

# 陸上競技学会誌

# Japan Journal of Studies in Athletics

● 巻頭言

阿江通良

● 短距離・リレー

伊藤 章ほか

松尾彰文ほか

持田 尚

杉田正明ほか

● 中距離

門野洋介ほか

● 長距離・マラソン

榎本靖士ほか

石井好二郎ほか

● ハードル

谷川 聡

森丘保典ほか

● 競 歩

法元康二ほか

● 跳 躍

飯干 明

伊藤信之

村木有也

木越清信ほか

● 投 擲

田内健二

岡本 敦ほか

● 混 成

持田 尚

● コーチング

青山清英

Vol.6  
Supplement  
2007





# 陸上競技学会誌

第6巻特集号 (Vol.6 suppl., 2007)

## 目 次

|                                            |                           |
|--------------------------------------------|---------------------------|
| ● 巻頭言                                      |                           |
| 世界陸上を10倍楽しみ、活かす方法 .....                    | 阿江 通良... 1                |
| ● 短距離・リレー                                  |                           |
| 2007年世界陸上大阪大会の100mおよび200mレースの見どころ .....    | 伊藤 章, 貴嶋 孝太... 2          |
| スピード分析からみた100mレース                          |                           |
| 松尾 彰文, 杉田 正明, 広川龍太郎, 柳谷登志雄, 阿江 通良...       | 6                         |
| 男子400m走, ファイナリストへの道 —大阪そして北京へ— .....       | 持田 尚... 10                |
| 世界と国内トップ女子400mスプリンターのレースパターン .....         | 持田 尚... 14                |
| 4×100m, 4×400mリレーについて —日本チームの挑戦—           |                           |
| 杉田 正明, 広川龍太郎, 松尾 彰文, 川本 和久, 高野 進, 阿江 通良... | 21                        |
| ● 中距離                                      |                           |
| 中距離走種目の見どころ .....                          | 門野 洋介, 榎本 靖士... 27        |
| ● 長距離・マラソン                                 |                           |
| 長距離走におけるパフォーマンスと走動作 .....                  | 榎本 靖士, 阿江 通良... 36        |
| 日本マラソン陣は世界陸上大阪大会および北京オリンピックで活躍できるか?        |                           |
| 石井好二郎, 野口 純正, 千田 辰己...                     | 41                        |
| ● ハードル                                     |                           |
| 世界トップレベルの男子110mおよび女子100mハードル競走の競技特性 .....  | 谷川 聡... 46                |
| 一流男子400mハードル選手のレースパターンの類型化について             |                           |
| —世界陸上大阪大会の決勝レース展望—                         |                           |
| 森丘 保典, 榎本 靖士, 山崎 一彦, 杉田 正明, 阿江 通良...       | 55                        |
| ● 競 歩                                      |                           |
| 世界陸上競技選手権ヘルシンキ大会男女20km競歩におけるロス・オブ・コンタクト判定  |                           |
| 法元 康二, 広川龍太郎, 杉田 正明, 阿江 通良...              | 60                        |
| ● 跳 躍                                      |                           |
| より高く跳ぶための走高跳の技術 .....                      | 飯干 明... 67                |
| 一流走幅跳選手の技術と戦術について .....                    | 伊藤 信之... 75               |
| 2007年世界陸上大阪大会における三段跳の見どころ .....            | 村木 有也... 82               |
| 棒高跳におけるグリップ高に影響を及ぼす技術的要因                   |                           |
| —日本人競技者はグリップ高を高めるために何をすべきか?—               |                           |
| 木越 清信, 小林 史明, 下嶽進一郎...                     | 89                        |
| ● 投 擲                                      |                           |
| 砲丸投げの競技特性と世界レベルに対する日本選手の課題 .....           | 田内 健二... 95               |
| やり投げの競技特性と世界レベルに対する日本選手の課題 .....           | 田内 健二... 100              |
| ハンマー投の科学 .....                             | 岡本 敦, 桜井 伸二, 池上 康男... 105 |
| ● 混 成                                      |                           |
| 混成競技の特性 .....                              | 持田 尚... 112               |
| ● コーチング                                    |                           |
| コーチング実践におけるテキストとしての科学的データの意義 .....         | 青山 清英... 118              |
| ● 編集後記 .....                               | 森丘 保典... 124              |





## 世界陸上を10倍楽しみ、活かす方法

阿江 通良<sup>1)</sup>

暗いニュースの多い昨今であるが、「さあ、次はスポーツです」と言うとき、ニュースキャスターの厳しかった表情が和み、笑みを浮かべる場合すらある。古代ギリシャ時代には神事の1つとして行われていたスポーツが、現在では競技スポーツだけでなく、教育ためのスポーツ、健康のためのスポーツ、見て聞いて参加して楽しむスポーツなど多様に分化し、われわれの生活の中で様々な役割を果たすようになってきている。21世紀にはスポーツが、人間らしい豊かな生活を送るために不可欠ものの1つになると言われる所以である。わが国におけるスポーツ発展の形態は、ヨーロッパとは大きく異なる。ヨーロッパでは神事、貴族の遊び、労働者の賭けごとから発展してきたスポーツであるが、わが国では明治時代に外国人教師が持ち込んだこともあって、学校を中心に教育の一手段として広まった。今はヨーロッパでは「スポーツ」という語は、身体活動の総称を意味するものとして広く使われているが、競技スポーツをしばしばAthleticsということがあり、競技者をAthleteと呼ぶ。しかし、Athleticsといえば、何ととっても陸上競技である。

陸上競技の世界チャンピオンを決める第11回世界陸上競技選手大会が2007年8月25日に大阪で開催される。1991年に第3回世界陸上が東京で開催されてから16年後、世界一流陸上競技選手のパフォーマンスを再び日本で見ることができるのである。昨年の陸上競技学会理事会において、この機会に陸上競技学会で何か特集を組んではどうかとの意見が出て、多くの方のご協力によってできあがったのが本特集号である。特集号の記事をみると、表題を「——の見どころ」としているものがあるが、一般の商業誌にみられる国際大会の特集のように記録の動向、出場選手のプロフィール、成績予想などを扱ったものとは大きく異なり、これらの記事はすべて学会員の地道な研究活動や指導活動に裏打ちされた優れた陸上競技論である。

スポーツ科学の歴史は古くて、新しい。古くは、ギリシャ時代に都市国家の代表選手のトレーニング法や動き方の研究が行われた。新しくは、ヨーロッパで約150年前に行なわれた医学的研究が最初であり、わが国では体育の手段として用いられていた体操、スポーツ、舞踊やその指導方法の科学的根拠を確立するための研究を推進することを目的に日本体育学会が設立され、1950年に第1回大会が開催された。その後、スポーツ科学はオリン

ピックや国際競技会、学校教育、健康や楽しみなど、様々な目的に対応する形で急速に発展してきている。

スポーツ科学の体系論は様々あるが、スポーツ科学を基礎スポーツ科学、実践スポーツ科学などに分けて考えることが多い。陸上競技学も同様に、基礎的領域に属するもの、例えば、陸上競技の哲学、陸上競技の歴史、陸上競技の心理学、陸上競技の生理学、陸上競技のスポーツバイオメカニクスと、実践的領域に属するもの、例えば、陸上競技の医学、陸上競技の栄養学、陸上競技のトレーニング学、陸上競技のコーチング学などに分けられ、非常に広範な領域をカバーしている。これは、陸上競技に関する「どうなっているか」、「なぜそうなるのか」、「どうしたらよくなるか、うまくなるか」という3つの問いに対する回答を得ようとするためで、そのためには幅広く深い経験や知識が要求されるためである。本特集号の記事を読んでいただくと、上述した3つの問いかけへの答えやヒントが散りばめられていることがわかるであろう。

スポーツを10倍楽しむ方法(?)を聞かれることが多い。その答えは、「そのスポーツをよく知った、できれば経験と科学的知識を兼ね備えた人に解説をしてもらいながら、スポーツを観ること」である。「スポーツ」のところに陸上競技を当てはめても同じである。本特集号の読者の多くは、陸上競技の専門家であろうから、何らかの経験と知識をもっていると考えられるが、本特集号の記事によってさらに知識が増えるであろうし、これまで十分な経験や知識を持たなかった種目についても少しは知ることでもできるであろう。すでに述べたように本特集号の記事は非常に深いものであるが、このことは逆に言うと、経験不足の読者には理解しにくい場合もあることを意味する。しかし、「少しでも知っている」と「まったく知らない」とでは、大きな違いがある。本特集号によって、専門種目あるいは得意種目についてはさらに多くを深く知り、専門外の種目については少しでも知って世界陸上を観戦することが、競技を10倍楽しみ、また陸上競技を指導、研究あるいは勉強する立場にある読者にはこのチャンスを10倍活かす方法の1つであると思われる。さらに、この特集号が、成功した選手だけでなく、精一杯戦って敗れた選手を暖かく見守れる真の陸上競技愛好家を増やすために役立てば幸いである。

1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科 Institute of Health and Sports Sciences, University of Tsukuba  
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

# 2007年世界陸上大阪大会の100mおよび200mレースの見どころ

伊藤 章<sup>1)</sup>, 貴嶋 孝太<sup>1)</sup>

The highlight of 100m and 200m races at 2007 IAAF World Championships in Athletics in Osaka

Akira Ito, Kouta Kishima

キーワード：短距離走, 疾走動作, 最高疾走速度, スタートダッシュ, 中間疾走

## 1. はじめに

C. ルイス選手（アメリカ）が100mで驚異の9秒86の世界新記録（当時）を樹立した1991年に東京で開催された第3回世界陸上競技選手権大会から16年目の今夏、日本で2回目の開催となる第11回大会が大阪で開催される。本稿では科学的な研究データを踏まえて、同大会における短距離種目のレースの見どころをご紹介します。

## 2. 100mレース

### 2.1 日本代表選手にだれがなるのか

男子の日本代表には、2006年の日本選手権で優勝し、さらにアジア大会では銀メダルを獲得するなど、現在最も成長著しい塚原直貴選手や、日本歴代3位の自己記録（10秒03）を持つ末續慎吾選手、日本の短距離界を牽引してきたベテランの朝原宣治選手などが名乗りを上げるだろう。現実的には、9秒台の記録を持つ海外の選手たちとの勝負に苦戦は強いられる。しかし、かつて日本選手が得意としたスタート技術を掘り起こし、前半で一気に先頭に立ち、中間疾走の最高速度の改善が少しでもあれば日本選手の健闘は期待できる。

### 2.2 スタートは独特の雰囲気

100mは道具を一切使用せず単純な運動で優劣が決定する種目であり、陸上競技の花形といえる。シンプルで明白な競技特性であるがゆえに勝負の面白さがあり、全世界の人々が注目する。それまで騒がしかったスタジアム数万人の観客が「位置について」の合図で水を打ったように静まり返る。選手と観客の緊張が一気に高まるこの瞬間は、スタジアム全体が独特の雰囲気包まれる。スタートの号砲がその静寂を打ち破り、勢いよくスタートした選手はフィニッシュまでのわずか十秒たらずの間に全力を出し切るのである。スタートにおける反応の速さ、そしてスタートダッシュでの飛び出しの能力、最高速度で疾走する中間疾走、どの選手も速度が低下するゴール手前20mからの競り合い、それらの総合が人類最

速の王者を決める。

### 2.3 スタート

#### 1) クラウチングスタートの前傾姿勢

スタートダッシュでは、身体が静止している状態からいかに大きな加速力を発揮するかが求められる。つい最近まで海外のある一流選手がしていたという事から「スタートダッシュ時には頭を下げた姿勢を保ちながら走る」のがよいとされ、そのようなスタートフォームが国内で一気に広まった。指導者も選手も、頭を下げることで前傾姿勢ができ、その結果加速力が増すと考えているのかもしれない。

本来、スタートダッシュの前傾姿勢とは、身体重心の位置とキック足の位置によって決まるものであり、頭を下げるかどうかは大きな問題ではない。通常のクラウチングスタイルのセットポジションでは、身体重心の位置は支持している手と前足の間にある。この姿勢は「ドン」の合図で手を地面から離れた瞬間から前足と後足ともスターティングブロックを後方にキックすることを可能にする。一方、スタンディングスタートでは前足は身体重心より前にあるため、「ドン」の合図の瞬間には前足でキックすることはできない。短距離選手がクラウチングスタートをするのはそのためである。

たとえば、次のような状況を想像してみよう。モーターバイクの運転で、一気にアクセルを回して急発進をする際には、ドライバーは前方への加速に対して後方にひっくり返らないようにやや大きい前傾姿勢をとり、バランスをとるはずである。もし、緩やかに発進しようとするならばそれほど身体を前傾する事はしないだろう。つまり、スタートダッシュでは、加速力の大きい選手ほど身体を前傾する必要がある。それぞれの選手はそのときの加速度に相応したちょうどいい前傾姿勢をとることが大切なのである。つまり、短距離走のスタートダッシュでは前方への大きな加速力が生じ、それにたいしてバランスを取りながら加速するために前傾姿勢をとるのである。したがって、等速状態である中間疾走では、上半身をほぼ直立した姿勢で走ることになる。

スタート時の前傾姿勢の強さは、頭が下がっているか

1) 大阪体育大学 Osaka University of Health and Sport Sciences  
〒590-0496 大阪府泉南郡熊取町朝代台1-1  
Tel: 072-453-8850 E-mail: aito@ouhs.ac.jp



上がっているかではなく、胴体が前に倒れ、キック足の接地が身体重心の真下あたりに接地しているかどうかに関心を持って観察すべきだろう。この辺りの細かな技術に注目するのもおもしろいのではないだろうか。

## 2) 広い歩隔 (ステップの左右幅) のロケットスタート

最近の国内の競技会を観察していると、スタート後力強く飛び出すレース展開をする選手をあまり見かけないように思う。かつてスタートダッシュは「日本のお家芸」と言えるような時代があった。1960年代、当時の日本記録を樹立した飯島秀雄氏とそのコーチであった吉岡隆徳氏 (故人) との逸話が金子 (1990) によって紹介されている。金子が実験のために彼らの練習場を訪れたときに、吉岡コーチが何やら地面にマークをつけていたのを見た。そのマークは、スタートダッシュの練習時に飯島選手が踏み出すべき足の位置であったが、隣のコースに飛び出さんばかりに左右に大きく開いていた。実際に練習では飯島選手は身体を大きく左右に揺らしながら勢いよくスタートしていて、その光景はまさに「ロケットの発進」を思わせるようであった。このような広い歩隔のロケットスタートによって飯島選手は見事に日本記録を樹立したのである。

このスタートの1, 2歩目の足を外側に踏み出すような「ロケットスタート」は、飯島選手だけに当てはまるものなのだろうか。我々 (伊藤と貴嶋, 2006) は、前回の世界陸上競技選手権大会 (ヘルシンキ, 2005) の男子100mレースにおいて1歩毎の接地位置を測定し、出場選手のレベルに関係なくスタートダッシュ時の歩隔 (連続した接地足の爪先の左右間隔) は1歩目と2歩目の間が最も大きく約40cmで (図1), その後歩数が進むにつれて減少し、中間疾走では約17cmになったことを明らかにした。この結果は、スタートの始めに大きな歩隔をとることは、どのレベルの選手にとっても大きな加速力を得るために重要な意味がある事を示唆している。足を外側に踏み出してスタートする事は一見損をするように思われるかもしれないが、金子 (1990) は、スター

ト時の歩隔は、接地しているキック脚の膝関節角度を脚伸展力が最も高まる120°付近を確保するためであると推察している。伊藤と貴嶋 (2006) は、真っ直ぐ接地する場合と比較して、大きな歩隔は斜め後方へのキック力を発揮する事になるため、股関節でのキック力発揮には大殿筋だけでなく中殿筋なども動員できる可能性がある事や、やや横方向に伝わるキック力は膝関節の靱帯などの構造自体が支えるため、膝関節の伸筋群の負担が軽減でき、その分効率よく膝関節の伸筋群もキック力を発揮できるのではないかと推察している。これらは男子だけでなく女子選手にもあてはまることであり、より高い加速力を得るためにスタートダッシュではこのような技術も必要である。現在の日本選手の歩隔は狭いように感じているが、大会ではこのような点にもぜひ注目していただきたい。

## 2.4 中間疾走

### 1) 時速40kmを超える疾走速度

100mレースにおいて、世界一流選手はスタート後50-60m付近で最高速度が出現する。このスタート後のほぼ最高速度での走りは中間疾走と呼ばれており、スタートダッシュ以上にゴールタイムに大きな影響を与える。そしてこれまでの報告によると、世界トップ選手の最高速度は11.8m/s以上であり、最高速度出現以降の速度減率は約3-4%である (阿江ほか, 1994 伊藤ほか, 1998)。つまり、この中間疾走では、いかに最高速度を高めるかという事と、それをいかに持続する事ができるかが大きな勝負になるのである。ちなみに、末續選手の最高速度は、11.54 m/sと報告されている。

### 2) 意外なことにもも上げの高さは記録に関係しない

伊藤ほか (1998) は世界一流短距離選手から大学短距離選手までの男女71名を対象に、100m中間疾走局面における疾走動作を分析した。それによると、もも上げの高さは疾走速度に関係しなかった。また、膝の引きつけ角度は疾走速度の高い選手ほど大きい傾向があった。この研究は、それまで一般的に指導されてきたももを高く上げて走る「もも上げ動作」や膝を曲げてももを上げる「膝の引きつけ動作」に見直しを求めるものであった。レースでは、世界一流選手が、むしろ大げさでない引きつけ、もも上げ動作によってピッチの早い疾走を得ている点に注目したい。

### 3) 一流選手のキックは前によく進む

伊藤ほか (1998) は、キック脚の膝関節と足関節の伸展速度は世界一流選手のほうが遅いことを明らかにした。そして、キック中に膝関節と足関節の伸展が少なければ、股関節の伸展速度をそのまま脚全体のスイング速度に変換できるため、前によく進むと結論付けた。そして、疾走速度の高い選手ほど足関節の伸展速度 (スナップ動作) が遅いことから、膝関節と足関節を固定することが、短い接地時間にキック力を地面に伝達することを

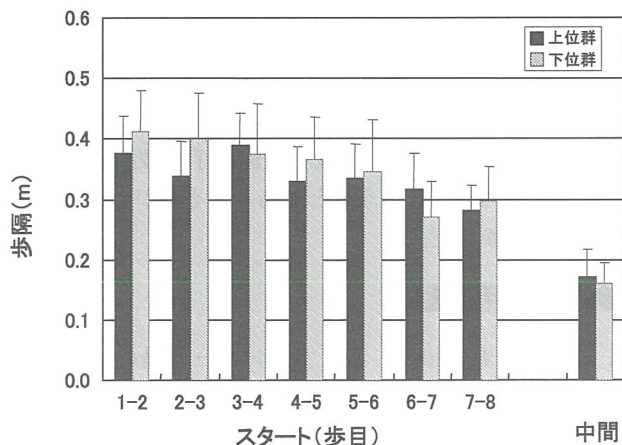


図1 歩隔の変化



可能にしていることを明らかにした。さらに伊藤と石川(2000)は、足関節によるスナップ動作がキック中の身体重心の上下動を生み出す原因の一つであり、好ましくない動作だと報告している。以上のことから、膝や足首の曲げ伸ばしが少ない、キックが一流選手の特徴としてまとめられよう。

#### 4. 先入観念にとらわれずに観察しよう

これら疾走動作に関する研究は、それまで行われてきた国内の短距離走指導の再考を促し、速く走るための効率いい動作とは何かを知る事ができるものであった。このような科学研究データを踏まえて世界一流選手の動作を注目してみてはいかがだろうか。視覚的には、一流選手は「腰が抜けたような」「腰掛けるような」フォームで、しかも「硬いバネ」の「ややぎこちないかもしれない」感じの走りに見えるかもしれない。先入観念にとらわれずに一流選手のフォームを観察したい。

### 3. 200mレース

#### 3.1 日本の代表選手にだれがなるのか

2003年に開催された第9回世界陸上パリ大会の男子200m決勝において、末續慎吾選手が日本人初の決勝に進出し、20秒38のタイムで見事に銅メダルを獲得した事はまだ記憶に鮮明に残っているのではないだろうか。末續選手のこの快挙は、これまで欧米の黒人選手ばかりが活躍していた短距離種目において、日本人でも十分に通用する事を証明した。前回の第10回ヘルシンキ大会で末續選手は準決勝敗退の辛酸を嘗めたが、今回の大阪大会ではぜひその雪辱を果たしてほしい。

2007年3月現在、国内の男子選手では末續選手のほかに昨年のアジア大会(カタール)で3位に入賞した高平慎士選手をはじめとして、出場標準記録A(20秒59)を突破している選手が5名もあり、国内のレベルが上がってきている。代表選手の座を射止めることは容易でない。

#### 3.2 高いスピードの持続力が勝負

200mでは100mほどスタートダッシュ能力が要求されないが、高い疾走速度が好記録を出すための絶対条件であることは100mと同じである。そして、100mの最高速度よりやや落とした疾走速度を維持するスピード持久力が必要となる。レースでは、コーナーを出た瞬間の順位がゴールの着順をほぼ決めるが、どの選手も速度の低下が著しくなる最後の50mで順位の変動もありうる。スタートから曲走路を高い疾走速度で一気に走り抜け、直線での疾走技術と体力の勝負をぜひご覧いただきたい。

#### 3.3 スピード持久力で世界に勝負の末續選手

貴嶋ほか(2005)は、末續選手が200mで20秒03のアジア新記録を樹立した競技会での200mと同大会における100mの疾走動作分析およびタイム分析を行っている。それによると、末續選手のキック動作には、上記のような世界一流選手と同じ特徴があり、技術的には世界トッ

プクラスであった。しかし、その疾走技術をもってしても、100mにおける最高速度は世界一流選手に比べ約2m/s以上低い。この差は大きく、中間疾走では10mごとに約2m離されることを意味している。

しかしなぜ末續選手が200mで成功しているのだろうか。一般的には200mでは100mの最高疾走速度より約10%落として走るが、末續選手の場合はわずか5%である。これは末續選手の200mレースにおける100mのラップタイムが100mレースの記録とわずか0秒25しか違わなかったことから理解できるだろう。さらに、そのように前半から積極的なレース展開であったにも関わらず後半の速度低下は他の選手と同じ程度であった。

末續選手は、200mではストライドは100mとほとんど変わらず、ピッチをやや低くして走っている。これは200mではややゆったりとリラックスした動作で走っていることを示している。それでも最高速度に近い走りが出来ていることは、末續選手の疾走技術が大変合理的であることを証明している。

#### 3.4 勝つのはゆったりした動きでも記録のよい選手か

200mでは、記録が良いのに「ゆっくりと動いている」ように感じられる選手がいるが、それは疾走技術が高いことの証である。つまり、余分な動きがなく良く進む効率の高い疾走動作をしているのである。ウォーミングアップ時も含め、そのような点にも注目するとさらに面白く観戦できるだろう。

### 4. 最後に

ここ数年、海外でも日本国内でも、圧倒的な力を見せて常に勝ち続けるようなスター選手がいない。男子100mにおいて第1回大会(ヘルシンキ)から3年連続で優勝し、1991年の第3回大会(東京)では9秒86の世界新記録(当時)で優勝したC. ルイス選手や、ルイス選手が引退した後に同じく3連覇(第6回イエテボリ大会から第8回エドモントン大会まで)したM. グリーン選手(アメリカ)、のようなスター選手が今大会で誕生する事を期待したい。もちろん、日本人選手の活躍が最も大会を盛り上げてくれることになるはずで、大いに応援したい。

しかし、もう一つ忘れてならないのは、陸上競技に係る我々は、本稿で紹介したような専門的な視点をもとに、“冷静・客観的”に世界一流選手の技術を理解する努力をすべきだということである。それが今後の強化につながるからだ。

### 参考・引用文献

- 1) 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.
- 2) 阿江通良, 鈴木美紗緒, 宮西智久, 岡田英孝, 平

- 野敬靖 (1994) 世界一流スプリンターの100mレースパターンの分析. 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, pp.14-28.
- 3) 伊藤章, 市川博啓, 斉藤昌久, 佐川和則, 伊藤道郎, 小林寛道 (1998) 100m中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. 体育学研究, 43: 260-273.
- 4) 伊藤章, 石川昌紀 (2000) 短距離走におけるスナップの意味. バイオメカニクス研究, 4: 159-163.
- 5) 貴嶋孝太, 福田厚治, 伊藤章 (2005) 末續慎吾選手の200m走の特徴. 陸上競技学会誌, 3 (1): 10-14.
- 6) 伊藤章, 貴嶋孝太 (2006) 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-. 陸上競技研究紀要, 2: 1-4.



# スピード分析からみた100mレース

松尾 彰文<sup>1)</sup>, 杉田 正明<sup>2)</sup>, 広川龍太郎<sup>3)</sup>, 柳谷登志雄<sup>4)</sup>, 阿江 通良<sup>5)</sup>

## Analysis of speed changes in men 100m sprint

Akifumi Matsuo, Masaaki Sugita, Ryutaro Hirokawa, Toshio Yanagiya, Michiyoshi Ae

### 1. はじめに

短距離レース100mでは、加速、トップスピード、スピードの持続性が大きな要因といわれており、レース中のスピードの変化はビデオカメラやレーザーにて計測され、その結果、トップスピードはゴールタイムと非常に高い相関関係があり重要な要素であることが報告されている(阿江ら, 1994, 広川ら, 2006, 松尾ら, 1993, 2004, 杉田ら, 1997, 2004)。しかしながら、実際のレースをみていると、トップになるような選手は後半からゴールまでスピードを上げており、スピード低下などはないように見える。他の選手と相対的に比べるため、スピードが低下していても他の選手よりもスピードが高ければ、早く走っているのだから、スピードが上がったようにみえても不思議ではない。1991年開催された世界陸上東京大会の男子100mで、ルイスは90m付近で先行するバレルを抜いて先頭にたち、当時世界記録である9.86秒で優勝した。ルイスは、後半になって先行する他の選手を抜き去ることから、特にゴール前、スピードが高まったように見えた。

客観的にみてスプリンターのレース中のスピードはどのように変化をしているのであろうか。また、どこから差がひらくのであろうか。世界のトップクラスが集う2007年世界陸上大阪大会での世界最速決定戦を、科学的知識をもって観戦してみよう。そこで、100mレース分析をもとに、ラップタイムやトップスピードの関係について論じてみることにする。

### 2. レーザー方式によるスピードデータ

主なデータは、2004年から日本陸上競技連盟科学委員会によりレーザー方式のスピード計測装置で国内の競技

会で収集されてきたGatlin (ドーピングによる資格停止)の9.95秒から10.91秒までの97例を用いた。世界陸上大阪大会における優勝の最有力候補はPowellであろう。しかしながら、2006年のスーパー陸上で来日したが、2回目のフライングで失格となり、残念ながら、彼のデータは収集できなかった。

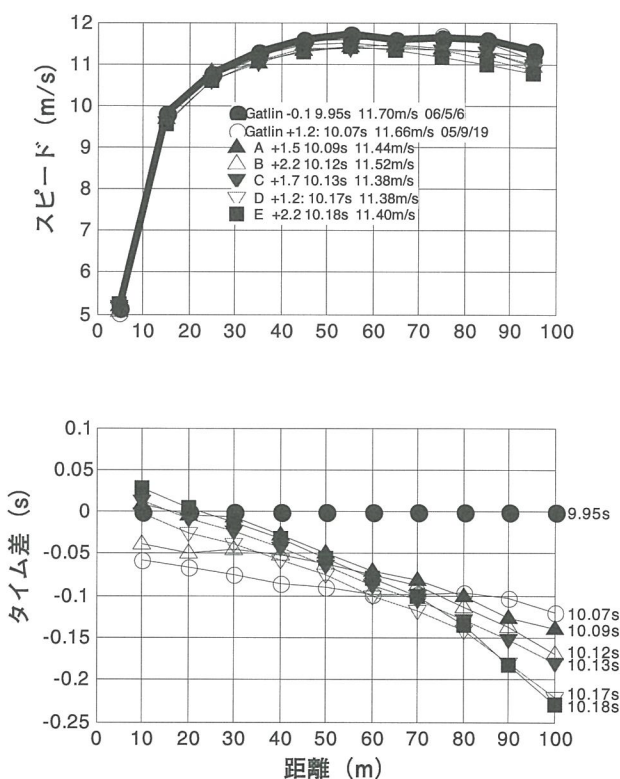


図1 Gatlinの2例と日本選手5例におけるスタートからの距離でみたスピード変化(上段)とGatlin 9.95秒とのラップタイム差(下段)。選手名のあとの数字は、風速、ゴールタイムと最高スピードである。

1) 国立スポーツ科学センター Japan Institute of Sports Sciences

〒115-0056 東京都北区西が丘3-15-1 Tel: 03-5936-0228 E-mail: akifumi.matsuo@jiss.naash.go.jp

2) 三重大学 Mie University

〒514-8507 三重県津市上浜町1515

3) 北海道東海大学 Hokkaido Tokai University

〒005-8601 札幌市南区南沢5条1丁目1-1

4) 順天堂大学 Juntendo University

〒270-1695 千葉県印旛郡印旛村平賀学園台1-1

5) 筑波大学 University of Tsukuba

〒305-0806 茨城県つくば市天王台1-1-1

この計測装置からは100Hzの時系列データとして距離のデータがコンピュータに記録される。時間-距離関係から、ゴールタイムをゴール地点通過タイムとして、10mごとのラップタイム、10mごとの区間スピードを算出した(松尾ら, 2007)。なお、ラップタイム算出には、距離の時系列データに遮断周波数5Hzのパターワースフィルターをかけたものを用いた。

### 3. スピード変化

図1は、Gatlinの9.95秒と10.04秒、日本選手の10.08秒から10.19秒までの100mレース5例の10m区間ごとにみたスピード変化を示した。ほとんどの選手が50mから70m付近で最大スピードに達し、その後、ゴールまではスピードが低下するという変化の様相であった。最初の10m区間のスピードでは、ほとんど差がみられないが、Gatlinのスピードは30m以降で日本選手よりも徐々に高いスピードとなっていった。また、どの選手もゴール前にはスピードは低下する傾向にある。

そこで、図の下段で、Gatlinの9.95秒のラップタイムとの差をみた。Gatlinの2例を比較するとスタートから0.1秒程度の差があるが、40mから70mくらいまではあまり差が広がっていない。この付近では、最高スピードが11.70m/sと11.66m/sとで、ほぼ同じであったためである。一方、日本選手をみると10mと20mくらいまでGatlinの9.95秒のラップよりも速いラップで通過している例がみられる。しかし、30m以降は、ほぼ一定の割合で差が開いていく傾向であった。これは、最大スピードが日本選手では11.4m/sから11.5m/sであり、0.2m/sほどの差があったためである。このように、スピード曲線では、スピード変化の様子や最大スピードの差をみることで、ラップタイム差ではスピードの差によって次第に通過タイムの差となって拡大していく過程をみることができる。これらの結果からも、トップスピードの高さが重

要な要因であることが示唆される。

### 4. スピードと記録との関係

レース中の最大スピードと100mのゴールタイムとの関係を図2に示した。図中の●はGatlinの2例である。91年東京の世界陸上での男子100mでルイスは9.86秒で12.05m/s、バレルは9.88秒で11.90m/sであったことが報告されている(阿江ら, 1995)。また、88年のソウルオリンピックでジョンソン(ドーピングで失格)は9.79秒でルイスは9.92秒であったが、最高スピードは両者ともに12.04m/sであったといわれている(小林, 2001)。

最大スピードとゴールタイムの間には統計的に有意な相関関係があり、最大スピードに比例してゴールタイムがよいことがわかる。このような傾向は、ビデオによるラップタイムから計測された最高スピードの報告結果とほぼ一致するものであった(杉田, 1997, 小林, 2001)。相関係数が非常に高いことから、両者間の回帰式からゴールタイムを推定することが可能であり、小林は、ビデオによるスピード分析で杉田らが報告した回帰式、10秒をきるための条件として最大スピードが11.77秒としている。この値から考えるとGatlinの11.70m/sで9.95秒というタイムは、統計的な回帰よりも優れたゴールタイムであるといえる。

同じようなトップスピード(11.4m/s付近)でもゴールタイムで0.3秒程度の差がみられる。この差は、加速過程やゴール前のスピード低下によるものだろう。また、予選などでゴール前に急激なスピード低下がみられた例もあった。このように、最大スピードとゴールタイムの関係は、個々に比較していくことで、レースの評価や選手の特徴抽出に応用できるであろう。

### 5. 10mごとのラップタイム

スタート局面での差をみるため、10mごとのラップタイムとゴールタイムとの差をみたものを図3に示した。どのラップも統計的には有意な相関関係がみられたが、相関係数をみると最も低いのが10mであり、ゴールに近づくほど高くなる傾向であった。図中にGatlinの例を●で示した。10mから30mまでは、ゴールタイムが10.4秒程度のラップタイムとほぼ同じ範囲内である。ゴールに近づく、しだいにラップタイムも速い方にシフトしていく。これらのことは、10mから20mまでのスタートダッシュでの速さは、直接的にトップスピードには結びついていないことを示している。30m以降、しだいに回帰式からのバラツキが減少してくることは、この付近からの加速により、ゴールタイムとの関係が強まることである。すなわち、ここから最大スピード到達までの加速が最大スピード、そしてゴールタイムへと受け継がれていくとも考えられる。したがって、スタートのタイミングや最初の加速だけではなく、30m付近からの加速をみる

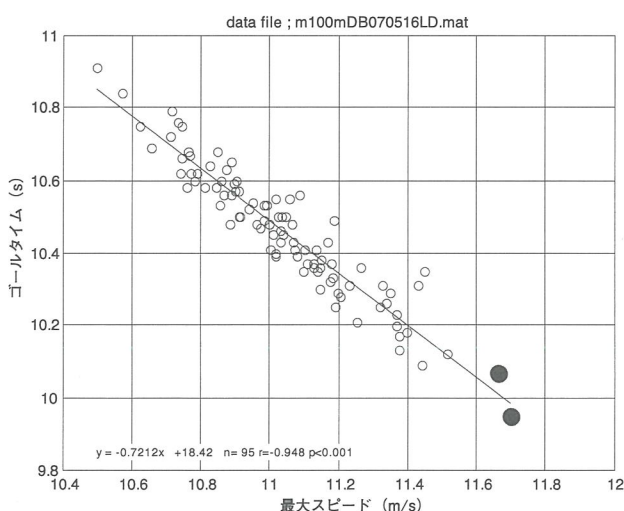


図2 100mレース中の最大スピードとゴールタイムの関係



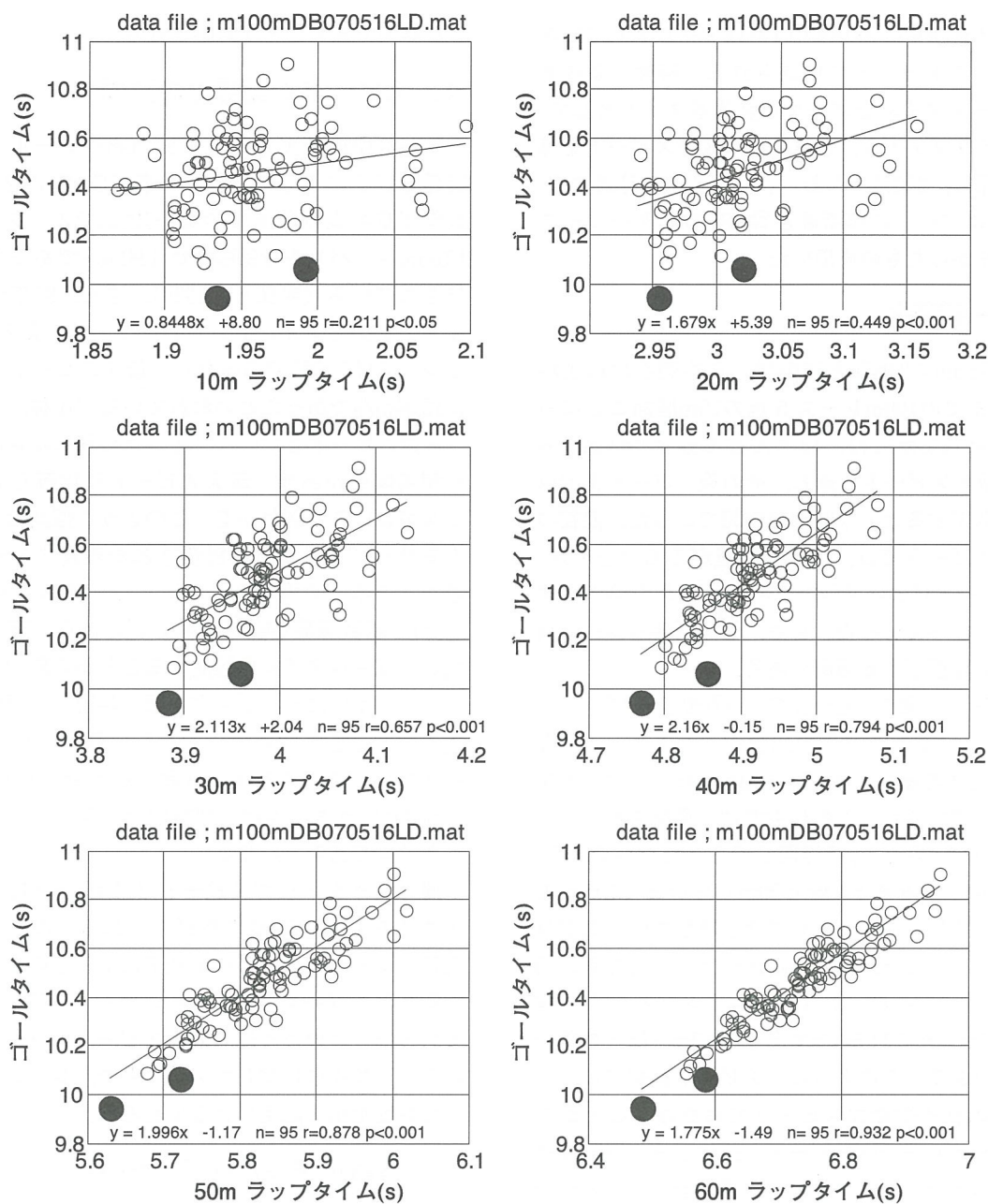


図3 スタートの10mから60mまでのラップタイムとゴールタイムとの関係  
●はGatlinの9.95秒と10.07秒。

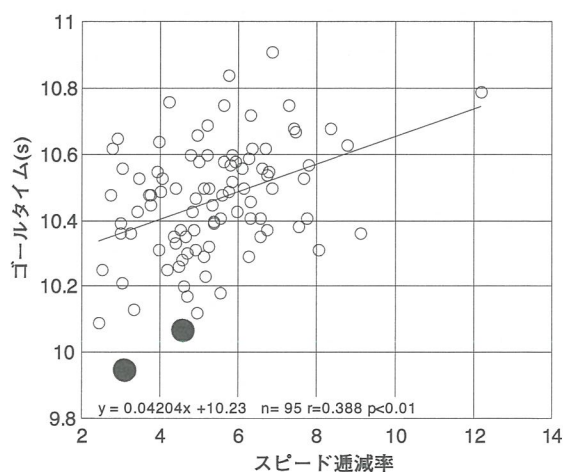


図4 ゴール前のスピード逓減率とゴールタイムとの関係  
●はGatlinの9.95秒と10.07秒。

のも楽しみである。

## 6. スピード逓減

ゴール前のスピード逓減率とゴールタイムをみたものが図4である。スピード逓減率は90mから100mまでの区間スピードを最高スピードで除して求めた。ゴール前のスピード低下はすべての選手にみられており、ゴール直前でスピードが増加した例はない。これは、疲労により、さけられないことであるともいわれている（阿江, 1995）。このことから、ゴール前にスピードが高まったように見えるのは、他の選手と相対的にみているためとわかる。

スピード逓減率とゴールタイムの間には、統計的に有意な相関関係であり、逓減率が低いほどゴールタイムが

よい傾向にある。91年東京大会ではルイスで3.5%，ソウル大会では5.6%であったという（阿江，1995）。日本の選手の中でもスピード通減率がよい例（3%から5%）が多くみられている。いくらスピードの持続性が高くても、最高スピードが低ければ、スピードの高い選手の低下したスピードよりも低くければ、差は拡大するばかりである。

最大スピードがゴールまで持続されてスピード通減が無いと仮定した場合のゴールタイムと実際のゴールタイムとの差をみるとGatlinの9.95秒では0.04秒であった。しかしながら、この区間では最後の最後で0.01秒の攻防が繰り返されるのだ。つまりは、僅差の場合には、順位に関わる大切な区間であり、通減率は低い方がよいといえよう。

## 7. 大阪での観戦ポイント

2007年大阪での世界陸上ではオリンピックの前年でもあるため、その注目度は非常に高いであろう。陸上競技100mは人類の最速を決める種目であり、多くの人たちの注目を集めている。その10秒ほどのレースであるため、途中のペース配分やラストスパートの時期というような駆け引きはない。選手の持ちタイムだけではなく、予選や準決勝でどのようなレースをしているかをいくつかの局面に分けてみておくことで決勝でのレース展開がさらに興味深いものになるだろう。特に、Powellや今期好調が伝えられているGayがどのようなレースを展開するのか、1次予選、2次予選、そして、準決勝でどのような走りを見せるのか、特に、30m付近から最高スピードへどのようにつなげているのか、ピッチ、ストライドは、そしてランニングフォームはどうなっているのか、非常に興味深いポイントである。日本選手も見逃せない。末續選手や今期好調の朝原選手、塚原選手、他にも有力選手が多数いるが、だれが選考されても世界のトップクラスにたいしてどのように挑んでいくのか、やはり、30mから最高スピードまでどのように走るのか注目したい。ここでの走りが、400mリレーの入賞あるいはメダル獲得に、どのようにつながっていくかを楽しみにしたい。また、世界のトップアスリートが集うこの大会は、科学的データの収集のチャンスでもある。大会での日本選手の

活躍だけではなく、多くの科学的データ収集のチャンスでもあるので、この点においても楽しみにしている。

ここで利用したデータは、日本陸連科学委員会活動によるレーザー方式スピード計測装置で測定したデータである。測定機器の設置にご協力をいただいた競技会運営の方々に感謝の意を表する。

## 文 献

- 1) 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100mレースパターンの分析－男子を中心に－, 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, 1994.
- 2) 広川龍太郎, 杉田正明, 松尾彰文, 金子太郎 (2006) 国内GPにて収集した外国人選手の疾走速度分析, 陸上競技研究紀要, 2, 90-91.
- 3) 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.
- 4) 松尾彰文, 広川龍太郎, 柳谷登志雄, 杉田正明, 阿江通良 (2007) レーザー方式による100mおよびハードルのスピード分析, 陸上競技研究紀要, 印刷中.
- 5) 松尾彰文, 持田 尚, 杉田正明 (2004), インターハイ男子100mのラップタイムとスピード変化, 日本陸連科学委員会研究報告, 3 (1), 9-18.
- 6) 松尾彰文, 杉田正明 (1993), インターハイおよびTOTOスーパー陸上の100m疾走スピード, 平成5年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告, No II 競技種目別競技力向上に関する研究, 17, 160-162.
- 7) 杉田正明, 広川龍太郎, 阿江通良 (2004), 日本選手権の男女100m走中のスピード分析, 日本陸連科学委員会研究報告, 3 (1), 19-23.
- 8) 杉田正明, 加藤謙一, 阿江通良, 松垣紀子, 小林寛道 (1997), '96TOTOスーパー陸上の100m走中の疾走スピード, 平成8年度日本オリンピック委員会スポーツ医・科学研究報告, No II 競技種目別競技力向上に関する研究, 20, 273-277.



# 男子400m走, ファイナリストへの道 —大阪そして北京へ—

持田 尚<sup>1)</sup>

## The Road to the finalist of men 400m sprint in the World Championships in Athletics Osaka 2007

Takashi Mochida

キーワード：400m 走, 速度変化, レースパターン, 世界陸上

### 1. はじめに

男子400m走競技と言えば, 高野選手(現・東海大准教授, 日本陸上競技連盟強化委員長)の活躍がとても印象的だった。1988年ソウル五輪で, 当時の日本記録44秒90を出しながらも決勝進出できなかった高野選手は, 1989年は『100m走』に, 1990年は『200m走』に専念。そして1991年には『400m走』に再トライするという長期的な戦略でトレーニングを実施し, 見事同年6月の日本選手権にて44秒78の日本新記録を樹立。そして8月の世界陸上(東京大会)では夢の世界大会ファイナリスト(7位入賞)となった。さらに, 1992年のバルセロナ五輪では決勝進出を果たし(8位入賞), 日本人スプリンターとしては64年ぶりの偉業を成し遂げたのである。

それから16年の月日が過ぎ, 今年大阪で世界陸上が開催される。現時点(2007年5月)においてまだ日本記録は更新されていないものの, 春のグランプリに参戦している金丸選手(法政大学), 堀籠選手(富士通), 山口選手(大阪ガス)らの活躍が期待される。さて, その東京

大会において日本陸上競技連盟科学委員会(以下JAAF-SCとする)では, バイオメカニクス的研究活動を行っており, 高野選手を含む, 世界トップクラスのレースペースを明らかにしている(沼澤ら, 1994)。本稿では, レース中の走速度に注目し, 現在活躍する日本人選手らと高野選手の比較, そして大阪の世界陸上優勝候補であるWARINER選手(USA)のレースペースについても解説し, 日本人選手が再び世界のファイナリストになることの期待を込めて, 大阪世界陸上男子400m走のみどころについてご紹介する。

### 2. 方法

#### 2.1 分析対象選手およびレース

本稿では, 第3回世界陸上東京大会(以下東京世界陸上とする)の400m走決勝上位3名のA. ペティグルー選手, R. ブラック選手, D. エバレット選手と7位の高野選手, 2005年スーパー陸上(以下スーパー陸上2005とする)の金丸選手, 堀籠選手, 2006年スーパー陸上(以下スーパー陸上2006とする)の堀籠選手, 金丸選手, そして2007年大阪国際グランプリ(以下大阪GP2007とする)のWARINER選手, 山口選手のレースについて分析され

表1 分析対象レース

| 年     | 大会名                       | 略式名称       | 走者             | レースタイム | 出典               |
|-------|---------------------------|------------|----------------|--------|------------------|
| 1991年 | 第3回世界陸上 東京大会<br>男子400m走決勝 | 東京世界陸上     | A.ペティグルー(USA)  | 44秒57  | 沼澤ら(1994)        |
|       |                           |            | R.ブラック(UK)     | 44秒62  |                  |
|       |                           |            | D.エバレット(USA)   | 44秒63  |                  |
|       |                           |            | 高野 進(東海大AC)    | 45秒63  |                  |
| 2005年 | スーパー陸上<br>男子400m走決勝       | スーパー陸上2005 | 金丸祐三(法政大)      | 45秒47  | 杉田ら(2006)        |
|       |                           |            | 堀籠佳宏(富士通)      | 45秒89  |                  |
| 2006年 | スーパー陸上<br>男子400m走決勝       | スーパー陸上2006 | 金丸祐三(法政大)      | 46秒05  | 持田ら(印刷中)         |
|       |                           |            | 堀籠佳宏(富士通)      | 45秒77  |                  |
| 2007年 | 大阪国際グランプリ<br>男子400m走決勝    | 大阪GP2007   | J.WARINER(USA) | 44秒02  | JAAF-SC<br>未発表資料 |
|       |                           |            | 山口有希(大阪ガス)     | 45秒91  |                  |

1) (財)横浜市体育協会 スポーツ医科学センター Sports Medical Center, Yokohama Sports Association  
〒222-0036 横浜市港北区小机町3302-5 日産スタジアム内  
Tel: 045-477-5050 E-mail: ta01-mochida@yspc.or.jp

たデータを用いた(表1)。分析区間距離は、スーパー陸上2006、大阪GP2007のレースにおいては35mごと(ただし、スタートからは45m、360m地点からゴールまでは40mである)の通過タイムからレースを11区間に分けて分析したデータを用いている。これは400mハードルの位置を基準とした通過タイムを合成映像から求める方法(持田ら、印刷中)によって求めたものである。

ただし、東京世界陸上、スーパー陸上2005については、100mごとに分析されたデータであるため、それらと比

較するために、35m毎の通過タイムより100m、200m、300mの通過タイムをその地点を挟む2点の回帰から内挿し求めることで調整した。また、50m毎に換算したグラフ作成にも同様の方法を用いている。

### 3. 結果と考察

#### 3.1 高野選手のレースペース

東京世界陸上における速度変化(図1)をみると、日本を代表する高野選手は、第1区間(Start-100m)を8.89(m/s)、第2区間(100-200m)を9.90(m/s)、そして第3区間(200-300m)を9.12(m/s)の速度で走っており、上位3名(A.ペティグルー、R.ブラック、D.エバレット)と比べてほぼ互角の走りをしていった(第1区間8.81~9.09(m/s)、第2区間9.67~9.96(m/s)、第3区間9.17~9.25(m/s))。確かに第4区間において高野選手は7.68(m/s)と上位3名(7.96~8.14(m/s))に比べて速度低下が大きかったが、レース全体を通してみるとレベル、パターンともに世界トップクラスと同様の展開をしていたと言えよう。

#### 3.2 金丸選手、堀籠選手、山口選手のレースペース

次に、現在活躍する金丸選手(スーパー陸上2005:45秒47)、堀籠選手(スーパー陸上2006:45秒77)、山口選手(大阪GP2007)についてレースパターンを観察してみると(図2)、100mごとの平均速度推移では、3選手のレースパターンは類似していた。

ただし、高野選手と比べると、第2区間(100-200m)の速度に大きな違いがみられ、3人(金丸:9.35m/sec、堀籠:9.25m/sec、山口:9.29m/sec)に比べ高野選手は、約0.6(m/sec)速い速度(9.90m/sec)で走っていた。時間になると、100mを0.55秒から0.65秒速く走っていたことになる。

次に迎える第3区間(200-300m)は、ほぼ同程度の速度で走っており、最後の第4区間(300-400m)は、高野選手が3人に比べ約0.6(m/sec)遅い速度で走っていた。つまり、レース全体の流れからみると、金丸、堀籠、山口選手らは高野選手に比べて、第2区間(100-200m)の速度が抑えられたオープンペース的なレースパターンで走っていて、東京世界陸上決勝レースの高野選手らとは

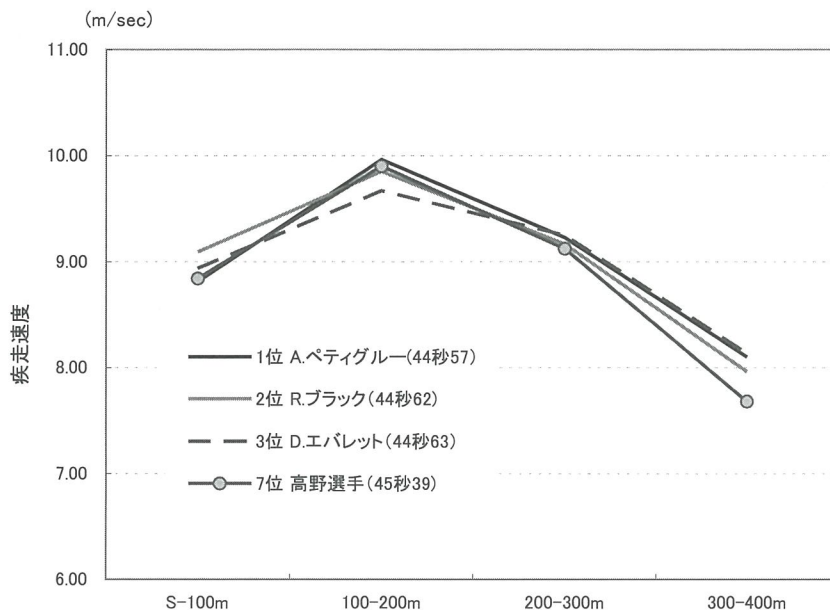


図1 東京世界陸上400m走決勝レースにおける速度変化

※沼澤ら(1994)のデータを元に筆者が加工

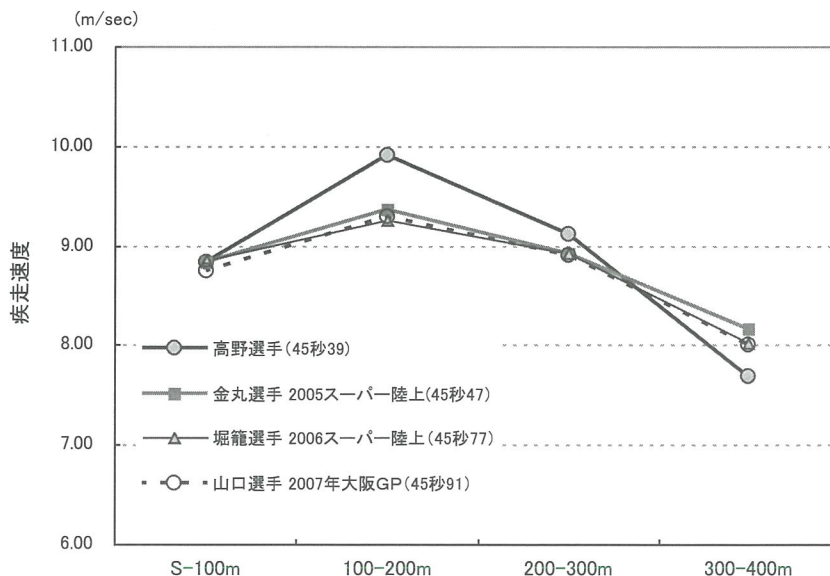


図2 高野選手、金丸選手、堀籠選手、山口選手の速度変化

※高野選元データ: 沼澤ら(1994)から引用・筆者加工  
金丸選手データ: 杉田ら(2006)から引用・筆者加工  
堀籠選手データ: 持田ら(印刷中)のデータ  
山口選手データ: 日本陸連科学委員会



異なったパターンであった。

### 3.3 WARINER選手のレースペース

WARINER選手は、43秒62の自己記録をもち、昨年のゴールデン・リーグは全勝という現在無敵の強さをほこるロングスプリンターである。そんなWARINER選手が2007年世界陸上（大阪）の前哨戦ともなる、5月の大阪GP 2007に参戦した。その時のレースペースを100m毎に換算したものを図3と図4に示してある。WARINER選

手は（図3）、A. ペティグルー、R. ブラック、D. エバレットと比べても第1区間（S-100m）の平均速度が9.14（m/sec）と速く、第2区間（100-200m）は若干遅いものの、第4区間（300-400m）においては、他の3選手が7.96-8.14（m/sec）の速度であるのに対して、8.60（m/sec）と速いレベルを保ちながら走りきっている。本レースにおけるWARINER選手のレース展開は、速度変化のグラフからもわかるように、A. ペティグルー、R. ブラック、D. エバレットらとは異なっていた。どちらかというと、レースパターンは金丸選手、堀籠選手、山口選手らと類似していた（図4）。

どちらかというと、レースパターンは金丸選手、堀籠選手、山口選手らと類似していた（図4）。

### 3.4 世界ファイナリストへの兆し

金丸選手は、スーパー陸上2005にて45秒47の好タイムを記録して、優勝している。しかし、スーパー陸上では46秒05と記録が低迷し3位に甘んじた。その2レースを比較してみると（図5）、金丸選手は、2005年に比べて2006年では、はじめの100mの速度が0.20（m/s）、そして次の100m（100-200m）が0.17（m/s）速くなっており、前半からのスピードアップが図られていた。時間に換算すると前半の200mで約0.4秒速く走っていったことになるが、後半200mの速度低下の様子を見ると、結果的にはこのレース展開はオーバーペースであり、失敗レースであったと捉えられるかもしれない。しかしながら、スタートから100m、そして次の100mから200m区間においては、WARINER選手と同レベルの速度であり（図5）、世界標準レベルを体感できたレースであったとも捉えることができるのではないだろうか。図6に示した、50m区間ごとにみたレースペースのグラフで、もう少し詳しくみると、スーパー陸上2006の金丸選手は150m地点まではWARINER選手と互角な走りをしており、その後速度低下が著しくなっていた。この前半のペースを200m地点ぐらいまで保持するようにしていくのか、若干速度を落とし、全体のレースペースを崩さずレベルアップを図っていくのか、今後どのような対策を講じてくるのか楽しみである。

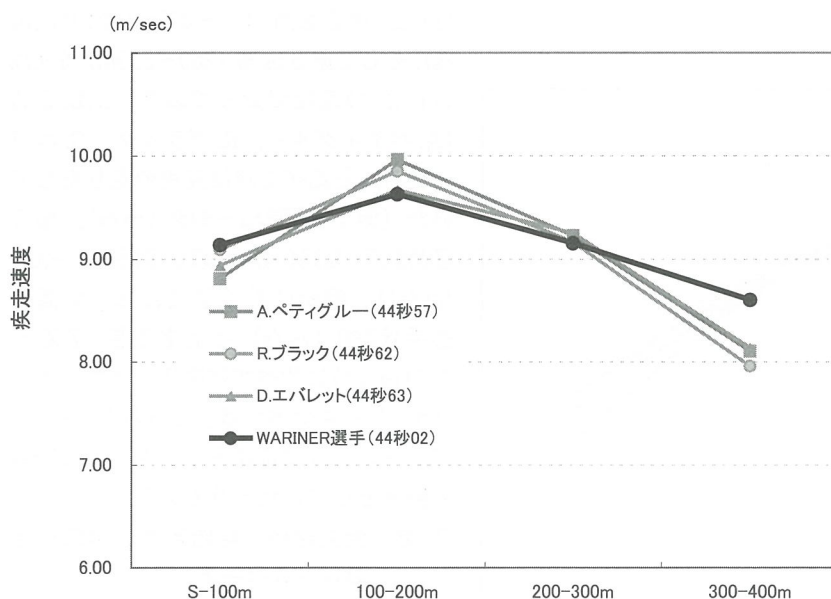


図3 東京世界陸上トップ3名とWARINER選手の速度変化の比較

※高野選手、A.ペティグルー選手、R.ブラック選手、D.エバレット選手のデータ：沼澤ら（1994）から引用・筆者加工した。

WARINER選手データ：日本陸連科学委員会

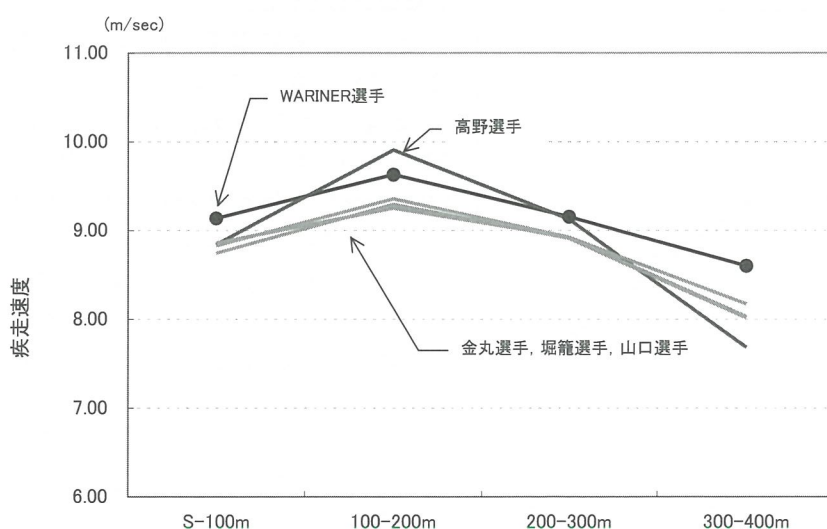


図4 日本選手とWARINER選手の速度変化の比較

※高野選元データ：沼澤ら（1994）から引用・筆者加工  
金丸選手データ：杉田ら（2006）から引用・筆者加工  
堀籠選手データ：持田ら（印刷中）のデータ  
山口選手データ：日本陸連科学委員会  
WARINER選手データ：日本陸連科学委員会

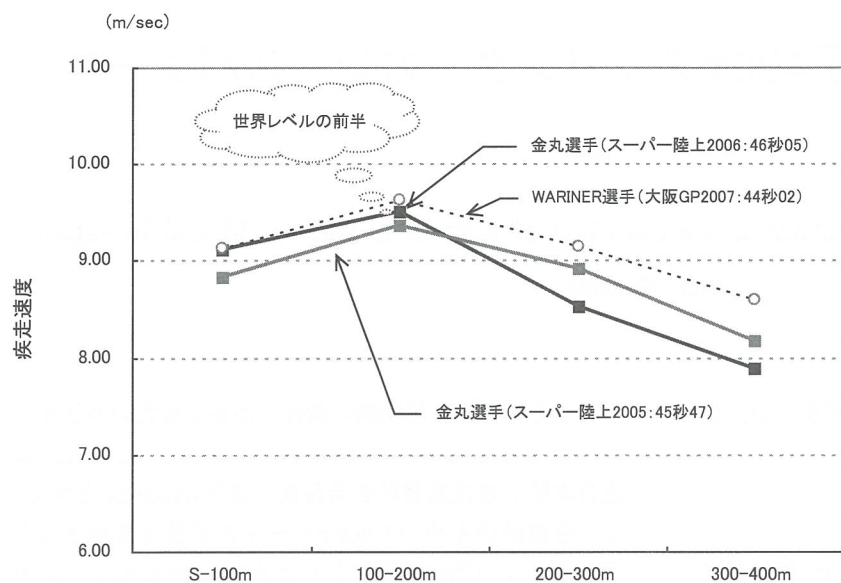


図5 世界ファイナリストへの兆し

※金丸選手データ: 杉田ら (2006), 持田ら (印刷中) から引用・筆者加工

WARINER選手データ: 日本陸連科学委員会

### 3. 最後に

今回出場が予定される選手たちは20歳代とまだまだ若いメンバーである。高野氏が世界のファイナリストになったのが30歳であったことを考えると、彼らにとって大阪世界陸上、北京オリンピックはまだ通過点なのだろう。ただし、あまり経験できない数少ない世界大会の場であるだけに、どのような戦いをするのか、どのような経験をするのかがとても重要となる。そういった意味では、大阪世界陸上で、各選手のレースペースについて注目し観戦することは、選手の戦いぶりを伺い知るこ

とができ、100倍とは言わないが、いくらか面白くなるのではないだろうか。レースを観戦しただけでは、実際のレースペースはなかなか把握できるものではないが、日本人選手は前半の200mをどのように走るのか、そしてWARINER選手は大阪と同じレースパターンで走ってくるのか注目してもらいたい。

### 参考文献

沼澤秀雄, 杉浦雄策 (1994) 200m, 400mレースの時間分析. 佐々木秀幸, 小林寛道, 阿江通良 (監修) 世界一流陸上競技者の技術, ベースボールマガジン社, 50-56.

