティル選手は、他の選手に比べて200～300m区間のタイムの低下が緩やかなことが

表2 スーパー陸上 (2005. 9. 19) 女子 400 m決勝

順位	レーン	名前		100m	200m	300m	350m	350-400m
1	5	ディーデー	通過タイム(秒)	12.71	24.65	36.43	42.93	50.03
			区間タイム(秒)	12.71	11.94	11.79	6.50	7.10
			スピード (m/s)	7.87	8.38	8.48	7.69	7.05
2	6	クリスティ	通過タイム(秒)	12.53	24.40	36.42	43.03	50.09
			区間タイム(秒)	12.53	11.88	12.02	6.62	7.06
			スピード (m/s)	7.98	8.42	8.32	7.56	7.09
3	3	イロナ	通過タイム(秒)	12.73	24.89	37.53	44.32	51.45
			区間タイム(秒)	12.73	12.17	12.64	6.79	7.13
			スピード (m/s)	7.86	8.22	7.91	7.37	7.01
4	4	丹野麻美	通過タイム(秒)	12.83	25.14	37.80	44.62	51.80
			区間タイム(秒)	12.83	12.31	12.66	6.82	7.18
			スピード (m/s)	7.79	8.12	7.90	7.33	6.96
5	7	吉田真希子	通過タイム(秒)	12.74	25.22	38.22	45.49	53.42
			区間タイム(秒)	12.74	12.48	13.00	7.27	7.93
			スピード (m/s)	7.85	8.02	7.69	6.87	6.31
6	2	久保倉里美	通過タイム(秒)	12.82	25.51	38.90	45.95	53.80
			区間タイム(秒)	12.82	12.70	13.39	7.05	7.85
			スピード (m/s)	7.80	7.88	7.47	7.09	6.37
7	8	青木沙弥佳	通過タイム(秒)	13.32	26.03	38.93	46.25	53.96
			区間タイム(秒)	13.32	12.72	12.90	7.32	7.71
			スピード (m/s)	7.51	7.86	7.75	6.83	6.49
8	9	堀江真由	通過タイム(秒)	13.25	25.91	39.14	46.61	54.59
			区間タイム(秒)	13.25	12.67	13.23	7.47	7.98
			スピード (m/s)	7.55	7.90	7.56	6.70	6.26
9	1	木田真有	通過タイム(秒)	12.85	25.63	39.25	46.58	54.70
			区間タイム(秒)	12.85	12.78	13.62	7.33	8.12
			スピード (m/s)	7.78	7.82	7.34	6.82	6.16

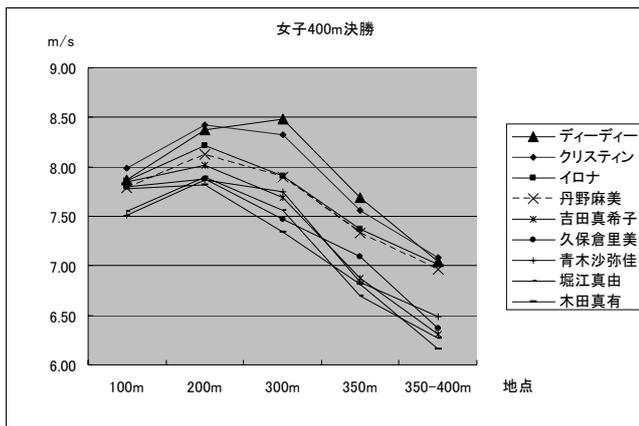


図2 女子 400 m走のスピード曲線

特徴的であるといえる。トロッター選手については、この区間を11秒79と100 m毎にみた区間タイムで最も速いタイムを示し、前の区間よりも速いタイムを記録している。ペース配分が上手く調節できなかった可能性も考えられるが、そのような急激なペースアップにもかかわらず、最後まで大きなスピード低下を示さなかったことは彼女の實力の範囲内のペース変化であったことを示すものであろう。図でみるとよく分かるように300～ゴール区間までの低下よりも200～300 m区間のタイムの落ち込み方に上位2選手と他の選手では顕著な差を観察することができる。したがって、前半200 mまでのスピードアップと200～300 mのスピードの低下を抑えることが日本選手にとって更なる競技力向上の鍵といえることができる。

おわりに

本稿で紹介した分析結果は、家庭用ビデオカメラで撮影し得られたデータであり、マンパワーの賜物であるといえる。400 m走の100 m毎のペース配分や前半と後半のタイム差および選手毎の特徴などを明らかにすることが今後の課題といえ、引き続きデータの集積を図りたいと考えている。こうした大会でのデータは各都道府県陸協をはじめ関係者の皆様のご理解とご協力に基づくものであり、ここに記して感謝申し上げる次第です。今後も様々な関係機関と更なる連携を図りながら科学的データの集積と選手強化に役立つ質の高い情報を提供していきたいと考えております。

参考文献

- 松尾彰文・杉田正明・小林寛道ほか：'91世界陸上における中長距離レースのスピード、ピッチおよびストライドについて. Japanese J. of Sports Sciences 11(10):636-642, 1992.
- 野口純正：400 mのペース配分. 陸上競技マガジン 55(12)88-89, 2005.
- 柳谷登志雄・杉田正明：千葉インターハイバイオメカニクスレポート男子400 m. 陸上競技マガジン 55(12)130, 2005.

男子一流 110m ハードル選手の踏切および踏切準備動作に関する バイオメカニクスの分析

大橋祐二¹⁾ 横澤俊治²⁾ 門野洋介³⁾ 藤井範久²⁾ 阿江通良²⁾

1) 筑波大学体育専門学群 2) 筑波大学 3) 筑波大学大学院

1. 目的

陸上競技の110mハードル(以下,110mH)において,速度低下区間の一流選手の動作に着目したバイオメカニクスの研究は少ない.本報告では,世界および日本一流110mH選手の速度低下区間における踏切(以下,4歩目)および踏切一步前(以下,3歩目)の動作の特徴を明らかにすることを目的とした.

2. 方法

2.1 撮影

国内公認競技会の110mHに出場した選手の中から,世界記録保持者,日本記録保持者を含む5名を分析対象とした(表1).分析対象者が出場した2005IAAF大阪グランプリ陸上,第89回日本陸上競技選手権を撮影した(表2).

110mHレースにおける6~7台目ハードル間を疾走する選手を,2台の高速度VTRカメラ(NAC社製HSV-500,毎秒200コマ,露光時間1/2000秒)で撮影した.2台のカメラのVTR画像内の身体計測点とコントロールポイントの2次元座標から,DLT法

により3次元座標を算出した.その後,3次元座標値を矢状面内の2次元座標値に変換して分析に用いた.

2.2 分析項目

身体計測点の3次元座標から阿江(1996)の身体部分慣性係数を用いて,身体部分および全身の重心位置座標を算出した.身体重心の水平(V_x),鉛直(V_y)速度成分から逆正接を求めることで踏込角度および踏切角度を算出した.図1は本報告で用いた関節および身体部分の角度の定義を示したものである.

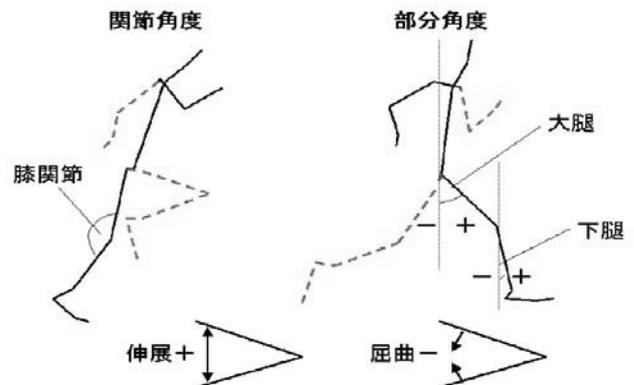


図1 関節および部分角度の定義

表1 分析対象者の特性

名前	身長(m)	体重(kg)	分析レース記録(s)	自己記録(s)	達成率(%)	分析レース	備考
劉 翔	1.89	82	13.12	12.91	98.4	大阪GP	世界記録保持者,アテネ五輪1位
内藤真人	1.85	75	13.69	13.47	98.4	日本CH準決	'05日本選手権1位
谷川 聡	1.85	78	13.80	13.39	97.0	日本CH準決	日本記録保持者,'05日本選手権1位
田野中輔	1.85	79	13.75	13.63	99.1	日本CH決勝	'04日本選手権1位
大橋祐二	1.85	73	13.69	13.57	99.1	日本CH準決	'05日本選手権4位

表2 VTR撮影の対象とした競技会

競技会	ラウンド	日付	場所
2005ヤマザキ国際グランプリ陸上大阪大会	決勝	2005.5.7	長居陸上競技場
第89回日本陸上競技選手権大会	準決勝	2005.6.3	国立競技場
第89回日本陸上競技選手権大会	決勝	2005.6.4	国立競技場

表3 所要時間（接地時間・空中時間），ストライド

		1歩目	2歩目	3歩目	4歩目	合計
劉	接地時間(s)	0.070	0.105	0.100	0.105	0.380
	空中時間(s)	0.075	0.110	0.065	0.375	0.625
	所要時間(s)	0.145	0.215	0.165	0.480	1.005
	ストライド(m)	1.55	1.94	1.75	3.91	
内藤	接地時間(s)	0.070	0.115	0.105	0.100	0.390
	空中時間(s)	0.080	0.120	0.105	0.360	0.665
	所要時間(s)	0.150	0.235	0.210	0.460	1.055
	ストライド(m)	1.49	2.00	1.92	3.61	
谷川	接地時間(s)	0.095	0.130	0.120	0.125	0.470
	空中時間(s)	0.060	0.110	0.080	0.355	0.605
	所要時間(s)	0.155	0.240	0.200	0.480	1.075
	ストライド(m)	1.60	2.01	1.80	3.65	
田野中	接地時間(s)	0.075	0.125	0.110	0.125	0.435
	空中時間(s)	0.065	0.120	0.080	0.370	0.635
	所要時間(s)	0.140	0.245	0.190	0.495	1.070
	ストライド(m)	1.45	2.12	1.92	3.77	
大橋	接地時間(s)	0.090	0.115	0.105	0.115	0.425
	空中時間(s)	0.065	0.120	0.090	0.375	0.650
	所要時間(s)	0.155	0.235	0.195	0.490	1.075
	ストライド(m)	1.48	1.93	2.00	3.72	

さらに，得られた角度を数値微分することによって，角速度を算出した．また，大転子と外果を結んだ線分と，鉛直方向とのなす角度を数値微分することによって，脚スウィング角速度を算出した．

3. 結果および考察

3.1 キネマティクスのデータ

表3は，第6インターバルにおける各ステップの所要時間とストライドを示したものである．所要時間については，接地時間と空中時間に分けて示した．

表4は，3歩目，4歩目における踏込角度と踏切角度を示したものである．水平方向を基準に，上向きを正，下向きを負とした．

表5は，3歩目，4歩目における接地時，離地時

の重心鉛直方向速度を示したものである．

図2は，第6インターバルの3歩目支持期前半および後半，3歩目滞空期，4歩目支持期前半および後半における身体重心の平均水平速度を示したものである．

図3および図4は，3歩目支持期における下肢キネマティクスを示したものである．

3.2 劉選手の動作の特徴

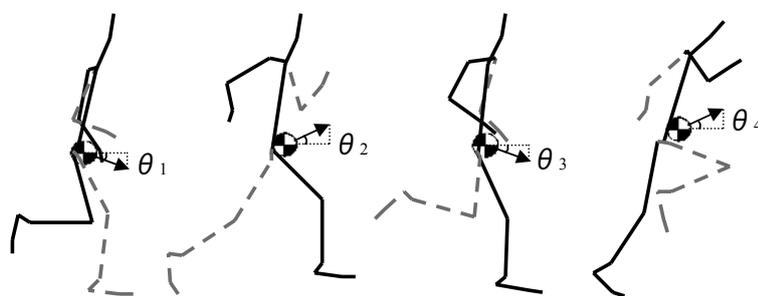
劉選手は4歩目接地時間が0.105sであり，

分析対象者中最短である内藤選手（0.100s）に次いで短かった（表3）．

劉選手は，3歩目支持期において支持脚膝関節を伸展し続け，支持脚大腿の角速度を大きくすることにより，高い疾走速度を保ったまま踏切に移行していた．また，日本人選手に比べて3歩目空中時間が短く，3歩目ストライドが小さかった（図3および図4）．さらに，3歩目の踏切角度および4歩目の踏込角度が小さく，4歩目接地時の鉛直下向きの速度も小さかった．これらの結果は，劉選手が3歩目支持期から滞空期にかけて，前方へ素早く移動し，小さな踏込角度で踏切に移行していたことを示している（表4および表5）．

劉選手の4歩目（踏切）における支持脚の動作の特徴として，膝関節の素早い屈伸が挙げられる（図5上段）．また，支持期前半には，下腿の前傾角速度が大きくし，支持期後半には，大腿の前傾角速度を大きくしていた（図6）．すなわち，支持期前半の下腿の素早い前傾が膝関節屈曲を引き起こし，支持期後半の大腿の素早い前傾が膝関節伸展を引き起こしており，膝関節屈伸が脚スウィング角速度に貢

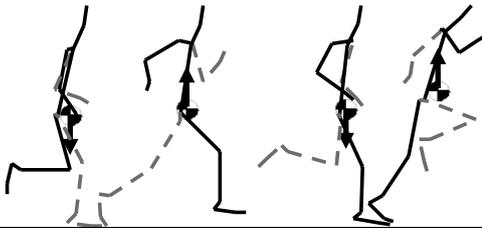
表4 3歩目，4歩目における踏込角度と踏切角度



	3歩目接地時	3歩目離地時	4歩目接地時	4歩目離地時
	θ_1	θ_2	θ_3	θ_4
劉	-2.9	2.5	-0.9	14.4
内藤	-3.8	5.3	-2.0	15.1
谷川	-4.7	2.6	-1.4	14.1
田野中	-3.5	3.4	-2.1	13.6
大橋	-2.6	2.6	-1.5	13.8

単位：deg

表5 3歩目, 4歩目における接地時, 離地時の重心鉛直方向速度



	3歩目		4歩目	
	接地時	離地時	接地時	離地時
劉	-0.49	0.43	-0.16	2.33
内藤	-0.59	0.82	-0.32	2.27
谷川	-0.72	0.40	-0.22	2.12
田野中	-0.55	0.53	-0.33	2.00
大橋	-0.40	0.41	-0.23	2.07

単位 : m/s

献する動作であったと考えられる。森田ら(1994)は、スプリントハードルを分析し、踏切脚の膝を伸展せずに脚を後方に素早くスウィングさせる「引っかき型」は、「屈伸型」に比べて大腿の後方へのスウィングをより効率よく身体の前進速度に変換すると述べている。しかし劉選手のような「屈伸型」であっても、支持期前半の下腿の素早い前傾と、支持期後半の下腿の後傾を伴わない大腿の素早い前傾動作を行うことで、効率的な踏切が可能だと考えられる。

劉選手の4歩目ストライド(ハードリング距離)は3.91m, 4歩目空中時間(ハードリングタイム)は0.375sであり、ともに日本人選手に比べて大きかった。森田ら(1994)は、第3回世界選手権における110mHの優勝者(13.06s)と2位の選手(13.06s)の第7ハードルのハードリング距離を、それぞれ3.75m, 3.58mと報告している。McDonald and Dapena(1991)は、1988年アメリカオリンピッ

クトライアルの110mHに出場した23名(13.46 ± 0.25s)の第5ハードルを分析し、ハードリング距離を3.62 ± 0.13mと報告している。磯ら(2002)は、スーパー陸上2000横浜において、シドニーオリンピック優勝者(13.12s)の第7ハードルのハードリング距離を3.70mと報告している。これらの報告における分析対象者のほとんどは欧米の選手であり、劉選手の4歩目ストライドは、世界一流の欧米選手と比べても非常に大きいといえる。劉選手は4歩目支持期において、離地まで支持脚大腿を後方へ素早くスウィングしていたため(図5中段, 図6上段)、離地後に大腿が後方へ流れていた可能性があるが、空中時間が長かったことから、脚を前方に移動させるのに十分な時間があつたと考えられる。よって、劉選手の4歩目支持脚大腿の動作は、身体を大きく前方に進め、大きなハードリング距離を獲得するために有効な動作であったと

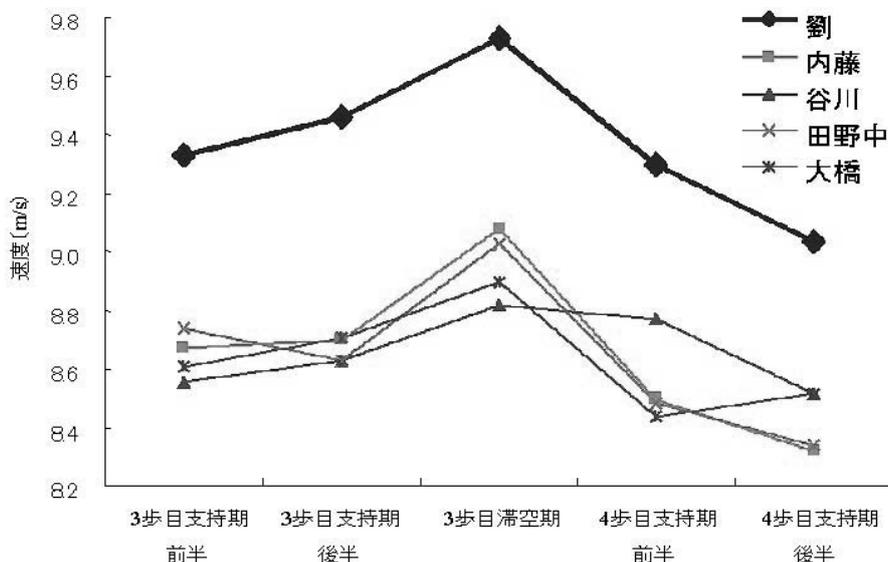


図2 各局面における平均重心水平速度

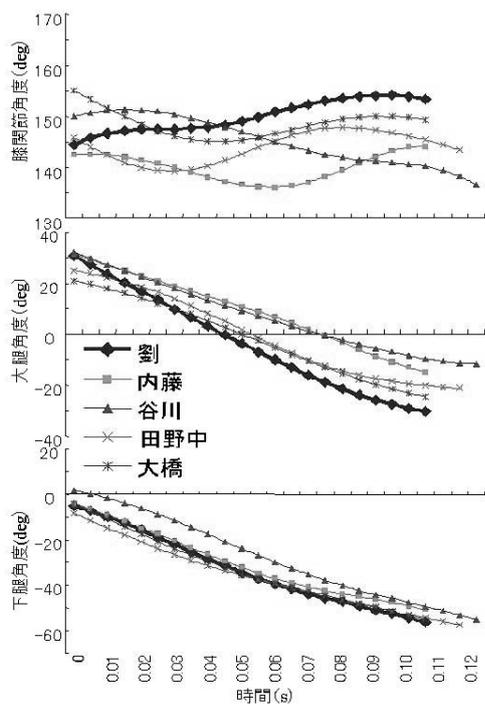


図3 3歩目支持期における膝関節、
大腿および下腿角度

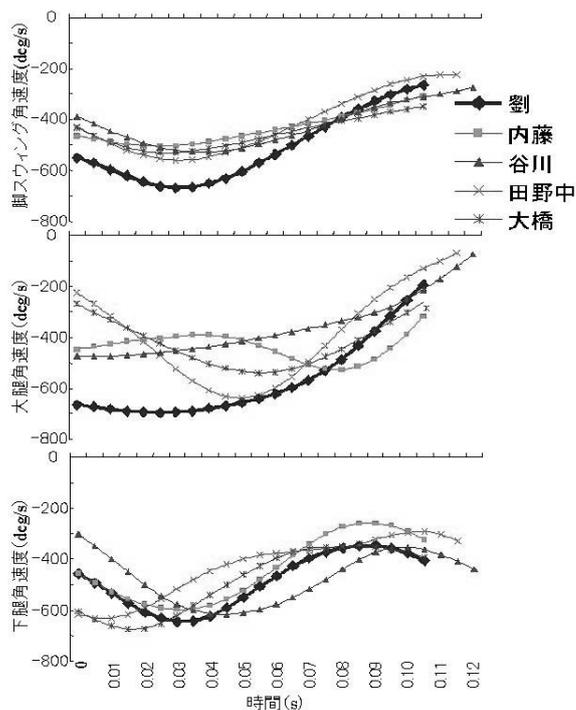


図4 3歩目支持期における脚スイング、
大腿および下腿角速度

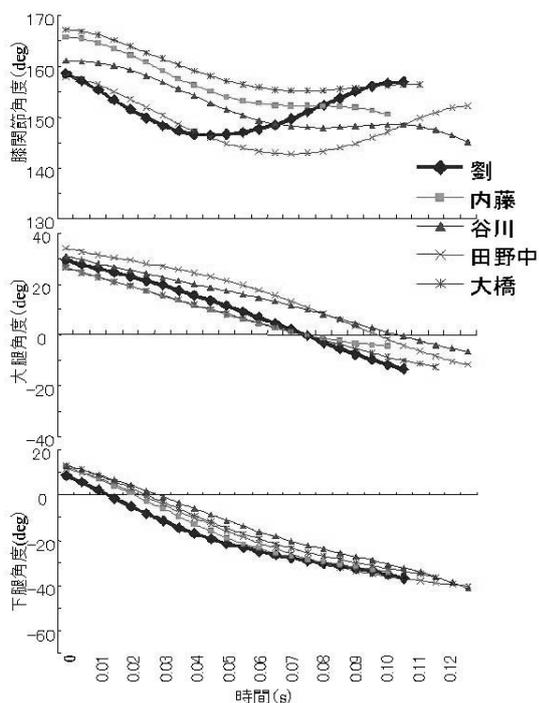


図5 4歩目支持期における膝関節、
大腿および下腿角度

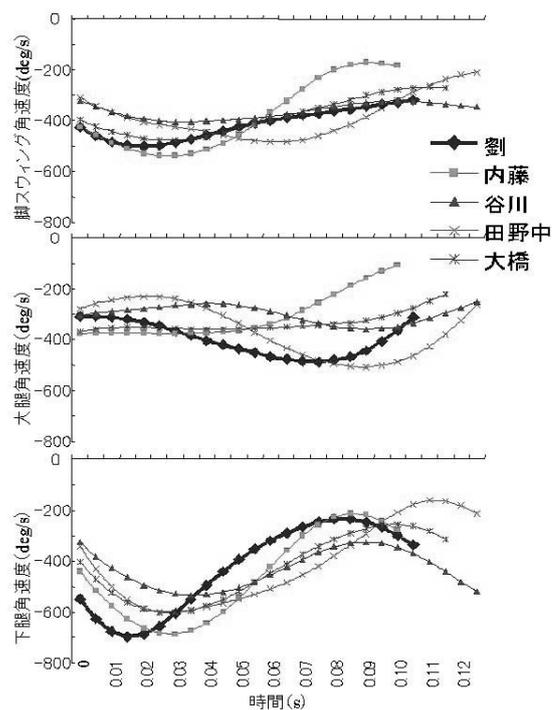


図6 4歩目支持期における脚スイング、
大腿および下腿角速度

考えられる。

これらのことから、4歩目の支持脚大腿を後方へ素早くスイングさせることにより身体を前方に進め、ハードリング距離を大きくすることが、欧米人に比べ体格で劣るアジア人が13秒前後の記録を出すための一つの手段かもしれない。

3. 日本人選手の動作の特徴と課題

(1) 内藤選手

内藤選手は、1インターバル間の接地時間の合計が劉選手に次いで短く、空中時間の合計は分析対象者の中で最も大きかった。3歩目についても、接地

時間は劉選手に次いで短く、空中時間は分析対象者の中で最も大きかった(表3)。また、3歩目離地時の重心鉛直上向き速度および4歩目接地時の下向き速度が大きく、劉選手とは対照的な結果であった(表5)。

内藤選手の4歩目支持脚については、支持期前半では脚スウィング角速度が大きかったが、その後、支持期後半に大腿角速度および脚スウィング角速度が著しく減少した(図6上段および下段)。このことから、内藤選手は支持期前半に脚全体を大きく後ろへ運び、支持期後半では、抜き脚として前方へ運ぼうとする動作に移行していたと考えられる。

(2) 谷川選手

谷川選手は、3歩目離地時の重心鉛直上向き速度が、分析対象者の中で最も小さかった(表5)。したがって、踏切一步前において鉛直方向速度を小さくし、踏切時間を短くするための準備を行っていたと考えられる。

谷川選手の4歩目支持脚の脚スウィング角速度は、支持期を通じてほぼ一定の値であった(図6下段)。また膝関節は、支持期前半に屈曲していたが、その後はその角度を維持していた(図5)。これらのことから、脚全体を一本の棒のようにして、身体を支持しながら起こすだけの踏切脚の動作となっていたと考えられる。このような踏切動作は、Piasentaが提唱したGriffe動作(串間ら, 1987)のように、膝を伸ばして脚全体を後方へ引き込む動作に近く、短時間での踏切には適していると考えられる。

(3) 田野中選手

田野中選手については、4歩目接地時間が長く(表3)、劉選手と同様に4歩目支持脚の膝関節が屈伸する特徴がみられた(図5)。また、接地後に大腿角速度が減少し、脚スウィング角速度の増減は、膝関節角度の増減と同期していた(図5および図6)。同じように膝関節の屈伸がみられた劉選手に比べ、脚スウィング角速度のピーク値の出現が、膝関節角度の最小値出現より遅く、離地時の脚スウィング角速度も小さかった。

(4) 大橋選手

大橋選手は、3歩目支持期前半から後半の平均重心水平速度増加量が、日本人選手の中で最も大きかった(図2)。また、3歩目離地時の脚スウィング角速度が大きく(図4)、分析対象者の中で唯一、2

歩目より3歩目のストライドが大きかった(表3)。これらのことから、大橋選手は3歩目に踏切準備よりも疾走速度を増加させることを優先していたと考えられる。

4歩目支持期においては、大橋選手の支持脚の脚スウィング角速度変化パターンは劉選手と類似していたが(図6)、平均重心水平速度には大きな差がみられた(図2)。大橋選手は、劉選手よりも接地直後の下腿角速度および支持期後半の大腿角速度が小さかった。上で述べたように、劉選手は大腿の後方への素早いスウィングにより、大きな重心水平速度を得ていたが、大橋選手は支持期後半の大腿角速度が小さいため、劉選手と類似した支持脚スウィング角速度変化パターンであっても、重心水平速度は小さかったと考えられる。

参考文献

- 阿江通良(1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. Jpn J Sports Sci15(3), 155-162.
- 磯 繁雄, 榎本靖士, 中田和寿, 羽田雄一, 阿江通良(2002) 一流110mハードル選手のインターバル走に関するキネマティクスの研究, 陸上競技研究36, 50-54.
- 串間敦郎, 関岡康雄(1987) ハードル走の踏切技術に関する一考察—グリーフ動作の有効性について—, 日本体育学会第38回大会号A, 389.
- McDonald, C. and Dapena, J. (1991) Linear kinematics of the men's 110-m and women's 100-m hurdles races. Medicine and science in sports and exercise 23, 1382-1391.
- 森田正利, 伊藤 章, 沼澤秀雄, 小木曾一之, 安井年文(1994) スプリントハードル(110mH・100mH)および男女400mHのレース分析, 佐々木秀幸ほか監修 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:東京, 66-87.

日本一流 400m ハードル選手のレースパターン分析

森丘保典¹⁾ 山崎一彦²⁾ 榎本靖士³⁾ 広川龍太郎⁴⁾ 杉田正明⁵⁾ 阿江通良⁶⁾
1) 日本体育協会 2) 福岡大学 3) 京都教育大学 4) 北海道東海大学 5) 三重大学
6) 筑波大学

はじめに

本報告では、2005年に開催された国内主要大会における日本一流400mハードル選手のレースをタイム分析し、各選手のレースパターンの特徴について明らかにすることを目的とした。

方法

分析対象レースは、2005年に行われた国内の主要3大会（国際グランプリ大阪大会、日本選手権、スーパー陸上）の決勝（男子3レース、女子1レース）と、世界選手権ヘルシンキ大会における準決勝第3組および決勝であった。

複数台のデジタルビデオカメラを用いて、スタートピストルの閃光を写した後、インターバルの歩数と10台のハードルクリアランス直後の着地が確認できるように選手を追従撮影した。撮影後、ピストルの閃光を基準に各ハードルクリアランス直後のタッチダウタイムを読みとり、各ハードル区間に要した時間（区間時間）を求めた。

スタートから第1ハードル（H1）までの区間をS-H1とし、以下ハードル間をH1-2, H2-3..., H9-10, 最終ハードル（H10）からフィニッシュまでをH10-Fとした。また、スタートからH5までをレース前半区間（以下、前半）、H5からH8までをレース中盤区間（以下、中盤）、H8からフィニッシュまでをレース後半区間（以下、後半）と定義した。

ハードル区間歩数は、ハードルクリアランス直後の先行（リード）脚の着地から逆脚の接地までを1歩目とし、次のハードルクリアランス直前の接地までの歩数とした。

測定区間の平均疾走速度は、ハードル区間距離を区間時間で除すことにより求めた。

前半から中盤、中盤から後半にかけての疾走速度低下率（以下それぞれ前～中低下率、中～後低下率）は、それぞれの区間平均速度を求め、次式にて算出した。

< 疾走速度低下率 (%) >

前～中低下率 = $[1 - (\text{中盤速度 (m/s)} / \text{前半速度 (m/s)})] \times 100$

中～後低下率 = $[1 - (\text{後半速度 (m/s)} / \text{中盤速度 (m/s)})] \times 100$

結果および考察

(1) 国際グランプリ大阪大会

表1は、国際グランプリ大阪大会（大阪GP）における男子4選手のハードル区間時間、ハードル通過時間およびハードル区間歩数を示したものである。また、図1は、各選手のハードル区間速度の推移を示したものである。

成迫選手（3位）は、課題のひとつであるH5-6は予定通り13歩で通過したが、14歩への切り替え（H6-7）における速度低下が大きく、結果的に前～中低下率も7.3%と大きかった。後半を14.46秒（中～後低下率は5.7%）でカバーし、フィニッシュでは為末選手を0.01秒差で抑えたが、48秒中盤でコンスタントに走るための課題（5～7台目のインターバルランニングの改善）が浮き彫りになった。

為末選手は、好調時には12.5～12.6秒で通過する中盤で12.77秒、14.3～14.4秒の後半も14.94秒かかり、前～中および中～後低下率も6.62%、10.45%と大きかった（2001世界選手権準決勝時は3.6%、8.4%）。結果的に成迫選手の後塵を拝したが、H5の通過タイム（21.01秒）は、2001年世界選手権の準決勝（48.10秒）よりも速く、他の日本人選

表1 国際グランプリ大阪大会 (男子)

氏名	順位	項目	S-H1	H1-2	H2-3	H3-4	H4-5	H5-6	H6-7	H7-8	H8-9	H9-10	H10-F
J. カーター	1位	区間時間	5.77	3.70	3.74	3.92	4.10	4.25	4.34	4.44	4.45	4.54	5.17
		通過時間		9.47	13.21	17.13	21.23	25.48	29.82	34.26	38.71	43.25	48.42
		歩数		13	13	13	13	14	14	14	14	14	
成迫 健児	3位	区間時間	5.99	3.69	3.77	3.80	3.99	4.15	4.42	4.44	4.52	4.60	5.34
		通過時間		9.68	13.45	17.25	21.24	25.39	29.81	34.25	38.77	43.37	48.71
		歩数		13	13	13	13	13	14	14	15	15	
為末 大	4位	区間時間	5.84	3.67	3.74	3.84	3.92	4.10	4.22	4.45	4.60	4.79	5.55
		通過時間		9.51	13.25	17.09	21.01	25.11	29.33	33.78	38.38	43.17	48.72
		歩数		13	13	13	13	14	14	15	15	15	
吉形 政衛	5位	区間時間	5.99	3.70	3.85	3.95	4.09	4.32	4.42	4.50	4.54	4.64	5.51
		通過時間		9.69	13.54	17.49	21.58	25.90	30.32	34.82	39.36	44.00	49.51
		歩数		14	14	14	14	15	15	15	15	15	

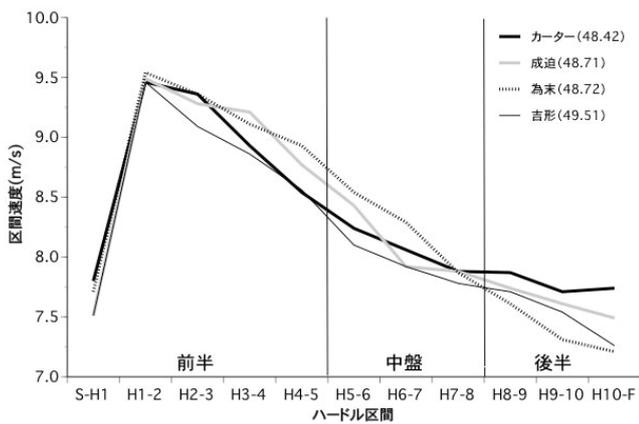


図1 大阪 GP (男子) におけるハードル区間速度変化

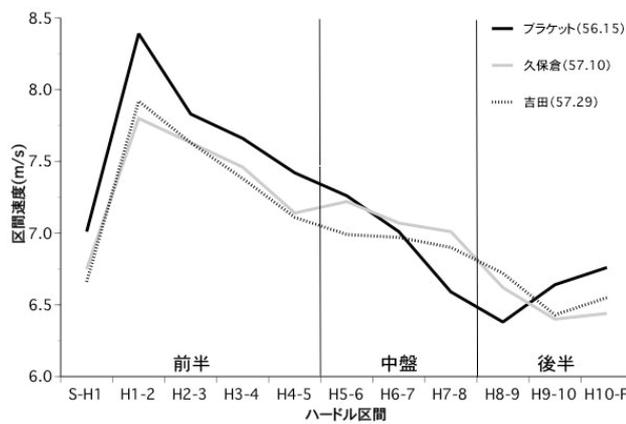


図2 大阪 GP (女子) におけるハードル区間速度変化

手を圧倒していた。日本選手権に向けた調整段階であったことを考えれば、その特徴を十二分に発揮したレースであったといえるだろう。

吉形選手は、昨年この大会でマークした自己ベスト (49.37 秒) には及ばなかったものの、世界選手権の参加 A 標準記録 (49.20 秒) 突破の可能性を示した。14 歩で走る選手としては速いタイム (21.58 秒) で H5 を通過しており、前半ハイペースになる世界のレース展開に対応できるパターンを身につけているといえる。中盤での速度維持 (前一中低下率が 7% 台と高い) が、世界大会の A 標準記録の突破に向けた当面の課題となるだろう。

表 2 は、女子 3 選手のハードル区間時間、ハードル通過時間およびハードル区間歩数を示したものである。また、図 2 は、各選手のハードル区間速度の推移を示したものである。

久保倉選手は、H5 を 25 秒中盤で通過し、以降の速度低下を抑えるという、いわゆるイーブンペース型のレース展開が持ち味であるが、このレースでは前半をいつもより速く入り (25.34 秒)、中盤まで押していくというレースを展開した (前一中低下率も 2.76% と低い)。結果的に、後半失速し 57 秒台でのフィニッシュとなったが、ブラケット選手を意識した積極的な走りは今後につながるだろう。

吉田選手は、調子がよければ 24 秒台で通過する H5 の通過が 25.43 秒と遅めの入りだった。H8 通過で 0.4 秒あった久保倉選手との差を、後半で約 0.2

表2 国際グランプリ大阪大会 (女子)

氏名	順位	項目	S-H1	H1-2	H2-3	H3-4	H4-5	H5-6	H6-7	H7-8	H8-9	H9-10	H10-F
A. ブラケット	1位	区間時間	6.42	4.17	4.47	4.57	4.72	4.82	4.99	5.31	5.49	5.27	5.92
		通過時間		10.59	15.06	19.63	24.35	29.17	34.16	39.47	44.96	50.23	56.15
		歩数		15	15	15	15	16	16	16	17	18	
久保倉 里美	2位	区間時間	6.67	4.49	4.59	4.69	4.90	4.85	4.95	4.99	5.29	5.47	6.21
		通過時間		11.16	15.75	20.44	25.34	30.19	35.14	40.13	45.42	50.89	57.10
		歩数		16	16	15	17	17	17	17	17	18	
吉田 真希子	3位	区間時間	6.76	4.42	4.59	4.74	4.92	5.01	5.02	5.07	5.21	5.44	6.11
		通過時間		11.18	15.77	20.51	25.43	30.44	35.46	40.53	45.74	51.18	57.29
		歩数		16	16	16	16	17	17	17	17	18	

表3 日本選手権 (男子)

氏名	順位	項目	S-H1	H1-2	H2-3	H3-4	H4-5	H5-6	H6-7	H7-8	H8-9	H9-10	H10-F
為末 大	1位	区間時間	5.83	3.70	3.87	3.94	4.09	4.15	4.29	4.52	4.65	4.79	5.44
		通過時間		9.53	13.40	17.34	21.43	25.58	29.87	34.39	39.04	43.83	49.27
		歩数		13	13	13	13	14	14	15	15	15	
成迫 健児	2位	区間時間	6.06	3.80	3.90	3.97	4.10	4.32	4.34	4.57	4.52	4.60	5.26
		通過時間		9.86	13.76	17.73	21.83	26.15	30.49	35.06	39.58	44.18	49.44
		歩数		13	13	13	13	14	14	15	15	15	
河北 尚弘	3位	区間時間	6.14	3.92	4.00	4.04	4.12	4.30	4.55	4.64	4.69	4.84	5.42
		通過時間		10.06	14.06	18.10	22.22	26.52	31.07	35.71	40.40	45.24	50.66
		歩数		13	13	13	13	14	14	15	15	15	

表4 世界選手権 (男子)

氏名	順位	項目	S-H1	H1-2	H2-3	H3-4	H4-5	H5-6	H6-7	H7-8	H8-9	H9-10	H10-F
B. ジャクソン	1位	区間時間	5.73	3.77	3.80	4.04	4.07	3.97	4.04	4.17	4.27	4.39	5.05
		通過時間		9.50	13.30	17.34	21.41	25.38	29.42	33.59	37.86	42.25	47.30
		歩数		13	13	15	15	15	15	15	15	15	
為末 大	3位	区間時間	5.79	3.59	3.70	3.84	3.90	4.05	4.14	4.34	4.59	4.74	5.42
		通過時間		9.38	13.08	16.92	20.82	24.87	29.01	33.35	37.94	42.68	48.10
		歩数		13	13	13	13	14	14	15	15	15	
成迫 健児	準決	区間時間	6.08	3.80	3.89	3.92	3.97	4.09	4.32	4.40	4.55	4.62	5.36
		通過時間		9.88	13.77	17.69	21.66	25.75	30.07	34.47	39.02	43.64	49.00
		歩数		13	13	13	13	13	14	14	15	15	

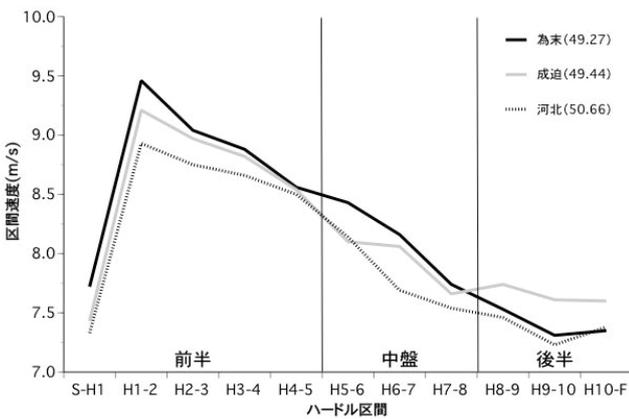


図3 日本選手権 (男子)におけるハードル区間速度変化

秒差までつめたが、昨年同様、久保倉選手に先着を許す57.29秒でのフィニッシュとなった。

優勝したブラケット選手は、ヘルシンキ世界陸上で6位入賞(55.06秒)している選手であり、56.15秒という記録は実力からすれば平凡なものであるが、H5を24秒前半(24.35秒)で通過するなど、世界一流ハードラーの片鱗を見せた。日本人選手は、H5までにつけられた差がフィニッシュの差になっていることから、世界のレースで戦うためには、最低でもH5を24秒台で通過する必要があることを改めて示したといえる。