杉田正明, 榎本靖士, 高野進, 川本和久, 阿江通良 (2006) 2005スーパー陸上の400m走におけるタイム分析について. 陸上競技研究紀要, 2: 92-94.

持田 尚, 杉田正明, 広川龍太郎, 高野 進, 川本和久, 柳谷登志雄, 松尾彰文, 阿江通良 (印刷中) セイコースーパー陸上2006ヨコハマにおける400m走競技者の疾走スピード変化について-11区間平均疾走スピードの変化から-. 陸上競技研究紀要.

持田 尚, 松尾彰文, 柳谷登志雄, 矢野隆照, 杉田正明, 阿江通良 (印刷中) Overlay表示技術を用いた陸上競技400m走レースの時間分析.



# 世界と国内トップ女子400mスプリンターのレースパターン

持田 尚<sup>1)</sup>

The Race-pattern of 400m sprinter of the top class of women in the world and in Japan

Takashi Mochida

キーワード：400m 走，速度変化，レースパターン，世界陸上

## 1. はじめに

女子400mについては，日本記録（51秒80）保持者である丹野麻美選手（福島大）が，2007年5月に行われた大阪国際グランプリ（以下大阪GP2007とする）において，52秒17と世界選手権B標準（52秒30）を突破しており，またそのレースにおいてHENDERSON選手（USA，自己記録49秒96）やROBINSON選手（USA，自己記録50秒38）に先着していることから，大阪世界陸上での彼女の活躍に期待が高まっている．本稿では，世界的女子レースペース・パターンについて，世界的女子400mスプリンターと丹野選手を比較しながら解説，世界陸上の見所のひとつをお伝えする．

## 2. 方法

### 2.1 世界トップレベルと丹野選手のレースデータ

女子400m走選手のレース中の速度変化については，いままで100m毎に分析されたものが多く（沼澤ら1994；持田ら2003；杉田ら2005），それより細かく分析

されたものは分析用映像の取得にかかる労力の多さから，ほとんどない（MAYu-houn, 2004）．しかし，最近日本陸上競技連盟科学委員会（以下JAAF-SCとする）は，合成映像を用いて400mハードル位置を基準とした通過タイム（35m区間ごと）から，400m走のレースを分析する方法を考案した（持田ら，印刷中）．この方法は，分析用映像を撮影する際の準備作業，例えば距離マークの貼付など，を必要とせず，カメラ台数も1～2台程度と，作業のコンパクト化に寄与し，分析用映像データの取得を容易にした．比較的細かく分析されたレース中の速度変化データは，レース展開そのものを想起しやすくさせ，レースペースなどについて議論するうえで有効な資料となる．世界陸上大阪大会を機に，北京へ向けて400m走，マイルリレー強化に役立つ資料がさらに出てくることが期待されるだろう．

さて，本稿では，世界トップレベルのレースデータとして，MAYu-houn（2004）が報告している1999年第7回世界陸上スペイン大会（以下スペイン世界陸上とする）の，女子400m走決勝レースのデータを用いた．そして，丹野選手のレースペースについては2006年スーパー陸上（以下スーパー陸上2006とする）のレースデータ（持田

表1 分析対象レース

| 年       | 大会名                        | 略式名称       | 走者                  | レースタイム     | 出典                |
|---------|----------------------------|------------|---------------------|------------|-------------------|
| 1999年8月 | 第7回世界陸上スペイン大会<br>女子400m走決勝 | スペイン世界陸上   | C.フリーマン             | 49秒67      | MAYu-houn (2004)  |
|         |                            |            | A.リュッカー             | 49秒74      |                   |
|         |                            |            | L.グラハム              | 49秒92      |                   |
|         |                            |            | F.オグンコヤ             | 50秒03      |                   |
|         |                            |            | K.メリー               | 50秒52      |                   |
|         |                            |            | N.ナザロフ              | 50秒61      |                   |
|         |                            |            | G.プロイアー             | 50秒67      |                   |
|         |                            |            | O.コトリャロフ            | 50秒72      |                   |
|         |                            |            | 決勝走者(8名) 平均±標準偏差    | 50秒24±0秒44 |                   |
| 2006年9月 | スーパー陸上<br>女子400m走決勝        | スーパー陸上2006 | 丹野麻美選手(福島大)         | 53秒54      | 持田ら(印刷中b)         |
|         |                            |            | AMERTIL, Christine  | 50秒68      |                   |
| 2007年5月 | 大阪国際グランプリ<br>女子400m走決勝     | 大阪GP2007   | 丹野麻美選手(福島大)         | 52秒17      | JAAF-SC※<br>未発表資料 |
|         |                            |            | WINEBERG, Mary(USA) | 51秒20      |                   |

※：日本陸上競技連盟 科学委員会(JAAF-SC)

1) (財)横浜市体育協会 スポーツ医科学センター Sports Medical Center, Yokohama Sports Association  
〒222-0036 横浜市港北区小机町3302-5 日産スタジアム内  
Tel: 045-477-5050 E-mail: ta01-mochida@yspc.or.jp

ら、印刷中a)と大阪GP2007のレースデータ(JAAF-SC 分析 未発表資料)を用いた。また、参照データとして、スーパー陸上2006優勝者のAMERTIL選手(50秒68)と大阪GP2007優勝者のWINEBERG選手(51秒20)のレースデータを加えた。ちなみに、スーパー陸上2006と大阪GP2007については、400mハードルを基準に分析する方法(持田ら、印刷中b)を用いて、そのデータから50mごとの通過タイムを求め、区間平均速度を割り出している。尚、分析対象となったレースおよび選手の一覧は表1に示した。

## 2.2 各種データの算出

レースペースやパターンについて解説するために、区間タイム、区間平均速度のデータを元に、次の各種データを求め、グラフ化した。ひとつは、レースペースの特徴を知るために、最高速度に対する各区間速度の割合を求めた。二つめは、速度変化の動向を視覚的にみるために、続く2点間の速度変化の『傾き』を求めた。尚、分

析区間の定義は図1に示した。

## 3. 結果と考察

対象選手の記録、およびその内訳は表2に、そのレースの区間タイムと区間平均速度は、それぞれ表3、表4に示した。さらに、最高速度に対する各区間速度の割合を表5に、速度変化の『傾き』を表6に示した。

### 3.1 世界トップレベルとのタイム差

スペイン世界陸上決勝レース走者8名の平均タイム±標準偏差は、 $50.24 \pm 0.44$  (秒)であった(表2)。大阪GP2007の丹野選手が記録した52.17秒に比べると、世界トップレベルとの差は約2秒となる。記録の内訳をみると、決勝走者の前半200mの平均タイムは $23.93 \pm 0.23$  (秒)、そして後半が $26.31 \pm 0.33$  (秒)であった。それに対し、丹野選手は前半200mが24.95 (秒)、後半が27.22 (秒)であり、決勝走者平均タイムに比べると、前半、後半においてそれぞれ約1秒ずつ遅れていた。そこで、そのタ

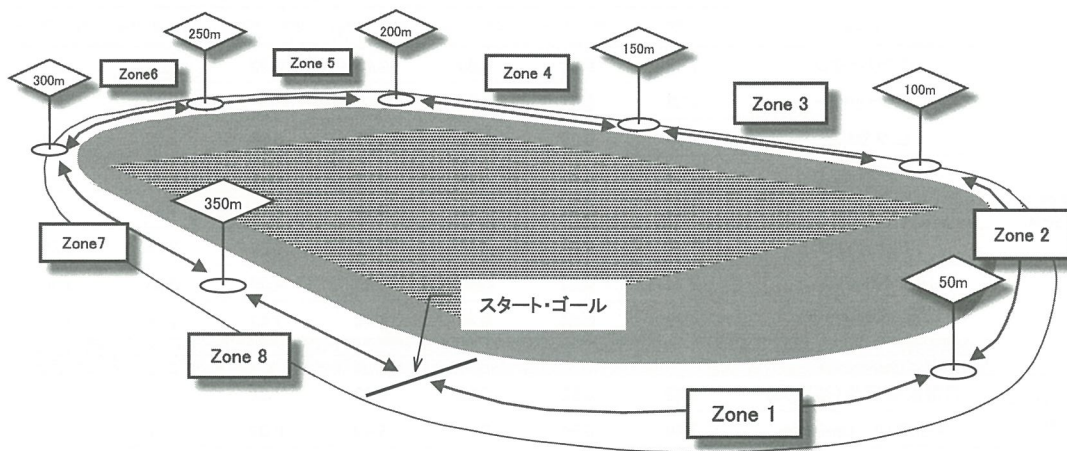


図1 400m走レース分析区間の定義

表2 400m走記録の内訳

| 大会                            | 走者                  | 記録(秒)            | 前半(秒)            | 後半(秒)            | 記録に占める割合         |                  |
|-------------------------------|---------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
|                               |                     |                  |                  |                  | 前半(%)            | 後半(%)            |
| スペイン世界陸上<br>(MAYu-houn, 2004) | C.フリーマン             | 49.67            | 23.79            | 25.88            | 47.9             | 52.1             |
|                               | A.リュッカー             | 49.74            | 24.03            | 25.71            | 48.3             | 51.7             |
|                               | L.グラハム              | 49.92            | 23.59            | 26.33            | 47.3             | 52.7             |
|                               | F.オゲンコヤ             | 50.03            | 23.66            | 26.37            | 47.3             | 52.7             |
|                               | K.メリー               | 50.52            | 23.91            | 26.61            | 47.3             | 52.7             |
|                               | N.ナザロワ              | 50.61            | 24.09            | 26.52            | 47.6             | 52.4             |
|                               | G.ブロイアー             | 50.67            | 24.08            | 26.59            | 47.5             | 52.5             |
|                               | O.コトリャロワ            | 50.72            | 24.26            | 26.46            | 47.8             | 52.2             |
|                               | 決勝走者(8名) 平均±標準偏差    | $50.24 \pm 0.44$ | $23.93 \pm 0.23$ | $26.31 \pm 0.33$ | $47.63 \pm 0.37$ | $52.37 \pm 0.37$ |
| スーパー陸上2006<br>(持田ら、印刷中b)      | 丹野麻美選手(福島大)         | 53.54            | 24.70            | 28.84            | 46.1             | 53.9             |
|                               | AMERTIL, Christine  | 50.68            | 24.05            | 26.63            | 47.5             | 52.5             |
| 大阪GP2007<br>(JAAF-SC 未発表資料)   | 丹野麻美選手(福島大)         | 52.17            | 24.95            | 27.22            | 47.8             | 52.2             |
|                               | WINEBERG, Mary(USA) | 51.20            | 24.98            | 26.23            | 48.8             | 51.2             |



表3 分析対象レースの区間タイム (50mごと)

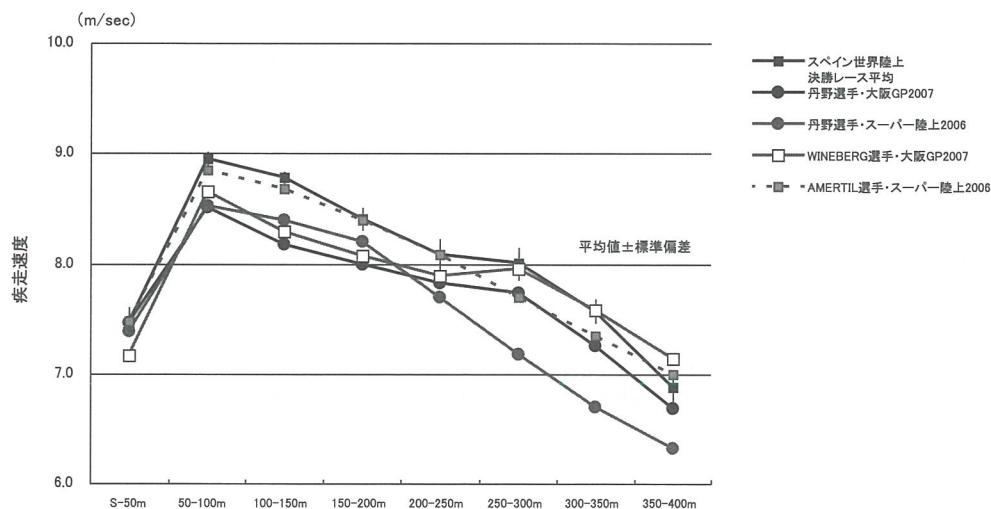
| 大会                            | 走者                   | 区間タイム (50mごと) |           |           |           |           |           |           |           |
|-------------------------------|----------------------|---------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                               |                      | S-50m         | 50-100m   | 100-150m  | 150-200m  | 200-250m  | 250-300m  | 300-350m  | 350-400m  |
| スペイン世界陸上<br>(MAYu-houn, 2004) | C.フリーマン              | 6.56          | 5.63      | 5.68      | 5.92      | 6.08      | 6.10      | 6.53      | 7.17      |
|                               | A.リュッカー              | 6.80          | 5.61      | 5.69      | 5.93      | 6.06      | 6.12      | 6.45      | 7.08      |
|                               | L.グラハム               | 6.61          | 5.50      | 5.62      | 5.86      | 6.19      | 6.34      | 6.60      | 7.20      |
|                               | F.オグンコヤ              | 6.55          | 5.59      | 5.68      | 5.84      | 6.13      | 6.16      | 6.68      | 7.40      |
|                               | K.メリー                | 6.68          | 5.56      | 5.71      | 5.96      | 6.13      | 6.33      | 6.75      | 7.40      |
|                               | N.ナザロフ               | 6.70          | 5.59      | 5.75      | 6.05      | 6.38      | 6.44      | 6.62      | 7.08      |
|                               | G.ブロイアー              | 6.81          | 5.58      | 5.70      | 5.99      | 6.20      | 6.23      | 6.67      | 7.49      |
|                               | O.コトリャロフ             | 6.86          | 5.65      | 5.72      | 6.03      | 6.31      | 6.28      | 6.56      | 7.31      |
|                               | 決勝走者(8名) 平均±標準偏差     | 6.70±0.12     | 5.59±0.05 | 5.69±0.04 | 5.95±0.08 | 6.19±0.11 | 6.25±0.12 | 6.61±0.09 | 7.27±0.16 |
| スーパー陸上2006<br>(持田ら, 印刷中b)     | 丹野麻美選手(福島大)          | 6.77          | 5.87      | 5.96      | 6.10      | 6.50      | 6.97      | 7.46      | 7.91      |
|                               | AMERTIL, Christine   | 6.68          | 5.65      | 5.76      | 5.95      | 6.18      | 6.49      | 6.80      | 7.14      |
| 大阪GP2007<br>(JAAF-SC 未発表資料)   | 丹野麻美選手(福島大)          | 6.70          | 5.88      | 6.12      | 6.25      | 6.39      | 6.46      | 6.89      | 7.48      |
|                               | WINEBERG, Mary (USA) | 6.97          | 5.78      | 6.03      | 6.19      | 6.34      | 6.28      | 6.60      | 7.00      |

単位: (秒)

表4 分析対象レースの区間平均速度 (50mごと)

| 大会                            | 走者                   | 区間平均速度 (50mごと) |           |           |           |           |           |           |           |
|-------------------------------|----------------------|----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
|                               |                      | S-50m          | 50-100m   | 100-150m  | 150-200m  | 200-250m  | 250-300m  | 300-350m  | 350-400m  |
| スペイン世界陸上<br>(MAYu-houn, 2004) | C.フリーマン              | 7.62           | 8.88      | 8.80      | 8.45      | 8.22      | 8.20      | 7.66      | 6.97      |
|                               | A.リュッカー              | 7.35           | 8.91      | 8.79      | 8.43      | 8.25      | 8.17      | 7.75      | 7.06      |
|                               | L.グラハム               | 7.56           | 9.09      | 8.90      | 8.53      | 8.08      | 7.89      | 7.58      | 6.94      |
|                               | F.オグンコヤ              | 7.63           | 8.94      | 8.80      | 8.56      | 8.16      | 8.12      | 7.49      | 6.76      |
|                               | K.メリー                | 7.49           | 8.99      | 8.76      | 8.39      | 8.16      | 7.90      | 7.41      | 6.76      |
|                               | N.ナザロフ               | 7.46           | 8.94      | 8.70      | 8.26      | 7.84      | 7.76      | 7.55      | 7.06      |
|                               | G.ブロイアー              | 7.34           | 8.96      | 8.77      | 8.35      | 8.06      | 8.03      | 7.50      | 6.68      |
|                               | O.コトリャロフ             | 7.29           | 8.85      | 8.74      | 8.29      | 7.92      | 7.96      | 7.62      | 6.84      |
|                               | 決勝走者(8名) 平均±標準偏差     | 7.47±0.13      | 8.95±0.07 | 8.78±0.06 | 8.41±0.11 | 8.09±0.14 | 8.00±0.15 | 7.57±0.11 | 6.88±0.15 |
| スーパー陸上2006<br>(持田ら, 印刷中b)     | 丹野麻美選手(福島大)          | 7.38           | 8.52      | 8.39      | 8.20      | 7.69      | 7.17      | 6.70      | 6.32      |
|                               | AMERTIL, Christine   | 7.48           | 8.84      | 8.68      | 8.40      | 8.09      | 7.70      | 7.35      | 7.00      |
| 大阪GP2007<br>(JAAF-SC 未発表資料)   | 丹野麻美選手(福島大)          | 7.46           | 8.51      | 8.17      | 8.00      | 7.83      | 7.73      | 7.26      | 6.68      |
|                               | WINEBERG, Mary (USA) | 7.17           | 8.65      | 8.29      | 8.08      | 7.89      | 7.96      | 7.57      | 7.14      |

単位: (m/秒)



イム差はどのように現れたのか、決勝レース走者8名の各区分平均速度の推移と、丹野選手の速度推移を比較してみた(図2, 表4)。

まず前半をみると、スタートから50m区間の速度は、決勝走者平均が7.47 (m/sec), 丹野選手が7.46 (m/sec) とほぼ同じ速さで走っていた。そして、次の50mから100m区間において最高速度が出現するが、決勝走者平均が8.95 (m/sec) であるのに対し、丹野選手は8.51 (m/sec) と、0.44 (m/sec) 遅く、時間に換算するとこの区間で0.29秒遅れることになる。その後100mから150mまでの区間では、決勝走者平均が8.78 (m/sec), 丹野選手は8.17 (m/sec), さらに150mから200mまでの区間では、決勝走者平均が8.41 (m/sec), 丹野選手は8.00 (m/sec) と、それぞれの区間において0.61 (m/sec), 0.41 (m/sec) 遅かった。時間にすると、それぞれ0.43 (秒), 0.30 (秒) 時間が多くかかっており、前半200m地点までにおいて合計約1秒遅れたこととなる。

次に、後半についてみると、丹野選手は、200-250m

区間を7.83 (m/sec), 250-300m区間を7.73 (m/sec), 300-350m区間を7.26 (m/sec), 350-400m区間を6.68 (m/sec) で走っており、決勝走者平均に比べてそれぞれ、0.26 (m/sec), 0.27 (m/sec), 0.31 (m/sec), 0.20 (m/sec) 遅かった(決勝走者平均速度:200-250m区間:8.09 (m/sec), 250-300m区間:8.00 (m/sec), 300-350m区間:7.57 (m/sec), 350-400m区間:6.88 (m/sec))。時間に換算すると、それぞれの区間において0.20秒, 0.21秒, 0.28秒, 0.21秒の差で、後半200mで0.90秒遅れ、前後半で合計1.9秒の差がうまれたということになる。

### 3.2 レースペースについて

丹野選手は、スタートから50m区間において決勝走者平均速度と比べて互角の速さで走っていたが、最高速度に対する比率でみると、はじめの50mを87.7%の速さで走っていた(表5, 図3)。これは、決勝走者が、はじめの50mを最高速度に対して平均83.5%で走っていることを考えると、割合高いレベルで走っていたと言えよう。いっぽう、最高速度を迎えた次の100mから150m区間で

表5 最高速度に対する各区分速度の割合

| 大会                            | 走者                  | S-50m    | 50-100m   | 100-150m | 150-200m | 200-250m | 250-300m | 300-350m | 350-400m |
|-------------------------------|---------------------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| スペイン世界陸上<br>(MAYu-houn, 2004) | C.フリーマン             | 85.8     | 100.0     | 99.1     | 95.1     | 92.6     | 92.3     | 86.2     | 78.5     |
|                               | A.リュッカー             | 82.5     | 100.0     | 98.6     | 94.6     | 92.6     | 91.7     | 87.0     | 79.2     |
|                               | L.グラハム              | 83.2     | 100.0     | 97.9     | 93.9     | 88.9     | 86.8     | 83.3     | 76.4     |
|                               | F.オグンコヤ             | 85.3     | 100.0     | 98.4     | 95.7     | 91.2     | 90.7     | 83.7     | 75.5     |
|                               | K.メリー               | 83.2     | 100.0     | 97.4     | 93.3     | 90.7     | 87.8     | 82.4     | 75.1     |
|                               | N.ナザロワ              | 83.4     | 100.0     | 97.2     | 92.4     | 87.6     | 86.8     | 84.4     | 79.0     |
|                               | G.ブロイアー             | 81.9     | 100.0     | 97.9     | 93.2     | 90.0     | 89.6     | 83.7     | 74.5     |
|                               | O.コトリャロワ            | 82.4     | 100.0     | 98.8     | 93.7     | 89.5     | 90.0     | 86.1     | 77.3     |
| 決勝走者(8名) 平均±標準偏差              |                     | 83.5±1.4 | 100.0±0.0 | 98.2±0.7 | 94.0±1.1 | 90.4±1.7 | 89.5±2.1 | 84.6±1.6 | 76.9±1.8 |
| スーパー陸上2006<br>(持田ら, 印刷中b)     | 丹野麻美選手(福島大)         | 86.6     | 100.0     | 98.4     | 96.2     | 90.2     | 84.2     | 78.7     | 74.2     |
|                               | AMERTIL, Christine  | 84.6     | 100.0     | 98.1     | 95.0     | 91.4     | 87.1     | 83.1     | 79.1     |
| 大阪GP2007<br>(JAAF-SC 未発表資料)   | 丹野麻美選手(福島大)         | 87.7     | 100.0     | 96.0     | 94.0     | 92.0     | 90.9     | 85.3     | 78.6     |
|                               | WINEBERG, Mary(USA) | 82.9     | 100.0     | 95.7     | 93.3     | 91.1     | 91.9     | 87.5     | 82.5     |

単位: (%)

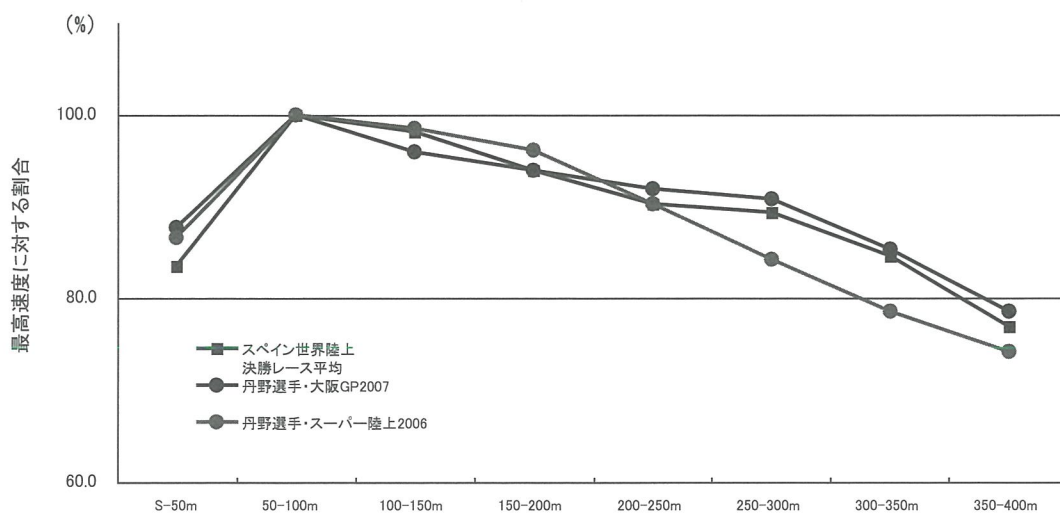


図3 最高速度に対する各区分速度の割合



は、決勝走者は平均で98.2%の速度を維持して走っているのに対し、丹野選手は96.0%と若干速度低下が大きいように伺える。ただし、その後の50m（150-200m）においては、双方とも94%と同じ割合の速さで走っていた。

後半では、決勝走者が、各区分90.4%（200-250m）、89.4%（250-300m）、84.6%（300-350m）、76.9%（350-400m）と推移しているのに対し、丹野選手は92.0%、90.9%、85.3%、78.6%と、全体的に高い割合で走りきっていた。

つまり、大阪GP2007における丹野選手は、スペイン世界陸上決勝走者らに比べて、前半200mまでの走り方、特にスタートから50mの速度が高い傾向であるという特徴があり、後半200mは、絶対的な速度は低いものの、最高速度に対する割合は、丹野選手のほうが高いレベルで走っていたということになる。ちなみに、スーパー陸上2006においても、はじめの50mの速度は最高速度に対して86.6%と、決勝走者らはもちろん、AMERTIL選手

（スーパー陸上2006；50秒68）の84.6%、WINEBERG選手（大阪GP2007優勝者；51秒20）の82.9%に比べても高く、丹野選手はおそらくいつもそれぐらいの高い割合で走っているのだろうと推察された。

### 3.3 レースパターンについて

一般的には、400m走レースも、100m走同様、最高速度出現後は減速しながらゴールにいたる。しかし、その動態は環境的・体力的・戦術的要因などによって変化し、一様ではない。その速度変化がどのようにになっているのか、続く2区間の速度変化の『傾き』を求め、パターンの違いを視覚的に観察してみた（図4）。

まず、スペイン世界陸上決勝走者らをみると、最高速度出現区間（50-100m）以後、100-150m区間（zone 2→3）、150-200m区間（zone 3→4）と、『傾き』が-0.17、-0.37と段階的に減速が大きくなっていった。そして、200-250m区間（zone 4→5）、250-300m区間（zone 5→6）においては、『傾き』が-0.32、-0.08

表6 速度変化の『傾き』

| 大会                            | 走者                  | zone1→2   | zone2→3    | zone3→4    | zone4→5    | zone5→6    | zone6→7    | zone7→8    |
|-------------------------------|---------------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| スペイン世界陸上<br>(MAYu-houn, 2004) | C.フリーマン             | 1.26      | -0.08      | -0.36      | -0.22      | -0.03      | -0.54      | -0.68      |
|                               | A.リュッカー             | 1.56      | -0.13      | -0.36      | -0.18      | -0.08      | -0.42      | -0.69      |
|                               | L.グラハム              | 1.53      | -0.19      | -0.36      | -0.45      | -0.19      | -0.31      | -0.63      |
|                               | F.オグンコヤ             | 1.31      | -0.14      | -0.24      | -0.41      | -0.04      | -0.63      | -0.73      |
|                               | K.メリー               | 1.51      | -0.24      | -0.37      | -0.23      | -0.26      | -0.49      | -0.65      |
|                               | N.ナザロフ              | 1.48      | -0.25      | -0.43      | -0.43      | -0.07      | -0.21      | -0.49      |
|                               | G.プロイアー             | 1.62      | -0.19      | -0.42      | -0.28      | -0.04      | -0.53      | -0.82      |
|                               | O.コトリヤロフ            | 1.56      | -0.11      | -0.45      | -0.37      | 0.04       | -0.34      | -0.78      |
| 決勝走者(8名) 平均±標準偏差              |                     | 1.48±0.13 | -0.17±0.06 | -0.37±0.07 | -0.32±0.10 | -0.08±0.10 | -0.43±0.14 | -0.68±0.10 |
| スーパー陸上2006<br>(持田ら, 印刷中b)     | 丹野麻美選手(福島大)         | 1.14      | -0.13      | -0.19      | -0.51      | -0.52      | -0.47      | -0.38      |
|                               | AMERTIL, Christine  | 1.36      | -0.17      | -0.28      | -0.31      | -0.39      | -0.35      | -0.35      |
| 大阪GP2007<br>(JAAF-SC 未発表資料)   | 丹野麻美選手(福島大)         | 1.05      | -0.34      | -0.17      | -0.17      | -0.09      | -0.48      | -0.57      |
|                               | WINEBERG, Mary(USA) | 1.48      | -0.37      | -0.21      | -0.19      | 0.07       | -0.38      | -0.43      |

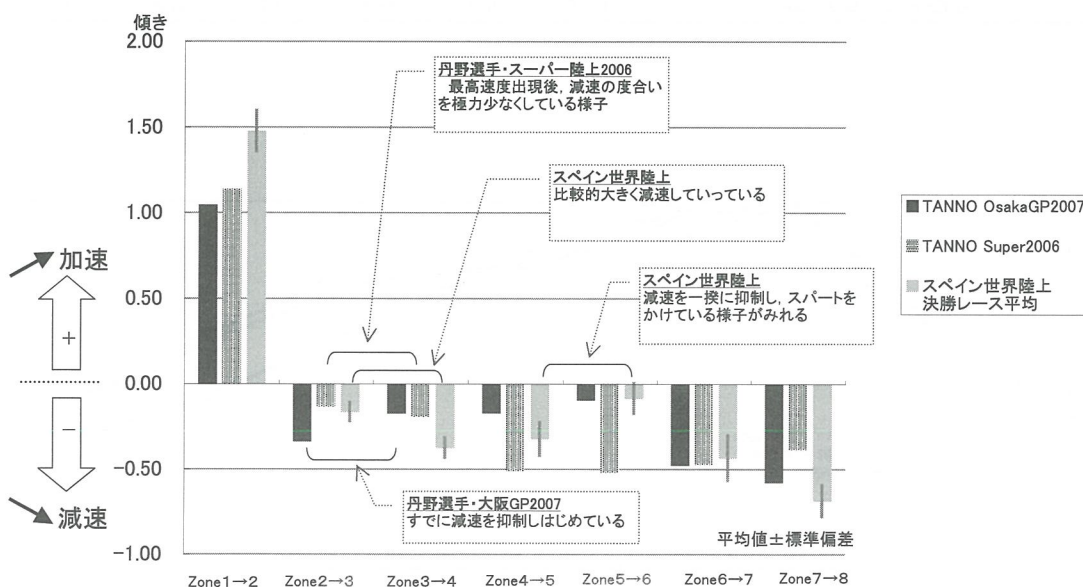


図4 レース中の速度変化の動態

と、前の区間に比べて減速を抑制し、向上していこうとする傾向が全体的にみられた。つまり、第3から第4コーナーにかけてスパートをかけるような展開をしていたと思われる。

いっぽう、丹野選手の大阪GP2007のレースでは、100-150m区間 (zone 2→3) における速度低下後 (傾き -0.34)、すでに次の150-200m区間 (zone 3→4) から減速を抑制し (傾き -0.17)、速度を向上しようとする傾向が見受けられ、スペイン世界陸上決勝走者らと異なった展開をしていた。

また、スーパー陸上2006において丹野選手は、100-150m区間の速度低下を最高速度に対して98.4% (表5) と世界トップレベル並みに維持した展開をみせたが (傾き: -0.13)、その次の150-200m区間において、減速の傾きがわずかに-0.19と、速度を維持しようとしている

傾向がみられた。

つまり、丹野選手は、はじめの150mまでのレースペースの展開によらず、150-200m区間の速度低下を抑制し、速度を上げようとする走りをする傾向があるのではないかと推察される。ちなみに、そのレースの後半200-250m区間、250-300m区間においては、速度低下の傾きが-0.51、-0.52と著しく大きくなってしまっていた。150mまで世界レベルに相当する展開をしながらも、世界トップ選手らの傾向では減速していく局面を、さらに速度を維持した (150-200) ことが、オーバーペースになったかもしれないと思わせる内容であった。

#### 4. 最後に

日本を代表する丹野選手が、世界陸上大阪大会で活躍することを期待している。おそらく日本記録更新を狙

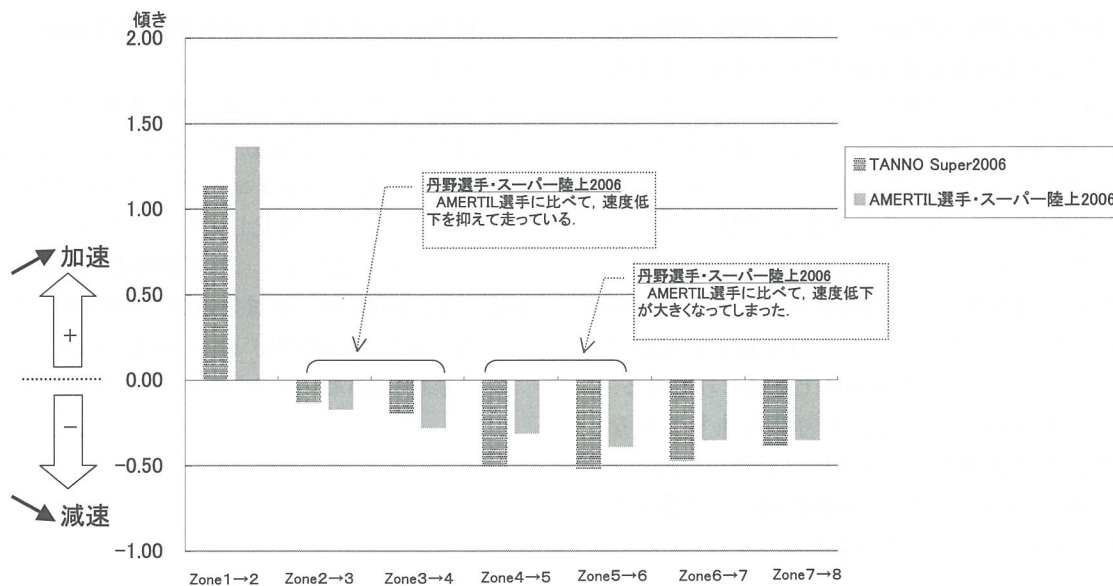


図5 スーパー陸上2006におけるレース中の速度変化の比較

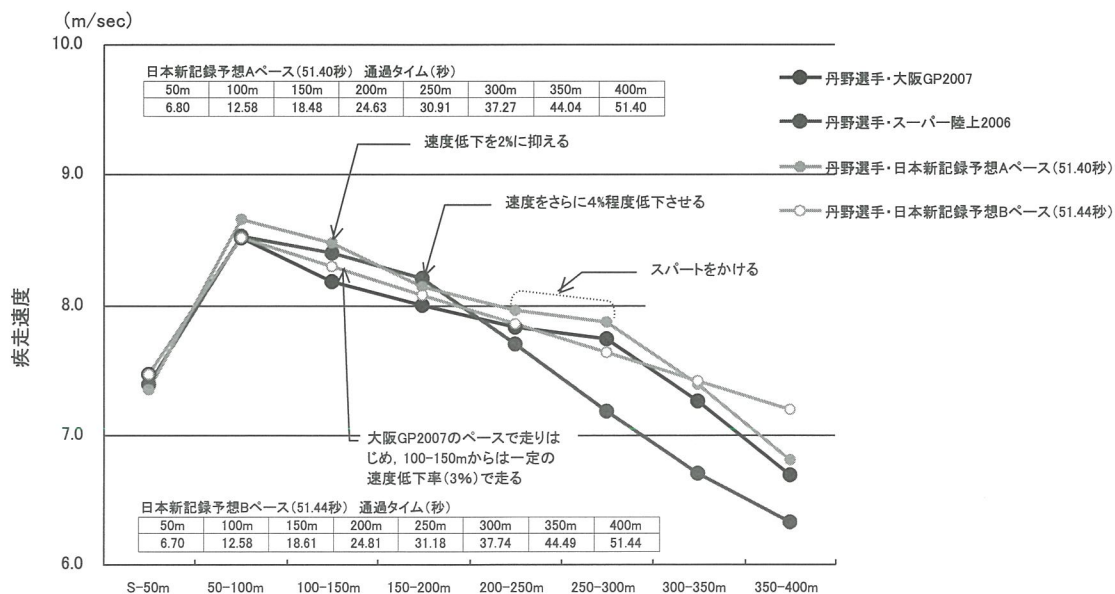


図6 丹野選手・日本新記録(51秒4) 予想ペース



いながら、戦いに望むことと思われるが、世界トップレベルのレースペースとパターンを参考にすれば、前半の150mまでの走りの中で、最高速度をどれくらい高めてくるのか、そして速度低下を抑制するタイミング、つまりラストスパートをかけるタイミングをどうするのか注目したい。また机上の空論ではあるが、日本記録予想ペースを2パターン作ってみた、(図6)。

一つは、世界トップレベルのレースペースを参考に、100-150m区間の速度維持(最高速度の98%)と、ラストスパート準備としての150-200m区間の速度低下(最高速度の94%)、そして200-250m区間、および250-300m区間でスパートをかける、といった内容を織り込んだペースである(Aパターン)。

もう一つは、100-150m区間から速度低下がみられるが、その低下率を3%とし、一定の低下率でレースを展開していくパターンである(Bパターン)。この時の300m通過タイムが37秒74であり、大阪GP2007の時間が38秒80であったことを踏まえるとBパターンのほうが現実的であるかもしれない。計算上どちらのペースにおいても世界陸上A標準51.50秒を上回る日本新記録の樹立となるが、400m走のレースペース・パターンは、レース状況、たとえば風速・風向や、他の走者との関係など、にも影響を受けるため、一概に想定したパターンで走れるとは限らない。川本コーチと丹野選手がどのような戦いをイメージしてくるのか、そして丹野選手が実際どのように戦ってくるのか大阪世界陸上が楽しみである。そしてまた、大阪GP2007では、実力を発揮していなかったHENDERSON選手(USA, 自己記録49秒96)やROBINSON選手(USA, 自己記録50秒38)が本番でどのような走りをしてくるのかも注目していきたい。

## 参考文献

- MA Yu-hong (2004) The Analysis on the Whole Process of the World Elite Women 400m Sprinter. Journal of Gansu Education College (Natural Sciences) 18-4: 64-67.
- 沼澤秀雄, 杉浦雄策 (1994) 200m, 400mレースの時間分析. 佐々木秀幸, 小林寛道, 阿江通良 (監修) 世界一流陸上競技者の技術, ベースボールマガジン社, 50-56.
- 杉田正明, 榎本靖士, 高野 進, 川本和久, 阿江通良 (2006) 2005スーパー陸上の400m走におけるタイム分析について. 陸上競技研究紀要, 2: 92-94.
- 持田 尚, 松尾彰文, 杉田正明, 榎本靖士, 高野 進, 小林寛道, 阿江通良 (2004) 競技レベル別にみたジュニア400m走競技者の平均レースパターン. 陸上競技の医科学サポート研究REPORT2003, 3-1: 27-29.
- 持田 尚, 杉田正明, 広川龍太郎, 高野 進, 川本和久, 柳谷登志雄, 松尾彰文, 阿江通良 (印刷中a) セイコースーパー陸上2006ヨコハマにおける400m走競技者の疾走スピード変化について-11区間平均疾走スピードの変化から-. 陸上競技研究紀要
- 持田 尚, 松尾彰文, 柳谷登志雄, 矢野隆照, 杉田正明, 阿江通良 (印刷中b) Overlay表示技術を用いた陸上競技400m走レースの時間分析

## 4×100m, 4×400mリレーについて —日本チームの挑戦—

杉田 正明<sup>1)</sup>, 広川龍太郎<sup>2)</sup>, 松尾 彰文<sup>3)</sup>, 川本 和久<sup>4)</sup>, 高野 進<sup>5)</sup>, 阿江 通良<sup>6)</sup>

### The time analysis of 4×100m, 4×400m relay —Challenge to World Championships in Osaka on Japan team—

Masaaki Sugita, Ryutaro Hirokawa, Akifumi Matsuo, Kazuhisa Kawamoto, Susumu Takano, Michiyoshi Ae

#### 1. はじめに

近年の4×100m, 4×400mリレー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バトンパスワークの技術改善もあいまって男子では世界選手権およびオリンピックにおいて、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。同女子チームも毎年のように日本記録を更新してきておりまだまだ成長の期待

がかかる。これまでに科学委員会では特に4×100mリレーにおけるバトンゾーンの通過タイム等を分析することによって、バトンパスに関する基礎的資料を収集し、日本チームにフィードバックを行ってきている<sup>1)~3)</sup>。

#### 2. 4×100mリレーの科学的データ

実際の競技会の4×100mリレーにおける科学的データとして代表的なものは、1991年の世界陸上を対象にし

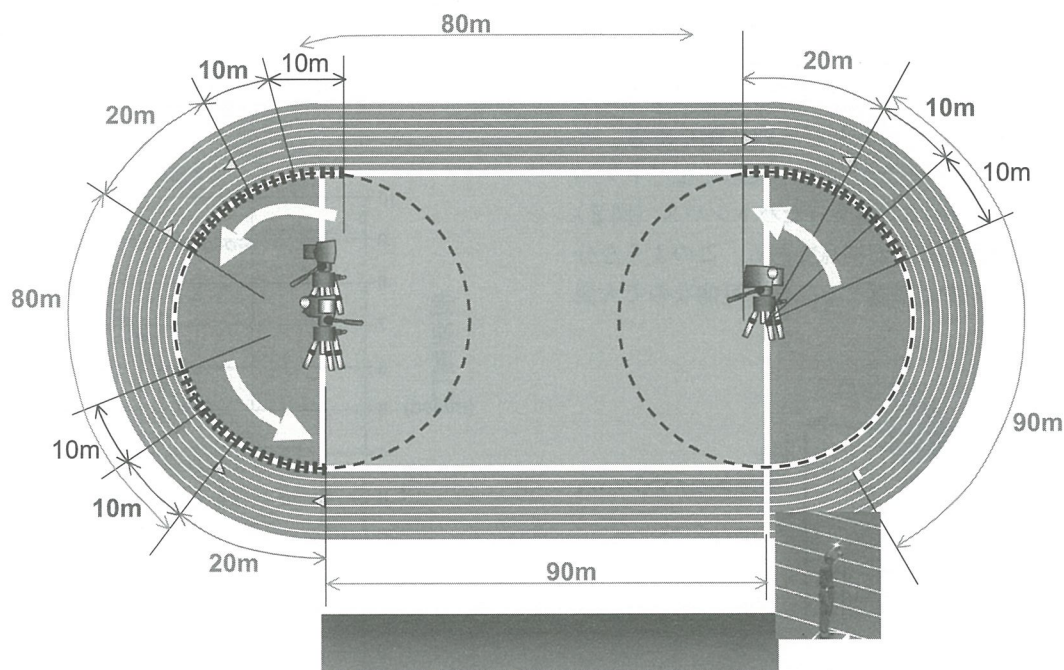


図1 4×100mリレーにおけるバトンパス撮影の模式図

- 1) 三重大学教育学部 Department of Health&Physical Education, Faculty of Education, Mie University  
〒514-8507 三重県津市栗真町屋町1577
- 2) 北海道東海大学 Department of Community Development, Hokkaido Tokai University  
〒005-8601 北海道札幌市南区南沢5条1-1-1
- 3) 国立スポーツ科学センター Department of Sports Sciences, Japan Institute of Sports Sciences  
〒115-0056 東京都北区西が丘3-15-1
- 4) 福島大学人間発達文化学類 Faculty of human Development and culture, Fukushima University  
〒960-1296 福島県福島市金谷川1番地
- 5) 東海大学体育学部 Department of Physical Education, Tokai University  
〒259-1292 神奈川県平塚市北金目1117
- 6) 筑波大学体育科学系 Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba  
〒305-0006 茨城県つくば市天王台1-1-1



たものがある。杉浦ら (1994)<sup>4)</sup> は、1991年の世界陸上東京大会において、4×100mリレーにおける時間分析を行った。ここでの分析項目は、100m毎の通過時間（区間時間）バトンゾーン所要時間、バトンパス完了位置およびバトンパス方法であった。この報告によればバトンゾーン内でのバトンパスの巧さを重要視するとともに、男子ではバトンパスをバトンゾンの後半区間で女子ではバトンゾンの前半区間で完了するのがよいとの示唆が得られている。

我が国の4×100mリレーチームを対象にしたサポート研究は、南部記念陸上においてバルセロナオリンピック直前の大会（1992年7月19日）に開始された。ロスのない理想的バトンパスについて究明するために、男子日本代表チームのバトンパスについてバイオメカニカルチェックが行われたのである<sup>1)</sup>。その方法は、3カ所のバトンパスの様子をスタートの号砲時の閃光を映した後、フィールド内から約4台のビデオカメラで「渡し走者」と「受け走者」をパンニング撮影し、2m毎の通過タイムを分析したものである。この結果から400mリレーの可能タイムは「38秒73」と試算され、このタイムはバルセロナオリンピック6位（38秒77：当時日本新）の成績とほぼ一致する値であった。その撮影の模式図を図1に示した。バトンゾンの20m手前から40mにわたって2m毎にマークを貼付し、曲走路の回転半径の中心となる場所から撮影を行い、バトンパスの「渡し走者」と「受け走者」の走スピードを分析し、理想的なバトンパス、間延びしたバトンパス、詰まったバトンパス（図2）を客観的に評価できることが利点である。このような分析データは視覚的にすぐ確認することが可能なので大変

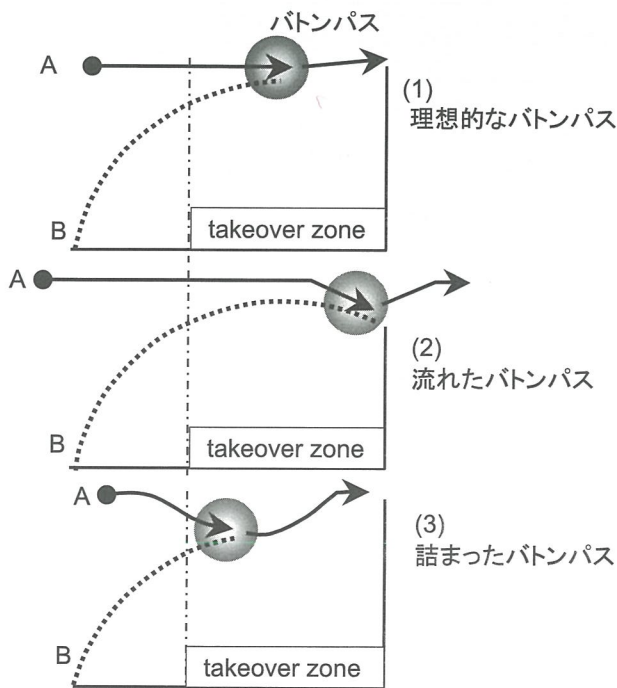


図2 渡し走者と受け走者のバトンパス時のスピードパターン

有効である。こうしたデータを用いなくても選手やコーチはある程度の評価の見極めは可能であると思われるが、こうしたデータを上手く用いることによってチェックマーク（コントロールマーク）の設定距離やタイム短縮の明確な数値を導き出す基礎的な資料となるので、これまで日本代表チームを対象に幾度か行われてきている（図2：2002年南部・女子チームデータ）。しかしながら、こうした撮影はインフィールドから実施せざるを得ず、実際には撮影許可を得ることが難しいが、現在では北海道陸協のご厚意によって南部記念陸上でのみ実施が可能となっている。この方法の簡便版として、各テークオーバーゾーンの入口、出口の通過タイム（秒）を求め、ゾーン内の所要タイム等を算出する方法（図4）がある。こ

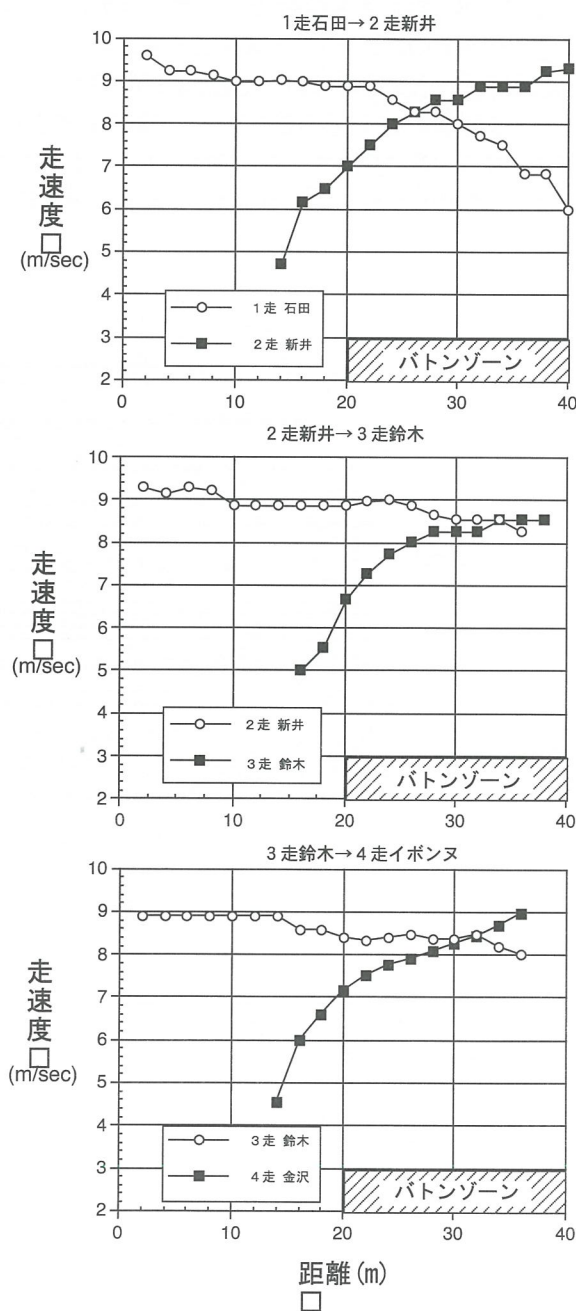
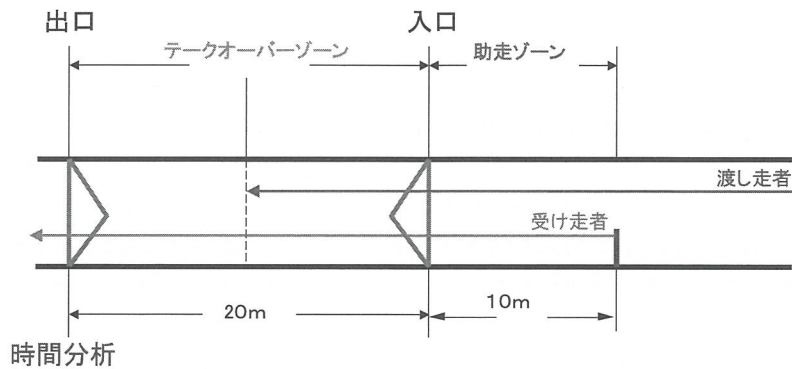


図3 4×100mリレーバトンパスの分析データ（2002）



時間分析

- ・テークオーバーゾーンの入口と出口の通過タイム
- テークオーバーゾーン内の所要時間
- 疾走区間 (90 m, 80 m, 80 mおよび 90 m)の所要時間

図4 走者（渡し、受け）の通過タイム分析の模式図

表1 '07大阪GP 男子4×100mリレータイム分析結果

|         |                                  |
|---------|----------------------------------|
| '07大阪A  | (38秒74. 1走：塚原、2走：末續、3走：高平、4走：朝原) |
| '04大阪A  | (38秒35. 1走：朝原、2走：末續、3走：吉野、4走：大前) |
| '04大阪B  | (39秒07. 1走：土江、2走：宮崎、3走：高平、4走：石倉) |
| '01南部   | (39秒09. 1走：土江、2走：末續、3走：藤本、4走：安井) |
| '02南部   | (40秒13. 1走：土江、2走：菅野、3走：伊藤、4走：大前) |
| '02スーパー | (39秒07. 1走：宮崎、2走：末続、3走：奥迫、4走：朝原) |

ゾーン入口、出口のタイム

|           | 07大阪A | 07大阪B | '04大阪A | '04大阪B | '02スーパー | '02南部 | '01南部 |
|-----------|-------|-------|--------|--------|---------|-------|-------|
| 1→2走 入口   | 9.72  | 9.73  | 9.50   | 9.57   | 9.65    | 9.87  | 9.71  |
| 1→2走 出口   | 11.58 | 11.68 | 11.40  | 11.52  | 11.63   | 11.82 | 11.66 |
| 2→3走 入口   | 18.89 | 19.25 | 18.65  | 19.05  | 18.91   | 19.54 | 18.84 |
| 2→3走 出口   | 20.87 | 21.25 | 20.60  | 21.02  | 20.92   | 21.62 | 20.76 |
| 3→4走 入口   | 28.41 | 28.94 | 28.10  | 28.50  | 28.64   | 29.31 | 28.29 |
| 3→4走 出口   | 30.47 | 31.00 | 30.02  | 30.48  | 30.70   | 31.42 | 30.41 |
| フィニッシュタイム | 38.74 | 39.55 | 38.35  | 39.07  | 39.07   | 40.13 | 39.09 |

(単位：秒)

ゾーン (20m) 所要タイム

|        | 07大阪A | 07大阪B | '04大阪A | '04大阪B | '02スーパー | '02南部 | '01南部 |
|--------|-------|-------|--------|--------|---------|-------|-------|
| 1→2走   | 1.87  | 1.95  | 1.90   | 1.95   | 1.98    | 1.95  | 1.95  |
| 2→3走   | 1.99  | 2.00  | 1.95   | 1.97   | 2.01    | 2.08  | 1.92  |
| 3→4走   | 2.06  | 2.06  | 1.92   | 1.98   | 2.06    | 2.11  | 2.12  |
| バトンタイム | 5.91  | 6.01  | 5.77   | 5.90   | 6.05    | 6.13  | 5.99  |
| 疾走タイム  | 32.83 | 33.54 | 32.58  | 33.17  | 33.02   | 34.00 | 33.10 |

(単位：秒)

個人タイム

|           | 07大阪A | 07大阪B | '04大阪A | '04大阪B | '02スーパー | '02南部 | '01南部 |
|-----------|-------|-------|--------|--------|---------|-------|-------|
| 90m 1走    | 9.72  | 9.73  | 9.50   | 9.57   | 9.65    | 9.87  | 9.71  |
| 30+80m 2走 | 7.31  | 7.57  | 7.25   | 7.53   | 7.28    | 7.72  | 7.18  |
| 30+80m 3走 | 7.54  | 7.69  | 7.50   | 7.48   | 7.73    | 7.69  | 7.53  |
| 30+90m 4走 | 8.27  | 8.55  | 8.33   | 8.59   | 8.37    | 8.71  | 8.68  |

(加速距離+疾走距離)

(単位：秒)

((財)日本陸連・科学委員会)



れは、家庭用デジタルビデオカメラ3台を用い、スタートの号砲時の閃光を映した後、4×100mリレーの3カ所のバトンゾーンの入口と出口を渡し手走者と受け手走者が入るように撮影する。スタート時の閃光を0秒とし、毎秒60コマの単位で各テークオーバーゾーンの入口、出口の通過タイム(秒)を求め、ゾーン内の所要タイムやテークオーバーゾーン出口を出てから次の入口までを疾走区間としてそれぞれの所要時間が算出できる。

### 3. 4×100mリレーの展望

#### 国際グランプリ陸上大阪大会2007の分析結果から

##### ～男子～

国際グランプリ陸上大阪大会2007(2007年5月5日、於・大阪長居陸上競技場)において日本代表チーム(男子A, B, 女子)が出場した4×100mリレーの結果およびこれまでの分析結果から日本チームの可能性についてみてみることにする。

表1に男子Aチーム, Bチームの通過タイム分析結果を示した。この時, Aチームは38秒74で, Bチームは39秒55であった。表には2004年同大会, 2001年の南部と2002年の南部, スーパー陸上時のデータをあわせて載せ

た。

Aチームの各ゾーン(20m)所要タイムについてみる。テークオーバーゾーン内の合計所要タイムは1→2走が1.87秒と過去のデータと比較しても最も短い時間を示しており、バトンパスの受け渡しスムーズに完了できたことを表している。2→3走は1.99秒であるが、3→4走では2.06秒を要している。3カ所合計したバトンパスタイムは5.91秒であった。

'91東京世界陸上で優勝したアメリカ(37秒50)では合計所要タイムが5.65秒で、2位のフランス(37秒87)は5.49秒、3位のイギリス(38秒09)では5.59秒であり、これらの数値から考えると、日本男子チームにはバトンパスによるタイム短縮の余地がまだまだあるものと考えられる。

一方、各走者のバトンゾーンを除いた疾走区間の個人タイム(秒)についてみると、今回のAチームの4走(朝原)のみが表中のこれまでの中で最高タイムを示している。しかし、それ以外では0.06～0.22秒これまでの最高タイムよりも低いタイムであった。

これらのタイムは、バトンパスワークや風向きやその時々コンディションも異なるので、一概に単純比較

表2 '07大阪GP 女子4×100mリレータイム分析結果

43秒93(1走:石田、2走:高橋、3走:信岡、4走:北風)

'04大阪(1走:石田、2走:鈴木、3走:坂上、4走:小島)

'03南部(1走:石田、2走:鈴木、3走:坂上、4走:新井)

##### ゾーン入口、出口のタイム

|           | '07大阪GP | '04大阪GP | '03南部 | '02南部 | '02スーパー |
|-----------|---------|---------|-------|-------|---------|
| 1→2走入口    | 10.70   | 10.65   | 10.73 | 10.74 | 10.86   |
| 1→2走出口    | 13.10   | 12.77   | 12.88 | 12.95 | 13.00   |
| 2→3走入口    | 21.32   | 21.25   | 21.36 | 21.48 | 21.43   |
| 2→3走出口    | 23.53   | 23.48   | 23.53 | 23.65 | 23.71   |
| 3→4走入口    | 31.90   | 32.02   | 31.86 | 32.34 | 32.58   |
| 3→4走出口    | 34.07   | 34.23   | 34.19 | 34.51 | 34.90   |
| フィニッシュタイム | 43.93   | 43.77   | 44.10 | 44.29 | 44.73   |

##### ゾーン(20m)所要タイム

|        | '07大阪GP | '04大阪GP | '03南部 | '02南部 | '02スーパー |
|--------|---------|---------|-------|-------|---------|
| 1→2走   | 2.40    | 2.12    | 2.15  | 2.21  | 2.14    |
| 2→3走   | 2.22    | 2.23    | 2.17  | 2.17  | 2.28    |
| 3→4走   | 2.17    | 2.21    | 2.33  | 2.17  | 2.32    |
| バトンタイム | 6.78    | 6.56    | 6.65  | 6.55  | 6.74    |
| 疾走タイム  | 37.15   | 37.21   | 37.45 | 37.74 | 37.99   |

##### 個人タイム1

|           | '07大阪GP | '04大阪GP | '03南部 | '02南部 | '02スーパー |
|-----------|---------|---------|-------|-------|---------|
| 90m 1走    | 10.70   | 10.65   | 10.73 | 10.74 | 10.86   |
| 30+80m 2走 | 8.22    | 8.48    | 8.48  | 8.53  | 8.43    |
| 30+80m 3走 | 8.37    | 8.54    | 8.33  | 8.69  | 8.87    |
| 30+90m 4走 | 9.86    | 9.54    | 9.91  | 9.78  | 9.83    |

(加速距離+疾走距離)

(単位:秒)

((財)日本陸連・科学委員会)

することは難しいと思われるが、もし仮に各バトンゾーン所要タイムがこれまでの日本チームで最も良い1.90秒（3ヶ所合計5.70秒）で、個人タイムの最速タイム（1走9.50秒、2走7.18秒、3走7.48秒、4走8.27秒）を用いて、400mリレーのタイムを試算すると38秒13となる。このタイムは昨年の世界ランク2位の記録、アテネ五輪が開催された2004年における世界ランクでも3位に相当する。さらにアテネ五輪の3位（ナイジェリア）の38秒23やヘルシンキ世界選手権3位（イギリス）の38秒27を上回る数値となり、大変興味深い。選手個々のコンディションを含め様々な条件次第ではあると思われるが、男子のナショナルチームにおいては、このレベルの実力はじゅうぶんに有していると考えられる。

#### 国際グランプリ陸上大阪大会2007の分析結果から ～女子～

表2に女子の通過タイム分析結果を示した。2004年同大会、2003年の南部、2002年の南部、スーパー陸上時のデータをあわせて載せた。新メンバーで臨んだ今回のレースでは日本記録43秒77に次ぐ、日本歴代2位となる43秒93の好記録であった。

バトンパス所要時間をみてみると、1走（石田）から2走（高橋）が2.40秒であり、これは表中のこれまでの中で最長タイムを示した。これはバトンの受け渡しにとまどったことを表している。2走（高橋）から3走（信岡）は2.22秒、3走（信岡）から4走（北風）が2.17秒でテークオーバーゾーン内の合計所要タイムは6.78秒を要している。この数値は、2004年同大会（6.56秒）、2002年南部（6.55秒）より0.2秒以上低い数値であった。しかし、もし仮に各ゾーンが3走から4走の所要タイム2秒17でいくと合計は6.51秒となり、 $6.78\text{秒} - 6.51\text{秒} = 0.27\text{秒}$ の短縮となり、理論的には43秒66が現段階で可能となる。

'91東京世界陸上で優勝したジャマイカ（41秒94）では合計所要タイムが6.46秒であり、2位の旧ソ連（42秒20）は6.38秒、3位のドイツ（42秒33）では6.46秒を示し、41～42秒台のチームとテークオーバーゾーン内の合計所要タイムが日本記録のレース（6.56秒）と0.10～0.18秒しか変わらないことから考えると、これまでの日本女子チームのバトンパスの技術レベルはかなり高い水準に達していたといえる。合宿に合宿を重ねてほぼ同じメンバーでリレーの強化に取り組んだ成果がこうした結果となって表れていることがうかがわれる。今後は、新メンバーでのバトンパス技術の改善が期待される。

各走者のバトンゾーンを除いた個人タイム（秒）についてみてみると、今回の2走（8.22秒）が表中のこれまでの中で最高タイムであり、1走（10.70秒）と3走（8.37秒）のタイムもこれまでの最高タイムと比較しても大きな差はなく0.04～0.05秒差であった。男子と同様に様々な条件やメンバー等が異なるので、一概に単純比較は無

理があるかもしれないが、以上の結果をふまえて、もし仮に各バトンゾーン所要タイムが2.17秒（3ヶ所合計6.51秒）で、今回の個人タイム1走（石田）を2004年同大会の10.65秒とし、2～4走は新メンバーであるので、2走8.22秒、3走8.37秒、4走9.86秒と今回の記録を用いて、女子の400mリレーのタイムを試算すると43秒61と試算でき、日本記録を上回る高いレベルの記録樹立の可能性はある。アテネ五輪が開催された2004年における世界ランクでは13位に相当し、北京五輪出場の可能性も大いにあるといえることができる。しかし、アテネ五輪における400mリレーの決勝進出ラインが43秒08、ヘルシンキ世界選手権のプラス上げ2番目のタイムが43秒22であることを考え合わせると、世界レベルでの入賞を目指すためには、各選手の走力アップが課題であるといえる。

#### 4. 4×400mリレーの展望

4×400mリレーについては、男子ではメダル獲得を目指すため、女子では決勝進出を目指すための検討を記録の面から探ってみることとする。

##### 【男子】

男子については、メダル獲得ラインを検討するために2000年シドニー五輪以降の世界大会について、至近5大会（シドニー五輪（2000）、パリ世界選手権（2001）、カナダ世界選手権（2003）、アテネ五輪（2004）、ヘルシンキ（2005））のメダル獲得ライン（3位）の記録を以下に示してみる。シドニー五輪から順に2分58秒78、2分58秒39、3分00秒53、3分00秒90、2分58秒07となる。これらの記録からメダル獲得のためには2分台が必要条件となる<sup>5)</sup>ように思われる。これまで男子日本チームの最高記録は、アトランタ五輪5位の時の現在の日本記録である3分00秒76、次いでアテネ五輪4位の3分00秒99であり、この2レースのみが3分01秒以内の記録を樹立しており、男子日本チームは2分台までもうあと僅かの水準にあるといえる。2007年大阪グランプリでは、山口、堀籠、太田、金丸のオーダーで3分02秒44を記録している。前回のヘルシンキ世界選手権の決勝進出ラインが3分02秒86であるので、春先のレースであるにもかかわらず世界選手権の決勝進出相当の高いレベルの記録がみられたことは、我が国の400mランナーの実力が整ってきていることがうかがえる。大阪世界選手権でのメダル獲得と2分台の日本新記録が是非とも期待されるところである。

##### 【女子】

女子では、予選通過ラインを検討するために世界大選手権について、至近3大会（パリ世界選手権（2001）、カナダ世界選手権（2003）、ヘルシンキ（2005））の予選通過ラインを順にみてみることにする。パリから順に3分27秒39、3分27秒40、3分27秒96となる。これらの記録



から世界選手権予選通過には3分27秒台という記録が目安になるということができる。女子日本チームは、3分33秒台だった日本記録を2007年大阪グランプリで3分30秒53（木田，丹野，久保倉，吉田）とし，一気に約3秒もこれまでの日本記録を短縮する大健闘をみせている。世界歴代ランキング（国別）でも46位から34位まで上げてきた。春先のレースにもかかわらずこれまでの日本記録を一気に約3秒も更新する実力が整いつつある女子マイルリレーにも注目が集まることであろう。大阪世界選手権では，更にあと3秒短縮し，3分27秒台での決勝進出が期待される。

## 参考文献

- 1) 深代千之, 松尾彰文, 小林寛道ほか: 4×100mリレーパトンプスのバイオメカニクス研究. 平成4年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, No.Ⅱ 競技種目別競技力向上に関する研究－第16報－: 179－182, 1993.
- 2) 深代千之, 杉田正明, 若山章信ほか: 女子短距離400mリレーの科学サポート. 平成10年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, No.Ⅱ 競技種目別競技力向上に関する研究－第22報－: 181－183, 1999.
- 3) 松尾彰文, 杉浦雄策, 阿江通良ほか: 日本代表400mリレーのバイオメカニクスの分析. 平成6年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, No.Ⅱ 競技種目別競技力向上に関する研究－第18報－: 241－244, 1995.
- 4) 杉浦雄策, 沼澤秀雄: 世界一流選手の4×100mリレーにおける時間分析, 世界一流陸上競技者の技術pp57－65, ベースボール・マガジン社, 1994.
- 5) 野口純正, 高橋牧子: オリンピック, 世界選手権4×400mリレーの各走者区間タイムについて. スプリント研究15: 33－50, 2005.

# 中距離走種目の見どころ

門野 洋介<sup>1)</sup>, 榎本 靖士<sup>2)</sup>

## The features of middle distance event

Hirosuke Kadono, Yasushi Enomoto

キーワード：800m, 1500m, 通過タイム, レースパターン, 注目選手

### 1. はじめに

本稿では, 2003 年世界陸上パリ大会 (以下, 03 パリ), 2004 年アテネオリンピック (以下, 04 アテネ), 2005 年世界陸上ヘルシンキ大会 (以下, 05 ヘルシンキ) の近年行われた 3 大会における中距離走種目のレース結果および世界ランキングをもとに, 各種目のラウンド通過タイムおよびレースパターンの特徴, そして注目選手について解説してゆく。

なお, 本稿で用いたレース結果および世界ランキングなどのデータは, IAAF の公式サイト (<http://www.iaaf.org>) より引用した。

### 2. ラウンド通過タイムについて

ここでは, 03 ヘルシンキ, 04 アテネおよび 05 ヘルシン

キにおける各種目の予選および準決勝のラウンド通過タイムをもとに, 各種目の各ラウンドの平均的な通過タイムについて述べる。

#### 2.1 男子800mのラウンド通過タイム

表 1 は, 03 パリ, 04 アテネおよび 05 ヘルシンキにおける男子800mの予選および準決勝のラウンド通過タイムをまとめたものである。まず, 予選通過タイムをみると, 05 ヘルシンキおよび 03 パリにおいて 1 分 47 秒台, 04 アテネにおいて  $1:45.70 \pm 0.62$  であり, 04 アテネが最も速かった。したがって, 1 分 46 秒前後が男子800mの平均的な予選通過タイムであると考えられる。次に, 準決勝通過タイムの平均値および標準偏差をみると, 05 ヘルシンキにおいて  $1:44.70 \pm 0.61$ , 04 アテネにおいて  $1:45.18 \pm 1.07$ , 03 パリにおいて  $1:46.10 \pm 0.52$  であり, 04 アテネが最も速かった。したがって, 1 分 45 秒前後が男子800mの平均的な準決勝通過タイムであり, 予選通過タイムよりも 1 ~ 2 秒速くなると考えられる。

また, 世界選手権 (05 ヘルシンキ, 03 パリ) のラウン

表 1 過去 3 大会の男子800mの各ラウンドにおける通過タイム

|          |     |          | 1組      | 2組      | 3組      | 4組      | 5組      | 6組      | 7組      | 8組      | 9組      | 平均      | 標準偏差  |
|----------|-----|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| 05 ヘルシンキ | 予選  | (6組3着+6) | 1:46.85 | 1:46.74 | 1:50.16 | 1:48.17 | 1:47.62 | 1:47.27 |         |         |         | 1:47.80 | 01.27 |
|          | 準決勝 | (3組2着+2) | 1:44.30 | 1:45.40 | 1:44.41 |         |         |         |         |         |         | 1:44.70 | 00.61 |
| 04 アテネ   | 予選  | (9組2着+6) | 1:45.83 | 1:45.70 | 1:45.31 | 1:45.17 | 1:46.26 | 1:45.92 | 1:46.66 | 1:46.82 | 1:46.77 | 1:45.70 | 00.62 |
|          | 準決勝 | (3組2着+2) | 1:46.09 | 1:44.00 | 1:45.45 |         |         |         |         |         |         | 1:45.18 | 01.07 |
| 03 パリ    | 予選  | (8組2着+8) | 1:47.39 | 1:45.71 | 1:47.80 | 1:47.61 | 1:46.11 | 1:48.68 | 1:46.44 | 1:46.09 |         | 1:47.22 | 01.04 |
|          | 準決勝 | (3組2着+2) | 1:45.50 | 1:46.36 | 1:46.43 |         |         |         |         |         |         | 1:46.10 | 00.52 |

表 2 過去 3 大会の女子800mの各ラウンドにおける通過タイム

|          |     |          | 1組      | 2組      | 3組      | 4組      | 5組      | 6組      | 平均      | 標準偏差  |
|----------|-----|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| 05 ヘルシンキ | 予選  | (5組4着+4) | 2:02.46 | 2:02.00 | 2:07.37 | 2:01.63 | 2:01.35 |         | 2:02.96 | 00.50 |
|          | 準決勝 | (3組2着+2) | 1:59.07 | 1:58.58 | 2:01.59 |         |         |         | 1:59.75 | 00.62 |
| 04 アテネ   | 予選  | (6組3着+6) | 2:02.07 | 2:00.31 | 2:01.52 | 2:03.72 | 2:01.16 | 2:03.99 | 2:02.13 | 00.46 |
|          | 準決勝 | (3組2着+2) | 1:58.41 | 1:58.80 | 1:59.44 |         |         |         | 1:58.88 | 00.52 |
| 03 パリ    | 予選  | (5組3着+9) | 2:01.47 | 2:01.14 | 2:03.90 | 2:04.01 | 2:01.17 |         | 2:02.34 | 00.48 |
|          | 準決勝 | (3組2着+2) | 1:59.39 | 1:58.86 | 2:01.01 |         |         |         | 1:59.75 | 00.12 |

- 1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科 Graduate school of comprehensive human sciences, University of Tsukuba  
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1 E-mail: kadono@lasbim.taiiku.tsukuba.ac.jp
- 2) 京都教育大学体育学科 Faculty of Education, Kyoto University of Education  
〒612-8522 京都府京都市伏見区深草藤森町 1



ド通過タイムは、オリンピック（04アテネ）よりもそれぞれ1秒ほど遅い傾向にあることも特徴として挙げられる。

## 2.2 女子800mのラウンド通過タイム

表2は、03パリ、04アテネおよび05ヘルシンキにおける女子800mの予選および準決勝のラウンド通過タイムをまとめたものである。まず、予選通過タイムの平均値および標準偏差をみると、3大会すべてにおいて2分02秒台であった。したがって、2分02秒台が女子800mの平均的な予選通過タイムであると考えられる。次に、準決勝通過タイムの平均値および標準偏差についてみると、05ヘルシンキおよび03パリにおいて1分59秒台、04アテネにおいて1:58.88±0.52であった。これらのことから、1分59秒前後が女子800mの平均的な準決勝通過タイムであり、予選通過タイムよりも約3秒速くなると考えられる。

## 2.3 男子1500mのラウンド通過タイム

表3は、03パリ、04アテネおよび05ヘルシンキにおける男子1500mの予選および準決勝のラウンド通過タイムをまとめたものである。まず、予選通過タイムの平均値および標準偏差をみると、05ヘルシンキにおいて3:39.55±2.54、04アテネにおいて3:38.93±1.01、03パリにおいて3:44.77±4.39であり、03パリが他の2大会に比べてかなり遅かった。これは、03パリの1組目の予選通過タイムが3:47.88と非常に遅いタイムであったことが影響していると考えられる。このことを考慮に入れると、3分40秒前後が男子1500mの平均的な予選通過タイムであると考えられるが、標準偏差が2～4秒と大きいことから、レース展開影響を強く受けると考えられる。次に、準決勝通過タイムの平均値および標準偏差についてみると、05ヘルシンキおよび04アテネにおいて3分38秒台、03パリにおいて3:39.68±1.52であった。これらのことから、3分39秒前後が男子1500mの平均的な準決勝通過

タイムであり、予選通過タイムよりも1～2秒速くなると考えられる。

## 2.4 女子1500mのラウンド通過タイム

表4は、03パリ、04アテネおよび05ヘルシンキにおける女子1500mの予選および準決勝のラウンド通過タイムをまとめたものである。まず、予選通過タイムの平均値および標準偏差をみると、05ヘルシンキにおいて4:10.27±2.18、04アテネにおいて4:06.45±0.49、03パリにおいて4:11.29±1.77であり、04アテネが世界陸上2大会に比べて4～5秒速かった。男子800mと同様、オリンピックのラウンド通過タイムが世界選手権に比べて速くなる傾向にあると考えると、世界陸上においては4分11秒前後が平均的な予選通過タイムであると考えられる。次に、準決勝通過タイムの平均値および標準偏差についてみると、04アテネにおいて4:06.17±1.73、03パリにおいて4:05.05±1.15であった。05ヘルシンキでは準決勝は行われなかった。したがって、準決勝が行われた場合、4分06秒前後が女子1500mの平均的な準決勝通過タイムであり、予選通過タイムよりも約5秒速くなると考えられる。

## 3. 各ラウンドのレースパターンの特徴

ここでは、03パリ、04アテネおよび05ヘルシンキにおける各ラウンドの各組の先頭走者の通過タイムおよびフィニッシュタイムをもとに、各ラウンドのレースパターンの特徴について述べる。

### 3.1 男子800mのレースパターンの特徴

表5は、03パリ、04アテネおよび05ヘルシンキにおける男子800mの各ラウンドの各組の先頭走者の通過タイムおよびフィニッシュタイムをまとめたものである。また、図1は、表5の区間タイムから算出した各区間の平均スピードの変化を、ラウンド毎に別けて示したもので

表3 過去3大会の男子1500mの各ラウンドにおける通過タイム

|         |     |          | 1組      | 2組      | 3組      | 平均      | 標準偏差  |
|---------|-----|----------|---------|---------|---------|---------|-------|
| 05ヘルシンキ | 予選  | (3組5着+9) | 3:36.84 | 3:41.88 | 3:39.94 | 3:39.55 | 02.54 |
|         | 準決勝 | (2組5着+2) | 3:40.73 | 3:36.60 |         | 3:38.66 | 02.92 |
| 04アテネ   | 予選  | (3組5着+9) | 3:38.89 | 3:39.96 | 3:37.94 | 3:38.93 | 01.01 |
|         | 準決勝 | (2組5着+2) | 3:36.20 | 3:41.27 |         | 3:38.73 | 03.59 |
| 03パリ    | 予選  | (3組6着+6) | 3:47.88 | 3:43.01 | 3:41.67 | 3:44.77 | 04.39 |
|         | 準決勝 | (2組5着+2) | 3:38.60 | 3:40.75 |         | 3:39.68 | 01.52 |

表4 過去3大会の女子1500mの各ラウンドにおける通過タイム

|         |     |          | 1組      | 2組      | 3組      | 平均      | 標準偏差  |
|---------|-----|----------|---------|---------|---------|---------|-------|
| 05ヘルシンキ | 予選  | (2組5着+2) | 4:11.82 | 4:08.73 |         | 4:10.27 | 02.18 |
| 04アテネ   | 予選  | (3組5着+9) | 4:06.42 | 4:05.98 | 4:06.95 | 4:06.45 | 00.49 |
|         | 準決勝 | (2組5着+2) | 4:07.39 | 4:04.94 |         | 4:06.17 | 01.73 |
| 03パリ    | 予選  | (3組6着+6) | 4:09.48 | 4:11.38 | 4:13.01 | 4:11.29 | 01.77 |
|         | 準決勝 | (2組5着+2) | 4:04.24 | 4:05.86 |         | 4:05.05 | 01.15 |

表5 過去3大会の男子800mの各ラウンドにおける先頭走者の通過タイムおよびフィニッシュタイム

|          |     | 1組   | 2組      | 3組      | 4組      | 5組      | 6組      | 7組      | 8組      | 9組      | 平均      | 標準偏差    |       |
|----------|-----|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| 05 ヘルシンキ | 予選  | 400m | 51.72   | 52.95   | 57.06   | 54.46   | 53.34   | 53.13   |         |         |         | 53.78   | 01.83 |
|          |     | 800m | 1:46.17 | 1:46.57 | 1:50.14 | 1:47.65 | 1:47.14 | 1:47.16 |         |         |         | 1:47.47 | 01.40 |
|          | 準決勝 | 200m | 24.70   | 25.44   | 25.00   |         |         |         |         |         |         | 25.05   | 00.37 |
|          |     | 400m | 51.18   | 53.42   | 51.94   |         |         |         |         |         |         | 52.18   | 01.14 |
|          |     | 600m | 1:18.03 | 1:19.42 | 1:17.59 |         |         |         |         |         |         | 1:18.35 | 00.96 |
|          |     | 800m | 1:44.26 | 1:45.35 | 1:44.33 |         |         |         |         |         |         | 1:44.65 | 00.61 |
|          | 決勝  | 200m | 24.96   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |
|          |     | 400m | 52.48   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |
|          |     | 600m | 1:18.24 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |
|          |     | 800m | 1:44.24 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |
| 04 アテネ   | 予選  | 400m | 52.39   | 52.21   | 50.93   | 52.98   | 52.58   | 51.84   | 53.31   | 52.41   | 53.60   | 52.47   | 00.80 |
|          |     | 800m | 1:45.72 | 1:45.65 | 1:44.69 | 1:44.84 | 1:46.20 | 1:45.88 | 1:46.66 | 1:46.75 | 1:46.74 | 1:45.90 | 00.77 |
|          | 準決勝 | 400m | 52.74   | 51.35   | 50.83   |         |         |         |         |         |         | 51.64   | 00.99 |
|          |     | 800m | 1:45.76 | 1:44.28 | 1:44.63 |         |         |         |         |         |         | 1:44.89 | 00.77 |
|          | 決勝  | 400m | 51.84   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |
|          |     | 800m | 1:44.45 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |
| 03 パリ    | 予選  | 400m | 54.21   | 51.24   | 54.60   | 51.01   | 53.27   | 55.24   | 52.65   | 50.94   |         | 52.89   | 01.71 |
|          |     | 800m | 1:47.39 | 1:45.71 | 1:47.80 | 1:47.61 | 1:46.11 | 1:48.68 | 1:46.44 | 1:46.09 |         | 1:46.98 | 01.04 |
|          | 準決勝 | 400m | 50.81   | 53.12   | 52.71   |         |         |         |         |         |         | 52.21   | 01.23 |
|          |     | 800m | 1:45.31 | 1:46.31 | 1:46.26 |         |         |         |         |         |         | 1:45.96 | 00.56 |
|          | 決勝  | 400m | 52.46   |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |
|          |     | 800m | 1:44.81 |         |         |         |         |         |         |         |         |         |       |

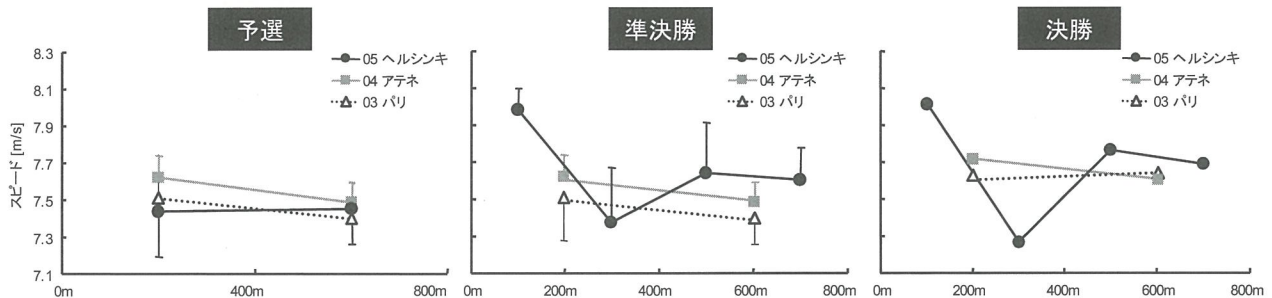


図1 過去3大会の男子800mの各ラウンドにおける平均スピードの変化

ある。なお、05ヘルシンキの準決勝および決勝レースについては、TV映像から200m毎の通過タイムを読み取ることができたため、200m毎に通過タイムおよびスピードを示す。

まず、予選についてみると、400m通過タイムの平均値および標準偏差は、05ヘルシンキにおいて53.73±1.83、04アテネおよび03パリに52秒台であった（表5）。後半400mのタイムは、05ヘルシンキおよび04アテネにおいて53秒台、03パリにおいて54.09であった。これらのことから、男子800mの予選においては、前後半の400mを、共に53秒前後のタイムでカバーするイーブンペース型のレースパターンの特徴を示すと考えられ、図1左からもその様子が伺える。

次に、準決勝についてみると、400m通過タイムの平均値および標準偏差は、05ヘルシンキおよび03パリに52秒台、04アテネにおいて51.64±0.99であった（表5）。後半400mのタイムは、05ヘルシンキにおいて52.57、04アテネおよび03パリにおいて53秒台であった。これらのことから、男子800mの準決勝においては、前半400mを52秒前後、後半400mを53秒前後でカバーし、その結果フィニッシュタイムが予選に比べて約2秒速くなると考

えられる。

決勝についてみると、400m通過タイムは05ヘルシンキ、03パリにおいて共に52秒台、04アテネにおいて51.84であった（表5）。後半400mのタイムは、05ヘルシンキにおいて51.76、04アテネにおいて52.61、03パリにおいて52.35であった。これらのことから、男子800mの決勝においては、前半400mは準決勝と同じく52秒前後、後半400mは準決勝よりも約1秒速い52秒前後となり、イーブンペース型あるいは後半400mのタイムが前半のそれを上回る後半型のレースパターンとなると考えられる。

これまで述べた特徴は、800mレースを前半400mと後半400mに2分割し、そのラップタイムから得られたものであるため、800mのレースパターンの特徴を大雑把に捉えることしかできない。そこで、05ヘルシンキの準決勝および決勝レースにおいては、TV映像から200m毎の通過タイムを読み取ることができたため、200m毎の通過タイムおよびスピードの変化をもとに、さらに詳しくレースパターンの特徴をみていく。05ヘルシンキの準決勝（図1中）および決勝（図1右）のスピードの変化をみると、共に類似した変化パターンを示しているこ



表6 過去3大会の女子800mの各ラウンドにおける先頭走者の通過タイムおよびフィニッシュタイム

|         |     | 1組   | 2組      | 3組      | 4組      | 5組      | 6組      | 平均      | 標準偏差  |
|---------|-----|------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| 05ヘルシンキ | 予選  | 200m | 29.29   | 28.61   | 31.03   | 28.63   | 28.46   | 0:29.20 | 00.07 |
|         |     | 400m | 1:02.11 | 1:01.34 | 1:04.82 | 1:00.29 | 59.15   | 1:01.54 | 00.14 |
|         |     | 600m | 1:32.02 | 1:31.85 | 1:36.66 | 1:30.72 | 1:29.53 | 1:32.16 | 00.71 |
|         |     | 800m | 2:01.91 | 2:00.77 | 2:06.38 | 2:00.62 | 2:00.64 | 2:02.06 | 00.47 |
|         | 準決勝 | 400m | 58.82   | 59.11   | 1:00.94 |         |         | 59.62   | 00.15 |
|         |     | 800m | 1:59.00 | 1:57.92 | 2:01.35 |         |         | 1:59.42 | 00.75 |
|         | 決勝  | 200m | 28.42   |         |         |         |         |         |       |
|         |     | 400m | 1:00.72 |         |         |         |         |         |       |
|         |     | 600m | 1:30.75 |         |         |         |         |         |       |
|         |     | 800m | 1:58.82 |         |         |         |         |         |       |
| 04アテネ   | 予選  | 400m | 1:02.30 | 58.22   | 59.73   | 1:02.97 | 58.98   | 1:00.79 | 00.05 |
|         |     | 800m | 2:01.20 | 1:59.64 | 2:00.81 | 2:03.60 | 2:00.61 | 2:01.60 | 00.69 |
|         | 準決勝 | 400m | 57.18   | 57.85   | 57.84   |         |         | 57.62   | 00.38 |
|         |     | 800m | 1:57.98 | 1:58.59 | 1:59.30 |         |         | 1:58.62 | 00.66 |
|         | 決勝  | 400m | 0:56.37 |         |         |         |         |         |       |
|         |     | 800m | 1:56.38 |         |         |         |         |         |       |
| 04パリ    | 予選  | 400m | 58.93   | 1:00.36 | 1:01.82 | 1:02.91 | 59.59   | 1:00.72 | 00.63 |
|         |     | 800m | 2:01.05 | 2:00.81 | 2:03.74 | 2:03.39 | 2:01.06 | 2:02.01 | 00.43 |
|         | 準決勝 | 400m | 57.59   | 57.59   | 1:00.99 |         |         | 58.72   | 00.96 |
|         |     | 800m | 1:59.26 | 1:58.45 | 2:00.57 |         |         | 1:59.43 | 00.07 |
|         | 決勝  | 400m | 1:01.20 |         |         |         |         |         |       |
|         |     | 800m | 1:59.89 |         |         |         |         |         |       |

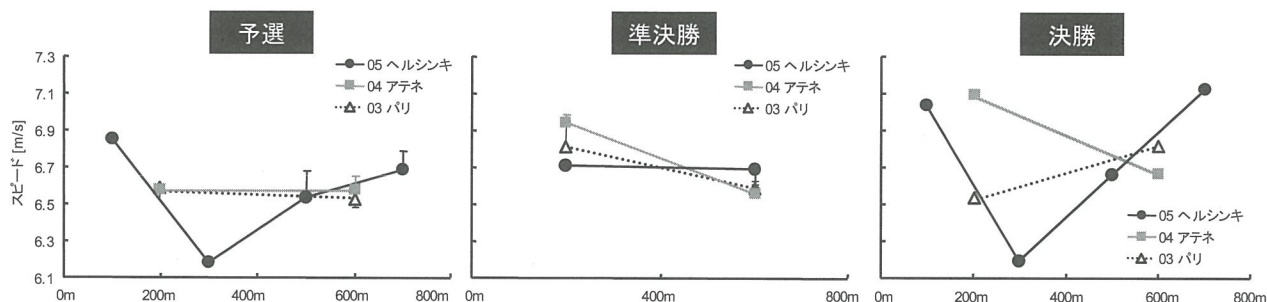


図2 過去3大会の女子800mの各ラウンドにおける平均スピードの変化

とがわかる。そのパターンは、0～200m区間においてスピードが最大に達し、続く200～400m区間において大きく減少し、400～600m区間において増大、600～800m区間においては維持あるいは僅かに減少するというパターンであった。このように、400m毎のタイムからはイーブンペース型として捉えられたが、200m毎にみると、実際にはさらに細かいスピードの増減があることがわかる。したがって、前後半の400mのタイムが同じであっても、そのスピードの変化パターンは全く異なるものであり、それぞれに特徴があるといえよう。

### 3.2 女子800mのレースパターンの特徴

表6は、03パリ、04アテネおよび05ヘルシンキにおける女子800mの各ラウンドの各種目の先頭走者の通過タイムおよびフィニッシュタイムをまとめたものである。また、図2は、表6の区間タイムから算出した各区間の平均スピードの変化を、ラウンド毎に別けて示したものである。なお、05ヘルシンキの予選および決勝レースについては、TV映像から200m毎の通過タイムを読み取ることができたため、200m毎に通過タイムおよびスピー

ドを示す。

まず、予選についてみると、400m通過タイムの平均値および標準偏差は、05ヘルシンキにおいて1:01.54±0.14、04アテネおよび03パリにおいて1分00秒台であった(表6)。後半400mのタイムは、05ヘルシンキおよび04アテネにおいて1分00秒台、03パリにおいて1:01.29であった。これらのことから、女子800mの予選においては、前後半共に61秒前後のタイムでカバーするイーブンペース型のレースパターンの特徴を示すと考えられる。

次に、準決勝についてみると、400m通過タイムの平均値および標準偏差は、05ヘルシンキにおいて59.62±0.15、04アテネにおいて57.62±0.38、03パリにおいて58.72±0.96であった(表6)。後半400mのタイムは、05ヘルシンキにおいて59.80、04アテネにおいて61.00、03パリにおいて60.71であった。これらのことから、女子800mの準決勝においては、前半400mを58秒前後、後半400mを60秒前後でカバーし、その結果フィニッシュタイムが予選に比べて約3秒速くなると考えられる。

決勝についてみると、400m通過タイムの平均値および標準偏差は、05ヘルシンキにおいて1:00.72、04アテネにおいては56.37、03パリにおいては1:01.20であった(表6)。後半400mのタイムは、05ヘルシンキおよび03パリにおいて58秒台、04アテネにおいて60.01、であった。05ヘルシンキおよび03パリは、前半400mを60秒前後、後半400mを58秒台でカバーする後半型のレースパターンの特徴を示した。しかし、04アテネにおいては前半400mが56秒台とかなり速く、後半400mは前半400mよりも4秒遅い、前半型のレースパターンの特徴を示した。また、本稿には示していないが、この04アテネの決勝レースにおいて、8名中5名が当時のシーズンベストをマークした。これらのことから、女子800mの決勝においては、予選や準決勝とは異なり前半型や後半型のレースパターンがみられる可能性があり、前半型のレースの場合には好記録も期待できると考えられる。

男子同様、女子においても、05ヘルシンキの予選および決勝レースにおいては、TV映像から200m毎の通過タイムを読み取ることができたため、200m毎の通過タイ

ムおよびスピードの変化をもとに、さらに詳しくレースパターンの特徴をみていく。

05ヘルシンキの予選(図2左)および決勝(図2右)のスピードの変化をみると、0～600mにおいては共に類似した変化パターンを示していることがわかる。つまり、スピードは0～200m区間において最大に達し、続く200～400m区間において大きく減少し、400～600m区間において増大した。また、これは男子の0～600mにおけるレースパターンと同じ変化パターンであり(図1)、このパターンは性差に関係のない800mのレースパターンの特徴として挙げられよう。しかし、600～800m区間においては、スピードの増大がみられ、決勝においてはそれが顕著であった。また、先述の男子のレースパターンと比較しても、600～800m区間のスピードの増大は女子に特徴的なパターンであることが伺える(図1および図2)。したがって、600～800m区間におけるスピードの増大は、女子のレースパターンの特徴として挙げられると考えられる。

表7 過去3大会の男子1500mの各ラウンドにおける先頭走者の通過タイムおよびフィニッシュタイム

|         |     | 1組    |         | 2組      | 3組      | 平均      | 標準偏差  |
|---------|-----|-------|---------|---------|---------|---------|-------|
| 05ヘルシンキ | 予選  | 400m  | 57.00   | 58.87   | 56.94   | 57.60   | 01.10 |
|         |     | 800m  | 1:58.56 | 2:01.73 | 1:58.98 | 1:59.76 | 01.72 |
|         |     | 1200m | 2:55.22 | 3:02.47 | 2:59.95 | 2:59.21 | 03.68 |
|         |     | 1500m | 3:36.56 | 3:41.64 | 3:38.32 | 3:38.84 | 02.58 |
|         | 準決勝 | 400m  | 1:01.39 | 58.38   |         | 59.88   | 02.13 |
|         |     | 800m  | 2:03.82 | 1:55.67 |         | 1:59.74 | 05.76 |
|         |     | 1200m | 3:01.79 | 2:52.72 |         | 2:57.26 | 06.41 |
|         |     | 1500m | 3:40.51 | 3:34.69 |         | 3:37.60 | 04.12 |
|         | 決勝  | 400m  | 1:00.73 |         |         |         |       |
|         |     | 800m  | 2:03.78 |         |         |         |       |
|         |     | 1200m | 2:57.52 |         |         |         |       |
|         |     | 1500m | 3:37.88 |         |         |         |       |
| 04アテネ   | 予選  | 400m  | 1:00.52 | 59.89   | 59.53   | 59.98   | 00.50 |
|         |     | 800m  | 2:02.96 | 2:01.60 | 2:00.27 | 2:01.61 | 01.35 |
|         |     | 1200m | 2:58.12 | 2:59.58 | 2:57.33 | 2:58.34 | 01.14 |
|         |     | 1500m | 3:37.86 | 3:39.71 | 3:37.37 | 3:38.31 | 01.23 |
|         | 準決勝 | 400m  | 57.22   | 1:04.40 |         | 1:00.81 | 05.08 |
|         |     | 800m  | 1:56.74 | 2:07.19 |         | 2:01.96 | 07.39 |
|         |     | 1200m | 2:55.61 | 3:01.34 |         | 2:58.48 | 04.05 |
|         |     | 1500m | 3:35.69 | 3:40.87 |         | 3:38.28 | 03.66 |
|         | 決勝  | 400m  | 1:00.42 |         |         |         |       |
|         |     | 800m  | 2:01.93 |         |         |         |       |
|         |     | 1200m | 2:55.21 |         |         |         |       |
|         |     | 1500m | 3:34.18 |         |         |         |       |
| 04パリ    | 予選  | 400m  | 1:04.27 | 1:02.61 | 59.87   | 1:02.25 | 02.22 |
|         |     | 800m  | 2:09.23 | 2:06.34 | 2:01.03 | 2:05.53 | 04.16 |
|         |     | 1200m | 3:08.27 | 3:02.30 | 3:01.00 | 3:03.86 | 03.88 |
|         |     | 1500m | 3:47.26 | 3:42.24 | 3:41.35 | 3:43.62 | 03.19 |
|         | 準決勝 | 400m  | 1:00.51 | 59.69   |         | 1:00.10 | 00.58 |
|         |     | 800m  | 2:02.40 | 2:03.87 |         | 2:03.13 | 01.04 |
|         |     | 1200m | 2:58.71 | 3:00.45 |         | 2:59.58 | 01.23 |
|         |     | 1500m | 3:38.25 | 3:39.73 |         | 3:38.99 | 01.05 |
|         | 決勝  | 400m  | 57.70   |         |         |         |       |
|         |     | 800m  | 1:56.29 |         |         |         |       |
|         |     | 1200m | 2:51.28 |         |         |         |       |
|         |     | 1500m | 3:31.77 |         |         |         |       |



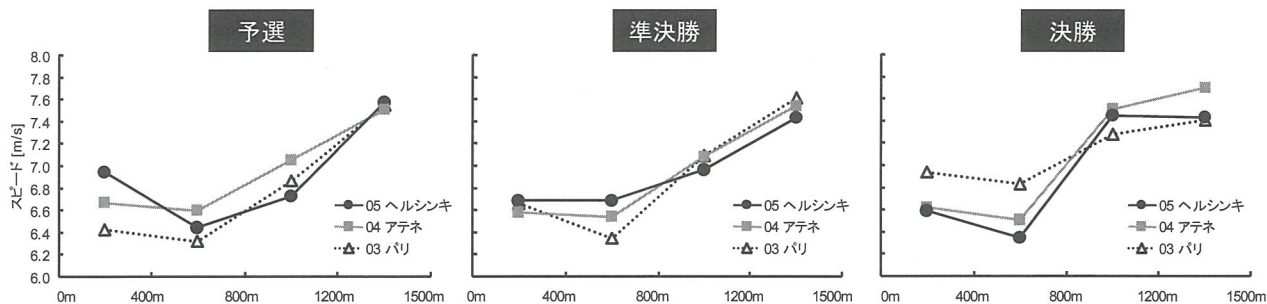


図3 過去3大会の男子1500mの各ラウンドにおける平均スピードの変化

### 3.3 男子1500mのレースパターンの特徴

表7は、03パリ、04アテネおよび05ヘルシンキにおける男子1500mの各ラウンドの各組の先頭走者の通過タイムおよびフィニッシュタイムをまとめたものである。また、図3は、表7の各400m区間(1200～1500mは300m区間)における区間タイムから算出した区間の平均走スピードの変化を、ラウンド毎に別けて示したものである。まず、予選のレースパターンについてみると(図3左)、0～800mのレース前半において、走スピードの大きさ、変化パターン共に3大会間で共通した傾向はみられなかった。通過タイムの平均値および標準偏差みると(表7)、400m通過は最も速かった05ヘルシンキ( $57.60 \pm 1.10$ )と最も遅かった03パリ( $1:02.25 \pm 2.22$ )との差は約5秒、800m通過は、最も速かった05ヘルシンキ( $1:59.76 \pm 1.72$ )と最も遅かった03パリ( $2:05.53 \pm 4.16$ )との差は約6秒もあり、標準偏差も400mにおいて1～2秒、800mにおいて1～4秒と大きかった。800～1500mの後半700mにおいては、3大会ともスピードが漸増する変化パターンを示した(図1左)。後半700mのタイムは、05ヘルシンキにおいて1:39.45、04アテネにおいて1:36.70、03パリにおいて1:38.09であった。最も速かった04アテネと最も遅かった05ヘルシンキとの差は約3秒であり、前半800mに比べると差は小さい。これらのことから、男子1500mの予選においては、前半800mにおいてはレース展開の影響を強く受け、走スピードや通過タイムのバラツキが大きくなるが、後半700mにおいては、前半800mのレース展開に関わらず走スピードは漸増し、後半700mを平均で1分38秒前後で走破するようなレースパターンの特徴を示すと考えられる。

次に、準決勝についてみると、レースパターンは、予選と同様に前半800mにおいては3大会間に共通した傾向はみられず(図1中)、400mおよび800m通過タイムも予選と大きな差はみられなかった(表7)。また、後半700mにおいては、3大会ともスピードが漸増する変化パターンを示した。後半700mのタイムは、05ヘルシンキにおいて1:37.86、04アテネにおいて1:36.32、03パリにおいて1:35.85であり、予選の後半700mに比べて約2秒速かった。これらのことから、男子1500mの準決勝

においては、前半800mのタイムは予選と大きく変わらず、後半700mは、予選と同様に走スピードが漸増し、タイムは予選よりも約2秒速い1分36秒前後で走破するようなレースパターンの特徴を示すと考えられる。そして、このことによって、準決勝のラウンド通過タイムが予選のそれに比べて平均で1～2秒速くなったものと考えられる。

さいごに、決勝についてみると、スピードは05ヘルシンキと04アテネでは類似した変化パターンを示した(図1右)。05ヘルシンキと04アテネは、前半800mのスピードは予選や準決勝と同じかやや小さく、800～1200m区間において急激にスピードが増大し、1200～1500m区間においては05ヘルシンキで維持、04アテネで僅かに増大する傾向を示した。一方、03パリは他の2大会に比べて平均的に高いスピードで走破する変化パターンを示し、フィニッシュタイムは3:31.77で3大会中最も速かった。このレースは、世界記録保持者のEl Guerrouji Hichamが制しており、400m以降先頭に立ってハイペースでレースを先導し、そのまま逃げ切った。このように、決勝においては、3大会のレースパターンをみる限りでは、05ヘルシンキや04アテネのように800m通過後に一度スパートするように急激に走スピードが増大するようなパターンや、03パリでのEl Guerrouji Hichamのように終始ハイペースでレースが展開されるパターンもあるため、一様に傾向を見出すことができない。しかし逆の見方をすると、レースパターンを予測できないところが、男子1500mのみどころであるといえよう。

### 3.4 女子1500mの各ラウンドのレースパターンの特徴

表8は、03パリ、04アテネおよび05ヘルシンキにおける女子1500mの各ラウンドの各組の先頭走者の通過タイムおよびフィニッシュタイムをまとめたものである。また、図4は、表8の各400m区間(1200～1500mは300m区間)における区間タイムから算出した区間の平均スピードの変化を、ラウンド毎に別けて示したものである。まず、予選についてみると(図4左)、0～800mのレース前半において、04アテネと03パリのスピードは類似した変化パターンを示した。通過タイムの平均値および標準偏差をみると(表8)、400m通過は04アテネにおいて $1:06.56 \pm 1.37$ 、03パリにおいて $1:07.25 \pm$

表8 過去3大会の女子1500mの各ラウンドにおける先頭走者の通過タイムおよびフィニッシュタイム

|         |     | 1組    | 2組      | 3組      | 平均      | 標準偏差  |
|---------|-----|-------|---------|---------|---------|-------|
| 05ヘルシンキ | 予選  | 400m  | 1:12.44 | 1:08.44 | 1:10.44 | 02.83 |
|         |     | 800m  | 2:22.93 | 2:14.80 | 2:18.86 | 05.75 |
|         |     | 1200m | 3:26.73 | 3:20.77 | 3:23.75 | 04.21 |
|         |     | 1500m | 4:10.58 | 4:07.26 | 4:08.92 | 02.35 |
|         | 決勝  | 400m  | 1:06.28 |         |         |       |
|         |     | 800m  | 2:12.68 |         |         |       |
|         |     | 1200m | 3:16.97 |         |         |       |
|         |     | 1500m | 4:00.35 |         |         |       |
| 04アテネ   | 予選  | 400m  | 1:07.84 | 1:05.12 | 1:06.71 | 01.37 |
|         |     | 800m  | 2:15.78 | 2:13.91 | 2:15.22 | 01.14 |
|         |     | 1200m | 3:19.96 | 3:20.16 | 3:20.54 | 00.84 |
|         |     | 1500m | 4:06.06 | 4:05.55 | 4:06.10 | 00.57 |
|         | 準決勝 | 400m  | 1:08.87 | 1:03.58 | 1:06.23 | 03.74 |
|         |     | 800m  | 2:16.28 | 2:11.14 | 2:13.71 | 03.63 |
|         |     | 1200m | 3:21.67 | 3:18.19 | 3:19.93 | 02.46 |
|         |     | 1500m | 4:06.69 | 4:04.66 | 4:05.68 | 01.44 |
|         | 決勝  | 400m  | 1:03.59 |         |         |       |
|         |     | 800m  | 2:08.64 |         |         |       |
|         |     | 1200m | 3:12.82 |         |         |       |
|         |     | 1500m | 3:57.90 |         |         |       |
| 04パリ    | 予選  | 400m  | 1:05.86 | 1:06.99 | 1:08.89 | 01.53 |
|         |     | 800m  | 2:15.41 | 2:17.69 | 2:20.34 | 02.47 |
|         |     | 1200m | 3:20.03 | 3:25.37 | 3:27.43 | 03.82 |
|         |     | 1500m | 4:08.12 | 4:10.16 | 4:12.53 | 02.21 |
|         | 準決勝 | 400m  | 1:03.82 | 1:03.76 | 1:03.79 | 00.04 |
|         |     | 800m  | 2:11.00 | 2:11.54 | 2:11.27 | 00.38 |
|         |     | 1200m | 3:17.22 | 3:17.91 | 3:17.56 | 00.49 |
|         |     | 1500m | 4:03.40 | 4:05.38 | 4:04.39 | 01.40 |
|         | 決勝  | 400m  | 1:00.50 |         |         |       |
|         |     | 800m  | 2:06.76 |         |         |       |
|         |     | 1200m | 3:12.61 |         |         |       |
|         |     | 1500m | 3:58.52 |         |         |       |

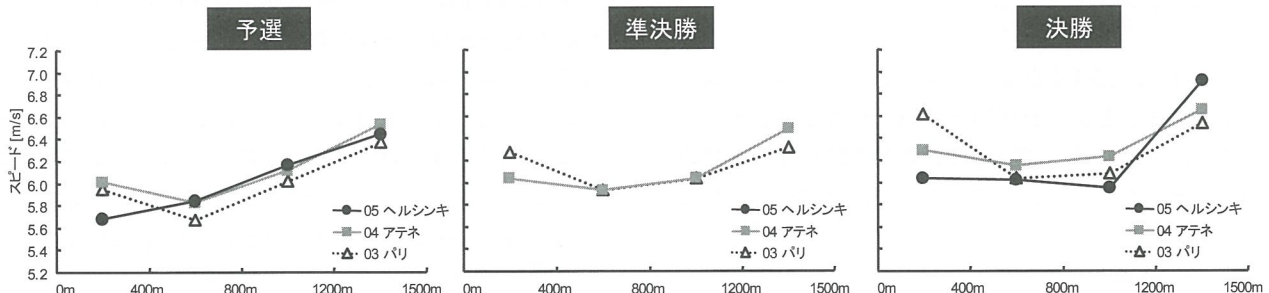


図4 過去3大会の女子1500mの各ラウンドにおける平均スピードの変化

1.53, 800m通過は04アテネにおいて  $2:15.22 \pm 1.14$ , 03パリにおいて  $2:17.81 \pm 2.47$  であり, 標準偏差を考慮すると2大会ともほぼ同様のタイムであった(表8). また, 05ヘルシンキは予選が2組しか行われず, 通過タイムは2組の間で大きく異なっていた. このことから, 女子1500mの予選におけるレース前半の平均的な通過タイムは, 400m: 67秒, 800m: 2分16秒(ラップ69秒)として見積もることができよう. 800~1500mの後半700mにおいては, 3大会ともスピードが漸増する変化パターンを示した(図4左). 後半700mのタイムは, 05ヘルシンキおよび04アテネにおいて1分50秒台, 03パリにおいて1:52.44であり, 3大会間においてほぼ同様のタイム

であった. これらのことから, 女子1500mの予選においては, 平均的には400mを67秒, 800mを2分16秒で通過し, その後スピードが漸増して後半700mを1分51秒前後で走破するようなレースパターンの特徴を示すと考えられる. 次に, 準決勝についてみる. なお, 05ヘルシンキにおいては準決勝は行われなかった. レースパターンについてみると(図4中), 0~800mのレース前半においては, 予選に比べてスピードは僅かに大きくなる傾向を示した. 通過タイムの平均値および標準偏差をみると(表8), 04アテネでは800mにおいて約1.5秒, 03パリでは400mにおいて約4秒, 800mにおいて約6秒, 予選よりも速かった. 800~1500mのレース後半においては, 予



表9 2006年および2007年の世界3傑

| 男子800m                       |               |         |         | 女子800m       |           |         |  |
|------------------------------|---------------|---------|---------|--------------|-----------|---------|--|
| 2006年                        | 1) M.ムラウジ     | (南アフリカ) | 1:43.09 | 1) J.ジェブコスゲイ | (ケニア)     | 1:56.66 |  |
|                              | 2) A.ラール      | (モロッコ)  | 1:43.25 | 2) M.ムトラ     | (モザンビーク)  | 1:56.77 |  |
|                              | 3) W.ブンゲイ     | (ケニア)   | 1:43.31 | 3) Z.カラタユド   | (キューバ)    | 1:56.91 |  |
| 2007年<br>5月6日時点<br>(IAAF 発表) | 1) W.ブンゲイ     | (ケニア)   | 1:44.14 | 1) K.シンクレアー  | (ジャマイカ)   | 1:59.19 |  |
|                              | 2) A.ラール      | (モロッコ)  | 1:44.87 | 2) T.ルイス     | (オーストラリア) | 2:00.71 |  |
|                              | 3) A.チェプキルウオク | (ウガンダ)  | 1:45.14 | 3) M.パペ      | (オーストラリア) | 2:01.17 |  |

| 男子1500m                      |           |         |         | 女子1500m     |           |         |  |
|------------------------------|-----------|---------|---------|-------------|-----------|---------|--|
| 2006年                        | 1) D.コメン  | (ケニア)   | 3:29.02 | 1) Y.チジェンコ  | (ロシア)     | 3:55.68 |  |
|                              | 2) R.ラムジ  | (バーレーン) | 3:29.14 | 2) M.ヤマル    | (バーレーン)   | 3:56.18 |  |
|                              | 3) B.ラガト  | (ケニア)   | 3:29.68 | 3) Y.ソボレワ   | (ロシア)     | 3:56.43 |  |
| 2007年<br>5月6日時点<br>(IAAF 発表) | 1) A.チョゲ  | (ケニア)   | 3:31.73 | 1) L.コリガン   | (オーストラリア) | 4:05.25 |  |
|                              | 2) S.シモトウ | (ケニア)   | 3:31.98 | 2) V.キビウオット | (ケニア)     | 4:05.43 |  |
|                              | 3) Y.ババ   | (モロッコ)  | 3:32.13 | 3) V.ケリヨット  | (ケニア)     | 4:06.65 |  |

選ほどスピードの増大はみられず(図4中), 後半700mのタイムは04アテネにおいて1:51.97, 03パリにおいて1:53.12であり, 予選に比べて1~2秒遅かった。これらのことから, 女子1500mの準決勝においては, 予選に比べて前半800mにおいて速く, 後半700mにおいて遅くなる傾向がみられ, 平均的にスピードを維持するようなレースパターンの特徴を示すと考えられる。さいごに, 決勝についてみると, 0~1200mのレースパターンは大会によって様々であるが, 3大会全てに共通してみられる特徴は, 1200~1500mのラスト300mにおけるスピードの増大である(図4右)。男子では急激なスピードの増大が800m以降においてみられたのに対し, 女子では1200m以降においてみられ, これは女子1500mの決勝におけるレースパターンの特徴の1つであると考えられる。

#### 4. 注目選手について

ここでは, 2006年度および2007年5月6日時点の世界ランキングをもとに, 世界陸上大阪大会の注目選手について述べる。表9は, 2006年度および2007年5月6日時点の世界ランキング3傑の選手とその記録についてまとめたものである。

##### 4.1 男子800m

男子800mは, M. ムラウジ(南アフリカ)とW. ブンゲイ(ケニア)が注目選手として挙げられよう。W. ブンゲイは, これまで01年世界陸上エドモントン大会銀メダル, 04年アテネオリンピック5位, 05年世界陸上ヘルシンキ大会4位という成績を残しており, 世界大会におけるファイナリストの常連である。さらに, 06年度世界ランキングでは2位, 07年5月6日時点では世界ランキング1位であり, 世界陸上大阪大会の優勝候補の筆頭といえる。一方のM. ムラウジは, 03年世界陸上パリ大会銅メダル, 04年アテネオリンピック銀メダルという成績を残しているが, 05年世界陸上ヘルシンキ大会では準決勝で敗退している。しかし, 06年度は世界ランク1位であり, W. ブンゲイと並ぶ優勝候補に挙げられよう。

##### 4.2 女子800m

女子800mは, J. ジェブコスゲイ(ケニア)とZ. カラタユド(キューバ)が注目選手として挙げられよう。J. ジェブコスゲイは, 06年ワールドカップ2位の成績を残し, 年間で1分56秒台を1度, 1分57秒台を3度マークしており, 記録的には最も高い水準で安定している選手である。一方, Z. カラタユドは, 05年世界陸上ヘルシンキ大会のチャンピオンであり, 06年ワールド・アスレチック・ファイナル, さらにワールドカップも制しており, 近年最も実績を残している選手であろう。しかし, 2007年5月6日時点の世界ランキングをみると, 世界的な記録水準はまだ低く, 8月の世界陸上大阪大会までに各選手ともさらに調子を上げてくることであろう。

##### 4.3 男子1500m

男子1500mは, ケニアやモロッコを中心とするアフリカ勢が優勝候補に挙げられよう。表9をみても, ケニア選手が4名, 06年度ランキング2位, 05年世界陸上ヘルシンキ大会チャンピオンのR. ラムジ(バーレーン)もモロッコ出身選手であることを踏まえると, 全員がケニアかモロッコ出身の選手であり, このことからアフリカ勢の強さが伺える。男子1500mは, 06年に現役を引退した世界記録保持者のH. エルゲルージ(モロッコ)のような大本命の選手が不在であり, アフリカ勢の中でも誰が勝つかは予想がつかず, また8月の世界陸上大阪大会までには, 他地域の選手も調子を上げてくることであろう。

##### 4.4 女子1500m

女子1500mは, Y. チジェンコ, Y. ソボレワらのロシア勢と, 05年にエチオピアからバーレーンに国籍を移したM. ヤマル(バーレーン)が優勝候補に挙げられよう。ロシア勢は上述の2選手の他に, 05年世界陸上ヘルシンキ大会チャンピオンのT. トマショワも06年度の世界ランキングでは4位(3:56.91)に位置しており, 非常に勢力が厚い。一方のM. ヤマルは, 06年ワールド・アスレチック・ファイナル1500m, ワールドカップ1500m, ドーハアジア大会800m, 1500mを制しており, 勢いがある。

ロシア勢とM. ヤマルの争いが注目であろう。

## 5. さいごに

近年日本国内で開催された国際大会において、世界一流レベルの中距離選手が出場した機会は、他の種目に比べて少なかった。しかし、8月の世界陸上大阪大会では、陸上関係者のみならず、多くの日本国民がこれまで日本

国内では決して見ることはできなかった世界一流レベルの中距離レースを見ることができるであろう。本稿では、過去の中距離走種目のレース結果および世界ランキングをもとに、ラウンド通過タイム、レースパターンの特徴および注目選手について述べたが、世界陸上大阪大会では、これらの予想を覆す争いが展開されることが十分に考えられ、そこが中距離種目の本当の見どころであろう。



# 長距離走におけるパフォーマンスと走動作

榎本 靖士<sup>1)</sup>, 阿江 通良<sup>2)</sup>

The performance of long distance running and the running technique

Yasushi Enomoto, Michiyoshi Ae

キーワード：一流長距離選手，バイオメカニクス，走技術，ストライド，ピッチ，キック動作

## 1. 長距離走における走動作

長距離走パフォーマンスは、これまで $VO_2\max$ やLTなどに代表される生理学的指標によって評価され、これらの良し悪しに大きく影響されていると考えられてきた。実際に、世界一流選手の $VO_2\max$ は高い値が報告されている（山地，1992）。しかし、近年の世界一流長距離選手のパフォーマンスは、有酸素性持久力のみでは説明できないほど急激に向上し、とくにラスト1周のスパートは中距離選手に引けをとらないほどのスピードで走り抜けている。これらのことは、有酸素性持久力以外にも様々な要因が長距離走パフォーマンスに影響を及ぼしていることを示していると考えられ、今後も様々な観点から長距離走パフォーマンスを評価することが必要であろう。しかし、生理的要因がパフォーマンスに強く影響していたとしても、高いパフォーマンスを発揮できたかどうかは選手が物理的に高い走速度を維持していたかどうかと捉えることができると考えられるため、長距離走においても走動作に着目することは長距離選手を評価

するために役立つであろう。さらに、長距離走の指導者やマラソンなどのテレビの解説者は、選手がペースを維持することがきつくなってきていることを、顔の表情やラップタイムからだけではなく、選手の走動作から読み取っており、このことは走動作に長距離選手の様々な情報が内在していることを示唆していると言えよう。

長距離走では、ただ高い走速度を獲得できるばかりではなく、走速度をレース距離にわたって維持し、そして勝負どころでさらに高い走速度を獲得できることが優れた成績を収めるために必要である。ケニア人を中心とした世界一流長距離選手は、高い走速度の獲得と維持の両方において優れており、これは高い有酸素性持久力ばかりではなく、優れた走動作を身につけているためであろう。ケニア人長距離選手の走動作の特徴は身体的特徴に影響を受けているかもしれないが、長距離走において合理的な走動作のモデルになり得ると考えられる。その動作がそのまま日本人選手が目指すべきモデルになるかどうかは検討の余地があるが、ケニア人選手の走動作の特徴を理解しておくことは、長距離走の走動作を評価するための観点を提供し、世界陸上競技選手権大会の長距離走種目を観戦するための見どころを提供することになる

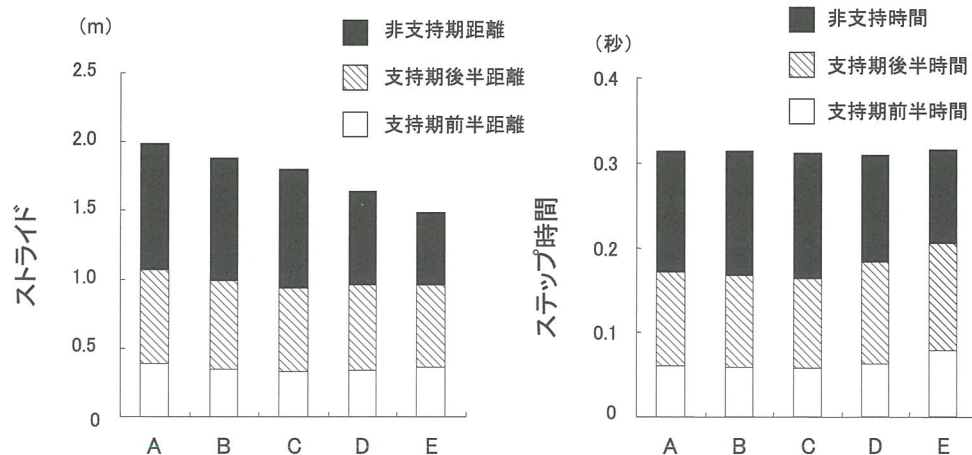


図1 5000mにおける競技レベル別のストライドとステップ時間およびそれらの内訳

1) 京都教育大学 Kyoto University of Education  
〒612-8522 京都市伏見区深草藤森町1 TEL: 075-644-8281 E-mail: enomoto@kyokyo-u.ac.jp  
2) 筑波大学体育科学系 Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba  
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