日本選手権

表3は、日本選手権における男子3選手のハードル区間時間、ハードル通過時間およびハードル区間歩数を示したものである。また、図3は、各選手の

ハードル区間速度の推移を示したものである。

為末選手は、H2を9.53秒で通過しているが、これは大阪GPとほぼ同じタイム(9.51秒)であり、後半は大阪GPよりも早いタイムでまとめている。豪雨というコンディションを考えれば驚異的ともいえる。フィニッシュタイムは49秒台であったが、「3〜5台目をおさえて、6〜7台目であげていく(陸上マガジン7月号)」という作戦どおりのレースを展開し、第一人者としての貫禄を示した。

成迫選手は、通常21.3〜5秒であるH5の通過に21.83秒を要し、大阪では13歩でクリアしたH5-6も14歩になるなど、前半から中盤にかけての走りに安定度を欠いた。持ち味の後半の追い

上げで為末選手を約0.2秒差まで追い

込んだが、H8までに開いた約0.7秒差を逆転することが出来なかった。

(2) 世界選手権

表4は、決勝レースにおけるジャクソン選手と為末選手および準決勝レースにおける成迫選手のハードル区間時間、ハードル通過時間およびハードル区間歩数を示したものである。また、図3は、各選手のハードル区間速度の推移を示したものである。

ジャクソン選手のように、身長が低く逆脚ハードルを跳ばない選手において、「H3まで13歩、それ以降は15歩」という歩数配分や、H5の通過がさほど速くない(21.4秒程度)というのは共通した特徴である(世界選手権優勝者のモリ選手など)。その後、中盤を12.18秒、後半を13.71秒と驚異的な

表5 スーパー陸上(男子)

氏名	順位	項目	S-H1	H1-2	H2-3	H3-4	H4-5	H5-6	H6-7	H7-8	H8-9	H9-10	H10-F
ジャクソン	1位	区間時間	5.92	3.97	4.19	4.19	4.09	3.94	4.00	4.19	4.27	4.39	5.09
		通過時間		9.89	14.08	18.27	22.36	26.30	30.30	34.49	38.76	43.15	48.24
		歩数		15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
成迫 健児	2位	区間時間	6.08	3.73	3.87	3.88	3.95	4.05	4.32	4.35	4.44	4.55	5.18
		通過時間		9.81	13.68	17.56	21.51	25.56	29.88	34.23	38.67	43.22	48.40
		歩数		13	13	13	13	13	14	14	15	15	15
吉形 政衛	3位	区間時間	5.96	3.75	3.92	3.92	4.05	4.12	4.20	4.24	4.37	4.60	5.53
		通過時間		9.71	13.63	17.55	21.60	25.72	29.92	34.16	38.53	43.13	48.66
		歩数		14	14	14	14	14	15	15	15	15	15
庄形 和也	5位	区間時間	5.94	3.87	3.99	4.02	4.07	4.14	4.27	4.39	4.49	4.57	5.20
		通過時間		9.81	13.80	17.82	21.89	26.03	30.30	34.69	39.18	43.75	48.95
		歩数		14	14	14	14	15	15	15	15	15	15

ペースで走破している。インターバルランニングの稚拙さ(中盤での加速)など、レースパターンに改善の余地が多々あることが、逆にジャクソン選手の潜在能力の高さを浮き彫りにしている。

為末選手は、エドモントンの世界陸上で世界を席卷した前半型のレースを再現した。日本選手権同様、豪雨のコンディションをものともせず、H5を20.82秒で通過すると、前-中低下率も5%台でまとめている。エドモントン(33.42秒)よりも速いタイム(33.35秒)で、H8をトップで通過した。さすがに後半で速度が低下したものの、そのラップは大阪GPや日本選手権よりも速かった(14.75秒)。

成迫選手は、予選で失敗した歩数切り替えも、H5-6まで本来の予定歩数である13歩で走り、中盤が速い世界大会の準決勝の流れにも食らいついていた(前-中低下率は4%台)。後半、いつもの追い込みはみられなかったが、1レーンという左脚を抜く選手にとって不利な条件のなかで、準決勝10番目のタイムをマークした。

(3) スーパー陸上

表5は、スーパー陸上における男子4選手のハードル区間時間、ハードル通過時間およびハードル区間歩数を示したものである。また、図4は、両選手のハードル区間速度の推移を示したものである。

ジャクソン選手は、全てのインターバルを15歩で走り(世界陸上では3台目まで13歩)、H5の通過は世界陸上の決勝より約1秒も遅い最下位通過だったが、5台目以降を世界陸上とほぼ同じペースで走破し、全員を一気に抜き去っている。

成迫選手は、レースが続いた疲労の影響か、H1の入りか6秒08、H5の通過が21秒51といつもより遅めの前半だったが(他のレースでは21秒2-3)、中盤以降しっかりとまとめて(この時点で)自身4度目となる48秒台をマーク。14歩への切り替え(H6-7)で速度低下が大きいのが課題だが、シーズン前半で安定しなかったH5-6のインターバルも

危なげなく13歩で通過しており、自身のレースパターンを確立しつつあるといえるだろう。

吉形選手は、最終ハードルクリア後にバランスを崩さなければ、すなわちH10-Fでの速度低下がおさえられていれば、成迫選手と一緒にゴールになだれ込んでいた可能性もある。前半を14歩で走るにもかかわらず、H5を21秒中盤で通過できるのが吉形選手の持ち味であるが、課題であった中盤の速度低下も抑えられており(前-中低下率は2.39%)、8台目以降の速度低下を抑えられれば48秒台前半も十分射程圏内である。

庄形選手も、3週間前に出したベスト記録を0.63秒更新して初の48秒台をマーク。レース全体にわたって大き

な減速もみられず、効率のよい走りであるといえる。48秒台前半を出すための課題は、同じく前半を14歩で走る吉形選手に約0.3秒の差をつけられているバックストレート(2-5台)の走りといえるだろう。

文献

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(3), 414-421.

森丘保典, 榎本靖士, 杉田正明, 松尾彰文, 阿江通良, 小林寛道(2005) 陸上競技400mハードル走における一流男子選手のレースパターン分析, バイオメカニクス研究, 9(4), 196-204.

一流女子中距離選手の1500mレース分析

榎本靖士¹⁾ 杉田正明²⁾ 松尾彰文³⁾ 阿江通良⁴⁾

1) 京都教育大学 2) 三重大学 3) 国立スポーツ科学センター 4) 筑波大学

目的

近年、日本選手の女子1500mのレベルは高くなってきている。日本記録は、昨年杉森選手(京セラ)が樹立した4分9秒30であるが、まだ世界大会の標準記録には届いておらず、これからの活躍に期待したいところである。高校生の小林祐梨子選手(須磨学園)は、日本選手権、スーパー陸上と立て続けに高校記録を更新した。まだ高校2年生であり、今後大いに活躍が期待される選手の1人である。ここでは、2005年日本選手権およびスーパー陸上女子1500mにおいて上位に入った選手の通過タイム、スピード、ピッチ、ストライドの分析を行い、今後の女子1500mパフォーマンスの向上に役立つ情報を提供するものである。

方法

2005年日本選手権女子1500m決勝(2005年6月3日)およびスーパー陸上女子1500mレース(2005年9月19日)を2台のカメラでVTR撮影し、ピストルのシグナルと各100m通過タイムをビデオ画像から読み取り、100mごとの通過タイム、各100m区間の平均スピードを算出した。また、100m区間において10歩に要した時間を読み取り、1歩に要

した平均時間の逆数をピッチとして算出した。スピードをピッチで除すことによりストライドを算出した。

結果と考察

表1は、日本選手権女子1500m決勝における400mごと(ラストは300m)の通過タイムとラップタイムを示したものである。レースは、1周目は比較的早いペースで入ったものの、2周目、3周目はペースが徐々に落ちていった。ラスト1周あたりから小林選手はラストスパートをして、先頭に立ち、そのまま逃げ切った。小林選手を追いかけた宗選手(旭化成)が2位に、先頭からはやや離れたものの粘り抜いた早狩選手が3位に入った。小林選手のラスト300mは46秒台と日本の女子選手ではこれまでにないほどの速いスパートであったと言えよう。

図1は、日本選手権女子1500mにおけるスピード、ピッチおよびストライドの変化を示したものである。スピードは最初の300mまでは比較的速いスピードを維持していたが、そこから1000m地点までは徐々にスピードが低下していた。そして、ラスト400mから急激にスピードが増大していた。他の2選手もほぼ同様のパターンであったが、小林選手はラスト100mにおいてスピードがやや低下してい

表1 日本選手権女子1500m決勝におけるスプリットおよびラップタイム

	1.小林		2.宗		3.早狩	
400m	1:07.00	67.00	1:06.37	66.37	1:06.60	66.60
800m	2:17.79	70.79	2:17.42	71.05	2:17.64	71.04
1200m	3:08.39	70.59	3:28.56	71.14	3:28.96	71.32
1500m	4:14.55	46.17	4:15.70	47.14	4:17.45	48.49
					min:sec	sec

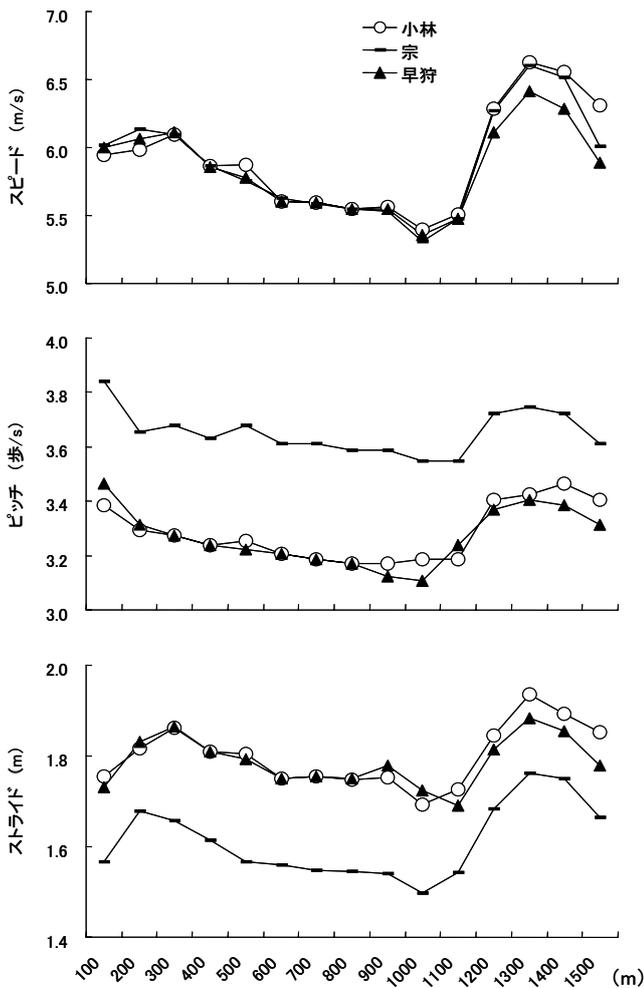


図1 日本選手権女子 1500m 決勝におけるスピード、ピッチおよびストライドの変化

たのに対し、他の2選手はそのスピードの低下が大きかった。小林選手の早いタイミングでのラストスパートが功を奏したと言えよう。

ピッチは、宗選手がレース全体を通して大きく、小林選手と早狩選手はほぼ同様のパターンであり、比較的小さい値であった。ラスト400mあたりではピッチが急激に増加していた。ストライドは反対に、宗選手がレース全体を通して小さく、小林選手と早狩選手は大きかった。ラスト400mにおいて大きく増大したが、ラスト200mあたりから大きく減少していた。宗選手はピッチ型、小林選手と早狩選手はストライド型のランナーであると言えよう。

表2は、スーパー陸上女子 1500mにおける400mごとの通過タイムおよびラップタイムを示したものである。レースは杉森選手(京セラ)が先頭を引っ張り、タデッセ選手(エチオピア)とチジェンコ選手(ロシア)がそれにつく形でレースが続いた。ラスト400mからスパートが始まり、1200m過ぎにチジェンコ選手が前に出て、ラスト100mでタデッセ選手が前に出て、他の選手を大きく引き離してゴールした。小林選手はレース前半はやや自重し、後半追い上げるレースで、早狩選手は最初前方でレースを進めたが、中盤で一度後方まで下がり、ラストスパートで再び上位に上がった。杉森選手の3周目までのラップタイムはすべて66-67秒台で通過しており、高いスピードを安定して維持していたことがわかる。ラスト300mのタイムは優勝したタデッセ選手が最も速かったが、早狩選手がその次に速かった。

図2は、スーパー陸上女子 1500mにおけるスピード、ピッチおよびストライドの変化を示したものである。スピードはスタートから中盤までほぼ一定であったが、ラスト400m付近からスピードが増大し、タデッセ選手はラスト100mが最も速かった。杉森選手は自らペースを作り、ラスト400mからのスピードも増大しており、ラスト100mではややスピードが低下したものの非常によいパフォーマンスを発揮したと言えよう。小林選手はラスト300mで一度スピードが低下してしまっていたが、ラスト200m以降で再びスピードを増大していた。早狩選手はラスト200mから大きくスピードを増大していた。日本の3選手は速いレース展開の中で、それぞれが力を出し切れるラストスパートのパターンを示したと考えられる。

ストライドとピッチを見ると、タデッセ選手は全体的にピッチが小さく、ストライドが大きかった。さらに、ラストスパートにおいてピッチとともにストライドも増大していた。他の選手もストライドはレースを通して増大傾向にあった。杉森選手はラストでピッチが増大していなかったが、小林選手と早狩選手はラストでピッチが増大していた。ラストスパートにおいてピッチを増大することは800mレー

表2 スーパー陸上女子 1500mにおけるスプリットおよびラップタイム

	1.タデッセ		2.チジェンコ		3.杉森		4.小林		5.早狩	
400m	1:07.00	67.00	1:06.67	66.67	1:06.47	66.47	1:07.47	67.47	1:07.23	67.23
800m	2:14.73	67.73	2:14.42	67.75	2:13.98	67.52	2:15.47	68.00	2:16.24	69.00
1200m	3:22.09	67.35	3:21.82	67.40	3:21.75	67.77	3:23.39	67.92	3:25.07	68.84
1500m	4:08.52	46.43	4:10.55	48.73	4:10.78	49.03	4:12.85	49.46	4:12.86	47.79

min:sec sec

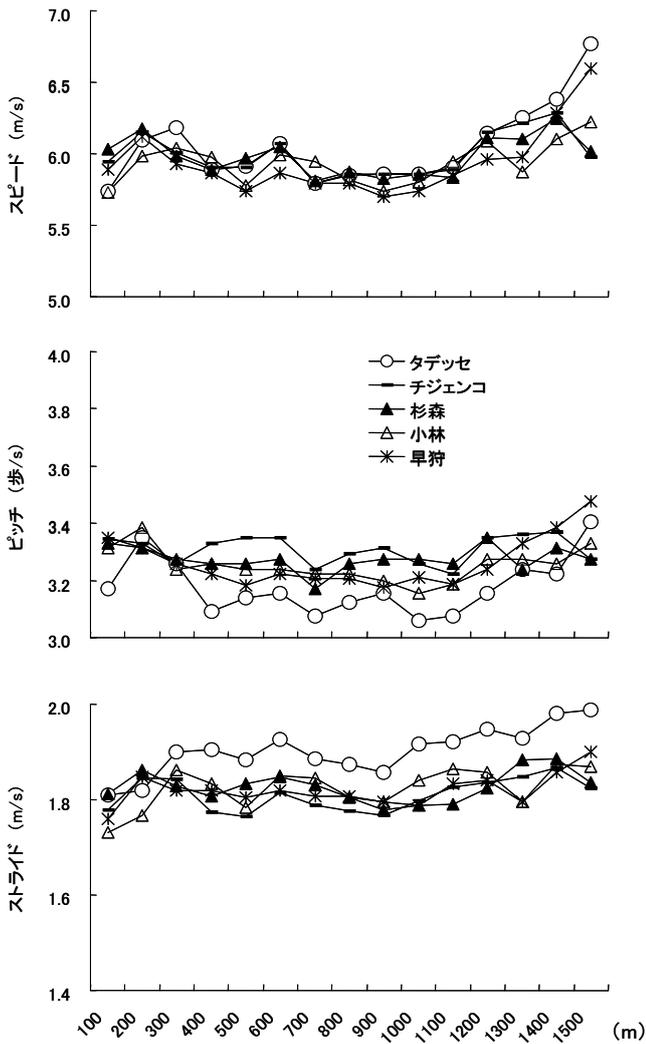


図2 2005スーパー陸上女子1500mにおけるスピード、ピッチおよびストライドの変化

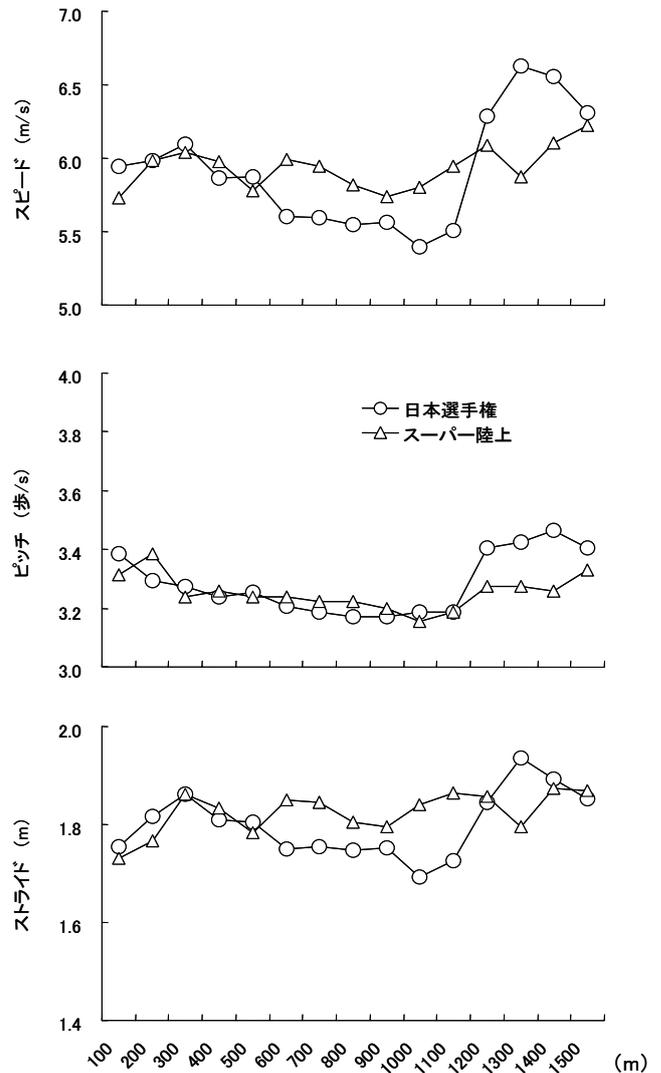


図3 小林選手の日本選手権とスーパー陸上1500mレースにおけるスピード、ピッチおよびストライドの比較

スとはほぼ同様の傾向であるが、ストライドがほぼ維持される、あるいは増大されることは、800mレースでは見られず、1500mレースの特徴であると言える。

図3は、小林選手の日本選手権とスーパー陸上の2つの1500mレースにおけるスピード、ピッチおよびストライドを比較したものである。日本選手権ではラストパートに大きくスピードを増大して、スーパー陸上では中盤にスピードを維持することで好記録を生み出した。共通して、前半はあまり速いスピードではないが、中盤でややスピードの低下が見られる。ラスト100mはそれほどスピードが増大していないが、レース後半においてスピードを増大しており、現時点では後半型と言える。スタート直後ではストライドが小さく、中盤はピッチが減少している。これらが改善されるとレース序盤および中

盤のスピードが増大し、さらなる記録の更新が期待されると考えられる。

女子中距離走者のレースペースと走動作 — 2005年千葉 IH 女子 800m での小林祐梨子選手に着目して—

門野洋介¹⁾ 阿江通良²⁾ 榎本靖士³⁾ 杉田正明⁴⁾

1) 筑波大学人間総合科学研究科 2) 筑波大学体育科学系 3) 京都教育大学教育学部
4) 三重大学教育学部

1. 目的

2005年度の小林祐梨子選手(須磨学園高校2年, 兵庫)の国内外での中距離種目における活躍は素晴らしく, 今後日本の女子中距離界の第一人者として, 国内のみならず, 国際大会においても更なる活躍が期待される。

中距離走に関するバイオメカニクスの研究には, 大きく分けて2つのタイプの研究が存在すると考えられる。1つめは, レースのスピード, ストライド, ピッチの変化を検討した研究に代表されるペース分析である。2つめは, 中距離走者の走動作そのものに関する研究である。前者のタイプの研究はこれまで数多く行われ, 現在でもデータが蓄積されている。後者のタイプの研究は, 前者に比べると少なく, 中距離走動作に関してはまだ明らかとなっていない点が多い。また中距離走は, レースパターンやスピードの変化が一様でないため, 動作を研究する際には, ペースの変化を考慮に入れて検討するべきであろう。したがって, ペース分析と動作分析とを併せて行うことが, 中距離走に関する有益な知見を得ることに役立つであろう。

そこで本報告では, 2005年千葉 IH 女子 800m 決勝での小林祐梨子選手と, 2位の太田暁音選手(村上桜ヶ丘高校2年, 新潟)の2名の選手を対象に, ペース分析と動作分析を行い, 両選手のレースパターン

と走動作の特徴を明らかにし, 女子中距離走者のレースパターンと走動作に関する基礎的知見を得ることを目的とした。

2. 方法

2005年8月5日千葉 IH での女子 800m 決勝レースにてデータ収集を行い, 優勝した小林祐梨子選手(須磨学園高校2年, 兵庫)と2位の太田暁音選手(村上桜ヶ丘高校2年, 新潟)の2名を対象に分析を行った。表1は両選手の身体的特性および記録を示したものである。

2.1 ペース分析のためのデータ収集とその処理

レースを2~4台のDVカメラで撮影した。スタートピストルの閃光を映した後, 選手を追従撮影し, 120地点, 200~700mまでの100mごとの地点を通過した時間をVTR画像から読み取った。各地点の通過タイムから各100m区間に要した時間を算出し, 区間タイムと区間平均スピード(以降, スピード)を算出した。

2.2 動作分析のためのデータ収集とその処理

トラックのグラウンドレベルのホームストレート中央およびバックストレート中央付近に計2台のDVカメラを設置し, 選手の側方からVTR撮影した。

表1 選手の身体的特性および記録

名前	所属	身長(m)	体重(kg)	レース記録	自己記録
小林祐梨子	須磨学園2年(兵庫)	1.62	48.5	2.05.90	2.05.84
太田暁音	村上桜ヶ丘2年(新潟)	1.67	49.0	2.08.59	2.07.60

撮影スピードは毎秒 60 フィールド、露出時間は 1/1000 とした。1 ランニングサイクルを撮影するため、7m の区間を撮影範囲とした。撮影した VTR 画像から、約 350m、550m 地点の 2 つの地点における 1 サイクルの走動作について、身体分析点 23 点と校正マーク 2 点をデジタイズし、実座標換算、および平滑化を行った。

3. 結果および考察

3.1 ペース分析

図 1 は小林、太田選手のスピードの変化を、表 2 は両選手の通過タイム、区間タイムおよびスピードについて示したものである。

このレースは、小林選手に 2.04.00 の日本高校記録更新の期待がかかったレースであった。スタートから小林選手が積極的に飛び出し、その後方に太田選手が付ける展開となった。400m は、小林、太田選手それぞれ 60.7 と 60.9 の好タイムで通過した。その後、太田選手が徐々に遅れ始め、600m では 1.32.4 と 1.33.2 で小林選手が 0.8 秒速く、フィニッシュでは小林選手が約 3.7 秒速かった。フィニッシュタイムは小林選手が 2.05.90、太田選手が 2.08.59 で、日本高校記録の更新はならなかったが、両選手とも自己記録に近い記録であった。

スピードは両選手ともスタートから 120m までの区間が最も速く、その後フィニッシュまで漸減する傾向を示した。中距離走 (800 m 走) において好記録を出すためには、序盤に大きなスピードを獲得し、その後スピードを効果的に維持するペース配分が合理的とされている (有吉ら, 1974 ; 榎本ら, 2005)。このことから、千葉 IH 女子 800m 決勝レースでの小林、太田選手のレースパターンは、好記録を出すためには理想的なパターンであったと考えられる。

両選手とも 400m 以降のスピードが大きく減少し、後半の 400m のタイム (フィニッシュタイム - 400m 通過タイム) は、小林、太田選手それぞれ 65.2 と 67.7 であった。したがって、両選手はスタートから 400m 付近までは同じスピードでレースを進めていたが、後半の 400m においては、小林選手の方が太田選手よりもスピードを維持していた。このことから、小林選手は優れたスピード維持能力を有していると考えられる。

小林選手のレースパターンは、好記録を狙うには理想的であるため、改善すべき点を特定することは困難であるが、先行研究 (有吉ら, 1974 ; 榎本ら, 2005) からすると、前半の 400m の中でも特に序盤のスタート ~ 200m でのスピードを増大させることと、後半の 400m においてできるだけ高いスピードを維持することが有効であると考えられる。一方、

表 2 通過タイム、区間タイムおよびスピード

		0m	120m	200m	300m	400m	500m	600m	700m	800m
小林祐梨子 須磨学園2年 (兵庫)	通過タイム		18.1	30.1	45.4	60.7	1.16.2	1.32.4	1.48.9	2.05.90
	区間タイム(秒)	18.1	12.0	15.3	15.3	15.6	16.1	16.5	17.1	
	スピード(m/秒)	6.6	6.6	6.5	6.5	6.4	6.2	6.1	5.9	
太田暁音 村上桜ヶ丘2年 (新潟)	通過タイム		18.1	30.2	45.6	60.9	1.16.6	1.33.2	1.50.4	2.08.59
	区間タイム(秒)	18.1	12.1	15.4	15.3	15.8	16.5	17.3	18.2	
	スピード(m/秒)	6.6	6.5	6.5	6.5	6.3	6.0	5.8	5.5	

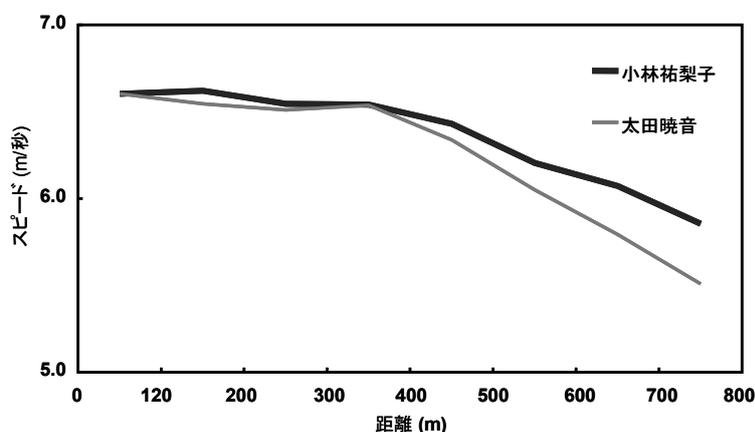


図 1 スピードの変化

太田選手にとっては、後半の400mにおいてスピードの低下を抑えることが課題となるであろう。両選手には、2006年度のレースで日本高校記録の更新を是非期待したい。

2. 動作分析

ここでは、小林、太田選手がほぼ同じスピードで疾走していた350m地点と、スピードが大きく低下し始めた550m地点の2つの地点間における走動作の変化についてみてい

く。

表3は350mおよび550m地点における両選手の走速度、ストライド、およびピッチとそれらの構成要素を、表4は両選手の重心の運動に関する項目を、図2は両選手の疾走フォームを連続写真で示したものである。

3.2.1 小林選手の走動作について

まず小林選手についてみてみる。走速度の変化率は-3.63%で、550m地点では減少していた。ここでいう変化率とは、350m地点での値を100%とし、550m地点の値の350m地点の値に対する割合との差である。ストライドの変化率は-3.64%で、550m地点では減少していた。ピッチは両地点において変わらなかった。したがって、走速度の減少はピッチではなく、ストライドの減少によるものと考えられる。ストライドとピッチについてさらに詳細に検討する。まず支持期における変化率についてみてみると、支持期距離は-15.08%、前半距離は-27.77%、後半距離は-10.16%で、550m地点では支持期全体および前後半において減少していた。特に

支持期前半距離の減少が大きかった。支持期時間は-11.11%、前半時間は-14.19%、後半時間は-9.09%で、距離の変化と同様の傾向を示した。このように、支持期前半の距離や時間が減少すれば、接地後のブレーキを少なくできると考えられる。そこで、小林選手のブレーキ量の変化率(表4)についてみてみると、絶対量では-23.73%、接地時の重心水平速度に対する相対量では-21.45%であり、やはり550m地点ではブレーキ量が減少していた。支持期の重心の動きについてみてみると(表4)、H1(支持期重心最小値-接地時重心高)の変化率は-28.34%、H2(離地時重心高-支持期重心最小値)の変化率は-9.92%であった。つまり、小林選手は550m地点では支持期での重心の低下および上昇が小さく、すなわち支持期の重心の上下動が減少していた。

次に非支持期の変化率についてみてみると、非支持期距離は7.53%、時間は11.77%で、550m地点ではともに増加しており、支持期の変化とは逆の傾向を示した。重心の動きについてみてみると、H3(非支持期重心最大値-離地時重心高)の変化率は86.88%、H4(接地時重心高-非支持期重心最大値)の変化率は12.14%であった。つまり、小林選手は550m地点では非支持期の重心の上昇および低下が大きく、すなわち非支持期の重心の上下動が増大していた。これは、支持期の重心の変化とは逆の傾向であった。

榎本(2004)は、長距離走において疲労が生じると、支持期における身体重心の上下動が増大し、支持期前半時間の増大、ステップ頻度(本報告におけるピッチ)の減少を生じると述べている。また榎本ら(2001)は、2001年に女子800mで西村美樹選手

表3 走速度、ストライドおよびピッチとそれらの構成要素

		小林		太田		変化率(%)	
		350m	550m	350m	550m	小林	太田
走速度	(m/s)	6.66	6.42	6.77	6.25	-3.63	-7.68
ストライド	(m)	1.94	1.87	1.98	1.82	-3.64	-7.68
ストライド/身長		1.199	1.155	1.183	1.092		
支持期距離	(m)	0.959	0.814	0.980	0.999	-15.08	1.94
支持期前半距離	(m)	0.268	0.193	0.328	0.335	-27.77	2.18
支持期後半距離	(m)	0.691	0.621	0.652	0.663	-10.16	1.83
非支持期距離	(m)	0.983	1.057	0.995	0.825	7.53	-17.15
ピッチ	(歩/s)	3.43	3.43	3.43	3.43	0.00	0.00
支持時間	(s)	0.150	0.133	0.150	0.167	-11.11	11.11
支持期前半時間	(s)	0.058	0.050	0.067	0.067	-14.29	0.00
支持期後半時間	(s)	0.092	0.083	0.083	0.100	-9.09	20.00
非支持期時間	(s)	0.142	0.158	0.142	0.125	11.77	-11.77

* これらの値は、すべて2歩の平均値。

が2' 02" 23の当時の日本記録を樹立したレースにおいて、西村選手の1周目(170m地点)と2周目(570m地点)の走動作の比較を行っている。そこでは重心の上下動やブレーキについては触れられていないが、2周目では1周目に比べて、支持期距離と非支持期距離ともに小さくなっており、支持時間は変わらないが非支持時間は小さくなっている。中距離走におけるスピード低下の要因の一つに、非支持期距離の低下によるストライドの低下(淵本ら, 1988)が挙げられる。したがって、小林選手は榎本らの長距離走者の疲労に関する報告とは異なる傾向を示し、日本記録樹立者と比較しても非支持期距離については逆の傾向を示し、中距離走のスピード低下においてみられる特徴を示さなかった。したがって、小林選手は550m地点ではそれほど大きく疲労していなかったか、あるいは疲労によるスピード低下に抗するような走り方をしていた可能性が考えられる。800m走において好記録を生み出すためには、スタートから高いスピードを発揮すること、2周目バックストレートにおいてスピードを増大あるいは維持すること、および大きなストライドの維持が重要とされている(榎本ら, 2005)。中距離走におけるストライドには、主に非支持期距離が大きく影響しているため、重要とされる2周目バックストレート(550m付近)においては、小林選手のような支持期が距離的にも時間的にも短く、支持期の重心の上下動およびブレーキが小さい走りは、非支持期を距離的にも時間的にも長くし、ストライドを大

きくするあるいは維持するためには効果的であると考えられる。疲労によりスピードが低下する局面において、小林選手のような走りをするのは容易ではないが、800m走のパフォーマンス向上にとっては重要な課題であり、目標とすべきひとつのモデルとなると考えられる。

3.2.2 太田選手の走動作について

次に太田選手についてみる。走速度の変化率は-7.68%で、550m地点では小林選手より減少が大きかった。これはペース分析からも明らかである(図1)。ストライドの変化率は-7.68%で、走速度同様、550m地点では小林選手より減少が大きかった。ピッチは、小林選手と同様に変化がなかった。したがって、太田選手も、走速度の減少はピッチではなく、ストライドの減少によるものであると考えられる。ストライドとピッチに関してさらに詳細に検討する。

まず支持期における変化率についてみると、支持期距離は1.94%、前半距離は2.18%、後半距離は1.38%で、550m地点では支持期全体および前半において増加しており、小林選手と逆の傾向を示した。支持期時間は11.11%、前半時間は0%、後半時間は20.00%で、550m地点では支持期後半時間の増加により支持時間全体が増加した。これは小林選手とは逆の傾向にあった。支持期の重心の動きについてみてみると(表4)、H1の変化率は49.04%、H2の変化率は55.64%であった。つまり、太田選手は

表4 身体重心の運動に関する項目

		小林		太田		変化率(%)	
		350m	550m	350m	550m	小林	太田
上下動	(cm)	7.59	7.98	5.51	7.66	5.09	39.07
H1	(cm)	-2.49	-1.79	-1.83	-2.72	-28.34	49.04
H2	(cm)	6.41	5.78	4.28	6.66	-9.92	55.64
H3	(cm)	1.18	2.20	1.23	1.00	86.88	-18.50
H4	(cm)	-4.82	-5.40	-4.38	-4.55	12.14	3.97
接地時水平走速度	(m/s)	6.46	6.27	6.65	6.13	-2.90	-7.90
接地時鉛直走速度	(m/s)	-0.80	-0.72	-0.58	-0.68	-10.00	17.00
接地時角度 ^{*1}	(度)	7.09	6.58	5.02	6.36	-7.24	26.83
離地時水平走速度	(m/s)	6.65	6.39	6.73	6.19	-3.93	-7.94
離地時鉛直走速度	(m/s)	0.51	0.78	0.55	0.55	53.12	1.01
離地時角度 ^{*2}	(度)	4.40	6.98	4.65	5.10	58.91	9.67
絶対ブレーキ量 ^{*3}	(m/s)	0.383	0.292	0.321	0.403	-23.73	25.25
相対ブレーキ量 ^{*4}		0.059	0.047	0.048	0.066	-21.45	35.99

* これらの値は、すべて2歩の平均値。

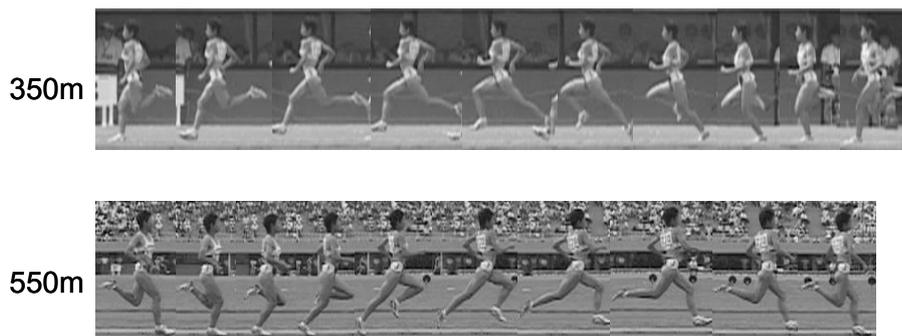
*1 接地時の速度ベクトルと水平線とのなす角度。

*2 離地時の速度ベクトルと水平線とのなす角度。

*3 接地時の重心水平速度-支持期重心水平速度の最小値

*4 離地時の重心水平速度-支持期重心水平速度の最小値

小林祐梨子



太田暁音

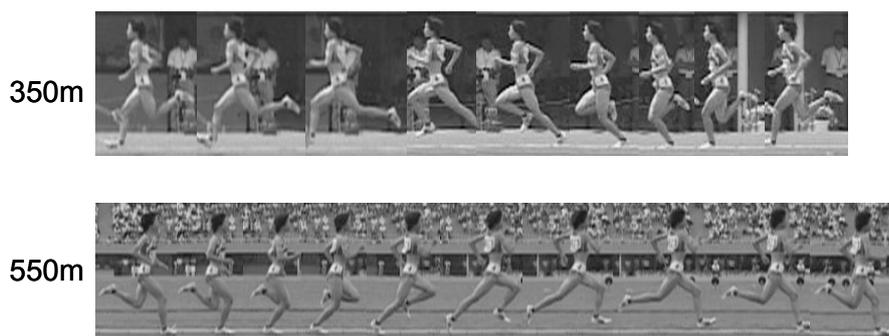


図2 350m 地点および 550m 地点の小林, 太田選手の疾走フォーム

550m 地点では支持期での重心の低下および上昇が大きく、すなわち支持期の重心の上下動が増大していた。これは小林選手とは逆の傾向にあった。このように、支持期の変化については、小林選手とは逆の傾向を示し、これは長距離走で疲労した局面において一般的にみられる傾向と一致している(榎本, 2004)。

次に非支持期の変化率についてみると、非支持期距離は -17.15% 、時間は -11.77% で、550m 地点ではともに減少しており、支持期の変化とは逆の傾向を示し、また小林選手とは逆の傾向を示した。重心の動きについてみると、H3 の変化率は -18.50% 、H4 の変化率は 3.97% であり、550m 地点では非支持期の重心の上昇は小さく、低下が大きくなっていた。これは小林選手とは異なる傾向を示した。ブレーキ量の変化率(表4)についてみると、絶対量は 25.25% 、相対量は 35.99% で、550m 地点ではブレーキ量が増加しており、これも小林選手とは逆の傾向であった。

非支持期では、重心は放物運動するため、H4 の増大はH1 の増大に、さらには支持期の上下動に影響を与えると考えられる。太田選手は、550m 地点ではH4 が増大し、接地時の鉛直速度も変化率 17.00% 、接地時角度の変化率も 26.83% で増大して

いた(表4)。そしてH1, H2 つまり支持期の上下動が増大していた。支持期の上下動は主に膝関節の屈曲伸展動作によって生み出されるため、そのような動作が大きくなると、ブレーキの増大を引き起こす要因となると考えられる。連続写真をみてみると、太田選手は550m 地点では350m 地点に比べて、接地後の膝関節の屈曲が大きくなっている様子がみとれる。この膝関節屈曲の増大が、支持期の上下動やブレーキの増大、支持期の距離的、時間的増加、さらには非支持期の距離的、時間的減少につながった可能性が考えられる。その結果、小林選手よりもストライドの減少が大きくなり、走速度が低下してしまっただと考えられる。

参考文献

- 有吉正博, 村木征人, 小林渡岐磨(1974) 中距離走のペースに関する実験的研究—第二報—. 東海大学紀要体育学部4, 95-105.
- 榎本靖士, 阿江通良, 森丘保典, 杉田正明, 松尾彰文(2005) 世界と日本の一流男子800m選手のレースパターンの比較. 陸上競技研究紀要1, 16-22.
- 榎本靖士, 阿江通良, 法元康二, 横澤俊治, 中田和寿, 羽田雄一, 村木有也(2002) 女子一流中距離

走者のバイオメカニクス的分析. 日本陸連科学委員会研究報告 1, 陸上競技の医科学サポート研究 REPORT. pp. 35-42.