う。

本稿は、5000mレースを分析した結果から得られた一流長距離選手における走動作のバイオメカニクスの特徴を述べ、世界陸上競技選手権大会における長距離走種目の走動作の観点を提供しようとするものである。

## 2. 一流長距離選手のストライドとピッチ

走スピードは、ストライドとピッチにより決まる。図1は、学生長距離選手から日本一流選手および世界一流選手のストライドとステップ時間（1歩に要した時間）、それらの内訳を示したものである。グループAが世界一流選手、Bは日本一流選手（13分台）、Cは14分台、Dは15分台、Eは16分台の学生選手である。内訳とは、1歩を支持期前半と後半、非支持期に分けたものである。ステップ時間は逆数がピッチを示し、時間が短いほどピッチは高くなる。

ストライドは、競技レベルが高くなるにつれて大きくなっていったが、ステップ時間は競技レベルに関係なく一定であった。その内訳をみると、ストライドの差は、おもに非支持期によるものであることがわかる。また、ステップ時間は競技レベルに差はなかったが、その内訳で

は競技レベルが高くなるにつれて非支持時間が長くなり、支持時間が短くなる傾向がみられた。すなわち、競技レベルが高くなるにつれて、短い支持時間で大きなストライドを獲得し、高い走スピードを維持していることを示していると考えられる。

図2は、走速度と非支持期距離および支持期後半距離の関係をグループの平均値で示したものである。全体の傾向に着目すると、非支持期距離は走速度が高くなるにつれて大きくなり、支持期後半距離は走速度とは関係なくほぼ一定であった。しかし、世界一流選手（A）は走速度が高いものの非支持期距離はあまり大きくないが、支持期後半距離は大きくなっていった。走速度を大きくするためには、ストライドを大きくする必要があり、競技レベル間にみられる傾向では非支持期距離が大きくなるが、世界一流選手では非支持期距離は相対的にみると小さくなく、支持期後半距離が大きいことを示していると考えられる。

図3は、走速度と非支持時間との関係を示したものである。すでに述べたように競技レベルが高くなるにつれて非支持時間は大きくなる傾向がある。2000mおよび4000m地点においてグループC～Eでは正の相関がみら

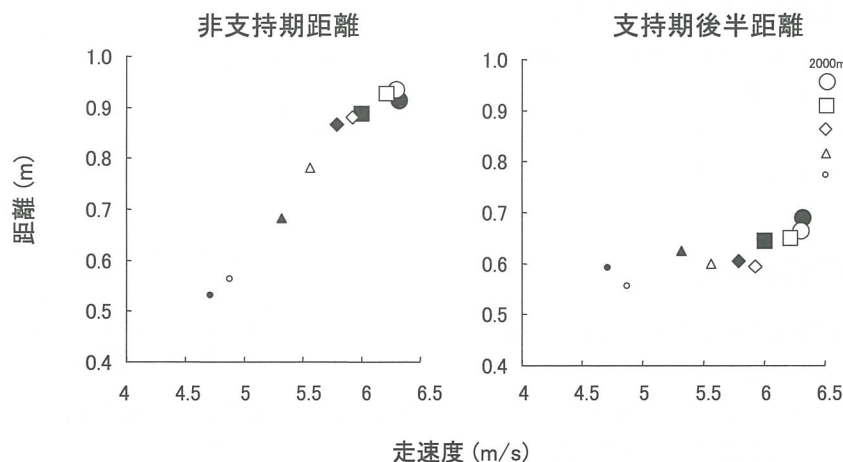


図2 5000mにおける走速度と非支持期距離および支持期後半距離の関係

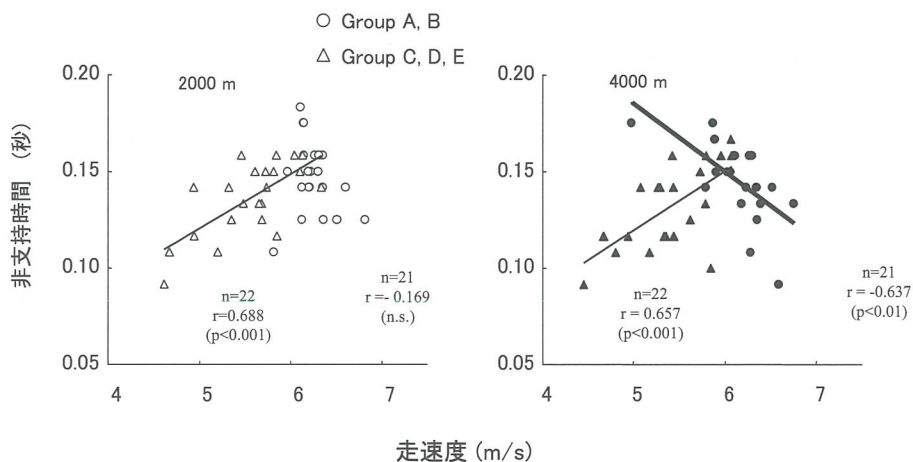


図3 2000mおよび4000m地点における走速度と非支持時間との関係



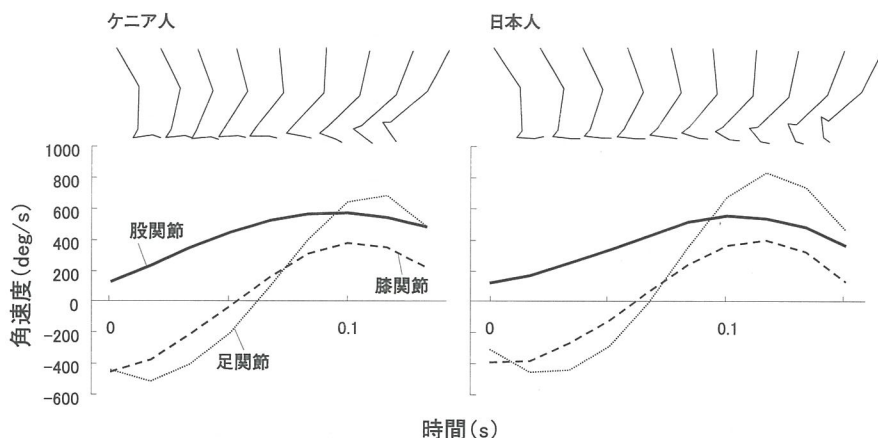


図4 ケニア人選手と日本人選手における支持脚の股関節、膝関節、足関節角速度

れたが、世界一流選手と日本一流選手だけに着目すると、4000m地点では負の相関がみられた。これらは、非支持期では選手の身体重心は放物運動をするため、非支持時間は非支持期距離の増大に伴い大きくなる傾向にあるが、世界一流選手の非支持期距離および非支持時間は走速度に対して相対的に小さいことが示されていると考えられる。

以上の結果から、世界一流選手の特徴として、支持時間と非支持時間が比較的短く、非支持期距離は相対的に小さいが支持期後半距離が大きく、高い走速度を獲得していることが示されたと考えられる。さらに、世界一流選手は、支持期後半距離を大きくすることで、身体を上方ではなく、より前方へ押し出しやすくし、身体の上下動を小さく保って高い走速度を維持している傾向にあると推察できる。

### 3. 支持脚のキック動作の特徴

伊藤ら（1998）は、短距離走の疾走速度と関係のある疾走技術を研究し、股関節の伸展が脚全体の伸展につながることを効果的なキック動作とし、一流選手では膝関節や足関節の伸展が小さく、股関節の伸展が効果的に疾走速度を得ていることをモデルにより示した。図4は、ケニア人選手と日本人選手の支持期における股関節、膝関節、足関節角速度を典型例で示したものである。両選手において膝関節と足関節の屈曲および伸展速度が大きく、足関節伸展速度は日本人選手のほうで大きいものの、足関節屈曲、膝関節屈曲および伸展速度、股関節伸展速度には両者に大きな違いはみられなかった。しかし、ケニア人選手の股関節の伸展速度は、接地直後にすばやく増大していた。

図5は、ケニア人選手と日本人選手の支持脚のスティックピクチャを示したものである。支持期中間（両選手とも4）における支持脚は、ケニア人選手では大腿がより伸展した（垂直に近い）姿勢であるのに対して日本人選手ではあまり伸展していないことがわかる。その後、ケニア人選手では離地時（ケニア人選手9、日本人

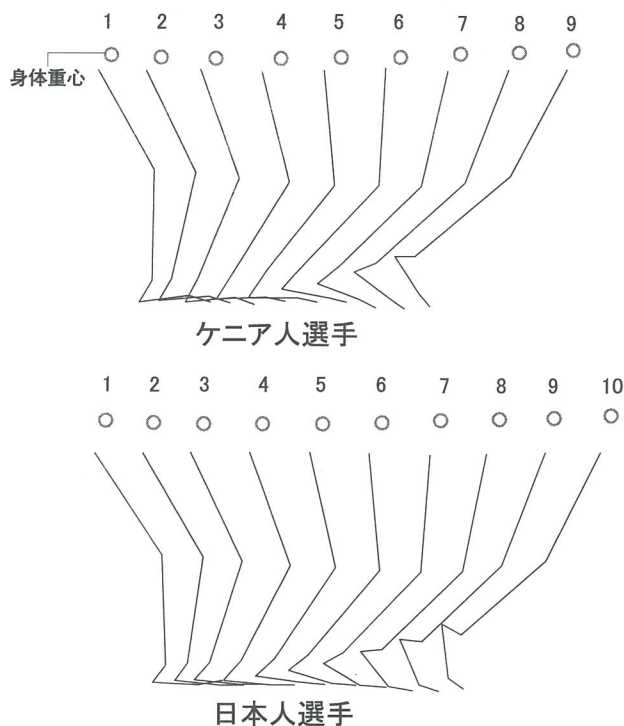


図5 ケニア人選手と日本人選手の支持脚のスティックピクチャ

選手10)に大腿が大きく伸展され、より前方に身体重心が送り出されている。榎本ら（1997）は、世界一流選手と日本一流選手の支持脚の大腿と下腿の角速度に着目し、世界一流選手では支持期前半における脚全体の角速度は大腿と下腿の両方に影響を受けていたが、日本一流選手では脚全体と下腿の角速度との間にのみ相関があったことを示している。すなわち、ケニア人選手では支持期前半において股関節伸展速度がすばやく大きくなることで、支持期中間では大腿が垂直に近くなり、その後の膝関節および足関節の伸展により身体重心が前方へ大きく送られるが、日本人選手では支持期前半における股関節伸展が弱いため、支持期後半における膝関節および足関節伸展が身体を前方ではなくより上方へ押し出すことにつながりやすいことを示唆していると考えられよう。

以上のことは、世界一流長距離選手は、膝関節と足関



図6 ケニア人選手と日本人選手のスティックピクチャと脚全体の重心の軌跡

節の屈曲および伸展動作と股関節の伸展動作によって効果的に高い走スピードを得ていることを示唆するものである。そして、このようなキック動作は身体を上方ではなく、より前方へ送ることができ、短距離走とは異なる長距離走における効果的なキック動作であることを示していると考えられる。

#### 4. 回復脚のリカバリー動作の特徴

ケニア人選手の走動作の特徴として最も着目される部分は、キックした脚が身体の後方へ大きく送られ、その後前方へ引き出されるところであろう。いわゆる、キックした脚が流れているとみなされる動作である。図6は、ケニア人選手と日本人選手の下肢のスティックピクチャと脚全体の重心の軌跡を身体重心で固定して示したものである。ケニア人選手のほうが下肢重心の軌跡が幅広く、高いことがわかる。下肢重心の身長に対する水平移動距離および前方への最大水平速度はケニア人で有意に大きかった。一方、後方への最大水平速度には有意差はみられなかった。これらは、ケニア人では下肢の前方への引き出しが大きく速かったことを示していると考えられる。すなわち、ケニア人選手はキックした脚が一度大きく後方へ送られるが、その後下腿を上方へ引き上げ、タイミングよく前方へ勢いよく引き出していること示していると考えられる。

図7は、ケニア人選手と日本人選手の脚全体の角運動量、慣性モーメント、角速度の変化を示したものである。脚全体の角運動量には、ケニア人選手と日本人選手との間に大きな差はみられなかった。慣性モーメントは両選手とも回復期の中間（反対足接地時）付近で最も小さくなるが、ケニア人選手は日本人選手より小さくなっていた。そして、ケニア人選手の脚全体の角速度は、回復期中間あたりで急激に大きくなっていた。これは、ケニア人選手では離地後に後方へ大きく送られた脚に前方へ引き出す勢い（角運動量）を与え、脚が前方へ引き出されてきたところですばやく下腿を大腿に引きつけ、前方へ引き出す速度が大きくなっていたことを示唆するものであろう。すなわち、ケニア人選手はキックした脚が一度後方へ送られる局面は慣性モーメントが大きくなる局面

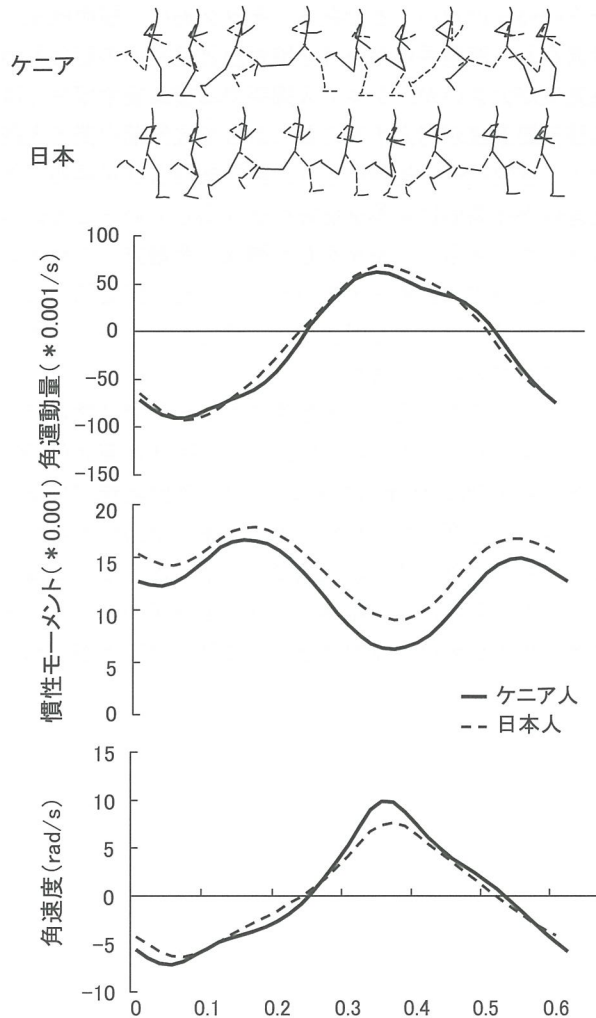


図7 ケニア人選手と日本人選手の回復脚全体の角運動量、慣性モーメント、角速度

と一致し、この局面でタイミングよく脚を前方へ引き出すことで脚に前方への角運動量を与えていると考えられる。よって、ケニア人選手は、股関節まわりのトルクにより脚をすばやく前後にスウィングしているばかりでなく、下腿を引き上げたり、振り出したりすることで慣性モーメントを変化させ、タイミングよくスウィングしていると推察できよう。

以上のことは、世界一流選手においてキックした脚が身体の後方におくられたのち勢いよく引き出されること



は、長距離走において効果的な脚のリカバリー動作であることを示唆するものであり、ケニア人選手の走動作の大きな特徴の1つと言えよう。

## 5. まとめ

本稿では、世界一流選手、とくにケニア人選手の長距離走レースにおける走動作の特徴を概説し、世界陸上競技選手権における長距離走種目の走動作の観点を示した。世界一流選手の特徴は、大きいストライドで高い走スピードを維持しているが、走スピードに対して相対的にみると非支持期距離は短く、支持期後半距離が大きく、非支持時間は短いことである。キック脚は、短距離走とは異なり一流選手においても膝関節と足関節の屈曲と伸展速度が大きい、ケニア人選手では接地後すばやく股関節伸展速度が増大することによって支持期中間で大腿がより垂直に近い姿勢になり、膝関節および足関節の伸展速度が効果的に身体を前方へ送り出していることが示唆された。さらに、キックした脚は一度後方へスウィングされ、前方へ引き出す勢いをつけた後、回復期中間で下腿をタイミングよく引き上げ、前方へすばやくスウィングされていると推察された。

しかし、長距離走では走動作のみばかりでは誰が最も優れた選手かはわからないであろう。阿江と藤井(1996)や榎本ら(1999)が示しているように、長距離走パフォーマンスは、発揮した生理学的エネルギーが力学的エネルギーに変換され、それが走速度に利用されることで高くなると考えられる。一流選手では、生理学的エネルギーを多く生み出すばかりではなく、これらの変換が優れて

いると考えられるが、個々に着目すると走動作はあまりよくないが、大きな生理学的エネルギーを生み出す能力に優れて、高い走スピードを維持している選手もいるかもしれない。これらは今後、様々な手法を用いて選手個々の評価を行い、トレーニングやレース戦略に役立てていくことが望まれるが、このような観点で世界陸上競技選手権大会の長距離走種目を見ることは単にパフォーマンスが高い低いばかりでなく、世界一流長距離選手の生理学的能力や走技術に関する情報を得られる可能性がある。

## 文 献

- 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.
- 榎本靖士, 阿江通良, 藤井範久 (1997) 世界一流長距離選手の疾走フォームの特徴. 第13回日本バイオメカニクス学会大会編集委員会(編) 身体運動のバイオメカニクス-第13回日本バイオメカニクス学会大会論文集-, 195-199.
- 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, 12-19.
- 伊藤 章, 市川博啓, 斎藤昌久, 佐川和則, 伊藤道郎, 小林寛道 (1998) 100m中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. 体育学研究 43, 260-273.
- 山地啓司 (1992) 最大酸素摂取量の科学. 杏林書院, 東京.

# 日本マラソン陣は世界陸上大阪大会および 北京オリンピックで活躍できるか？

石井好二郎<sup>1)</sup>, 野口 純正<sup>2)</sup>, 千田 辰巳<sup>2)</sup>

Does the Japanese marathon team play an active part in World Championships  
in Athletics Osaka 2007 and the 2008 Beijing Olympic Games, ?

Kojiro Ishii, Yoshimasa Noguchi, Tatsumi Senda

## 1. 日本マラソン陣のロサンゼルス・ソウル 両五輪での戦績

表1は米国Track & Field News誌がオリンピック開催前に掲載する順位予想に実際の結果を加え示したものである。日本マラソン陣は76年モントリオール五輪では入賞者ゼロ、80年モスクワ五輪はボイコットのため不参加、そして84年ロサンゼルス五輪は女子マラソンの初開催ということもあり、ロサンゼルス五輪以降を示した。また、世界陸上にトップクラスの選手をマラソン日本代表として派遣したのは、91年世界陸上東京大会以降であるためオリンピックのみの戦績とした。

ソウル五輪までTrack & Field News誌の予想以上の成績を残した日本人選手は、ロサンゼルス五輪の宗猛選手のみである。かつて、日本陸連はマラソンのシーズン

を11月から3月の冬季期間中に限定した時期があった。ちょうど瀬古選手や宗兄弟が活躍したこの時期である。当時の日本男子マラソンは世界最強と言われ、好記録が続出したが、すべて冬季のレース成績であった。宗兄弟、瀬古、中山と世界トップレベルの選手がオリンピックに挑んだがメダル獲得には至らず、それどころか、戦前の予想を下回る成績に終わることがほとんどであり、夏季に開催されるオリンピックでのマラソンの難しさが浮き彫りになった。

## 2. 91年世界陸上東京大会へ向けての暑さ 対策研究

91年の世界陸上は東京での自国開催ということもあり、最も世界レベルで戦うことのできるマラソンに期待が集まった。日本陸連もマラソンの暑さ対策を重視し、

表1 米国Track & Field News誌によるオリンピックマラソン予想順位と結果

| 男子   |              |     |     |             |     |     |             |     |     |             |     |     |
|------|--------------|-----|-----|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|
| 予想順位 | 1984(ロサンゼルス) |     |     | 1988(ソウル)   |     |     | 1992(バルセロナ) |     |     | 1996(アトランタ) |     |     |
|      | 選手名          | 国名  | 結果  | 選手名         | 国名  | 結果  | 選手名         | 国名  | 結果  | 選手名         | 国名  | 結果  |
| 金    | de Castella  | AUS | 5位  | Salah       | DJI | 銅   | 谷口          | JPN | 8位  | Fiz         | ESP | 4位  |
| 銀    | 瀬古           | JPN | 14位 | Hussein     | KEN |     | Bordin      | ITA |     | Ceron       | MEX | 15位 |
| 銅    | Salazar      | USA | 15位 | 中山          | JPN | 4位  | Hussein     | KEN | 37位 | dos Santos  | BRA | 73位 |
| 4位   | Ikangaa      | TAN | 6位  | Wakihuri    | KEN | 銀   | Wakihuri    | KEN | 36位 | Juzdado     | ESP | 18位 |
| 5位   | Lopes        | POR | 金   | Ikangaa     | TAN | 7位  | Ikangaa     | TAN | 34位 | Lee         | KOR | 銀   |
| 6位   | 宗 猛          | JPN | 4位  | de Castella | AUS | 8位  | Mekonnen    | ETH |     | Garcia      | ESP | 53位 |
| 7位   |              |     |     | Treacy      | IRL |     | Garcia      | MEX |     | de Lima     | BRA | 47位 |
| 8位   |              |     |     | 新宅          | JPN | 17位 | Moneghetti  | AUS | 48位 | Kim         | KOR | 12位 |
| 9位   |              |     |     | Bordin      | ITA | 金   | Spence      | USA | 12位 | Aguta       | KEN | 52位 |
| 10位  |              |     |     | Peter       | GDR |     | Mokibe      | RSA | 25位 | 実井          | JPN | 93位 |

結果空白の選手は不出場および棄権を示す。

| 女子   |              |     |     |             |     |     |             |     |     |             |     |     |
|------|--------------|-----|-----|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|-------------|-----|-----|
| 予想順位 | 1984(ロサンゼルス) |     |     | 1988(ソウル)   |     |     | 1992(バルセロナ) |     |     | 1996(アトランタ) |     |     |
|      | 選手名          | 国名  | 結果  | 選手名         | 国名  | 結果  | 選手名         | 国名  | 結果  | 選手名         | 国名  | 結果  |
| 金    | Waitz        | NOR | 銀   | Mota        | POR | 金   | Panfil      | POL | 22位 | Machado     | POR | 7位  |
| 銀    | Benoit       | USA | 金   | Waitz       | NOR |     | Ondieki     | AUS |     | Yegorova    | RUS | 銀   |
| 銅    | Kristiansen  | NOR | 4位  | Martin      | AUS | 銀   | Mota        | POR |     | 有森          | JPN | 銅   |
| 4位   | Brown        | USA | 36位 | Ivanova     | URS | 9位  | Dorre       | GER | 5位  | Pippig      | GER |     |
| 5位   | Mota         | POR | 銅   | Khramenkova | URS |     | 山下          | JPN | 4位  | Dorre       | GER | 4位  |
| 6位   | Moller       | NZL | 5位  | Beurskens   | NED | 34位 | Smith       | USA | 12位 | Catuna      | ROM | 44位 |
| 7位   |              |     |     | Groos       | USA | 39位 | Kokowska    | POL |     | Ferrara     | ITA | 13位 |
| 8位   |              |     |     | Zhao        | CHN | 5位  | Kristiansen | NOR |     | Sobanska    | POL | 11位 |
| 9位   |              |     |     | 宮原          | JPN | 29位 | Yegorova    | EUN | 金   | 浅利          | JPN | 17位 |
| 10位  |              |     |     | Villeton    | FRA | 19位 | Wang        | CHN |     | Meyer       | RSA |     |

結果空白の選手は不出場および棄権を示す。

1) 北海道大学大学院教育学研究院応用力学 Laboratory of Human Performance & Fitness, Hokkaido University  
2) 世界陸上競技統計者協会 Association of Track and Field Statisticians



87年に夏のマラソンレースである北海道マラソンが開設され、世界陸上東京大会に向け多くの科学的データが日本陸連強化本部科学部（現、日本陸連科学委員会）によって集められた（札幌国際ハーフマラソンでも貴重なデータが集められている）。

当時の研究の中心は給水と身体冷却であり、給水量や飲料の温度、サーモグラフィーによるレース中の体表面温度、レース後の直腸温や外耳道温が調べられた（小林，1991；小林，1997）。研究結果から、魔法ビンを用いて飲料の保冷を図ることや、最も体表面温度が上昇している脚部を、頭部に加えて冷却することなどが現場サイドに提案された。その結果、世界陸上東京大会では、男子は谷口浩美選手が金メダル、女子は山下佐知子選手が銀メダルと、オリンピック・世界陸上合わせて68年メキシコ五輪での君原健二選手の銀メダル以来、23年ぶりのメダルとなった。また、翌年のバルセロナ五輪でも、森下広一選手と有森裕子選手がそれぞれ銀メダルを獲得し、男子では中山竹通（4位）・谷口（8位）両選手が、女子では山下選手がそれぞれ入賞を果たした。

表1よりご理解いただけると思うが、バルセロナ五輪では日本勢は男女共に戦前の予想を上回る好成績を残している（ご存知のように、金メダル候補の谷口選手は23km地点で転倒のアクシデントがありながらも8位に入賞した）。日本代表選手6名中5名が入賞以上というのは、前後の五輪の結果と比較すれば特筆すべき成績である。すなわち、当時の日本陸連強化本部科学部が提案したマラソンの暑さ対策が効を制したといえる。

### 3. バルセロナ五輪以降の暑さ対策

バルセロナ五輪以降、再び日本男子マラソンは苦境に立たされた。話は若干逸れるが、再び表1を見ていただきたい。女子と比較し、男子はバルセロナ五輪から著しく順位予想が困難となってきている。すなわち、男子ではオリンピックのマラソンで好成績を残すのは、決して強い選手とは限らない傾向を示す。好記録を持つ選手がオリンピックでは好成績を残せない。その背景には海外マラソンの賞金レース化が影響していると筆者は思っている（いささか非科学的かもしれないが）。

90年代に入り、アフリカ勢および南欧・中南米のラテン系ランナーが数多く台頭してきた。彼らの中の多くの選手が世界各地の賞金レースで好記録を残すが、その割には世界陸上やオリンピックでは今一つの感が拭えない。欧米での賞金レースがトップ選手の主戦場となった間、世界陸上やオリンピックなどの夏のマラソン対策は停滞しているのではないかと、90年代半ばより筆者は感じ始めた。しかし、それは一方では暑さ対策を進めることにより、日本人選手の世界陸上やオリンピックでの戦いを有利にすることができるのではないかと考え、筆者は日本陸連科学委員として、2002年の北海道マラソンよ

り、夏のマラソン対策を再開した。

### 4. 北海道マラソンでの研究成果

エリック・ワイナイナ選手はオリンピックのマラソンで3大会連続入賞している（アトランタ：銅、シドニー：銀、アテネ：7位）。また、北海道マラソンでは3度の優勝を誇る（札幌国際ハーフも2度優勝している）。まさに“暑さに強い選手”と言えるであろう。2002年より始まった北海道マラソンでの暑さ対策のテーマは、「暑さに強い要因は何であるか」であった。

かつて米国において、表1のロサンゼルス五輪で銅メダルに予想されたAlberto Salazar選手に対して、地元開催の大会での優勝を目指した暑さ対策研究が実施されたことがある（Armstrong et al, 1986）。残念ながら、その研究は実を結ばず、Salazar選手は大会当日、満足のいく結果を得ることはできなかった。この背景として、筆者はSalazar選手への暑さ対策研究が、体温や発汗量などの生理的指標を軽減することを求めた点にあると思っている。パフォーマンス研究の目的は、あくまでもパフォーマンスを向上させることであり、生理的指標を改善することではない（むしろ多くの場合、生理的指標の改善がパフォーマンス向上に結びつくのであるが）。したがって、筆者は北海道マラソンの暑さ対策では、競技成績が優秀であった者の生理的指標を探ることを第一とした。すなわち、優先するのは生理的指標ではなく競技成績である。

2002および2003年の測定結果より、成績優秀者は腎機能に関連する血中非蛋白性窒素化合物（尿酸、クレアチニン、尿素窒素）、血清電解質、血清浸透圧、および抗利尿ホルモンが良好あるいは特異な傾向を示すことに気づいた（石井ほか，2004；石井，2004）。

腎機能と夏季のマラソン成績、この両者の関連は考えてみれば非常にリーズナブルである。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）。したがって、腎機能が良好に保つことが、体液保持や貧血予防に有効であり、優れた競技成績に結びつくことは自明の理であった。

### 5. 新しい腎機能マーカー（シスタチンC）によって確認された腎機能の重要性

夏のマラソンで好成績を収めるには腎機能が重要との結論に達してはいたが、腎機能の判定に用いる非蛋白性窒素化合物は蛋白量の影響を受けることから、マラソン走行による筋損傷の影響を受けていることが考えられた。したがって、蛋白量の影響を受けることなく腎

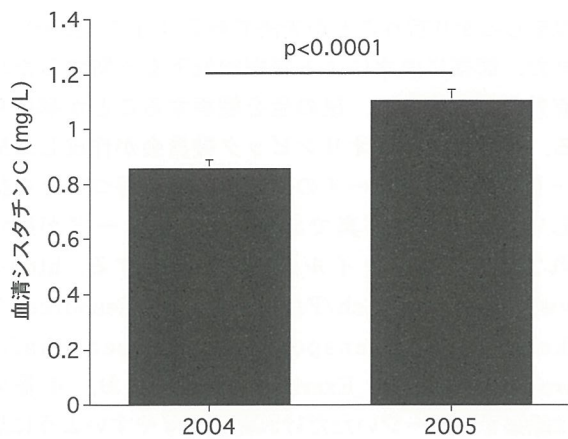


図1 2004年および2005年北海道マラソン完走後の血清シスタチンC

機能を判定しうる検査項目を探していた。ちょうどその頃、新しい腎機能マーカーである血清シスタチンCの存在を知った。シスタチンCは蛋白量や性差の影響が少ない安定した指標であるため、2004年の北海道マラソンより測定項目に加えた。2004年の北海道マラソンは気温17.5℃、相対湿度80%（スタート時）と夏のマラソンとしては涼しい環境であり、対象選手29名中4名に血清シスタチンCの基準値（0.53～0.95mg/L）を上回る者が認められ、その内、2名からは選手本人および指導者より体調不良が続いているとの相談を受けた。2005年の大会

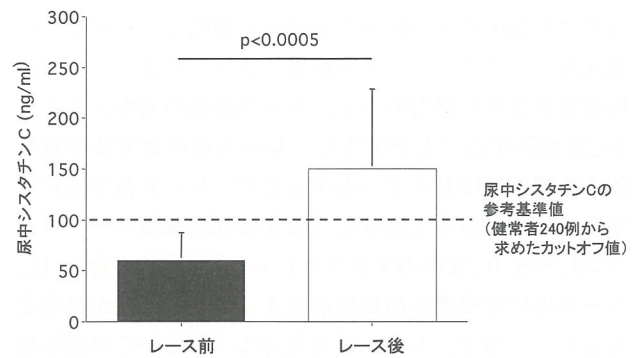


図2 2006札幌国際ハーフマラソン前後の尿中シスタチンC

は気温28.0℃、相対湿度45%（スタート時）と暑熱環境下でのレースとなった。ゴール後の血清シスタチンCも対象選手30名中21名に基準値以上が認められ、暑熱環境下でのマラソンが腎機能に負担となることが明らかとなった（図1）。しかしながら、選手名を明かすことはできないが、両年とも最も低値（基準値内）の血清シスタチンC濃度を示した者は、対象選手中男女別に最も競技成績が良かった選手であった（表2および3に2005年の結果を示した）（石井，2005）。

レース前の選手や指導者は非常にナーバスであるため、レース前の採血は実施していない。したがって、レース前後の変化から腎機能の状態を把握できてはいなかった。最近になって、国内に一社だけ尿中シスタチンCを

表2 2005北海道マラソン完走直後の男子選手における血液腎機能検査項目

| Subj. | 尿酸         | 尿素窒素        | クレアチニン      | シスタチンC      | 備考         |
|-------|------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| AA    | <u>7.1</u> | <u>21.0</u> | <u>1.11</u> | 0.92        | 優勝         |
| BB    | 6.0        | <u>25.1</u> | <u>1.20</u> | <u>1.17</u> |            |
| CC    | <u>8.0</u> | <u>23.9</u> | <u>1.27</u> | 0.89        | 一般参加で日本人3位 |
| DD    | 6.1        | <u>24.0</u> | <u>1.31</u> | <u>1.01</u> |            |
| EE    | <u>7.5</u> | <u>21.6</u> | <u>1.43</u> | <u>1.33</u> |            |
| FF    | 6.3        | <u>21.1</u> | <u>1.26</u> | 0.89        | 自己最高記録     |
| GG    | 5.4        | <u>23.0</u> | <u>1.26</u> | <u>1.01</u> |            |
| HH    | <u>8.0</u> | <u>24.1</u> | 0.98        | 0.93        | 自己最高記録     |
| II    | <u>7.1</u> | <u>24.8</u> | <u>1.21</u> | <u>1.21</u> |            |
| JJ    | <u>7.7</u> | <u>20.9</u> | <u>1.22</u> | <u>1.01</u> |            |

（斜体下線文字は基準値以上を示す）

表3 2005北海道マラソン完走直後の女子選手における血液腎機能検査項目

| Subj. | 尿酸         | 尿素窒素        | クレアチニン      | シスタチンC      | 備考       |
|-------|------------|-------------|-------------|-------------|----------|
| aa    | 4.9        | 17.8        | <u>0.97</u> | 0.75        | 自己最高記録   |
| bb    | 5.6        | <u>21.7</u> | <u>1.51</u> | <u>1.45</u> |          |
| cc    | 5.2        | <u>31.9</u> | <u>0.82</u> | 0.81        | 一般参加で4位に |
| dd    | 5.7        | <u>21.0</u> | <u>1.28</u> | <u>1.34</u> |          |
| ee    | 6.5        | 13.8        | <u>1.31</u> | <u>1.38</u> |          |
| ff    | 5.7        | <u>23.8</u> | <u>1.05</u> | 0.85        | 自己最高記録   |
| gg    | 5.1        | 18.7        | <u>0.90</u> | <u>0.98</u> |          |
| hh    | 4.3        | 17.0        | <u>0.93</u> | <u>1.09</u> |          |
| ii    | <u>7.6</u> | <u>29.1</u> | <u>1.46</u> | <u>1.15</u> |          |
| jj    | 6.6        | <u>24.8</u> | <u>1.62</u> | <u>1.52</u> |          |
| kk    | 4.7        | <u>27.7</u> | <u>1.18</u> | <u>1.05</u> |          |

（斜体下線文字は基準値以上を示す）



分析する臨床検査会社があることが判明し、2006年の札幌国際ハーフマラソンと北海道マラソンでは、日本陸連強化委員会との協力のもと、レース前後の尿中シスタチンCを検討することができた。レース前の値で基準値を超える選手はほとんどいなかったが、レース後は逆にほぼ全員が基準値を上回った（図2は札幌国際ハーフマラソン）。つまり、夏季のマラソン（ハーフマラソン含む）は、レース中に腎機能への負担が高まってくることが確実にあった。一方で、レース後も尿中シスタチンCが基準値（100ng/ml）内であった選手も存在し、その選手は競技成績も良好であった（石井、2006）。

## 6. 腎機能の状態を良好にするには

夏季のマラソンでは発汗により大量の水分が体内から失われるため、それ以上、水分を減らさないよう尿量が低下する。前述したが、激しい運動時には、尿酸、尿素窒素、およびクレアチニンといった非蛋白窒素化合物が生成される。これら非蛋白窒素化合物は体内から排泄したい物質であるので、腎機能が低下していると、その排泄能も低下する。したがって、まずは水分摂取に努めることである。また、これ以上、非蛋白窒素化合物を増加させぬよう、大量の蛋白質・アミノ酸の摂取は激しいトレーニングやレース後には控えるべきであろう。それよりも、筋グリコーゲンの回復に努めるべく、炭水化物の

摂取をしっかりと行うことが先決である（石井、2006）。

また、簡便に脱水による腎機能低下を予防するためには有効な手段として、尿の色を観察することが挙げられる。写真はスイスオリンピック委員会が作成した尿カードであるが、1～4の間に尿の色を保つことを提唱している（白黒写真であるので、尿カードが提示されているPDFファイルのURLを紹介する。[http://www.swissolympic.ch/PortalData/31/Resources//dokumente/spitzensport/sportwissenschaft/downloads/Heat\\_and\\_Exercise\\_d.pdf](http://www.swissolympic.ch/PortalData/31/Resources//dokumente/spitzensport/sportwissenschaft/downloads/Heat_and_Exercise_d.pdf)）。なお、4番の色は緑茶をイメージいただければ分かりやすいと思う。

筆者は昨年、日本実業団陸上競技連合の男子長距離夏季合宿（士別市）に帯同し、選手の尿の色と尿中シスタチンCの関連について調査した。その結果、練習前の尿の色が、スイスオリンピック委員会の尿カードの3番より薄かった者の中に、30kmロード走後の一番尿の尿中シスタチンCが基準値以上を示す者は存在しなかった（練習前より基準値以上を示していた者は皆無）。したがって、尿の色が緑茶より薄い状態を保つよう給水に配慮していれば、脱水による腎機能の低下はかなり予防できるのではないかと考えている（むろん、水だけを摂り過ぎると二次的脱水を生じるので、飲めば飲むほど良い、といったものではないことを追記しておく）。

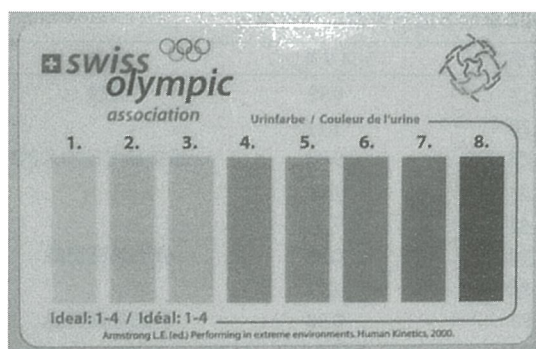


写真 スイスオリンピック委員会の尿カード

## 7. おわりに ～世界陸上大阪大会・北京五輪のマラソン暑熱環境～

筆者はスポーツの競技力サポート研究は、天気予報と同じというスタンスをとっている。すなわち、予報を知って何を準備するかの判断材料にしてもらう。何も持っていないより、情報を得たほうが失敗は減る、という単純な原理である。筆者は予報の精度を高めることに努めるだけであり、その情報を取捨選択するのは選手や指導スタッフに委ねている。したがって、提供した情報がどのように用いられているのか筆者は知る由もない。

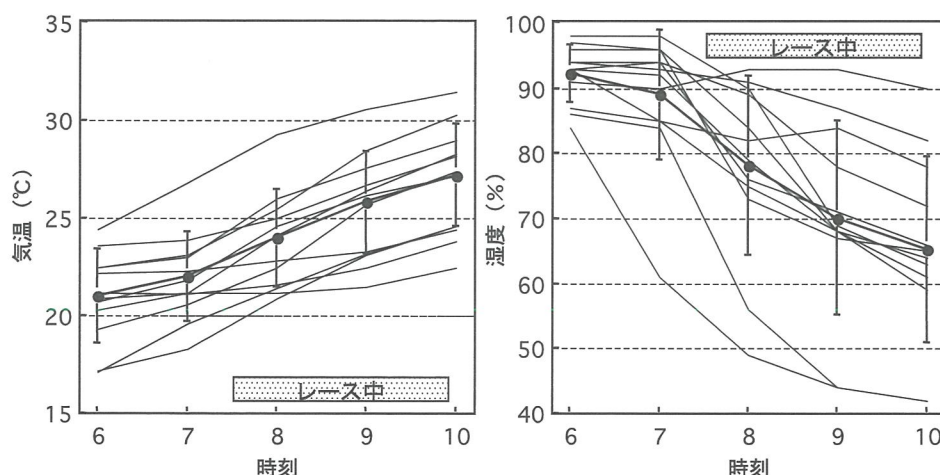


図3 北京の昨年（8/18-30）の気温と湿度（平均値は雨天を除いて作成）

アテネ五輪前頃より(財)日本オリンピック委員会をはじめ、多くの団体や紙面で夏季競技会での暑さ対策を報告する機会に恵まれるようになった。アテネ五輪終了後には、大会で非常に好成績を残した競技団体のスタッフより「大変、参考になった」との言葉をいただいた。また、2005年のとある大会においてアテネ五輪で非常に優秀な成績を収めたマラソン選手のコーチと話をすることがあり、「ちゃんと読んで参考にしていましたよ」との言葉をもらった。ご存知のようにアテネ五輪では、女子は野口選手が金メダル、土佐選手5位、坂本選手7位と全員入賞、男子は油谷選手5位、諏訪選手6位と3大会ぶり、しかも複数の入賞の好成績を残した。むしろ、好成績は選手や指導スタッフの努力の賜物であるが、「少しは貢献したかな」と胸を撫で下ろしている次第である。

大阪管区気象台より発表されている気象データより、過去5年間の男女マラソン開催日と同日(男子: 8/25, 女子: 9/2)の気象環境を、北京五輪組織委員会から発表されている気象データより、昨年の男女マラソン開催日と同日(女子: 8/17, 男子: 8/24)の前後1週間の気象環境をそれぞれ収集した。その結果、大阪世界陸上では、スタート時の気温 $26.0 \pm 2.3$  (24.0 ~ 28.6) °C : 湿度 $74.0 \pm 7.7$  (62 ~ 86) %, レース時中の気温 $27.7 \pm 2.9$  (21.0 ~ 31.6) °C : 湿度 $66.1 \pm 10.7$  (44 ~ 86) %が、北京五輪では、スタート時の気温 $22.9 \pm 2.5$  (18.3 ~ 29.3) °C : 湿度 $85.4 \pm 12.1$  (49 ~ 98) %, レース時中の気温 $25.7 \pm 2.7$  (20.9 ~ 31.5) °C : 湿度 $72.8 \pm 15.2$  (42 ~ 97) %が、それぞれ予想される(図3は北京五輪男子マラソンを想定した気温と湿度)。レースは両大会とも早朝であるので、場合によってはスタート時から30°Cを超え、レース中にさらに気温が上昇していくことも考えられる。しかしながら、暑さは日本マラソン陣にとっては有利に働くと思っている。

筆者は今年3月には日本陸連男子長距離マラソン研究会で、5月には大阪世界陸上マラソン打合せで、それぞれ選手やコーチに暑さ対策の報告を行った。現在、日本マラソン界はこれまでの失敗を教訓に、また、積極的に情報を収集するなどして暑さ対策を講じている。そのレベルは世界一であると思う。暑さを味方に大阪世界陸上ならび到北京五輪で、日本マラソン陣が快走することを期待している。

## 文 献

- 小林寛道 (1991) マラソンと暑さ対策 第3回世界陸上競技選手権にむけて. コーチングクリニック 5(6) : 12-17.
- 小林寛道 (1997) 高温環境とスポーツ種目別の暑さ対策 (3) マラソンの暑さ対策. 臨床スポーツ医学 14 : 753-762.
- Armstrong, LE et al (1986) Preparing Alberto Salazar for the heat of the 1984 Olympic Marathon. Physician Sportsmed 14 : 73-81.
- 石井好二郎ほか (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.
- Berne RM and Levy MN (2000) Principles of physiology. Mosby, St. Louis.
- 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.
- 石井好二郎 (2006) 陸連時報 科学委員会活動報告 腎機能と夏季のマラソン競技成績. 陸上競技マガジン 56(12) : 222-223.



# 世界トップレベルの男子110mおよび女子100m ハードル競走の競技特性

谷川 聡<sup>1)</sup>

## The characteristics of men's 110m and women's 100m hurdle races in world class

Satoru Tanigawa

### Abstract

The purpose of this study is to investigate the event characteristics of the World class men's 110-m and women's 100-m hurdle races. There are quite few studies of characteristics concerning the World class athletes in both events.

Four male and three female were filmed using digital video camera during the semi-final and final of the 2006 United States Championships, comparing to the data in World championships and Japanese athletes. The touchdown time was analyzed, including clearances of the men's fifth hurdle and the women's seventh hurdle.

The results were followed :

- ① The touch downtime of both events recorded almost the same time up to the 10th hurdle, though the running velocities were different. So, both events had the same race patterns and rhythms
- ② Considering to the distances between the hurdles, hurdle clearance distances were 40% for male and 36% for female
- ③ The heights of men's and women's hurdle are the same center of gravity heights of 189cm high for men and 153cm high for women. So, men's hurdle race is affected by the height of hurdle and women's by speed
- ④ When athletes run faster, the hurdle clearance distances would be shorten by touchdown phase distance in both events. The faster athletes run, the shorter hurdle clearance distances would be especially in touchdown phase distances in order to require the lengthening of the three interhurdle steps
- ⑤ The author estimated that hurdle height and clearance distance could make men's hurdling styles classified into three types, speed, Griffe and Tall-Power types

キーワード : 110m ハードル, 100m ハードル, タッチ  
ダウタイム, ハードリング距離, ハード  
リングスタイル, ハードリングロスタイム

Key words : 110mH, 100mH, touchdown time,  
Hurdling distance, Hurdling style

## 1. はじめに

セバスチャン・コー（イギリス）が18年間保持した1,000m世界記録を1999年、ケニアのノア・ヌネギが塗り替えたことで、一般的な男子距離種目の世界記録はすべてアフリカ系ランナーに占められることになった。し

かし、2006年にL・ショウ（中国）が、2004年アテネオリンピックでC・ジャクソン（イギリス）の世界記録（12秒91）に並び、2006年にさらに12秒88まで記録を更新し、短距離障害種目では、男子・女子ともに黒人以外が世界記録を持つ唯一の種目になった。特に、短距離においては遺伝的優位性が語られ、アフリカ系ランナーの優位性が語られる中で（E. Jon, 2000）、彼の世界記録樹立は他のプロスポーツ界においても大きなニュースになった。

今回は第11回 IAAF世界陸上競技選手権大阪大会を前に、スプリントハードル走である110mハードル（以下110mH）および100mハードル（以下100mH）の種目特性を探るため、大会で活躍すると期待される世界トップ選手のレースパターンを世界歴代選手との比較を織り交ぜながら比較検討する。男子110mHと女子100mHでは、ハードリングによって速度を低下させずに、どのようにハードルを越えるかが重要になる（McDonald and Dapena, 1991）。トップレベルであるほどハードル競技の特性が明らかになると思われるが、世界レベルのパフォーマンスを同時に検討したものは少ない（森田ら, 1994）。そこで、世界トップレベルの競技者を対象に、彼らのハードリング技術を探るため、ハードリング距離、ハードリングスタイルおよびハードリングロスタイムがどのようになっているかを検討する。

## 2. 方法

2006年全米選手権の男子110mHと女子100mHの準決勝および決勝レースにおいて、男子は5台目、女子は7台目の側方からデジタルビデオカメラ（60f/s）で撮影した。

被験者は、男子が1～3位および5位、女子が1～3位であった（表1）。男子は、2006年世界ランキング2位、5位、10位、16位で、女子は、2006年世界ランキング1～3位であり、世界トップレベルの競技者であった。

男子110mHと女子100mHの一定の距離のハードル間を4歩で要した時間から、10台のハードルを越えるごと

1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科 Institute of health and Sports Sciences, University of Tsukuba  
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1 筑波大学体育科学系  
Tel & Fax : 029-853-2644 E-mail : tanigawa@taiiku.tsukuba.ac.jp

表1 被験者

男子110mH

| 2006 U.S.Championships<br>Final Place | Subject          | Height(cm) | Weight(kg) | 2006 Season<br>Record | 2006 Season<br>Ranking |
|---------------------------------------|------------------|------------|------------|-----------------------|------------------------|
| 1st                                   | Dominique Arnold | 186        | 86         | 12.90                 | 2nd                    |
| 2nd                                   | Terrence Trammel | 178        | 74         | 13.02                 | 5th                    |
| 3rd                                   | Ryan Wilson      | 190        | 84         | 13.22                 | 10th                   |
| 5th                                   | David Payne      | 180        | 75         | 13.31                 | 16th                   |
| Average±S.D.                          |                  | 183.5±5.5  | 79.8±6.1   | 13.11±0.19            |                        |

女子100mH

| 2006 U.S.Championships<br>Final Place | Subject         | Height(cm) | Weight(kg) | 2006 Season<br>Record | 2006 Season<br>Ranking |
|---------------------------------------|-----------------|------------|------------|-----------------------|------------------------|
| 1st                                   | Virginia Powell | 175        | 64         | 12.48                 | 3rd                    |
| 2nd                                   | Damu Cherry     | 163        | 59         | 12.43                 | 2nd                    |
| 3rd                                   | Michell Perry   | 172        | 58         | 12.48                 | 1st                    |
| Average±S.D.                          |                 | 170±6.2    | 60.3±3.2   | 12.46±0.03            |                        |

のタッチダウンタイムを用いたレース分析およびハードルを越える距離として踏切側距離と着地側距離のハードリング距離を算出した。また、タッチダウンタイムおよびハードリング距離を過去の研究などから得られた世界歴代上位選手および日本トップレベルのデータとの比較をおこなった。それにより、男女世界トップレベルのハードル競技の特性を探り、さらに競技レベルによる技術の違いを検討した。

### 3. 結果および考察

#### 3.1 男子110mHおよび女子100mHの競技特性

##### (1) タッチダウンタイムとレースパターン

表2は、男子110mHと女子100mHの世界歴代10傑を示している。表3は、男女世界記録保持者を含むトップ選手のレースのタッチダウンタイムを、図1は男子の競技規則から見た世界トップレベルのタッチダウンタイムモデルを示したものである。ほとんどの競技者がスタート1台目までを8歩、ハードル間を4歩、その後ゴールまではほぼ同じ歩数（男子7歩、女子6歩）になるため、男女ともに記録向上にはいかにピッチを高めるかが重要な要素になる。すなわち、どれだけ正確にすばやく刻んで走ることができるかが勝敗の分かれ道になる。女子は、

スタートから第1ハードルまでの距離（男子13m72/女子13m00）およびハードル間の距離（男子9m14/女子8m50）が男子より短い、男女ともに第1ハードルまでを2秒5～6、1インターバルを1秒0ほどでクリアしていた。1991年の東京世界選手権のレース分析において森田（1994）が述べたように、本被験者の競技レベル高いことで、レース後半まで高い速度を維持していることが観察される。したがって、男子と女子は速度が異なるものの、最終ハードルからゴールまでのタイム以外は、おおよそ同じリズムで10台を駆け抜けていることになる。最終的な記録は女子が、男子より0秒5ほど速いタイムになっているのは、女子の方がレース後半に速度は低下がやや抑えられ1インターバルの平均タイムが短く、10台目のハードルからゴールまでの距離（男子14m02/女子10m50）がかなり短いことによると推察される。

図2は、2006年全米選手権の男女決勝レース上位選手のタッチダウンタイムから3台ごとにレースパターンを示している。どの選手も中盤（4～6台）に速度を増し、後半（7～10台）に速度を低減させていた。すなわち、男女ともに13秒台になると中盤に速度増加がみられるといわれる報告（宮下，1993；川上，2003）と同様に、男女とも同様の速度曲線を描くことが示された。



表2 世界歴代10傑（下線は現役選手）

| 110mH |                         |             |                   | 100mH |                           |             |                   |
|-------|-------------------------|-------------|-------------------|-------|---------------------------|-------------|-------------------|
| Rank  | Name                    | Nationality | Best Record       | Rank  | Name                      | Nationality | Best Record       |
| 1     | <u>Xiang Liu</u>        | CHI         | 12.88             | 1     | <u>Yordanka Donkova</u>   | BUL         | 12.21             |
| 2     | <u>Dominique Arnold</u> | USA         | 12.90             | 2     | <u>Ginka Zagorcheva</u>   | BUL         | 12.25             |
| 3     | <u>Colin Jackson</u>    | GBR         | 12.91             | 3     | <u>Ludimila Engquist</u>  | RUS         | 12.26             |
| 4     | <u>Roger Kingdom</u>    | USA         | 12.92(12.87:wind) | 4     | <u>Gail Devers</u>        | USA         | 12.33(12.29:wind) |
| 4     | <u>Allen Johnson</u>    | USA         | 12.92             | 5     | <u>Grazyna Rabszty</u>    | POL         | 12.36             |
| 6     | <u>Reonald Nehemiah</u> | USA         | 12.93(12.91:wind) | 6     | <u>Joanna Hayes</u>       | USA         | 12.37(12.35:wind) |
| 7     | <u>Jack Pierce</u>      | USA         | 12.94             | 7     | <u>Vera Komisova</u>      | RUS         | 12.39             |
| 8     | <u>Ladji Doucoure</u>   | FRA         | 12.97             | 8     | <u>Natalya Grigoryev</u>  | UKR         | 12.39             |
| 9     | <u>Mark Crear</u>       | USA         | 12.98             | 9     | <u>Bettine Jahn</u>       | GDR         | 12.42             |
| 10    | <u>Anier Garcia</u>     | CUB         | 13.00             | 10    | <u>Anjanette Kirkland</u> | USA         | 12.42             |
| 10    | <u>Anthony Jarrett</u>  | USA         | 13.00             |       |                           |             |                   |
| 10    | <u>Dayron Robles</u>    | CUB         | 13.00             | 11    | <u>Michelle Perry</u>     | USA         | 12.43             |
|       |                         |             |                   | 14    | <u>Dana Cherry</u>        | USA         | 12.44             |
|       |                         |             |                   | 18    | <u>Michell Powell</u>     | USA         | 13.48             |
| 13    | <u>Terrence Trammel</u> | USA         | 13.01             |       |                           |             |                   |

表3 世界トップ選手のタッチダウンタイム

| 110mH            | 1st  | 1-2H | 2-3H | 3-4H | 4-5H | 5-6H | 6-7H | 7-8H | 8-9H | 9-10H | 10H-Finish | Goal  | 1インターバル平均タイム |
|------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------------|-------|--------------|
| Xiang Liu        | 2.56 | 1.02 | 1.00 | 0.98 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 1.00 | 1.03 | 1.02  | 1.33       | 12.88 | 1.00         |
| Dominique Arnold | 2.53 | 1.05 | 1.02 | 0.98 | 0.93 | 0.97 | 0.98 | 0.98 | 1.05 | 1.03  | 1.37       | 12.90 | 1.00         |
| Allen Johnson    | 2.54 | 1.02 | 1.01 | 0.98 | 0.99 | 0.98 | 0.98 | 1.03 | 1.03 | 1.02  | 1.37       | 12.95 | 1.00         |
| Terrence Trammel | 2.49 | 1.05 | 1.02 | 0.98 | 0.95 | 1.00 | 1.02 | 1.02 | 1.07 | 1.05  | 1.38       | 13.02 | 1.02         |

(s)

| 100mH             | 1st  | 1-2H | 2-3H | 3-4H | 4-5H | 5-6H | 6-7H | 7-8H | 8-9H | 9-10H | Finish | Goal  | 1インターバル平均タイム |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|--------|-------|--------------|
| Yordanka Donkova  | 2.58 | 1.01 | 0.97 | 0.98 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.96 | 0.97 | 1.01  | 1.06   | 12.38 | 0.98         |
| Ludimila Engquist | 2.58 | 0.99 | 0.97 | 0.96 | 0.94 | 0.94 | 0.95 | 0.97 | 0.98 | 1.00  | 1.00   | 12.28 | 0.97         |
| Gail Devers       | 2.33 | 1.02 | 0.93 | 1.00 | 0.99 | 0.95 | 0.99 | 0.98 | 0.97 | 0.98  | 1.11   | 12.37 | 0.98         |

(s)

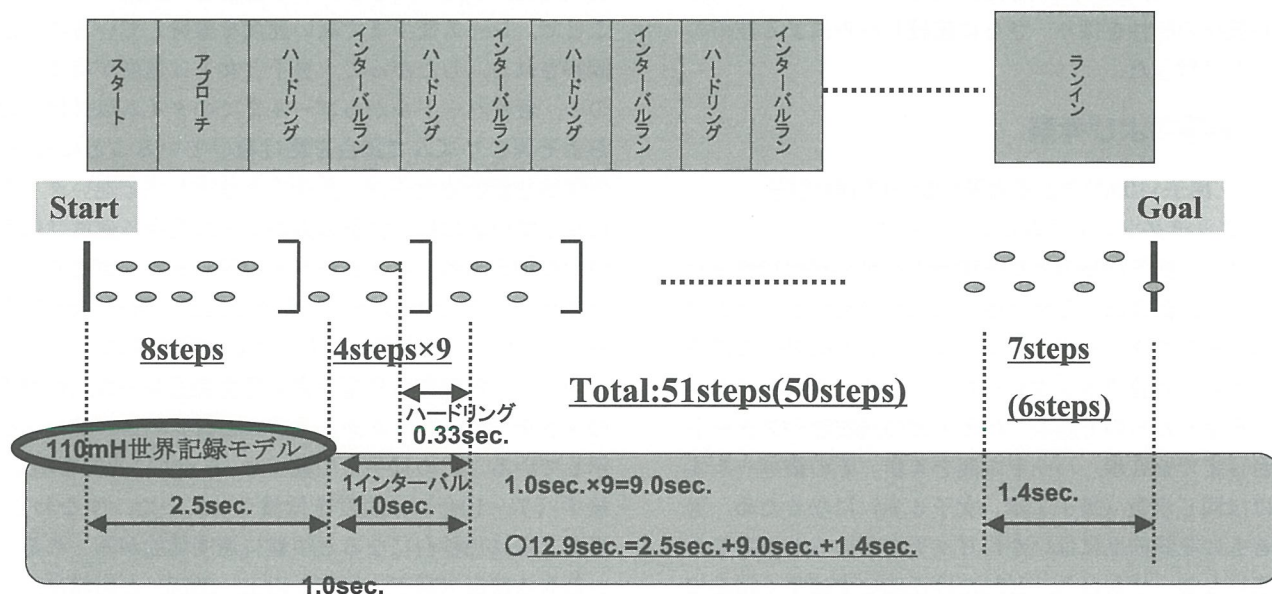
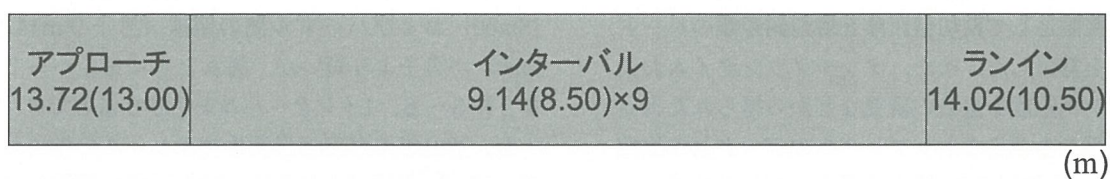


図1 110mH (100mH) の競技規則および動きの観点からみた構造と世界トップタイムモデル

図3は、2006年全米選手権の決勝レース男女優勝者の速度変化を示したものである。1台目から2台目の1インターバル速度は、すでにレース中最大速度（4台目から5台目付近）のおよそ95%の速度が達成されていたことから、100mよりも急速な加速をおこなうことが理解される。その後1台目以降は4台目まで加速が小さく続くが、最終区間の速度は男女とも最大速度の約95%で、期せずして第1ハードルの速度レベルまで戻ることになる。したがって、1台目まで速く入っていき、いかにハードル間で速度を低下させないかがレース展開において鍵となると考えられる。

## (2) ハードルの高さ

世界記録の平均速度を100mの世界記録の平均速度と比較すると、女子100mH（12秒21）は110mH（12秒88）の平均速度に対しておよそ96%であるが、女子100m（10秒49）は男子（9秒77）の平均速度に対しておよそ93%であった（表4）。筆者は、ハードルの高さの課題をなくすために、実験的に、正規距離（男子9m14/女子8m50）の区間に男子3m50、女子3m00の間隔ラインをひいて10区間づくり、ハードルと同様に、ライン間をまたがせながらスタートからゴールまで110mおよび100mを走らせた。男子は、14秒前半の記録を持つ選手でも110mを12秒台で走ることができるが、女子は13秒後半の記録を持つ選手であっても、100mを12秒台で走ることとはできなかった。これは、男子はハードルの高さが低ければ、かなり記録が高くなることが予測されることを示唆していると考えられる。宮下（2006）は、青年男