榎本靖士 (2004) 長距離走動作のバイオメカニクスの評価法に関する研究. 筑波大学博士論文.

淵本隆文, 木下健一, 金子公宥 (1988) 第9回日本バイオメカニクス学会大会論集'88. pp. 215-220.

全国高等学校総合体育大会でのサプリメント摂取状況調査

石井好二郎
北海道大学

昨年度に引き続き、今年度も全国高等学校総合体育大会（IH）入賞陸上競技選手を対象にサプリメント摂取状況の調査を実施した。入賞者にアンケート（多種目入賞者には1通）を配布し回答の得られたのは108名（男59名，女49名）であり，その回収率は30.9%であった（昨年度は17.7%）。

Gatorade Sports Science Institute(2004)によれば，米国の高校生アスリートの38%がサプリメントを常用していると報告されている。ジュニア選手のサプリメント使用がドーピングへの危険性を高めることが懸念されている（Steen, 1996）。このような背景より，北米では，学会レベルで競技者のサプリメント摂取に対する公式見解が提案されている（ACSM/ADA/DC, 2000）。今年度の調査結果では，IH入賞者の約64%がサプリメントを常用していた（昨年度は約66%）。すなわち，日本の陸上ジュニア選手はアメリカのジュニア選手よりも高率にサプリメントを摂取していることは，ほぼ間違いないようである。本調査は後3年続けられる予定であり，詳細な検討については計5年間の集積データより分析する方向で進められている。

北海道マラソン暑さ対策研究

昨年より，腎機能をタンパク量の影響を受けることなく測定できるシスタチンCを測定項目に入れ検討を行っている。2005年の北海道マラソンは暑熱環境下でのレースとなり，比較的冷涼であった昨年の大会と比較することにより，暑熱環境の影響について，さらに検討することができた。詳細については「陸上競技研究紀要」に述べているので割愛する。

マラソン選手の貧血対策から鉄中毒になる健康管理上の問題

井本岳秋¹⁾ 石井好二郎²⁾ 鳥居 俊³⁾

1) 静岡県総合健康センター 2) 北海道大学 3) 早稲田大学

要旨

競技生活が長くなると、健康被害を受けるようなリスク（危険因子）が増えて、不調になるケースがある。われわれは2004年と2005年の北海道マラソン大会においてランナーの血液検査を実施した。その結果、フェリチン濃度は女子が $555 \pm 973 \mu\text{g/ml}$ 、男子が $92 \pm 64 \mu\text{g/ml}$ だった。これらの平均値は、基準範囲（ $50 \sim 80 \mu\text{g/dl}$ ）の2～7倍、個人では54倍以上に達する例もみられ、鉄中毒による健康被害の実態が明らかになった。ランナーの血清フェリチン濃度が高値になった原因は、①鉄分含有のサプリメントを多く摂りすぎている、②鉄剤の大量摂取、③鉄アンプル薬（フェジン）の静脈注射または①、②、③の重複による。鉄の過剰摂取はミネラル代謝のバランスを崩し、亜鉛や銅など他の微量元素やビタミン類の腸管吸収を連鎖的に阻害し健康被害をもたらす。

現在、日本では医療の面からの指導が行きとどかず、貧血のリスクを持つランナーが多く存在している事実と、ヘモグロビン濃度を上げるためだけに選手独自の判断で鉄剤を多く摂りすぎて、フェジンの静脈注射が日常化しているように思われる。

(1) はじめに

長距離・マラソンランナーの血液疾患の代表例の一つは鉄欠乏性貧血である。通常、赤血球数の減少やヘモグロビン値の低下から貧血と診断されるが、貧血は診断名というよりはむしろ症状名であり、その原因を明らかにすることが重要である¹⁾。問診や身体所見、競技成績の変化などは大いに参考になる。

一方、微量元素（げんそ：ミネラルともいう）の代謝特性からみると、血清鉄（輸送鉄）やフェリチ

ン（貯蔵鉄）、トランスフェリン（機能鉄）の値が低かったので貧血というだけでは済まなくなる。運動による鉄分損失が多クミネラルのなかで単独でおこる理由がないからである。生体に微量にしか存在しない亜鉛、銅、コバルト、セレン、マンガ、クロム、ヨウ素なども鉄とならんで同時に変化すると考えるほうが自然である。

われわれは、2004年と2005年8月にそれぞれ行われた北海道マラソン大会の上位入賞ランナーを中心に血液検査を実施した。ここ数年の検査値を診ていると、レースに直接関係なさそうな項目で異常値がみられ由々しき事態である。マラソンランナーの健康管理上の問題にどのような背景、盲点があるのか明らかにすることが重要と考えられたので報告する。

(2) 方法

(ア) 選手への趣旨説明

被検者は2004年と2005年の8月にそれぞれ行われた北海道マラソン大会のフルマラソンで上位入賞された選手たちである。彼らは、レース前日、大会本部にてゼッケンを受け取る際に本研究の趣旨説明のためインフォームド・コンセント（説明と同意）を文書でおこなった。

(イ) 採血時期・方法と検査項目

レース当日、ランナーがゴールしてから中之島公園内の仮設救護室に係りが誘導して看護師が中部皮下静脈から採血を実施した。血液の検査項目は表2に示すとおりで、(株)エスアールエル北海道に定量分析を依頼した。

(3) 結果

(ア) 被験者は2004年大会では男性19名、女性11名、合計30名。また2005年は男性17名、女性13名、合計30名であった。2年間連続して出場し検査を受けている選手もみられ延べ人数にすると男性36名、女性24名、合計60名であった。

(イ) 血液検査の基本統計(平均値±標準偏差)は、表1(男性)、表2(女性)に示すとおりである。検査値の最小値と最大値の比率(倍率)をみると個人差が大きい項目と、さほどでもない項目がある。なかでも血清フェリチン濃度は非常に高い値を示している。男女差を図1でみると、男性より女性のほうが有意に高い傾向を示し、標準偏差も異常な幅を示している。

(4) 考察

スポーツ性貧血の歴史を振り返ると、古くよりスポーツ競技者の間にはrunner's hemoglobinuria(1943)、runner's hemolysis(1964)という現象が存在するのが知られていた。これ

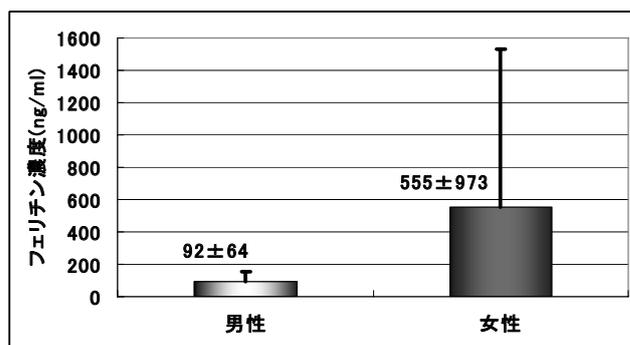


図1 北海道マラソン参加選手のゴール直後の血清フェリチン濃度 (ng/ml)

らのスポーツ競技者の赤血球の形態の特徴からrunner's macrocytosis(1985)と呼ばれ、足底と地面の衝撃から発生した機械的刺激による溶血であると長い間信じられていた。しかし足底の衝撃がない水泳や水球、ボートや自転車選手でも同じ溶血が高頻度に見られたことにより、「衝撃説」に疑問がなかったわけではない。

一方、貧血の発症頻度は競技年数がながくなるにつれ、年齢があがるほど高くなっていく。したがって、小学生にはまずみられず中学・高校生、大学や

表1 血液検査結果 (男子)

番号	測定項目	(単位)	平均値	標準偏差	例数	最小値	最大値	最大最小比
	総蛋白	(g/dl)	8.1	0.5	36	6.7	9.2	1.4
	GOT	(IU/L)	46	16	36	29	98	3.4
	GPT	(IU/L)	33	9	36	17	64	3.8
	LDH	(IU/L)	373	67	36	280	609	2.2
	CPK	(IU/L)	468	240	36	194	1525	7.9
	総コレステロール	(mg/dl)	212	37	36	139	348	2.5
	中性脂肪	(mg/dl)	74	34	36	29	192	6.6
	遊離脂肪酸	(mg/dl)	1.17	0.35	36	0.26	1.86	7.2
	血糖	(mg/dl)	85.0	26.4	36	34	143	4.2
	尿酸	(mg/dl)	6.2	1.1	36	3.8	8.2	2.2
	尿素窒素	(mg/dl)	21.7	3.8	36	14.4	29.4	2.0
	クレアチニン	(mg/dl)	1.2	0.2	36	0.76	1.87	2.5
	Na	(mEq/l)	147.1	3.0	36	136	152	1.1
	Cl	(mEq/l)	104.9	2.7	36	98	110	1.1
	K	(mEq/l)	4.3	0.5	36	3.6	5.6	1.6
	Ca	(mg/dl)	9.4	0.6	36	8.0	10.8	1.4
	無機リン	(mg/dl)	3.9	1.1	36	2.2	6.8	3.1
	血清鉄	(μ g/dl)	147	39	36	81	246	3.0
	白血球	(μ L)	14753	3578	36	9300	23500	2.5
	赤血球	($\times 10^4/\mu$ l)	481	34	36	408	541	1.3
	ヘモグロビン	(g/dl)	15.2	1.0	36	12.7	18	1.4
	ヘマトクリット	(%)	45.9	2.6	36	39.2	51.8	1.3
	血小板	($\times 10^4/\mu$ l)	24.7	4.1	36	17.5	34.5	2.0
	MCV	(fl)	95.6	3.3	36	88.3	101.7	1.2
	MCH	(pg)	31.6	1.2	36	29.7	34.2	1.2
	MCHC	(%)	33.1	0.6	36	32	34.7	1.1
	フェリチン	(ng/ml)	92.1	64.1	36	16.8	370.5	22.1

表2 血液検査結果 (女子)

番号	測定項目	(単位)	平均	標準誤差	例数	最小値	最大値	最大最小比
	総蛋白	(g/dl)	7.9	0.1	24	7	9.3	1.3
	GOT	(IU/L)	49	5	24	22	148	6.7
	GPT	(IU/L)	39	4	24	18	116	6.4
	LDH	(IU/L)	379	18	24	248	569	2.3
	CPK	(IU/L)	353	23	24	189	593	3.1
	総コレステロール	(mg/dl)	234	12	24	162	380	2.3
	中性脂肪	(mg/dl)	84	9	24	31	177	5.7
	遊離脂肪酸	(mg/dl)	1.3	0.4	24	0.11	10	90.9
	血糖	(mg/dl)	104.2	6.4	24	40	187	4.7
	尿酸	(mg/dl)	5.2	0.2	24	3.9	7.6	1.9
	尿素窒素	(mg/dl)	22.2	0.9	24	13.8	31.9	2.3
	クレアチニン	(mg/dl)	1.0	0.1	24	0.63	1.62	2.6
	Na	(mEq/l)	147.4	0.6	24	139	152	1.1
	Cl	(mEq/l)	106.9	0.5	24	102	113	1.1
	K	(mEq/l)	4.6	0.1	24	3.8	6.3	1.7
	Ca	(mg/dl)	9.3	0.1	24	8.3	10.9	1.3
	無機リン	(mg/dl)	3.9	0.2	24	2.2	5.3	2.4
	血清鉄	(μ g/dl)	147	9	24	81	240	3.0
	白血球	(μ L)	12138	893	24	5100	21500	4.2
	赤血球	($\times 10^4/\mu$ l)	433	7	24	353	489	1.4
	ヘモグロビン	(g/dl)	13.9	0.2	24	11.6	16	1.4
	ヘマトクリット	(%)	43.2	0.7	24	35.6	50.3	1.4
	血小板	($\times 10^4/\mu$ l)	25.9	1.0	24	14.8	34.3	2.3
	MCV	(fl)	99.9	0.8	24	93.8	106.7	1.1
	MCH	(pg)	32.2	0.3	24	29.6	35.4	1.2
	MCHC	(%)	32.2	0.2	24	30.3	33.9	1.1
	フェリチン	(ng/ml)	555.0	973.1	24	21.0	4295.5	204.5

実業団になるにつれ徐々にその頻度が増してくる。多くは血漿の希釈や鉄欠乏性貧血で始まり、初めのうちは鉄剤によく反応するので内服でもかまわないが、2～3年の経過で鉄剤に無効な難治性貧血となる。

この難治性貧血の原因にミネラルバランスの崩壊がある。貧血からの早期回復をのぞむあまり大量の鉄剤を体内に取り込んでフェリチン血症を招来した例が今回調査した北海道マラソンの上位入賞の選手にみられる。おそらくフェジン（鉄として1アンプル40mg）を一日1回の頻度で静脈注射を一週間続けて、フェリチン濃度が5～15倍（最高54倍）まで高くなり貯蔵鉄が豊富になった状態をとらえている。はじめのうちは、こうして赤血球やヘモグロビンも確実に上がり戦績も良好で、貧血は完全に緩解したかのように見える。ところが、鉄分は余りあるほどありながらも赤血球やヘモグロビンは高フェリチン血症の鉄に反応しなくなる。これが鉄に不応の典型的な亜鉛欠乏性貧血²⁾³⁾であり、不飽和鉄結合能(UIBC)は200 μ g/dl以下、造血ホルモン因子に影響するソマトメジンC(IGF-I)も感度低下に下がり、男性ホルモンのテストステロンは成人でありながら幼児なみの低い値で性欲が減退する。問題の血中亜鉛濃度はそれでも基準範囲の60～80mg/dl

あたりを推移するので、潜在的に体内亜鉛が不足している状況をスクリーニングでは見抜けない。

鉄中毒の集団的な事例としては、南アフリカのパンツ族の報告⁴⁾がある。彼らはアルコール飲料をつくる容器に鉄鍋を用いる習慣があった。それで発酵させたカフィールビールを飲むことで臓器への重度な鉄沈着症、門脈性肝硬変を起こしている。肝臓100gあたりの乾燥鉄重量は、年齢依存性が強く飲酒量にも比例していた。鉄の過剰摂取の肝は、毒物や毒性物質の影響をきわめて受けやすいことが知られ、免疫力が低下するといわれている。

(5) まとめ

北海道マラソンの上位に入賞するようなランナーには、過去に貧血を経験している者が多いと思われる。一部の選手は慢性的な鉄不足を経験しているとみられ、それを解消するために鉄剤フェジンの静脈注射を繰り返し行ったことを血清フェリチン濃度の高値からうかがわれる。体内に微量にしか存在しないミネラルが過剰摂取になっても排泄器官がないので、体内に高濃度のまま貯留しているものと考えられる。

個人差にもよるが持久走トレーニング者の貧血

は、鉄剤の利用によって赤血球やヘモグロビン濃度が自力で回復できる期間はおよそ2年である。これ以降、繰り返し発症する貧血の治療には、もはや鉄剤（内服や静脈注射）を供給しただけではミネラル代謝の状況をいっそう悪くして競技生活を早期に終える結果となる。体内のミネラルバランスをとるためには、「マルチミネラル+マルチビタミン」剤等を内服するほうが安全である。鉄剤フェジンの静脈注射は確実に競技生命を奪い、競技生活期間は短縮する。

(6) 参考文献

- 1) 小松則夫:貧血の診かたと鑑別. 日本医事新報. 4249. 1-9. 2005
- 2) Nishiyama, S. et al.: Zinc status relates to hematological deficits in women endurance runners. J. Am. Coll. Nutr. 15: 359-363, 1998
- 3) 井本岳秋ら: 男子長距離ランナーへの亜鉛投与はヘモグロビンと血清総蛋白を増加させる. 臨床スポーツ医学 18 (7): 809-814. 2001
- 4) Bothwell T. H. et al.: Siderosis in the Bantu. British Medical Journal. 24. 522-524, 1962

競歩審判員・競技者向けの国際競技会歩型判定動画資料の編集

法元康二¹⁾ 藤崎 明²⁾ 阿江通良³⁾

- 1) 青森県スポーツ科学センター 2) 日本陸上競技連盟競技運営委員会審判部
3) 筑波大学体育科学系

1. はじめに

公式競技会における競歩種目の判定は五名から八名の競歩審判員が視覚によって行ない、三名の審判員が競歩の定義に反していると判断して警告を与えた競技者は失格となる。また、競技規則に定めた失格宣告の手続きには、複数の競歩審判員による主観的判断を積み上げることによって客観性を担保するという前提があると思われるが、個々の判定が客観的指標に基づいたものでないことから、競歩審判員の編成が異なる場合、判定基準が変化する可能性がある。そのため、国内選考会で失格とならずに標準記録を突破したわが国の競技者が国際競技会で失格となるケースや、反対に、わが国の国内競技会では度々失格となる競技者が、国外の競技会ではわずかな回数の注意や警告を受けるだけで高水準の記録でフィニッシュするといったようなこともこれまで度々みられた。

国内競技会と国際競技会で異なると思われていた判定基準の違いを明らかにする必要から、オリンピックや世界選手権など、最高ランク（レベルⅢ）の国際競歩審判員のみが判定を行なう国際競技会と、わが国の審判員のみが判定を行なう競技会における判定結果と競技者の歩型の関係について筆者らは分析を行ない（法元ら，2005；法元，2005），その違いを明らかにすることを試みている。しかし，実際の競技会ではコース上を歩いている競技者を競歩審判員が肉眼で観察することによって判定が行なわれるため，わが国の競歩審判員とレベルⅢ国際競歩審判員の判定基準の違いを可能な限り小さくするためには，レベルⅢ国際競歩審判員による判定結果に基づいてトレーニングを行なうことが有効であろう。

これまでわが国で行なわれた競歩審判員の養成研

修会などでは，国内主要大会で判定を行なう競歩審判員を海外の高いレベルの国際競技会に派遣し，視察によって研修を行なう機会を求める声も聞かれたが，派遣のためには高額の経費が必要となることや，視察による研修を実際の判定技能に反映させるためには複数回の視察が必要であると思われることから，全ての国内競歩審判員が国際競技会の視察によって研修を行なうことは困難であると思われる。

実際の競技会における判定は，競技者の進路側方5-6mの地点に立って，競歩審判員の6-7m手前から正面に移動するまでの歩型に対して肉眼で行なうものとされ（財団法人日本陸上競技連盟，2005），また，国際陸上競技連盟では，ビデオによる競技会後の歩型判定を導入しない方針を打ち出している。しかし，国際陸上競技連盟では，レベルⅢ国際競歩審判員の昇格試験にビデオ資料による判定試験を導入しており，実際の競技会での判定試験に次ぐ手法としてビデオ資料を活用している。判定技能のトレーニングのためには，繰り返し学習が有効であると考えられることや，わが国における都道府県内の競技会から日本選手権大会などの主要大会にいたるまで，判定基準の差異をできるだけ少なくするためには，数多くの競歩審判員に対して同じ資料で研修を実施することが有効であると考えられることから，実際の競技会での実地研修に次ぐ手法としてビデオ資料の活用は有益であろう。

そこで，本報では，オリンピックや世界選手権など，最高ランク（レベルⅢ）の国際審判員のみが判定を行う国際競技会で撮影したビデオ画像と競歩審判員集計表に記録された判定結果をもとに編集した画像資料について，実際の研修会におけるアンケート結果などを加えて報告を行なう。

2. ビデオ編集

下記の競技会・種目について、周回コースのコース脇歩道より民生用デジタルビデオカメラによって、通過する競技者をランダムに撮影した。

- ・2004年8月20日 アテネ五輪男子20km競歩
- ・2004年8月27日 アテネ五輪男子50km競歩
- ・2005年8月6日 世界選手権ヘルシンキ大会男子20km競歩
- ・2005年8月6日 世界選手権ヘルシンキ大会女子20km競歩
- ・2005年8月12日 世界選手権ヘルシンキ大会男子50km競歩

撮影したVTR画像は、カノープス社製ビデオキャプチャによって、撮影した集団ごとにAVIファイルとして日立製作所製パーソナルコンピュータに取り込んだ。競技会終了後に国際競歩審判員から入手した種目ごとの競歩審判集計表にもとづき、取り込んだAVIファイル内の注意・警告なしの競技者および注意のみの競技者をCorrect（ルール適合）群、失格となった競技者をNot Correct（ルール非適合）群に分類して、アドビ社製の編集ソフトウェアを用いて編集した。

編集に際しては、国際陸上競技連盟で用いている審判試験用のビデオ資料を参考にしたが、種目ごとにタイトル画像（図1）を先頭におき、その次に三秒間の静止画像で対象選手のナンバーと画像上の位置を矢印で示したあと（図2）、対象となる競技者がカメラの前を通過するまでの動画を示すようにした（図3）。実際の競技会では、競歩審判員は競技者進路の5-6m側方に立ち、審判員の斜め前方45度から審判員の正面までを競技者が通過するまでの歩型を判定するものとされているが、ビデオ画像では正面を通過後に突然画像を切ると非常に見づらいものとなるため、通過後1-2秒間に競技者の背後から撮影した画像も編集画像に含んだ。編集画像は、問題集編と解答編の二編に分けて編集し、問題集編では一名の競技者の動画に続いて次の競技者の静止画像が示すようにしたが、解答編では動画の後に判定結果とCorrect, Not Correctの別を示すキャプションを約三秒間示すようにした（図4）。編集したビデオ資料で示した競技者の人数と長さは、各種目あたり15-25名となったが、全種目の解答編のみで合計で30分程度となり、解説とあわせて60分程度の研修会で使えるものとなった。



図1 タイトル画像



図2 対象選手表示



図3 動画画像

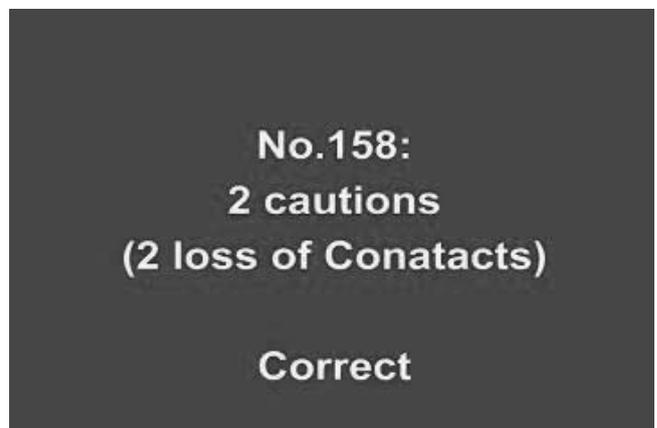


図4 判定結果表示

表1 2005年度主要国内競技会での高校生以上の種目における失格率と競技者一名当たりの注意数・警告数

競技会名	出場者数	全出場者に対する失格率	競技者一名当たり注意数	競技者一名当たり警告数
日本ジュニア選抜競歩石川大会 (5月)	37名	21.6%	3.08回	1.38回
日本ジュニア選手権 (6月)	21名	23.8%	3.24回	1.10回
日本インカレ (7月)	55名	40.0%	3.27回	1.82回
全国高校総体 (8月)	94名 (延べ人数)	15.9%	2.54回	1.17回
国民体育大会 (10月)	77名	19.5%	2.91回	1.23回
全日本高島競歩 (10月)	145名	15.1%	2.49回	0.88回
日本選手権20km競歩 日本ジュニア選抜競歩 (1月)	249名	6.8%	1.43回	0.43回

注1)全日本競歩輪島は国際審判員による判定のため除外
注2)全日本競歩根上は周回コースが5kmのため除外

表2 日本選手権 20km 競歩大会 (2006年1月29日, 神戸) 審判・指導者クリニックでのアンケート結果

審判からの回答結果(回答者23名)				
経験年数	10年以上(13名)	5-10年(7名)	1-5年(3名)	1年未満(0名)
競技会レベル	国際競技会(3名)	全国(13名)	地域(1名)	都道府県(4名) 無回答(2名)
VTR画像	見やすい(9名)	よくも悪くもない(9名)	見づらい(1名)	無回答(2名)
自分の判定との比較	ほぼ同じ(4名)	同じものと違うものが半々(18名)	違うものが多い(1名)	
今後に向けて	役立つ(20名)	わからない(2名)	役立つ(1名)	
指導者からの回答結果(回答者8名)				
経験年数	10年以上(4名)	5-10年(4名)	1-5年(0名)	1年未満(0名)
競技会レベル	国際競技会(3名)	全国(2名)	地域(2名)	都道府県(1名)
VTR画像	見やすい(4名)	よくも悪くもない(4名)	見づらい(0名)	
自分の判定との比較	ほぼ同じ(0名)	同じものと違うものが半々(7名)	違うものが多い(1名)	
今後に向けて	役立つ(8名)	わからない(0名)	役立つ(0名)	

3. アンケート結果と国内競技会での判定結果の変化

編集したビデオ資料は、2005年10月30日に開催された全日本50km競歩大会および2006年1月29日に開催された日本選手権20km競歩大会のそれぞれ前日に行なわれた審判・指導者向けの研修会で上映し、日本選手権前日の研修会ではアンケートによる調査を行なった。表1はアンケートの結果であるが、審判および指導者の両方から概ね好評が得ら

れた。

また、日本陸連強化委員会競歩部および競技運営委員会審判部では、国際競技会と国内競技会での判定基準の相違をなくすべく2004年1月にレベルⅢ国際競歩審判員を招いて審判研修会をおこない、また、2004年12月にJRWJ(日本競歩審判員養成講師)研修会を実施し、国際競歩審判員試験で用いられているビデオ資料も研修資料の一つとして用いている。しかし、その後の競技会では判定基準が主要国際競技会と比較して厳しいものになったのではな

いかという意見が近年の国際競技会に帯同した多くのコーチより上がるようになった。また、国際競技会で注意および警告を全く与えられなかった競技者が国内競技会で多くの注意や警告を与えられる事態も発生している。

国際競歩審判員の試験用資料はテレビ放映用の映像を再編集したもので実際の審判の視点から見たものとは異なり、また、映像再編集後に Correct か Not Correct かを映像をもとに判定しなおしたものであり実際の競技会での判定とは必ずしも一致しないことから、この資料はあくまで参考とすべきという意見も国際陸連競歩委員会の内部にもあった。わが国における国際陸連ビデオ資料の使用後にみられた事態は、このような資料を絶対視することで発生したものと思われる。本稿で報告したビデオ資料はこうした事態を是正すべく編集したものであるが、表2に示した2005年度における主要競技会の出場者一名あたりの注意および警告の数は、研修会(2005年10月および2006年1月)での上映前と上映後では大きく変化していた。これらの競技者に出場した選手は必ずしも毎試合同一ではなく、また、競歩審判員の判定は、個々の競技会での一周ごとの競技者の歩型に対して行われるものである。そのため、このような注意および警告数の変化は、審判員の判定基準の変化のみならず、競技者の歩型の変化も反映したものであるが、新たに編集したビデオ資料の上映効果を否定するものではないであろう。

4. おわりに

競技規則に定めるように、競歩種目の判定は肉眼による観察と判断に基づいて行なわれるものであるため、競歩審判員の技能評価および技能向上のためには、技能の高い審判員の指導のもとで実際の競技会で歩いている競技者を観察するのが最良であろう。しかし、全国高校総体への競歩種目の導入などによる競技人口と競技会の増加に伴う競歩審判員の需要増に対応するためには、全ての競歩審判員を国際競技会に派遣し、実地による視察研修を行なうことは不可能と思われる。本報で報告したビデオ資料の効果が適正であったかどうかは検証できなかったが、上映前後での一人当たりの注意・警告数が変化したことから、審判員の技能研修において一定の効果があつたと考えられる。

本報のビデオ資料の編集内容が適正かどうかについては、レベルⅢ国際審判員に送付し、検討されているところである。しかし、実際の競技会における

判定は競歩審判員の前を競技者が通過する際の歩型に対して行なわれるため、撮影用カメラに映った競技者の歩型は競歩審判員の前での歩型とは必ずしも同一でない可能性を含んでいる。そのため、本報で報告した資料は国際競歩審判員の試験用資料と同様にあくまで次善の策として活用すべきものであろう。また、今回の資料のもととなった競技会は世界最高峰の国際競技会であったため失格者数が少なく、失格となる歩型、とりわけロス・オブ・コンタクトの典型例は多く集められなかった。そのため、レベルⅢ国際審判員が判定を行なう競技会でのロス・オブ・コンタクトの例を増やすことで、ビデオ資料の編集は完結すると思われる。

引用文献

- 法元康二, 杉田正明, 藤崎 明, 阿江通良 (2005) アテネオリンピックと第43回全日本競歩輪島大会の男子20km競歩におけるベント・ニー判定の比較. 日本陸上競技連盟陸上競技研究紀要, 第1巻, 124-127.
- 法元康二 (2005) ロス・オブ・コンタクトの判定分析からみた競歩. 月刊陸上競技, 39 (6), 160-162.
- 財団法人日本陸上競技連盟 (2005) 陸上競技審判ハンドブック 2005～2006年版. あい出版, 東京, pp237-262.

走高跳における助走終盤のコース取りと踏切準備動作との関係

赤井 裕明¹⁾ 村木 有也²⁾ 阿江 通良³⁾

1) 筑波大学 体育専門学群 2) 筑波大学大学院 3) 筑波大学体育科学系

1. 緒言

走高跳の跳躍スタイルには、主にはさみ跳び、ベリーロール（ストラドル）、背面跳（フォスベリー・フリップ）などがあり、現在に至るまで、跳躍スタイルははさみ跳びからベリーロールへ、さらに背面跳へと変化してきた。現在の世界記録（男子、2.45 m, J. Sotomayor, 1993; 女子、2.09 m, S. Kostadinova, 1987）は、背面跳によって樹立されたものである。背面跳の特徴は、助走終盤において曲線上を走るという点である。背面跳が主流となった理由として、村木（1982）は曲線助走を用いることで身体の内・後傾により適切な踏切準備姿勢をとり、踏切離地時にバー方向への倒れ込みを少なくし、踏切での力のロスが少ない効率の良い跳び方であると述べている。

走高跳は大きく、助走、踏切準備、踏切、クリアランスの4局面に分けられる。背面跳は、助走前半では直線上を、後半（一般的に踏切5歩前から）では曲線上を走る。この曲線助走の効果に関して、関岡ら（1978）は直線助走を用いた背面跳およびベリーロールと曲線助走を用いた背面跳の踏切準備動作とを比較し、曲線助走をおこなうと、踏切準備局面であまり膝を屈曲せずに重心を低くすることができる、曲線上を走ると曲線の内側に体が傾き、それに伴って重心が低下する、曲線助走を用いた背面跳では踏切準備局面で助走速度が低下しなかったと報告している。また Dapena（1980）は直線助走と曲線助走を用いた背面跳とを用いて比較した結果、曲線助走を用いた背面跳では踏切接地時の身体の内傾角が大きかったこと、踏切局面において身体の内傾の起こし回転による身体重心の鉛直変位が大きかったと報告している。これらのことから、曲線助走は、身体の内傾によって重心高を下げることで助走速度を維持することができると考えられる。

阿江（1992）は走高跳の踏切では、助走速度を利用してできるだけ大きな鉛直速度を得ることが課題であると述べているように、大きな跳躍高を獲得するために踏切までに大きな助走速度を得ておくことは重要である。そして、助走速度を維持して踏切に移るために、助走後半における曲線走および身体の内傾が関係していると考えられる。阿江（1986）は、曲線助走を用いた背面跳の踏切準備動作を分析し、身体重心を下げる方法として主に身体の内傾を用いるタイプと、身体の内傾と支持脚の屈曲の両方を用いるタイプがあることを明らかにした。さらに身体の内傾によって重心を下げるタイプでは、助走速度のロスを抑えることができるが、踏切1歩前支持時間が減少するため身体の後傾を大きくすることが難しくなると述べている。走高跳の背面跳に関する研究から、曲線助走の効果や踏切準備局面における身体重心の下げ方に関する知見が得られてきた。しかし、曲線助走の弧の大きさに関する研究はみられず、指導書においてもあまり述べられていない。また、踏切準備局面における曲線の弧の大きさ（コース取り）と動作の関係に着目した研究もみられない。背面跳の特徴である曲線助走において、助走コースの取り方の違いが動作に及ぼす影響は大きいと考えられ、コース取りと動作との関係について検討する必要があると考えられる。

そこで、本研究の目的は、男子走高跳選手の助走終盤のコース取りおよび踏切準備動作をバイオメカニクス的に分析し、走高跳の背面跳における効果的な助走のコース取りおよび踏切準備動作に関する示唆を得ることである。

2. 方法

2.1 VTR 撮影

第5回筑波大競技会（2005.06.11）およびセイ

表1 被験者の特性

被験者名	身長 (m)	体重 (kg)	記録(m)		競技会名
			分析試技	Best	
H.A	1.79	66	2.10	2.13	筑波大競技会
Y.A	1.81	70	2.15	2.16	筑波大競技会
H.T	1.71	58	2.15	2.18	筑波大競技会
T.W	1.72	59	2.05	2.05	筑波大競技会
T.M	1.81	68	2.00	2.06	筑波大競技会
N.D	1.82	67	2.20	2.27	セイコー・スーパー陸上
I.U	1.93	82	2.23	2.30	セイコー・スーパー陸上
Y.S	1.81	66	2.10	2.16	セイコー・スーパー陸上
平均(標準偏差)	1.80 (0.07)	67 (7.39)	2.12(0.08)	2.16(0.09)	

コー・スーパー陸上 (2005. 9. 19) において、男子走高跳に出場した国内外一流および大学選手計 8 名 (身長, 1.80 ± 0.07 m; 体重, 67 ± 7.39 kg; 自己ベスト記録, 2.16 ± 0.09 m) を分析対象とした (表 1)。静止座標系は、地面と水平でかつバーと垂直に交わる軸を X 軸, 地面と水平でかつバーと平行の軸を Y 軸, 地面と鉛直な軸を Z 軸と設定した。踏切 3 歩前から踏切までの動作を、筑波大競技会では DV カメラ 2 台 (VX2000, SONY 社製) を、セイコー・スーパー陸上ではハイスピード VTR カメラ 2 台 (HSV-500C3, NAC 社製) を用い撮影した。両競技会とも、試合開始前にキャリブレーションポールを撮影範囲内の計測点に順次鉛直に立てて撮影した。なお、セイコー・スーパー陸上の VTR 画像は、日本陸連科学委員会の活動によって撮影されたものである。

2.2 データ処理

撮影した VTR 画像から、ビデオ動作解析システム (Fream-DIAS II ver. 3, DKH 社製) を用いて身体分析点 25 点を踏切 2 歩前接地 10 コマ前から踏切離地後 10 コマまで、1 コマ毎にデジタイズした。また、踏切 3 歩前接地時の支持足足先もデジタイズを行った。各カメラについて得られたコントロールポイントの座標値から DLT 法を用いて身体分析点の 3 次元実座標値を算出した。コントロールポイントの 3 次元実座標値と計算値との平均誤差、筑波大競技会では X 座標が 0.086 m, Y 座標が 0.045 m, Z 座標が 0.036 m, セイコー・スーパー陸上では X 座標が 0.012 m, Y 座標が 0.014 m, Z 座標が 0.016 m であった。

身体分析点の座標値は、Wells and Winter (1980) の方法を用いて分析点毎に最適遮断周波数を決定し、4 次の Butterworth low-pass digital filter を用いて平滑化した。実際に用いた遮断周波数は、

筑波大競技会では X 座標 2.4 ~ 6 Hz, Y 座標 1.2 ~ 5.4 Hz, Z 座標 4.2 ~ 6 Hz, セイコー・スーパー陸上では X 座標 5 ~ 7.5 Hz, Y 座標 5 ~ 7.5 Hz, Z 座標 5 ~ 7.5 Hz あった。また、阿江ら (1996) の身体部分慣性係数を用いて、全身および身体各部の重心座標を算出した。

本研究では、踏切 2 歩前 (L2), 踏切 1 歩前 (L1), 踏切 (T) の接地 (on) および離地時 (off) を基準に 7 つの局面に分けて分析を行った。

2.4 算出項目と算出方法

身体分析点および重心の座標値をもとに、以下に示す項目を算出した。また身体の傾き角 (内・後傾角) を算出するため、1 コマ毎に身体重心水平速度ベクトル (X と Y 成分の合成) を X' 軸, 地面と水平でかつ X' 軸に直交する軸を Y' 軸とし、分析試技ごとに身体座標系を定義した。

①踏切離地時重心高 (H₁): 踏切足離地時における身体重心高。表 2

②重心上昇高 (H₂): 踏切足離地後から重心が上昇した高さで、以下の式から算出した

$$H_2 = V_v^2 / 2g \quad (g = 9.8 \text{ m/s}^2)$$

ここで、V_v は踏切足離地時の鉛直重心速度である。表 2

③最大重心高 (H_{max}): 重心の最高到達点なので、H₁ と H₂ の和。表 2

④クリアランス高 (H₃): バーの高さと H_{max} との差

⑤助走足跡: 各歩の支持足足先の接地位置

⑥足跡の方位角 (θ): 各歩の支持足爪先間を結んだ線分と Y 軸とのなす角度

⑦ストライド (L): 各歩間の支持足つま先の水平距離

⑧曲率半径: ある歩から次の歩に移る際の曲がりの程度を表す、以下の式によって算出した。

表2 跳躍高に関するパラメーター

被験者名	分析試技 (m)	Hmax (m)	H1 (m)	H1/身長 (%)	H2 (m)	H3 (m)
H.A	2.10	2.19	1.25	70.05	0.93	0.09
Y.A	2.15	2.20	1.26	69.86	0.94	0.05
H.T	2.15	2.24	1.19	69.71	1.05	0.09
T.W	2.05	2.07	1.19	69.38	0.88	0.02
T.M	2.00	2.09	1.22	67.14	0.88	0.09
N.D	2.20	2.35	1.23	67.77	1.11	0.15
I.U	2.23	2.33	1.35	69.77	0.99	0.10
Y.S	2.10	2.24	1.26	69.56	0.98	0.14
平均(標準偏差)	2.12 (0.08)	2.21 (0.10)	1.24 (0.05)	69.15 (1.08)	0.97 (0.08)	0.09 (0.04)

曲率半径 = $L_i / (\theta_{i-1} - \theta_i)$ ($i = 2, 1$)

ここで、 i は踏切前の歩数を示している ($i = 0$ の時は踏切)。

⑨傾き角：各歩の接地および離地時において、重心線、支持脚および体幹がZ軸となす角度。重心は重心線と支持脚足関節、支持脚は支持脚股関節と足関節、体幹は胸骨上縁と両股関節の midpoint とを結ぶ線分とした。

⑩内傾角：重心水平速度ベクトルに対して後方 (Y' Z 平面) からみた傾き角。正は内傾、負は外傾していることを示す

⑪後傾角：重心水平速度ベクトルに対して側方 (X' Z 平面) からみた傾き角。正は後傾、負は前傾していることを示している。なお、重心および支持脚は、いずれの歩においても離地時には前傾していることから、接地時のみ示した。

⑫肩および腰のひねり角：重心水平速度ベクトルと両肩および両股関節を結ぶ線分と Y' 軸とのなす角度

3. 結果および考察

3.1 助走終盤のコース取りと助走速度との関係

図1および図2は、被験者の足跡と重心水平速度の変化を、表3は各歩における曲率半径を示したものである。重心水平速度は助走において獲得されるが、走高跳の背面跳の助走終盤においては曲線上を走るため、助走のコース取りによって助走速度の大きさも影響を受けると考えられる。このとき足跡をみると、H.Aは最も外側を、Y.Sは最も内側を通過していた(図1)。一方、2歩平均の曲率半径は、H.A, Y.Sともに平均値よりも小さいものであった(表3)。このことから、バーに対する各歩の接地位置と助走曲線の大きさには関係がないと考えられる。各歩の

曲率半径に着目すると、いずれの被験者においても踏切2歩前に比べ1歩前では小さくなり、標準偏差も小さかった。踏切2歩前の曲率半径は、日本上位選手(N.D)および外国人選手(I.U)が他の選手に比べて大きかったことから、助走のコース取りには、踏切2歩前の曲率半径が20m以上と大きい被験者(N.D, I.U)と、14m以下の小さい被験者(その他の被験者)の大きく2つに分けることができると考えられる。運動の方向を変えるためには、支持期において目的とする方向とは反対方向に地面を蹴るが、曲線が急であるほど助走速度の維持が難しくなると考えられる。2歩平均の曲率半径の大きいN.Dは、踏切1歩前から踏切にかけての重心水平速度の減速が小さく、曲率半径の小さなH.Tは減速が大きかったことから、曲がりの急な助走は踏切準備局面における助走速度の大きさに影響をおよぼすと考えられる。

3.2 助走のコース取りと踏切1歩前における身体の内傾との関係

身体重心高とパフォーマンスとの関係について、Hay(1985)は踏切接地時の身体重心が低ければ低いほどパフォーマンスが高いと報告している。このことから、走高跳において跳躍高を増すためには、踏切接地時までには重心を低くしておく必要があると考えられる。曲線助走を用いる背面跳の踏切準備局面において、重心を下げる方法として身体の内傾を用いるタイプと、身体の内傾と支持脚の屈曲の両方を用いるタイプがあると報告されている(阿江, 1986)。また、身体の内傾は、曲線上を走ることによって発生する遠心力に抗するために必要となる。これらことから、身体の内傾は、身体重心を低くする、助走終盤における遠心力に抗するという2つの役割があると考えられる。

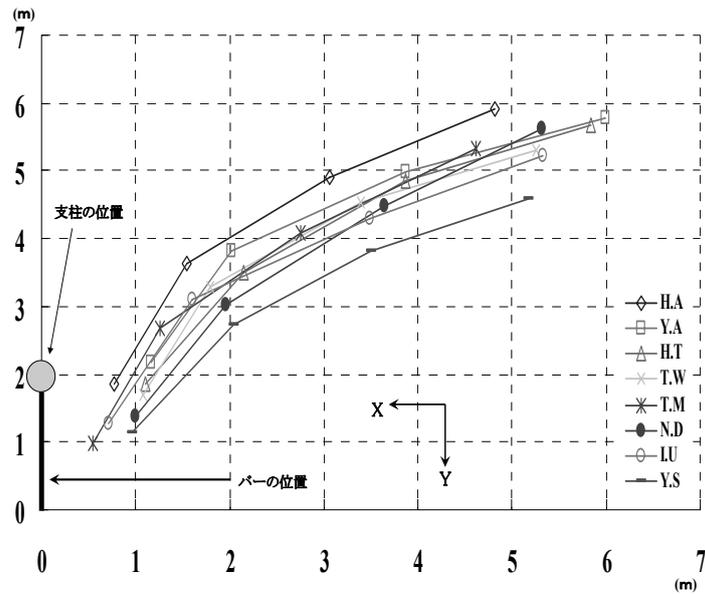


図1 踏切3歩前から踏切における足跡

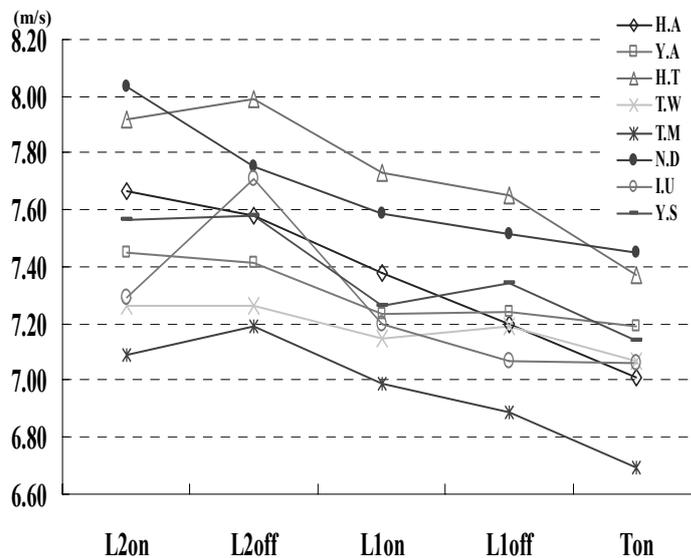


図2 踏切2歩前から踏切における重心水平速度

図3は各被験者における内傾角の変化を示したものである。踏切1歩前接地時では、踏切2歩前の曲率半径が大きい被験者(N.D, I.U)は支持脚の内傾が小さく、2歩前の曲率半径が小さい被験者(H.A, Y.A, H.T, T.W)は支持脚の内傾が大きくなっていった。また、支持脚の内傾が小さ(大)ければ、重心の内傾は小さ(大)くなるというように、重心の内

傾に対する支持脚の内傾の影響は大きかった。

次に、踏切1歩前離地時では、2歩前の曲率半径が大きい被験者は1歩前接地時と比べて支持脚の内傾が大きく、体幹の内傾が小さくなっていった。一方、踏切2歩前の

曲率半径が小さい被験者は、1歩前接地時と比べて1歩前離地時の支持脚の内傾は小さく、体幹の内

表3 踏切2歩前および1歩前における曲率半径(m)

	H.A	Y.A	H.T	T.W	T.M	N.D	I.U	Y.S	平均	標準偏差
2歩平均	7.57	6.21	7.05	5.55	8.98	13.93	13.20	7.06	8.69	3.17
2歩前	10.65	8.39	9.27	7.21	13.66	22.15	22.76	8.21	12.79	6.28
1歩前	4.48	4.02	4.83	3.88	4.29	5.71	3.64	5.90	4.59	0.83

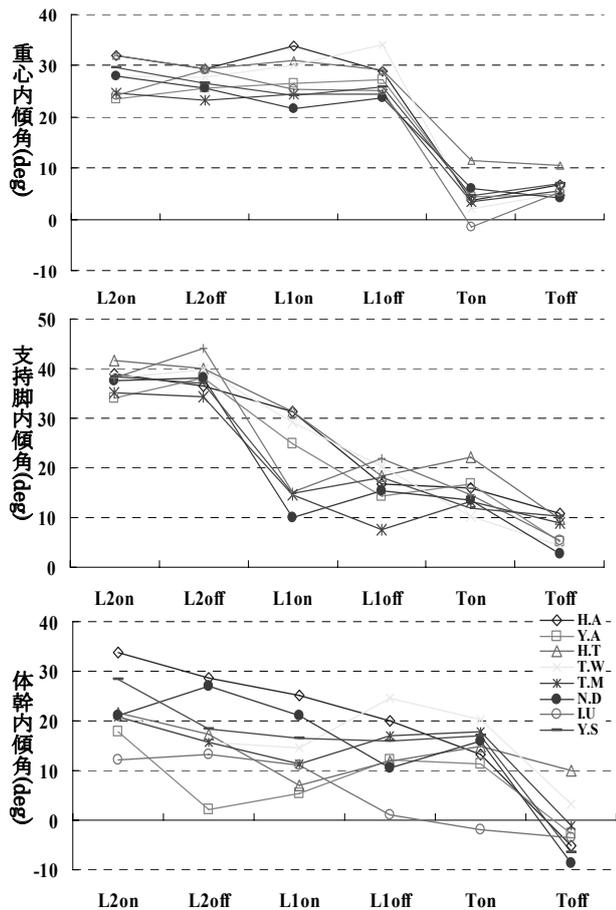


図3 踏切2歩前から踏切における重心、支持脚および体幹の内傾角の変化

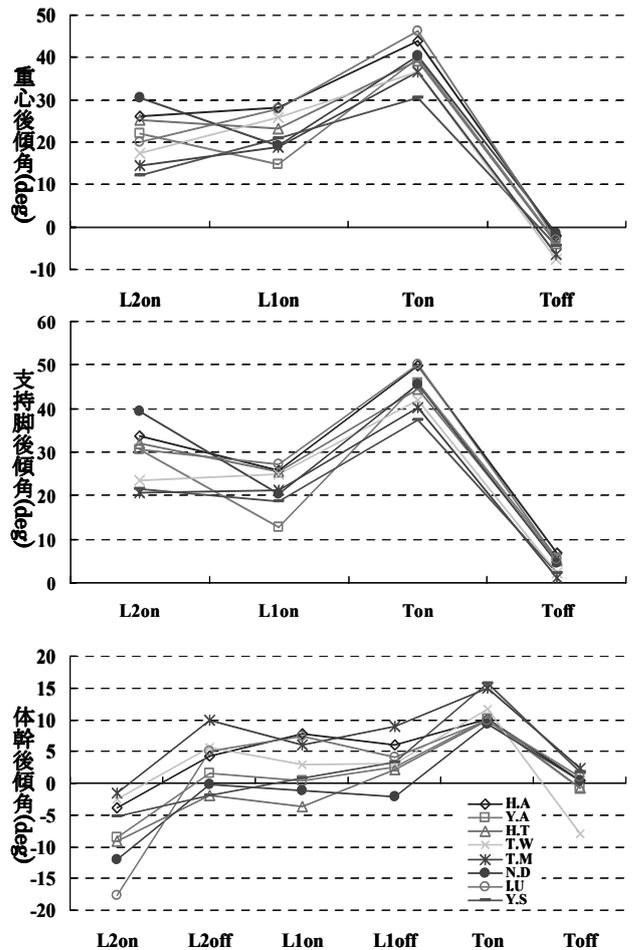


図5 踏切2歩前接地から踏切離地における後傾角の変化

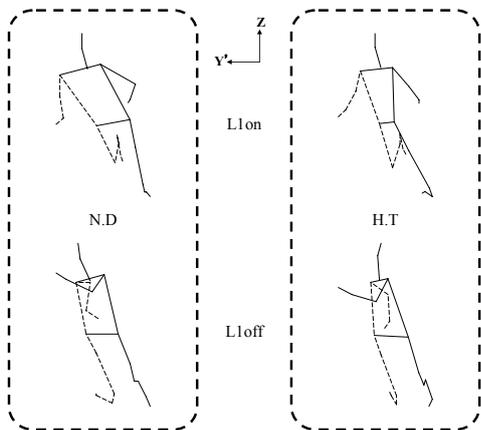


図4 踏切1歩前接地および離地における被験者N.DとH.Tのフォーム

傾は大きくなっていった。

図4は踏切1歩前接地および離地時における踏切2歩前の曲率半径が大きかったN.Dと逆に小さかったH.Tのフォームを示したものである。N.DとH.Tを比較してみると(図4), N.Dでは踏切1歩前接地時よりも離地時の方が支持脚の内傾が大きくなっていったが、H.Tでは1歩前離地時には支持脚は外傾し

ていたことから、踏切2歩前の曲率半径の小さな被験者では、助走終盤では支持脚が曲線の外へと振られてしまい、一方で小さくなってしまいう重心の内傾を保つために体幹の内傾を大きくして遠心力に抗していたと考えられる。

これらのことから、2歩前の曲率半径の大きい被験者は重心の内傾は小さく、2歩前の曲率半径の小さい被験者は重心の内傾が大きくなると考えられる。また、踏切1歩前接地時から離地時にかけて、支持脚が外傾しないように、2歩前の曲率半径が大きくなるようなコース取りをすることが助走速度の減速を大きくしないために有効だと考えられる。

3.3 助走のコース取りと踏切1歩前における身体の後傾との関係

図5は、踏切2歩前から踏切における身体の後傾角の変化を示したものである。踏切2歩前接地時では支持脚は後傾していた。踏切1歩前接地時では、支持脚の後傾が大きい被験者(H.A, H.T, T.W, T.M, I.U)は、体幹および重心の後傾が大きく、支持脚

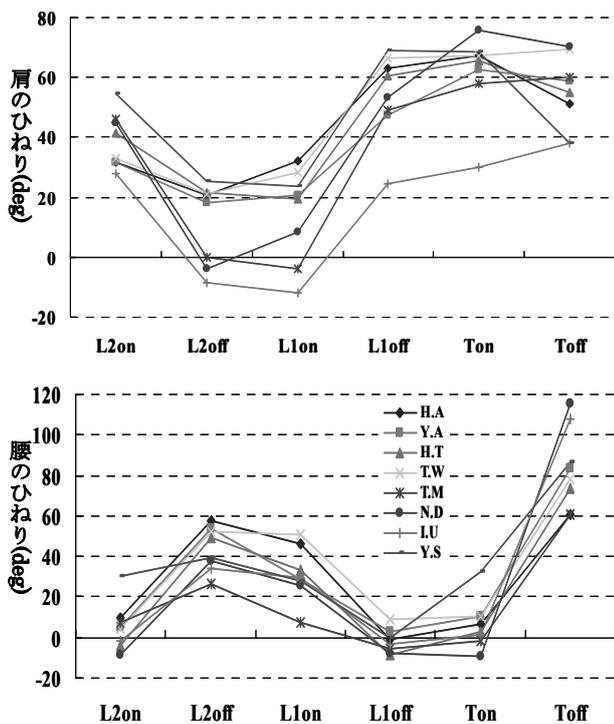


図6 踏切2歩前接地から踏切における肩および腰のひねり角の変化

の後傾が小さい被験者 (Y.A, N.D, Y.S) は体幹および重心の後傾が小さくなる傾向がみられた。しかし、踏切2歩前接地時の支持脚の後傾が大きい被験者群、小さい被験者群のどちらにも、踏切2歩前の曲率半径が大きい被験者と小さい被験者が含まれることから、助走のコース取りと踏切2歩前における身体の後傾には関係がないと考えられる。

踏切1歩前における重心の後傾の変化には、2つのパターンがみられた。1つは踏切2歩前に比べ踏切1歩前接地時に後傾が小さくなるパターンで、もう一方は、大きくなるパターンである(図5)。踏切2歩前に比べ、踏切1歩前接地時における重心の後傾が小さいと水平重心速度の減少は小さく、逆に重心の後傾が大きくなると水平重心速度の減少が大きくなるという傾向がみられた。また、体幹の後傾では、被験者 H.A, H.T, T.M は踏切1歩前接地から離地にかけて体幹の後傾が大きくなっており、重心水平速度の減少も大きかった。踏切1歩前における助走速度の減速には、重心の後傾の影響が考えられる。踏切では身体の起こし回転を利用するために、踏切接地時の身体の後傾を大きくすることは有効であると考えられる。しかし、踏切1歩前支持期、またはそれ以前から重心および体幹の後傾が始まっている被験者では、重心水平速度の減少が大きい傾向にあった。このことから、踏切1歩前離地時まで体

幹はほぼ垂直に保ち、踏切に移行する間に素早く後傾することが助走速度の減速を小さくするために有効であると考えられる。

図6は、踏切2歩前から踏切における肩および腰のひねり角の変化を示したものである。踏切2歩前の曲率半径が大きい被験者 (N.D, I.U) は、踏切1歩前において肩および腰のひねりが小さかったが、2歩前の曲率半径が小さい被験者 (H.A, Y.A, H.T, T.W, Y.S) では肩および腰のひねりは大きかった。踏切2歩前の曲率半径が小さい場合は、遠心力で身体が外傾するのを防ぐために、肩と腰を内傾する方向に向けて内傾姿勢を取りやすくしていたのではないかと考えられる。これは図3に示したように、踏切2歩前の曲率半径の小さい被験者は重心の内傾が大きくなる傾向にあることから、踏切1歩前における肩および腰のひねりは重心の内傾を大きくするための動作であったと考えられる。また、肩および腰のひねりは、踏切2歩前の曲率半径が大きい被験者で小さく、2歩前の曲率半径が小さい被験者では大きいという傾向がみられたことから、助走コースによって肩および腰のひねりを調整していると考えられる。したがって、助走中の弧の大きさ見るためには、曲線助走中の肩および腰のひねりを見るのが有効である。

4. まとめ

- ① 踏切2歩前の曲率半径の大きいものは、踏切1歩前で重心水平速度の減少が小さく、曲率半径の小さいものは重心水平速度の減少が大きかった。
 - ② 2歩前の曲率半径の大きいものでは重心の内傾は小さく、2歩前の曲率半径の小さいものは、重心の内傾が大きく、踏切1歩前接地から離地にかけて支持脚が外傾する傾向にあった。
 - ③ 重心の後傾が小さいと、水平重心速度の減少は小さい。踏切1歩前支持期、またはそれ以前から重心および体幹の後傾が始まっているものでは重心水平速度の減少が大きかった。
 - ④ 2歩前の曲率半径が大きいものは、肩および腰のひねりが小さかった。一方、肩および腰のひねりが大きかったものは、重心の内傾が大きかった。
- 以上のことから、走高跳の背面跳における効果的な助走コース取りおよび踏切準備動作に関して、以下のような示唆が引き出せるであろう。
- ① 大きな助走速度獲得には、曲率半径の大きなコース取りを行うことが有効である。
 - ② 踏切1歩前離地時に支持脚の外傾を防ぐため

には、2歩前の曲率半径を大きくすることが有効である。

③ 踏切1歩前支持期では、体幹を垂直に保ち、踏切1歩前離地後に身体を後傾することが有効である。

参考文献

- Ae, M., Sakatani, Y., Yokoi, T., Hashihara, Y., Shibukawa, K. (1986) Biomechanical analysis of the preparatory motion for takeoff in the Fosbury flop. *International Journal of Sport Biomechanics*, 2, pp 66-77.
- 阿江通良 (1992) 陸上競技のバイオメカニクス. 日本陸上競技連盟編, 陸上競技指導教本, 大修館: pp 33-53.
- 阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 15 (3), pp 155-162.
- 阿江通良, 戸谷直喜, 富樫時子, 森丘保典, 飯干明, 結城匡啓 (1997) アジア大会における走高跳のバイオメカニクスの分析. アジア一流陸上競技者の技術, (第12回広島アジア大会陸上競技バイオメカニクス研究班報告), 財団法人日本陸上競技連盟, pp 113-135
- Dapena, J (1980a) Mechanics of translation in the Fosbury-flop. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12, pp 37-44.
- Dapena, J (1980a) Mechanics of translation in the Fosbury-flop. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 12, pp 45-53.
- Hay, J. G. (1973) A kinematic look at the high jump. *Track Technique*, 53, pp 1697-1703.
- Hay, J. G. (1985) *The biomechanics of sports techniques* third edition. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- 飯干明, 阿江通良, 結城匡啓, 高松潤二, 長沢光雄, 湯海鵬 (1994) 走高跳のバイオメカニクスの分析. 世界一流競技者の技術, ベースボールマガジン社, pp 169-184.
- 村木征人 (1982) 陸上競技(フィールド), 現代スポーツコーチ実践講座 2 ギョウせい.
- Wells, R. P., Winter, D. A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. *Human Locomotion*, I, pp 92-93

競技会における一流男女走幅跳，三段跳および棒高跳選手の 助走速度分析

小山宏之¹⁾ 村木有也¹⁾ 武田理¹⁾ 阿江通良¹⁾ 伊藤信之²⁾
 1) 筑波大学 2) 横浜国立大学

1. はじめに

本報告では，レーザーを利用した速度測定装置(LAVEG)を用い，一流走幅跳，三段跳および棒高跳選手の助走速度を分析した結果を示す．なお，これらのデータの大部分は競技会後一週間以内にコーチと選手にフィードバックしたものである．

2. 方法

レーザーを利用した速度測定装置(LAVEG)を用い，跳躍者の助走速度を測定した．分析対象試合は以下に示す通りである．

- ・ 2005年4月29日 第39回織田幹雄記念国際陸上競技大会(織田記念)
- ・ 2005年5月3日 第21回静岡国際陸上(静岡国際)
- ・ 2005年5月7日 ヤマザキ国際グランプリ陸上大阪大会(大阪GP)

- ・ 2005年6月2～5日 第89回日本陸上競技選手権(NCH)
- ・ 2005年9月19日 セイコースーパー陸上2005ヨコハマ(SUPER)

3. データについて

3.1 男子棒高跳選手の助走速度曲線

図1～2は2005静岡国際，日本選手権における男子棒高跳選手の助走速度曲線を示したものである．また，表1～2は2005静岡国際，日本選手権分析対象者の全試技の最高速度およびその出現地点を示したものである．

澤野選手は静岡国際陸上において5.83mの日本記録を樹立した．その時の助走速度は5.80mの前日本記録時(9.45m/s，小山ら，2005)に比べ約0.20m/s小さかった．表1および2に示したように，2005年における澤野選手の助走速度の最高値は9.20m/s前後であることが多く(平均9.21±0.07m/s @ 9.6±0.4m)，2004年に比べ(平均9.31±0.08m/s，n=24，小山ら，2005)小さい傾向であった．また，最高速度の出現地点が2004年に比べボックスより

表1 静岡国際男子棒高跳上位入賞選手の助走における最高速度およびその出現地点

選手	高さ (試技)	5.15 (1)	5.25 (1)	5.25 (2)	5.25 (3)	5.35 (1)	5.65 (1)	5.65 (2)	5.75 (1)	5.75 (2)	5.75 (3)	5.83 (1)	5.83 (2)	5.90 (1)	5.90 (2)	5.90 (3)
澤野	m/s (m)	—	—	—	—	—	9.15 (9.0)	9.18 (9.8)	9.25 (9.8)	9.38 (9.2)	9.27 (10.1)	9.19 (9.7)	9.20 (9.2)	9.24 (9.5)	9.16 (9.8)	9.28 (9.8)
安田	m/s (m)	—	9.27 (10.2)	—	—	9.20 (9.7)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
有木	m/s (m)	9.02 (9.5)	8.95 (8.6)	8.95 (9.4)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

注) 数値は上段が最高速度，下段が出現地点

表2 日本選手権男子棒高跳上位入賞選手の助走における最高速度およびその出現地点

選手	高さ (試技)	5.10 (2)	5.20 (1)	5.20 (2)	5.20 (3)	5.30 (1)	5.30 (2)	5.40 (1)	5.40 (2)	5.40 (3)	5.50 (1)	5.50 (2)	5.50 (3)	5.55 (1)	5.55 (2)	5.55 (3)
安田	m/s (m)	—	9.17 (9.2)	—	—	9.19 (8.4)	9.17 (9.6)	9.20 (9.4)	—	—	9.04 (10.5)	9.19 (9.8)	9.31 (9.6)	—	—	—
森	m/s (m)	9.36 (10.7)	9.40 (11.0)	9.40 (11.0)	9.36 (10.9)	—	—	9.12 (12.4)	9.48 (11.0)	9.46 (10.9)	—	—	—	—	—	—
有木	m/s (m)	—	8.83 (9.8)	8.79 (9.9)	8.90 (9.1)	—	—	8.97 (9.4)	8.97 (8.8)	8.90 (10.2)	—	—	—	—	—	—
澤野	m/s (m)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	9.11 (9.8)	9.18 (10.2)	9.13 (9.0)

注) 数値は上段が最高速度, 下段が出現地点

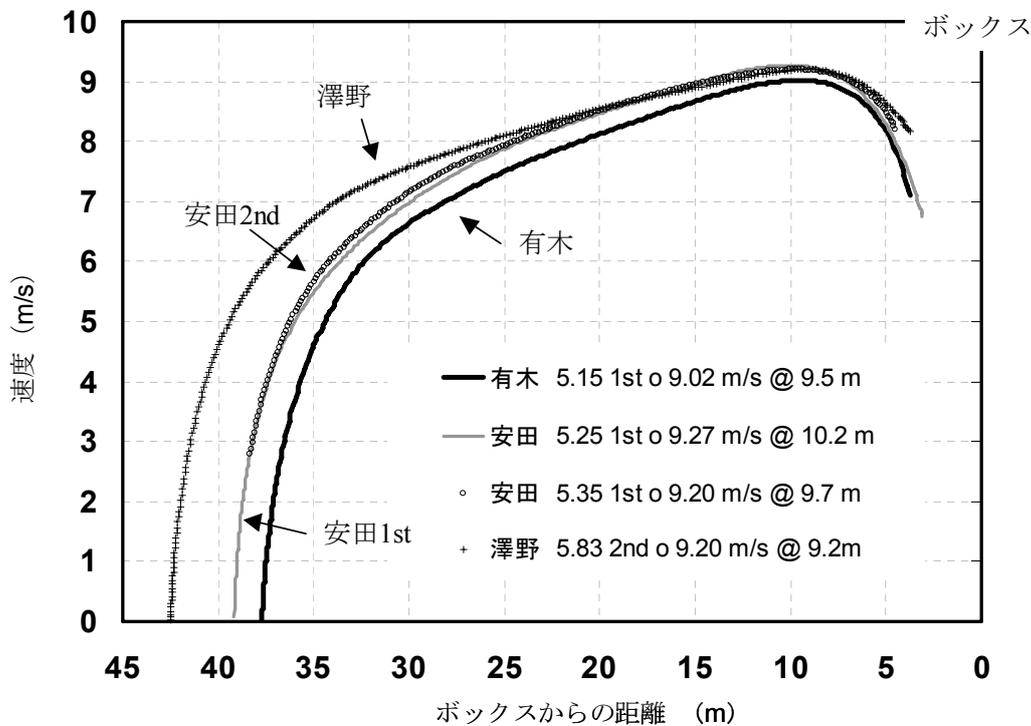


図1 2005 静岡国際における男子棒高跳選手の助走速度曲線

遠い地点に現れる傾向がみられた (2005年, 9.6 ± 0.4 m; 2004年, 8.9 ± 0.3 m).

日本選手権における森選手の助走速度は非常に大きく, 2004年にSUPER陸上に出場したマック選手 (6.04 3rd x, 9.32m/s) や世界一流選手の助走速度 (9.55 ± 0.18 m/s, 競技記録5.75-8.85m, 淵本ら (1994)) と比較した場合でもほぼ同等であり, 高い走能力を有していると考えられる. しかしながら, マック選手や他の選手に比べ最高速度が出現するタイミングが非常に早い傾向があり, 踏切前に助走速度を低下させていた. これらのことから, 森選手は, 踏切準備動作の改善により記録の向上が期待

される.

3.2 女子棒高跳選手の助走速度曲線

図3~4は2005日本選手権, SUPER陸上における女子棒高跳選手の助走速度曲線を示したものである. また, 表3~4は2005日本選手権, SUPER陸上分析対象者の全試技の最高速度およびその出現地点を示したものである.

2005日本選手権を4.10mで優勝した近藤選手の助走速度は7.92~8.06m/sの範囲であった. 2004年に4.30mの日本記録を樹立した時の助走速度は8.33m/sであり, 日本記録以外の試技においても

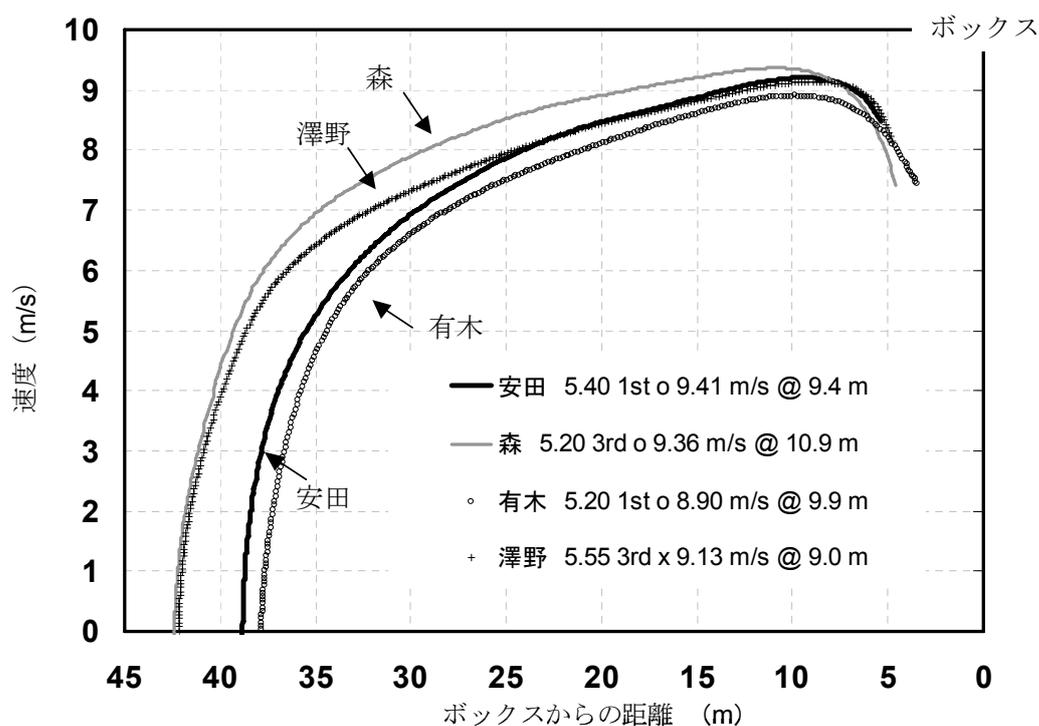


図2 2005 日本選手権における男子棒高跳選手の助走速度曲線

表3 日本選手権女子棒高跳上位入賞選手の助走における最高速度およびその出現地点

選手	高さ (試技)	3.70 (1)	3.70 (2)	3.80 (1)	3.80 (2)	3.90 (1)	3.90 (2)	3.90 (3)	4.00 (1)	4.00 (2)	4.00 (3)	4.10 (1)	4.10 (2)	4.20 (1)	4.20 (2)	4.20 (3)
近藤	m/s (m)	—	—	—	—	—	—	—	7.96 (10.4)	7.92 (9.4)	—	—	—	8.01 (7.4)	8.06 (7.8)	7.96 (6.9)
錦織	m/s (m)	—	—	—	—	—	—	—	7.88 (5.7)	7.80 (5.6)	7.84 (7.2)	—	7.87 (7.7)	7.74 (7.5)	7.60 (8.5)	7.74 (6.9)
吉原	m/s (m)	7.57 (7.8)	7.69 (7.4)	7.73 (8.0)	7.64 (8.3)	7.65 (7.4)	7.76 (8.4)	7.79 (8.0)	7.58 (7.5)	7.70 (7.3)	7.61 (7.0)	—	—	—	—	—

注) 数値は上段が最高速度, 下段が出現地点

8.2 m/s を超えていたことから (小山ら, 2005), 2005 年の記録低下の一要因として助走の問題があげられる。

錦織選手の助走速度は両試合のいずれの試技においても 7.7 ~ 7.9 m/s であった。錦織選手の助走速度は日本のトップ選手である近藤, 中野選手, また, SUPER 陸上に出場した海外選手と比較しても非常に小さいものであった。しかし, 跳躍記録には大きな差は見られないことから, 助走速度を鉛直方向に変換する技術に優れていることが推察される。今後, 錦織選手は走能力の向上を課題の 1 つとして捉え, 助走速度の向上により, 大きく記録を伸ばす可能性があると考えられる。

SUPER 陸上に出場したイシンバエワ選手 (ロシア, 世界記録保持者) の 4.50 m 時 (失敗であったが, 身体は 4.50 m のバーまで上昇) の助走速度は 8.37 m/s であった。イシンバエワ選手は, 中野選手と同程度の速度で助走していたが, 日本記録を 20 cm も上回る跳躍をしていた。助走速度の観点から見た場合, 中野選手は踏切, 空中などの動作の改善等により, 現在の助走で日本記録を大きく超える跳躍が可能であると考えられる。

3.3 男子走幅跳選手の助走速度曲線

図 5 ~ 7 は 2005 織田記念, 日本選手権, SUPER 陸上における男子走幅跳選手の助走速度曲線を示し

表4 SUPER 陸上女子棒高跳上位入賞選手の助走における最高速度およびその出現地点

選手	高さ (試技)	3.60 (1)	3.80 (1)	3.80 (2)	4.00 (1)	4.00 (2)	4.10 (1)	4.10 (2)	4.10 (3)	4.20 (1)	4.20 (2)	4.20 (3)	4.30 (1)	4.30 (2)	4.30 (3)	4.50 (3)
グリゴリエワ	m/s (m)	—	—	—	—	—	8.13 (8.5)	—	—	—	—	—	8.22 (7.9)	8.13 (8.1)	—	—
シュワーツ	m/s (m)	—	—	—	—	—	7.89 (8.1)	8.07 (7.2)	8.03 (7.3)	—	—	—	7.97 (7.6)	8.04 (6.9)	8.12 (7.6)	—
錦織	m/s (m)	—	—	—	7.70 (6.2)	—	7.77 (7.6)	7.76 (8.1)	7.74 (7.8)	—	—	—	—	—	—	—
中野	m/s (m)	—	8.04 (7.7)	8.18 (6.8)	8.48 (6.6)	—	—	—	—	8.12 (7.8)	8.15 (7.8)	8.20 (8.0)	—	—	—	—
我孫子	m/s (m)	8.06 (6.2)	7.89 (8.1)	—	8.00 (7.7)	7.89 (7.4)	7.62 (8.7)	7.96 (7.4)	8.08 (6.9)	—	—	—	—	—	—	—
イシンバエワ	m/s (m)	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	8.37 (8.2)

注) 数値は上段が最高速度, 下段が出現地点

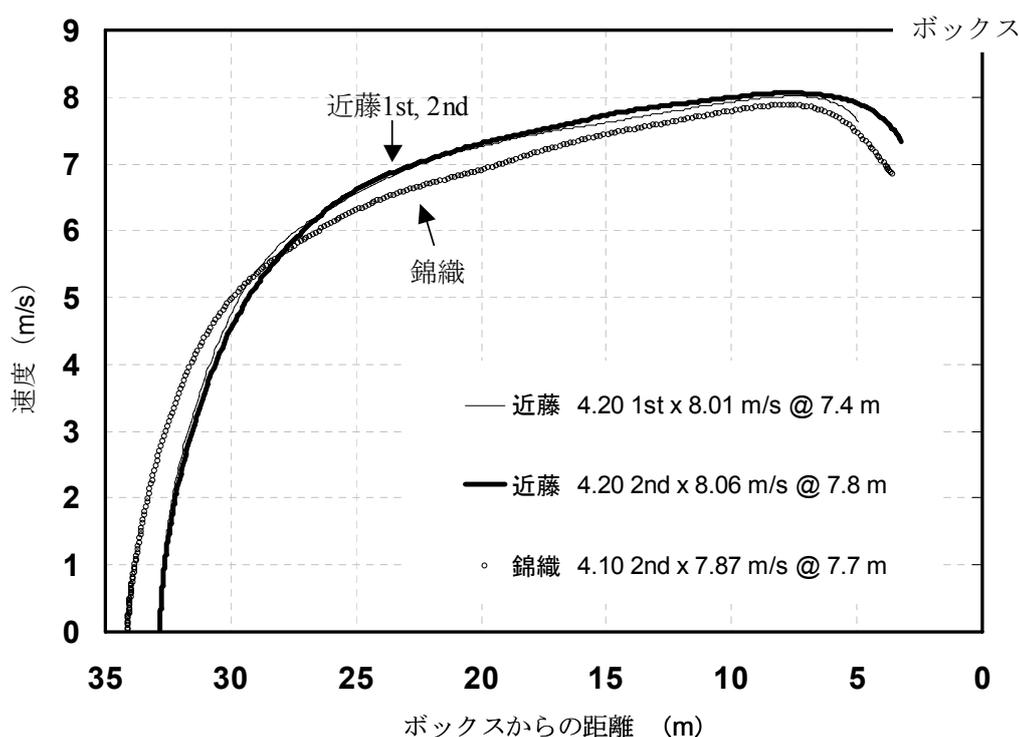


図3 2005 日本選手権における女子棒高跳選手の助走速度曲線

たものである。また、表5～6は2005日本選手権、SUPER陸上入賞者の全試技の最高速度およびその出現地点を示したものである。

図7および表6に示したように、フィリップス選手の助走速度は非常に大きかった。当日の最高記録は8m06と伸びなかったが、その際の助走速度のピーク値は10.87m/sであり、4試技の平均でも10.70

±0.15m/sと日本選手を大きく上回っていた。走幅跳では、踏切離地時における重心速度が跳躍記録獲得の必須条件であり、これを達成するために大きな助走速度を出すことができる走能力が必要不可欠となる。安定して大きな助走速度を出すことのできる走能力の向上は、今後も日本選手の課題であろう。

安定して大きな助走速度を出すことの重要性は、

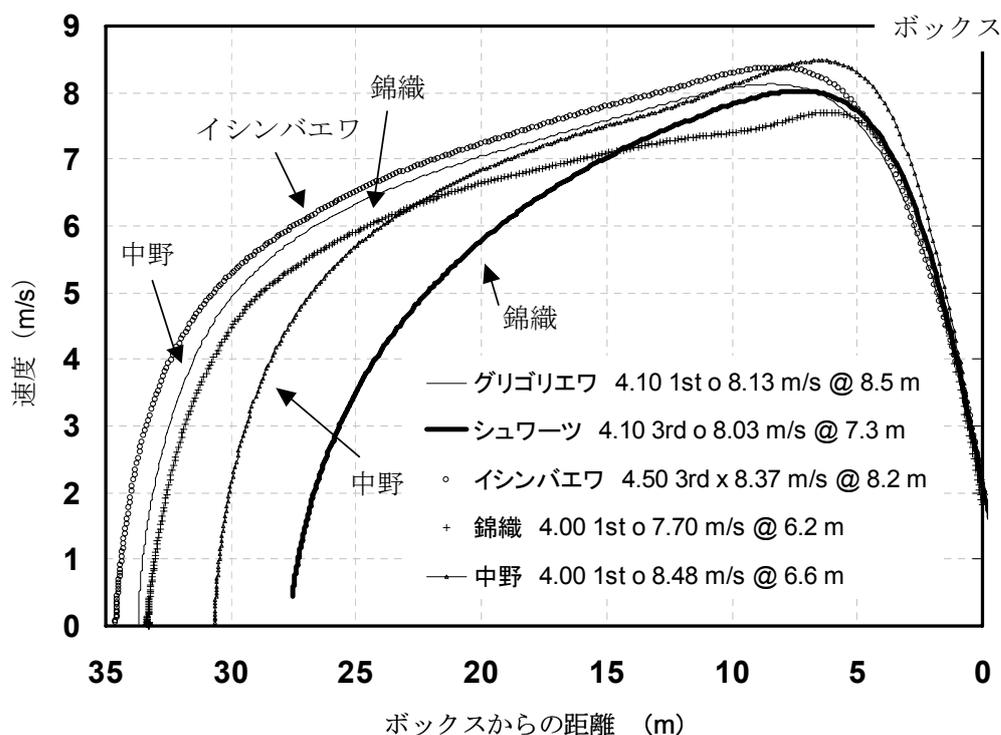


図4 2005SUPER 陸上における女子棒高跳選手の助走速度曲線

表5 日本選手権男子走幅跳入賞選手の各試技の助走における最高速度およびその出現地点

選手	試技	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
寺野	m	7.27 (+0.6)	7.48 (-0.8)	7.64 (+1.0)	F	F	7.78 (+0.8)
	m/s (m)	10.16 (6.8)	10.25 (6.8)	10.34 (6.4)	10.18 (7.7)	10.32 (6.6)	10.44 (5.4)
森長	m	7.61 (-0.6)	5.93 (+0.6)	F	7.56 (+0.6)	7.49 (-0.8)	F
	m/s (m)	9.94 (5.2)	9.82 (5.9)	9.76 (7.1)	9.96 (5.4)	9.76 (5.8)	10.05 (5.5)
藤川	m	7.19 (-1.1)	7.43 (+2.1)	7.49 (-0.5)	7.44 (0.0)	7.61 (+0.1)	F
	m/s (m)	9.88 (7.0)	10.34 (6.4)	10.18 (6.5)	10.02 (5.8)	10.24 (6.1)	10.04 (6.2)
渡辺	m	7.35 (+1.4)	7.56 (0.0)	F	F	6.14 (+1.2)	7.55 (+0.5)
	m/s (m)	9.87 (5.8)	9.81 (6.6)	9.83 (8.3)	9.89 (5.7)	9.79 (7.4)	9.80 (7.1)
中嶋	m	7.32 (+1.0)	7.41 (+1.0)	7.56 (+0.4)	7.41 (-0.3)	7.39 (-0.6)	F
	m/s (m)	10.32 (6.6)	10.27 (7.2)	10.31 (6.4)	10.27 (6.9)	10.17 (7.6)	10.28 (7.5)
田川	m	F	F	7.46 (+0.1)	7.39 (0.0)	F	7.55 (+0.5)
	m/s (m)	10.25 (7.2)	10.17 (7.6)	10.11 (12.4)	10.17 (8.7)	10.09 (8.0)	10.18 (8.5)
荒川	m	7.54 (+0.9)	7.47 (-1.3)	7.32 (-0.5)	7.35 (-0.3)	7.52 (-0.4)	7.46 (+1.4)
	m/s (m)	10.38 (6.9)	10.30 (5.4)	10.15 (7.9)	10.15 (7.5)	10.32 (6.0)	10.46 (7.2)
志鎌	m	7.44 (+2.0)	7.45 (+2.3)	7.51 (+0.3)	7.15 (-1.1)	F	F
	m/s (m)	10.13 (6.2)	10.23 (5.2)	10.12 (5.9)	9.93 (6.1)	10.10 (6.3)	10.29 (7.1)