子の身体重心高が身長55%だとすれば、110mHの高さ106.7cmは身長189cmであり、女子の身体重心高が身長54%だとすれば、100mHの高さ85cmは身長153cmの身長であることから、100mHにおいて女子選手の場合、ほとんどが自分の身体重心よりも低いハードルを越えていることになる指摘した。また、Norbert（2000）は、女子のハードルの高さが男子と比較し相対的に低いため、100mのスプリント能力が大きく影響しすぎており、障害走という競技特性を出せていないとも述べている。これらのことから、世界一流選手においては、男子はハードルの高さが、女子においてはスピードが大きな要素になると推測される。

表5および6は、2006年全米選手権110mHと100mHの準決勝および決勝のハードリング距離と踏切側距離および着地側距離、さらに1988年オリンピックトライアルの23名の平均距離を示したものである。1インターバル（9m14および8m50）において、ハードリング距離を算出すると、男子は3m70で40%、女子は3m10で36%であり、男子のハードリング距離は女子よりも大きな部分を占めていた。すなわち、ハードリング距離が大きくなっているのは、男子では相対的にハードルが高いためだと考えられる。また、ハードルは10台あることから、合計距離はかなりの差異が生じると推察される。そこで、以下に男女のハードリングをそれぞれ検討する。

## 3.2 ハードリング

### (1) ハードリング距離

#### ①男子

各選手とも決勝において記録を伸ばすとともに、第4ハードルから第5ハードルにおいて1インターバルタイムが向上していた。表5が示すように、1インターバルタイムが向上すると、いずれの選手も踏切側距離をほぼ

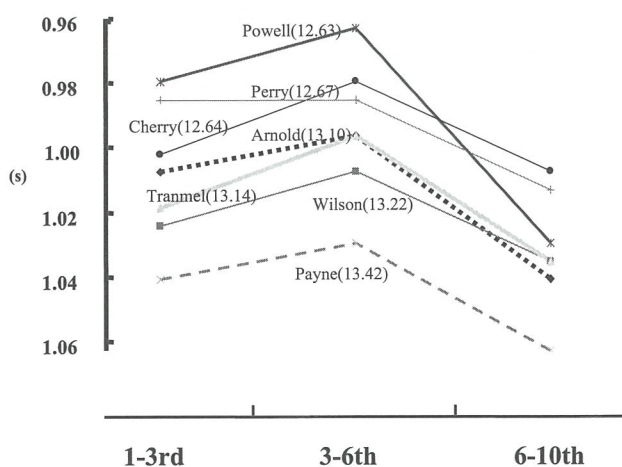


図2 2006全米選手権決勝レースのタッチダウンタイムからみたレースパターン

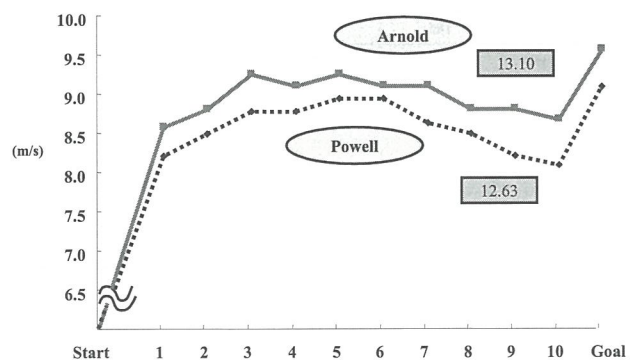


図3 男女優勝者の速度変化

表4 男女世界記録の平均速度と相対速度

|              | 男子      |           | 女子      |           | 男子に対する女子の相対速度 |
|--------------|---------|-----------|---------|-----------|---------------|
|              | 世界記録(s) | 平均速度(m/s) | 世界記録(s) | 平均速度(m/s) |               |
| 110mH/100mH  | 12.88   | 8.54      | 12.21   | 8.19      | 95.9%         |
| 100m         | 9.77    | 10.24     | 10.49   | 9.53      | 93.1%         |
| 100mに対する相対速度 | 83.4%   |           | 85.9%   |           |               |



表5 2006年全米選手権および1998年オリンピックトライアルにおけるハードル距離, 踏切側距離, 着地側距離および1インターバル速度

| 2006 U.S.Championships<br>Final Place | Subject | Height    | Weight   | Heat      | Record    | Hurdle clearance(5th) | attack phase | touchdown phase | velocity(4th-5th) |
|---------------------------------------|---------|-----------|----------|-----------|-----------|-----------------------|--------------|-----------------|-------------------|
|                                       |         | (cm)      | (kg)     |           | (s)       | (cm)                  | (cm)         | (cm)            | (m/s)             |
| 1st                                   | Arnold  | 186       | 86       | Final     | 13.10     | 362                   | 230          | 132             | 9.28              |
|                                       |         |           |          | SemiFinal | 13.15     | 377                   | 230          | 147             | 9.12              |
| 2nd                                   | Tranmel | 178       | 74       | Final     | 13.14     | 373                   | 233          | 140             | 8.97              |
|                                       |         |           |          | SemiFinal | 13.25     | 380                   | 236          | 144             | 8.83              |
| 3rd                                   | Wilson  | 190       | 84       | Final     | 13.22     | 357                   | 223          | 134             | 9.12              |
|                                       |         |           |          | SemiFinal | 13.31     | 375                   | 240          | 135             | 8.97              |
| 5th                                   | Payne   | 180       | 75       | Final     | 13.42     | 364                   | 215          | 149             | 8.83              |
|                                       |         |           |          | SemiFinal | 13.57     | 370                   | 215          | 155             | 8.69              |
| Average±S.D.                          |         | 183.5±5.5 | 79.8±6.1 | Final     | 13.22±0.1 | 364±6.7               | 225±8.0      | 139±7.6         | 9.0±0.2           |
|                                       |         |           |          | SemiFinal | 13.32±0.2 | 376±4.2               | 230±11.0     | 145±8.3         | 8.9±0.2           |

| 1988 U.S.Olympic Trials | Subject | Height(cm) | Weight(kg) | Record      | Average record | Hurdle clearance(5th) | attack phase | touchdown phase | velocity(4th-5th) |
|-------------------------|---------|------------|------------|-------------|----------------|-----------------------|--------------|-----------------|-------------------|
|                         |         |            |            |             | (s)            | (cm)                  | (cm)         | (cm)            | (m/s)             |
| Average±S.D.            | 23      | 186±0.05   | 81±7.0     | 12.93-13.87 | 13.78±0.51     | 362±0.13              | 190±0.09     | 158±0.09        | およそ8.7(7th)       |

表6 2006年全米選手権および1998年オリンピックトライアルにおけるハードル距離, 踏切側距離, 着地側距離および1インターバル速度

| 2006 U.S.Championships<br>Final Place | Subject | Height  | Weight   | Heat      | Record     | Hurdle clearance(7th) | attack phase | touchdown phase | velocity(6th-7th) |
|---------------------------------------|---------|---------|----------|-----------|------------|-----------------------|--------------|-----------------|-------------------|
|                                       |         | (cm)    | (kg)     |           | (s)        | (cm)                  | (cm)         | (cm)            | (m/s)             |
| 1st                                   | Powell  | 175     | 64       | Final     | 12.63      | 306                   | 215          | 91              | 8.63              |
|                                       |         |         |          | SemiFinal | 12.70      | 303                   | 191          | 112             | 8.34              |
| 2nd                                   | Cherry  | 163     | 59       | Final     | 12.64      | 326                   | 179          | 147             | 8.48              |
|                                       |         |         |          | SemiFinal | 12.58      | 316                   | 184          | 132             | 8.78              |
| 3rd                                   | Perry   | 172     | 58       | Final     | 12.67      | 302                   | 201          | 101             | 8.78              |
|                                       |         |         |          | SemiFinal | 12.66      | 304                   | 202          | 102             | 8.63              |
| Avergge±S.D.                          |         | 170±6.2 | 60.3±3.2 | Final     | 12.65±0.02 | 311±12.9              | 198±18.1     | 113±29.9        | 8.63±0.2          |
|                                       |         |         |          | SemiFinal | 12.65±0.06 | 308±7.2               | 192±9.1      | 115±15.3        | 8.58±0.2          |

| 1988 U.S.Olympic Trials | Subject | Height  | Weight | Record      | Average record | Hurdle clearance(4th) | attack phase | touchdown phase | velocity(3th-4th) |
|-------------------------|---------|---------|--------|-------------|----------------|-----------------------|--------------|-----------------|-------------------|
|                         |         | (cm)    | (kg)   |             | (s)            | (cm)                  | (cm)         | (cm)            | (m/s)             |
| Average±S.D.            | 9       | 167±0.1 | 56±5.0 | 12.88-13.34 | 13.04±0.15     | 3.19±0.15             | 181±0.03     | 155±0.11        | およそ8.5            |

表7 110mHトップアスリートのハードル距離, 踏切側距離, 着地側距離および1インターバル速度

| Subject        | Height | Weight |             | Record                 | Hurdle clearance | attack phase | touchdown phase | velocity(6th-7th) |
|----------------|--------|--------|-------------|------------------------|------------------|--------------|-----------------|-------------------|
|                | (cm)   | (kg)   |             | (s)                    | (cm)             | (cm)         | (cm)            | (m/s)             |
| Allen Johnson  | 179    | 75     | 2006        | 13.59                  | 390(5th)         | 220          | 170             | 8.83(4th-5th)     |
|                |        |        | (Mann,1997) | 実験                     | 359(4th)         | 222          | 137             | 9.14(3th-4th)     |
|                |        |        | 1996        | 12.92(Atlanta Olympic) |                  |              |                 | 9.23(3th-4th)     |
| Collin Jackson | 182    | 75     | (Coh, 2003) | 13.47                  | 367(4th)         | 209          | 158             | 9.11(4th-5th)     |
| Jack Pierce    | 185    | 81     | (森田, 1994)  | 13.06                  | 358(7th)         | 199          | 159             | 9.14(6th-7th)     |
| Greg Foster    | 191    | 88     | (森田, 1994)  | 13.06                  | 375(7th)         | 225          | 150             | 9.33(6th-7th)     |

変えずに, もしくは小さくしながら着地距離を小さくして, ハードリング距離を3 m70以下に短縮していた。これは, 1988年のオリンピックトライアル時の選手平均より踏切側距離が大きく, 着地側距離が小さかった。一方, 表7は, 全米に出場したが不調のため準決勝で敗退したA・ジョンソンの準決勝と実験時(1997)のものを示している。準決勝のものを実験時(1997)のものと比較すると, 1インターバル速度は低く, 着地側距離はかなり大きかった。さらに表8は, 富田(1997)が, 学生記録を樹立した選手を対象に2年間の縦断的研究をおこなったものである。1インターバル速度が高くなった要因として, 踏切側距離が大きくなり, 着地側距離が短くなったことを報告した。また, ハードリング距離(3 m90)

は世界一流競技者と比較して踏切側距離が同じであるものの, 着地側距離が10cm以上大きかった。

Mcdonald(1991)は, 世界一流男子選手を分析し, ハードルを低い軌道で超えることが重要であるとしている。これまでの研究と今回の結果から, 相対的にハードリング距離が大きい男子110mHは, 13秒台から13秒前半のレベルでは, インターバル走速度が高まるほど, 着地側距離を小さくしながら, ハードリング距離を短縮し, 低い軌道でハードルクリアランスをおこなう技術的能力が必要になると考えられた。これは, インターバルをより速く走るために1インターバル内の3歩のストライド合計距離を大きくしていることが推察される。縦断的研究がほとんどなされていないため, 今後, 縦断的に記録向

表8 元日本学生記録保持者のハードル距離、踏切側距離、着地側距離および1インターバル速度の縦断的变化

| Subject | Height<br>(cm) | Weight<br>(kg) |       | Year's best record<br>(s) | Hurdle clearance<br>(cm) | attack phase<br>(cm) | touchdown phase<br>(cm) | velocity(3th-4th)<br>(m/s) |
|---------|----------------|----------------|-------|---------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------------|
| M.T.    | 178            | 80             | 1995年 | 14.07                     | 390(3th)                 | 217                  | 173                     | 8.2                        |
|         |                |                | 1996年 | 13.89                     | 389(3th)                 | 227                  | 162                     | 8.3                        |

表9 日本インカレ優勝者のハードル距離、踏切側距離、着地側距離および1インターバル速度

| Subject | Height<br>(cm) | Weight<br>(kg) |       | Record<br>(s) | Hurdle clearance<br>(cm) | attack phase<br>(cm) | touchdown phase<br>(cm) | velocity<br>(m/s) |
|---------|----------------|----------------|-------|---------------|--------------------------|----------------------|-------------------------|-------------------|
| S.K.    | 162            | 50             | 2006年 | 13.67         | 320(4th)                 | 187                  | 134                     | 7.9(3th-4th)      |
|         |                |                |       |               | 281(7th)                 | 174                  | 108                     | 7.9(6th-7th)      |

上に伴うハードリング距離の変化を検討する必要がある。  
う。

## ②女子

女子の記録は決勝においては、1インターバルタイムが向上したものと低下したものがいた。3選手は、1988年オリンピックトライアルの9名の平均と比較して、ハードリング距離はやや小さく、踏切側距離は2m前後で大きく、V・パウエルは踏切側が70%に近い値であった。女子100mHの場合、ハードリング距離が短くなれば、インターバルのストライドを広げて走らなければならないためハードリング距離を極端に小さくすべきではないといわれ(Mcdonald and Dapena, 1991)、男子のハードリング技術は女子ハードラーには当てはまらなると指摘されている(宮下, 2006)。しかし、世界一流選手においては、男子と同様に、着地側距離を短縮しながら、ハードリング距離を小さくする傾向が示された。

表9は、2006年日本インカレ優勝者の4台目および7台目のハードリング距離である。ハードリング距離はオリンピックトライアルのデータとほぼ変わらないが、着地側距離が小さくなっている。しかし、7台目において速度が変わらなくても大きくハードリング距離が変化している。これは、この選手の技術的な習熟度が低いことから、ハードリング距離にばらつきが生じていると推察されるが、100mHの場合、1m以内の着地側距離も見られることから、ハードル高が低いために極端に言えばどのような位置にでも接地が可能であること示しているとも考えられる。しかし、レベルが上がるほど、各歩を正確にすばやく刻むことが大切であると思われる。

以上のように、男女のレベル差による違いはある程度明らかになったが、世界一流選手において男子と女子は同様に、着地側距離を短縮しながら、ハードリング距離を小さくする傾向が示された。検討しているレースおよび区間がやや異なることから、今後、同じレース全体で10台のハードリング距離を対象に検討することが必要となろう。

世界一流競技者においては、男女ともにハードリング距離を短縮するのに積極的な着地がおこなわれていることが推察されるが、男子においてはハードル高さによる

ハードリングスタイルを、女子において100mと100mHのタイム差であるハードリングロスタイムを以下に検討した。

## (2) ハードリングスタイル～男子110mH～

Wild (1998) は、110mHの選手を対象に、身長と脚の長さ、疾走速度などからハードリングスタイルが決定されることを、40名の高いレベルの選手を次の式を用いて分析した。

$$t = (s - l (\cos a + 1)) / v$$

t : 「アタック」局面 (踏切からハードルを越える地点まで) での振り上げ脚の運動に必要とされる時間

v : 選手の身体重心水平速度

s : 踏切位置からハードルまでの距離

l : 脚の長さ

a : 脚が地面を離れる際のキック脚角度

このことから、表10のように、一流競技者には身長とスプリント能力によりスタイルが決定することを示唆し、スウィングスタイル・ランニングスタイル・キックスタイルに分類した。スウィングスタイルは長身でスピードがあり、積極的な振り上げ動作で、ハードルを越えるときは膝が曲がっていること、ランニングスタイルは、最適な身長とスピードを持つハードラーがハードルを越えるとき脚が完全に伸ばされ、ランニング姿勢に近い動作であること、キックスタイルは、踏切位置が相対的に遠いためキックを強調し、振り上げ脚が伸ばされてその姿勢で固定されていることを示した。

また、谷川 (2006) は、12秒台選手の身長からハードリングスタイルを3つに分類した (表11・図4: 詳細はスプリント研究第16巻)。これらは、Wild (1998) と同じようにある程度、身長による分類をしているが、12秒台の競技者になると、表のようにハードリングがさらに特徴的になっているものと考えられる。すなわち、男子の場合、ハードルの高さとインターバルが規定されているために、12秒台まで競技レベルが向上すると、身長もしくは身体重心高によってハードリングスタイルがはっきり現れてくると推察される。

## (3) ハードリングロスタイム～女子100mH～

女子ハードルにおいては、100mHと100mの記録の差



表10 身長と100mタイムからみた110mHのハードリングスタイル

| 身長/100mタイム | 10秒4以上 | 10秒5-10秒9 | 11秒0以上 |
|------------|--------|-----------|--------|
| 187cm以上    | スウィング  | スウィング     | ランニング  |
| 186-177cm  | ランニング  | ランニング     | —      |
| 176cm      | キック    | キック       | —      |

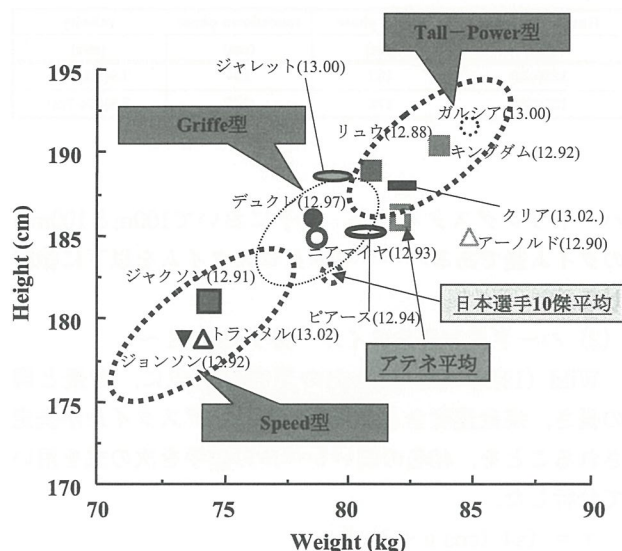


図4 世界歴代10傑選手の身長と体重およびハードリング型

(ハードリングロスタイム) からハードル技術に関して以下に検討する。

男女ハードルの世界記録の平均速度を100mの世界記録の平均速度との相対値でみると、女子の方がよりハードルにおける相対速度が高いことが示された(表4)。表12はオリンピックで100mと100mHで二冠になっているG・ディバーズ(米)の100mと100mHの記録の年次推移である。1999年、10秒94のとき初めて100mHにおいて12秒3台となる12秒37で走り、2000年100mで10秒99のときに自己記録となる12秒33を記録した。その差は1秒34である。しかし、それまで1992年に100mを10秒82で走ったが、ハードルでは12秒55、翌年も100mを同タイムで走ったが、12秒46であった。女子一流競技者は、ハードルによるロスタイムは1秒-1秒7と言われているが(Stepanov, 2001)、G・ディバーズはその範囲内である。しかし、世界記録保持者のY・ドンコワ(ブルガリア)は、100mを11秒27で、100mHを12秒21走りわずか0秒94秒、L・エンクイスト(ソビエト)は、100mが11秒21、100mHが12秒28と1秒07である。L・エンクイストは100mを11秒04で走った1992年には、12秒36とややタイムを落としている。一方で、インターバル間のピッチを見てみると、G・ディバーズは100mの時も5 f/s以上と非常に高いのに対して、100mH時は5.77f/sでインターバルを刻み、高いピッチでインターバルを走っている。一方、Y・ドンコワやL・エンクイストは、ハードル間のピッチは4.90-5.05f/sであったが、表に示すように、分析試技とレースは異なるもののともに区間タイ

表11 世界歴代10傑選手のハードリングスタイル

|                             | 踏切局面                                                    | 空中局面           | 着地局面                                |
|-----------------------------|---------------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------|
| <b>Speed型</b><br>(100m10秒台) | ランニング姿勢のまま上体を前傾                                         | リラックスしながら落下を待つ | ハードリングの軌跡にあわせて振り下ろし待つ<br>上体の前傾姿勢を維持 |
| <b>Griffe型</b>              | 起し回転早期にリード脚を屈曲し開放                                       | 腰のディップ         | ランニング姿勢へのスムーズな移行                    |
| <b>Tall-Power型</b>          | 踏切脚: スプリント走のような脚全体のスウィング動作<br>上体の前方への突っ込みとリード脚を勢い良く振り出し | 腰と上体の大きいディップ   | リード脚を積極的に振り下ろし<br>上体を同時に起こす         |

○谷川(2006)スプリント研究第16巻pp. 24-40より引用

ムはほぼ同じで走っており、ハードリングタイムの違いが考えられる。

1991年の東京世界陸上で世界トップ競技者を森田ら(1994)が分析した女子の12秒中盤の競技者から13秒台までの競技者においては、インターバルランニングの速度を高めることが必要であることが示された。しかし、女子の世界記録から換算しても、タッチダウン区間タイムは、男子よりも速い平均0秒95前後で走らなくてはならないこと、今回の事例から1インターバルにおけるハードリング距離の占める割合は男子より小さく、インターバルよりもハードリングにおいてすばやい動きを世界レベルのスプリント能力だけでなく磨かななくてはならない。したがって、宮下(2006)が指摘したように、スプリントよりかなり高いピッチをインターバルに合わせて刻む特殊な走技術が必要とされ、ディップを深くしないこと、振り上げ脚がハードルを越える際に膝が曲げられていること、抜き足の回外を大きくしないことなどにより、バランスを崩さぬように姿勢を変えずにハードルを超えていき、リズムを刻むことが要求される。

以上のことから女子も12秒台前半レベルまでスピードが高まると、インターバルランニング技術もしくはハードリング技術が同程度高まらなくては、ハードリング距離が大きくなってしまいうため、1インターバル内の3歩のストライド合計距離が小さくなり、インターバルを走りにくくしてしまうと考えられる。したがって、世界一

表12 G・ディバースの各年の100mと100mHの記録とその差

| Year | 100m  | 100mH | Difference |
|------|-------|-------|------------|
| 1988 | 10.98 | 12.61 | 1.63       |
| 1989 |       |       |            |
| 1990 |       |       |            |
| 1991 | 11.29 | 12.48 | 1.19       |
| 1992 | 10.82 | 12.55 | 1.73       |
| 1993 | 10.82 | 12.46 | 1.64       |
| 1994 | 11.12 |       |            |
| 1995 | 11.04 | 12.61 | 1.57       |
| 1996 | 10.83 | 12.62 | 1.79       |
| 1997 | 10.88 |       |            |
| 1998 |       |       |            |
| 1999 | 10.94 | 12.37 | 1.43       |
| 2000 | 10.99 | 12.33 | 1.34       |

流の男子および女子ハードル選手はスプリント能力を高めるだけでなく、インターバルの距離とハードルの高さに合致するような技術を高めていることの必要性を示唆している。

#### 4. まとめ

男子110mHおよび女子100mHの世界一流選手の競技特性として、以下のことが示された。

- ① スタートからゴールまでほぼ同じ歩数で走るため、ピッチをいかに高めるかが重要である
- ② 最終ハードルからゴールまでの区間以外のスタートから10台目接地までは、ほぼ同じタイムであり同じリズムを刻んでいる
- ③ 大きな加速局面は1台目ハードルまでであり、その後いかに速度を低下させないかが重要である
- ④ 速度の低下は、ハードリングによって生じるが、スプリント走速度および身体重心の高さからみると、男子はハードルの高さが、女子はスピードが競技特性を生んでいる
- ⑤ 男子、女子ともに、インターバル走速度が高まるほど、着地距離を小さくしハードリング距離を短縮している
- ⑥ 男子は12秒台の競技者では、身長とスピードなどからSpeed・Griffe・Tall-Powe型のハードリングスタイルがみられる
- ⑦ 女子は12秒台前半の競技者になると、スピードが重要といわれる女子においても、スピードよりもインターバルおよびハードリング技術が大きな要素になる可能性がある

#### 5. 世界選手権で注目の選手

##### 5.1 男子

今回の世界選手権では、男子において現役選手が歴代10傑に半数以上おり、優勝争いだけでなくかなり記録の

期待も高まる。谷川（2006）は、185cmから190cmの身長でスプリント力を兼ね備えた選手が、Griffe動作をおこなうことで世界記録を更新する可能性が高いとしている。Speed型のA・ジョンソンもしくはランメルが勝つには、これまでのレースパターン（谷川、2006）から、Tall-Power型・Griffe型のL・ショウもしくはD・アーノルドなどの他の選手との間に前半3台までに、0秒05秒以上の差をつけておくことが必要となろう。特に、D・アーノルドは、Griffe動作で12秒90の時には、1インターバルをこれまでの分析で最も速い0秒93で刻んでいた。彼がより後半まで速度を低下させないような技術を獲得できれば、L・ショウの世界記録更新も期待できる。また、2大会連覇がかかるGriffe型のデュクレ（仏）は100mで10秒0台のスプリント力を持っており、19歳ながら190cm以上の身長がありTall-Power型と考えられる新鋭D・ロブレス（キューバ）も13秒00を記録しておりハイレベルのレースを期待したい。

また、日本人の体格から考えると185cm前後でスプリント能力を高め、Griffe動作に近いハードリングスタイルを模索するのが好ましいと考えられる。実際に、タッチダウタイム1秒00を達成している内藤選手がこの動作をおこなっていることが伺えるが（谷川、2006）、レース前半の3台目の早期に1秒00で走り、その後速度の低下を抑えるような技術の改善によって記録の大幅な向上を期待できる。

##### 5.2 女子

女子は、今回分析したアメリカの3選手がともに優勝候補である。今回の事例のレースパターンなどから考えてみた。まず、V・パウウェルはより後半までインターバルを高い速度で走り続けることができること。D・チェリーは、ハードリングの着地側距離を短くするようなインターバルおよびハードリング技術を磨くこと。踏切側距離および着地側距離にも変化がなく、タッチダウタ



イムの偏差が小さいイーブン型のM・ベリーは、アプローチタイムを向上させることが、世界選手権の優勝争いの鍵となってくるであろう。

日本選手に関しては、やはりスプリント能力を高めることが最優先されるべきであろう。池田選手もしくは石野選手が13秒00の日本記録を突破して金沢選手以来の世界舞台を目指して欲しいものである。

## 参考文献

- Brent Mcfarlane (2001) *The Science of Hurdling and Speed* fourth edition. Athletics Canada.
- 藤井範久, 阿江通良, 宮下憲 (1997) ハードリングにおける下肢セグメント間の力学的エネルギーの流れ. 身体運動のバイオメカニクス: 200-205.
- Jon Entine (2000) Why black athlete dominate sports and why we're afraid to talk about it. A member of Preseus Publishing, New York.
- Mann, R. (1999) Ruled-related limiting factors in hurdling. *Track Coach*156: 4335-4337.
- Mann, R. (1996) The mechanics of sprinting and hurdling. Unpublished report for The Athletics Congress and U.S. Olympic Committee, Colorado Springs.
- Mcdonald, C. (2000) Ruled-related limiting factors in hurdling...A Response. *Track Coach*157: 4371-4373.
- Mcdonald, C. and J. Dapena. (1991) Linear kinematics of the men's 110-m and women's 100-m hurdles races. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24: 1382-1389.
- Mcdonald, C. and J. Dapena. (1991) Angular momentum in the 110-m and women's 100-m hurdles races. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23: 1392-1402.
- Mcdonald, C. (2002) Hurdling Is Not Sprinting. *Track Coach*161: 5137-5143.
- Milan Coh (2003) Biomechanical analysis of Colin Jackson's hurdle clearance technique. *New Studies in Athletics*18: 37-45.
- 宮下憲 (1993) 110mハードルレースにおけるモデルタッチダウンタイムに関する研究. *陸上競技研究*14: 10-20.
- 宮下憲 (1991) 『ハードル』. ベースボールマガジン社. 東京.
- 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, 第3回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス研究報告書. ベースボールマガジン社, 東京: pp.66-91.
- Norbert S. (2000) Reflection on a change in the height of the hurdles in the women's sprint hurdles event. *New Studies in Athletics*, 2-15.
- Stepanov Viatssheslav (2001) Speed and (or) Technique: Gail Devers and others. *Legakaya Atletika*5.
- 谷川聡, 宮下憲, 高松潤二, 安井年文, 金子公宏 (2002) ハイハードル走のインターバルランニングに関する研究. *スプリント研究*12: 43-53.
- 谷川聡 (2006) 世界トップレベルから見た110mハードル競走の競技特性. *スプリント研究*16: 24-40.
- Terry, W. and Daniel, M. (1979) Temporal and Kinematic Facts on 110m Hurdling: High Level Performance. *Track Technique*17. 30-32.
- 富田学, 宮下憲, 関岡康雄 (1997) 110mハードルの記録向上における技術的要因に関する事例的研究. *陸上競技研究*28-1, 46-50.
- Wilbur L. and Norma R. (1997) *The Hurdler's Bible* 2
- Wild, F. (1988) *Hurdling Styles, Soviet-Theory, Technique and Training for Running and Hurdling* vol.1

# 一流男子400mハードル選手のレースパターンの類型化について

## — 世界陸上大阪大会の決勝レース展望 —

森丘 保典<sup>1)</sup>, 榎本 靖士<sup>2)</sup>, 山崎 一彦<sup>3)</sup>, 杉田 正明<sup>4)</sup>, 阿江 通良<sup>5)</sup>

### Typification of the race-pattern for elite male 400-m hurdlers : Prospects for the final race in World Championships in Athletics, Osaka 2007

Yasunori Morioka, Yasushi Enomoto, Kazuhiko Yamazaki, Masaaki Sugita and Michiyoshi Ae

キーワード：ペース配分, ハードル区間時間, ハードル  
区間速度, 速度低下率

## 1. はじめに

400mハードル（以下400mH）は、逆足踏切やコーナーでのハードリング、レース中の疲労状態を考慮したインターバルランニングの技術（ハードル間の歩数配分）なども要求される戦略性の高い種目であるため、様々な条件を勘案した適切なペース配分が極めて重要になる。先行研究では、国内外の一流選手において、レース中の最高速度やレース後半（H8以降）の速度維持よりも、バックストレート（H2-5）やレース中盤のカーブ（H5-8）での速度低下を抑えることが、パフォーマンスとより関

連が深いことが示されている（森丘ら，2000；森丘ら，2002；森丘ら，2005）。ハードル区間の定義については図1を参照）。

本稿では、スタートからH8（300m付近）までのペース配分を基準として、一流男子選手のレースパターンの類型化を試みるとともに、大阪大会でメダル獲得が期待される為末、成迫両選手に注目して本番のレースシミュレーションを行ってみたい。

## 2. レースパターンの類型化について

レースパターンの類型化には、1988年8月～2005年10月の間に行われた国内外の競技会の決勝レースにおいて50秒以内でフィニッシュした選手40名（内訳は、47秒台

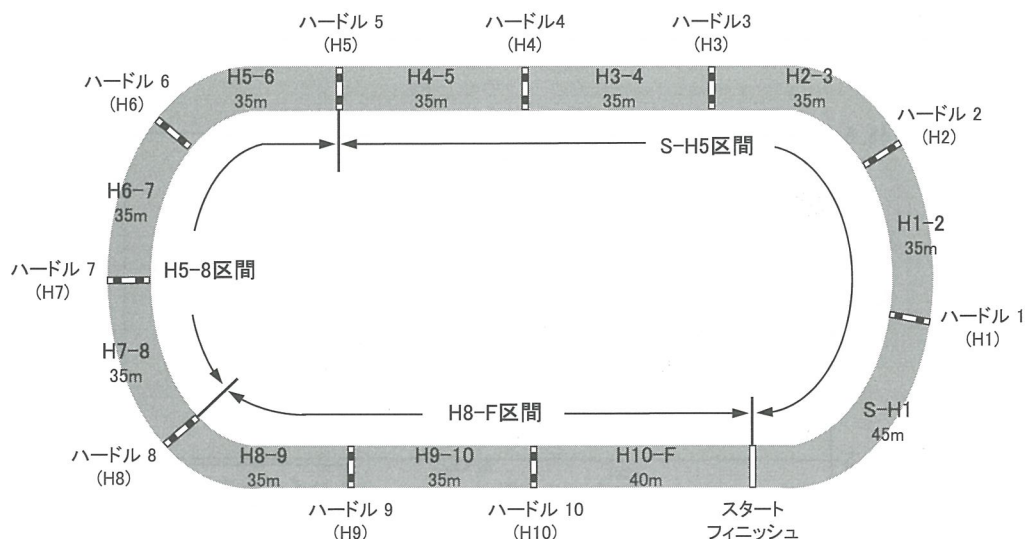


図1 ハードル区間定義

- 1) 財団法人日本体育協会スポーツ科学研究室 Sports Science Laboratory, Japan Sports Association  
〒150-8050 東京都渋谷区神南1-1-1 Tel: 03-3481-2240 E-mail: morioka-y@japan-sports.or.jp
- 2) 京都教育大学教育学部 Faculty of Education, Kyoto University of Education  
〒612-8522 京都府京都市伏見区深草藤森町1番地
- 3) 福岡大学スポーツ科学部 Faculty of Sports and Health Science, Fukuoka University  
〒814-0180 福岡市城南区七隈8-19-1
- 4) 三重大学教育学部 Faculty of Education, Mie University  
〒514-8507 三重県津市上浜町1515
- 5) 筑波大学体育科学系 Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba  
〒305-0006 茨城県つくば市天王台1-1-1



16名、48秒台17名、49秒台7名)のデータを用いた。これらのデータは、そのほとんどが各選手のベストまたはセカンドベスト記録である。

表1は、400m走をモチーフに2名の選手の200mラップタイム、疾走速度、相対的ペース(以下、ペース)配分の考え方について例示したものである。46.0秒をマークしたA選手は前半200m通過が23.0秒なので、この区間の疾走速度は秒速8.7mとなり、24.0秒で通過したB選手の秒速8.3mよりも絶対的ペースが速いといえる。一方、A選手の200m通過タイムはフィニッシュタイム46.0秒の50%となるが、B選手の24.0秒はフィニッシュタイム50.0秒の48%となるため、相対的ペースはB選手の方が速いといえる。A選手を前半と後半で疾走速度が同じである「イーブンペース型」とするならば、B選手は前半が後半よりも速い「前半型」といえる。

同様の考え方で、400mHのペース配分の類型化を考えてみる。図2は、①第5ハードルまでのペース配分、②第5ハードルまでに獲得した速度が次のカーブ(H5-8)でどのくらい維持されているか、の2点を基準に40

名の選手を分類したものである。図の縦軸は、フィニッシュタイムに占めるS-H5タイムの割合(%S-H5)であり、上に行くほど(値が大きいほど)H5までの相対的ペースが遅いことになる。一方、横軸はS-H5からH5-8への速度低下率(H5-8低下率)であり、右に行くほど(値が大きいほど)H5-8での速度低下が大きいことを意味する。この図を、全体のばらつきのおおよそ半分となる縦軸の44.5%、横軸の4%を基準に4つの象限に分割すると、40名のデータはおおよそ3つの象限に分布する。ここで、S-H5のペースが速くて(%S-H5≤44.5)H5-8での速度低下が小さい(H5-8低下率≤4.0)左下の象限を「ハイペース維持型」、S-H5のペースが速くて(%S-H5≤44.5)H5-8での速度低下が大きい(H5-8低下率>4.0)右下の象限を「ハイペース低下型」、そしてS-H5のペースが遅く(%S-H5>44.5)H5-8での速度低下が小さい(H5-8低下率≤4.0)左上の象限を「イーブンペース型」と定義する。繰り返しになるが、この類型化はH8までのペース配分によるものであり、「イーブン」「維持」「低下」という表現がH8以降のペース配分を示すものではないことに留意してもらいたい。

表1 400m走を例にしたペース配分の考え方

|     | フィニッシュタイム<br>(sec) | 200m通過タイム<br>(sec) | 前半疾走速度<br>(m/s) | 前半ペース配分<br>(%) |
|-----|--------------------|--------------------|-----------------|----------------|
| A選手 | 46.0               | 23.0               | 8.7 速い          | 50.0 遅い        |
| B選手 | 50.0               | 24.0               | 8.3 遅い          | 48.0 速い        |

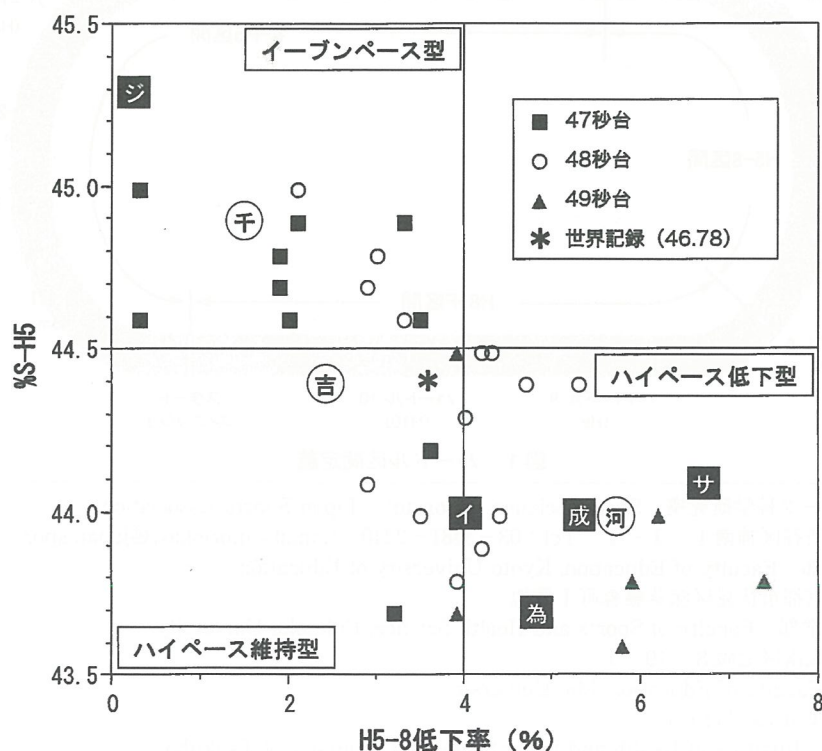


図2 H8までのペース配分による類型化

これらの分布をみると、イーブンペース型に47秒台選手が多いなどの傾向もみられるが、いずれのタイプにも47～48秒台の選手が含まれている。したがって、レースパターンの洗練された一流選手も様々なペース配分で走っており、単純にタイプの善し悪しを評価できないことが分かる。

### 3. 日本選手のレースタイプについて

次に、世界陸上で活躍が期待される選手（為末大選手、成迫健児選手、吉形政衛選手、千葉佳裕選手、河北尚弘選手の5名）に注目してみたい。表2は、各選手の2006年シーズン終了後のベスト記録（河北選手のみセカンドベスト）における区間時間（速度）、% S-H5およびH5-8低下率を示したものである。

為末選手のベスト記録は、エドモントン大会（2001）の47.89秒（3位）である。このときのH5の通過は20.94秒、% S-H5が43.7%、H5-8低下率が4.8%となっており、レースタイプは「ハイペース低下型」に分類される（図2）。その後、ヘルシンキ大会（2005）において、豪雨の中で48.10秒（セカンドベスト記録）をマークし、二度目の銅メダルに輝いている。このレースでは、H5をエドモントン大会よりも速い20.82秒で通過し、% S-H5が43.3%、H5-8低下率が5.7%の「ハイペース低下型」のレース展開であった。科学委員会では、エドモントン大会からヘルシンキ大会までに10レースを分析しているが、いずれも「ハイペース低下型」に分類される。2005年のシーズンは、日本選手権も含めて荒天のレースが多かったが、特に前半3台目までのペース配分における再現性が極めて高いのが特徴的である。

成迫選手のベスト記録は、大阪GP（2006）の47.93秒（3位）である。このときのH5の通過は21.11秒、% S-H5が44.0%、H5-8低下率が5.4%となり、「ハイペース低下型」に分類される。2005年のシーズン中盤までは、H6まで13歩で走るという理想のパターンが定着せず、H5-8低下率が7～8%と低下型の中でも大きい部類に入っていたが、その後インターバルの走りが安定し、H5-8低下率も4～6%台に落ち着いている。この中盤の走りをさらに安定させることが47秒台前半に向けた課題であるといえるだろう。

千葉選手のベスト記録は、関東インカレ（2001）でマークした48.65秒（1位）である。このときは、H5の通過は21.84秒、% S-H5が44.9%、H5-8低下率が1.5%という「イーブンペース型」であった。その後、大阪GP（2006）において48.83秒（5位）のセカンドベストをマークしたときのH5の通過は21.40秒、% S-H5が43.8%、H5-8低下率が3.14%の「ハイペース維持型」であった。前半を14歩で走る選手は、13歩で走る選手に比べて前半遅れがちになるが、前半の走りが改善されたことにより、「イーブンペース型」から「ハイペース維持型」へ移行したと言えるだろう。

吉形選手のベスト記録は、スーパー陸上（2005）でマークした48.66秒（3位）である。このときのH5通過は21.60秒、% S-H5が44.4%、H5-8低下率が2.39%であり、これは「ハイペース維持型」に分類される。吉形選手は、千葉選手と同様に前半を14歩で走るため、もともとは「イーブンペース型」であったが、2003年以降はH5を21.5秒前後（% S-H5が44%前後）で通過できるようになり、「ハイペース維持型」を示すようになった。昨年のスーパー陸上では、H5通過が21.14秒（% S-H5が42.5%）というレースを展開した。これは、成迫選手のベスト記録時（21.11秒）に匹敵する通過タイムであり、前半を14歩で走る選手としては傑出している。この持ち味を活かしつつ、前半から中盤にかけての適切なペース配分を確立することが課題となる。

河北選手のベスト記録は、全日本実業団陸上（2006）でマークした49.17秒であるが、分析データがないため大阪GP（2006）の49.25秒（7位：セカンドベスト）を用いることとする。このときのH5通過は21.67秒、% S-H5が44.0%、H5-8低下率が5.6%となり「ハイペース低下型」に分類される。昨シーズンの他のレースをみると、前半13歩の選手としてはH5の通過がやや遅いことや（21.6秒前後）、上記レース以外ではH5-8低下率が6～7%台であることなどから、前半から中盤までの流れを確立することが求められる。

このようなレースタイプの相違は、主に選手の生理学的特性や歩数配分（切り替えのタイミングや回数）の違いに起因すると考えられるが、例えば千葉選手や吉形選手にみられるように、トレーニングの過程で別のタイプ

表2 日本選手の各区間時間（速度）およびペース配分指標

|      | 記録    | S-H5  |      | H5-8  |      | S-H8  |       | H8-F |     | %S-H5 | H5-8低下率 |
|------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|------|-----|-------|---------|
|      | sec   | sec   | m/s  | sec   | m/s  | sec   | sec   | m/s  | sec | %     | %       |
| 為末 大 | 47.89 | 20.94 | 8.83 | 12.48 | 8.41 | 33.42 | 14.47 | 7.60 |     | 43.7  | 4.8     |
| 成迫健児 | 47.93 | 21.11 | 8.76 | 12.66 | 8.29 | 33.77 | 14.16 | 7.77 |     | 44.0  | 5.4     |
| 千葉佳裕 | 48.65 | 21.84 | 8.47 | 12.58 | 8.35 | 34.42 | 14.23 | 7.73 |     | 44.9  | 1.5     |
| 吉形政衛 | 48.66 | 21.60 | 8.56 | 12.56 | 8.36 | 34.16 | 14.50 | 7.59 |     | 44.4  | 2.4     |
| 河北尚弘 | 49.25 | 21.67 | 8.54 | 13.03 | 8.06 | 34.70 | 14.55 | 7.56 |     | 44.0  | 5.6     |



にシフトすることも当然ある。2007年シーズンにおいて、各選手にタイプの移行がみられるかどうかについては、準備期のトレーニング内容との関連も含めて興味の尽きないところである。

#### 4. 世界陸上大阪大会における決勝レースの展望について

決勝レースを展望するにあたり、日本代表は上位入賞の必須条件となる47秒台をマークしている為末選手および成迫選手とした。一方、世界選抜は、現在世界最強と目されているジャクソン選手（USA）、エドモントン大会からアテネ五輪（2004）まで3シーズン負けなしの実績を誇るサンチェス選手（DOM）、欧州選手権チャンピオン（2006）であり大阪GP（2006）でも成迫選手に先着したイアコバキス選手（GRE）とした。カーター選手（USA）やクレメント選手（USA）などなど有力選手は他にもいるが、ベストパフォーマンスに近いデータがないので割愛した。

表3は、日本代表および世界選抜の各区間時間（速度）およびペース配分指標を比較したものである。日本代表については、ジャクソン選手およびサンチェス選手の記録を0.01秒上回る47.29秒、47.50秒を目標記録として、各選手のベスト3レースによる平均的ペース配分を用いて推定タッチダウンタイムを算出した。また、世界選抜については、ジャクソン選手はヘルシンキ大会（47.30秒）、サンチェス選手はエドモントン大会（47.51秒）、イアコバキス選手は昨年大阪GP（47.82秒）のデータを用いた。レースタイプは、ジャクソン選手が極端な「イーブンペース型」、サンチェス選手が「ハイペース低下型」、イアコバキス選手が「ハイペース維持型」と「ハイペース低下型」のちょうど中間タイプであった（図2）。

為末選手がまだ持っていない色のメダルを獲得するには、これまでのレースタイプが継続するという前提ではあるが、S-H5を20.55～20.64秒、H5-8を12.34～12.39秒、H8-Fを14.40～14.47秒程度で走りきることが求められる（表3）。ベスト記録との差はS-H5で-0.30～-0.39秒、

H5-8で-0.14～-0.09秒、H8-Fで-0.07～0秒、合計すると-0.60～-0.39秒となり、何らかの形でこの差を埋める必要がある。もともと前半型の為末選手が、S-H5までの速度を今よりも劇的に高めるのは難しいと思われる。しかしながら、ヘルシンキ大会では豪雨のコンディションの中、ベスト記録の通過を上回るペースでH5を通過しており（20.82秒）、コンディションに恵まれていたならば、20.6～7秒での通過も可能だったと思われる。また、長居陸上競技場の高速トラックは、前半型で、特にインターバルランニングにおいて世界トップレベルの調整力を誇る為末選手にとってはまさに追い風となるだろう。さらに、ハードルを封印し走力開発に専念するという取り組みの効果がスムーズに400mHに移行できれば、すなわち、労力（努力感）を減らしつつ今よりも若干速くH5を通過し、中盤から後半の速度低下を抑えられれば、目標記録との差を埋めることは可能であろう。

成迫選手が為末選手と共にメダルを獲得するためには、S-H5を20.84～20.93秒、H5-8を12.50～12.56秒、H8-Fを13.95～14.01秒程度で走りきることが求められる（表3）。したがって、ベスト記録とシミュレーションとの差はS-H5で-0.27～-0.18秒、H5-8で-0.16～-0.10秒、H8-Fで-0.21～-0.15秒、合計すると-0.64～-0.43秒となる。成迫選手の大きな課題の一つとして、歩数切り替え区間（H6-7）での減速があげられる。これは、前半を13歩で走りつつ中盤で歩数を増やす選手にある程度共通する課題であるといえるが、前日本記録保持者の山崎氏や為末選手のように、この点を克服してパフォーマンスをさらに高めたという前例もある。前半の13歩（H2-6）をより効率化してH5を20秒台で通過し、歩数切り替えでの減速を抑えてH5～8を12.5秒前後で乗り切ることができれば、持ち味である後半の巻き返しによって目標タイムも視野に入ってくる。

ここからは、大阪大会における決勝レースについて、希望的観測も含めてシミュレートしてみたい。

スタート後からH1まではジャクソン選手と為末選手がややリード、続いて成迫選手とサンチェス選手、少

表3 日本代表および世界選抜の各区間時間（速度）およびペース配分指標

|        | 記録<br>sec | S-H5<br>sec m/s |      | H5-8<br>sec m/s |      | S-H8<br>sec | H8-F<br>sec m/s |      | %S-H5<br>% | H5-8低下率<br>% |
|--------|-----------|-----------------|------|-----------------|------|-------------|-----------------|------|------------|--------------|
| 為末 大   | 47.29     | 20.55           | 9.00 | 12.34           | 8.51 | 32.89       | 14.40           | 7.64 | 43.5       | 5.4          |
|        | 47.50     | 20.64           | 8.96 | 12.39           | 8.47 | 33.03       | 14.47           | 7.60 |            |              |
| 成迫健児   | 47.29     | 20.84           | 8.88 | 12.50           | 8.40 | 33.34       | 13.95           | 7.89 | 44.1       | 5.4          |
|        | 47.50     | 20.93           | 8.84 | 12.56           | 8.36 | 33.49       | 14.01           | 7.85 |            |              |
| ジャクソン  | 47.30     | 21.41           | 8.64 | 12.18           | 8.62 | 33.59       | 13.71           | 8.02 | 45.3       | 0.2          |
| サンチェス  | 47.51     | 20.94           | 8.83 | 12.74           | 8.24 | 33.68       | 13.83           | 7.95 | 44.1       | 6.7          |
| イアコバキス | 47.82     | 21.05           | 8.79 | 12.44           | 8.44 | 33.49       | 14.33           | 7.68 | 44.0       | 4.0          |

※日本選手のデータは平均的ペース配分からの推定値

し遅れてイアコバキス選手が通過する。バックストレートで為末選手がぐんぐんリードを拡げてH5を20.6秒で通過、成迫選手、サンチェス選手、イアコバキス選手は併走しつつ20.9秒で通過、ジャクソン選手はここで一気に順位を下げて最下位通過(21.4秒)となる。第3コーナーをまわるとジャクソン選手が一気に加速し、少々もたつき気味のサンチェス選手を抜き去ると、成迫選手、イアコバキス選手に肉薄、大きくリードしていた為末選手との差もかなり縮まってくる。H8は、為末選手が33秒を切って入り(32.9秒)、続いて成迫選手、イアコバキス選手が33.4秒、ジャクソン選手が33.6秒、サンチェス選手が33.7秒で通過する。ラストの直線、勢いの衰えないジャクソン選手に、サンチェス選手も僅差で食い下がり、H9を超えたところで前を走っていたイアコバキス選手を抜く。二人は成迫選手の横に並びかけ、為末選手との差も僅かである。為末選手、成迫選手、ジャクソン選手、サンチェス選手、イアコバキス選手の順にH10を越え、イアコバキス選手を除く4人の選手が横一線重なり合うようにしてゴールになだれ込む。果たして結果は…。

## 5. おわりに

本稿は、2007年シーズン開幕直後に執筆されており、最重要試合である日本選手権の結果を含めた各選手の

現況が十分に反映されていない。加えて、過去のパフォーマンスを越えるために試行錯誤している選手たちについて、過去のデータをもとに評価を行い、さらに決勝レースを展望するという愚行にも目をつぶっていただければ幸いである。

日本で行われる二度目の世界陸上において、トップハードラーたちが本稿の展望を凌駕するドラマティックなレースを展開してくれることに期待したい。

## 参考文献

- 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400mH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, 杉田正明, 榎本靖士, 阿江通良, 小林寛道(2002) 一流男子400mH走におけるレースパターンと記録との関係 - 5台目および8台目ハードルの通過時刻に注目して -. スプリント研究, 12, 20-27.
- 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400mH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.