注) 数値は上段が跳躍記録, 下段が最高速度および括弧内は出現地点

複数の大会で測定を行った寺野, 荒川, 志鎌, 鈴木選手のデータからも明らかである。各試合で風や気温等の条件は異なるが, 各試合のベスト記録を比較すると, 最もよい記録を出した試合における助走速度ピーク値の(被験者内)平均は他の試合のものよ

りも大きかった。また, 各試合のベスト試技では, 助走速度のピークがその試合の平均値より大きい傾向, あるいはピークがより踏切の近くで出現している傾向がみられた。

図8および9は, 織田記念における荒川選手, 日

表6 SUPER 陸上男子走幅跳入賞選手の各試技の助走における最高速度およびその出現地点

選手	試技	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
フィリップス	m	8.06 (+0.7)	F	F	—	—	F
	m/s (m)	10.87 (8.1)	10.75 (7.9)	10.51 (7.7)	—	—	10.69 (8.6)
荒川	m	7.37 (+1.2)	7.43 (+0.4)	7.44 (+1.0)	7.29 (+1.4)	7.21 (+0.2)	7.61 (+0.4)
	m/s (m)	10.07 (7.8)	10.12 (7.6)	10.09 (6.9)	9.95 (6.4)	9.97 (6.9)	10.04 (6.6)
寺野	m	7.26 (-0.4)	7.43 (+0.8)	7.40 (0.0)	F	7.42 (+1.1)	7.50 (+1.2)
	m/s (m)	9.93 (6.3)	10.13 (6.1)	10.17 (6.5)	10.09 (6.1)	10.21 (5.9)	10.20 (6.9)
大石	m	7.33 (-0.3)	7.35 (+1.4)	F	7.47 (+1.8)	7.37 (+1.0)	6.32(+1.1)
	m/s (m)	9.86 (6.2)	10.04 (6.8)	9.92 (6.3)	9.98 (5.6)	9.76 (6.5)	9.98 (6.0)
ノフケ	m	7.36 (+0.5)	F	F	7.30(+0.5)	7.41 (+0.9)	7.33 (-0.5)
	m/s (m)	10.12 (6.92)	10.15 (6.8)	10.04 (5.6)	10.18 (6.8)	10.08 (6.1)	10.16 (7.2)
鈴木	m	7.28 (+0.1)	F	6.16(-0.5)	6.06(-0.3)	7.39 (+0.4)	7.22 (-0.8)
	m/s (m)	9.86 (6.2)	9.99 (8.0)	9.87 (6.6)	9.75 (7.1)	9.82 (7.2)	9.76 (7.3)

注) 数値は上段が跳躍記録, 下段が最高速度および括弧内は出現地点

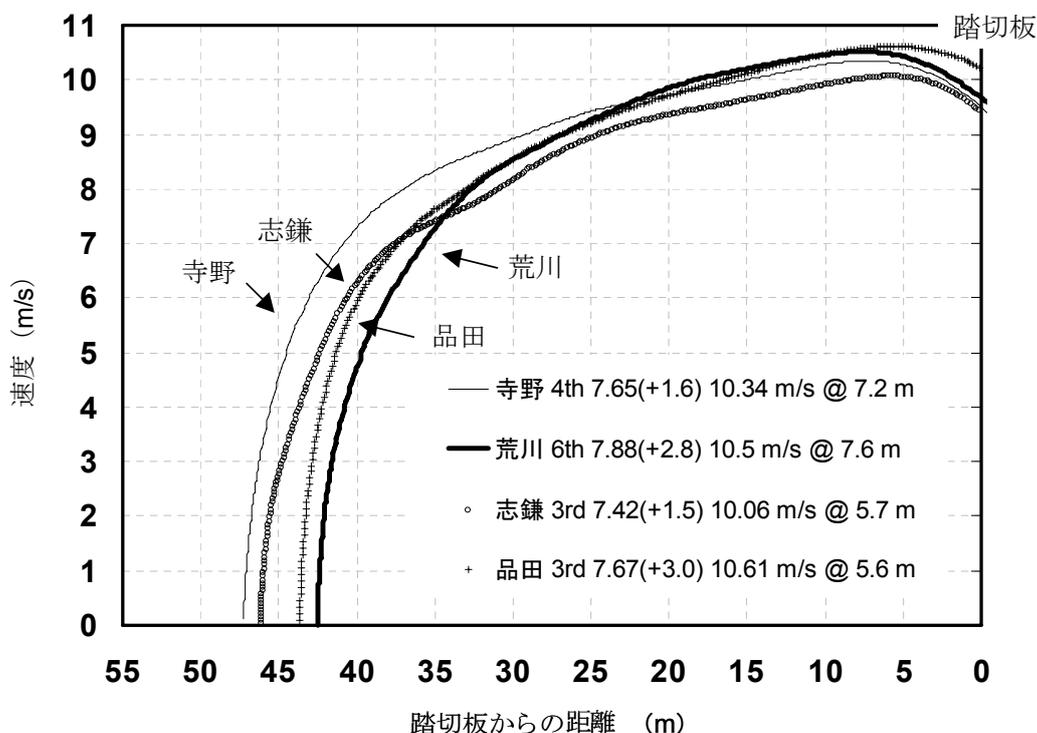


図5 2005 織田記念における男子走幅跳選手の助走速度曲線

本選手権における寺野選手の全試技の助走速度曲線を示している。図に示したように、ベスト試技は他の試技に比べ、助走中盤における速度増加が大きかった。このことから、両選手ともに助走中盤の走りが助走速度や跳躍記録を増大する一要因になると考えられる。

10は織田記念における品田選手の全試技の助走速度曲線を示している。品田選手は日本選手の中で最も助走速度のピーク値が大きかった。最もよい

記録を跳躍した時は10.61m/s、平均でも10.50 ± 0.10m/sであった。品田選手は、100mでも活躍していることから、走能力を活かした助走を行っているといえる。また、図に示したように、ベスト試技では他の試技と比べて助走終盤における速度の減少が小さかった。これらのことから、今後8m以上の記録を跳躍するためには、助走終盤まで速度を増加させ、その速度を維持し、高い速度に対応した踏切準備および踏切動作の習得が課題の一つになると考え

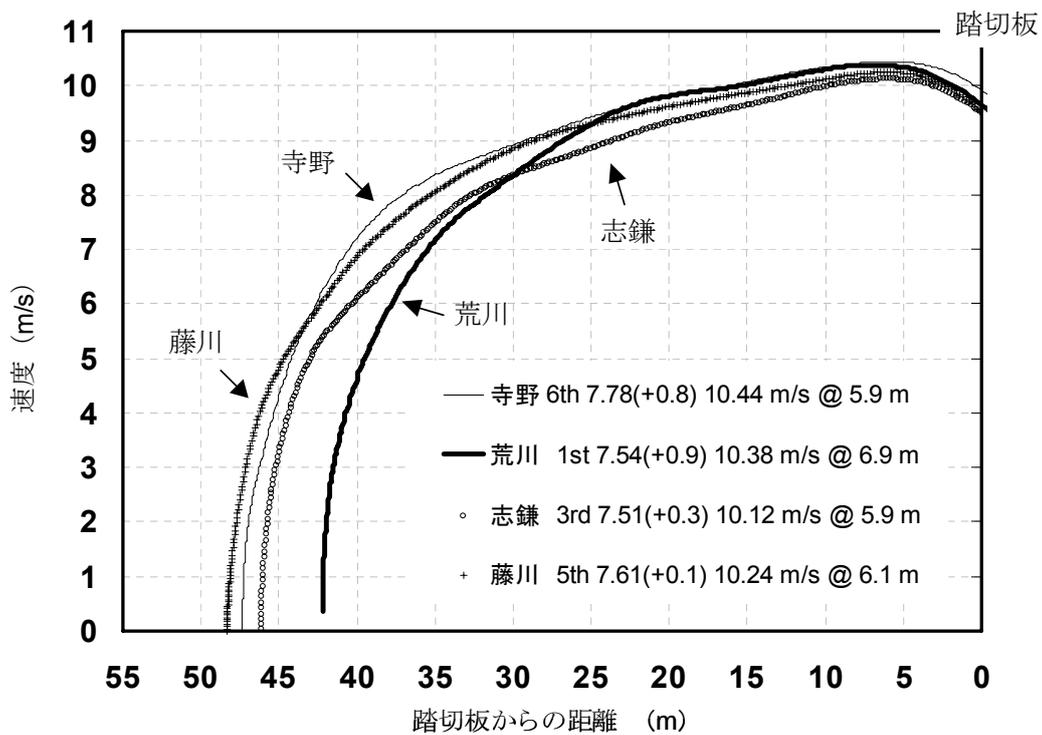


図6 2005日本選手権における男子走幅跳選手の助走速度曲線

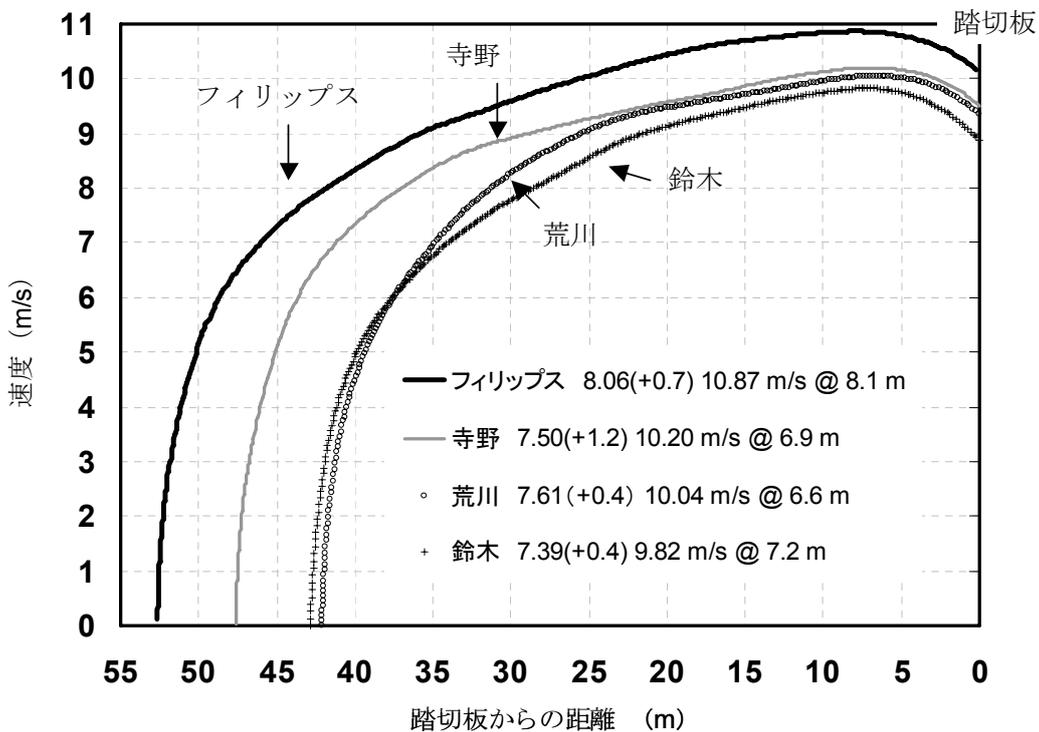


図7 2005SUPER陸上における男子走幅跳選手の助走速度曲線

られる。

図11はSUPER陸上および千葉インターハイにおける鈴木選手のベスト試技の助走速度曲線を示している。鈴木選手は、助走速度のピーク値は他の選手

と比べて大きくないものの、千葉インターハイでは平均 $10.13 \pm 0.03 \text{ m/s}$ 、 $7\text{m}77$ を跳躍した際には 10.16 m/s であった。一方、SUPER陸上では助走速度を十分に上げることができず ($9.84 \pm 0.09 \text{ m/s}$)、

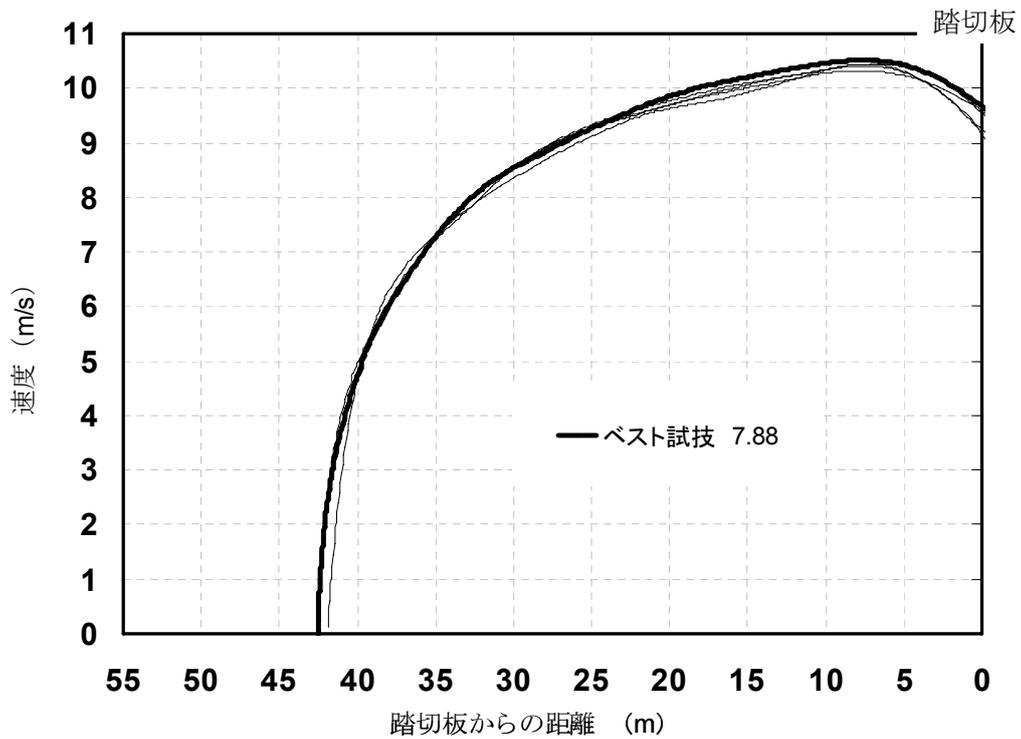


図8 2005 織田記念における荒川選手の助走速度曲線

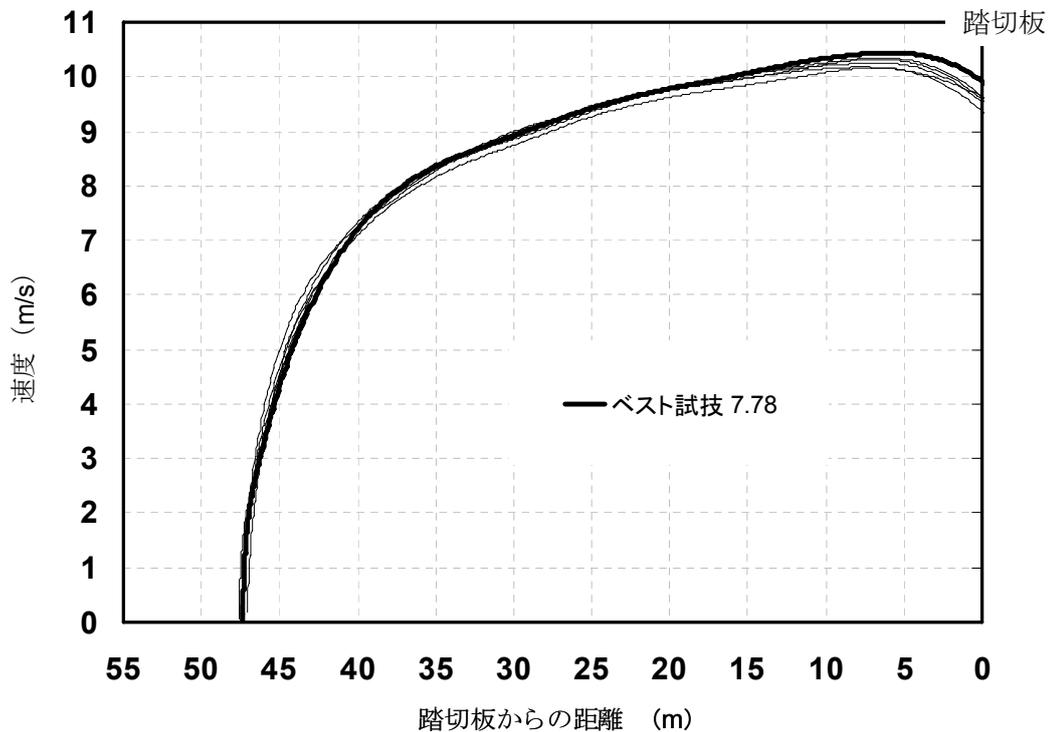


図9 2005 日本選手権における寺野選手の助走速度曲線

記録も7m39に止まった。SUPER陸上と千葉インターハイのベスト試技における助走速度の変化を比較すると、助走開始後の加速段階から大きな差が見られた。安定して高い記録を狙うためにも、今後の走能

力向上に期待したい。

3.4 女子走幅跳選手の助走速度曲線

図12～14は2005大阪GP, 日本選手権, SUPER

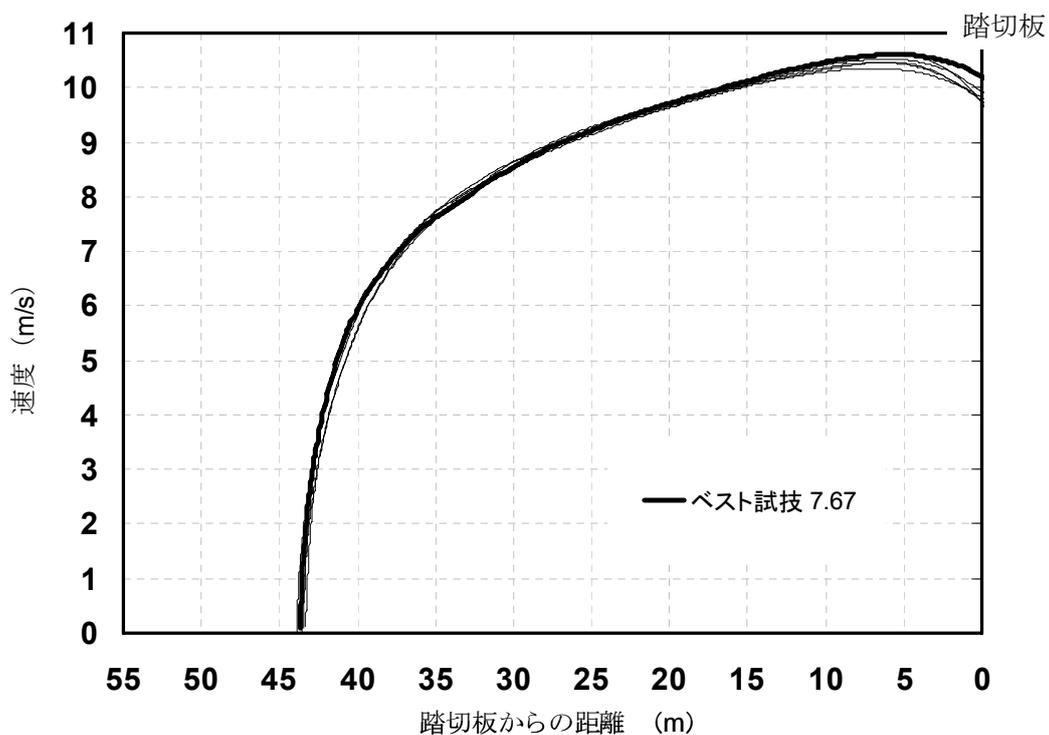


図 1 0 2005 織田記念における品田選手の助走速度曲線

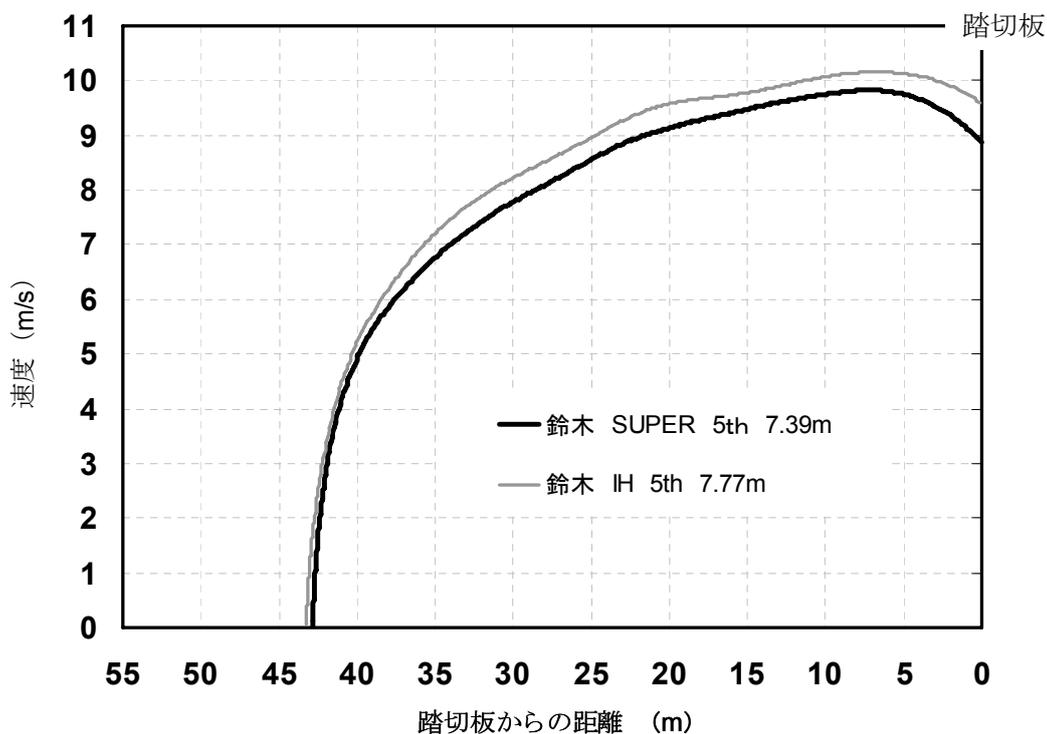


図 1 1 2005SUPER 陸上および千葉インターハイにおける鈴木選手の助走速度曲線

陸上における女子走幅跳選手の助走速度曲線を示したものである。また、表 7～9 は 2005 大阪 GP, 日本選手権, SUPER 陸上入賞者の全試技の最高速度およびその出現地点を示したものである。

池田, 花岡両選手の助走速度は日本選手の中では大きい傾向が見られた (池田, $9.42 \pm 0.07\text{m/s}$, $9.30 \sim 9.55\text{m/s}$, $n=24$; 花岡, $9.30 \pm 0.07\text{m/s}$, $9.18 \sim 9.44\text{m/s}$, $n=16$)。2004 年の報告と比較すると (池

表7 国際大阪 GP 女子走幅跳入賞選手の各試技の助走における最高速度およびその出現地点

選手	試技	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
花岡	m	6.34 (+0.2)	5.99 (+3.0)	6.61 (+2.4)	6.39 (+0.3)	6.82 (+2.3)	6.60 (+0.8)
	m/s (m)	9.18 (6.9)	9.31 (6.0)	9.30 (5.7)	9.20 (6.5)	9.29 (5.3)	9.30 (6.3)
アップショー	m	6.55 (+1.2)	6.59 (+1.5)	5.14 (+2.8)	F	6.53 (+1.9)	F
	m/s (m)	9.14 (4.5)	9.34 (5.5)	9.39 (5.4)	9.19 (4.5)	9.13 (4.4)	9.11 (5.1)
関 (CHN)	m	6.39 (-3.7)	6.55 (+0.7)	F	6.50 (-1.9)	F	F
	m/s (m)	8.84 (5.6)	9.12 (4.8)	9.26 (5.1)	8.99 (4.6)	9.35 (5.5)	8.99 (5.4)
池田	m	6.22 (+2.2)	F	6.51 (+4.4)	F	F	F
	m/s (m)	9.36 (5.8)	9.41 (6.2)	9.55 (5.7)	9.46 (6.8)	9.46 (6.8)	9.38 (7.1)

注) 数値は上段が跳躍記録, 下段が最高速度および括弧内は出現地点

表8 日本選手権女子走幅跳入賞選手の各試技の助走における最高速度およびその出現地点

選手	試技	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
池田	m	6.24 (+1.4)	5.02 (-0.6)	6.60 (+0.5)	6.39 (+0.8)	6.69 (+1.1)	6.61 (+0.8)
	m/s (m)	9.38 (5.8)	9.47 (5.6)	9.44 (5.7)	9.39 (5.4)	9.53 (5.0)	9.54 (6.0)
花岡	m	6.30 (+1.6)	6.40 (-1.2)	6.57 (+1.1)	6.61 (+1.0)	6.43 (0.0)	6.69 (-0.1)
	m/s (m)	9.44 (6.50)	9.26 (5.3)	9.41 (5.0)	9.30 (5.1)	9.30 (6.2)	9.32 (5.7)
佐藤	m	6.30 (-2.4)	6.17 (-1.7)	F	F	6.18 (+1.9)	6.34 (+0.7)
	m/s (m)	9.06 (3.1)	9.01 (3.9)	8.97 (4.3)	9.10 (3.2)	8.92 (3.6)	8.91 (4.2)
黒田	m	—	F	6.11 (+0.4)	F	—	6.22 (+2.0)
	m/s (m)	—	9.16 (3.0)	9.21 (4.7)	9.17 (4.1)	—	9.30 (4.1)
岡山	m	5.93 (-1.6)	—	6.10 (+3.1)	5.95 (-1.5)	F	F
	m/s (m)	8.96 (4.3)	—	9.08 (6.6)	8.96 (5.8)	9.16 (5.2)	9.05 (4.4)
横川	m	6.04 (+4.9)	F	5.73 (-1.7)	5.98 (+3.3)	F	5.76 (+1.7)
	m/s (m)	9.07 (5.2)	8.82 (3.9)	8.71 (5.3)	9.03 (5.2)	8.77 (5.4)	8.88 (5.0)
中原	m	6.03 (+1.6)	6.02 (+0.5)	5.81 (-0.5)	F	F	F
	m/s (m)	9.05 (6.0)	9.21 (4.3)	8.94 (5.0)	8.86 (7.7)	9.16 (9.7)	8.86 (9.7)
山本	m	F	F	5.97 (-0.6)	5.66 (+0.9)	5.95 (+2.1)	F
	m/s (m)	8.96 (6.6)	8.80 (4.9)	8.88 (5.6)	8.84 (5.8)	8.87 (6.3)	8.80 (5.6)

注) 数値は上段が跳躍記録, 下段が最高速度および括弧内は出現地点

田, 9.20 ~ 9.50m/s ; 花岡, 9.02 ~ 9.28m/s, 小
山ら, 2005), 両選手ともに2005年の方が大きく, 安
定して高い助走速度を獲得していたことを示してい
る。また, 2005年の最高速度出現地点を2004年と
比較すると, 両選手ともに約1mほど踏切地点に近
くなっている傾向が見られた。

2004年の報告において, 池田選手は踏切前の
減速が大きいことを指摘されている。2005およ
び2004年の助走速度曲線を比較すると, 2005年
の方が踏切前における減速は小さい傾向が見ら
れた。最高速度出現地点が踏切に近くなってい
ることおよび減速が小さくなってきていること
は, 池田選手の踏切準備動作は改善の方向に向か
っていることを示すと考えられる。しかし, 他選手の

減速の程度と比較すると, 池田選手は2005年にお
いても大きい傾向があることから, さらなる動作の
改善が必要であると考えられる。

佐藤選手の2004年の助走は, 助走開始直後に急
激に速度を増加することが特徴であったが, 2005
年は助走距離を伸ばし, ゆるやかな加速から助走を
行っていた。最高速度を比較すると, 助走距離は伸
びたものの大きな差は見られなかった。佐藤選手は
100mにおいて自己記録を更新していることから, 走
能力が向上していることが窺える。今度は高い走
能力を活かすためにも, 速い助走速度に対応できる
動作の習得が課題の一つと考えられる。

3.5 男子三段跳選手の助走速度曲線

表9 SUPER 陸上女子走幅跳入賞選手の各試技の助走における最高速度およびその出現地点

選手	試技	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
池田	m	F	6.65	F	6.52	F	6.62
	m/s (m)	9.30 (5.5)	9.40 (5.6)	9.49 (5.2)	9.35 (5.3)	9.36 (6.3)	9.40 (6.2)
リッチモンド	m	5.75	5.98	6.06	6.38	6.34	6.08
	m/s (m)	9.05 (6.6)	8.98 (5.7)	9.01 (5.8)	9.16 (6.1)	9.11 (6.2)	9.06 (5.1)
スチエルボバ	m	6.15	F	6.37	-	6.30	6.14
	m/s (m)	9.32 (6.1)	9.36 (5.0)	9.24 (5.7)	-	9.31 (5.3)	9.40 (4.8)
佐藤	m	6.28	6.23	6.30	5.74	-	-
	m/s (m)	9.11 (5.6)	9.11 (3.7)	9.12 (5.0)	8.86 (6.6)	9.06 (4.7)	-
梶見	m	F	F	F	F	5.86	6.15
	m/s (m)	8.79 (6.3)	8.93 (5.5)	8.72 (5.8)	8.85 (5.7)	8.72 (6.3)	8.80 (5.7)
岡山	m	6.13	6.08	6.12	5.99	6.00	6.12
	m/s (m)	8.96 (4.8)	9.03 (5.2+)	8.99 (5.0)	9.04 (5.9)	8.92 (5.7)	8.97 (6.1)
中原	m	5.67	F	F	6.10	F	6.12
	m/s (m)	8.97 (5.7)	8.98 (7.3)	8.99 (6.7)	8.99 (4.9)	9.10 (5.9)	9.05 (5.2)

注) 数値は上段が跳躍記録, 下段が最高速度および括弧内は出現地点

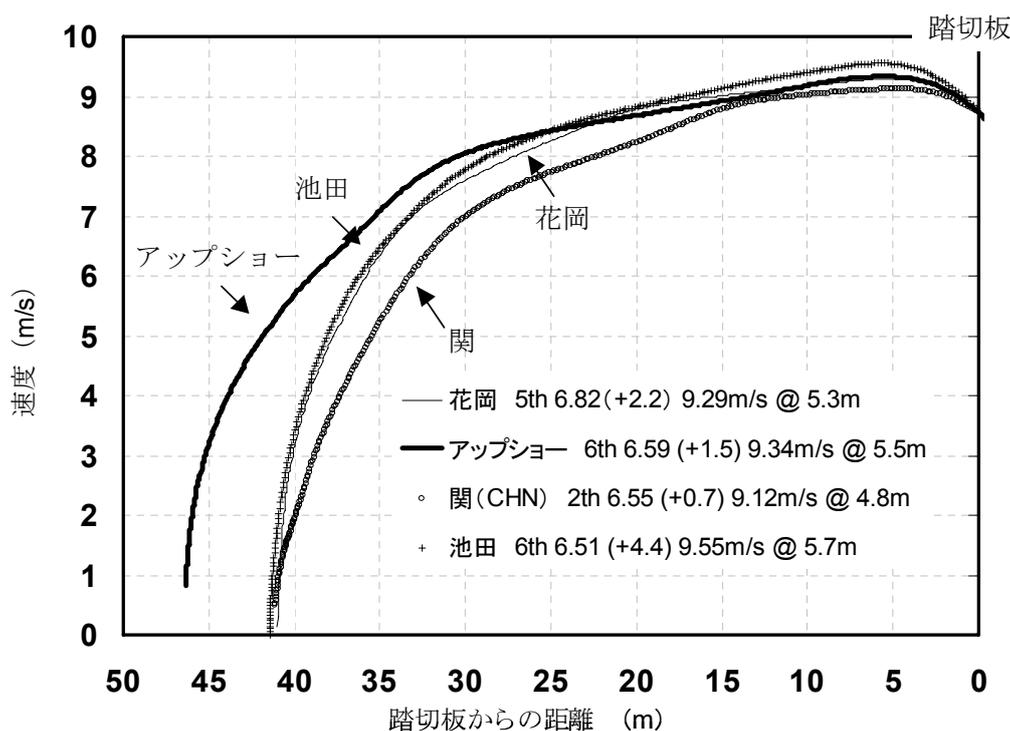


図12 2005 大阪 GP における女子走幅跳選手の助走速度曲線

図15～16は2005織田記念、日本選手権における男子三段跳選手の助走速度曲線を示したものである。また、表10は日本選手権入賞者8名の全試技の最高速度およびその出現地点を示したものである。

助走速度のピーク値についてみると、平均で10m/sを超えたのは石川選手のみであった(10.13

±0.24m/s)。走幅跳と同様に、助走速度の大きさは三段跳の跳躍記録獲得に不可欠な要素である。より速い助走では、ホップ、ステップ、ジャンプの連続する3回の跳躍を行うことが難しくなるが、跳躍記録向上のためには安定して大きな助走速度を出せる走能力の獲得が課題となるであろう(世界平均、10.39m/s、阿江ら、1994)。また、男子走幅跳と比

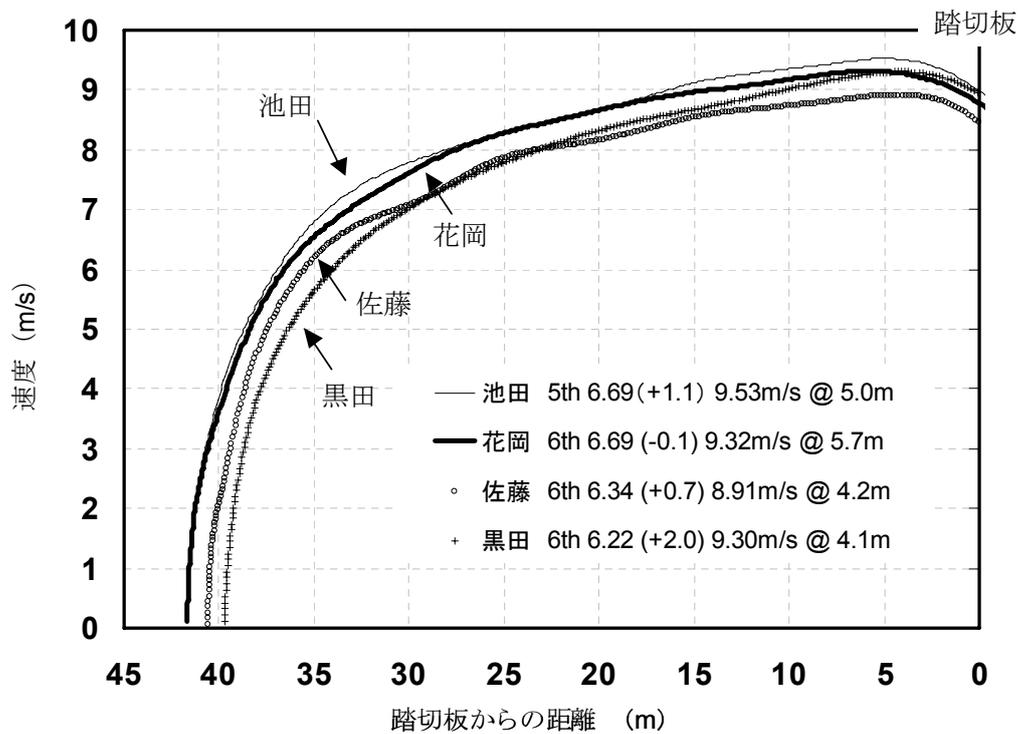


図 1.3 2005 日本選手権における女子走幅跳選手の助走速度曲線

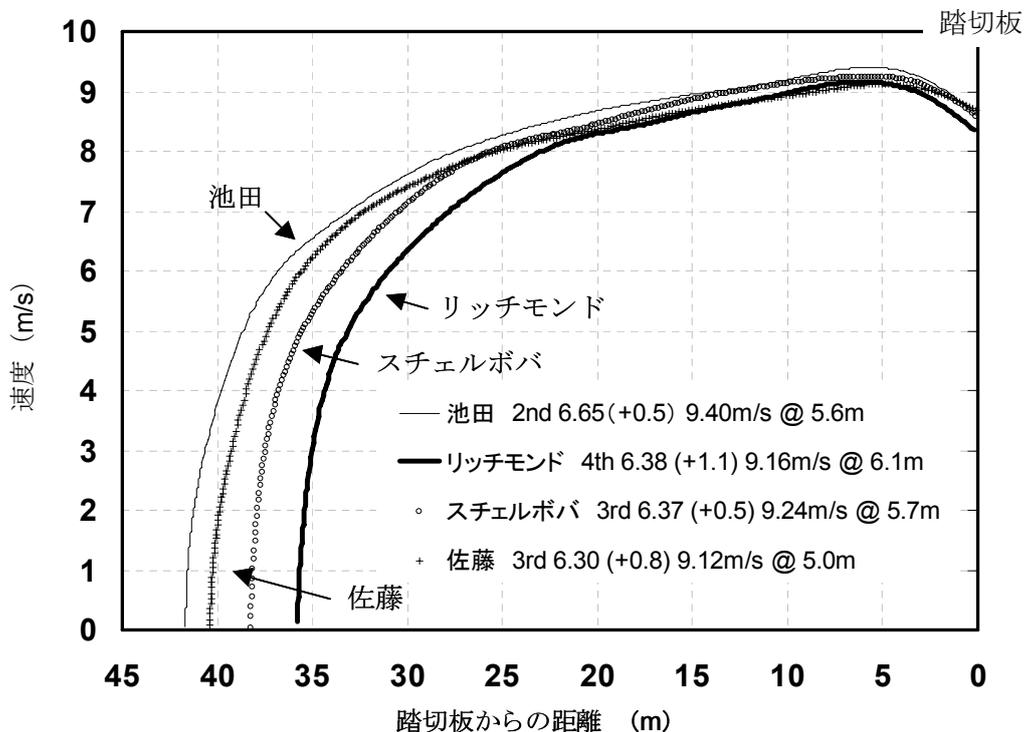


図 1.4 2005 スーパー陸上における女子走幅跳選手の助走速度曲線

較すると、助走速度ピーク値の出現地点がより踏切に近いという特徴がみられた。

石川選手は日本選手権における助走速度のピーク値は、1, 2 試技目こそ向かい風のためそれぞれ 9.74,

10.08m/s と低調であったが、3 試技目には 10.16m/s, 5, 6 試技目はフェールであったがそれぞれ 10.30, 10.36m/s と大きかった。この助走速度のピーク値は、2004 年度の分析試技のものよりも大きかった

表 1 0 日本選手権男子三段跳入賞選手の各試技の助走における最高速度およびその出現地点

選手	試技	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
石川	m	15.87 (-2.4)	F	16.92 (+0.4)	—	F	F
	m/s (m)	9.74 (2.3)	10.08 (3.4)	10.16 (5.0)	—	10.30 (4.2)	10.36 (4.2)
杉林	m	16.27 (+1.5)	F	F	F	—	—
	m/s (m)	9.64 (4.2)	9.86 (3.4)	9.84 (3.1)	9.92 (4.6)	—	—
出口	m	13.45 (+1.0)	15.49 (-0.8)	16.08 (+2.2)	16.23 (+1.5)	F	16.00 (+3.1)
	m/s (m)	9.65 (4.5)	9.48 (5.0)	9.76 (4.1)	9.80 (3.4)	9.81 (4.0)	9.80 (5.2)
梶川	m	15.95 (+1.6)	15.77 (+1.9)	15.80 (+1.3)	—	15.67 (+1.0)	F
	m/s (m)	10.04 (4.9)	10.02 (3.7)	9.80 (4.1)	—	9.85 (4.1)	9.98 (4.0)
中丸	m	15.93 (+1.5)	F	15.38 (-0.2)	15.32 (-2.6)	—	15.25 (-0.8)
	m/s (m)	9.54 (4.5)	9.65 (4.9)	9.46 (3.3)	9.06 (3.1)	—	9.37 (4.2)
園田	m	15.89 (+1.9)	F	F	F	F	15.16 (+0.6)
	m/s (m)	9.84 (6.0)	9.79 (6.6)	9.83 (5.3)	9.66 (4.2)	9.49 (9.3)	9.70 (4.9)
山本	m	15.84 (+2.6)	15.88 (+0.9)	F	—	15.08 (-0.2)	15.60 (+0.9)
	m/s (m)	9.57 (4.5)	9.57 (4.5)	9.59 (4.6)	—	9.45 (4.9)	9.53 (4.5)
渡邊	m	F	15.44 (-0.5)	15.88 (+0.6)	—	—	F
	m/s (m)	9.97 (5.3)	9.89 (4.3)	9.91 (4.2)	—	—	9.80 (5.7)

注) 数値は上段が跳躍記録, 下段が最高速度および括弧内は出現地点

(大阪グランプリ, 16m34, 10.24m/s; 日本選手権, 16m26, 9.83m/s; スーパー陸上, 16m37, 9.90m/s; 小山ら, 2005). 阿江ら (1994), 小山ら (2005) の報告から, 石川選手は世界一流選手に近い助走速度を獲得しており, 今後 17m を超える跳躍に期待したい。(風などの条件の変化はあるが) 助走パターンの安定が一つの課題であろう (小山ら, 2005).