# 世界陸上競技選手権ヘルシンキ大会男女20km競歩における ロス・オブ・コンタクト判定

法元 康二<sup>1)</sup>, 広川龍太郎<sup>2)</sup>, 杉田 正明<sup>3)</sup>, 阿江 通良<sup>4)</sup>

## Judging of Loss of Contact for Men's and Women's 20km race walking events in World Championships in Athletics, Helsinki 2005

Koji Hoga, Ryotaro Hirokawa, Masaaki Sugita and Michiyoshi Ae

キーワード：競歩，競歩審判員，判定，ロス・オブ・コンタクト

### 1. はじめに

陸上競技の競技規則は，競歩をいずれかの足が常に地面と離れないで歩き，前脚は接地の瞬間から垂直の位置になるまでまっすぐに伸びていなければならないものとして定義している（財団法人日本陸上競技連盟，2006）．公式競技会では，1周2km以下の周回コース上に等間隔で配置された5名から8名の競歩審判員が肉眼によって競技者の歩型が競歩の定義に適合しているかどうかを判定し，3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と競技規則に定められている．

国際陸上競技連盟では，国際競技会で判定を行う国際競歩審判員のランクをレベルⅠからレベルⅢまでの3段階に分け，それぞれのランクの試験や国際競技会での判定実績によって選抜している．オリンピックや世界選手権など世界レベルの国際競技会では最高ランクのレベルⅢ国際審判員（IRWJ：International Race Walking Judge）のみが判定を行い，レベルⅡ国際審判員（ARWJ：Area Race Walking Judge）は大陸別選手権などエリアレベルの国際競技会を担当し，レベルⅠ国際審判員はそれ以外の国際競技会で判定を行うようになっている．さらに，2005年の世界選手権ヘルシンキ大会からは参加標準記録の対象競技会を世界レベルの国際競技会およびレベルⅡ以上の国際審判員が判定を行う大陸別連盟公認競技会のみに絞り，世界選手権に出場する競技者の技術レベルを一定以上のもの保つための措置をとっている．しかし，2005年の世界選手権では，男女3種目でのべ134

名の出場者に対して計28名の失格者が発生していることから，参加標準記録を突破して参加資格を得た競技会や国内選考競技会などで失格とならなかった競技者でも，歩行技術が不安定であれば競技会によっては失格となることを示している．

競歩種目の世界大会は，4年ごとに開催されるオリンピックと，オリンピック前後年に開催される世界選手権，オリンピック年と中間年に開催されるワールドカップ競歩の3種類の大会がある．また，毎年3月から6月にかけて国際陸連競歩チャレンジとしてヨーロッパ各地，メキシコ，中国などで開催される競技会が世界規模での競歩の主要競技会となっている．陸上競技専門誌などでのオリンピック，世界選手権の直前予想記事では，前年の世界大会成績と，対象年上半期の主要競技会の成績をもとに順位予想が立てられることが多い．また，競技水準の高い国では毎年上半期に国内選手権が行われることが多いため，各国の国内選手権の成績も順位予想の材料となるようである．

表1は2003年から2005年までの世界10傑内競技者の翌年における世界大会（五輪，世界選手権，ワールドカップ）での成績を男女20km競歩について示したものである．2005年の世界選手権男子20km競歩の1位，2位は前年の世界10傑内であり，2006年のワールドカップ競歩女子20km競歩の1位，2位も前年の世界10傑内であった．しかし，メダリストすべてが前年の10傑以内から出た大会はなかった．このように，前年の記録順位が翌年の世界大会の成績と結びつかない理由として，世界リストの上位がロシアや中国といった特定の国に集中しており，世界リストの上位競技者が必ずしも各国代表選手と

1) 青森県スポーツ科学センター Aomori Prefectural Institute for Sports Sciences

〒039-3505 青森市大字宮田字高瀬2-2 青い森アリーナ内

Tel: 017-737-0607, Fax: 017-737-0603, E-mail: hoga-koji@aiss.pref.aomori.jp

2) 北海道東海大学国際文化学部 School of International Cultural Relations, Hokkaido Tokai University

〒005-8601 札幌市南区南沢5条1丁目1-1

3) 三重大学教育学部 Faculty of Education, Mie University

〒514-8607 三重県津市栗真町屋町1577

4) 筑波大学大学院人間総合科学研究科 Institute of Health and Sports Sciences, University of Tsukuba

〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

表1 2003年から2005年までの男女20km競歩における世界10傑内選手の翌年の世界大会での成績

## (a) 男子20km競歩

|               |   |     |   |     |   |   |     |   |     |    |
|---------------|---|-----|---|-----|---|---|-----|---|-----|----|
| 2003年 世界リスト   | 1 | 2   | 3 | 4   | 5 | 6 | 7   | 8 | 9   | 10 |
| 2004年 アテネ五輪   | 4 | 2   | - | DSQ | - | - | DNF | - | -   | 16 |
| 2004年 世界リスト   | 1 | 2   | 3 | 4   | 5 | 6 | 7   | 8 | 9   | 10 |
| 2005年 世界選手権   | 5 | -   | - | 1   | - | - | -   | 2 | DSQ | -  |
| 2005年 世界リスト   | 1 | 2   | 3 | 4   | 5 | 6 | 7   | 8 | 9   | 10 |
| 2006年 ワールドカップ | 5 | DSQ | 1 | -   | - | - | -   | - | -   | -  |

## (b) 女子20km競歩

|               |    |   |     |     |   |     |    |    |   |    |
|---------------|----|---|-----|-----|---|-----|----|----|---|----|
| 2003年 世界リスト   | 1  | 2 | 3   | 4   | 5 | 6   | 7  | 8  | 9 | 10 |
| 2004年 アテネ五輪   | 17 | - | -   | -   | - | -   | 18 | 7  | - | -  |
| 2004年 世界リスト   | 1  | 2 | 3   | 4   | 5 | 6   | 7  | 8  | 9 | 10 |
| 2005年 世界選手権   | -  | 1 | DNF | DSQ | - | 4   | 8  | 20 | 7 | -  |
| 2005年 世界リスト   | 1  | 2 | 3   | 4   | 5 | 6   | 7  | 8  | 9 | 10 |
| 2006年 ワールドカップ | 2  | - | 1   | -   | - | DSQ | 23 | -  | - | 9  |

-:不出場, DNF:途中棄権, DSQ:失格

はならないことや、レース中の駆け引きなど戦術的な要素が競技成績に影響することなどが考えられる。しかし、競歩種目には審判による判定に伴うため、持ち記録のいい競技者であっても注意・警告を多く受けることで積極的なレース運びをできなくなったり、失格となったりすることも前年の成績が翌年の世界大会の成績に必ずしも反映されない理由として考えられよう。

したがって、オリンピック、世界選手権、ワールドカップなどの世界大会での事前予想を立てる場合には、記録ランキングの情報だけでなく、国際競歩審判員が判定を行う主要競技会での判定結果や、競技者の動きの特徴などを判断材料とするのが適当であろう。

本稿では、世界選手権大阪大会における事前予想の情報を提供するために、2005年に開催された世界選手権の男女20km競歩においてスタートリストでの記録順位の高かった競技者のうち、注意・警告をほとんど受けずに上位入賞した競技者と失格となった競技者の動きの比較を行った。

尚、本稿におけるデータ収集は財団法人日本陸上競技連盟科学委員会の事業として行ったものである。

## 2. 方法

### 2.1 データ収集

世界陸上競技選手権ヘルシンキ大会男女20km競歩(男子:2005年8月6日, 女子:2005年8月7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離れた市街地に設定され

た中央分離帯を挟んだ片側2車線道路を往復する1周2kmの周回コースで行われた。スタートから約1kmの地点のコース脇歩道に2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3次元DLT法のためのキャリブレーションを行った。

表2に両種目の分析対象者を示した。両種目のスタートリストに記載された自己記録の上位8名の競技者のうち、男子20km競歩では2名が、女子20km競歩では1名がそれぞれ失格となったことから、両種目のスタートリスト上位8名のうち、男子20km競歩では競技成績の上位2名と失格者2名を、女子20km競歩では競技成績の上位1名と失格者1名をそれぞれの分析対象者とした。

### 2.2 データ処理

1周ごとに撮影した競技者のVTR画像から、レース序盤の3kmから7kmにかけての地点で分析可能であった対象者の歩行1サイクルの画像を選択し、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点の座標をデジタイズした。2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3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、男子20kmの撮影ではX座標が0.6-7.2Hz, Y座標が1.8-7.8Hz, Z座標が3.6-7.8Hzの範囲で、女子20kmでは、X座標が1.8-6.6Hz,



表2 分析対象者の特性

|         | 男子20km         |                   |               |           | 女子20km        |           |
|---------|----------------|-------------------|---------------|-----------|---------------|-----------|
| 選手名     | ペレス<br>(エクアドル) | フェルナンデス<br>(スペイン) | マルコフ<br>(ロシア) | 虞<br>(中国) | イワノワ<br>(ロシア) | 姜<br>(中国) |
| 順位      | 1              | 2                 | 失格            | 失格        | 1             | 失格        |
| 生年 (年)  | 1974           | 1977              | 1972          | 1975      | 1970          | 1985      |
| 身長 (m)  | 1.74           | 1.73              | 1.78          | 1.75      | 1.68          | 1.64      |
| 体重 (kg) | 59             | 57                | 65            | 63        | 54            | 51        |
| レース記録   | 1:18'35"       | 1:19'36"          |               |           | 1:25'41"      |           |
| 自己記録    | 1:17'21"       | 1:17'22"          | 1:18'17"      | 1:18'30"  | 1:26'42"      | 1:27'19"  |
| 達成率 (%) | 98.4%          | 97.2%             |               |           | 101.2%        |           |

Y座標が2.4-7.2Hz, Z座標が2.4-6.6Hzであった。

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を歩行速度とし、ピッチは1サイクルに要した時間を2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変位を2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, 2006)、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2等分したものを支持時間、非支持局面の時間を2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2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2等分したものを非支持距離として算出した。

アテネ五輪男子20km競歩のロス・オブ・コンタクト判定について拙著にて報告したように (法元, 2005)、歩行中の回復脚各部の高さはロス・オブ・コンタクト判定に影響することから、本報における各分析対象者の身体標点3次元座標データについて右足離地 (R-off) から右足接地 (R-on) までの右足回復期の時間を100%として規格化し、分析対象者間で比較した。

### 2.3 判定結果

競歩の公式競技会では、競歩審判員はレース中に競技者に対して行った注意、警告などの判定の詳細を個々の競歩審判記入用紙に記録し、個々の競歩審判員が記入用紙に記入した競技者番号、判定の内容、判定の時刻などを、競技中および競技終了後に記録員が競歩審判集計用

紙に記入することになっている。競歩審判集計用紙は、競技終了後に競技規則に基づいて行われる抗議や、判定結果に対する説明の要求があった場合の説明資料として用いられる (財団法人日本陸上競技連盟, 2005)。そのため、競歩審判集計用紙は内部情報としてとどめることなく競技会終了後に公開されることが多い。オリンピック、世界選手権、ワールドカップなどの国際競技会では、審判員の氏名を明記した競歩審判集計表が各国選手団にテクニカル・インフォメーションのひとつとして配布されている。

本報では、大会終了後に国際陸連競歩委員会 (Race Walking Committee) より配信された競歩審判集計表を用いて判定結果の分析を行った。また、注意、警告などの判定が行われた地点を推定するために、同時に配信された自動計測スプリットタイムのリストを用いた。

## 3. 結果と考察

### 3.1 判定結果について

表3は、競歩審判集計表に示された判定結果のうち、本報の分析対象者のものをまとめたものである。

男子20km競歩では、注意はペレス選手が2回、フェルナンデス選手が1回と非常に少なかったのに対し、マルコフ選手が3回、虞選手が4回と、失格となった選手の方が注意の回数が多かった。警告については、ペレス選手がレース後半のスタート後52分に1回受けただけで、フェルナンデス選手は1回も警告を受けていなかった。それに対して、マルコフ選手はレース序盤のスタート後30分に1回目の警告を受けた後、45分に3回目の警告を受けて失格となり、虞選手はスタート24分後に1回目の警告を受けて、39分に3回目の警告を受けて失格となっていた。失格となった2選手はそれぞれレース序盤に1回目の注意を受けて、中盤までに失格となっていた。

女子20km競歩では、イワノワ選手は注意、警告とも

表3 分析対象者の判定結果

|                         | 男子20km         |                   |               |           | 女子20km        |           |
|-------------------------|----------------|-------------------|---------------|-----------|---------------|-----------|
| 選手名                     | ペレス<br>(エクアドル) | フェルナンデス<br>(スペイン) | マルコフ<br>(ロシア) | 虞<br>(中国) | イワノワ<br>(ロシア) | 姜<br>(中国) |
| 注意回数                    | 2              | 1                 | 3             | 4         | 0             | 5         |
| 1回目注意時間 (分)             | 8              | 55                | 7             | 14        |               | 7         |
| 警告回数                    | 1              | 0                 | 4             | 3         | 0             | 3         |
| 1回目警告時間 (分)             | 52             |                   | 30            | 24        |               | 19        |
| 3回目警告時間 (分)<br>(失格成立時間) |                |                   | 45            | 39        |               | 35        |

時間 (分) : スタートからの時間

に1回も受けていなかったのに対し、姜選手は注意を5回受け、警告については、レース序盤のスタート後19分に1回目の警告を受けた後、35分に3回目の警告を受けて失格となって、男子20kmで失格となった2選手同様にレース序盤に1回目の注意を受けて、中盤までに失格となっていた。

男子20kmでは8名の選手が失格となっているが、そのうち先頭の選手からの遅れが小さかった7名の選手では、1回目の注意はスタート後7分から30分の間に出され、1回目の警告は19分から54分までの間に出されている。一方、入賞者8名では全ての選手に対して注意が行われ、1回目の注意はスタート後4分から55分の間に出され、失格者との間に明確な違いは見られなかった。警告については入賞者8名のうち4名が受けただけで、1回目の警告は29分から75分までの間に出され、失格者と比較して明確な違いはみられなかった。

また、女子20km競歩では6名の選手が失格となっているが、そのうち先頭の選手からの遅れが小さかった4名の選手では、1回目の注意はスタート後2分から7分の間に出され、1回目の警告は9分から47分までの間に出されている。一方、入賞者8名では6名の選手に対して注意が行われ、1回目の注意はスタート後7分から28分の間に出され、失格者と比較して遅く出されていた。警告については入賞者8名のうち5名の選手に対して警告が行われ、1回目の警告は9分から40分までの間に出され、失格者との間に明確な違いは見られなかった。

### 3.2 歩行速度、ピッチ、ストライドについて

表4は、本報の分析対象者の各分析地点における歩行速度、ピッチ、ストライドを示したもので、1歩の時間を支持時間と非支持時間に分け、ストライドについては支持距離、非支持距離に分けて示した。

大会後に国際陸連競歩委員会 (Race Walking

表4 分析対象者の歩行速度、ピッチ、ストライド

|            | 男子20km         |                   |               |           | 女子20km        |           |
|------------|----------------|-------------------|---------------|-----------|---------------|-----------|
| 選手名        | ペレス<br>(エクアドル) | フェルナンデス<br>(スペイン) | マルコフ<br>(ロシア) | 虞<br>(中国) | イワノワ<br>(ロシア) | 姜<br>(中国) |
| 分析地点       | 5km            | 5km               | 7km           | 3km       | 5km           | 5km       |
| 歩行速度 (m/秒) | 4.25           | 4.30              | 4.39          | 4.37      | 3.94          | 3.86      |
| ピッチ (Hz)   | 3.53           | 3.33              | 3.48          | 3.53      | 3.75          | 3.64      |
| 支持時間 (秒)   | 0.275          | 0.283             | 0.258         | 0.250     | 0.242         | 0.250     |
| 非支持時間 (秒)  | 0.008          | 0.017             | 0.033         | 0.033     | 0.025         | 0.025     |
| ストライド (m)  | 1.20           | 1.29              | 1.28          | 1.24      | 1.05          | 1.06      |
| 支持距離 (m)   | 1.17           | 1.22              | 1.13          | 1.09      | 0.95          | 0.96      |
| 非支持距離 (m)  | 0.03           | 0.07              | 0.15          | 0.15      | 0.10          | 0.10      |



Committee) より公開された全競技者の1kmごとのスプリットタイムによると、男子20km競歩では本報の分析対象者は全てレース中盤まで先頭集団に入っていたことを示していた。しかし、失格とならなかった2選手と失格となった2選手で分析地点が異なったことにより、歩行速度については、ペレス選手(4.25m/秒, 15.30km/時)とフェルナンデス選手(4.30m/秒, 15.49km/時)よりも失格となったマルコフ選手(4.39m/秒, 15.72km/時)と虞選手(4.37m/s, 15.82km/時秒)の方が高かった。ピッチ、ストライドについては失格とならなかった2選手と失格となった2選手の間で明確な違いはみられなかったが、両足が地面と離れる非支持時間については、ペレス選手(0.008秒)とフェルナンデス選手(0.017秒)よりも失格となったマルコフ選手(0.033秒)と虞選手(0.033秒)の方が長く、また、非支持距離についても、ペレス選手(0.03m)とフェルナンデス選手(0.07m)よりも失格となったマルコフ選手(0.15m)と虞選手(0.15m)の方が長かった。

女子20km競歩では、分析対象としたイワノワ選手と姜選手は両方とも6kmまでは1kmごとのスプリットタイムは同じであったが、歩行速度については、同じ地点で分析したにもかかわらずイワノワ選手(3.94m/秒, 14.18km/時)の方が姜選手(3.86m/秒, 13.90km/時)よりも高かった。ピッチについてはイワノワ選手(3.75Hz)の方が姜選手(3.64Hz)よりも高かったが、ストライドおよび、非支持時間、非支持距離については失格とならなかったイワノワ選手と失格となった姜選手の間で明確な違いはみられなかった。

男子20kmの本報における対象者では、失格とならなかった選手の非支持時間は失格となった選手のものよりも短かったが、KnickerとLoch(1990)は、肉眼によるロス・オブ・コンタクト判定の限界は0.04秒であるとい

う報告を行い、また、アテネ五輪男子20km競歩におけるメダリストの非支持時間は、0.01秒から0.05秒までの範囲であり(法元と阿江, 2006)、本報で分析した失格者よりも非支持時間の長い選手もみられた。女子20km競歩の本報における対象者では、失格とならなかったイワノワ選手と失格となった姜選手の非支持時間の長さが変わらなかった。そのため、これまでのロス・オブ・コンタクト判定に関する分析報告と同じように(法元ら, 2004; 法元ら, 2005)、実際のロス・オブ・コンタクト判定は、非支持時間の長さを基準とするのではなく、ロス・オブ・コンタクト局面を肉眼で視認しやすい歩行フォームに対して行われていたと考えられる。

### 3.3 回復脚各部の地面からの高さの変化について

図1は男子20kmにおける各分析対象者の右膝関節高の変化を、右足離地から右足接地までの時間を100%として規格化した右足回復期について示したもので、各分析対象者の身長で除した値の変化についても示した。

男子20km競歩のすべての分析対象者で右足離地から右足回復期20-30%まで右(回復)脚の膝関節高が減少した後、回復期70-80%まで増加してから右足接地まで再び右(回復)脚関節高が減少していた。失格とならなかったペレス選手とフェルナンデス選手では、右足回復期全体で右(回復)脚膝関節高が失格となったマルコフ選手、虞選手よりも低かった。右(回復)脚膝関節高を各分析対象者の身長で除したものでは、右足離地から右足回復期50%まで、失格とならなかった2選手の値は失格となった2選手のものより小さかった。図1の上部に示したスティックピクチャーは、右足離地から右足接地までのフェルナンデス選手の歩行フォームを示したものであるが、右足離地から回復期50%までの局面では、右(回復脚)膝関節は、支持脚後方から支持脚の前方に振り出される局面であり、この局面における回復脚の膝が

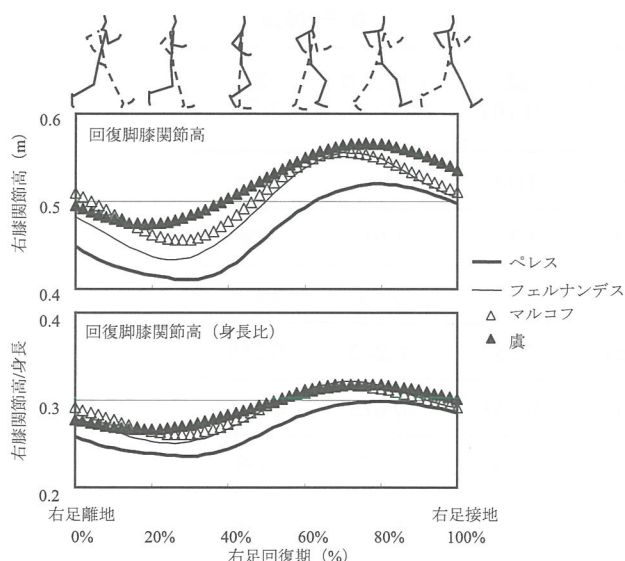


図1 男子20km分析対象者の右足回復期における右膝関節高

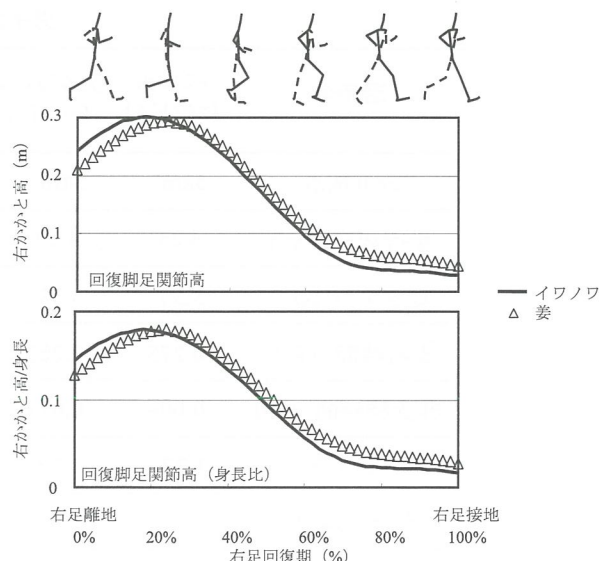


図2 女子20km分析対象者の右足回復期における右かかと高



高い場合はロス・オブ・コンタクト局面の発生が疑われるため注意して監察すべきであるとして、わが国の国内競歩審判員だけでなく国際陸連による国際競歩審判員の育成に際して強調されている（財団法人日本陸上競技連盟, 2005）。したがって、図1で示したように失格となったマルコフ選手と虞選手の回復脚膝関節が回復期前半でペレス選手とフェルナンデス選手よりも高かったことは、このような審判育成における強調点を反映したものと考えられる。

図2は女子20kmにおける各分析対象者の右かかと高の変化を、右足離地から右足接地までの時間を100%として規格化した右足回復期について示したもので、各分析対象者の身長で除した値の変化についても示した。

女子20km競歩で分析した2名の分析者の両方で右足離地から右足回復期20%まで右（回復）脚のかかと高が増加した後、回復期70%まで減少してから、右足接地までわずかに右（回復）脚のかかと高が減少して接地していた。失格とならなかったイワノワ選手と失格となった姜選手を比較すると、回復期70%から右足接地までイワノワ選手の右（回復）脚のかかと高が姜選手よりも低かった、右（回復）脚のかかと高を各分析対象者の身長で除したのも同じような結果であった。法元ら（2004）は、日本国内の公式競歩競技会におけるロス・オブ・コンタクト判定について分析を行っているが、回復期後半に回復脚足部高が高く、接地直前に落下するような動きをした場合にはロス・オブ・コンタクトの警告を受けていることを報告している。このように、接地前に回復脚足部を上から下に踏み出すような動きはロス・オブ・コンタクト局面の発生が疑われるものとして、競歩審判員の間では一般に注意して監察すべき局面とされている。したがって、本報で分析した姜選手では、回復期後半における回復脚のかかと高が高かったことで、接地前に回復脚足部が落下する動きが競歩審判員より視認しやすくなっていたと考えられる。

実際の公式競技会でのロス・オブ・コンタクト判定に関するこれまでの分析では（法元ら, 2004；法元ら, 2005）、離地後の回復脚足部が高い場合にロス・オブ・コンタクト判定が行われているという報告が行われてきた。しかし、本報における分析対象者では、回復脚離地後における回復脚足部の高さは、男女ともに失格とならなかった選手と失格となった選手の間で違いはみられなかった。男子20kmでは、回復脚のかかとの高さには違いはみられなかったものの、回復脚膝関節の高さが回復期前半で失格者の方が高く、女子20kmでは、回復期後半における回復脚のかかとの高さが失格者の方が高いという結果がみられた。これまで分析の対象とされたレースでは（法元ら, 2004；法元, 2005）、失格者が必ずしもスタートリストの上位者というわけではなかった。そのため、本報における分析で得られた結果は、歩行技術が不

安定であり競技成績に波のある選手を見極めるのに有用な情報であろう。

#### 4. 世界陸上競技選手権大阪大会における競歩種目の展望

2007年世界選手権大阪大会の競歩種目は、男子20km競歩が大会2日目の8月26日に、女子20km競歩が7日目の8月31日に、男子50km競歩が8日目の9月1日にそれぞれ行われる。各種目の入賞者やメダリストの予想に関しては、上述の通り前年度の記録ランキングは予想材料としてはあまり役に立たず、また、エントリー選手も直前にならなければ判明しないため、当日配布されるスタートリスト上の自己記録および当該年次最高記録から判断することになろう。しかし、2005年のヘルシンキ大会のスタートリストを見る限り、男子20km, 50km, 女子20kmの各種目で入賞した選手やメダル獲得した選手のスタートリスト上の自己記録および年次最高記録の順位は必ずしも高いわけではなかった。例外的に本報で報告した男子20kmのペレス選手、フェルナンデス選手、女子20kmのイワノワ選手が、自己記録のトップ選手がそのまま優勝あるいは、2位となっただけであった。これらの選手の場合、他の大会でも注意および警告の回数が非常に少ないことから、どの競技会でも他の選手に対して有利な条件でレースに臨むことができ、世界選手権においてもスタートリストの順位がそのまま競技結果に反映していたと考えられる。したがって、これらの選手が2007年シーズンにおいても万全の準備で世界選手権大阪大会に臨んだ場合には、競馬、競輪などの予想で用いられる表現を使えば「ガチガチの鉄板レース」になると考えられる。他の競技者の場合には記録リストの上位選手であっても競技会によっては注意や警告を多く受けており、歩行技術が不安定な選手であれば大阪大会では注意および警告の判定を多く受けることになり、必ずしも有利な条件でのレース運びができなくなる可能性がある。そのため、ペレス選手、フェルナンデス選手、イワノワ選手以外の選手については、スタート前の順位予想は非常に困難であると思われる。

レース中に各選手に対して競歩審判員が行った警告数はコース中の大型掲示板に全ての警告の種類と回数\*が掲示されるため、競技者が受けている判定の内容は警告掲示板の表示内容によって把握することができる。また、近年の国際審判員育成においては、競技者に対する警告はできるだけレース序盤で行い、失格者はできるだけレース序盤から中盤までに競技から除外するような方向での指導が行われている。そのため、近年の競技会でレース終盤に失格者が発生することは少なくなっており、世界選手権大阪大会における競歩種目の順位予想を行うには、前年度の記録や自己記録、年次最高記録はあくまで参考程度にとどめ、警告掲示板の表示内容に注意しなが



ら，レース中盤までに実際の競技者の動きを観察しながら行うのが最も適当であろう。

## 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.

法元康二, 杉田正明, 藤崎 明, 阿江通良 (2004) 競歩の歩型判定に関するバイオメカニクスの分析-第42回全日本競歩輪島大会男子20km競歩の判定結果から-, 日本陸連科学委員会研究報告『陸上競技の医科学サポート研究REPORT』, 3 (1), 53-59.

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.

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.

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.

財団法人日本陸上競技連盟 (2006) 陸上競技ルールブック2006年版, あい出版: 東京.

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.

# より高く跳ぶための走高跳の技術

飯干 明<sup>1)</sup>

## Technique for Successful High Jump

Akira Iiboshi

キーワード：助走速度，身体の内前傾，踏切準備，身体  
の内後傾，外転筋群

もに，世界陸上大阪大会で注目される選手や競技の見どころを紹介する。

### 1. はじめに

メキシコ五輪（1968年）で2m24のオリンピック新記録をクリアして優勝したフォスベリー選手（アメリカ）が始めた「背面跳」は，ベリーロールに比べて，大きな助走速度を利用できるばかりでなく，踏切準備や踏切動作が容易であり，バー上で深いアーチのクリアランス姿勢をとることも可能であるため，急速に世界へ普及するとともに走高跳の記録を大きく向上させてきた。現在の世界記録は，男女とも背面跳で樹立されたもので，男子ではソトマヨル選手（キューバ）が1993年に跳躍した2m45，女子では1987年の世界陸上ローマ大会でコスタディノワ選手（ブルガリア）が跳躍した2m09であり，女子の世界記録は，男女の跳躍種目のなかでは最も古い記録になっている。2007年の世界陸上大阪大会に出場するとみられる世界一流走高跳選手は，男女とも優れた記録を有し，実力が伯仲しているため好記録も期待される。また，昨年度の世界6位に相当する2m33をクリアし，13年ぶりに日本記録を更新した醍醐選手の活躍も期待される。

ここでは，背面跳を中心に，最新の研究成果を交えながら，より高く跳ぶための走高跳の技術を紹介するとと

### 2. より高く跳ぶための走高跳の技術

#### 2.1 走高跳の記録の構成要素

走高跳の記録（H）は，図1に示したように，①身長や踏み切り時の姿勢に影響される離地時の身体重心高 $H_1$ （男子で記録の56～61%，女子で66～69%），②離地後に空中で身体重心が上昇する鉛直距離 $H_2$ （男子で記録の42～46%，女子で35～38%），③身体重心の最高到達高とクリアしたバーの高さとの差 $H_3$ （－3%程度）の総和による（阿江，1992a）。したがって，走高跳で良い記録を達成するためには，離地時にできるだけ身体重心を高くし，離地後は身体重心をできるだけ上昇させて，効率よくバーをクリアすることが必要となる。なかでも，実質的な跳躍高となるのは，離地時の身体重心の鉛直初速度によって決まる $H_2$ であることから， $H_2$ を大きくすることが重要である。ここでは，助走からクリアランスまで順を追って，より高く跳ぶための走高跳の技術をみていく（飯干，2004）。

#### 2.2 助走

走高跳では，助走で得られた水平速度を鉛直速度に変換するため，世界一流選手の1歩前離地時の助走速度（男子 $7.52 \pm 0.25$ m/秒，女子 $6.73 \pm 0.42$ m/秒）は，走幅跳や三段跳に比べると低くなる（飯干ら，1994）。しかし，助走速度と離地時の鉛直初速度には相関（ $r = 0.79$ ）が認められているように（Dapenaら，1990），走高跳の記録の向上は助走スピードを速めることと密接な関係があるため，優れた選手は速い助走スピードを用いることができる指摘されている（渡辺，2007）。世界記録を持つソトマヨル選手が，世界陸上東京大会（1991年）で2m36（2位）をクリアした助走速度（1歩前離地時）は7.93m/秒であり，上位8選手のなかで最も速かった（飯干ら，1994）。ソトマヨル選手は，世界陸上アテネ大会（1997年）で2m37をクリアして優勝しているが，助走速度は8.04m/秒で，東京大会よりもやや速くなっていた（Bruggemannら，1997）。昨年，2m33の日本記

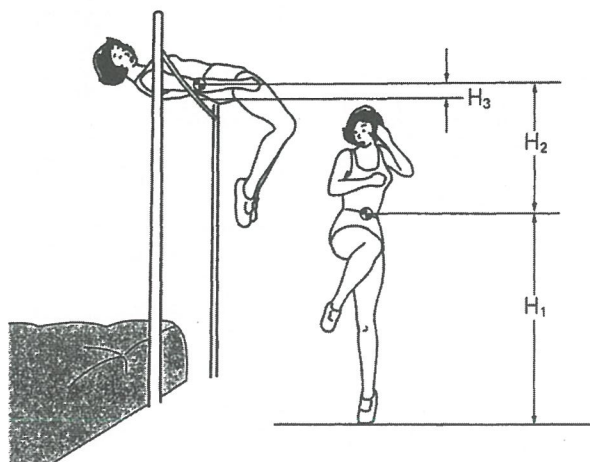


図1 走高跳の記録の構成要素（阿江，1992a）

1) 鹿児島大学 Kagoshima University

〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元1-20-6 Tel: 099-285-8846 E-mail: iiboshi@edu.kagoshima-u.ac.jp



録を樹立した醍醐選手の助走速度も、福岡博樹コーチが世界で戦う必要条件の1つとして「高速助走」を指導しているためか、踏切2歩前では8m/秒を超えており、1歩前離地時の助走速度も7.7m/秒で、世界一流選手の平均値を上回っていた(阿江ら, 2007)。

身長が181cmで2m40(世界歴代5位)の記録を持つ

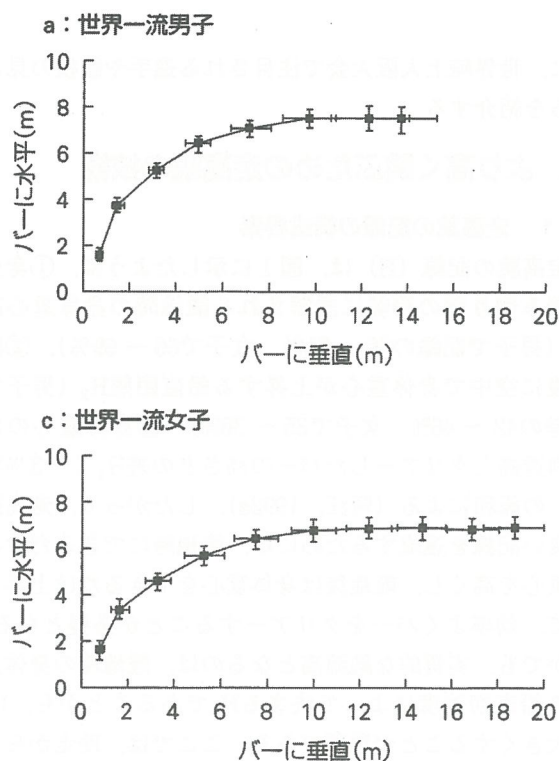


図2 世界一流選手の助走足跡(平均値と標準偏差)(阿江, 1999, 一部改変)

ホルム選手(スウェーデン)は、世界陸上ヘルシンキ大会(2005年)では、2位と同記録の2m29をクリアーして7位になっているが、その跳躍の助走速度は8.11m/秒であり、トピッチ選手(ユーゴスラビア、2m37の世界ジュニア記録保持者)の8.29m/秒に次いで速かった。また、ヘルシンキ大会における男子の助走速度( $7.78 \pm 0.34$ m/秒)も、これまでの世界陸上大会に比べて速かったと報告されている(Isolehtoら)。これらのことをもとにすると、より高く跳ぶために、今後も助走速度は速くなると予想されるが、大きな助走速度で曲線助走を行えば後述するように遠心力の影響も大きくなるため、曲線助走の効果的な走り方が鍵となろう。

背面跳の助走では、効果的な踏切準備や踏切を行うために、助走の後半で曲線を描くという特徴がある。二次元DLT法により世界一流選手の助走の足跡を分析すると(飯干ら, 1994; 阿江, 1999), 男女とも助走後半の曲線部分を5歩で助走していたが、女子は男子よりも浅い曲線を描いていた(図2)。大きな助走速度で大きな曲線を描こうとすると、遠心力で身体がカーブの外側に振られてバランスが崩れる恐れがあるため、筋力の劣る女子は浅い曲線を描いていたものとみられる。背面跳で、より大きな助走速度を利用しながら、遠心力により身体がカーブの外側に振られない助走の走り方のヒントは、醍醐選手から得られている。

醍醐選手の場合、2歩前の助走速度が8m/秒を超えていたにもかかわらず、カーブで外側に振られなかったのは、踏切2歩～1歩前で身体を内前傾(内傾+前傾)させて助走していたことによると指摘されている(阿江ら, 2007; 図3の側方と後方からみたフォーム参照)。

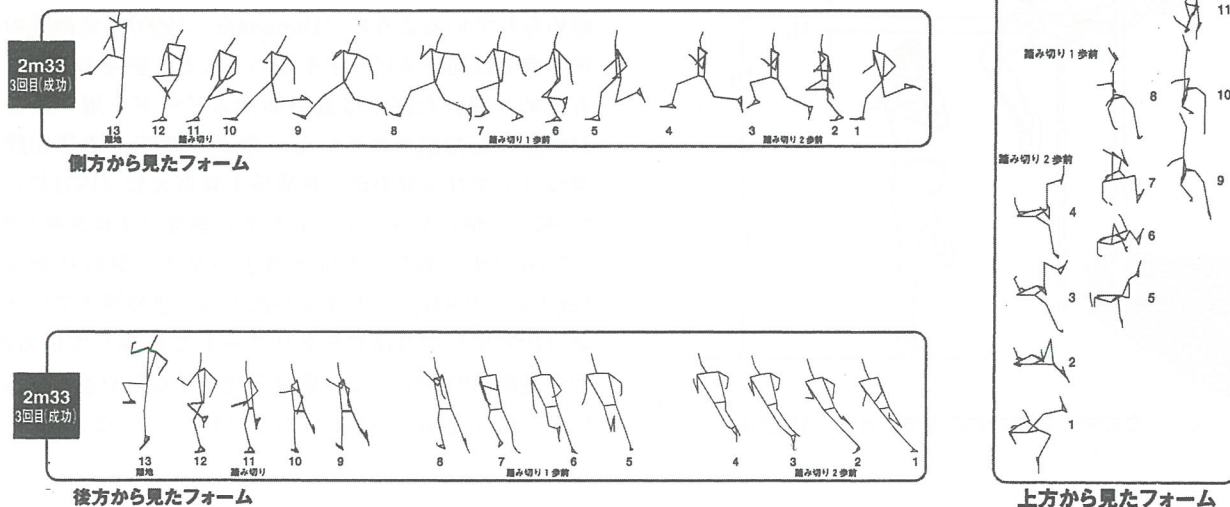


図3 醍醐選手の跳躍フォーム(阿江ら, 2007, 一部改変)

このような身体の内前傾について、福岡コーチは、「高速助走のためには、曲線の加速技術はとても大事な技術であり、助走ラインより少し外に接地することで大きな内傾と鋭い切れ込みを可能にし、高速のまま踏切へ導く」と述べている。そして、「2歩前からの準備動作でさらに内傾して重心を下げ、ためた力を無駄なく踏切に伝える」と解説している（阿江ら、2007）。これらのことをもとにすると、曲線助走を用いる背面跳で大きな助走速度を利用するためには、助走での接地位置や身体の内前傾が重要になるとみられる。

なお、国際大会で入賞するためには、自己最高記録か、それに近い記録を確実にクリアーできることが求められるため、助走では安定性も重要になってくる。しかし、バーが高くなって、助走速度を大きくした場合には、曲線助走で外側に振られやすい傾向が顕著になると指摘されているので（阿江ら、2007）、常に同じような跳躍ができるよう安定性を高める必要がある。その際に、コーチは、選手の側方からだけでなく、後方からも観察する必要がある。

### 2.3 踏切準備

背面跳の踏切準備は、①曲線の内側に身体を傾ける内傾動作によるタイプ、②内傾動作と支持脚の屈曲動作の両方を併用するタイプ、とに大別される（村木、1982；阿江、1992）。前者の場合には、踏切準備局面における助走速度の低下を小さくできるものの、十分な踏切準備動作を行うことは難しい。一方、後者の場合は、踏切で大きな後傾姿勢をとることができ、両腕の振込動作も行いやすいが、助走速度の低下が大きくなる。世界一流選手のなかで、踏切準備局面における助走速度の低下が大きかった選手は、踏切1歩前で支持脚の膝関節を大きく屈曲させていた。このことから、踏切準備動作として踏切1歩前で膝関節をあまり大きく屈曲させるのは望ましくないとみられている（飯干ら、1994；阿江、1999）。

踏切準備局面における助走速度の低下を小さくする動作（技術）の手がかりは、踏切1歩前の支持期において水平速度の低下が世界一流選手（平均値は0.63m/秒）のなかで、0.2m/秒と最も小さかったコンウェイ選手（ア

メリカ）から得られている（阿江、1999）。コンウェイ選手は、世界一流選手のデータをもとに作成された標準的モデルに比較すると、1歩前接地時に膝関節を大きく屈曲させており、その後、膝関節をあまり屈曲させずに、支持脚の下腿を大きく前傾させていた。このことから、踏切1歩前における助走速度の低下を最小限にとどめるのに効果的な動作（技術）は、踏切1歩前の接地時に身体を内傾させて膝を大きく屈曲させておき、その後、膝の屈曲を意識せずに下腿を前傾させて踏切に移るものであるとみられている。なかでも、支持期に下腿を前傾させる動きは、短距離、長距離を問わず、疾走の支持期では接地後に下腿が素早く前傾するとブレーキを小さくできることを考慮すると、ブレーキを小さくして重心を下げるのに役立つと指摘されている（阿江ら、2007）。このように、1歩前接地時に支持脚の下腿を大きく前傾させて身体を下げる動きは、醍醐選手にもみられている。

醍醐選手の場合、踏切1歩前の支持期における水平速度の低下は0.03m/秒であり、世界一流選手の平均値やコンウェイ選手に比べると極めて小さかった。醍醐選手のフォームで優れた点の1つとして、踏み切り1歩前支持期中ごろ（図3の側方からみたフォームのNo. 7）では、膝を深く曲げるよりも下腿を大きく前傾させ身体を下げていたことがあげられている（阿江ら、2007）。これらのことから、醍醐選手が、踏切1歩前の支持期において下腿部を大きく前傾させていた動きは、助走速度の低下を小さくするのに極めて効果的な、世界でもトップクラスの動きといえよう。醍醐選手は、阿江ら（2007）の分析結果について、踏切2歩前でストライドを伸ばすように入るので、結果的に1歩前でブレーキが少なく、同時に重心の下げが引き出されたと思うと述べており、すねや膝の部分的な動きについては無意識であるという。醍醐選手のコメントをもとにすると、踏切1歩前での速度の低下を小さくするのに効果的な動きは、福岡コーチのいう、「助走ラインより少し外に接地することで大きな内傾と鋭い切れ込み」のある助走や、「2歩前からの準備動作でさらに内傾して重心を下げる」動作により引き出されたものとみられるが、今後、さらに検討する必要

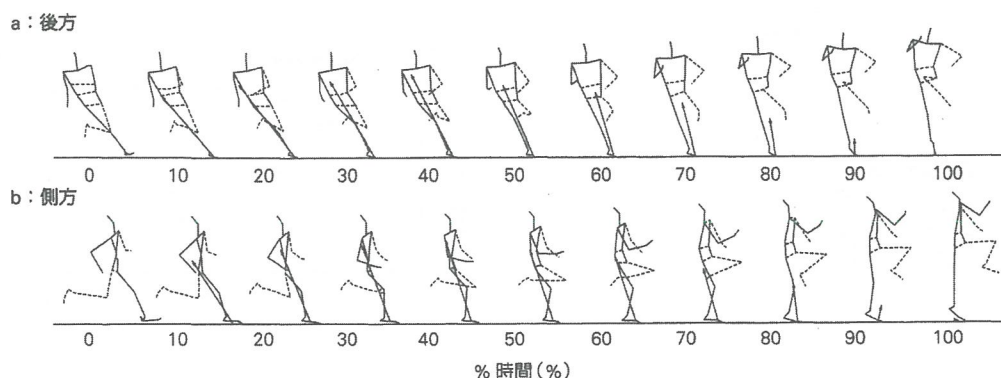


図4 踏切動作のスティックピクチャーと地面反力ベクトル（Okuyama ら、2003）



がある。

## 2.4 踏切

踏切において、後述する身体の起こし回転を利用し、水平速度を鉛直方向へ効果的に変換するためには、身体を内後傾させて踏切に入ることが重要になる。背面跳の踏切における下肢の3次元関節トルクを算出した研究によると（Okuyamaら、2003）、身体を内後傾させて踏切に入った場合、踏切中に地面反力のベクトルが踏切脚側の股関節の外側から内側にかけて通過し（図4）、外力による内転モーメントに抗するため、支持脚の関節トルクのなかでは股関節の外転トルクが最も大きくなっていった。すなわち、背面跳において内後傾した踏切を行うと、股関節の伸筋群に加えて、外転筋群も大きなトルクを発揮することになるという。このような外転筋群の働きについては、ほとんど知られていなかったが、内後傾して踏切に入ると、股関節の伸筋群に加えて外転筋群が使えるため、より大きな力を地面に加えることが可能になるとみられている。したがって、背面跳の踏切で大きな力を発揮するためには、股関節の伸筋群だけでなく外転筋群も強化していくことが重要となろう。なお、踏切足接地時に内後傾の姿勢がとれていると、踏切局面において、身体重心が踏切足の上かその近くを通過するので、鉛直地面反力を有効に使え、鉛直力積を大きくできると考えられている（阿江ら、2007）。

身体を内後傾させて踏切に入るための効果的な動きについても、醍醐選手のフォームより手がかりが得られている。醍醐選手が2m33に成功した試技では、踏切1歩前の接地時（図3の上方からみたフォームのNo.5）に、支持脚と左腰が、失敗した試技に比べてカーブ内側（左

側）に位置しており、身体の内傾が保たれていた。その後、支持期の下腿が前方へ倒れていくときに、膝を内側に絞り込むようにして方向変換することで、離地時（図3の上方からみたフォームのNo.8）には、下腿あるいは膝が失敗試技に比べるとカーブ内側（左側）にあり、外傾せずに踏切に入ることができたと指摘されている（阿江ら、2007）。このような、踏切1歩前の支持期における膝の内側への絞り込みによる方向転換が、高速助走にもかかわらず外傾することなく踏切に入るための鍵になるとみられている。

背面跳における踏切足の着き方について、渡辺（2007）は、運動学的な観点から一流男子選手を分析し、「踵から接地する仕方」、「土踏まずから接地する仕方」、「小指球から接地する仕方」の3つに区別している。醍醐選手は、以前は足首の強さにたよった跳躍を行うため小指球（小指の付け根部分）から接地していたが、衝撃が大きいためか故障が絶えなかったようである（寺田、2007）。その後、足首を強化するとともに、福岡コーチの指導する「はじけるような鋭い踏み切り」に取り組み、最近では「踵を地面に擦るように前方へ送り出し、踵から拇指球に乗り込むような感じで入る」と述べている（阿江ら、2007）。これらのことから、踏切足の着き方が跳躍に及ぼす影響は大きいとみられるが、背面跳における踏切足の着き方について、バイオメカニクスの観点から十分には検討されていないので、今後の検討課題となろう。

助走を用いた跳躍運動の踏切では、鉛直初速度を生み出す動作として、①回転動作、②振上動作、③屈伸動作の3つがあげられている（図5）（村木、1982；阿江、1992b）。なかでも、回転動作（身体の起こし回転）は、助走を用いた跳躍に特有なものであり、助走で並進運動をしてきた身体的一端を踏切で急速に停止する結果、踏切足を支点として身体に急激な前方回転が生み出される（Hinged movement）。このような身体の起こし回転は、踏切の前半部分で鉛直速度を生み出す役割がより大きいといわれている（村木、1982）。実際、世界記録を持つソトマヨル選手の踏切中の身体重心の鉛直速度の変化をみると、踏切脚の最大膝屈曲時における身体重心の鉛直

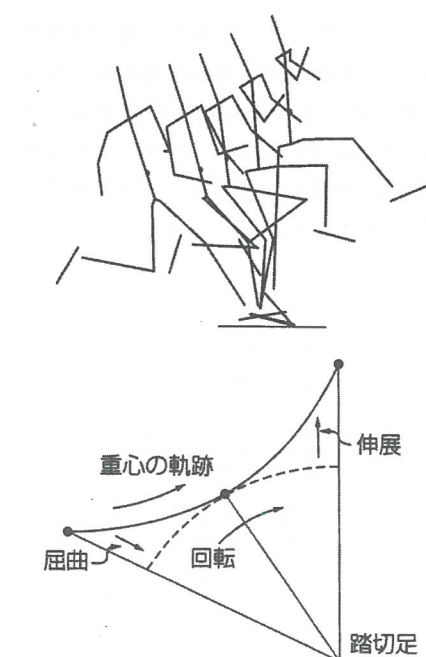


図5 走高跳の踏切モデル（阿江、1992b）

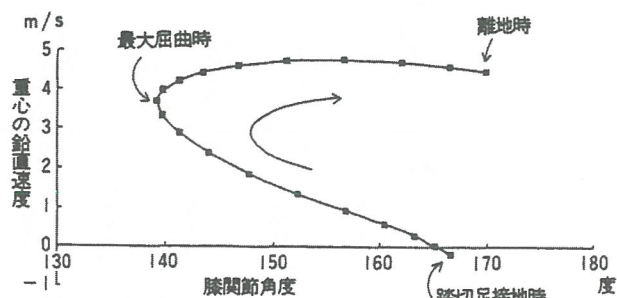


図6 踏切局面における踏切脚の膝関節角度と鉛直速度との関係（ソトマヨル選手）（阿江、1992b）



速度は3.65m/秒となっており（飯干ら, 1994）, 踏切脚の膝が伸展する前（踏切の前半部分）に、離地時の鉛直速度（4.54m/秒）の約80%が得られていた（図6）。なお、身体の起こし回転で生み出される鉛直速度成分は、助走スピードによって決定されるため、利用しうる範囲内で助走スピードが大きい方が有利となる。

離地時の身体重心高（ $H_1$ ）は、身長や四肢の長さに影響されるが、離地時に振上脚や両腕をどれだけ高く引き上げていたかにもよる。身長あたりの $H_1$ をみると、世界一流男子選手の平均値は約72%であり、醍醐選手は70%であった（阿江ら, 2007）。醍醐選手が、離地時の重心高を世界一流選手と同じように身長の72%（1.31m）にすれば、最大重心高は2m47程度になるという。しかし、離地時の重心高は、鉛直速度の大きさと相反する傾向にあるようで、離地時の重心高が大きくなると鉛直速度が小さくなることが多いと指摘されている。醍醐選手の最大重心高は、離地時の重心高を変化させなくても、世界一流選手（ $4.53 \pm 0.16$ m/秒）を上回っていた鉛直速度（2m27の跳躍では4.78m/秒, 2m33の跳躍では4.73m/秒）を4.8m/秒まで高めれば2m45になり、4.9m/秒では2m49になるという。クリアランスでのロスを考慮にいても、世界のトップクラスの記録である2m35から2m43程度は達成でき、醍醐選手には、その可能性は十分にあるとみられている（阿江ら, 2007）。

## 2.5 クリアランス

背中からバーを越える背面跳の場合、背中をバーに向けるために必要となる縦軸回りの角運動量の多くは、踏切で振上脚を斜め上方へ振り上げる動作によって得ている。曲線助走から踏切に移った場合には、身体の内傾が大きくなり、振上脚の位置が身体重心から遠くなるので、その状態から振上脚を振り上げれば縦軸回りの角運動量を生み出しやすくなる（Dapena, 1980；阿江, 1992）。

クリアランスの評価は、一般には、身体重心の最高到達高とクリアーしたバーの高さとの差（ $H_3$ ）で行われるが、最大重心高と重心がバー上を通過するときの重心高との差や、重心のピークとバーとの水平方向のずれによる評価も必要である。世界陸上の東京大会でソトマヨル選手が2m36をクリアーした試技では、 $H_3$ は-0.12mと大きかったが、最大重心高と重心がバー上を通過するときの重心高との差は0.01mと小さくなっており、跳躍のピークがうまくバー上にきていた（飯干ら, 1994）。

## 3. 大阪大会の有力選手の特徴

大阪大会に出場するとみられる有力選手を紹介するが、各選手の記録や特徴などは、国際陸連（FIFA）ホームページ、オンライン百科事典Wikipedia（英語版）、読売新聞ホームページ、TBS世界陸上ホームページ、陸上競技マガジン記録集計号、陸上競技マガジンアスリート名鑑のほか、月刊陸上競技や陸上競技マガジンに掲載さ

れた記事を参考にした。

### 3.1 男子

#### ①ステファン・ホルム（スウェーデン）

Stefan HOLM（SWE）

1976年生まれの30歳で、身長181cm、体重69kg。自己ベストは2005年に室内で跳躍した2m40（世界歴代5位）で、2007年5月現在のポイントによるFIFAランキングは2位。走高跳選手としては短身であるが、頭上59cmを超える驚異的なジャンプ力を持つ。アテネ五輪の金メダリスト（2m36）であり、世界室内選手権でも3回優勝している（2001年, 2003年, 2004年）。今年の2月にスウェーデン室内選手権で2m38を跳んで優勝し、3月の欧州室内選手権では2m34を跳躍して逆転優勝するなど勝負強い選手である。

#### ②イワン・ウホフ（ロシア）Ivan UKHOV（RUS）

1986年生まれの21歳で、身長192cm、体重83kg。自己ベストは今年の室内で跳躍した2m39（世界歴代6位）で、2007年5月現在のFIFAランキング5位。最初は円盤投の選手であったが、バネを見込まれて走高跳に転向した異色の選手。18歳で2m15を跳躍し、翌年には2m30まで記録を伸ばして注目された。2005年の欧州ジュニアのチャンピオン（2m23）であり、2006年にはドイツで開催されたハイジャンプ大会において2m33で優勝している。今年の1月に開かれた国際陸連室内パーミット大会の初戦において、今季世界最高の2m39に成功して優勝した伸び盛りの選手である。

#### ③リーナス・ターンプラード（スウェーデン）

Linus THÖRNBLAD（SWE）

1985年生まれの22歳で、身長は180cm、体重76kg。自己ベストは今年の室内で跳躍した2m38（世界歴代7位）で、2007年5月現在のFIFAランキング3位。同国のホルム選手と同様に、走高跳選手としては短身であるが、頭上58cmを超える驚異的なジャンプ力を持つ。2006年のワールドアスレチックファイナルで、2m33をクリアーして優勝。今年の2月のスウェーデン室内選手権では、優勝したホルム選手と同記録の2m38で2位になり、3月の欧州室内選手権でも2m32を跳躍し、ホルム選手に次いで2位となった。母国では、ホルム選手の後継者として期待されている。

#### ④ヤロスラフ・リバコフ（ロシア）

Yaroslav RYBAKOV（RUS）

1980年生まれの26歳で、身長198cm、体重84kg。自己ベストは2005年に室内で跳躍した2m38で、2007年5月現在のFIFAランキング4位。世界陸上エドモントン大会（2001年）では2m33で銀メダルを獲得し、2002年には欧州選手権とワールドカップで、いずれも2m31をクリアーして優勝。アテネ五輪では2m32で6位入賞し、2005年の欧州室内選手権では2m38の自己ベストを記録して2位。また、2006年の世界室内選手権では、2m37



で優勝している。

⑤アンドレ・シルノフ (ロシア) Andrey SILNOV (RUS)

1984年生まれの22歳で、身長198cm、体重83kg。自己ベストは2m37 (2006年) で、2007年5月現在のFIFAランキング1位。2006年の欧州選手権において2m36の自己最高で優勝したあと、8月にモナコで開かれた国際陸連スーパー GPのモンテカルロ大会では、2m37 (昨年度の世界最高記録) で優勝するなど伸長著しい選手。また、2006年のワールドアスレチックファイナル (2m33) とワールドカップ (2m24) では、いずれも2位になっている。

⑥醍醐直幸 (日本)

1981年生まれの26歳で、身長182cm、体重64kg。自己ベストは昨年の日本選手権で13年ぶりに日本記録を更新した2m33 (2006年)。この記録は、昨年度の世界ランキング6位であり、世界選手権A標準を突破するものである。高校2年生のアジアジュニアでは2m19をクリアーして2位、3年生の世界ジュニアでは7位に入賞した。大学1年時には自己記録を2m21まで伸ばしてアジアジュニアで優勝したが、2年目以降は故障続きとなった。2005年の大阪選手権では2m27を跳んで復調し、2006年には2m28を跳び室内日本記録を更新した。昨年の12月にドーハ (カタール) で開かれたアジア大会では、1位と同記録の2m23を越えて銅メダルを獲得し、今年の5月に開催された国際グランプリ大阪大会では2m30で優勝するなど安定感も増してきている。

### 3.2 女子

①カーサ・ベリクヴィスト (スウェーデン)

Kajsa BERGQVIST (SWE)

1976年生まれの30歳で、身長175cm、体重59kg。自己ベストは2003年に室内で跳躍した2m08 (世界歴代2位) で、2007年5月現在のポイントによるFIFAランキング1位。2000年シドニー五輪3位 (1m99)、2001年世界陸上エドモントン大会3位 (1m97)、2003年世界陸上パリ大会3位 (2m00)、そして2005年世界陸上ヘルシンキ大会では2m02をクリアーして金メダルを獲得した。昨年度の世界ランキングが1位で、屋外で2m05と2m04を各1回、2m02を2回、2m01を跳躍し、実力、安定度ナンバーワン。今年も好調で、6月初めにイタリアで開かれた大会において2m02を1回でクリアーして優勝している。

②エレナ・スレスレンコ (ロシア)

Yelena SLESARENKO (RUS)

1982年生まれの25歳で、身長179cm、体重55kg。自己ベストはアテネ・オリンピックでオリンピック新記録を樹立して金メダルを跳躍した2m06 (世界歴代5位) で、2007年5月現在のFIFAランキング5位。2004年の世界室内陸上選手権を2m04で制して、自己記録 (1m97、2002年) を更新すると、屋外でも、SPARヨーロッパカッ

プを2m04で優勝した。そのままの調子でアテネ五輪では、タマラ・ブイコワ選手の持っていたロシア記録を22年ぶりに更新するとともに、2m10の世界記録にも挑戦した。2005年のシーズンは、けがで戦列を離れたが、2006年の世界室内陸上選手権を2m02で制し復帰した。

③ティア・エレボー (ベルギー) Tia HELLEBAUT (BEL)

1978年生まれの29歳で、身長182cm、体重62kg。自己ベストは今年の室内で跳躍した2m05で、2007年5月現在のFIFAランキング2位。7種競技と走高跳で室内と屋外のベルギー記録保持者で、アテネ五輪は1m85で12位。2006年ワールドアスレチックファイナルでは1m98で2位。昨年は春先まで7種競技を専門としていたが、屋外の大会は走高跳に絞って出場し、7月に初めて2mをクリアーしたあと、8月の欧州選手権で2m03を1回でクリアーして優勝。今年の欧州室内選手権では、1m99 (2回目) 以外は、2m00、2m01、2m02、2m03、2m05のいずれも1回目にクリアーして優勝し、2m09の世界タイ記録に挑戦した。なお、今年の2月にベルギーで行われた5種競技の室内選手権では、4種目で自己ベストを更新し、世界歴代4位となる4877点をマークして優勝した。

④ブランカ・ヴラシッチ (クロアチア)

Blanka VLAŠIĆ (CRO)

1983年生まれの23歳で、身長193cm、75kg。自己ベストは2m04 (2007年) で、2007年5月現在のFIFAランキング3位。十種競技のクロアチア記録保持者である父親がコーチをしており、2000年 (1m91) と2002年 (1m96) の世界ジュニア陸上選手権で金メダルを獲得。世界陸上パリ大会は1m95で7位、2004年のアテネ五輪では1m89で11位。今年の5月にドーハで開かれたカタール・スーパーツアーで、これまでの自己記録を更新する2m04を跳躍して優勝するなど、身長に恵まれた伸び盛りの選手。

⑤ベネリナ・ヴェネワ (ブルガリア)

Venelina VENEVA (BUL)

1974年生まれの32歳で、身長179cm、体重61kg。自己ベストは2m04 (2001年と2006年) で、2007年5月現在のFIFAランキング4位。1990年に室内で1m93を跳躍 (15歳の世界最高記録) した後、1995年に1m94をクリアーするまで記録が伸び悩み、アトランタ五輪は1m80で30位であった。その後、シドニー五輪では1m93で9位となり、アテネ五輪では1m92で8位となった。2001年世界陸上エドモントン大会 (1m97) と2003年世界陸上パリ大会 (1m98) のいずれも4位。2006年の欧州選手権では、1位のエレボーと同記録 (2m03) で2位になり、今年の欧州室内選手権では、2位と同記録の1m96で3位になっている。なお、1991年の世界陸上東京大会にも参加したが、1m79で予選落ち。

⑥ルース・ベイティア (スペイン) Ruth BEITIA (ESP)



1979年生まれの28歳で、身長186cm、体重63kg。自己ベストは今年の室内で跳躍した2m01で、2007年5月現在のFIFAランキング6位。2003年世界陸上パリ大会では11位（1m90）であったが、2005年の欧州室内選手権で1m99をクリアーして2位になり、2006年の世界室内選手権では1m98を跳躍し3位になっている。そして、今年は、2月に室内で自己ベストの2m01をクリアーしてスペイン記録を更新し、3月の欧州室内選手権では1m96で4位になるなど調子が上向いている。

出場が予想される主な選手とみると、男女ともロシア選手の他に、スウェーデン選手の活躍が目立つ。その背景には、スウェーデンが、デンマークやオランダと並び、世界有数の長身国であり、その体形を最大限に生かせる種目である走高跳への関心がもともと高かったことにあるという（霜田，2007）。長い金髪と2メートルの長身で、1984年ロサンゼルス五輪から3大会連続してオリンピックでメダルを獲得し、1987年の6月には当時の世界記録である2m42（現在の世界歴代2位）を跳躍するとともに、同年の世界陸上ローマ大会で金メダルを獲得したパトリック・ショーベリ選手に国民は魅了され、それが、ベリクヴィスト選手の人気の下地になっているという。このような走高跳の人気のほかにも、高度な技術がスウェーデン選手の強さの秘訣としてあげられている（霜田，2007）。ホルム選手やターンプラード選手の身長は、日本選手とあまり変わらないので、頭上58～59cmを越える跳躍技術は、わが国の選手にとって参考となるであろう。

## 4. 大阪大会の競技の見どころ

### 4.1 男子

ウホフ選手、シルノフ選手、リバコフ選手ら、若手で長身選手の成長が著しいロシア勢と、走高跳選手としては短身であるが、速い助走の他に高度の跳躍技術を身につけているとみられるホルム選手とターンプラード選手のスウェーデン勢を中心とした競技展開が予想される。2007年インドア世界10傑をみると、ウホフ選手が2m39で1位であり、2位には2m38の同記録で、リバコフ選手、ホルム選手、ターンプラード選手が並んでおり、上位選手の実力が伯仲している。若い伸び盛りの選手も多いので、ソトマヨル選手の持つ2m40の大会記録（1993年シュタットガルト大会）や2m45（1993年）の世界記録の更新も期待される。活躍が期待される醍醐選手は、日本記録を更新した試技等の分析結果をもとにすると、優れた技術を身につけており、2m35から2m43は成功する可能性があるとし唆されている。大阪大会では、2m33から2m35あたりを1回でクリアーできれば、醍醐選手もメダルを獲得するチャンスがあると思われる。

### 4.2 女子

スレサレンコ選手は、アテネ五輪で2m06を跳躍して

優勝を決めたあと、2m10の世界記録に挑戦した。また、ベリクヴィスト選手も昨年のスウェーデンで開かれたスーパーグランプリで、2m02をクリアーして優勝を決めたあと、2m10の世界記録に挑戦している。さらに、エレボー選手も今年の欧州室内選手権で2m05を跳躍して優勝を決めたあと、2m09の世界タイ記録に挑戦している。このような状況をみると、世界記録の更新は間近であり、実力者が出場するとみられる大阪大会では世界記録が更新される可能性も大きいとみられる。なお、2007年インドア世界10傑では、エレボー選手が2m05で1位であり、2位には2m02のヴェネワ選手、3位が2m01の同記録でヴラシッチ選手とベイティア選手となっており、ベリクヴィスト選手は1m98で10位にランクされている。

コスタディノフ選手が2m09の世界記録を樹立して優勝したのは1987年の世界陸上ローマ大会であり、今年の8月30日に20周年を迎えることになる。現在、ブルガリア五輪委員会の会長を務めているコスタディノフは、女子走高跳には、スレサレンコやベリクヴィスト、欧州選手権覇者のエレボーなどの素晴らしいジャンパーがいるため、世界記録は20周年を迎えられないかもしれないと述べている（K ken 中村，2007）。上位選手の実力が伯仲するとともに、人気を兼ね備えた選手が活躍していることから、黄金時代を迎えているといわれている女子走高跳は、大阪大会において、過去2大会の優勝記録はもとより、世界記録の更新も期待される注目される種目の1つとなろう。

## 引用・参考文献

- 1) 阿江通良 (1992a) 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 基礎理論編, pp.33-53, 大修館書店.
- 2) 阿江通良 (1992b) 走高跳解説, 陸上競技ビデオ 世界トップアスリートに見る最新・陸上競技の科学 第6巻, 走高跳・棒高跳, ベースボールマガジン社.
- 3) 阿江通良, 戸谷直喜, 富樫時子, 森岡保典, 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, (佐々木秀幸, 小林寛道, 阿江通良監修) アジア一流競技者の技術, pp.113-135, 創文企画.
- 4) 阿江通良 (1999) 走高跳のコーチングとバイオメカニクス, 第1回陸上競技の医科学・コーチング国際会議講演・発表論文集, 123-127.
- 5) 阿江通良・武田 理・小山宏之 (2007) 醍醐直幸 (富士通) の跳躍フォームの分析, 陸上競技マガジン, 57 (5) : 138-143.
- 6) Brüggemann, G.P., and Arampatzis A. (1997) Men's high jump. In : Biomechanical Research Project at the VIth World Championships in



- Athletics, Athens 1997 : Preliminary Report, H.Muller and H.Hommel (eds). New Studies in Athletics, 13, 66-69.
- 7) Dapena, J. (1980) Mechanics of rotation in the Fosbury-flop. Med. Sci. Sports Exerc., 12 (1) : 45-53.
  - 8) Dapena, J., McDonald C. and Cappert J. (1990) A Regression Analysis of High jumping technique. Journal of Sport Biomechanics. 6 : 246-261.
  - 9) 船原勝英 (2006) ワールドトピックス, シルノフが今季世界最高 2m37勢いに乗る走高跳の新星, 月刊陸上競技, 40 (11) : 173.
  - 10) 船原勝英 (2007a) ワールドトピックス, 20歳のウホフが2m39室内歴代6位タイ ロシア新, ヘルブート 今季2m一番乗り, 月刊陸上競技, 41 (4) : 142-143.
  - 11) 船原勝英 (2007b) ワールドトピックス, 五輪王者・ホルムが2m38に成功 テルンブラードも同記録, 月刊陸上競技, 41 (5) : 104.
  - 12) 菅原 勲 (2007) 2007年インドア世界10傑～パフォーマンス10～, 月刊陸上競技, 41 (6) : 137.
  - 13) 望月次朗 (2006) 第19回ヨーロッパ選手権, 月刊陸上競技, 40 (11) : 163-169.
  - 14) 千田辰己 (2007) 2006世界10大ニュース ベリクヴィストが室内世界新 女子走高跳, 陸上競技マガジン, 57 (1) : 110-111.
  - 15) 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, (佐々木秀幸, 小林寛道, 阿江通良監修) 世界一流陸上競技者の技術, pp.169-184, ベースボールマガジン社.
  - 16) 飯干 明 (2004) 走高跳のバイオメカニクス (金子公宥, 福永哲夫編) バイオメカニクス 身体運動の科学的基礎, pp.223-227, 杏林書院.
  - 17) J.Isolehto, M.Virmavirta, H.Kyröläinen and P.V.Komi. Biomechanical Analysis of the High jump (<http://www.iaaf.org/newsfiles/38219.pdf>)
  - 18) K. Okuyama, M. Ae and N.Yokozawa (2003) THREE DIMENSIONAL JOINT TORQUE OF THE TAKEOFF LEG IN THE FOSBURY FLOP STYLE. Abstract and Proceeding, International Society of Biomechanics XIXth Congress. (in CD-ROM)
  - 19) K Ken 中村 (2006) 第19回欧州選手権 2007OSAKA フィールドの主役は欧州勢か?, 陸上競技マガジン, 56 (12) : 115-121.
  - 20) K Ken 中村 (2006) 世界選手権 “最高の瞬間” ② 1987年ローマ大会 女子走高跳 コスタディノワ 2m09, 華麗に舞う, 月刊陸上競技, 41 (5) : 78-79.
  - 21) 国際陸連FIFAホームページ (<http://www.iaaf.org/>)
  - 22) 村木征人 (1982) 跳躍競技 (大石三四郎, 浅田隆夫編) 現代スポーツコーチ実践講座 2 陸上競技 (フィールド), pp.219-378, ぎょうせい.
  - 23) 野口純正, 寺田辰朗, 石井安里, 熊田大樹 (2007) 陸上競技マガジン2007アスリート名鑑, 陸上競技マガジン2007年5月号別冊付録, pp.26.
  - 24) 霜田 聖 (2007) 「陸上世界地図」北・東欧編 (4) スウェーデン 走り高跳び 機能美酔う長身国, 読売新聞ホームページ ([http://www.yomiuri.co.jp/sports/osaka2007/feature/fe\\_os\\_070210\\_01.htm](http://www.yomiuri.co.jp/sports/osaka2007/feature/fe_os_070210_01.htm))
  - 25) 下田辰己 編 (2007) 世界50傑, 陸上競技マガジン記録集計号, 陸上競技マガジン2007年4月号増刊.
  - 26) TBS世界陸上大阪ホームページ ([http://www.tbs.co.jp/seriku/athlete/profile\\_579.html](http://www.tbs.co.jp/seriku/athlete/profile_579.html))
  - 27) 寺田辰朗 (2007) 表彰台への挑戦 EPISODO 5 キーワードは“自信”と“足首”, TBS世界陸上大阪ホームページ ([http://www.tbs.co.jp/seriku/blog/diary\\_ep05.html](http://www.tbs.co.jp/seriku/blog/diary_ep05.html))
  - 28) Wikipedia英語版ホームページ ([http://en.wikipedia.org/wiki/Main\\_Page](http://en.wikipedia.org/wiki/Main_Page))
  - 29) 渡辺輝也 (2007) スピードフロップの踏切技術に関するモルフォロギー的考察, スポーツ運動学研究, 19 : 71-83.
  - 30) 山田貴史 (2007) ワールドニュース・フラッシュ エレボー, 室内世界歴代4位 女子5種競技, 陸上競技マガジン, 57 (5) : 137.