梶川選手は, ベスト試技では石川選手に次いで助走速度のピーク値が大きかった(10.04m/s). しかし, 石川選手と比較すると, 踏切前約 5m 以降で助走速度の減速が大きかったことから, 助走からホップへの移行動作や, ステップ, ジャンプの技術を改善していくことにより, 今後さらなる飛躍が期待される.

銭谷選手は, 杉林選手と比較すると, 織田記念では踏切前約 10m, 日本選手権では踏切前約 15m 以降の助走速度の増加が小さく, 助走速度のピーク値も小さかった. また, 助走速度ピーク値の出現地点は, 他の選手に比べて踏切から少し遠かった(織田記念, $4.74 \pm 0.45\text{m}$; 日本選手権, $4.71 \pm 0.94\text{m/s}$). これらのことから, 銭谷選手の課題としては, 助走終盤における助走速度の増加, つまり踏切前までしっかり加速することが考えられる.

3.6 女子三段跳選手の助走速度曲線

図 17 は 2005 日本選手権における女子三段跳選手の助走速度曲線, および参考として 2002 年静岡国際で 14.60 m を跳躍した黄選手 (中国) の助走曲線を示したものである. また, 表 11 は入賞者 8 名の

全分析試技の助走における最高速度およびその出現地点を示したものである.

優勝した吉田選手の助走速度は 8.7 ~ 8.9 m/s であり, 日本選手の中では大きい傾向がみられた. 吉田選手はここ数年コンスタントに 13 m を超える跳躍を行っているが, 2003 年の静岡国際および日本選手権時と比較すると, 助走距離は伸ばしているものの, 最高速度とその出現地点に大きな変化は見られなかった (静岡, 13.35 m, 8.88 m/s @ 5.4 m; NCH, 13.39 m, 8.73 m/s @ 7.4 m).

吉田選手のピーク速度出現地点は踏切前 6 ~ 7 m であり, 他の選手に比べ (今村選手を除く) 踏切板から遠い傾向がみられた. また, 女子走幅跳選手と比較しても踏切板から遠い地点で最高速度を迎えていた. 一般的に, 三段跳は走幅跳よりも踏切で獲得する鉛直速度は少なくても良いため, 助走速度のピークは走幅跳に比べ踏切板に近く, 減速は小さい. 2002 年静岡国際ではホップ局面において跳躍角度が 20° 以上の走幅跳のような踏切を行っており課題とされていた (小山ら, 2003). これらのことから, 現在においても助走から踏切への移行局面の動作の改善が課題の一つであると考えられる. また, 今村選手においても最高速度が踏切板から遠い地点で現れる傾向が見られた.

上位 2 選手以外の選手の助走速度はいずれも 8.5 m/s より小さく, 吉田選手とは大きな差が見られた. また, アジア記録を持つ黄選手が 2003 年静岡国際で 14.60 m/s を跳躍した時の助走速度 (9.38 m/s),

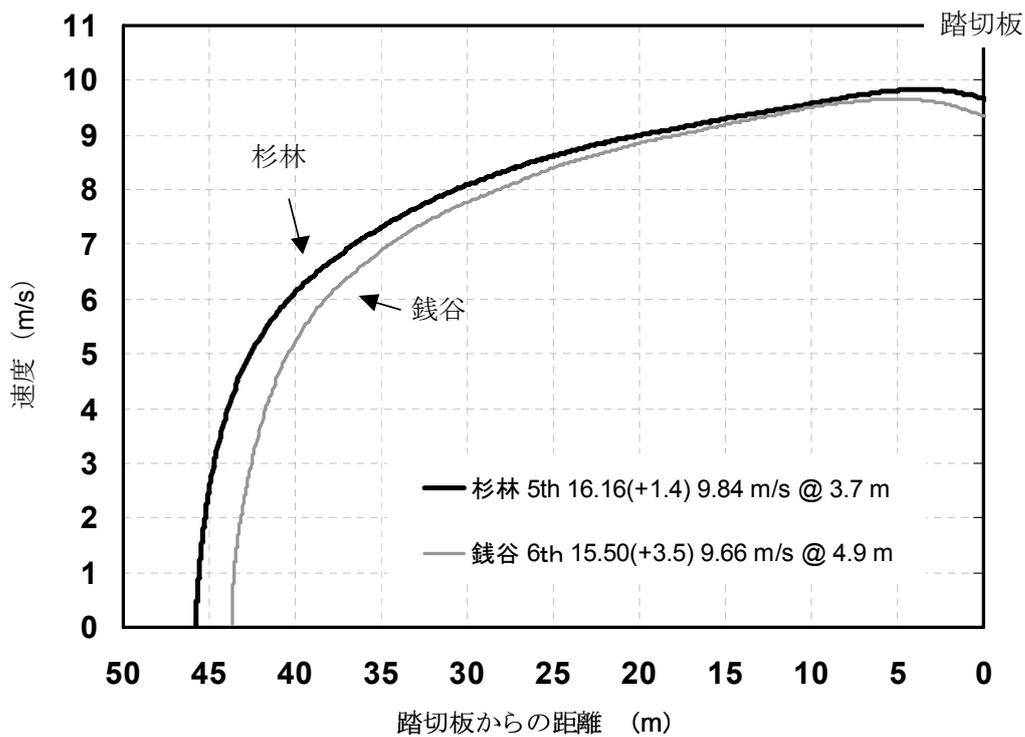


図 1.3 2005 日本選手権における女子走幅跳選手の助走速度曲線

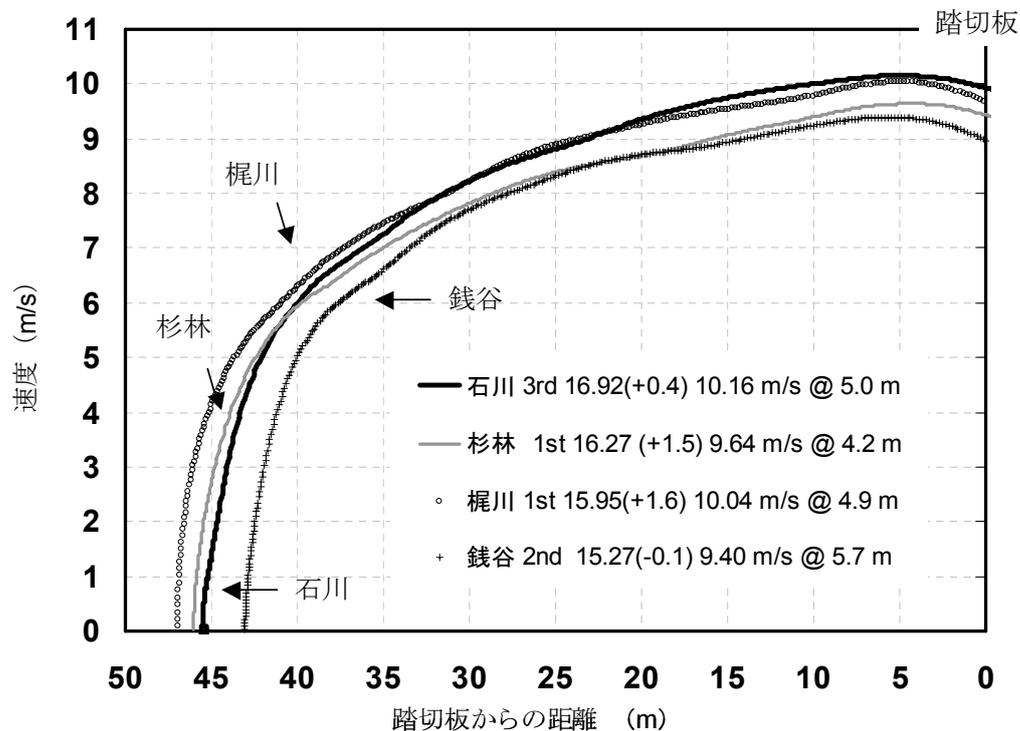


図 1.4 2005 スーパー陸上における女子走幅跳選手の助走速度曲線

14 m後半を記録する世界一流選手の平均助走速度 (踏切接地時の水平速度, 約 9.3 m/s, Muller et al., 1997) とはさらに顕著な差が見られる. 日本選手は 14 m を目指すためにも走能力の向上および

高い助走速度に対応する動作の習得が重要な課題であると言えよう.

表9 SUPER 陸上女子走幅跳入賞選手の各試技の助走における最高速度およびその出現地点

選手	試技	1st	2nd	3rd	4th	5th	6th
吉田	m	12.95 (+0.6)	—	F	13.04 (+0.0)	13.27 (+0.3)	13.28 (+0.2)
	m/s (m)	8.75 (5.9)	—	8.76 (6.3)	8.66 (6.1)	8.79 (6.1)	8.85 (6.6)
今村	m	12.69 (+1.3)	13.07 (+0.6)	12.89 (+0.5)	12.58 (+1.4)	11.40 (+0.6)	12.41 (+0.4)
	m/s (m)	8.54 (6.1)	8.48 (6.9)	8.45 (5.1)	8.52 (8.7)	8.60 (6.8)	8.50 (6.7)
井原	m	12.74 (-0.5)	—	12.53 (+0.6)	F	12.72 (+0.4)	F
	m/s (m)	8.31 (3.3)	—	8.04 (5.0)	8.28 (4.6)	8.28 (4.6)	8.26 (5.1)
三澤	m	F	—	12.59 (+0.2)	12.52 (+0.3)	F	F
	m/s (m)	8.36 (3.6)	—	8.18 (3.5)	8.19 (3.9)	8.41 (4.1)	8.50 (4.0)
藤田	m	—	F	F	F	F	12.28 (+0.3)
	m/s (m)	—	8.06 (5.1)	8.01 (5.0)	8.00 (4.4)	7.96 (4.0)	8.01 (4.1)
飛田	m	12.21 (+0.5)	11.62 (+1.6)	11.17 (+0.4)	F	12.16 (+1.0)	12.04 (+1.2)
	m/s (m)	8.25 (4.6)	8.19 (4.7)	8.14 (4.9)	8.08 (4.3)	8.02 (3.8)	8.20 (4.9)
星	m	—	12.10 (+1.6)	F	—	F	11.99 (+0.0)
	m/s (m)	—	8.41 (5.3)	8.34 (5.7)	—	8.30 (6.4)	8.27 (6.7)
佐藤	m	12.03 (+0.1)	—	F	12.05 (+0.0)	F	F
	m/s (m)	7.91 (4.7)	—	7.83 (5.7)	7.80 (3.9)	7.80 (3.9)	7.70 (4.6)

注) 数値は上段が跳躍記録, 下段が最高速度および括弧内は出現地点

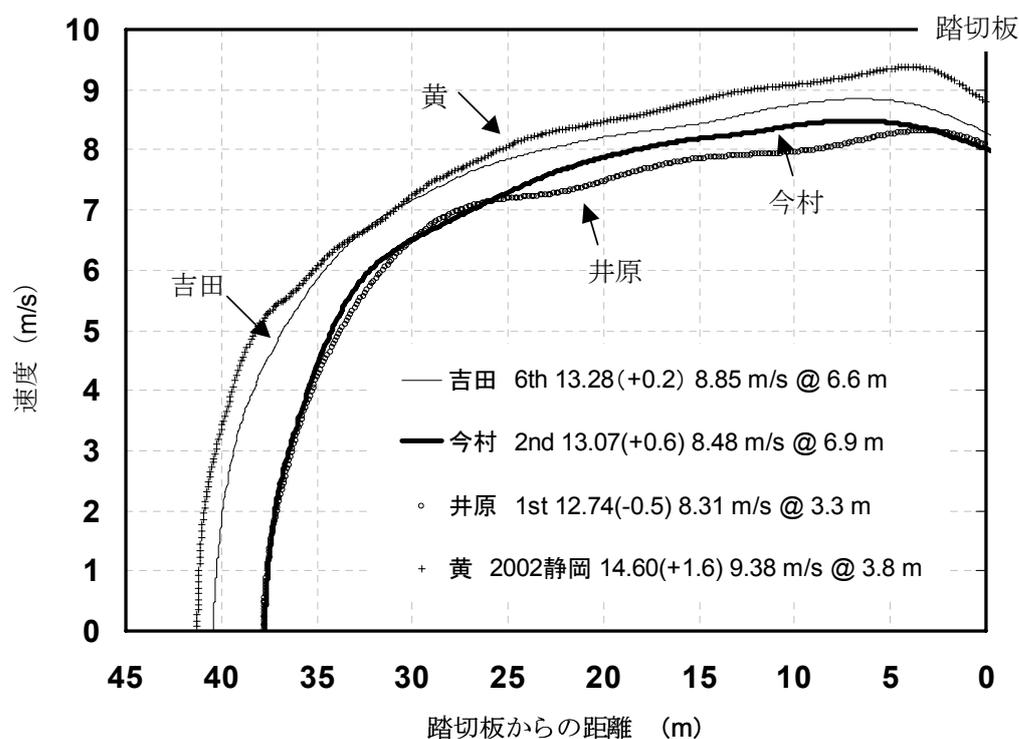


図17 2005 日本選手権における女子三段跳選手の助走速度曲線

参考文献

阿江通良, 深代千之, 山本恵美, 伊藤信之, 齊藤望 (1994) 男子三段跳の踏切に関するバイオメカニクスの研究. 世界一流競技者の技術. ベースボール・マガジン社. pp152-166.

小山宏之, 村木有也, 阿江通良 (2003) 女子一流三段跳選手の踏切動作の分析. 日本陸連科学委員会

研究報告, 2(1), 49-54.

小山宏之, 村木有也, 仲谷政剛, 阿江通良, 伊藤信之, 山下訓史 (2005) 競技会における一流男女走幅跳, 三段跳, および棒高跳選手の助走速度分析. 日本陸連科学委員会研究報告, 4, 128-136.

男子棒高跳における重心水平速度変化およびポール湾曲度

武田 理¹⁾ 村木有也¹⁾ 小山宏之¹⁾ 阿江通良²⁾
 1) 筑波大学大学院 2) 筑波大学体育科学系

1. はじめに

本報告では、2003年から2005年にかけて行われた公認陸上競技会における、国内外男子一流棒高跳選手、および学生選手の身体重心速度変化およびポールの湾曲について報告する。

2. 方法

VTR撮影は2003年から2005年に行われた公認陸上競技会における棒高跳に出場した国内外一流棒高跳選手および学生棒高跳選手18名23試技を分析対象とした。また、この中には日本記録保持者、2004年アテネオリンピック優勝者および2002年世界選手権優勝者を含んでいる。また本報告で用いたVTRテープは日本陸連科学委員会の活動によって撮影されたものである。

3. データ処理

撮影したVTR画像から、踏切2歩前離地からポール伸展後15コマまでの動作をビデオ動作解析システム(Frame-DIAS II、DKH社製)によりデジタル化し、身体計測点23点、およびポール上の計9点の計32点の座標を得た。得られた座標は2次元DLT法を用いて実座標に換算した。分析点の座標の平滑化は、座標成分ごとに最適遮断周波数を決定し(Wellsら1980)、Butterworth low-pass digital filterを用いて行った。X座標(水平)が4.2Hz～8.3Hz、Y座標が4.7Hz～8.5Hzの範囲であった。

4. 算出項目

① 身体重心高、重心水平速度、跳躍角
 計測点の二次元座標から、阿江ら(1996)の身体

部分慣性係数を用いて身体重心位置を

算出した。重心速度は重心変位を時間微分して算出し、跳躍角は踏切離地時の重心速度ベクトルが水平面となす角とした。

② 踏切局面における重心水平速度減速率

踏切脚の膝関節が最も屈曲した時点を踏切中間点(MKF)とし、踏切足接地(TD)から踏切中間点まで(踏切前半)、踏切中間点から踏切足離地(TO)まで(踏切後半)、TDからTOまで(踏切全体)の各局面における重心水平速度減速率を以下の式で算出した。

$$\text{踏切前半: DRTD} - \text{MKF} = (\text{MKF} - \text{VTD}) / \text{VTD} \times 100$$

$$\text{踏切後半: DRMKF} - \text{TO} = (\text{VTO} - \text{VMKF}) / \text{VMKF} \times 100$$

$$\text{踏切全体: DRTD} - \text{MKF} = (\text{VTO} - \text{VTD}) / \text{VTD} \times 100$$

ここで、VMKFは踏み切り中間点の銃身水平速度、踏切足接地時の重心水平速度、VTOは踏切足離地時の重心水平速度である。

③ ポール湾曲率

ポールの上端と下端を結んだ線分の長さを弦長とし、湾曲開始から伸展終了までの弦長を算出した。ポール伸展時の弦長に対する各時点の弦長の比率をポール湾曲率とした。

$$\text{ポール湾曲率} = 100 - (\text{各時点の弦長} / \text{ポール伸展時の弦長}) \times 100$$

5. 結果

5.1 重心水平速度および跳躍角

図1は分析対象者の記録と踏切足離地時の重心水平速度の関係を示したものである。

重心水平速度と記録との間には有意な正の相関が見られた($r=0.75, p<0.001$)。また、跳躍角と記録との間にも有意な負の相関が見られた($r=0.75,$

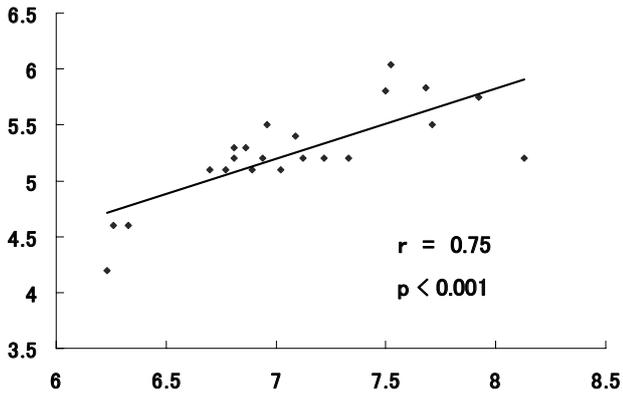


図1 踏切離地時における重心水平速度と記録との関係

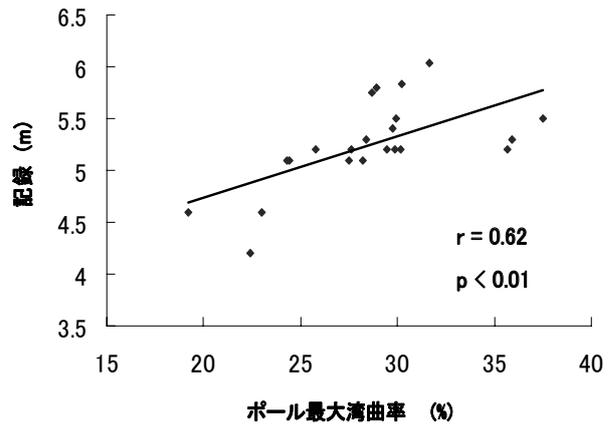


図3 ポール最大湾曲率と記録との関係

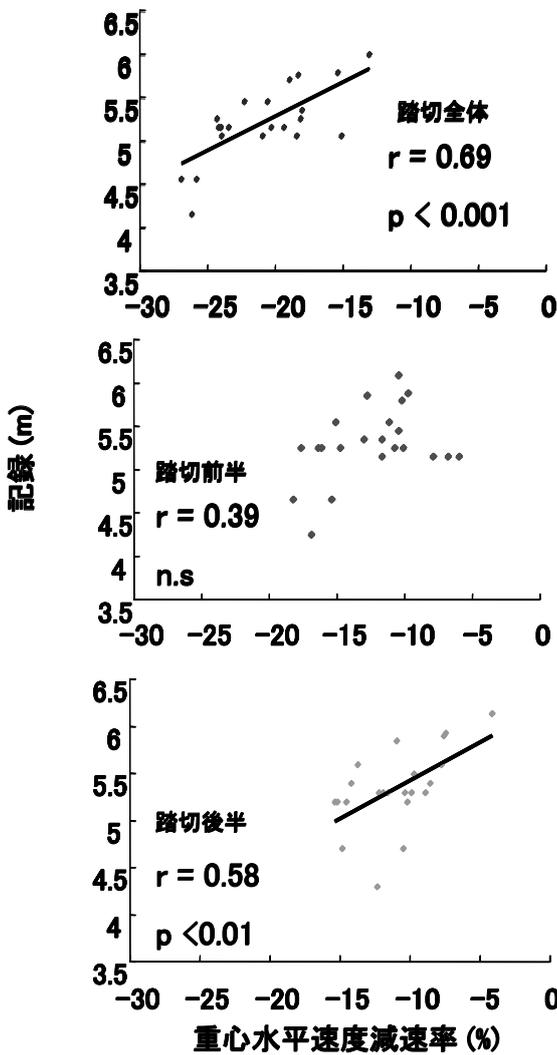


図2 踏切時における重心水平速度と記録との関係

$p < 0.001$)。このことから、踏切離地時において大きな重心水平速度を持っていること、また、踏切時に低い跳び出しを行うことが重要であると考えられる。

5.2 重心水平速度減速率

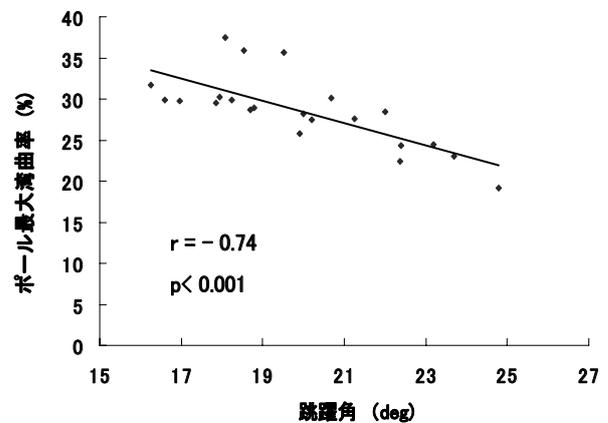


図4 跳躍角とポール最大湾曲率との関係

図2は踏切局面における重心水平速度減速率と記録との関係を示したものである。踏切前半の減速率は記録との間に有意な相関は見られず、踏切全体および踏切後半の減速率は記録との間に有意な正の相関が見られた(全体： $r=0.69$, $p<0.01$ ；後半： $r=0.58$, $p<0.01$)。

このことから、踏切において重心水平速度の減速を小さくすること、特に踏切後半における重心水平速度の減速を小さくすることが、結果として踏切足離地時に大きな重心水平速度を持つことにつながると考えられる。

5.3 ポールの湾曲

図3は記録とポール最大湾曲率との関係を示したものである。ポール最大湾曲率と記録との間には有意な正の相関が見られた($r=0.62$, $p<0.01$)。

図4は、跳躍角とポール最大湾曲率との関係を示したものである。跳躍角とポール最大湾曲率との間には有意な負の相関が見られた($r=-0.74$, $p<0.001$)。このことから、ポールをより大きく湾曲させることは記録を高める上で重要であると考えら

れる。また、ポールを大きく湾曲させるためには踏切時に低い跳び出しを行うことが有効であると考えられる。

図5は踏切における重心水平速度減速率とポール最大湾曲率との関係を示したものである。踏切前半とポール最大湾曲率の間には有意な相関は見られなかったが、踏切全体および踏切後半の重心水平速度減速率とポール最大湾曲率の間には有意な正の相関が見られた（全体： $r=0.49, p<0.05$ ；後半： $r=0.54, p<0.01$ ）。このことから、踏切時の大きな減速はポールの湾曲に有効ではないと考えられ、特に踏切後半での重心水平速度の減速を小さくすることが重要であると考えられる。

図6は踏切後半における重心水平速度減速率と踏切時の上方のグリップと踏切足の水平距離との関係を示したものである。踏切後半における重心水平速度減速率と踏切時の上方のグリップと踏切足の水平距離の間には有意な正の相関が見られた（ $r=0.63, p<0.01$ ）。このことから、記録やポール最大湾曲率に関与する、踏切後半の重心水平速度減速率を小さくするために、上方のグリップの真下もしくは、やや遠くから踏み切ることで、踏切中に行われる突込み動作による、ボックスからの衝撃を小さくでき、重心水平速度の低下を小さくできると考えられる。

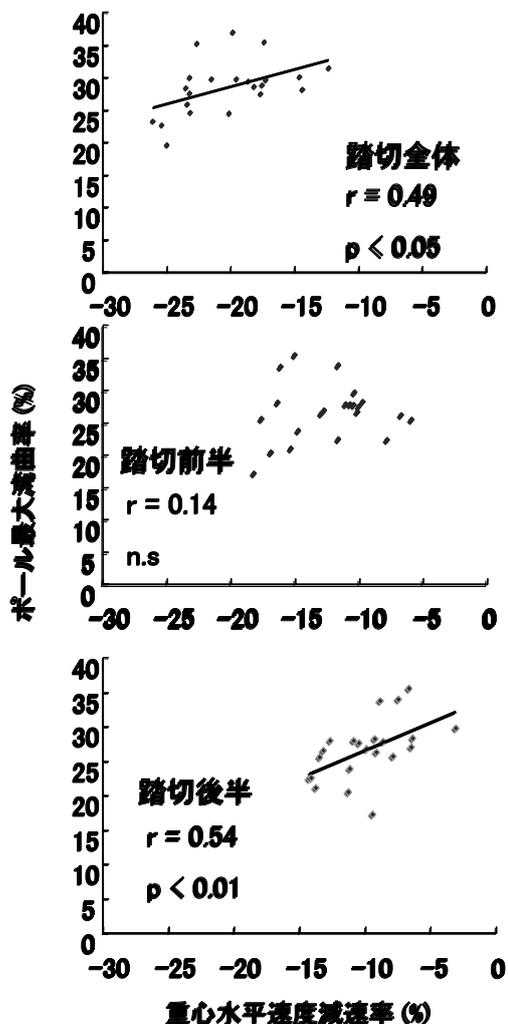


図5 踏切時における重心水平速度とポール最大湾曲率との関係

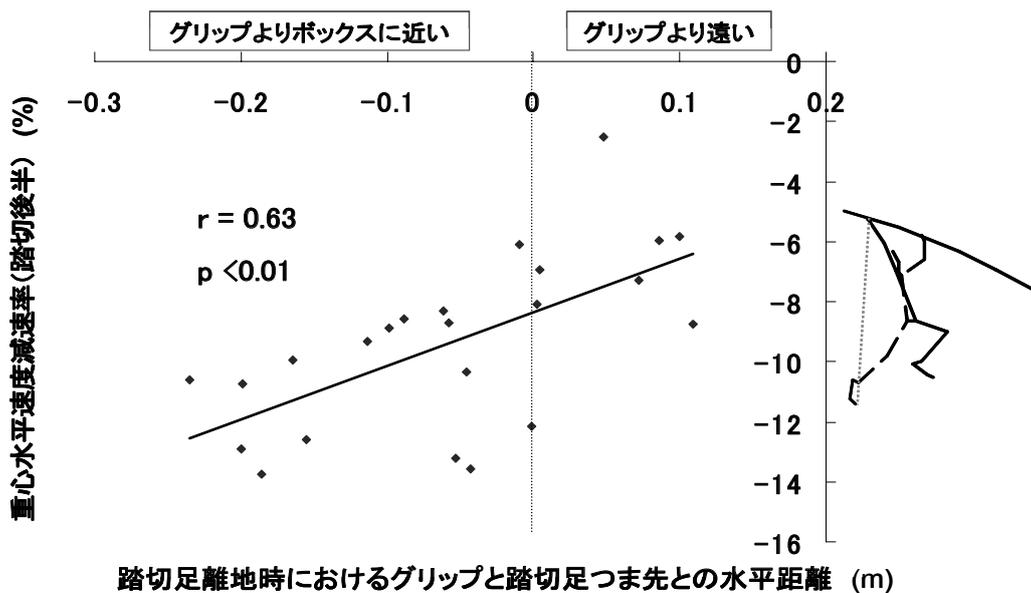


図6 踏切足離地時におけるグリップとつま先距離と踏切後半における重心水平速度減速率との関係

女子棒高跳選手の跳躍動作のバイオメカニクスの分析

吉原 礼¹⁾ 武田 理²⁾ 小山 宏之²⁾ 阿江 通良³⁾

1) 筑波大学体育専門学群 2) 筑波大学大学院 3) 筑波大学体育科学系

1. はじめに

女子棒高跳が1999年に世界選手権、2000年にオリンピックの正式種目となって以来、その記録の向上はめざましい。しかし、女子棒高跳におけるバイオメカニクスの研究はほとんどみられない。そこで、本報告では国内外の女子一流棒高跳選手および学生棒高跳選手の跳躍動作を分析、比較した結果について報告する。

2. 方法

2.1 データ収集

2005年に行なわれた公認陸上競技会に出場した国内外の女子一流棒高跳選手および学生選手12名を分析対象者とした。分析対象者の身長、体重は $1.67 \pm 0.06\text{m}$ 、 $55.9 \pm 4.4\text{kg}$ であった。VTR撮影はデジタルビデオカメラ(VX-2000, SONY社)1台を用い、ボックスから助走路側に6m、マット側に2mの範囲を撮影した。撮影スピードは毎秒60フィールド、露出時間は1/1000秒であった。なお、本研究で用いたVTRテープの一部は、日本陸上競技連盟科学委員会バイオメカニクス班の活動により撮影されたものである。

2.2 データ処理

撮影したVTR画像から、踏切1歩前接地5コマ前からポール伸展後5コマまでの動作を、ビデオ画像解析システム(Frame-DIAS II, DKH社)を用いて1コマごとにデジタル化し、身体計測点23点の座標を得た。得られた身体計測点23点の座標は2次元DLT法を用いて実座標に換算した。次に、得られた実座標をButterworth low-pass digital filterを用いて平滑化した。最適遮断周波数はWells and Winter (1980)の方法により計測点の座標成

分ごとに決定した。なお、その最適遮断周波数は、2.4Hz～5.4Hzの範囲であった。

2.3 測定項目と測定法

身体計測点の2次元座標から阿江ら(1996)の身体部分慣性係数を用いて、身体および部分の重心位置を算出し、身体重心速度は身体重心変位を時間微分して求めた。

次いで以下の項目を算出した。

①踏切局面における身体重心水平速度減速率：踏切足接地から踏切足離地までの身体重心水平速度減速率(DR)は以下の式で算出した。

$$DR = (VX_{off} - VX_{on}) / VX_{on} \times 100$$

ここで、 VX_{on} は踏切足接地時の身体重心水平速度、 VX_{off} は踏切足離地時の身体重心水平速度を示している。

②跳躍角：踏切足離地時の身体重心速度ベクトルが水平面となす角度を跳躍角とした。

③ポール湾曲率および最大ポール湾曲率：上側のグリップとポールの下端を結んだ線分の長さを弦長とし、ポール伸展時の弦長に対する各時点の弦長の割合をポール湾曲率として以下の式により算出した。最も湾曲率が大きい時点を最大ポール湾曲時とし、そのときの湾曲率を最大ポール湾曲率とした。

$$\text{ポール湾曲率} = 100 - \left(\text{各時点の弦長} / \text{ポール伸展時の弦長} \right) \times 100$$

④身体重心鉛直速度比：ポール湾曲局面およびポール伸展局面における身体重心鉛直速度の平均値をそれぞれ算出し、以下の式により算出した。本研究では、ポール湾曲局面を踏切足離地時から最大ポール湾曲時まで、ポール伸展局面をポール最大湾曲時からポール伸展時までとした。

$$\text{身体重心鉛直速度比} = \text{ポール伸展局面の平均身体重心鉛直速度} / \text{ポール湾曲局面の平均身体重心鉛直速度}$$

表1 パフォーマンスに関係する基礎的要因

	分析記録(m)	踏切足接地		踏切足離地		減速率(%)	跳躍角(deg)	グリップ高(m)	抜きの高さ(m)	最大ポール湾曲率(%)
		水平(m/s)	鉛直(m/s)	水平(m/s)	鉛直(m/s)					
A	4.50(失敗)	7.89	0.61	6.98	2.62	11.6	20.6	4.10	0.40	27.5
B	4.10	7.64	0.11	6.19	2.56	19.0	22.5	4.10	0.00	24.0
C	4.10	7.69	0.24	6.07	2.41	21.0	21.7	4.01	0.09	23.1
D	4.20	7.49	0.38	6.18	2.55	17.4	22.4	3.80	0.40	25.8
E	4.20	7.46	0.19	6.59	2.57	11.6	21.3	3.93	0.27	30.7
F	4.00	7.66	0.24	6.46	2.38	15.7	20.2	3.89	0.11	27.1
G	3.80	7.12	-0.01	6.13	2.45	13.8	21.8	3.86	-0.06	24.6
学生A	4.00	7.68	-0.05	6.10	2.70	20.6	23.9	3.94	0.06	22.8
学生B	3.90	7.37	0.17	6.00	2.57	18.7	23.2	3.73	0.17	22.7
学生C	3.80	7.18	0.17	5.96	2.63	17.0	23.8	3.73	0.07	23.2
学生D	3.70	7.43	0.17	5.77	2.77	22.3	25.7	3.69	0.11	24.8
学生E	3.40	6.69	0.68	5.55	2.84	17.1	27.1	3.53	-0.13	20.1
平均	4.26	7.44	0.24	6.16	2.59	17.2	22.8	3.86	0.12	24.7
標準偏差	±0.38	±0.53	±0.21	±0.38	±0.19	±3.9	±1.8	±0.19	±0.25	±3.0
一流選手平均	4.07	7.56	0.25	6.37	2.51	15.7	21.5	3.96	0.17	26.1
標準偏差	±0.21	±0.24	±0.20	±0.32	±0.09	±3.6	±0.9	±0.12	±0.19	±2.6
学生選手平均	3.76	7.27	0.23	5.87	2.70	19.2	24.7	3.72	0.06	22.7
標準偏差	±0.23	±0.37	±0.27	±0.22	±0.11	±2.3	±1.6	±0.15	±0.11	±1.7

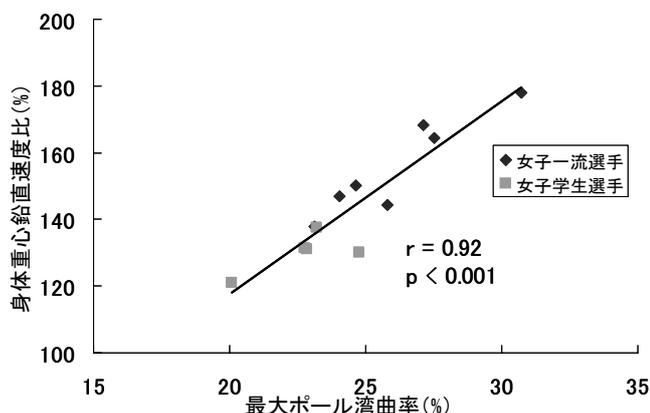


図1 最大ポール湾曲率と身体重心鉛直速度比との関係

⑤関節角度，身体部分角度および角速度：身体計測点の2次元座標から肩関節角度（上腕と体幹のなす角度），肘関節角度（上腕と前腕のなす角度）および体幹の角度（体幹と肩から下ろした鉛直線のなす角度）を算出した。体幹角度は，鉛直線に対して反時計まわりを正とした。また角変位を時間微分して角速度を求めた。

分析項目間の相関関係を調べるため，ピアソンの相関係数を算出し，有意水準は5%以下とした。

3. 結果および考察

3.1 パフォーマンスに関係する基礎的要因

表1は分析記録とパフォーマンスに関係する基礎的要因を示したものである。踏切足接地時の身体重心水平速度および踏切足離地時の重心水平速度は女

子一流選手が，女子学生選手と比較して大きかった。踏切足接地時の身体重心水平速度と記録の間には有意な正の相関 ($r = 0.85, p < 0.001$) がみられ，また，踏切足離地時の身体重心水平速度と記録の間には有意な正の相関 ($r = 0.90, p < 0.001$) がみられた。

跳躍角は女子学生選手 ($24.7 \pm 1.6\text{deg}$) が，女子一流選手 ($21.5 \pm 0.9\text{deg}$) と比較して大きかった。跳躍角と記録の間には有意な負の相関がみられた ($r = -0.80, p < 0.01$)。