# 一流走幅跳選手の技術と戦術について

伊藤 信之<sup>1)</sup>

## Techniques and tactics used by elite long jumpers

Nobuyuki Ito

世界選手権での走幅跳というと、Powell選手とLewis選手が熱戦を繰り広げた1991年の東京大会のことがまず思い出される。男子の走幅跳のレベルは、Powell選手やLewis選手などのアメリカ勢が活躍していた1981年からの10年間では、世界と日本との間にかかなり大きな記録の開きがあったが、ここ数年は年度別世界最高記録が低下傾向にあり、日本との記録差は縮まってきている（飯干，2004）。女子の場合にも記録差が小さくなってきており、昨年、日本記録を樹立した池田久美子選手の6 m86は、昨年度の世界ランク12位であった（ベースボールマガジン社陸上競技記録集計号）。また、この記録は2007年5月30日現在で、本年度のランキングでは5位に相当するもので（IAAFホームページ），この夏の大阪で行われる世界選手権ではメダルの獲得といったことが視野に入ってくるところまでできていると言ってよいだろう。本稿では、日本選手が世界とどのように戦っていくかということを念頭におきつつ、走幅跳の競技の特性や見どころについて解説していきたい。

### 1. 踏切における身体のポジショニングについて

走幅跳の踏切での課題は、助走で得た水平速度のロスを最小限に抑えつつ、離地時に鉛直速度を獲得することにある。走幅跳のようなランニング・ジャンプにおいて

鉛直速度を生み出すための“バネ”の要素は、a) 助走速度を利用した身体の起こし回転によるもの、b) 身体の自由運動部位の振り上げ動作によるもの、c) 身体の踏切支持部位の伸展動作によるものの3つに大別することができる（図1）。

支持脚の膝や足関節が屈曲していく踏切前半の局面において、鉛直速度の増加分は踏切全体の65%以上になることから（村木ら，2005），走幅跳の踏切では、起こし回転によるバネの貢献が非常に高いと言えるだろう。こ

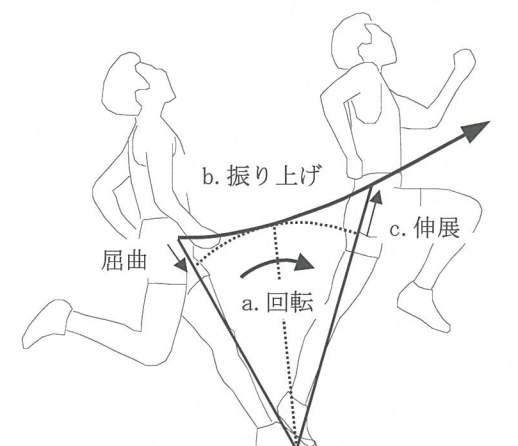


図1 ランニング・ジャンプの“バネ”のモデル  
（村木ほか，1982より引用改変）

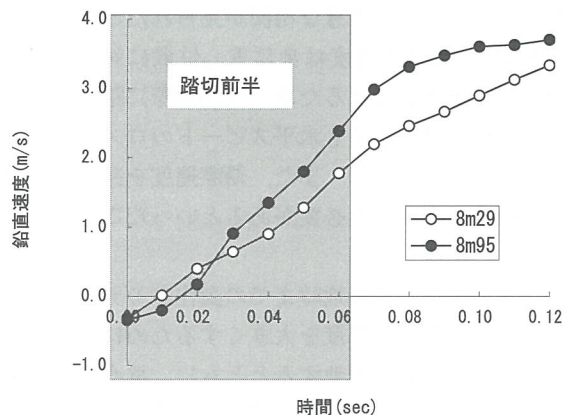
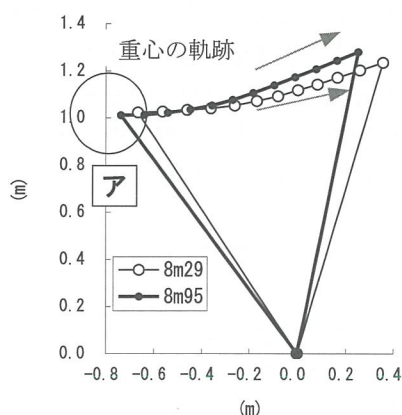


図2 Powell選手の踏切支持局面における重心位置の軌跡及び鉛直速度の変化  
—失敗跳躍と成功跳躍の比較—（伊藤ほか，1998より引用改変）

1) 横浜国立大学教育人間科学部 Faculty of Education and Human Sciences, Yokohama National University  
〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台79-2 Tel: 045-339-3275 E-mail: itou@ed.ynu.ac.jp



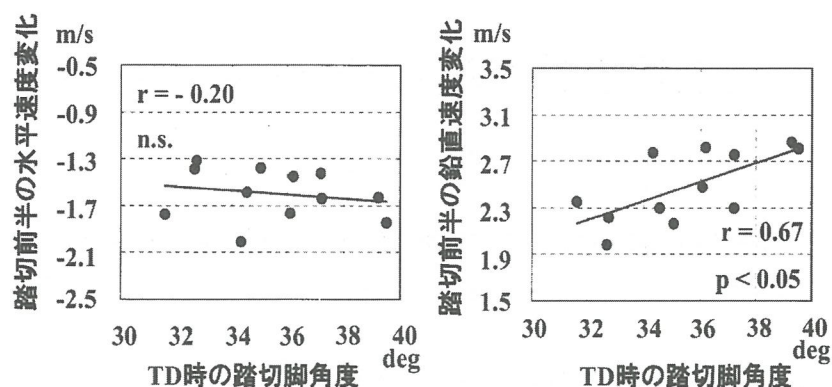


図3 踏切接地時の踏切脚角度と踏切前半における水平および鉛直速度の変化 (村木ほか, 2004aより引用改変)

の起こし回転によるバネは、並進運動をしてきた身体の一部を踏切で急速に停止した結果生み出された急激な前方回転を利用するものであるため、この起こし回転で生み出される鉛直速度成分の大きさには、踏切接地時の身体のポジショニングが適切になされているかどうかということが大きな影響を及ぼすと言える。

Powell選手の失敗跳躍（8 m29）と成功跳躍（8 m95）を比較すると（図2），踏切接地時の足先位置に対する重心位置の違いによって（図中ア），その後の重心の軌跡および鉛直速度の増加の仕方に大きな違いを及ぼすことが分かる。鉛直速度の増加の仕方の違いは、踏切前半に顕著に見られたことから（図2右図），踏切前半の局面で、腰や膝関節が緩まずに、強固な支持動作を取れることの重要が示唆される。

指導の現場では、踏切でのスピードのロスを防ぐために、踏切足を身体の下近くに接地するように指示する例があるようである。踏切脚の大転子とくるぶしを結んだラインが鉛直線となす角を踏切脚角度とすると、国内外の一流走幅跳選手を被験者とした報告では（村木ほか, 2004a），踏切接地時の踏切脚角度と踏切前半の水平速度変化との間には相関が見られなかったのに対して、踏切前半の鉛直速度変化との間には有意な相関が見られたとのことである（図3）。踏切脚角度は身体重心位置に対しての足の接地位置の影響を受けるため、踏切の際に踏切足を多少身体の手前に接地しても水平スピードのロスの大きさはさほど変わらないこと、また、鉛直速度を高めるには、身体の前方に接地する必要があるといったことが示唆される。

図4は、踏切1歩前から踏切接地時までの動作のモデルを示したものである。踏切脚角度を大きくするためには、踏切足を重心よりも前方に接地するとともに、重心高が低められている必要がある。また、接地時の重心位置が低くても、落下の影響が大きい場合（図4中×印），起こし回転を有効に利用することにつながらなくなる。助走の間のびによって踏切1歩前のストライドが広がってしまった場合にはこうした動作になりやすく、脚力に

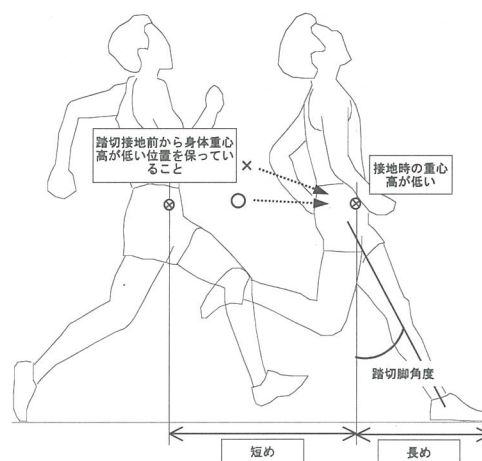


図4 踏切1歩前から踏切接地時までの動作のモデル

よって、無理矢理に踏切のような跳躍となってしまう。これは失敗跳躍の典型例の一つである。重心位置が低い位置を保ったまま接地するには（図4中○印），踏切1歩前の滞空期が短いということが重要となる。

## 2. 踏切準備局面の動作

### 2.1 踏切1歩前での減速

起こし回転によるバネをうまく引き出すためには、踏切1歩前から踏切接地にかけて重心高が低く保たれていることが望ましいが、低重心のままではスピードを高めることに限界があるため、助走の大部分は通常の重心高で走り、踏切が近づいた段階で重心高を低くすることが必要となる。

指導の現場では、踏切1歩前の支持期中に重心を落とすことが踏切準備動作であると誤解されていることが多いようである。踏切1歩前において支持脚膝関節の屈曲を抑えることで、助走速度の減少を抑えることができるため（村木他, 2004a），支持期中に重心を落とす動作を行うことは、スピードをロスすることにつながると言える。一流走幅跳選手では、重心高の低下は踏切2歩前の滞空期中に起こっている（図5）。

阿江ほか（1999）は、世界一流選手では踏切2歩前に

おける助走速度の減少が認められるが、踏切1歩前ではわずかに加速して踏切に移るのに対して、日本選手の多くは踏切1歩前において減速が大きいと報告している。この理由として、世界一流選手では、踏切2歩前の支持期中に膝を大きく屈曲するため、助走速度は一時的に減少するが、1歩前では膝をあまり屈曲させず、伸展するようにして走ったことが助走速度の加速につながったと述べている。

図6は踏切2歩前から1歩前支持期までの動作のモデルを示したものである。踏切2歩前の支持期中に膝を大きく屈曲するという事は、地面に対するキック力が抑えられたものと解釈することができるだろう。踏切2歩前に地面に対するキックを抑えることで(図中ア)、速度の増加は抑えられることになるが、滞空期での重心の低下がスムーズになされることになる(図中イ)。踏切2歩前に地面をしっかりキックしてしまうと、踏切1歩前での減速が起こりやすく、踏切脚接地時の水平速度にマイナスの影響を与えてしまうことになってしまう。踏

切1歩前接地時には、重心が低められた姿勢となっているため、股関節、膝関節がすでにある程度屈曲した状態となっている(図中ウ)。こうした姿勢での接地のためには、接地前に股関節の伸展速度がそれ以前の局面のものより抑えられていることが役立つと思われる(図中エ)。この局面で股関節の伸展速度が速ければ、接地時に股関節の角度が大きくなることになり、接地時の重心高は十分低められない可能性が大きくなる。踏切1歩前の接地時に重心高が十分低められていると、さらに重心を低めるための余計な膝の屈曲動作を行う必要がなくなるため(図中フ)、踏切に向かって脚の伸展動作を強調することができるだろう。

助走のラスト2歩は、長短のストライド長のパターンとなることが多いが、長短の比率と跳躍距離との間に関連性は認められていない(Hay, J.G. et.al, 1986)。踏切2歩前は1歩前接地時の支持脚の足が前方に位置することになるため、見かけの歩幅は長くなるが、キック力を増した結果によるものではないということは、知っておくべきことと思われる。

## 2.2 花岡選手と池田選手の比較

花岡選手、池田選手とも日本を代表する女子走幅跳選手であり、世界を相手に戦える力を持っているといえる。ともに踏切での起こし回転の利用には素晴らしいものがあるが、踏切準備の動作には、それぞれの個性が表れている。

2003年の日本選手権は、花岡選手の記録が6 m63、池田選手が6 m64であり、実測距離はそれぞれ6 m72(花岡選手)、6 m65(池田選手)であった。踏切3歩前接地時から踏切離地時までの重心水平速度の変化を見ると、踏切2歩前までは池田選手の方が花岡選手のことを上回っていたのに対して、踏切1歩前では、池田選手が大きく減速していたのに対して、花岡選手はわずかに加速しながら踏切に移行することができていたため、踏切接地時の速度は花岡選手の方がわずかに速かった(図

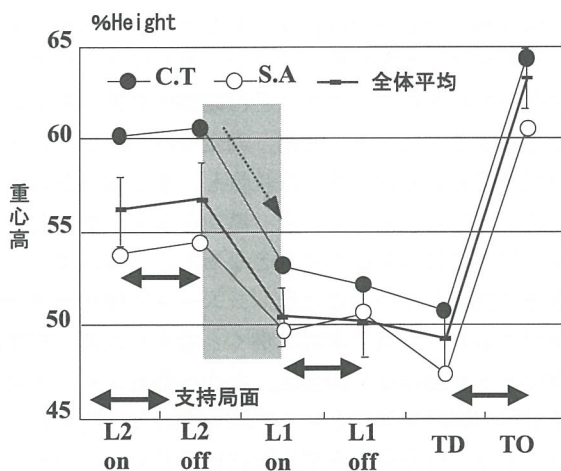


図5 踏切2歩前接地時から踏切離地時における重心高の変化(村木ほか, 2004aより引用改変)

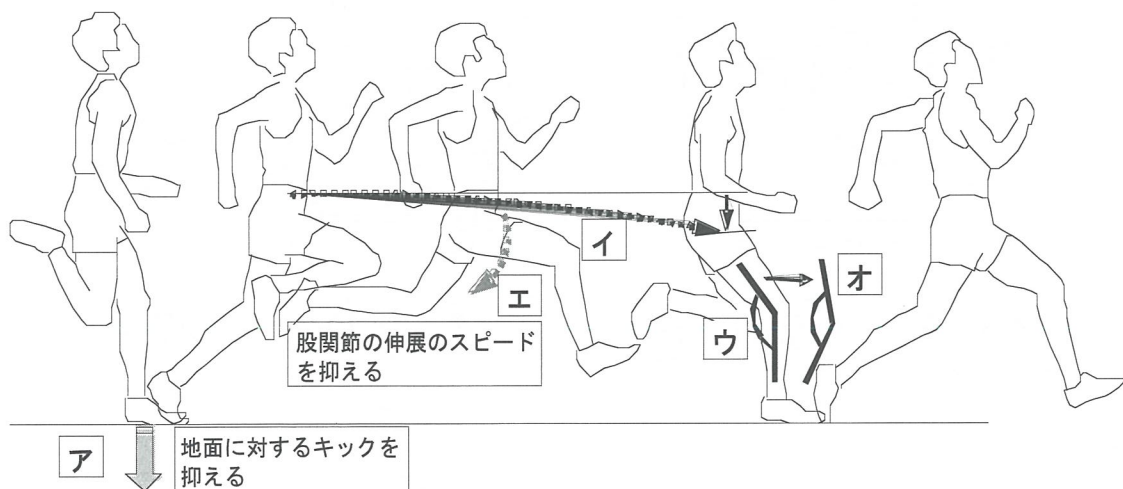


図6 踏切2歩前から1歩前支持期までの動作のモデル



7).

踏切2歩前から踏切接地までの動作をスティックピクチャーで比較してみると(図8), 踏切2歩前の離地時に, 花岡選手の上半身が若干後傾気味であるとともに脚の後方への伸展が抑えられているのに対して(図中ア), 池田選手は上半身の前傾が保たれ, しっかりと地面を押している体勢となっていることが分かる(図中イ). このことが, 踏切2歩前での速度の違いに表れていると考えられる. 続く滞空期で花岡選手の回復脚がすばやく前方に引き戻されているのに対して(図中ウ), 同じ局面での池田選手の回復脚は後方に位置していた(図中エ). そして, 踏切1歩前接地時に, 花岡選手の遊脚は支持脚の前方に位置しているのに対して(図中フ), 池田選手は後方に位置している(図中カ). こうしたことが, 踏切1歩前で加速できるか, 減速してしまうのかといったことと関係していたのではと考えられる.

これらのことは, 日本陸連の科学委員会の測定によって明らかになったことであり(村木ほか, 2004b), 陸連の研修合宿において, 選手・コーチにフィードバック

がなされた. その際, 池田選手の跳躍の問題点は, 踏切1歩前の減速が大きいということであり, その直接的な原因は踏切1歩前の接地時の姿勢にあること. 踏切1歩前の接地時の姿勢を改善するためには, 踏切2歩前のキック動作を抑える必要があるといったことが提言された. こうした観点から動作の修正のトレーニングが実施され, 踏切1歩前の減速が少なくなったことが報告されている(伊藤ほか, 2004).

### 3. 助走とスプリントとの違い

助走の最大速度の大きさは, 走幅跳選手の持つスプリント能力との関係が深い. しかし, 上記のような踏切準備動作を助走の最終局面で行うために, 助走距離の範囲内での速度の高め方は, 助走とスプリントでは異なっており, 助走では, 中盤で滞空期を拡大させ, その後滞空期を削っていくことでピッチが高まっていくという傾向があるとされている(伊藤, 2003).

図9は同一の被験者に助走とスプリントの両方を行ってもらい, 踏切6~7歩前の助走の走動作を同じ局面のスプリントの動作と比較したものである. 助走では, 離地時に大腿の後方への伸展が抑えられ, 膝や足先が大転子に対してより下方位置していた. 実際には, 足先は地面に着いているので, このことは離地時の重心高が高いことを示すことになる. また, 助走では, スプリントに比べ逆足接地時の脚が前方に位置し, 続く回復期後半でも, 脚が前方に位置していた. 踏切1歩前, 踏切とも接地する足の位置は身体の前方となるため, 接地前に足先が前方に位置していることは, スムースに踏切準備動作に移行するという点で有利に働くと考えられる. 支持期の脚のキック動作を, 脚全体, 大腿の後方スイング角速度及び膝の伸展角速度という観点で見ると, 助走とスプリントでは, 脚全体の角速度はほぼ同じレベルであるの

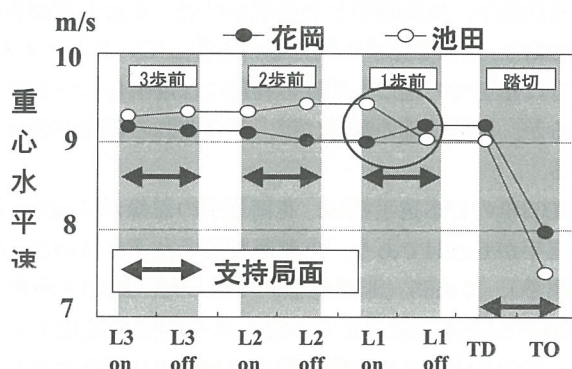


図7 花岡, 池田選手の踏切3歩前接地時から踏切離地時までの重心水平速度の変化(村木ほか, 2004bより引用改変)

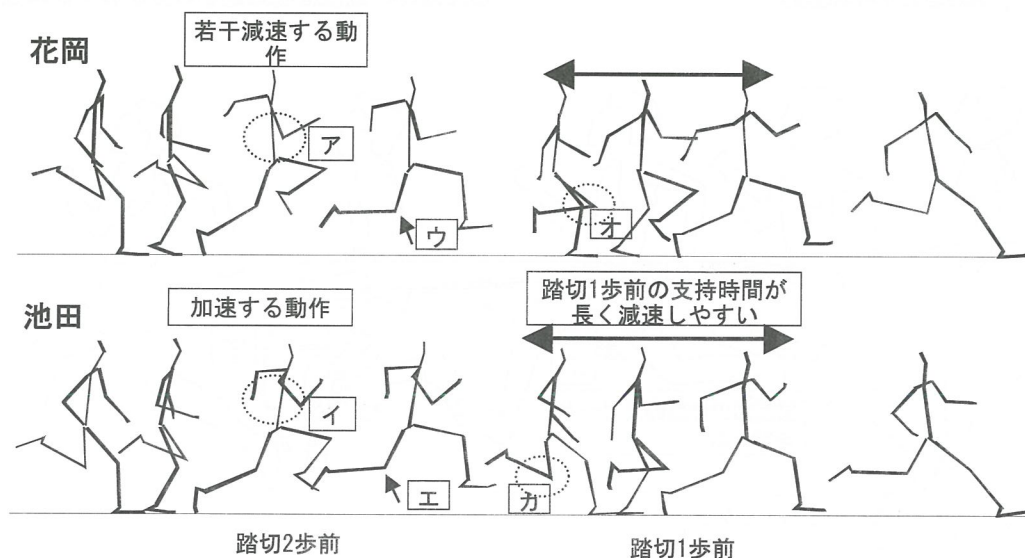


図8 花岡, 池田選手の踏切2歩から踏切までの動作の比較(村木ほか, 2004bより引用改変)

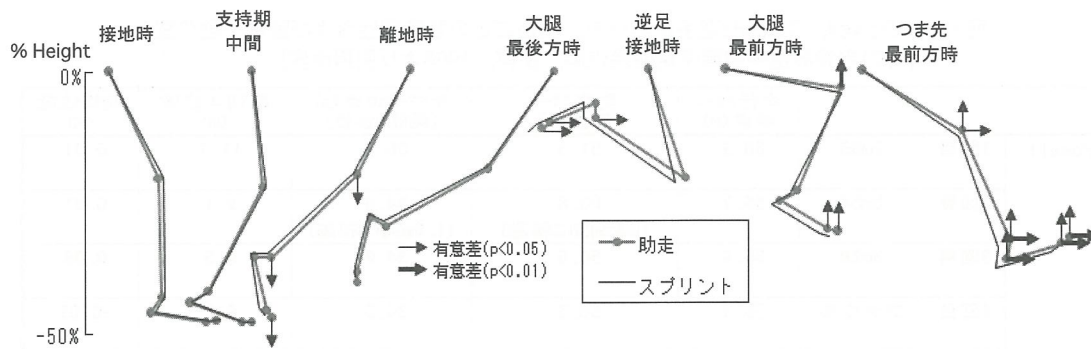


図9 大転子を中心とした下肢の相対的位置—助走とスプリントとの比較—  
(伊藤ほか, 2006より引用改変)

に対して、助走の大腿の後方スイング角速度及び膝の伸展角速度がスプリントのものよりも抑えられていた（伊藤ほか, 2006）。支持期における合理的なキック動作は膝関節の伸展動作を少なくし、股関節（大腿）の伸展速度を効果的に脚全体のスイング速度に転換することであるという観点から考えると（伊藤ほか, 1998）、スプリントに比べ助走の方が合理的なキック動作を行っていたと言えるだろう。助走では、滞空期が拡大したことで接地までに余裕があり、空中から乗り込んでいくように接地することが影響しているのではないかと考えられる。

#### 4. 試合における戦略について

走幅跳では、助走速度が高いこと及び踏切のための身体の適正なポジショニングが行えることに加え、試合で記録を残すためには助走の正確性といったことも求められる。試合で行われる3～6回の毎試技で全く同じストライド・パターンを繰り返すということはほとんどないため、1歩毎のストライドのズレがわずかであっても、助走中1歩毎に誤差が蓄積していくことになる。そして、踏切板に合わせるために、助走ラスト4～5歩でヴィジュアル・コントロールによる誤差の修正がなされることになる（Hay, J. G., 1988）。

図10は、助走1歩ごとの接地位置の標準偏差の値を誤差の指標として表したものである。誤差の蓄積が大きければ、誤差の修正の幅も大きいことが分かる。誤差を修正していく局面は、助走中速度が最大となる局面であることに加え、踏切準備動作を行っていく局面ともなっている。誤差の修正のための動作が大きくなってしまうと、助走速度が頭打ちもしくは低下する可能性があり、踏切のためのポジショニングを阻害する要因ともなる。試合で自分の力を充分に発揮するには、こうした余計な修正作業による悪影響を最小限に抑えていく必要があるが、風の影響や、選手の緊張状態によって、誤差の蓄積は容易に起こってしまうものである。このため、誤差の蓄積と修正の度合いを抑えることは、実際の試合場面で狙っ

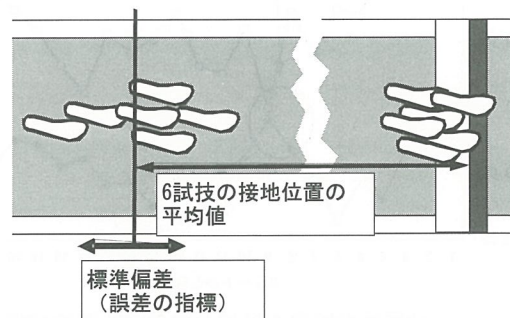
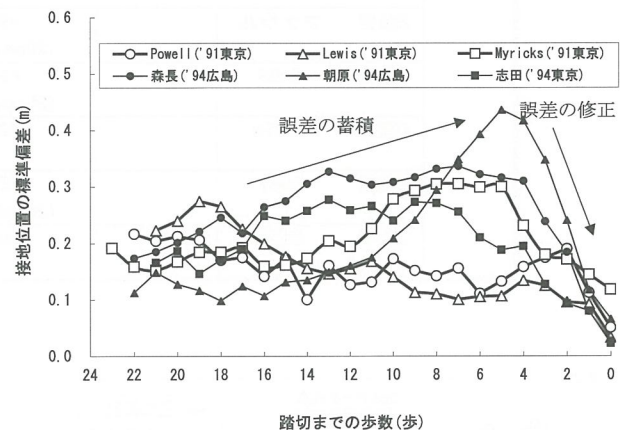


図10 助走1歩ごとの接地位置の標準偏差  
(伊藤, 2000より引用改変)

た記録を出すために、最も重要な課題となることが多いように思われる。

1991年の世界選手権東京大会では、Powell選手が世界記録を樹立し、Lewis選手と非常に高いレベルでの競い合いがなされた。表1は、この試合でのPowell, Lewis選手における、試技ごとの助走開始および踏切位置の変化を示したものである。接地位置およびストライドの標準偏差のグラフを見ると（図11）、接地位置の標準偏差の値はスタート後8歩目に一時的に小さくなる一方、ストライドの標準偏差の値は8歩目が近づくとも増大し、8歩目を過ぎると再度低下することから、パウエル選手は、助走の安定性を高めるため、助走開始8歩目に第2マークを置き、そのマーク近くに足を接地しようとしていた



表1 M.Powell, C.Lewis選手における、試技ごとの助走開始および踏切位置の変化  
(1991年世界選手権男子走幅跳決勝, 伊藤, 1998より引用改変)

|        |     |         | 歩行スタート<br>地点 (m) | 助走スタート<br>地点 (m)   | 2ndマーク地点 (m)<br>(開始8歩目) | 踏切 4 歩前<br>(m) | 踏切位置<br>(m) |
|--------|-----|---------|------------------|--------------------|-------------------------|----------------|-------------|
| Powell | 1回目 | 7m85    | 56.3             | 51.5               | 36.2                    | 11.1           | 0.01        |
|        | 2回目 | 8m54    | 55.7             | 50.8<br>(80cm前に移動) | 34.6<br>(1.6m前に移動)      | 9.1            | 0.01        |
|        | 3回目 | 8m29    | 55.4             | 50.6               | 34.6                    | 9.3            | 0.08        |
|        | 4回目 | ファウル    | 55.6             | 50.6               | 34.5                    | 9.3            | -0.01       |
|        | 5回目 | 8m95 WR | 55.9             | 51.0<br>(40cm後ろに)  | 34.8<br>(30cm後ろに)       | 9.6            | 0.03        |
|        | 6回目 | ファウル    | 55.9             | 51.2<br>(20cm後ろに)  | 34.6<br>(20cm後ろに)       | 9.3            | -0.08       |
| Lewis  | 1回目 | 8m68    |                  | 48.8               |                         | 10.5           | 0.07        |
|        | 2回目 | ファウル    |                  | 49.0<br>(20cm後ろに)  |                         | 10.2           | -0.03       |
|        | 3回目 | 8m83    |                  | 49.2<br>(20cm後ろに)  |                         | 10.2           | 0.02        |
|        | 4回目 | 8m91w   |                  | 49.2               |                         | 10.2           | 0.00        |
|        | 5回目 | 8m87    |                  | 49.4<br>(20cm後ろに)  |                         | 10.3           | 0.01        |
|        | 6回目 | 8m84    |                  | 49.4               |                         | 10.4           | 0.04        |

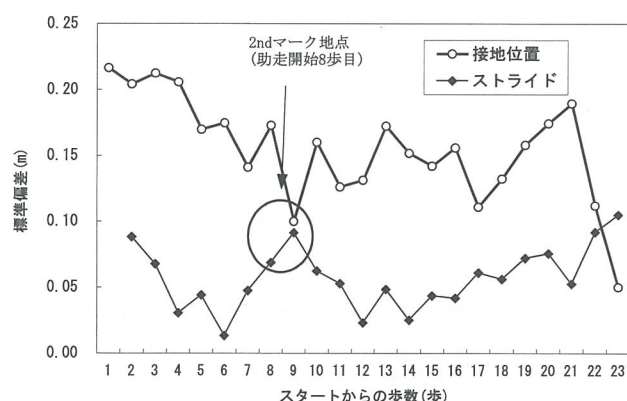


図11 Powell選手の助走1歩ごとにおける接地位置およびストライド長の標準偏差 (伊藤, 1998より引用改変)

ことが推察される。

この日の試合でPowell選手の1回目は7m85の失敗ジャンプであった。踏切4歩前の接地位置が11.1mと非常に遠い場所になっており(表1), ラスト4歩のストライドが長く、ピッチが低下するという間のびの特徴がはっきり表れていた(図12中のア)。助走前半のピッチが高く、ストライドは若干短い傾向にあったことから(図12中のイ), そのしわよせがラスト4歩に来てしまったと考えられる。こうした助走前半のピッチの高さは、極度の緊張下にある試合での精神状態を反映した可能性が高かったと思われる。Powell選手の2回目は助走スタート地点を約80cm前方に移動した結果、踏切4歩前が9.1mと2m近く前方となっている。第2マークの位置は1.6m前方に移動しているため、助走の出だしでピッチを若干

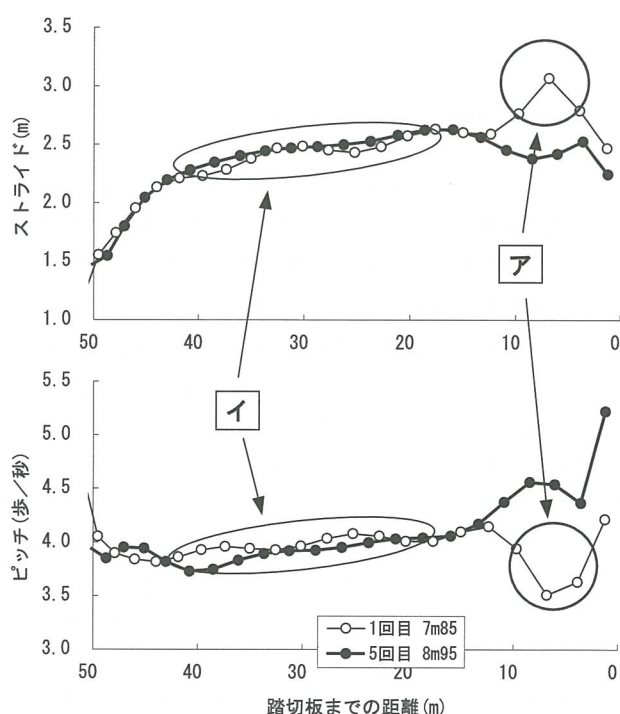


図12 Powell選手の助走中のストライドおよびピッチの変化 - 1回目と5回目の比較 - (伊藤, 1998より引用改変)

抑え目にして走ったことが推察される。4回目は9m付近に着地する大ジャンプであったが、惜しくもファウルであった。そして、5回目はスタート地点を40cm後方に移動させ、この跳躍が8m95の世界記録となった。

一方Lewis選手はマークの1回の移動幅は20cm以内であり、踏切4歩前の接地位置のパラツキも少なかった

(表1). 踏切4歩前の接地位置は1回目の試技が6試技中最も遠く、踏切位置も踏切線に約7cmの余裕があったにも関わらず、2回目ではスタートラインを20cm後方に下げている。こうしたことから、1回目の試技は若干抑え目の助走を行っており、ある程度の記録を残そうとしたのではないかと推察される。そのため、2回目は、さらに好記録を狙って助走を長くしたのではといったことが考えられる。その2回目がファウルとなったため、3回目はさらに20cm後方にスタートを下げ、8m83の好記録となった。4回目は同じ助走距離で追い風、参考ながら当時の世界記録を超える8m91を記録した。その後逆転されたためか、5回目になって、さらに20cm後方にスタート位置を下げている。5回目、6回目とも好記録ではあったが、わずかにPowell選手には及ばなかった。

テレビ中継では、1回目終了直後に、Powell選手がスタンドのコーチにスタート位置を前に出すことを告げる仕草がはっきり映っていた。また、試技前にLewis選手が自分のスタートマークを後方にずらすシーンも観察することができた。走幅跳の記録を出すための条件を頭に入れた上で、こうした選手達の行動を観察し、実際の跳躍がどうなったかということが理解できると、観戦が一層興味深いものとなると思われる。

2005年に行われた前回の世界選手権のヘルシンキ大会では、筆者は日本選手団の跳躍のコーチとして参加した。女子走幅跳に出場した池田選手は、予選を迎え非常に調子が良く、決勝で入賞も十分可能性があるという手応えを感じることができた。予選1回目は、踏切4歩前のマークを1足ほど踏み越しファウルとなった。よく走っていたために助走前半から中盤にかけての距離が伸びたことが原因と考えられた。そこで、2回目にスタートを後ろに下げて臨んだところ、生憎向かい風となってしまう、今度は4歩前のマークに1足長足りない状態で接地した。そのため、若干間のびを起こし勢いを欠いた跳躍となり、記録は6m51であった。3回目は非常に良い跳躍となったが、4歩前のマークを踏み越し、惜しくもファウルとなった。決勝進出のための12番目の記録が6m53であり、2回目の記録がわずかに2cm足りなかったことになるが、3回目の跳躍は6m53の通過記録をはるかに超えた地点で着地していた。間のびを起こした次の跳躍で、スタート位置を変更するということは非常に勇気のいる決断であったと思われる。また風という不確定要素の影響もあった。こうした中、アスリートは自分を信じて決断し、最前を尽くしていくことが求められる。

世界選手権という最もレベルの高い競技会では、簡単に記録を出せるという状況には、ほとんどの競技者にとってほとんどないと言って良いと思われる。こうした困難な状況の中で、どのような戦い方を見せてくれるのかということが、最大の見所となるように思われる。

## 文 献

- 阿江通良, 大村一光, 金高宏文, 飯干 明, 山田 哲, 伊藤信之, 植田恭史 (1999) 一流走幅跳選手の踏切準備動作のバイオメカニクスの分析. 平成10年度日本体育協会スポーツ科学研究報告集1: 183-186.
- ベースボールマガジン社 (2007) 陸上競技記録集計号. 陸上競技マガジン5月号増刊.
- Hay, J.G., Miller, J. A. Jr. and Canterna, R. W. (1986) The techniques of elite male long jumpers. J. Biomechanics 19: 855-866.
- Hay, J.G. (1988) Approach strategies in the long jump. Int. J. Sports Biomechanics 4, 114-129.
- IAAFホームページ <http://www.iaaf.org/>
- 飯干 明 (2004) 走幅跳 より遠くへ跳ぶために. 科学, 74 (6): 724-728.
- 伊藤 章, 市川博啓, 斉藤昌久, 佐川和則, 伊藤道郎, 小林寛道 (1998) 100m中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. 体育学研究43: 260-273.
- 伊藤信之 (1998) 走幅跳のコーチングと科学. 第1回陸上競技の医科学, コーチング国際会議東京大会 (種目別コーチングと科学, 口頭発表). 東京大学8月19日.
- 伊藤信之 (2000) 走幅跳, 三段跳の助走, 深代千之ほか編, スポーツバイオメカニクス, 朝倉書店, pp31-32.
- 伊藤信之 (2003) 水平跳躍種目の助走とスプリントとの違いについて. J Research Development Future Athletics, 2 (1): 1-5.
- 伊藤信之, 川本和久, 村木有也, 小山宏之, 高松潤二, 阿江通良 (2004) 女子一流走幅跳選手における動作の改善について. 日本体育学会第55回大会 (ポスター発表). 信州大学9月25日.
- 伊藤信之, 阿江通良, 村木有也, 小山宏之 (2006) 水平跳躍種目の助走における疾走動作の特徴について. スプリント研究, 16: 60-71.
- 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, ぎょうせい.
- 村木有也, 阿江通良, 小山宏之, 伊藤信之, 山下訓史 (2004a) 男子走幅跳の踏切準備および踏切局面における動作変化パターン. 日本陸連科学委員会研究報告, 3 (1): 81-86.
- 村木有也, 阿江通良, 小山宏之 (2004b) 女子走幅跳の踏切準備および踏切局面における動作の事例報告, 陸上競技の医科学サポート研究REPORT2003, 3 (1): 87-90.
- 村木有也, 阿江通良, 小山宏之 (2005) 一流男子走幅跳選手の踏切準備および踏切局面における身体重心速度変化. 陸上競技研究紀要1: 142-145.



## 2007年世界陸上大阪大会における三段跳の見どころ

村木 有也<sup>1)</sup>

The highlight of triple jump at 2007 IAAF World Championships in Athletics in Osaka

Yuya Muraki

キーワード：三段跳，跳躍比，助走速度，衝撃力

### 1. はじめに

2007年8月25日，ついに世界陸上大阪大会が開催される。三段跳選手と聞いてすぐに思いつくのは，かつてTBS系のテレビ放送で「渋谷のスクランブル交差点を3歩で超える男」と紹介されたJonathan Edwards選手（GBR）だろう（図1）。Edwards選手は，世界陸上第5回大会（Göteborg, 1995）において，（公認では）人類史上初めてとなる18mを超え，18.29mという世界記録を樹立した。筆者はテレビを通しての観戦であったが，鳥肌が立つほどの衝撃を受けた覚えがある。Edwards選手の助走速度は非常に速く，そのまま勢いよくホップで跳び出し，続くステップ，ジャンプでは重力を感じさせ

ない，まるでスーパーボールが弾んでいくかのような跳躍であった。

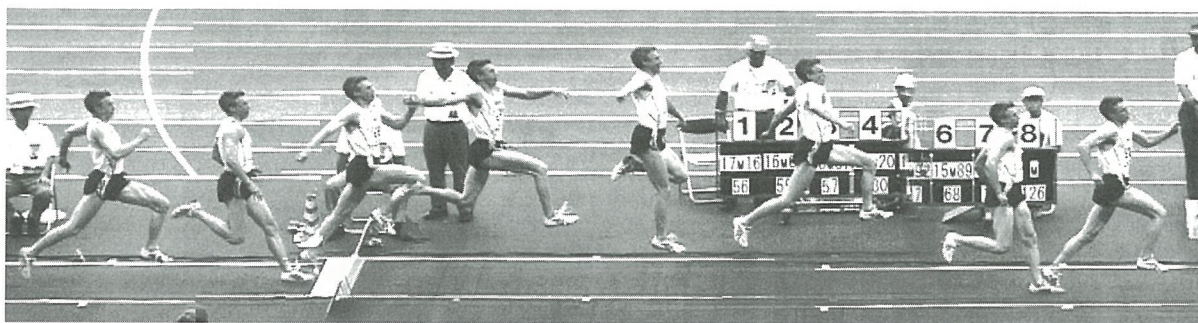
本稿では，科学的な研究データ（バイオメカニクス）を踏まえ，三段跳の見どころや注目選手など紹介したい。

### 2. 三段跳とは

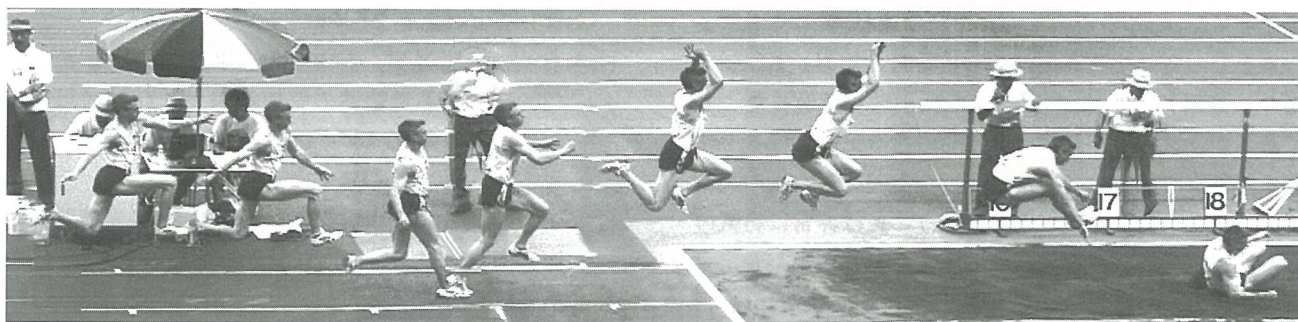
三段跳の最大の特徴は，ホップ，ステップ，ジャンプと名付けられる3つの連続した跳躍により到達した距離を競うことにある。ルール上，踏切脚は左・左・右，あるいは右・右・左と入れ替える。「三段跳」との名称は，1927年に織田幹雄氏が命名したのがはじまりである（岡尾恵市，1996）。

### 3. 日本のお家芸だった三段跳

走幅跳が古代オリンピックから競技種目として採用さ



ホップからステップ



ジャンプから着地

図1 大洋技建スーパー陸上2001ヨコハマ（2001.9.15，日産スタジアム）におけるJonathan Edwards選手（GBR）の跳躍フォーム（17m14，+1.4）。映像は，日本陸連科学委員会の撮影による

1) 大阪体育大学 Osaka University of Health and Sport Sciences

〒590-0496 大阪府泉南郡熊取町朝代台1-1 Tel：072-453-8960 E-mail：yuya@ouhs.ac.jp



れていたのに対し、今日の形式で行う三段跳が規則として定められたのは19世紀末からである。それほど古い種目ではないのである。実際、三段跳は、近代オリンピックの第1回大会（Athens, 1896）から登場しているものの、この時の跳躍方法は「ホップ・ホップ・ジャンプ」の形式であった。その後、オリンピック第4回大会（London, 1908）から正式に規則が定められ、今日に至っている。

公認の世界記録は、1911年、Dan Ahearne (USA) が記録した15.52mからはじまる。その後、1936年には16.00m（田島直人）、1960年には17.03m（Josef Schmidt, POL）、1995年には現在の世界記録である18.29m（J. Edwards, GBR, 1995）まで到達している。世界の舞台における女子三段跳は、世界選手権では第4回大会（Stuttgart, 1993）、オリンピックでは第26回大会（Atlanta, 1996）からようやく登場する。女子の公認世界記録は14.54m（李恵栄, CHN, 1990）からはじまり、現在の女子の世界記録は15.50m（Inessa Kravets, UKR, 1995）となっている。

世界記録に対し、現在の日本記録は男子17.15m（山下訓史, 1986）、女子14.04m（花岡麻帆, 1999）と大きく溝をあけられている。しかし、三段跳はかつて日本のお

家芸といわれた時代があった。1924年のオリンピック第8回大会（Paris）で織田幹雄選手が6位に入賞したことをきっかけに、続く1928、1932、1936年の3回のオリンピック大会では、それぞれ織田、南部忠平、田島直人選手が金メダルを獲得している。また、織田、南部、田島の3選手は、世界記録保持者でもあった（織田, 15.58m, 1931；南部, 15.72m, 1932；田島, 16.00m, 1936）。

## 4. 三段跳の研究データ（バイオメカニクス）

### 4.1 3つの跳躍のコンビネーション

三段跳は、助走を用いてできるだけ遠くに跳ぶという点から、跳躍距離の決定要因は走幅跳と類似している。つまり、ホップ、ステップ、ジャンプの跳躍距離は、各踏切離地時における身体重心の初速、角度、高さによってほとんどが決定される（深代, 1990）。一方、走幅跳とは異なり、三段跳では3つの跳躍のコンビネーションが問題となる。そのため、各跳躍距離の割合（跳躍比）やフォームをもとに、これまでにいくつか跳躍タイプの分類がなされてきた（Nett, 1964, Prihoda, 1965, フラット&ステイプ・ジャンプ；村木, 1983, スピード&パワー・ジャンプ）。こうした分類が始められたのは、1960年、史上初の17mジャンパーとなったJosef

表1 男子三段跳の公認世界記録と各踏切の跳躍距離とその割合（石塚, 2004）

| 選手名                     | (国名)   | 年    | 記録<br>(m) | ホップ<br>(m) | ステップ<br>(m) | ジャンプ<br>(m) | 跳躍比(%) |      |      |
|-------------------------|--------|------|-----------|------------|-------------|-------------|--------|------|------|
|                         |        |      |           |            |             |             | ホップ    | ステップ | ジャンプ |
| Dan Ahearne             | (USA)  | 1911 | 15.52     | 6.09       | 3.34        | 5.83        | 39.2   | 21.5 | 37.6 |
| Nick Winter             | (AUS)  | 1924 | 15.53     | 6.09       | 3.34        | 5.83        | 39.2   | 21.5 | 37.5 |
| 織田幹雄                    | (JPN)  | 1931 | 15.58     | 6.50       | 3.50        | 5.56        | 41.7   | 22.5 | 35.7 |
| 南部忠平                    | (JPN)  | 1932 | 15.72     | 6.40       | 4.42        | 4.93        | 40.7   | 28.1 | 31.4 |
| Jack Metcalfe           | (AUS)  | 1935 | 15.78     |            |             |             |        |      |      |
| 田島直人                    | (JPN)  | 1936 | 16.00     | 6.20       | 3.99        | 5.81        | 38.8   | 24.9 | 36.3 |
| Adhemar da Silva        | (BRA)  | 1950 | 16.00     | 5.51       | 4.82        | 5.64        | 34.4   | 30.1 | 35.3 |
| Adhemar da Silva        | (BRA)  | 1951 | 16.01     |            |             |             |        |      |      |
| Adhemar da Silva        | (BRA)  | 1952 | 16.12     |            |             |             |        |      |      |
| Adhemar da Silva        | (BRA)  | 1952 | 16.22     | 6.20       | 4.59        | 5.42        | 38.2   | 28.3 | 33.4 |
| Leonid Sherbakov        | (USSR) | 1953 | 16.23     | 6.01       | 4.96        | 5.24        | 37.0   | 30.6 | 32.3 |
| Adhemar da Silva        | (BRA)  | 1955 | 16.56     | 6.27       | 4.98        | 5.31        | 37.9   | 30.1 | 32.1 |
| Olyeg Ryakhovskiy       | (USSR) | 1958 | 16.59     | 6.46       | 4.96        | 5.15        | 38.9   | 29.9 | 31.0 |
| Olyeg Fyedosoyev        | (USSR) | 1959 | 16.70     | 6.50       | 4.82        | 5.38        | 38.9   | 28.9 | 32.2 |
| Josef Schmidt           | (POL)  | 1960 | 17.03     | 6.00       | 5.01        | 6.01        | 35.2   | 29.4 | 35.3 |
| Giuseppe Gentile        | (ITA)  | 1968 | 17.10     |            |             |             |        |      |      |
| Giuseppe Gentile        | (ITA)  | 1968 | 17.22     |            |             |             |        |      |      |
| Victor Saneyev          | (USSR) | 1968 | 17.23     |            |             |             |        |      |      |
| Nelson Prudencio        | (BRA)  | 1968 | 17.27     |            |             |             |        |      |      |
| Victor Saneyev          | (USSR) | 1968 | 17.39     | 6.30       | 5.05        | 6.04        | 36.2   | 29.0 | 34.7 |
| Pedro Perez             | (CUB)  | 1971 | 17.40     |            |             |             |        |      |      |
| Victor Saneyev          | (USSR) | 1972 | 17.44     | 6.50       | 4.93        | 6.01        | 37.3   | 28.3 | 34.5 |
| Joao Carlos de Oliveira | (BRA)  | 1975 | 17.89     | 6.08       | 5.37        | 6.43        | 34.0   | 30.0 | 35.9 |
| Willie Banks            | (USA)  | 1985 | 17.97     | 6.32       | 4.96        | 6.69        | 35.2   | 27.6 | 37.2 |
| Jonathan Edwards        | (GBR)  | 1995 | 18.29     | 6.46       | 5.56        | 6.27        | 35.3   | 30.4 | 34.3 |



Schmidt選手の出現による。

表1は、男子三段跳の世界記録と各踏切の跳躍距離および跳躍比を示している。Schmidt選手とそれ以前の記録とを比較してみると、Schmidt選手のホップの割合は35.2%と小さく、ジャンプの割合は35.4%と大きいことがわかる。Schmidt選手以前は、旧ソ連勢の「ホップの比率が大きく、高い飛行」が特徴のパワー・ジャンプ型が台頭していた時代であった。これに対し、Schmidt選手は助走スピードを活かし、「ホップの飛行を低く、水平スピードの減速を抑える」ことによって世界記録を達成したのである。Schmidt選手以降の世界記録から、スピード・ジャンプ型では、ホップ34～35%、ステップ30%、ジャンプ35～36%、若干ホップが大きい跳躍では、ホップ36～37%、ステップ29～30%、ジャンプ34%といった値が目安となる(村木, 1983)。

一方、各跳躍距離に着目すると、Willie Banks選手やJ. Edwards選手のホップの割合は35%台と小さいものの、ホップの距離は6mを大きく超えるものであった(表1)。Banks選手はさらに大きなジャンプが特徴であり、Edwards選手はホップ、ステップ、ジャンプのいずれも大きく、中でもステップ距離が過去の世界記録と比べて大きいのが特徴である。

このように、跳躍比は、三段跳のパフォーマンスの特徴を表す指標の1つとなる。ただし、跳躍比が異なっても跳躍記録は同じであったり、個人内でも跳躍比にバリエーションがみられる。競技を見る際には、各跳躍の距離と合わせ注目してもらいたい。選手間だけでなく、

個人内の跳躍距離、跳躍比の変動に着目するのも面白いのではないだろうか。

#### 4.2 助走速度の重要性

三段跳において、助走速度は最も重要な要因の1つである(Fukashiro and Miyashita, 1983)。これは、助走を用いる陸上競技の跳躍種目に共通し、助走速度が跳躍の原動力となるためである。助走速度と跳躍記録との関係について、実際のデータをみてみよう。

図2は、助走速度と跳躍記録(実測値)との関係を示している。このように多くのレベル、男女選手を集めてみると、相関係数の値は0.892 ( $p < 0.001$ )と非常に高い値を示し、大きな助走速度は跳躍記録を高めるために重要であることがわかる。なお、図2の助走速度と算出方法は異なるが、ホップ接地時における水平重心速度は、第3回世界陸上東京大会(1991)男子三段跳決勝上位8名および山下訓史選手の平均で $10.37 \pm 0.27 \text{ m/s}$ (最大 $10.89 \text{ m/s}$ , 最小 $10.01 \text{ m/s}$ )である(阿江ら, 1994)。世界一流選手のスピード感あふれる助走にも注目していただきたい。

#### 4.3 大きな衝撃力

三段跳のステップおよびジャンプは、ホップや走幅跳の踏切とは大きく異なる。それは、空中から飛び込んで踏切に入るという点にある。第3回世界陸上東京大会(1991)男子三段跳決勝上位8名および山下選手を分析した結果、ホップ、ステップ、ジャンプの接地時における鉛直重心速度は、それぞれ $-0.60 \pm 0.17 \text{ m/s}$ ,  $-3.04 \pm 0.27 \text{ m/s}$ ,  $-2.70 \pm 0.20 \text{ m/s}$ であった(阿江ら, 1994)。このデータが示すように、ステップおよびジャンプの接地時における鉛直下向きの速度は非常に大きい。実際、各踏切において身体(脚)に加わる負荷はどの程度か。各踏切における地面反力を測定した先行研究(被験者は男女各2名)では、鉛直方向の衝撃力の第一ピークは、ホップで体重の7.90～10.12倍、ステップでは8.19～12.62倍、ジャンプでは7.13～12.17倍になると報告されている(Ramey and Keith, 1985)。ステップおよびジャンプにおける衝撃は、最大で体重の12倍を超えるほど大きいのである。この衝撃の大きさゆえ、女子三段跳は長い間公式種目として採用されることはなかった(岡尾, 1996)。

先に跳躍のコンビネーションについて述べたが、J. Schmidt選手のようにホップで低く跳び出すことにより、ホップの跳躍距離が減少したとしても、ステップにおける衝撃を低く抑え、跳躍全体の経済性を高めることができるというメリットがある。また、ホップの跳躍比が38%を超えるほど大きな場合は、一般的に、跳躍の経済性が著しく減少することが知られている(村木, 1983)。いかに衝撃に耐え、跳躍記録を伸ばすることができるか、三段跳選手の課題となる。

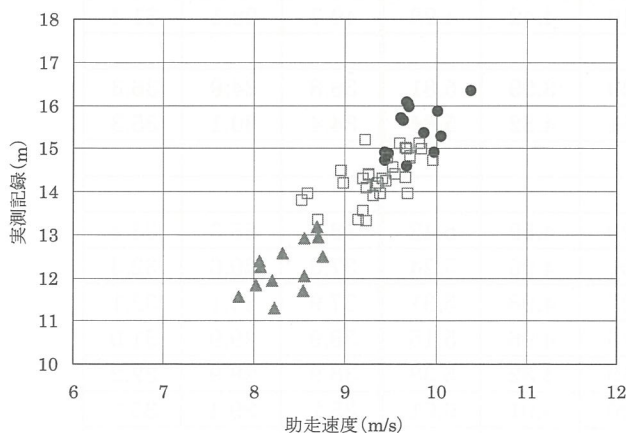
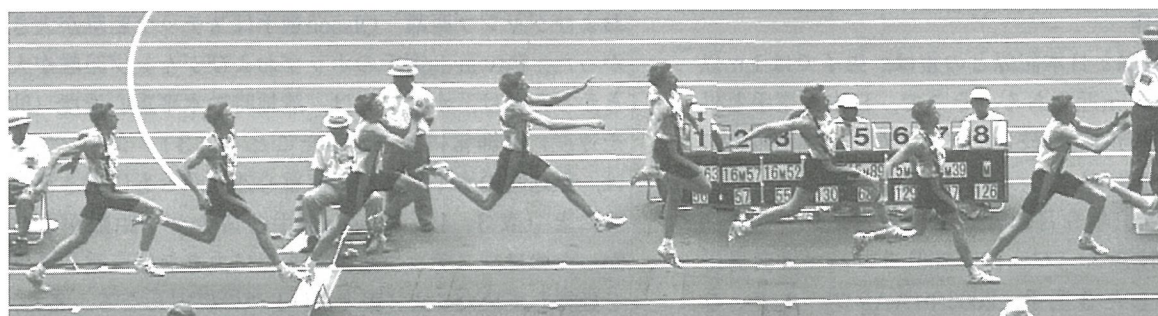
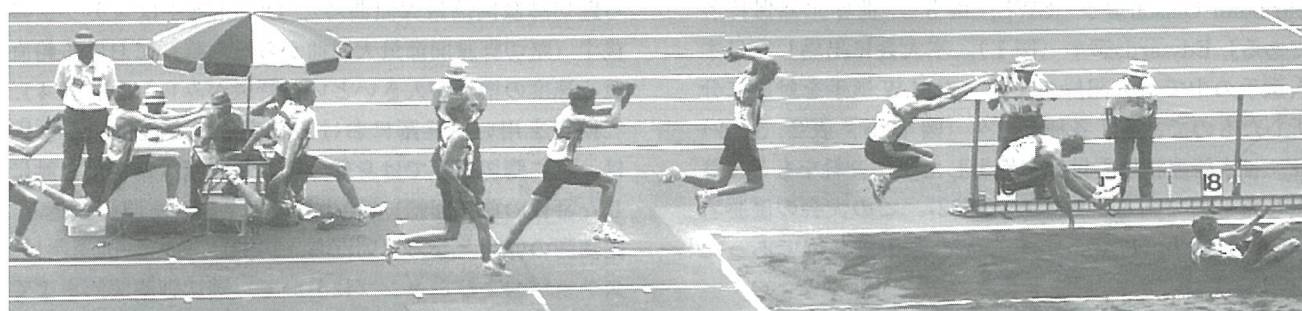


図2 助走速度と跳躍記録(実測値)との関係(相関係数:  $r = 0.892$ ,  $p < 0.001$ ,  $n = 59$ )。分析対象者は、2006年に開催された日本選手権(2006.6.30-7.2, 神戸)に出場した男子選手14名(●印,  $9.76 \pm 0.27 \text{ m/s}$ ,  $15.44 \pm 0.58 \text{ m}$ )および女子選手13名(▲印,  $8.35 \pm 0.30 \text{ m/s}$ ,  $12.24 \pm 0.57 \text{ m}$ )、インターハイ(2006.8.2-6, 長居)に出場した男子選手32名(□印,  $9.36 \pm 0.35 \text{ m/s}$ ,  $14.33 \pm 0.54 \text{ m}$ )、計59名。助走速度は、踏切1歩前離地時からホップの踏切接地直前までの区間における身体重心の平均移動速度の水平成分とした



ホップからステップ



ジャンプから着地

図3 太洋技建スーパー陸上2001ヨコハマ (2001.9.15, 日産スタジアム) におけるChristian Olsson選手 (SWE) の跳躍フォーム (17m16, +0.4). 映像は, 日本陸連科学委員会の撮影による

表2 太洋技建スーパー陸上2001ヨコハマ (2001.9.15, 日産スタジアム) に出場したChristian Olsson (SWE), Jonathan Edwards (GBR) およびM.W.選手の実測記録, ホップ, ステップ, ジャンプにおける跳躍距離および跳躍比

| 選手名        | 実測記録<br>(m) | ホップ<br>(m) | ステップ<br>(m) | ジャンプ<br>(m) | 跳躍比(%) |      |      |
|------------|-------------|------------|-------------|-------------|--------|------|------|
|            |             |            |             |             | ホップ    | ステップ | ジャンプ |
| C. Olsson  | 17.16       | 5.88       | 5.06        | 6.22        | 34.3   | 29.6 | 36.3 |
| J. Edwards | 17.29       | 6.15       | 4.90        | 6.39        | 35.6   | 28.3 | 36.9 |
| M.W.       | 16.31       | 5.75       | 4.71        | 5.96        | 35.3   | 28.9 | 36.6 |

表3 太洋技建スーパー陸上2001ヨコハマ (2001.9.15, 日産スタジアム) に出場したChristian Olsson (SWE), Jonathan Edwards (GBR) およびM.W.選手のホップ, ステップ, ジャンプの接地 (TD) および離地 (TO) 時における水平重心速度

| 選手名        | ホップ   |       | ステップ  |      | ジャンプ |      |
|------------|-------|-------|-------|------|------|------|
|            | TD    | TO    | TD    | TO   | TD   | TO   |
| C. Olsson  | 10.34 | 10.04 | 10.04 | 8.50 | 8.50 | 7.51 |
| J. Edwards | 10.90 | 10.24 | 10.24 | 8.80 | 8.80 | 7.63 |
| M.W.       | 10.09 | 9.37  | 9.37  | 8.51 | 8.51 | 7.30 |