3.2 身体重心鉛直速度比およびポールの湾曲について

図1は最大ポール湾曲率と身体重心鉛直速度比との関係を示したものである。最大ポール湾曲率と身体重心鉛直速度比の間には有意な正の相関がみられた ($r = 0.92, p < 0.001$)。このことから，ポールを大きく湾曲させていた選手がポール伸展局面における身体重心速度を大きくできたと考えられる。また，跳躍角と最大ポール湾曲率の間には被験者全体で有意な負の相関 ($r = -0.62, p < 0.01$) がみられ，踏切足離地時に低く跳び出すことがポールを大きく湾曲させることに有効であると考えられる。

3.3 関節角度および体幹角度

図2は踏切後の体幹角速度ピーク値と踏切足離地時の左肘関節角度との関係を示したものである。左肘関節角度は120度から140度を示す選手が多かったが，左肘関節角度が120度より小さい選手（被験

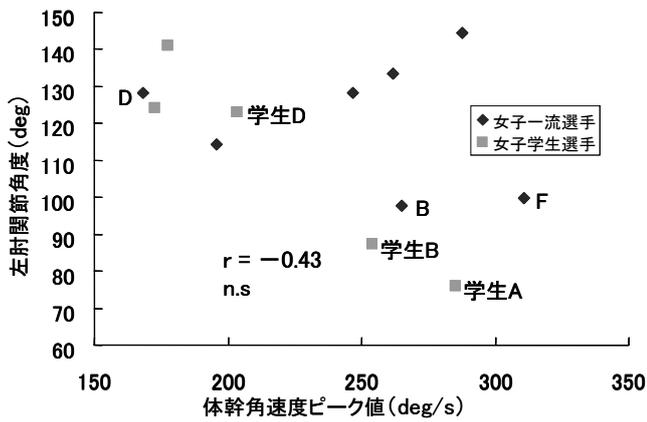


図2 踏切後の体幹角速度ピーク値と踏切足離地時の左肘関節角度との関係

者B, Fおよび学生A, B)もみられた。被験者B, Fおよび学生A, Bは、いずれも体幹角速度ピーク値が大きな値を示した。ここで一流選手および学生選手それぞれ左肘関節角度が120度より小さかった選手と120度から140度を示した選手を典型例として(被験者D, F, および学生A, D), 図3に踏切足離地時からポール伸展時までの体幹角度の変化を示した。被験者Dや学生Dの体幹角度は踏切足離地後、約150度から160度まで増加を続けた。被験者F, および学生Aの体幹角度は踏切足離地直後には一時的に急増するが、約40度から50度まで増加したと

ころで停滞や減少する局面がみられ、ポール伸展時では被験者Dや学生Dより小さかった。

ポール伸展局面において体幹角度が小さいことはバークリアランスのための倒立姿勢をとりやすくすることが考えられる。

図4は図3で事例として示した被験者の左肘関節角度の踏切足接地時、離地時、最大屈曲時の値を示したものである。左肘関節は被験者F, および学生Aは被験者Dおよび学生Dと比較すると踏切足接地から離地の間に著しく減少していた。踏切足接地中の左肘関節の屈曲が棒高跳において踏切後にみられるいわゆる「つぶれる」という現象の原因となる可能性があり、その後の体幹角度変化に影響を及ぼすと考えられる。

左肘関節が踏切中に屈曲するのは、ポールをボックスに突っ込む際の衝撃などによると考えられる。そこで、ポール湾曲開始時をポールがボックスについた時点と仮定して、スティックピクチャーと踏切足位置を示した(図5)。踏切足位置と上側グリップの関係を見ると、踏切足接地位置に対してグリップが身体より後方になる選手が多かった。図3で事例として示

した選手についてみると、被験者Dは踏切足接地位置に対してグリップは身体よりやや後方であるが、ポール湾曲開始時の左肘の屈曲が小さかった。

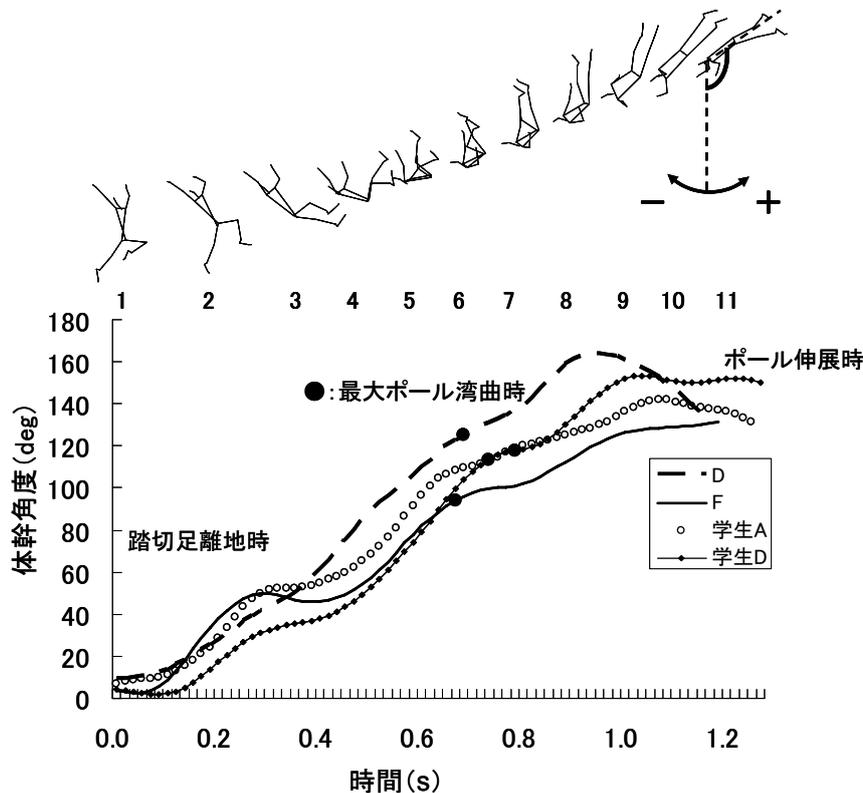


図3 踏切足離地時からポール伸展時における体幹角度の変化

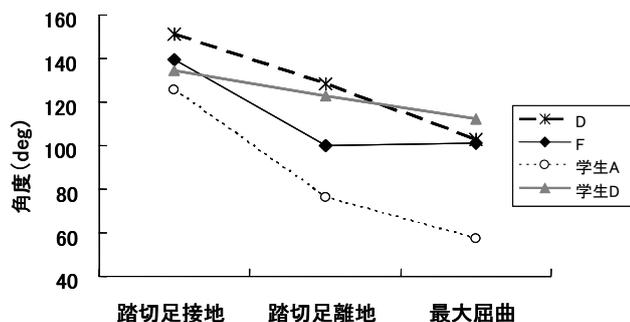
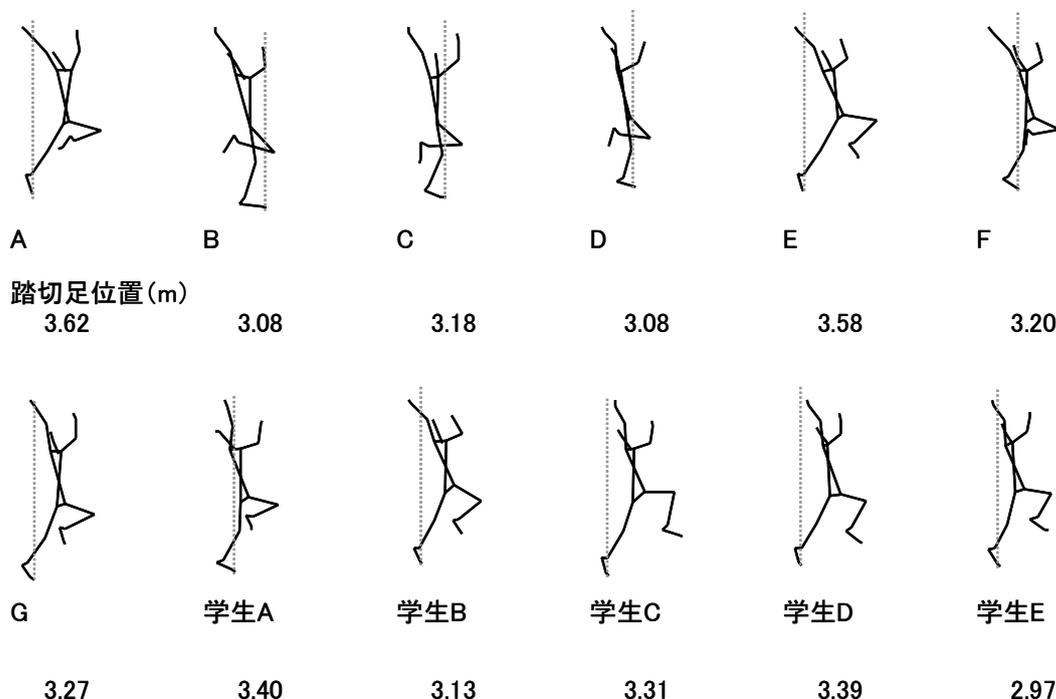


図4 左肘関節角度の変化

学生Dは踏切足位置より前方にグリップがあり左肘の屈曲も小さい。被験者Fはグリップ位置が身体に対して大きく後方であり，左肘関節の屈曲が大きかった。また，学生Aは左肘関節の屈曲が大きく，左手の位置が低かった。これらのことから，ポール湾曲開始時にはグリップの位置が踏切足位置の上方にあること，左肘関節の屈曲が大きくなるようにすることが重要であると考えられる。被験者Aではこのような動作が顕著にみられ，特に左手は他の被験者と比較しても高い位置に上げられ，左肘関節の屈曲を小さくしてポールの湾曲を開始させていた。



数字はボックス先端(アップライト0m)から踏切足つま先までの踏切足位置を示す。

図5 ポール湾曲開始時のスティックピクチャーと踏切足位置

2005 スーパー陸上におけるイシンバエワ選手の動作分析

林 忠男¹⁾ 小林 史明¹⁾

1) 日本体育大学

はじめに

棒高跳び競技ではポールインパクト時（ポール先端がボックスに打突する瞬間）および踏み切り動作はパフォーマンスに大きく影響する。にもかかわらず踏み切り動作は選手のレベルのみならず、同レベルの選手間であっても大きく異なっている。これらを解析し、パフォーマンスレベルあるいは選手の特徴にあわせた指導をおこなうことが競技成績の向上につながると考えられる。

目的

世界記録保持者と国内エリート女子選手の踏切動作におけるデータを比較分析することで、それぞれの特徴をつかむとともに、国内エリート選手に必要な要素部分を明確にすることを目的とする。

対象

- ・「スーパー陸上2005ヨコハマ」における女子棒高跳び競技：エレナ・イシンバエワ選手（現世界記録保持者：5m01cm）
- ・日時：2005年9月19日（月／祝日）
- ・場所：横浜国際総合競技場

方法

1. 棒高跳び助走路前方約80mおよび、踏み切り位置の側方約30mの位置から2台のハイスピードカメラで踏み切り2歩手前からロックバック姿勢前までを毎秒500コマで撮影。また1台のデジタルビデオカメラにより踏み切り位置の側方約20mから跳躍全体を毎秒60コマで撮影した。

2. 3次元および2次元分析用キャリブレーションポイント（空間内座標を規定するためのフレーム）をレーン上の複数箇所撮影した。

3. 分析対象部分およびキャリブレーション映像を切り出しコンピュータに取り込み、ハイスピード映像は毎秒250コマで、DV映像は毎秒60コマでデジタル化し、3次元動作分析をおこなった。

4. デジタル化は全身21ポイント（頭頂、第7頸椎、第5腰椎、右上前腸骨棘、右大転子、右膝、右踝、右足踵、右足先、右肩、右肘、右グリップ、左上前腸骨棘、左大転子、左膝、左踝、左足踵、左足先、左肩、左肘、左グリップ）、ポール後端、ポール屈曲点（ポール中央部マークの先端）、およびポール先端の合計24ポイントをおこなった。

5. 1991年東京世界陸上における淵元、高松、阿江らによる棒高跳び分析項目を参考に踏み切り動作前後の重心速度、踏み切り時グリップ高、ポール角、重心高、水平速度、鉛直速度、合成速度、踏み切り角を求めた。

結果

図1はイシンバエワ選手の4.50m跳躍における踏み切り動作をあらわしたものである。上段は助走側面への投影成分をスティックピクチャー化したもので、下段は助走正面への投影成分をスティックピクチャー化したものである。いずれも図の左から右にいくにしたがって10/250秒時間ずつ経過した局面を列挙している。像が重ならないようにするため、上図では実際の位置より1フェーズあたり24cm右にずらし、下図では1フェーズあたり53cmずつ右にずらしてプロットされている。これに対して

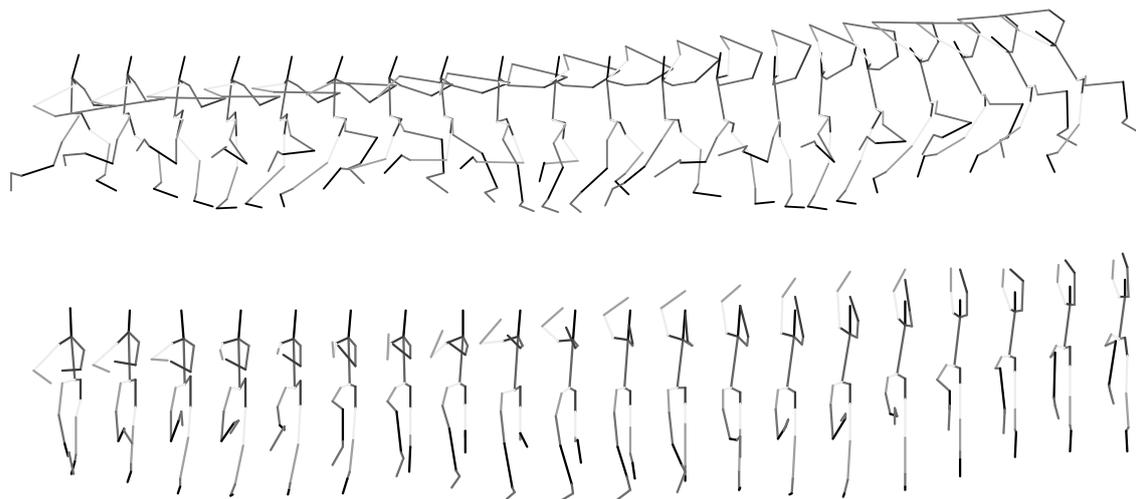


図1. イシバエワ選手の4.50m跳躍試技における踏切り動作。上段は助走側面への投影成分をスティックピクチャー化したもの。下段は助走正面への投影成分をスティックピクチャー化したもの。いずれも図の左から右にしたがって10/250秒時間経過した局面を列挙している。

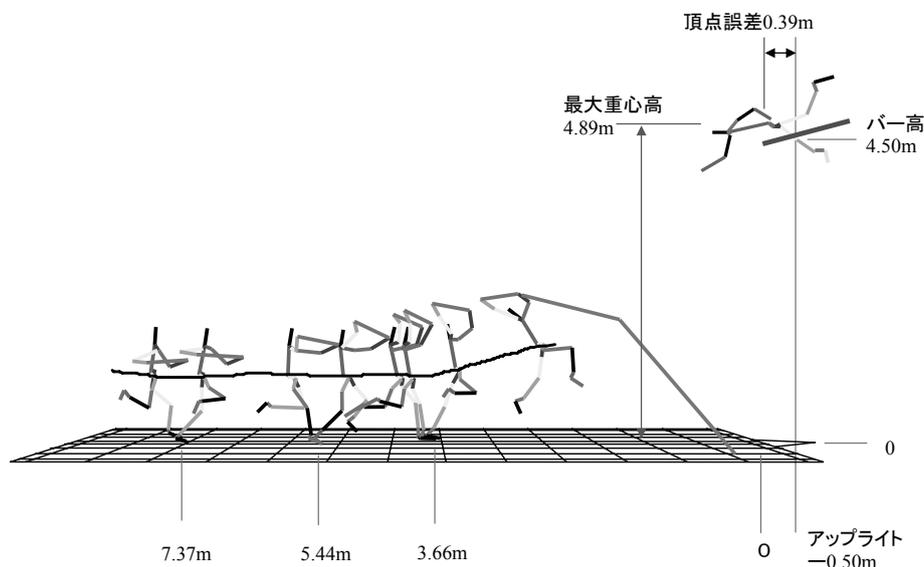


図2. イシバエワ選手の助走局面および最大重心高局面の位置データ。スティックピクチャーは左から2歩前接地、離地、1歩前接地、離地、踏切り接地、ポールインパクト（打突）、踏切り離地、上昇局面、最大高到達時を表している。

図2では各フェーズの相対位置関係を保ったままプロットしている。

図2はイシバエワ選手の助走局面および最大重心高局面の位置データを図示したものである。スティックピクチャーは左から2歩前接地、離地、1歩前接地、離地、踏切り接地、ポールインパクト（打突）、踏切り離地、上昇局面、最大高到達時を示している。床面下の数字は助走路先端を基準としたときの距離を表している。したがって走路先端が0mで、そこから助走路上流に行くにしたがって距離が大きくなっている。また走路先端を超える位置はマイナス距離で示してあり、イシバエワ選手の

4.50m跳躍ではアップライトが50cmであった。図右側には走路面を基準としたときのバー高を示してある。このときの最大重心高は4.89mであった。また本跳躍において重心頂点座標は走路方向11cmであり、バー手前39cmの位置であった。

表1は「スーパー陸上2002横浜」における各選手および「スーパー陸上2005横浜」におけるイシバエワ選手の踏切り接地前、ポールインパクト時および踏切り時（踏切り脚が離地した瞬間）の各データを表したものである。ここでいう「踏切り接地前」重心速度は、踏切り1歩前の離地から踏

表 1. 各選手のポールインパクト時（ポールがボックス先端に衝突した瞬間）、および踏み切り時（踏み切り足が離地した瞬間）の各データ。上記データ中、真島選手、中野選手およびイシンバエワ選手の試技は不成功であった。グリップ-重心角度は上把手と重心を結ぶ直線が鉛直線となす角度。

	踏切り接地前	ポールインパクト時			踏み切り時				踏切り角 度
	重心速度 [cm/sec]	ポール角度 [degree]	体幹角度 [degree]	グリップ- 重心角度 [degree]	踏切り 位置 [cm]	水平速度 [cm/sec]	鉛直速度 [cm/sec]	合成速度 [cm/sec]	
アダムス4.0	820	37	7	9	337	630	210	664	18
サウアー4.0	839	29	6	2	335	660	300	725	24
ピレク4.0	820	32	1	-9	336	600	300	671	27
モルナー4.2	840	33	-2	-10	344	660	240	702	20
モルナー4.0	810	32	5	-9	335	660	240	702	20
江口3.9	779	37	4	1	308	630	210	664	18
小野4.0	839	33	0	0	309	630	270	685	23
真島3.9	719	35	-1	-5	291	630	210	664	18
中野4.0	839	35	-3	-4	334	630	270	685	23
イシンバエワ4.5	857	28	-11	-10	366	725	200	752	15

切り接地までの平均重心速度を示している。これらのうち真島選手、中野選手およびイシンバエワ選手の試技は不成功で、他の試技はすべてバーをクリアしたものである。最左列には選手名および試技高をm単位で示してある。第2列には踏切り脚が接地する前の重心速度をcm/秒で示してある。

これは従来研究で示される助走速度に対応するものであるが、本分析で得られた踏切り前重心速度は従来研究が示す助走速度に対して1〜2割程度高い結果となった。これは従来の助走速度が踏切り前の1〜数ステップにわたる平均あるいは接地中フェーズに影響されるローパスフィルタ値であったのに対して、本分析では踏切り直前ステップの離地から接地までの滞空フェーズのみの値としたためと考えられる。重心速度は接地中に減速から加速をおこない、極大値になった状態で離地となり、滞空フェーズでは空気抵抗のみのためほとんど減速しない。すなわち重心速度は滞空フェーズのみをとると1ストライドの平均値よりも高い値を示す。短距離種目の疾走速度と比較する場合ストライド全体にわたった重心速度を比べるほうがイメージがつかみやすく適当と考えられるが、棒高跳び競技において運動エネルギーの位置エネルギーへの変換という観点からみる場合、踏切り接地直前の局所的な重心速度比較のほうが獲得された運動エネルギーの大きさや、その変換率を議論でき適当と考え本分析では滞空フェーズのみの平均速度を用いた。

3列〜6列にはポールインパクト時の重心速度、ポール角度（図3）、体幹の角度（図3における身体中心部の赤セグメントが鉛直線となす角度）、グリップ-重心角度（図3：ポールエンド側のグリップ

と身体重心を結ぶ直線が鉛直線となす角度、正のとき前のめり、負のときのけぞる形となる）を示してある。イシンバエワ選手の踏切り前およびポールインパクト前重心速度が他選手よりも高いことがわかる。また体幹角度およびグリップ-重心直線の角度も最も低い値を示し他選手に比べてのけぞった形でポールインパクトをむかえていることがわかる。7列〜11列には踏切り脚が離地した際の走路先端からの位置、水平速度、鉛直速度、3次元的速度、および踏切り角度を示してある。水平速度がきわだって高いのに対して、鉛直速度が最も低く踏切り角度が非常に浅くなっていることがわかる。

図3は踏切り局面におけるポールインパクト時の重心位置を示すものである。左図はイシンバエワ選手、右図は2002年同大会における当時の日本記録保持者である小野選手のスティックピクチャーである。イシンバエワ選手のポール角度が浅いのはより高いバーへの跳躍なためポールが長く跳躍位置もボックスから遠いためである。一方、グリップ（上把手）中心から重心に向かって引いた直線が鉛直線となす角は図のようにイシンバエワ選手が -10° 、小野選手が 0° であった。また体幹（各選手中央部分の背骨に相当する赤線分）が鉛直線となす角度は頭部の横に示した。イシンバエワ選手が -11° と傾いているのに対して小野選手は 0° とほぼ直立していた。

考 察

図2において最大重心高は4.89mとバー高4.50m

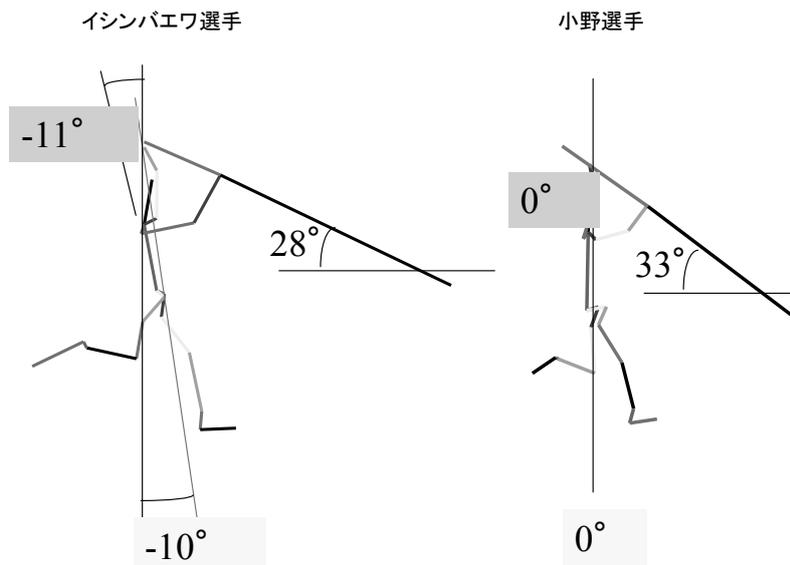


図3. 踏切局面におけるポールインパクト時の重心位置の比較。左図はイシンバエワ選手、右図は2002年スーパー陸上における小野選手のスティックピクチャー。各選手とも図下の角度はグリップ（上把手）中心からおろした鉛直線と、グリップ-重心線分がなす角度。ポール下の角度はポールと水平面のなす角。頭部横の角度は体幹（各図中央部分の背骨に相当する赤線分）が鉛直線となす角度。

に対して39cm上回っており、十分クリア可能な重心高であることがわかる。一方で、アップライトを50cmとったにもかかわらず、バー手前39cmの位置に跳躍頂点がきたことから跳躍全体を通して思ったほどには進行方向速度を獲得できなかったことが考えられる。また今回の試技ではイシンバエワ選手は第1、第2試技とも助走のみで終わってしまい踏切りをおこなうことができなかった。これにより1回だけの跳躍となってしまう、当日のコンディション（身体を含む）に合わせた微調整ができず、アップライトを合わせることができなかったことがバーをクリアできなかった原因の一つと考えられる。

表1から踏切り前後を通じてイシンバエワ選手の身体重心速度が高いことがわかる。これは従来研究が指摘する助走速度とパフォーマンスの高い相関関係と一致しており、助走速度をいかに高め、獲得された運動エネルギーを位置エネルギーに変換できるかがパフォーマンスに影響していることを示唆している。しかしながら助走速度を高めても踏切り動作ができるのか、またその運動エネルギーを位置エネルギーに効率的に変換できるかにはさまざまな技術や身体能力が必要と考えられる。

図3のポールインパクト時、ポール先端は固定され疾走してきた身体はポール後端のグリップを支点として前方に運動を続けようとする。そのためグリップ部分を運動方向へ並進移動させるとともにグリップを中心に身体重心は回転運動しようとする。その結果グリップ部分には半径方向に遠心力が

かかる。この際、半径方向がポールに近い、すなわち身体重心がグリップより前方にあり、グリップ-身体重心線分がポールの傾きに近いほどポールの長手方向の成分は大きくなると考えられる。イシンバエワ選手と小野選手を比べてみると、イシンバエワ選手のグリップ-重心線は10°傾いているのに対して小野選手は0°とほぼ直立姿勢であることがわかる。これによりイシンバエワ選手はポールのインパクト後ただちにポールの屈曲に入り、助走により得られた運動エネルギーをより直接的にポールの弾性エネルギーに変換できていると考えられる。また表3における踏切り時の踏切り角度もイシンバエワ選手は全選手の中で最も低く、運動の方向がより半径方向に近くポール長手方向に押しつぶすように働く。これにより踏切りの際の運動エネルギーをより直接的にポール屈曲に使い、弾性エネルギーに変換していることが推察される。

日本一流男子槍投げ選手の技術分析

田内健二¹⁾ 村上雅俊²⁾ 高松潤二¹⁾ 阿江通良³⁾

1) 国立スポーツ科学センター 2) 愛媛女子短期大学 3) 筑波大学

I. はじめに

我が国における槍投げは、吉田雅美選手や溝口和洋選手に代表されるように、男子の投てき種目において世界で通用する種目とされてきた。しかし、残念ながら近年では、村上幸史選手がオリンピックに出場できるレベルになってきているが、世界に通用するためにはさらなる競技力向上が望まれる。

本稿では、第89回日本選手権(2005年)男子槍投げ優勝の村上幸史選手、および準優勝の荒井謙選手の投てき動作について、力学的エネルギーの発生と伝達の観点から分析し、両選手の特徴と課題を検討することを目的とした。

II. 方法

1. 分析対象

分析対象の投てき動作は、村上選手(身長: 1.85m, 体重: 92.0kg)については日本選手権の優勝記録で

ある79.79mの投てき、荒井選手(身長: 1.72m, 体重: 71.5kg)については準優勝記録である74.15mの投てきとした。

2. データ収集

両投てき動作ともに、助走路の右側方および後方に設置した2台のデジタルビデオカメラ(DCR-VX2000, Sony)を用いて、毎秒60コマ、露出時間1/1000秒で撮影した。右側方のカメラはパンニング、後方のカメラは固定して撮影した。撮影範囲およびキャリブレーションの設定は、図1に示した。

3. データ分析

撮影した映像から槍および身体分析点(23点)を動作解析システム(Frame-DIAS II, ディケイエイチ)を用いて毎秒60コマでデジタル化した。3次元DLT法により槍および身体分析点の3次元座標を算出し、残差分析法によって決定された最適遮断周波数(6-8 Hz)で、バッタワースデジ

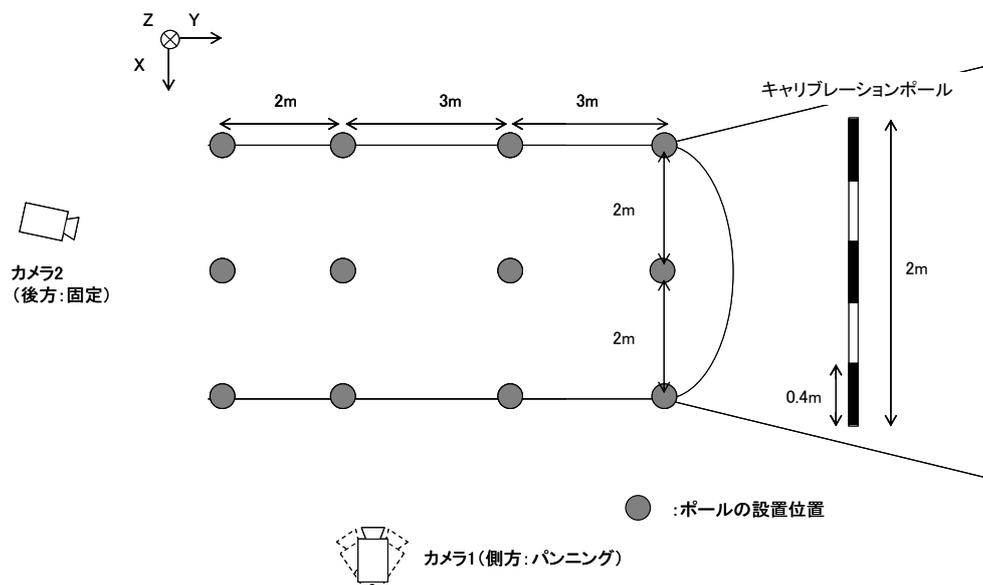
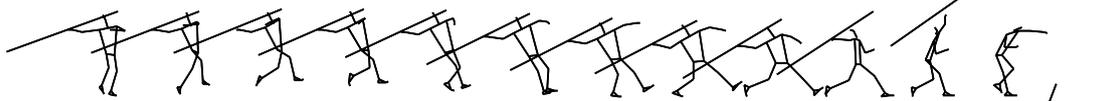


図1 撮影状況

村上選手: 79.79m



荒井選手: 74.15m

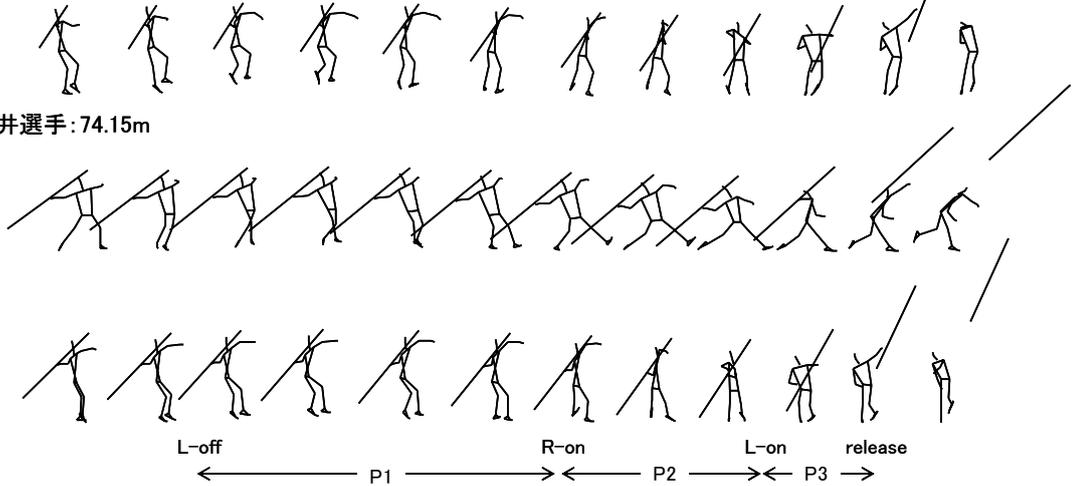


図2 イベントおよび局面の定義

タルフィルタにより平滑化した。なお、投てき方向をY軸、Y軸に対して左右方向をX軸、鉛直方向をZ軸とした右手系の静止座標系を設定した。本研究では、最後のクロスステップからリリースまでの投てき動作について、左足離地(L-off)、右足接地(R-on)、左足接地(L-on)およびリリース(Release)の各イベントを設定し、L-offからR-onまでを第1局面(P1)、R-onからL-onまでを第2局面(P2)、L-onからReleaseまでを第3局面(P3)とした(図2)。

本研究では、投動作を体幹と上肢-槍系にモデル化し、橋本ら(1991)の方法をもとにして、体幹および上肢-槍系の力学的エネルギーを算出した。また、上肢-槍系の力学的エネルギーについては、体幹から上肢-槍系へ流入したエネルギーと上肢が発生させたエネルギーとに分けた。

III. 結果および考察

表1に、槍投げパフォーマンスを示した。槍の初速度は、村上選手が28.01m/s、荒井選手が27.12m/s

sであった。槍投げの投局面となるP2、P3の局面時間は、両選手ともに同値であった。

図3に、槍、上肢、身体重心の速度を示した。重心の速度は、村上選手が荒井選手と比較して高値を示した。

図4に、体幹および上肢-槍系の力学的エネルギーの時系列変化を示した。体幹の力学的エネルギーおよび上肢の発生エネルギーは、村上選手が荒井選手と比較して高値を示した。一方、体幹から上肢-槍系へ流入したエネルギーは、荒井選手が村上選手と比較して高値を示した。

IV. 考察

本研究の結果から、両選手の特徴と課題は以下のようまとめられる。

1. 村上選手の場合

村上選手は、荒井選手と比較して体格が大きく、さらに身体重心の速度も高いことから体幹の力学的

表1 投てきパフォーマンス

	記録 (m)	リリース時の槍速度 (m/s)				局面時間 (s)		
		X	Y	Z	合成	P1	P2	P3
村上	79.79	3.10	23.25	15.32	28.01	0.317	0.217	0.133
荒井	74.15	5.57	20.82	16.45	27.12	0.233	0.217	0.133

村上選手: 79.79m

荒井選手: 74.15m

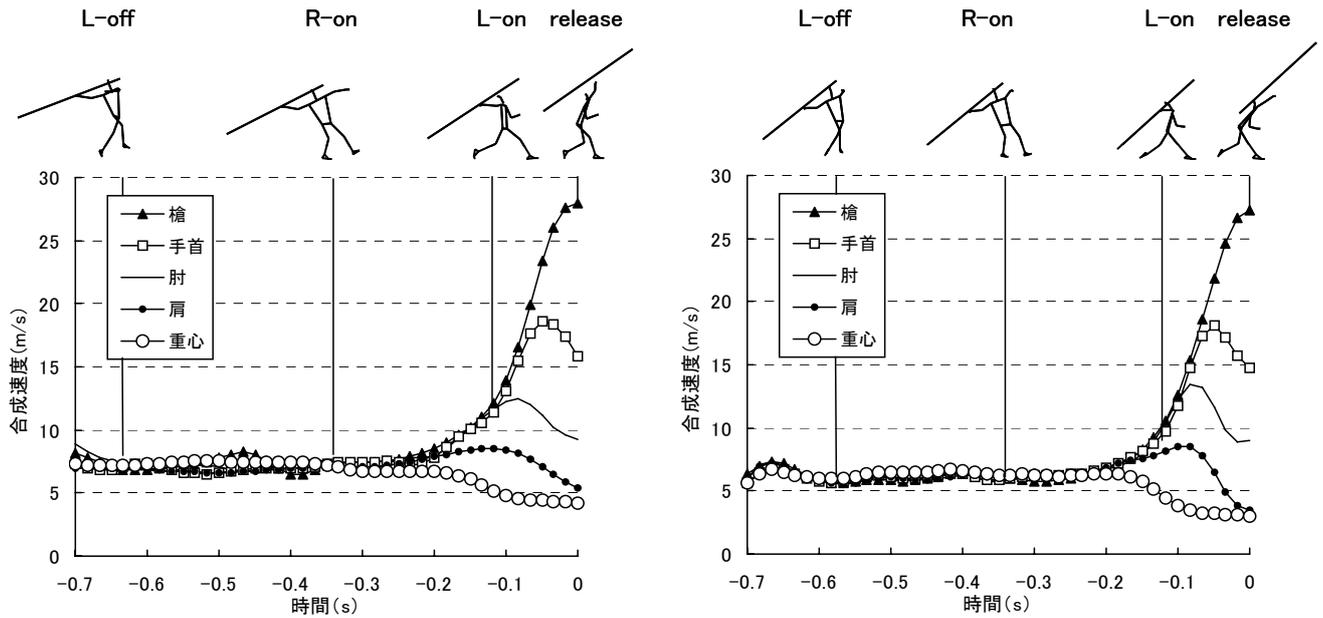


図3 槍, 上肢および身体重心の速度

村上選手: 79.79m

荒井選手: 74.15m

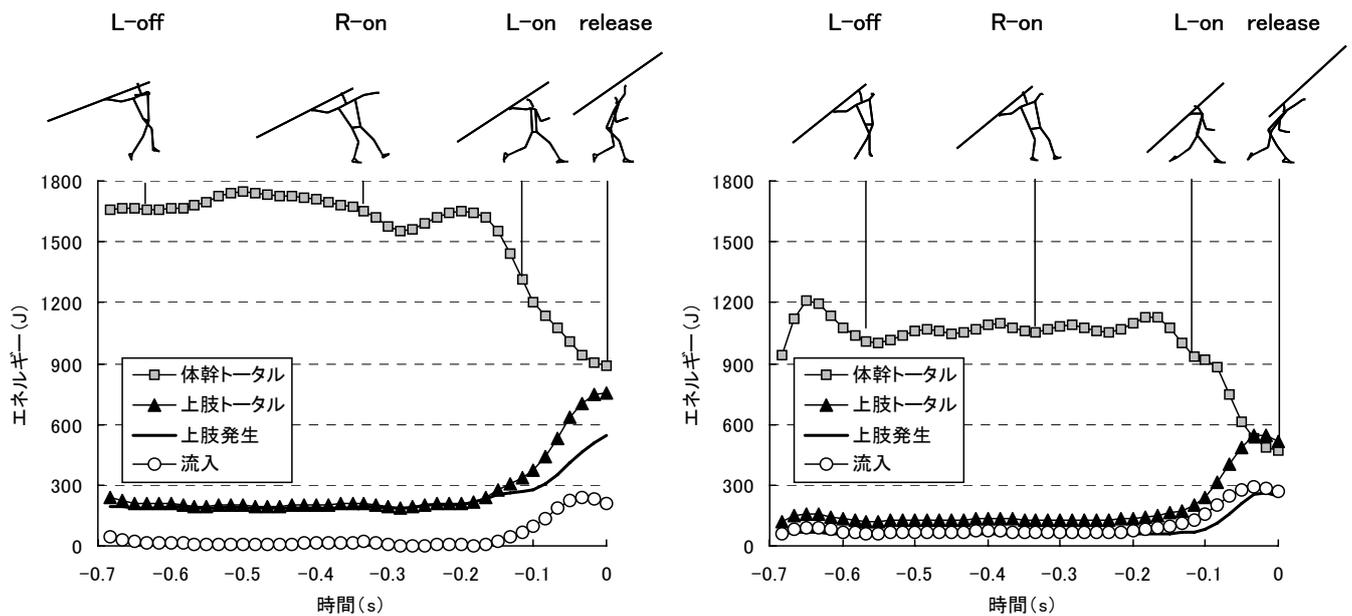


図4 体幹および上肢-槍系における力学的エネルギー

エネルギーは非常に大きく、槍に対して大きなエネルギーを与える可能性を秘めている。しかし、体幹から上肢-槍系へ流入したエネルギーは小さく、大きな体幹のエネルギーを十分に生かしてあげていないと投てきであったと考えられる。荒井選手の値と比較すると、体幹から上肢-槍系へ伝達させるエネルギーをさらに向上させることが可能であると推察される。そのような投てきであったにもかかわらず、80m 近くの投てきが可能であった理由には、上肢に

おける発生エネルギーが大きかったことがあげられる。このことは、長い上肢長および上肢での優れた筋力発揮能力を有する村上選手ならではの結果であろう。したがって、村上選手については、上肢における大きな発生エネルギーに加えて、投動作前に獲得される体幹部のエネルギーを上肢および槍の加速に生かすことのできる投てき技術を獲得することが課題であると考えられる。

2. 荒井選手の場合

荒井選手は、村上選手と比較して体格が小さく、身体重心の速度も低いことから、体幹部の力学的エネルギーは小さかった。さらに、小さな体格は上肢の発生エネルギーを大きくすることに対してもマイナスに作用したものと考えられる。しかし、そのようなマイナス面を補うように、体幹から上肢-槍系へ伝達されるエネルギーを大きくすることによって、74.15 mという当時の自己記録を大きく上回ることができたと考えられる。つまり、少ないエネルギーを非常に効率よく槍の加速に生かした投げであったと考えられる。したがって、荒井選手については、現状のような効率よい投てき技術を保ちながら、身体重心速度あるいは上肢での発生エネルギーを高めることによって、トータルのエネルギーを増大させることが課題であると考えられる。

V. おわりに

本稿では、力学的エネルギーの発生と伝達の観点から両選手の投てき動作の特徴を明らかにした。しかし、それらをコントロールする具体的な動作については、今後さらに検討することが必要である（例えば、どのような動作によって体幹から上肢-槍系への流入エネルギーを大きくできるのかなど）。いずれにしても、発生させるエネルギーと伝達させるエネルギーという観点から、投てき動作を分析することは、個々人の投てき技術を評価する上で重要な視点であると考えられる。

最後に、本稿を執筆するにあたり、村上幸文選手（スズキ）および荒井謙選手（筑波大学大学院）には、貴重なデータの公表を快諾いただきました。この場をお借りして、感謝の意を表します。

参考文献

橋本勲, 池上康男, 桜井伸二, 室伏重信, 安藤好郎 (1991) 砲丸投げにおけるエネルギー発揮に関する研究—脚部および体幹の役割について—. Jpn. J. Sports Sci. 10 : 73-79.

やり投げの投射条件，助走速度と記録との関係

— 第 11 回世界陸上競技選手権大会決勝進出者と日本選手の測定結果 —

伊藤 章¹⁾ 村上雅俊²⁾ 田辺 智³⁾

1) 大阪体育大学 2) 愛媛女子短期大学 3) 和歌山県立工業高等専門学校

【緒言】

やり投げのリリース時の投射条件，すなわち初速度，投射角度，姿勢角度，迎え角度，リリース高などに関する研究はこれまで数多くなされてきたが (Hubbard M. and Alaways L.W., 1987; Bartlett R and Best R.J., 1988; Mero A. et al., 1994; Bartlett R. et al., 1996; 村上と伊藤, 2003), 記録のレベルに大きな差があり，しかも数多くの選手を一括してまとめたものは見られない。

本研究では，日本国内の地方大会に出場するレベルから世界一流選手までの選手を対象に，公式競技大会におけるリリース時の投射条件および助走速度と記録との関係を明らかにしようとした。

【方法】

本研究の測定対象者は，第 11 回世界陸上競技選手権大会 (ヘルシンキ, 2005) の男子やり投げ決勝でベスト 8 に残った 8 名の選手 (以後「世界一流選手」と略す) と，日本国内公式競技大会 (第 85 回日本選手権大会，第 69 回日本学生対校選手権大会，第 78 回関西学生対校選手権大会) に出場した日本のやり投げ選手 49 名の合計 57 名であった。陸上競技場の観客席上段に 2 台のビデオカメラを設置し，それぞれの選手の最も記録のよかった試技を投てき方向の側方と後方よりビデオ撮影し (第 11 回世界陸上競技選手権大会では 60Hz，日本国内公式競技大会では 200Hz)，DLT 法により身体 24 点とやりの重心，穂先，尾の三次元座標値を算出した。本研究では初速度，投射角度，姿勢角度，迎え角度，リリース高を測定し，助走速度は投てきの最終局面の構えに入る前の後ろ足の接地直前の身体重心水平速度から求めた。

【結果と考察】

世界一流選手 (8 名) のやり投げ記録は優勝者の 87.17m から 8 位の 72.68m の範囲にあり，日本選手 (49 名) の記録は 77.22m から 45.25m であった。やり投げ記録は初速度と著しく高い有意な正の相関関係 ($r = 0.89$, $p < 0.01$; 図 1) を示した。しかし，投射角度，姿勢角度，迎え角度 (= 姿勢角度 - 投射角度)，投射高はやり投げ記録との間に有意な相関関係が認められず (図 2, 3, 4, 5)，どの選手もほぼ一定の値 (投射角度; $33.3 \pm 3.4^\circ$ ，姿勢角度; $36.6 \pm 3.9^\circ$ ，迎え角度; $3.3 \pm 4.1^\circ$ ，リリース高; $1.70 \pm 0.13\text{m}$) であった。これはこれまで報告されてきた結果 (Hubbard M. and Alaways L.W., 1987; Bartlett R and Best R.J., 1988; Mero A. et al., 1994; Bartlett R. et al., 1996; 村上と伊藤, 2003) と同じで，やり投げでよい記録を得るためには高い初速度をやり手に与えることが最も重要であることが，世界一流選手を含む幅広いレベルの多くの選手において確認された。その他の投射条件は記録との間に有意な相関関係が認められなかつ

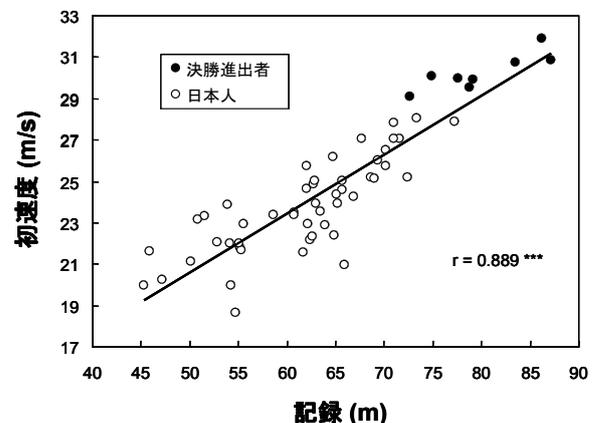


図 1 やり投げ記録と初速度の関係

*** ; $p < 0.001$

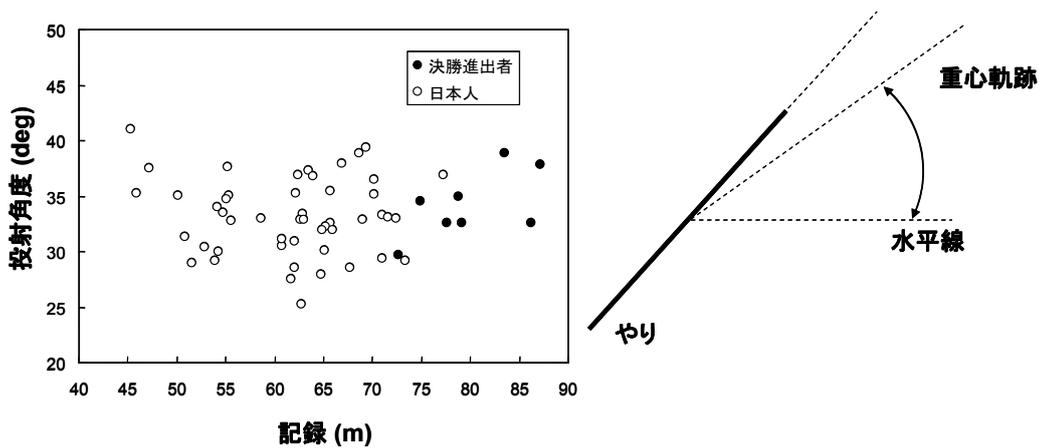


図2 やり投げ記録と投射角度の関係

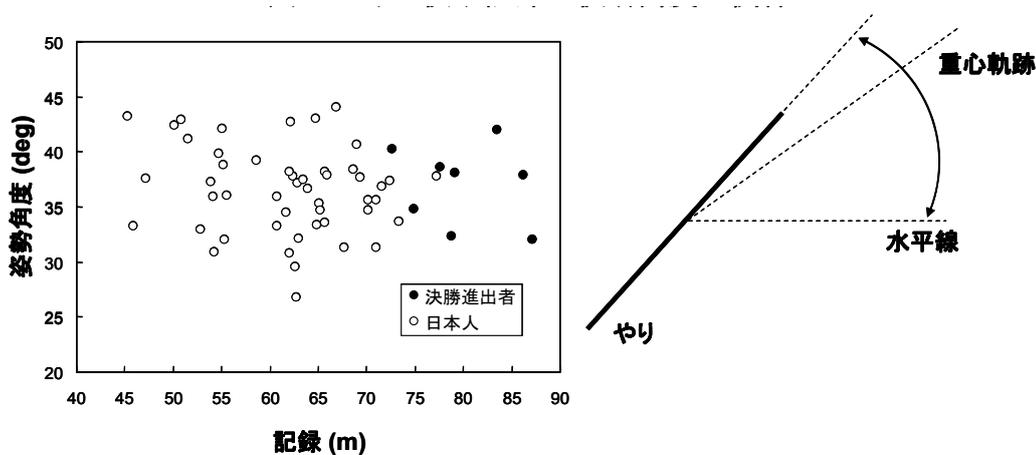


図3 やり投げ記録と姿勢角度の関係

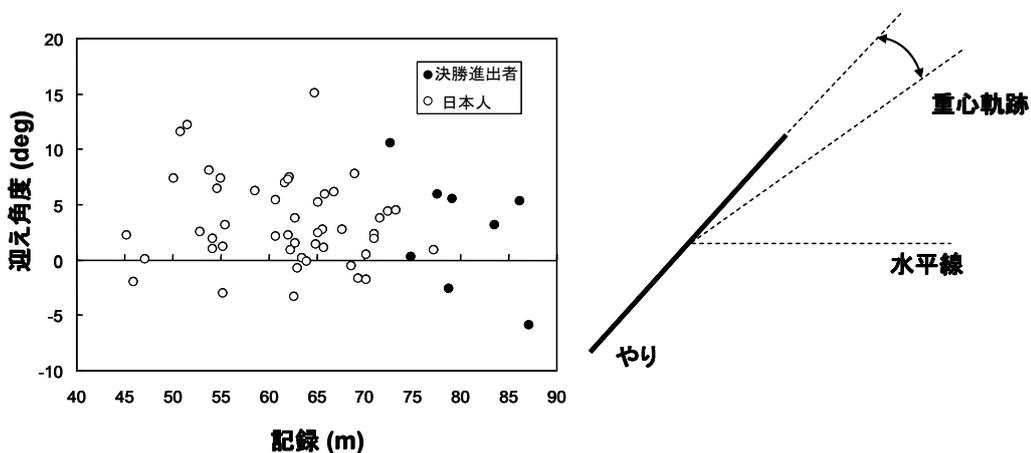


図4 やり投げ記録と迎え角度の関係

たが、互いに影響しながらやりの飛行を調整していると考えることもできる。しかし、姿勢角度から投射角度を引くことで算出される迎え角度がどの選手でもほぼ一定であったことは、投射角度が大きい選手は姿勢角度も大きかったことを示している。つまり、本研究の分析対象試技はそれぞれの選手にとって最も記録のよかったものであるが、投射角度と姿勢角度およびそれらによって決まる迎え角度が上記

のような値の場合に、記録レベルの違いにかかわらず、最もよい記録が得られることを示すものである。また、リリース高は記録との間に有意な相関関係が見られなかったが、これはやり投げの投てき距離に対する

影響が著しく少ないためであろう。助走速度もやり投げ記録と有意な正の相関関係 ($r = 0.74$, $p < 0.01$; 図6) が認められた。村上と伊藤 (2003) は

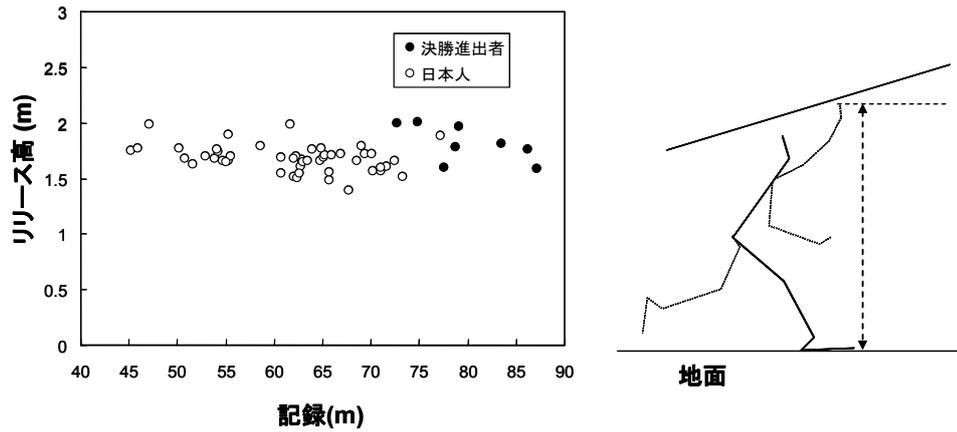


図5 やり投げ記録とリリース高の関係

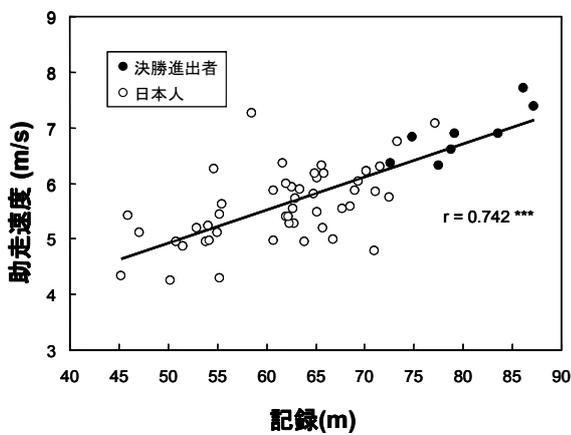


図6 やり投げ記録と助走速度の関係

*** ; $p < 0.001$

助走速度を測定していなかったが、助走速度を体幹の前方回転速度へ転換し、それを利用した投てき動作によって高い初速度が得られると報告しているが、本研究の結果は助走速度を高めることの重要性を示すものであり、彼らの報告を補強するものである。

【結論】

本研究では、日本国内の地方大会に出場するレベル(49名)から世界一流選手(8名)までの選手を対象に、公式競技大会におけるリリース時の投射条件および助走速度と記録との関係を調べ、やり投げ記録がよい選手ほど助走速度と初速度が高かったことが明らかとなった。そして、やり投げでよい記録を出すためには、高い助走速度を体幹の前方回転速度に転換し、その速度を利用した投てき動作によって高い初速度を発揮することが重要であると結論付けた。

参考文献

- Bartlett R., Best R.J. (1988): The biomechanics of javelin throwing: a review. *Journal of Sports Sciences*. 6: 1-38.
- Bartlett R., Müller E., Lindinger S., Brunner F., and Morriss C. (1996): Three-dimensional evaluation of the kinematic release parameters for javelin throwers of different skill levels. *J. Appl. Biomech*. 12: 58-71.
- Gregor R.J., Pink M., (1985): Biomechanical analysis of a world record javelin throw: a case study. *Int. J. Sport Biomech*. 1: 73-77.
- Hubbard M., Alaways L.W. (1987): Optimum release conditions for the new rules javelin. *Int. J. Sport Biomech*. 3: 207-221.
- 村上雅俊, 伊藤 章 (2003): やり投げのパフォーマンスと動作の関係. *バイオメカニクス研究* 7(2) 2003.

日本一流男子ジュニア 400m 走競技者のアネロビックパワー発揮特性について

持田 尚¹⁾ 原田康弘²⁾ 松尾彰文³⁾ 高松潤二³⁾ 深代千之⁴⁾ 阿江通良⁵⁾
1) 横浜市スポーツ医科学センター 2) 日本陸上競技連盟ジュニア強化部長
3) 国立スポーツ科学センター 4) 東京大学 5) 筑波大学

1. 目的

日本一流男子ジュニア 400m 走競技者の最大走パワーと血中乳酸濃度から推定される亜最大走パワーを明らかにし、彼らの生理学的特性について実態を把握することで、今後のジュニア強化につながる資料としたい。

2. 方法

2.1 被検者

被検者は、ジュニア測定合宿(2002年～2005年)に選抜された選手9名を含む、男子400m走競技者16名と200m走のインターハイ優勝者(以下 Jr. top200 とする)が1名、そして800m走インターハイ優勝者(以下 Jr. top800 とする)が1名の計18名であった。そして、400m走競技者のうち400m走記録(秒)が48秒未満(45.47～47.79秒)の上位グループを、全がジュニア選手であったためジュニアトップ群(以下 Jr. top400 とする)とし、48.00秒以上のグループを Normal 群(以下 Normal400 とする)とした。また、被検者 A 選手は日本高校記録保持者であり、ジュニア400m走競技者のトップとして参考にした。

被検者の400m走記録、そして200m走、800m走記録は表1に示した。各記録は測定実施日から半年以内で、より測定日に近い公認記録を採用した。

2.2 測定方法

2.2.1 テストについて

被検者の走パワーを推定するためのテストとして、Rusk et al. (1993) が推奨している Maximal Anaerobic Running Test (以下 MART とする) を用いた。これは、Anaerobic Power をトレッドミルで

測定する方法として開発されたものであり、既に先行研究においてその信頼性、妥当性が検証されている (Nummular, et, al. 1996b; Maxwell, et al., 1996)。

また、最近では400m走能力を反映した評価指標としての有用性も検証され(森丘ら, 2003), そして現場においても400m走競技者のトレーニング効果テストとして普及されつつある(持田ら, 2004)。

被検者は、傾斜4度のトレッドミル上を20秒間走行し、100秒間の休息を挟みながら繰り返し走行した。走速度は、1本目が分速250m。そして2本目以降は分速25mずつ漸増させていき、テストは走者が速度に付いていけなくなった時点で終了とした。各走行後40秒の時点、およびテスト終了後、1、3、5、7、10分後に耳朶から採血し、自動乳酸分析器(BIOSEN-5040)を用いて血中乳酸(以下 BLa とする)の分析を行った。

2.2.2 算出するパラメータについて

走パワーの指標として用いる酸素需要量(ml/kg/min)は、American College of Sports Medicine (ACSM) のガイドライン(1995)およびRusko et al. (1993)の方法に基づき、以下の式にて算出した。

$$\dot{V}O_2 = 0.2v + 0.9 \text{grade} \times v + 3.5$$

ただし、 $\dot{V}O_2$: 酸素需要量(ml/kg/min), v : トレッドミル速度(m/min), grade: トレッドミルの傾斜, 3.5: 安静時の酸素摂取量(ml/kg/min)

そして、最大走パワー(以下 Pmax とする)は Rusko et al. (1993)の方法を参考に、以下の式にて算出した。

$P_{max}(\text{ml/kg/min}) = \text{最後に20秒間完走したセットの酸素需要量}(\text{ml/kg/min}) + \text{テスト終了時のセットの走行時間} - 9(\text{秒}) \times 0.6(\text{ml/kg/min})$

表1 被検者の競技記録と MART の結果一覧

Sub.	400m	Group	PBLa	Pmax	P5mM	P7mM	P10mM	P20%	P40%	P60%
A 選手*	45.47	Jr.400	22.58	133.2	89.7	103.0	113.4	81.7	111.1	122.8
B 選手	46.81	Jr.400	19.49	128.4	91.3	103.3	112.0	78.9	105.5	117.4
C 選手	47.08	Jr.400	19.13	133.8	97.6	107.9	119.4	85.9	110.6	123.1
D 選手	47.25	Jr.400	17.06	125.4	99.1	106.7	116.9	86.1	106.1	117.2
E 選手	47.34	Jr.400	20.31	127.2	87.2	101.6	111.1	82.8	105.5	116.3
F 選手	47.41	Jr.400	17.62	125.4	95.3	108.5	119.9	74.7	108.8	121.5
G 選手	47.46	Jr.400	14.26	127.2	101.8	110.3	121.8	75.4	104.8	116.6
H 選手	47.71	Jr.400	18.61	129.0	98.2	107.9	118.1	84.3	109.6	121.1
I 選手	47.79	Jr.400	17.71	127.8	99.9	109.7	118.5	89.8	110.1	119.9
J 選手	48.00	N ₄₀₀	18.81	129.0	100.9	110.5	121.9	93.3	112.2	124.2
K 選手	48.81	N ₄₀₀	17.72	126.0	88.6	102.6	112.2	75.6	102.8	115.3
L 選手	48.82	N ₄₀₀	16.26	123.0	92.5	104.9	116.6	76.2	101.6	116.1
M 選手	49.55	N ₄₀₀	17.57	123.0	96.1	105.5	116.1	84.7	105.6	117.0
N 選手	49.89	N ₄₀₀	17.02	127.2	103.7	111.9	120.7	92.1	111.3	121.3
O 選手	51.40	N ₄₀₀	17.96	119.4	83.1	96.9	106.8	73.4	97.5	109.1
P 選手	51.65	N ₄₀₀	18.80	122.4	97.2	104.7	113.3	86.4	106.9	116.1

	記録	Group	PBLa	Pmax	P5mM	P7mM	P10mM	P20%	P40%	P60%
Q 選手 ₁		Jr.200	20.09	128.4	92.4	101.4	111.9	86.0	105.1	118.4
R 選手 ₂		Jr.800	16.40	128.4	113.9	119.6	125.7	105.3	118.4	125.4

*:日本高校記録保持者 1:Jr_{top200} (高校 200m 走トップ選手) 2:Jr_{top800} (高校 800m 走トップ選手)

N₄₀₀:Normal₄₀₀, Jr.400: Jr.top₄₀₀, Jr.200: Jr.top₂₀₀, Jr.800: Jr.top₈₀₀

P20% : P20%BLa, P40% : P40%BLa, P60% : P60%BLa 400m : (秒)

PBLa (mmol/l) P : パワー (ml/kg/min)

BLa の絶対値 (5mmol/l, 7mmol/l, 10mmol/l) を基準とした亜最大パワー (P5mM, P7mM, P10mM) および MART 終了後の最大血中乳酸濃度 (以下 PBLa とする) の相対値 (%PBLa; PBLa の 20%, 40%, 60% の BLa) を基準とした亜最大パワー (P20%BLa, P40%BLa, P60%BLa) については、BLa - 酸素需要量曲線および %PBLa - 酸素需要量曲線を用いて、各基準を挟む最も近い連続した 2 点間の回帰直線に内挿して求めた。

2.2.3 統計処理

相関分析には、ピアソンの積率相関分析を用いた。また、有意差検定には、ノンパラメトリック検定の Mann-Whitney 検定を用いた。それぞれの有意性の判定には危険率 5%未満を採用した。

3. 結果

表 1 に、MART の結果を示した。

図 3 は、400m 走記録と Pmax, P5mM, P7mM, P10mM との関係について調べたものである。400m 走記録と Pmax との間にはのみ、有意な相関関係 ($r=-0.789$ $P<0.01$) が認められた。

図 4 は、400m 走記録と P20%BLa, P40%BLa, P60%BLa との関係について示したものである。400m 走記録と P60%BLa との間には有意な相関関係 ($r=-0.580$ $P<0.05$) が認められた。

図 5 は、Jr. top400 と Normal400 の Pmax 平均値の比較である。2 群間には有意な差 ($P<0.05$) が認められた。

図 6 は、Jr. top400 と Normal400 の Pmax 平均値の比較である。2 群間には有意な差が認められなかった。

図 7 は、Jr. top400, Jr. top200, Jr. top800, そして A 選手の MART 中の BLa - 酸素需要量曲線を比較したものである。

図 8 は、Jr. top400, Jr. top200, Jr_{top800}, そして A 選手の MART 中の %PBLa - 酸素需要量曲線を

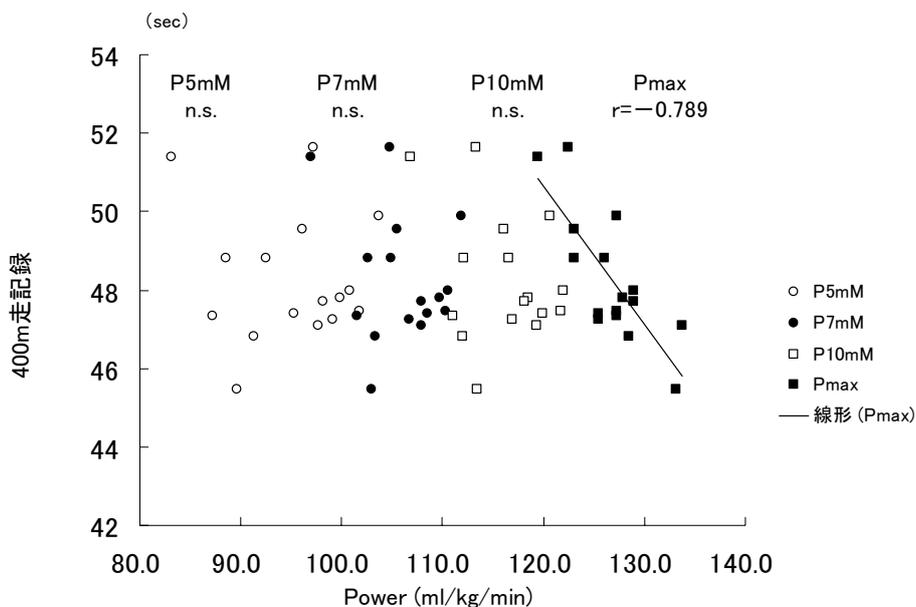


図3 400m走記録とPmax、P5mM、P7mM、P10mMとの関係

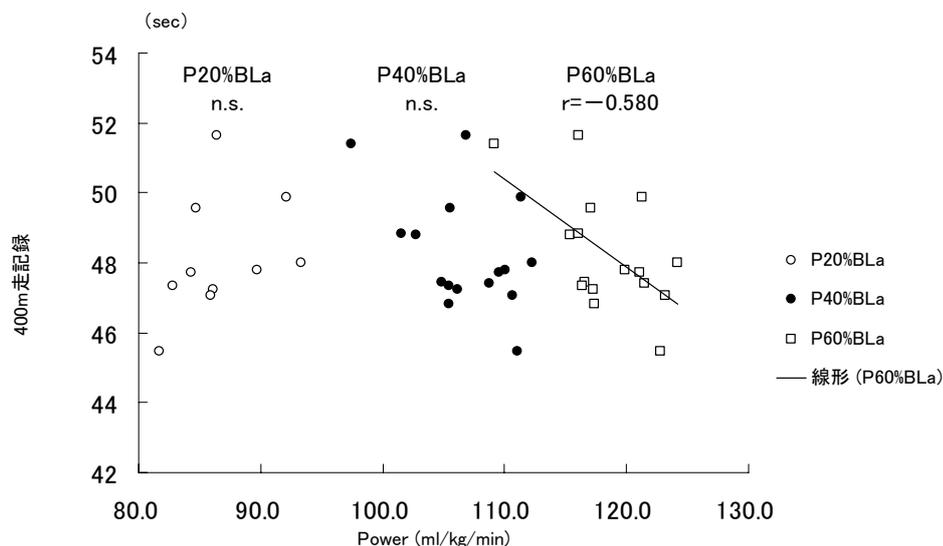


図4 400m走記録とP20%BLa、P40%BLa、P60%BLaとの関係

比較したものである。

4. 考察

4.1 Jr. top400のPmaxについて

Pmaxと記録の間に有意な相関関係があったことから、MARTで測定したPmaxは400m走能力を反映していると考えられる(図3)。また、Jrtop400はNormal400に比べてPmaxが有意に高い集団であった。よって、Pmaxを測ることで400m走能力のレベルを把握することができ、またこのPmaxが高まっていくことで400m走記録を短縮させる可能性が高いことが示唆された。

4.2 Jr. top400の亜最大走パワー発揮特性について

亜最大走パワーについては、P60%BLaとの間に有意な相関関係が認められたものの(図4)、Jrtop400とNormal400の群間には有意な差が認められなかった(図6)。これは、45秒台～51秒台という比較的広い範囲で捉えれば、記録との相関関係もある程度認められるものの、ほぼ同レベルの記録をもつJrtop400の中の選手には、P60%BLaが高い者もいれば低いものも存在しているため、群間差が認められなかったのではないかと考えられる。

図7にBLa-酸素需要量曲線を示した。これは、各走者の乳酸値あたりの亜最大走パワーの特徴を表している。Jrtop200とJrtop800の種目特性が異なった走者の動態を観察すると、明らかに異なった様相

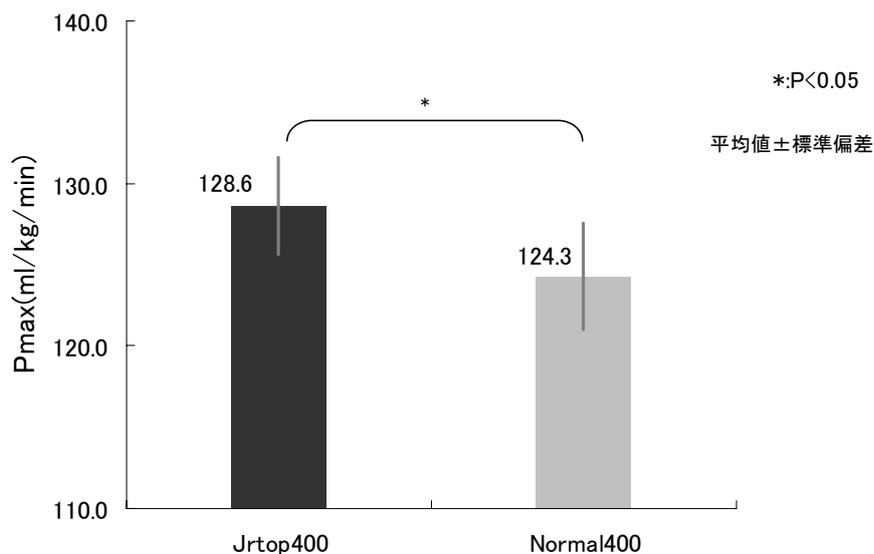


図5 Jr. top400 と Normal400 の Pmax 平均値の比較

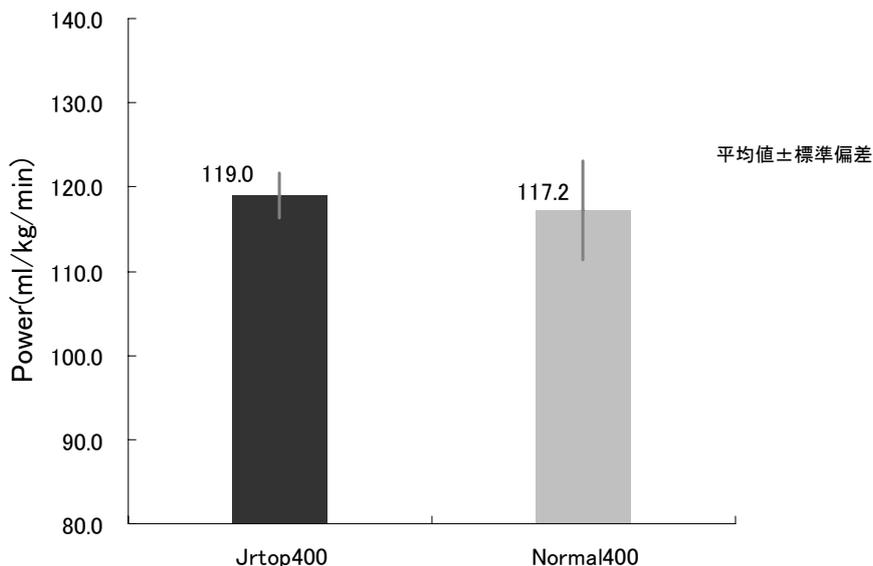


図6 Jr. top400 と Normal400 の P60%BLa 平均値の比較

を示した。そして、特に 10mM あたりのパワーを観察すると、Jrtop400 の走者らは全体的に Jrtop200 と Jrtop800 の間に推移し、そして 200m 走選手に近い傾向を示すものから 800m 走選手に近い傾向を示すものまでとばらつきが大きく、個人差が認められた。そのなかで、400m 走を 45 秒台の記録をもつ A 選手は、ほぼ 200m 走トップ選手と類似したパワー発揮特性であった。

図 8 には、%PBLa - 酸素需要量曲線を示した。%PBLa は、「乳酸の産生」と「乳酸の抑制」能力のバランス（以下 La バランスとする）を反映した指標である（森丘ら，2003）。Jr. top400 の La バランス、特に P60% BLa 付近では、Jrtop200 を中心に両

サイドにばらついていた。K 選手の La バランスの傾向は、乳酸値あたりの亜最大走パワーの特徴と異なり、800m 走選手の傾向に近いものであった。

A 選手の特徴としては、乳酸の産生能力は 200m 走選手でありながら、乳酸の抑制能力とのバランスでは、800m 走選手レベルの能力を有していたと言えるだろう。

5. まとめ

以上のように 400m 走競技者の最大走パワーや最大下でのパワーを計測し、競技記録との関連や、特性の異なる競技者との関係、また A 選手のような

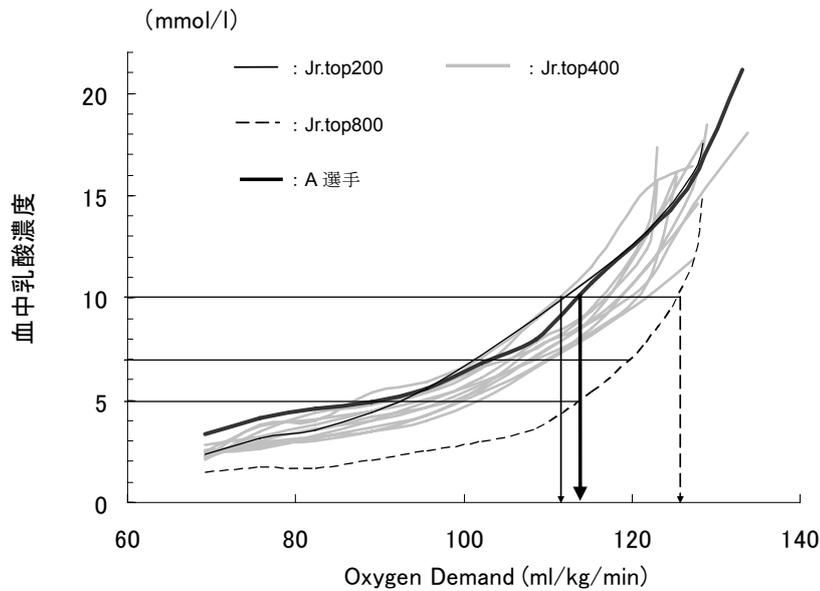


図7 BLa - 酸素需要量曲線

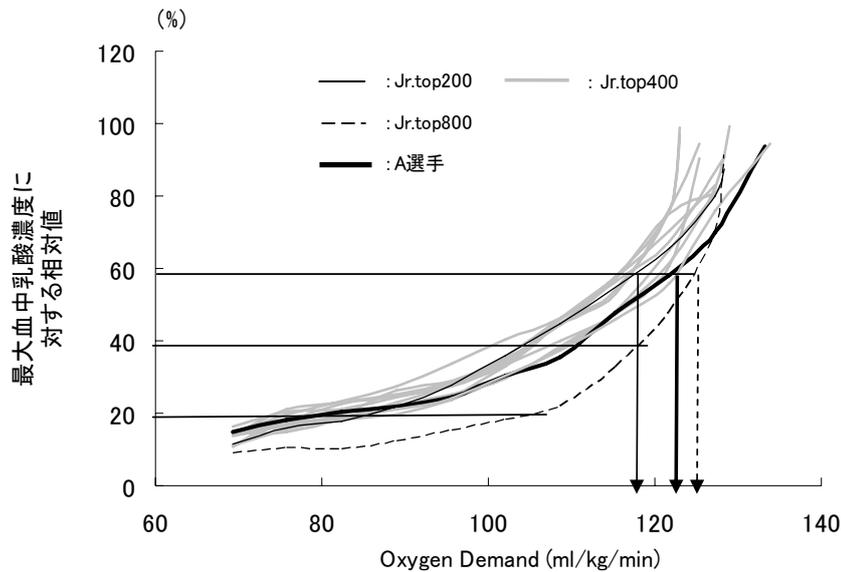


図8 %PBLa - 酸素需要量曲線

トップ選手を基準に比較・検討することにより、ジュニア400m走競技者の生理学的特性の実態を把握することができた。今後は、記録の向上とともに、このようなパラメータがどのような変容を示すのか、縦断的な変化についても調査していくことで、400m走種目の強化に役立つ資料がさらに得られることだろう。

<参考文献>

American College of Sports Medicine (1995) ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription. 5th ed. Philadelphia, Williams

& Wilkins: pp. 277-279

Maxwell, N.S. and Nimmon, M.A. (1966) anaerobic capacity: A maximal anaerobic running test versus the maximal accumulated oxygen deficit. Can. J. Appl. Physiol. 21: 35-47.

持田 尚・福間博樹・吉田良一 (2004) スプリンターのための乳酸測定 (MART) & トレーニング. コーチングクリニック, 118: 12-18.

森丘保典・伊藤静夫・持田 尚・大庭恵一・原 孝子・内丸 仁・青野 博・雨宮輝也 (2003) 間欠的な漸増負荷ランニング中の血中乳酸動態から推定されるパワーと400m走記録との関係.

体育学研究, 48: 181-190.

Nummela, A., Alberts, M., Rijntjes, R.,
Luhtanen, P., and Rusko, H. (1996b)
Reliability and validity of the maximal
anaerobic running test. *Int. J. Sports Med.*,
17(Suppl.2): 97-102.

Rusko, H, Nummela, A, and Mero, A (1993) A
new method for the evaluation of anaerobic
running power in athletes. *Eur. J. Appl.
Physiol*, 66: 97-101.

陸上競技研究紀要 第2巻

編集後記

陸上競技研究紀要第2巻が完成しました。第2巻には、原著論文12編、資料1編が投稿されましたが、査読審査を経て、原著論文11編、資料1編が掲載されています。第2巻では第1巻に比べ、原著論文が8編から12編に増えました。今後益々、増えていくことが期待されます。

第2部の科学委員会報告書には17編の報告書が掲載されています。これは、科学委員会がこの数年作成してきた報告書の延長上にあるもので、現場の指導者には一流選手のデータを知るための貴重な資料となっているようです。

わが国の陸上競技をあらゆる面で向上させるには、現場の指導者と研究者という両面を兼ね備えた若手の指導者を輩出することが不可欠です。この研究紀要がそのお手伝いをできれば、あるいはそのためにこの研究紀要を利用していただければ、幸いです。多くの方の投稿、意見、叱咤激励をお願いする次第です。

最後になりましたが、多忙にもかかわらず、いつもながら櫻井専務理事から丁寧な挨拶を寄せていただきました。ここにお礼も申し上げます。

また、この研究紀要は、陸連役員諸氏のご理解、ならびに事務局の風間 明氏、森 泰夫氏、三宅 聡氏の献身的な努力がなくては生まれなかったものです。ここに記して心より感謝致します。

文責 阿江通良（編集委員長）

陸上競技研究紀要第2巻 編集委員
阿江通良（編集委員長）、岡野 進（副委員長）
伊藤 宏、松尾彰文、杉田正明
（事務局）風間 明、森 泰夫、三宅 聡

「陸上競技研究紀要」第2巻

2006年3月31日発行

発行人 櫻井 孝次

発行所 財団法人日本陸上競技連盟

〒150-8050 東京都渋谷区神南1-1-1 岸記念体育会館内

TEL : 03-3481-2300