表4 太洋技建スーパー陸上2001ヨコハマ (2001.9.15, 日産スタジアム) に出場したChristian Olsson (SWE), Jonathan Edwards (GBR) およびM.W.選手のホップ, ステップ, ジャンプの接地 (TD), 離地 (TO) および踏切脚膝関節最大屈曲時 (MKF) における鉛直重心速度

| 選手名        | ホップ   |      | ステップ  |       |      | ジャンプ  |      |      |
|------------|-------|------|-------|-------|------|-------|------|------|
|            | TD    | TO   | TD    | MKF   | TO   | TD    | MKF  | TO   |
| C. Olsson  | -0.41 | 2.59 | -1.61 | 0.20  | 2.21 | -2.03 | 1.28 | 2.71 |
| J. Edwards | -0.60 | 2.45 | -1.73 | 1.29  | 1.74 | -1.52 | 1.91 | 3.20 |
| M.W.       | -0.14 | 2.69 | -1.73 | -0.10 | 1.78 | -1.68 | 1.52 | 3.13 |



#### 4.4 跳躍動作

現在の世界記録と日本記録との差は、男子では1m以上、女子では1.50m近くある。そこで、日本人選手と外国人選手とを事例的に比較したデータから、跳躍動作の注目ポイントを紹介したい。

データは、2001年9月15日、現日産スタジアムで開催された太平洋建スーパー陸上2001ヨコハマ大会男子三段跳に出場した3選手、2006年IAAFワールド・ランキングトップ、今大会の金メダル有力候補であるChristian Olsson選手（SWE、図3）、世界記録保持者であるJ. Edwards選手（図1）、本大会に出場した日本人選手の中で最も記録のよかったM.W.選手を対象に分析したものである。各種データ（図4、5、表2、3、4）は、日本陸連科学委員会が撮影した映像資料をもとに算出したものである（村木ら、2002）。この大会の優勝者はOlsson選手（17.16m）、Edwards選手は2位であった（17.14m）。

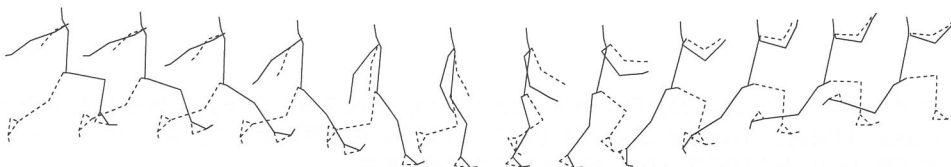
表2は、各選手の実測記録、ホップ、ステップ、ジャンプにおける跳躍距離および跳躍比を、表3は、各踏切の接地および離地時における水平重心速度を、表4は、各踏切の接地、踏切脚膝関節最大屈曲および離地時における鉛直重心速度を示している。また、図4、5は、それぞれステップ、ジャンプにおける各選手の動作のスティックピクチャーを示している。

表2に示した通り、実測記録はOlsson、Edwards選手がM.W.選手に比べ大きく、特にEdwards選手はホップ

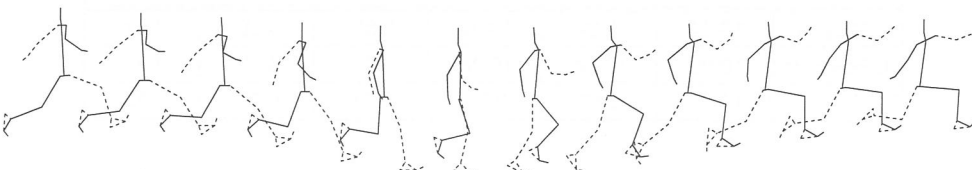
およびジャンプ距離、Olsson選手はステップ距離が大きかった。Edwards選手のホップおよびジャンプ距離が大きかったのは、ホップでは、離地時の水平重心速度（助走速度）が非常に大きかったこと（表3）、ジャンプでは、離地時の水平および鉛直重心速度がともに大きかったこと（表3、4）、Olsson選手のステップ距離が大きかったのは、ステップ離地時まで大きな鉛直重心速度を獲得していたこと（表4）が1つの要因となる。また、Edwards選手はステップおよびジャンプの前半（接地から踏切脚膝関節最大屈曲時）、Olsson選手はステップの後半（踏切脚膝関節最大屈曲から離地時）における鉛直重心速度の増加が大きいという特徴がみられた（表4）。

助走を用いる跳躍における鉛直速度を獲得する要因は、主に踏切前半では身体の起こし回転（踏切足を軸にした身体の前方回転）、後半では振上脚、上肢の振込み、踏切脚の伸展となる（阿江ら、1989）。Edwards選手は、ステップおよびジャンプにおいて、踏切脚膝関節をよく伸展した状態で接地している（図4左から5番目、図5左から6番目参照）。また、ステップおよびジャンプにおける踏切前半の鉛直重心速度の増加分が大きいことから、Edwards選手は、踏切前半に身体の起こし回転を有効に利用した、高い踏切脚の突っ張り支持機能を活かした跳躍をしていたといえる。さらにEdwards選手は、ステップおよびジャンプにおいて、振上脚大腿が地面にほぼ垂直な状態で接地している（図4左から5番目、図5左から6番目参照）。このように振上脚大腿を踏切接

C. Olsson 選手



J. Edwards 選手



M.W.選手

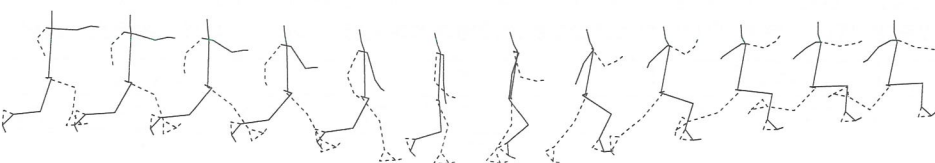
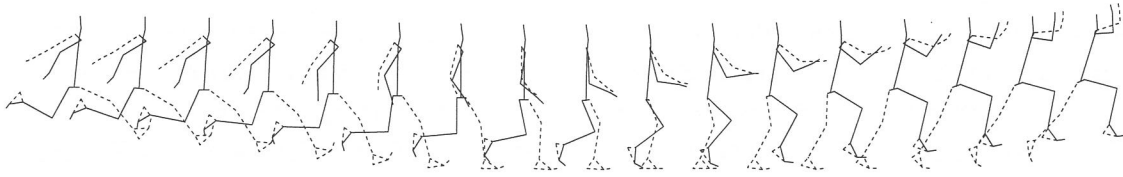
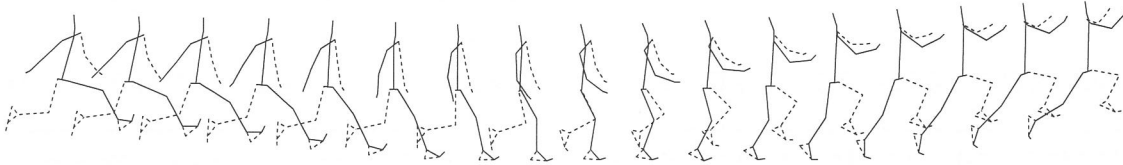


図4 太平洋建スーパー陸上2001ヨコハマ（2001.9.15、日産スタジアム）に出場したChristian Olsson（SWE）、Jonathan Edwards（GBR）およびM.W.選手のステップにおける動作のスティックピクチャー

## C. Olsson 選手



## J. Edwards 選手



## M.W.選手

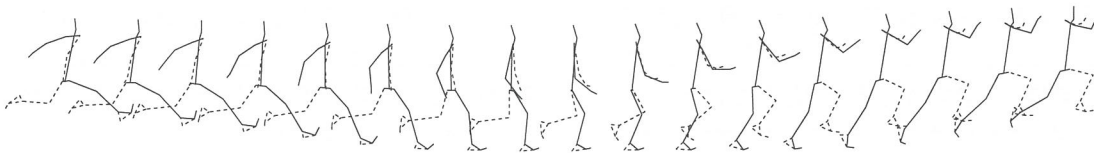


図5 太洋技建スーパー陸上2001ヨコハマ (2001.9.15, 日産スタジアム) に出場したChristian Olsson (SWE), Jonathan Edwards (GBR) およびM.W.選手のジャンプにおける動作のスティックピクチャー

地時までにしっかり引き付けて接地することは、接地中の踏切脚の突っ張り支持機能を助け、水平速度のロスを低減するのに役立っていると考えられる。Olsson選手の動作の特徴の1つは、ホップ、ステップ、ジャンプ全ての跳躍において両腕振込みを用いていたことである(図3, 4, 5)。また、ステップにおける鉛直重心速度の増加分は、踏切後半の方が前半よりも大きい。これらの特徴から、Olsson選手は、上肢や振上脚による振込みを積極的に行う跳躍であったといえる。さらに、Olsson選手においても、ステップおよびジャンプにおいて、振上脚大腿をしっかり前方に引き付けて接地するという特徴がみられた(図4左から5番目, 図5左から6番目参照)。一方、M.W.選手は、ステップとジャンプの接地時における振上脚大腿の前方への引付けが遅れ、振上脚大腿はまだ身体の後方に位置している(図4左から5つ目, 図5左から6つ目)。

以上、3選手の特徴から得られた結果をまとめると、跳躍動作における注目ポイントは以下の通り。

- (1) 踏切脚の突っ張り支持: 衝撃に負けないよう、踏切脚をしっかり伸ばし、身体の近くに接地する(踏切前半における身体の起こし回転を有効に利用するため)
- (2) 振上脚の引付け: 踏切接地時に、振上脚大腿をしっかり引き付けておく(踏切脚の緩衝機能を助ける)
- (3) 振込動作: 振上脚、両腕を積極的に振り込む(踏切後半における身体上昇の一助となる)

## 5. 注目の外国人選手

今大会の男子三段跳金メダル最有力候補は、やはりC. Olsson選手だろう。2005年シーズンは、怪我のためまったく結果を残すことができなかったものの、2006年シーズンには完全復活し、IAAFワールド・ランキングも堂々トップ、抜群の安定感を示している。過去には、2001年のEdmonton世界陸上において、17mを超える跳躍でJ. Edwards選手に続く2位となり、2003年のParis世界陸上、続く2004年のAthensオリンピックでは見事優勝している。Olsson選手のライバルと考えられるのは、前回の世界陸上Helsinki大会(2005)覇者のWalter Davis選手(USA)、さらには2007年5月20日に17.90mの大跳躍をみせたJadel Gregório選手(BRA)だろう。また、Olsson選手に匹敵する自己ベスト記録を持つMarian Oprea選手(ROM)は、Helsinki世界陸上3位の雪辱を晴らしたいところだろう。男子では、OlssonやGregório選手の18mジャンプにも期待したい。

女子では、Tatyana Lebedeva選手(RUS)が優勝候補筆頭だろう。2001, 2003年の世界選手権で金メダルを獲得し、2004から2006年まで、シーズン・ランキング1位の座を守っている(2002年は産休、2003年のシーズン・ランキングは2位)。しかし、2004年のAthensオリンピックではまさかの3位、Helsinki世界陸上(2005)は欠場しており、今大会に賭ける思いは強いだろう。Lebedeva選手に対抗する選手としては、15m台の自己



記録を持ち、2005、2006年とシーズン・ランキング上位に入っているTrecia Smith (JAM), Hrysopigi Devetzi (GRE), Anna Pyatykh (RUS), Yamilé Aldama (SUD) の4名が挙げられるだろう。また、Yargelis Savigne選手 (CUB) は、2007年5月11日に自己ベストとなる14.99mを跳んでいる。Helsinki世界陸上 (2005) では、15mを超えたのはSmith選手のみ。今大会の女子三段跳では、15m台での優勝争いに期待したい。

## 6. おわりに

三段跳の競技日程は、男子が8月25日に予選、2日後の27日に決勝、女子予選は29日、決勝は31日となっている。世界選手権は、過去に山下訓史選手が第2回Roma大会 (1987)、第3回東京大会 (1991) に出場し、それぞれ決勝へ進出している。その後、第8回Edmonton大会 (2001)、第9回Paris大会 (2003) には杉林孝法選手が、第10回Helsinki大会 (2005) には石川和義選手が出場と、ここ3大会は連続して日本人選手が出場している。一方、女子では、世界への壁は厚く、いまだ世界選手権に出場した選手はいないのが現状である。2007年シーズンに入り、第41回織田幹雄記念国際陸上競技大会 (2007. 4. 29, 広島広域) において、男子では杉林選手が16.36m、女子では吉田文代選手が13.50mの自己タイ記録で優勝と、男女とも幸先よいスタートを切っている。男子の参加標準記録は、Aが17m10, Bが16m70, 女子はA標準が14m20, Bが14.00m。本番の舞台では、日本人選手が活躍する姿をぜひとも見たいものである。

## 参考文献

阿江通良, 村木征人, 石川宣治, 金高宏文, 伊藤信之 (1989) トルクおよびパワーからみた走幅跳における踏切脚筋群の機能. 日本陸上競技連盟, 陸上競技紀要, 2 : 2 - 9.

阿江通良, 深代千之, 山本恵美, 伊藤信之, 斎藤望 (1994) 男子三段跳の踏切に関するバイオメカニクスの分析. 陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス研究班編 世界一流競技者の技術, ベースボール・マガジン社 : 東京, pp.152 - 166.

深代千之 (1983) 走幅跳と三段跳のBiomechanics. Japanese Journal of Sports Sciences, 2 (8) : 600 - 613.

深代千之 (1990) 跳ぶ科学. スポーツ科学ライブラリー4, 大修館書店.

Fukashiro, S., and Miyashita, M. (1983) An estimation of the velocities of three take-off phases in 18m - triple jump. Medicine and Science in Sports Exercise. 15 (4) : 309 - 312.

石塚浩 (2004) 三段跳. ロジャー編 澤村博ほか監訳 USA Track & Fieldコーチングマニュアル, 陸上競技社, 出版芸術社 : 東京, pp.167 - 179.

村木征人 (1982) 現代スポーツコーチ実践口座2, 陸上競技 (フィールド). ぎょうせい.

村木有也, 阿江通良 (2002) 2001スーパー陸上男子三段跳における世界一流選手と日本一流選手のキネマティクスの分析. 日本陸上競技連盟科学委員会編, 日本陸連科学委員会研究報告, 2 (1) : 55 - 62.

Nett, T. (1964) Das Ubunges- und Trainingsbuch der Leichtathletik Band 2. Bartels & Wernitz.

Prihoda, L. (1965) Der Olympische Dreisprung in Tokio, Flach- oder Steil- sprungtechnik? Leichtathletik, 36, 1111 - 1113.

岡尾恵市 (1996) 陸上競技のルーツをさぐる. 文理閣 : 京都, pp.158 - 166.

Ramey, M.R., and Williams, K.R. (1985) Ground Reaction Forces in the Triple Jump. International Journal of Sport Biomechanics, 1, 233 - 239.

# 棒高跳におけるグリップ高に影響を及ぼす技術的要因

## — 日本人競技者はグリップ高を高めるために何をすべきか? —

木越 清信<sup>1)</sup>, 小林 史明<sup>2)</sup>, 下嶽進一郎<sup>3)</sup>

The Technical Factors which influence grip height on the pole vault :  
What should Japanese pole vaulters do in order to raise the grip height ?

Kiyonobu Kigoshi, Fumiaki Kobayashi, Shinichiro Shimotake

キーワード：棒高跳，グリップ高，踏切における水平速度，身体質量

### 1. はじめに

棒高跳は，世界選手権大阪大会において見どころとなる種目の一つとして挙げることができる。それは，6 mを超える空中戦が繰り広げられるという種目そのものの魅力はもちろんのこと，世界選手権では初めてとなる日本人棒高跳選手のメダル獲得が期待されるためである。また，その枠をオリンピックも含めた世界大会と広げたとしても，メダル獲得となると1936年のオリンピック，ベルリン大会での西田修平選手と大西季雄選手以来となる。この日本陸上界の期待を一身に背負うのは澤野大地選手である。澤野選手は，2005年の世界選手権ヘルシンキ大会において，日本人選手の跳躍選手として初めて入賞を果たした。さらに，昨年はワールドアスレチックファイナルやワールドカップにおいても入賞を果たすなど，その活躍は近年目覚ましい。

1920年代から1930年代にかけて，棒高跳は日本のお家芸と呼ばれた時代があった。過去における日本人のオリンピックの入賞者をみると，1928年のアムステルダム大会で中沢米太郎選手が3 m90で6位，1932年のロサンゼルス大会で西田修平選手が4 m30で2位と望月倭夫選手が4 m00で5位となった。さらに，1936年のベルリン大会で西田修平選手が4 m25で2位，大江季雄選手が4 m25で3位，安達清選手が4 m00で6位となっている。ベルリン大会以降，日本人選手はオリンピックおよび世界選手権の入賞から遠ざかることになるが日本の棒高跳の歴史はまさに華々しい。したがって，澤野選手には，お家芸の復活が期待されているのである。

ベルリン大会以降，日本人選手がオリンピックの入賞から遠ざかることになった背景として，非弾性ボールか

ら弾性ボールへの材質の変化が挙げられる。弾性ボールを用いるメリットは，ボールを大きく曲げることによって曲率半径を小さくし，非弾性ボールと比較して高いグリップを握ることができることである。非弾性ボールと弾性ボールでのグリップ高を比較すると，非弾性ボールでの限界が4 mとされていたのに対して，弾性ボールでは5 mを握ることも可能である。このように，弾性ボールのメリットを最大限に活用するためには，ボールを大きく曲げることが必要とされるために，非弾性ボールと比較して多くの運動エネルギーを必要とする。そのために，弾性ボールを用いた跳躍では，身体的および体力的な資質が必要とされる。そして，弾性ボールの出現以降，日本人競技者が世界の一流競技者と対等に戦えなくなった理由として，指導の現場では身体的および体力的な資質に劣ることが挙げられていたようである。さらに，身体的な要因として，骨盤の前傾角度が少ないことなどの先天的な要因を挙げていたようにも感じる。しかし，近年，日本人競技者でも世界選手権やオリンピックにおいて200mや400mH，4 × 100mリレー，4 × 400mリレー等のスプリント種目において入賞していることを考慮すると，日本人が民族として身体的および体力的な資質に劣ると解釈することは困難である。また，実際に助走速度を検討した研究では，日本人競技者と世界一流競技者との間に大きな差は見られないと報告されている（高松，1997a）。実際に澤野選手が，2005年以降の世界大会において活躍し，完全に世界一流の仲間入りを果たしたことは，これを裏付けるものと考えることができる。それでは，助走速度に差が無いとすると，世界一流競技者と日本一流競技者との差は何に起因するのか？

最も単純なモデルで棒高跳を考えると，助走速度が同程度であれば，グリップ高も同程度となることが考えられる。しかし，グリップ高は，世界の一流では約5 mで

1) 愛知教育大学 教育学部 Aichi University of education, Faculty of Education

〒448-8542 愛知県刈谷市ヶ谷町広沢1 Tel: 0566-26-2464 E-mail: kkigoshi@aeu.ac.jp

2) 日本体育大学 体育学部 Nippon Sport Science University, Faculty of Sport Science

〒227-0033 神奈川県横浜市青葉区鴨志田町1221-1

3) 日本体育大学 スポーツトレーニングセンター Nippon Sport Science University, Sports Training center

〒227-0033 神奈川県横浜市青葉区鴨志田町1221-1



日本の一流では4 m50～4 m70程度であり、その差は歴然としている。それでは、グリップ高の差が助走速度に起因していないとすると、グリップ高の差は何に起因するのか？これまでは、助走速度に起因すると考えてきたために、助走速度以外の要因について検討してこなかったように感じる。したがって、現在までに、グリップ高に影響を及ぼす助走速度以外の要因、および澤野選手が世界一流競技者の仲間入りをすることができた理由については、明確な答えは得られていないようである。

そこで、本稿では、これまでに行われてきた研究および報告を基に、グリップ高に影響を及ぼす技術的要因、および日本人はグリップ高を高めるために何をすべきかについて、棒高跳の見どころと合わせて紹介する。

## 2. 跳躍高に影響を及ぼす要因

### 2.1 グリップ高

棒高跳は、他の跳躍種目とは異なり運動の局面が細かく分類される。これは、棒高跳がポールという道具を用いるためである。また、棒高跳が、ボックスを支点としたポールの回転と、上のグリップを支点としたポールに対する身体の回転という二つの振り運動によって成立している (Dyson, 1977) ことも局面が細かく分類される理由であろう。棒高跳の運動局面は大きく分けて、(1) 突っ込み・踏み切り局面、(2) スウィング・タック局面、(3) 翻転逆上がり倒立局面、(4) クリアランス局面の4つの局面に分けることができる (村木, 1982)。また、(2)の局面をドライブ・スウィング局面と呼ぶこともある。さらに、それぞれの局面を機能別に分類する場合もあり、なかでも、スウィング・タック局面をペネトレーション、ロングスウィング、ショートスウィングに分けるという観点は日本の指導書ではあまり見かけない。

これらの局面構造を基に、棒高跳における跳躍高を構成する要素を検討すると、おおよそ次のように示される。それは、有効グリップ高 (地面からボックスの深さ20cmを差し引いたもの) とグリップ高からバーまでの高さである抜きの高さである。つまり、両者を合計したものが跳躍高である。また、運動局面と関連付けて理解するためには、踏切時の身体重心高、踏切からポールリリースまたはプッシュ・オフ時までの身体重心高とポールリリース後に空中に投射された際の身体重心高との合計として考えることも有功であろう (村木, 1982)。なお、跳躍高のうち、踏切からポールリリースまたはプッシュ・オフ時までの身体重心高が跳躍高の約80%を占め、跳躍高の最大の構成要因である。また、踏切時の身体重心高は約20%、ポールリリース後に空中に投射された際の身体重心高は約3%である。

これらのことから、跳躍高に影響を及ぼす最大の要因はグリップ高であるといえる。世界の一流競技者のほとんどは5 m20のポールを使用しており、澤野選手は5

m10のポールを使用している。一方で日本人の一流競技者は5 m00のポールを使う選手が稀であり、ほとんどが4 m90のポールを使用している。また、有効グリップは、世界一流競技者および澤野選手では、5 m00から4 m80くらいであるのに対して、日本人競技者では4 m70から4 m50くらいである。このように、日本人の一流競技者と世界の一流競技者とでは、棒高跳の跳躍高に影響を及ぼす最大の要因であるグリップ高が大きく異なる。そこで、グリップ高に影響を及ぼす要因を検討する。

## 3. グリップ高に影響を及ぼす要因

### 3.1 ポールの素材

棒高跳の記録の向上を検証する際に、ポールの素材の変遷を欠かすことはできない。競技として棒高跳が最初に行われたのは1867年 (安田, 1976) であり、この当時ポールにはヒッコリー材が使用されていた。その後、1900年頃から竹製ポールが用いられるようになったが、強度の問題から1935年にアルミ製ポールが、1946年にスチール製ポールが導入された。その後、1960年からグラスファイバーで作られた弾性ポールが一般化することとなる。竹やアルミ、スチールといった非弾性ポールから弾性ポールへと材質が変化したことによる最も大きなメリットは、グリップ高の劇的な向上である。非弾性ポールでは4 mが限界とされていたグリップ高 (村木, 1982) が、弾性ポールが出現したことにより、5 mを超えることになった。これは、突っ込み以降においてポールが曲がることにより、曲率半径が小さくなり、高いグリップを保持した場合でもポールを起こすことが可能になるためである。例えば、武田ほか (2005) は、ポールの最大湾曲率が約30%であったことを報告しており、これを基に考えると、グリップ高が4 m80ならば曲率半径は約1.7mになり、絶対ポール起こし長は約3.4mとなる。このように、ポールを大きく曲げることが、グリップ高を高くするために重大な影響を及ぼしている。

ポールを曲げるために作用する力として、競技者の両腕による偶力が考えられる (村木, 1982)。そして、この偶力は左右の握り幅を広げることで大きくすることができる。しかし、左右の握り幅が広いことは、スウィング・タック局面から翻転逆上がり倒立局面にかけての効率的な動作の妨げになることも考えられる。したがって、左右のグリップの幅を広げることにはメリットとデメリットが存在し、左右のグリップ幅には選手の跳躍スタイルが現れることがある。

また、選手および指導者のなかには、ポールの弾性は抜きの高さに大きな影響を及ぼしていると考えているようである。しかし、非弾性ポールでの世界記録となる4 m80を樹立したブラックは、グリップ高が4 m05であった (安田, 1994)。したがって、抜きの高さは、0.75mとなる。ブブカ選手はグリップ高が5 m10で記録が6



m15であることから、抜きの高さは1.05mである。つまり、非弾性ボールと弾性ボールとの抜きの高さを比較すると、弾性ボールが非弾性ボールと比較して30cmほど優れるのみである。したがって、ボールの弾性が抜きの高さに大きな影響を及ぼしているとはいえない。

Hay (1968, 1971) は、棒高跳における力学的エネルギーの変化の過程を、身体の並進運動エネルギーおよびボール上で振り上げ動作によって得られる回転エネルギーとの位置エネルギーの変換過程として理解することができるとしている。踏切後、助走で得た運動エネルギーはボールに弾性エネルギーとして蓄えられるために、身体の並進運動エネルギーは一貫して減少する。しかし、身体の並進運動エネルギーは、ボールの最大湾曲を迎えた後に一時的に上昇し、これは、ボールの伸展（リコILING）によって弾性エネルギーが再放出されたことを示している（Arampatzis et al., 2004, Schade et al., 2004）。このような、ボールの伸展（リコILING）によって再放出されたエネルギーは、男子競技者および女子競技者ともに認められるが、その大きさは男子競技者が女子競技者と比較して大きいことが報告されている（Schade et al., 2004）。これは、男子競技者が女子競技者と比較して硬いボールを大きく曲げていることに起因しているものと考えられる。これまでに行われてきたボールの伸展（リコILING）によって再放出されたエネルギーについて報告した研究をみると、5 m30から5 m60のベスト記録をもつ競技者を対象としたSchade et al. (2006) の報告では、ピーク値が13J/kgから14J/kgであった。また、シドニーオリンピックでの決勝の試技を対象としたSchade et al. (2004) の報告、およびアテネオリンピックでの試技を分析したSchade et al. (2000) の報告では、17J/kgから18J/kgであった。それぞれの報告には多少のばらつきが認められるが、類似した値が得られているといえる。これらの研究から、ボールの伸展によってボールに蓄えられた弾性エネルギーが再放出されていること、およびボールが硬くなることによって再放出される弾性エネルギー量が多くなることは事実のようである。しかし、これらの研究では、ボールの伸展によって再放出されたエネルギーによって身体重心高がどの程度上昇するのかについては検討されていない。

淵本 (1992a) は、ボールの反発力から体重を引いた値をボールの湾曲量について積分することで選手を空中に投射することが可能なエネルギー（超過弾性エネルギー）を求め、これと抜きの高さとの関係を検討している。その結果、超過弾性エネルギーと抜きの高さとの間に有意な正の相関関係が認められたことを報告している。しかし、ボールリリース後に空中に投射されて獲得した高さは、跳躍高の3～4%といわれる（村木, 1982）。実測値としては、22cmから10cm程度と報告されている。したがって、超過弾性エネルギーと抜きの高

さとの間に有意な正の相関関係が認められたとしても、1m近い抜きの高さの全てが超過弾性エネルギーによって得られたものではないと考えられる。これらのことを総合的に考慮すると、ボールの反発力を大きくするために固いボールを使うことを理想的な跳躍のポイントとすることは、あまり意味がないことになる。

弾性ボールでの最後の世界記録となる4 m80を樹立したブラック選手は、グリップ高が4 m05であった（安田, 1994）。したがって、ブラック選手の抜きの高さは0.75mであった。ブブカ選手のグリップ高にブラック選手の抜きの高さを上乘せすると5 m75である。この記録は、2005年にヘルシンキで行われた世界選手権であれば3位に相当する記録である。このことから、非弾性ボールから弾性ボールへの材質の変化によって技術の本質的な特徴は変化しておらず、非弾性ボールから弾性ボールへの変化による記録の向上は、ボールの弾性による抜きの高さの向上によるものではなく、グリップ高が向上したことによるものであることがうかがえる。

### 3.2 助走速度

棒高跳の跳躍高に影響を及ぼす要因について、これまで様々な研究がおこなわれてきた（Hay, 1967; Steben, 1970; 淵本ほか, 1994）。Steben (1970) は、跳躍高を従属変数、助走速度、踏切初速度、踏切足の接地時間等を独立変数として重回帰分析を行い、踏切初速度が跳躍高に大きな影響を及ぼすことを報告している。また、淵本ほか (1992b) は、世界一流および日本一流競技者の実際の試合における試技を分析し、身体の最大重心高と助走速度との間に有意な正の相関関係が認められたことを報告している。これらの研究結果および指導者の経験則を基に、日本の指導者は、日本の競技者は世界一流競技者と比較して助走速度や踏切速度に劣ると考えてきたようである。しかし、世界選手権、アジア大会および日本選手権での試技を分析した高松 (1997a) の報告では、踏切速度は世界一流競技者が $8.31 \pm 0.50$  m/sで、日本一流競技者が $8.02 \pm 0.17$  m/sであり、両者の間には有意な差は認められなかったことを報告している。さらに、2004年の日本選手権において澤野選手が5 m80を成功した試技での最大速度は9.45 m/s（小山ほか, 2005）、澤野選手以外の日本人選手が5 m50を成功した試技での最大速度は9.63 m/s（武田ほか, 2005）、およびアテネオリンピックの優勝者であるティモシー・マック選手が2004年のスーパー陸上において5 m80を成功した試技での最大速度は9.33 m/s（小山ほか, 2005）であったことから、日本一流選手が世界一流選手と比較して助走速度で劣ると考えることは困難である。これらのことから、日本一流選手は世界一流選手と比較しても5 m80以上を跳ぶために十分な助走速度を保持していることが考えられる。それでは、なぜ日本一流競技者は世界一流競技者と同程度の助走速度を有していながら、世界一流の仲間入りが



できないのであろうか？また、同じ日本人であり、助走速度も同程度であるにも関わらず、澤野選手のみが世界一流競技者と肩を並べて戦うことが可能なのであろうか？これらについて、さらに検討していく必要がある。

### 3.3 踏切における水平速度

棒高跳や走高跳のような高さ競う種目では、助走で得た水平方向の速度を垂直方向の速度に変換する必要がある。そのために、踏切脚の作用によって水平方向の速度にブレーキをかけて垂直方向の速度に変換している。しかし、棒高跳においては、水平方向の速度の垂直方向への変換はボールが行う。したがって、棒高跳の踏切においては、垂直方向の速度を得ることよりも、より大きな水平方向の速度を獲得し、より大きな弾性エネルギーをボールに蓄えることが必要とされる。このことから、棒高跳の踏切においては、踏切時の速度よりも水平速度を高めることが必要であることが考えられる。このことについて、武田ほか（2005）は、世界一流競技者と日本一流競技者との踏切足離地時の身体重心の水平速度の差を検討した結果、前者では $8.17 \pm 0.31 \text{ m/s}$ であり、後者では $7.27 \pm 0.27 \text{ m/s}$ であったことを報告している。このように、日本一流競技者は世界一流競技者と比較して踏切における水平速度の減速が大きいことが考えられる。さらに、武田ほか（2005）は、跳躍高と踏切角度との間に有意な負の相関関係が認められたことも報告している。このことは、踏切の角度を水平に近づけることで、踏切における水平方向の速度を大きくすることが可能になったためであると考えられる。しかし、武田ほか（2005）の報告では、日本一流競技者において踏切における水平速度の減速が大きかった理由や、減速を減らすための技術等については言及されていない。これに対して澤野（2007）は、日本記録保持者と学生競技者との踏切動作を比較して、身体重心の水平速度減少率と踏切脚膝関節角度および踏切脚の膝関節屈伸量との間に有意な正の相関関係が認められたことを報告している。踏切における膝関節の屈曲が大きいことは、膝関節伸展筋群のエキセントリックな筋収縮によりエネルギーを吸収していることが考えられる。このことから、踏切における水平速度の減速を少なくするために、踏切における膝関節の屈曲を少なくすることが必要であると考えられる。

さらに、踏切における水平速度の減速を少なくするための要因として、棒高跳において特有の要因が考えられる。それは、踏切足の接地中に突っ込み動作を行い、ボールがボックスに衝突することによる身体重心の水平速度の減速である。これについて淵本ほか（1994）は、ボールをボックスに突っ込む時期について、世界選手権東京大会での上位4名は踏切足が離地する直前（約0.01秒）であったのに対して、下位入賞のビデンは踏切足接地期の中間、およびブライトは踏切足着地直後であったことを報告している。また、高松ほか（1997b）は、1994年

に広島で行われたアジア大会の試技を分析し、2位のエゴロフの踏切位置が上のグリップの真下よりもボックスに近い位置であったこと、およびエゴロフの突っ込みから踏切までの重心速度の低下が他の選手と比較して大きかったことを報告している。高松ほか（1997b）は、これらのことから、エゴロフは踏切位置が近く、突っ込みから踏切までに長い時間を要したこと、ボールの反発力によって重心速度が低下した可能性のあることを示唆している。さらに、ペトロフ（1985）は、突っ込みと踏切の時間的なタイミングについて、ボールのボックスへの突っ込みはどのような場合にも踏切動作の終わる前に完了されるべきであると述べている。このように、踏切において水平方向の速度の減少を少なくするために、踏切と突っ込みのタイミングを限りなく同期させることが必要であると考えられる。

踏切との時間的なタイミングを正確に把握するためには、踏切位置およびボックスに地面反力計を埋め込み、両者を同期させることが必要となる。しかし、ボックスに地面反力計を埋め込み、ボックス反力の計測が可能な施設は世界中にほとんどない。また、ボックス反力に関する研究はいくつか行われているが、突っ込みと踏切との時間的なタイミングのずれについては言及されていない。したがって、踏切速度の減少と突っ込みと踏切とのタイミングとの関係については、さらに検討をする必要がある。世界一流競技者の跳躍をみると、確かに踏切および突っ込みにおいて何のブレーキもなく、ボールの湾曲の中へ入り込んでいくようにみえる。この助走から突っ込みおよびスウィング・タック局面のロングスウィングにかけての滑らかさも必見である。

### 3.4 身体質量

棒高跳とは、助走による運動エネルギーをボールの弾性エネルギーとして一時的に蓄え、そのエネルギーを位置エネルギーに変換して高く跳ぶ競技といえる（淵本、

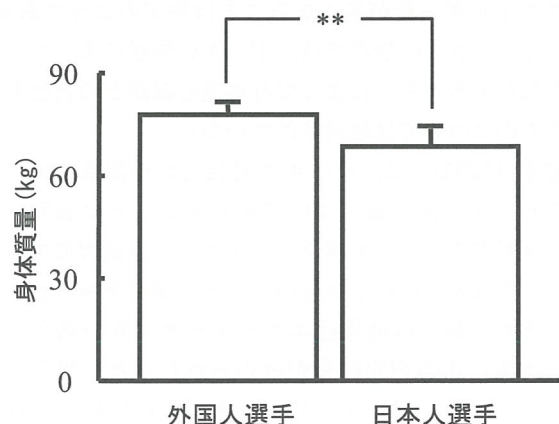


図1 外国人選手と日本人選手との身体質量の比較  
淵本ほか（1992b）、高松（1997a）および武田ほか（2005）を基に木越が作図



1992a). 助走においてより大きな運動エネルギーを獲得するためには、先述のように助走速度を高めることが重要であるが、身体重量も重要な要因であると考えられる。しかし、これまでに、跳躍高と身体質量との関係を考察した文献は見当たらない。そこで、淵本ほか (1992b)、高松 (1997a) および武田ほか (2005) のデータを基に、世界一流競技者と日本一流競技者との身体質量の差を検討した。その結果、身体質量は、世界一流競技者 ( $77.83 \pm 2.62\text{kg}$ ) が日本一流競技者 ( $68.62 \pm 5.03\text{kg}$ ) と比較して有意に高い値を示した (図1)。仮に、ボールの反発力によって身体が上昇すると考えた場合、「いかに身体質量を小さくして、固いボールを曲げるか」が重要なポイントとして考えられる。しかし、世界一流競技者は日本一流競技者と比較して、身体質量が約10kg重かった。したがって、このことは、助走速度が低下しない程度に身体質量が重いことは、競技者の身体が持つ運動エネルギーを大きくすることにつながるものと考えられる。

### 3.5 ロングスウィングでの身体重心高

棒高跳は、ボックスを支点としたボールの回転と、上のグリップを支点としたボールに対する身体の回転という二つの振子運動によって成立している (Dyson, 1977)。そのために、棒高跳において成功を得るためには、この二つの振子運動を効果的に動かすことが必要である (テレッツ, 2004)。この二つの振子運動を理解するために、メトロノームの動きをイメージすることが有効である。メトロノームでは、回転棒の回転速度を速くするためには錘を回転の中心に近くし、回転速度を遅くするためには錘を回転の中心から遠ざける。このことから、棒高跳において、ボールの回転速度を高めるためには、踏切後のロングスウィングやペネトレーションと呼ばれる局面において身体重心高を低くしておくことが必要である。このためには、踏切角度を水平に近くすること、および踏切において、踏切脚および上の腕はしっかりと伸展させておくことが必要である。このように、同じ踏切速度であったとしても、踏切局面および踏切後のロングスウィングやペネトレーション局面の技術によって、より高いグリップ高を獲得することが可能となる (村木, 1982)。さらに、ボルター・ボール系の慣性半径は、ボールの曲率度合によっても変化する。つまり、ボールが大きく曲がれば、ボルター・ボール系の慣性半径は小さくなる。踏切局面においてボールの曲がりに影響を及ぼす要因は、踏切時の運動エネルギーと両腕の偶力で生み出されるが、踏切後の局面においてもボールの曲がりに影響を及ぼす要因が存在する。それは、踏切後のスウィング運動である。踏切足の離地後、慣性半径を長く保つようにできるだけ長懸垂の姿勢を取り、しかもボールの曲げに作用する力を大きくするために、質量の大きい下半身の長く鋭いスウィングが必要となる。スウィング局面における身体の角運動量について、Morlier and Cid

(1996) は、ピーク値で  $-50\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$  に上ること報告している。しかし、Morlier and Cid (1996) の研究では、スウィング局面における角運動量がボールの曲がりにどの程度貢献しているかについては検討されていない。今後、世界一流競技者と日本一流競技者とのスウィング局面における角運動量の差について、さらに検討する必要がある。

上述のように、踏切局面および踏切後のロングスウィングやペネトレーション局面において、長懸垂姿勢の保持と鋭いスウィングを行うことで、踏切速度が同じであっても、より高いグリップ高を獲得することが可能である。澤野選手の跳躍をみると、踏み切り時にリードレッグの膝関節が他の選手と比較して伸展している傾向にある。このことが澤野選手の動作で修正すべき点とされる場合もある。しかし、水平に近い角度で踏切を行うために、および踏切後において身体重心高を低く保持するために、踏み切り時にリードレッグの膝関節を伸展させることは有効である可能性も考えられる。また、澤野選手は下半身のスウィング技術に優れている。体幹はまったく前方に振られることなく、股関節を中心として下半身のみをスウィングさせている。これによって、身体重心高を低くしながら、鋭いスウィングを可能にしている。これらのことについては、さらに検討する必要があるが、世界一流選手と比較すると華奢な澤野選手が、彼らと同程度のグリップ高を獲得するためには、ロングスウィングにおける動作が鍵を握っているように感じる。

## 4. まとめ

日本人競技者がグリップ高を高めるためにすべきこととして、踏切角度を水平に近づけるために突っ込みと踏切のタイミングとを同期させること、踏切における身体重心の水平速度を高めること、ロングスウィングにおいて身体重心高を低く保つこと、股関節を中心とした鋭いスウィングを行い大きな角運動量を得ること、ボールの弾性によって抜きの高さを得ているとの考えを捨てて身体質量を高めることが挙げられる。

## 5. 世界陸上での見どころ

棒高跳の魅力とは、やはり何と言ってもその高さによる迫力であろう。優勝は5m90から6m00あたりで決するものと推測するが、この高さは一般的なマンションの3階のベランダに相当する。また、体重80kgを超える大男たちが、5m00を超えるボールを持ち、9.0m/sを超える助走速度で踏み切りおよび突っ込みを行う。しかも、これだけの助走速度で突っ込みを行いながら、その衝撃は見た目には殆ど感じないほどスムーズにボールを曲げていく。このように、世界一流競技者による空中戦は見ごたえ十分である。

さらには、澤野選手の活躍からも目が離せない。おそ



らく、決勝進出者のなかで、澤野選手は最も華奢であろう。決勝進出者のなかで、体重が80kgを下回るという選手は殆どいないものと考えられる。しかし、澤野選手は世界トップクラスの踏切速度および踏切後の技術でもって、世界一流競技者と対等に戦ってくれるものと期待している。メダルは5m80を一回目でクリアするとかかなり近づいてくると予想される。そして、昨年度6m00をクリアしているB.ウォーカー（アメリカ）や5m96のS.フッカー（オーストラリア）らとの争いになるであろう。メダルを獲得することは、当然のことながら容易なことではないが、棒高跳ではオリンピックベルリン大会以来、約70年ぶりとなる日本人の世界大会でのメダル獲得を期待したい。そして、長居陸上競技場の掲揚塔に日の丸が掲揚されるところを見たいものである。

## 参考文献

- Arampatzis, A., Schade, F. and Bruggemann, G.-P. (2004) Effect of the pole human body interaction on pole vaulting performance. *Journal of Biomechanics*, 37 : 1353-1360.
- Dyson, G. H. G. (1977) *The mechanics of athletics* (Seventh edition). Holmes & Meier Publishers : New York.
- 淵本隆文 (1992a) スポーツ用具に注入されるエネルギーを測る－棒高跳ポールの場合－. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 11 (3) : 188-193.
- 淵本隆文, 高松潤二, 阿江通良 (1992b) 一流棒高跳選手のバイオメカニクス的分析. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 11 (10) : 650-653.
- 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. 佐々木秀幸, 小林寛道, 阿江通良 (監修), 世界一流陸上競技者の技術 (第三回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス研究班報告書). ベースボール・マガジン社 : 東京, pp.193-204.
- Hay, G. J. (1968) Mechanical energy in pole vaulting. *Track Technique*, 33 : 1047-1051.
- Hay, G. J. (1971) Mechanical energy relationships in vaulting with a fiber glass pole. *Ergonomics*, 14 (4) : 437-448.
- 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. 陸上競技紀要, 1 : 128-136.
- Morlier, J. and Cid, M. (1996) Three dimensional analysis of the angular momentum of a pole vaulter. *Journal of Biomechanics*, 29 (8) : 1085-1090.
- 村木征人, 室伏重信, 加藤 昭 (1982) 現代スポーツコーチ実践講座 2. 陸上競技(フィールド). ぎょうせい : 東京, pp.380-443.
- ペトロフ : 村木征人訳 (1985) 棒高跳の技術. 月刊陸上競技, 6月号 : 154-159.
- 澤野大地 (2007) 棒高跳の踏切における身体重心の速度変化と踏切動作との関係に関する研究. 日本大学大学院文学研究科修士論文.
- Schade, F., Arampatzis, A. and Bruggemann, G. -P. (2006) Reproducibility of energy parameter in the pole vault. *Journal of Biomechanics*, 29 : 1464-1471.
- Schade, F., Arampatzis, A. and Bruggemann, G. -P. (2000) Influence of different approaches for calculating the athlete's mechanical energy on energetic parameters in the pole vault. *Journal of Biomechanics*, 33 : 1263-1268.
- Schade, F., Arampatzis, A., Bruggemann, G. -P. and Komi, P. V. (2004) Comparison of the men's and the women's pole vault at the 2000 Sydney Olympic games. *Journal of Sports Sciences*, 22 : 835-842.
- Steben, R. E. (1970) A cinematographic study of selective factors in the pole vault. *Research Quarterly*, 41 (1) : 95-104.
- 高松潤二 (1997a) 棒高跳のポール支持局面の跳躍動作に関するバイオメカニクス的研究－最大重心高増大のための技術的要因－. 筑波大学大学院体育科学研究科博士論文, 53-89.
- 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 (1997b) アジア大会における棒高跳のバイオメカニクス的分析. 佐々木秀幸・小林寛道・阿江通良 (監修), アジア一流陸上競技者の技術 (第12回アジア大会陸上競技バイオメカニクス研究班報告). 創文企画 : 東京, pp.137-149.
- 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的分析. 陸上競技研究紀要, 1 : 30-35.
- テレツ : 図子浩二訳 (2004) 棒高跳の技術. 陸上競技学会誌, 2 : 1-4.
- 安田矩明 (1976) 棒高跳. 金原勇 (編) 陸上競技のコーチング (II). 大修館書店 : 東京, pp. 121-142.
- 安田矩明 (1994) スポーツを考える (その3) セルゲイ・ブブカ選手の棒高跳. 中京大学体育論叢, 32 (2) : 123-133.

# 砲丸投げの競技特性と世界レベルに対する日本選手の課題

田内 健二<sup>1)</sup>

## Performance characteristics of the shot put and the tasks for Japanese shot putters to the world level

Kenji Tauchi

砲丸投げは、男子では重さ7.26kg、女子では4kgの砲丸を、直径2.135mのサークルから投げ出す競技である。また、砲丸を片手で投げなければならない、両肩の結ぶ線より後方に位置させてはならない、あごあるいは首あたりに位置させなければならない、などの動作上の制約がある。つまり、野球やソフトボールでみられるオーバーハンドスロー、アンダーハンドスローのように投げては

いけないということである。そのために、競技者は砲丸を首の横から押し出すように投げることになり、英語ではshot “throw”ではなく、shot “put”として表現されている。

本稿では、砲丸投げの競技特性と世界レベルに対する日本選手の課題について客観的データにもとづいて論じてみたい。

表1 男子砲丸投における記録およびシーズンベストに対する達成率

| 【記録】 (単位:m)  |        |        |       |       |       |        |        |         |         |
|--------------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|---------|
| 年            | 試合     | 開催地    | 1位    | 2位    | 3位    | 1-3位平均 | 4-8位平均 | 9-12位平均 | 予選通過ライン |
| 1991         | 世界選手権  | 東京     | 21.67 | 20.81 | 20.75 | 21.08  | 20.03  | 19.07   | 19.00   |
| 2000         | オリンピック | シドニー   | 21.29 | 21.21 | 21.20 | 21.23  | 20.55  | 19.14   | 19.79   |
| 2001         | 世界選手権  | エドモントン | 21.87 | 21.24 | 20.93 | 21.35  | 20.81  | 20.36   | 20.13   |
| 2003         | 世界選手権  | パリ     | 21.69 | 21.26 | 21.10 | 21.35  | 20.30  | 19.50   | 20.06   |
| 2004         | オリンピック | アテネ    | 21.16 | 21.16 | 21.07 | 21.13  | 20.47  | 19.67   | 20.04   |
| 2005         | 世界選手権  | ヘルシンキ  | 21.73 | 21.29 | 20.99 | 21.34  | 20.76  | 19.93   | 20.07   |
| 【達成率】 (単位:%) |        |        |       |       |       |        |        |         |         |
| 年            | 試合     | 開催地    | 1位    | 2位    | 3位    | 1-3位平均 | 4-8位平均 | 9-12位平均 |         |
| 2000         | オリンピック | シドニー   | 100.0 | 95.9  | 99.8  | 98.6   | 98.3   | -       |         |
| 2001         | 世界選手権  | エドモントン | 99.6  | 99.3  | 99.8  | 99.5   | 99.3   | 97.6    |         |
| 2003         | 世界選手権  | パリ     | 100.0 | 99.9  | 96.7  | 98.9   | 97.7   | 94.0    |         |
| 2004         | オリンピック | アテネ    | 100.0 | 97.6  | 97.4  | 98.3   | 97.5   | -       |         |
| 2005         | 世界選手権  | ヘルシンキ  | 99.1  | 99.4  | 98.3  | 98.9   | 98.3   | 96.9    |         |

各試合においてシーズンベストを更新した場合は、達成率を一律100%とした。

表2 女子砲丸投における記録およびシーズンベストに対する達成率

| 【記録】 (単位:m)  |        |        |       |       |       |        |        |         |         |
|--------------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|---------|
| 年            | 試合     | 開催地    | 1位    | 2位    | 3位    | 1-3位平均 | 4-8位平均 | 9-12位平均 | 予選通過ライン |
| 1991         | 世界選手権  | 東京     | 20.83 | 20.29 | 20.26 | 20.46  | 19.37  | 18.14   | 18.09   |
| 2000         | オリンピック | シドニー   | 20.56 | 19.92 | 19.62 | 20.03  | 18.87  | 17.70   | 17.84   |
| 2001         | 世界選手権  | エドモントン | 20.61 | 19.86 | 19.41 | 19.96  | 19.14  | 18.29   | 17.93   |
| 2003         | 世界選手権  | パリ     | 20.63 | 20.12 | 20.08 | 20.28  | 18.64  | 17.98   | 17.97   |
| 2004         | オリンピック | アテネ    | 19.59 | 19.55 | 19.49 | 19.54  | 18.75  | 18.29   | 18.16   |
| 2005         | 世界選手権  | ヘルシンキ  | 20.51 | 19.64 | 19.62 | 19.92  | 18.71  | 17.71   | 17.87   |
| 【達成率】 (単位:%) |        |        |       |       |       |        |        |         |         |
| 年            | 試合     | 開催地    | 1位    | 2位    | 3位    | 1-3位平均 | 4-8位平均 | 9-12位平均 |         |
| 2000         | オリンピック | シドニー   | 100.0 | 92.8  | 97.0  | 96.6   | 96.6   | -       |         |
| 2001         | 世界選手権  | エドモントン | 100.0 | 100.0 | 98.9  | 99.6   | 97.2   | 94.9    |         |
| 2003         | 世界選手権  | パリ     | 99.3  | 97.9  | 98.2  | 98.5   | 97.1   | 95.3    |         |
| 2004         | オリンピック | アテネ    | 98.1  | 100.0 | 94.2  | 97.4   | 97.2   | -       |         |
| 2005         | 世界選手権  | ヘルシンキ  | 97.2  | 99.9  | 98.7  | 98.6   | 95.3   | 94.3    |         |

各試合においてシーズンベストを更新した場合は、達成率を一律100%とした。

1) 早稲田大学スポーツ科学学術院 Faculty of Sport Sciences, Waseda University  
〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島2-579-15 E-mail: tauchi@aoni.waseda.jp



## 1. 近年のオリンピックおよび世界選手権における上位記録の変遷

表1, 2に, 2000年から2005年までのオリンピックおよび世界選手権の男女砲丸投げにおける決勝進出者の記録(参考までに1991年東京大会の記録も示した)およびシーズンベストに対する達成率を示した。記録については, 男子では1991年と比較すると優勝記録こそ顕著な差はないが, 各順位での平均値および予選通過ラインはいずれも上回っていた。また, 女子では男子とは対照的に1991年と比較すると各順位の平均値および予選通過ラインはほぼ同じか下回る傾向にあった。このことから, 世界の砲丸投げの競技レベルは東京世界選手権以来, 男子では20m以上という高いレベルに底上げされてきているが, 女子では停滞あるいは低下傾向にあることがうかがえる。

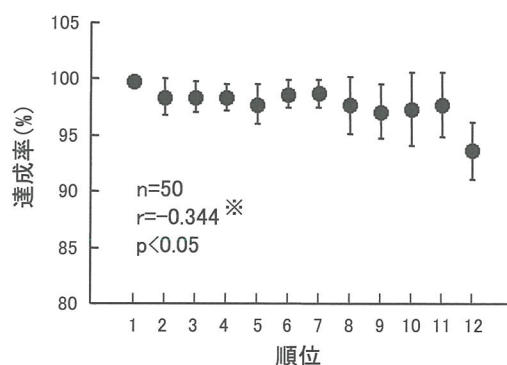
記録の達成率については, 男女ともに8位入賞者まではおおそ99~97%と高い値を示し, 9~12位では96~95%と入賞者と比較して若干低いものの高い値を示した。村木(1994)は, ソウルオリンピック(1988年)における自己記録に対する試合での達成率について, トラック種目では全出場者の平均値は98.0%, 決勝進出者に限っては99.3%と高い達成率を示したが, フィールド種目ではそれぞれ94.7%, 96.7%とトラック種目と比較して低い達成率であることを報告している。この報告を考慮するとフィールド種目の中でも砲丸投げ(特に8位入賞者)は, 比較的高い達成率が期待できる種目であるといえる。また, 順位と記録の達成率との間には有意な負の相関関係が認められたが, 相関係数の値は低かった(図1)。このことは, 男女ともに砲丸投げにおいては, 総じて自らの力を十分に発揮しており, 8位入賞に至らなかった選手についてのみ実力を発揮できなかったものと解釈できる。したがって, 砲丸投げにおいては世界選手権前までのシーズンベストの上位者がそのまま本番でも上位に進出する可能性の高いことが統計的に予測される。

## 2. グライド投法と回転投法との相違からみた砲丸投げの競技特性

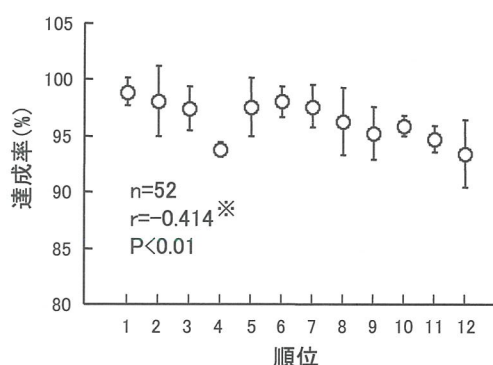
歴史的にみると砲丸投げの投法は, 横向きステップ投法→横向きホップ投法→グライド投法→回転投法へと変化してきた(詳細は, 植屋, 2003; 田内, 2006aを参照)。世界的にみた現在の主流は, 男子では回転投法, 女子ではグライド投法である。ただし, 日本においては男女ともにグライド投法が主流である。ここでは, グライド投法と回転投法の違いについてまとめてみたい。

グライド投法とは投てき方向と正反対の後ろ向きに構え, いったんしゃがみ込んだ後, 左脚を投擲方向へ投げ出しながら移動した(グライド動作)後に投げる方法である(図2上段)。一方, 回転投法とは投てき方向と正反対の後ろ向きに構え, 文字どおり身体を1回半回転させながら投げる方法である(図2下段)。図3に, グライド投法および回転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示した。上段はグライド投法で日本選手権1位の選手と回転投法で日本選手権3位の選手, 下段は国内トップクラスの選手でグライド投法と回転投法の両者を行った際の結果である。この図は, 時々刻々と変化する砲丸速度が, 身体のどのような動作によって生み出されているのかを示している。例えば, 左上段のリリース時の砲丸速度は10.31m/sであるが, その速度は上肢の伸展動作(7.3m/s), 体幹の長軸回りの回転動作(1.5m/s), 体幹の起こし回転動作(1.6m/s)によってほぼ生み出されているということがわかる。したがって, 各動作の速度をすべて足すと砲丸速度になる(算出方法などの詳細は, 田内ら(2006b)を参照)。このようにしてみると, 異なる選手であっても同一の選手であってもグライド投法と回転投法との相違は, 太線で示した体幹の長軸周りの回転(以下, 体幹の長軸回転)の大きさにある。つまり, グライド投法ではリリース直前に体幹の長軸回転の貢献が低く維持またはさらに低下するのに対して, 回転投法ではリリースの直前まで貢献が

男子砲丸投



女子砲丸投



※ rはspearmanの順位相関係数。

図1 男女砲丸投における各順位での記録の達成率



図2 グライド投法と回転投法のスティックピクチャ

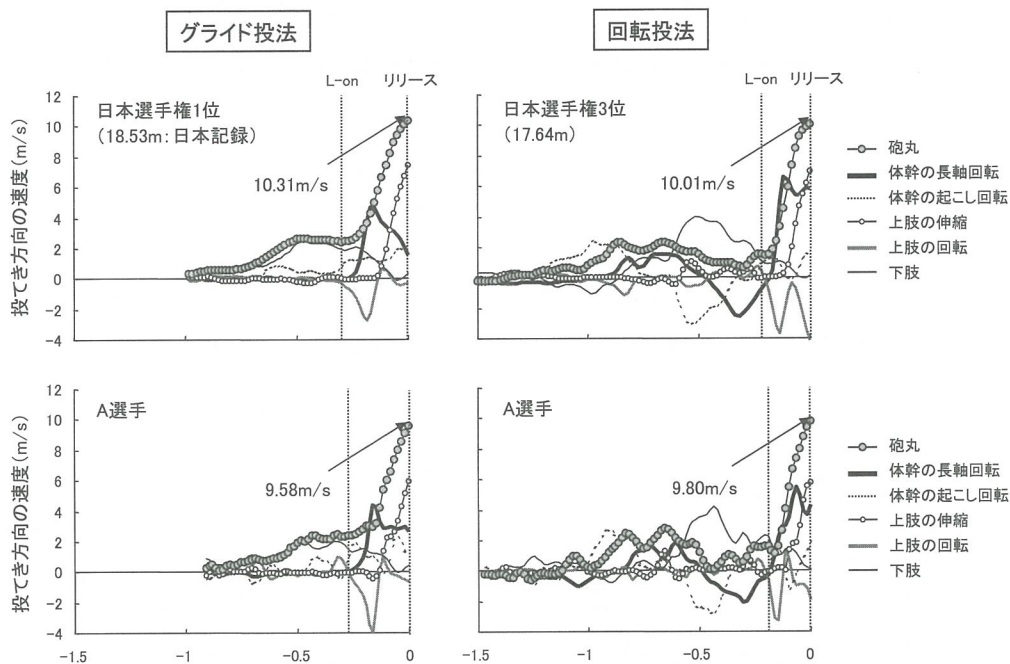


図3 砲丸速度に対する身体各部位の貢献からみたグライド投法と回転投法との比較 (男子)  
上段は日本選手権1位と3位の選手, 下段は同一選手 (A選手) におけるグライド投法と回転投法の結果である。

高いまま維持されている。体幹は身体の中で最も大きなエネルギー発生源であることから、体幹を利用して砲丸を加速させることは合理的であると考えられる。その体幹を大きく貢献させやすいのが回転投法、貢献させにくいのがグライド投法であると考えられる。また、動作面では、回転投法では比較的浅い膝曲げ角度から両脚で動作を開始するのに対して、グライド投法では深い膝曲げ角度から片脚で動作を開始することから、砲丸-身体系を加速させエネルギーを獲得することに対して、下肢への負担を少なくできるという点においても回転投法のメリットは大きい。これらのことが理由となり、世界レベルの男子においては回転投法が主流となったものと考えられる。しかし、回転投法では身体を反時計回りに回転させながら、砲丸を回転の接線方向に突き

出す必要があるために、砲丸に加える力の方向と砲丸の投射方向とを一致させるのが困難である。この点についてはグライド投法では動作の移動方向と投てき方向が一致しており、力の方向と投射方向を一致させやすいというメリットがある。

一方、女子においては世界レベルでもグライド投法が主流であるが、これは体格に対して4kgという砲丸の重さが相対的に軽いために、回転投法という技術性の高い投法でなくとも、グライド投法のメリットを利用することで十分に投てき距離を獲得できることが原因の1つとして考えられる。

このように全体としては回転投法のメリットが多いと考えられるが、日本選手においては普及が進んでいないのが現状である。技術性の高い回転投法に対して適切な



世界選手権優勝者  
(20.12m:スーパー陸上)

右側方から

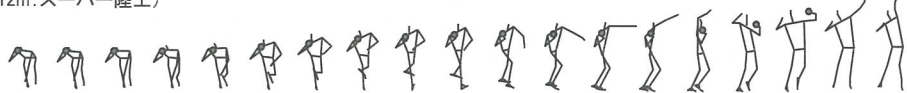


日本選手権1位  
(16.69m)



世界選手権優勝者  
(20.12m:スーパー陸上)

後方から



日本選手権1位  
(16.69m)



図4 女子砲丸投げにおける世界選手権優勝者および日本選手権優勝者のスティックピクチャ

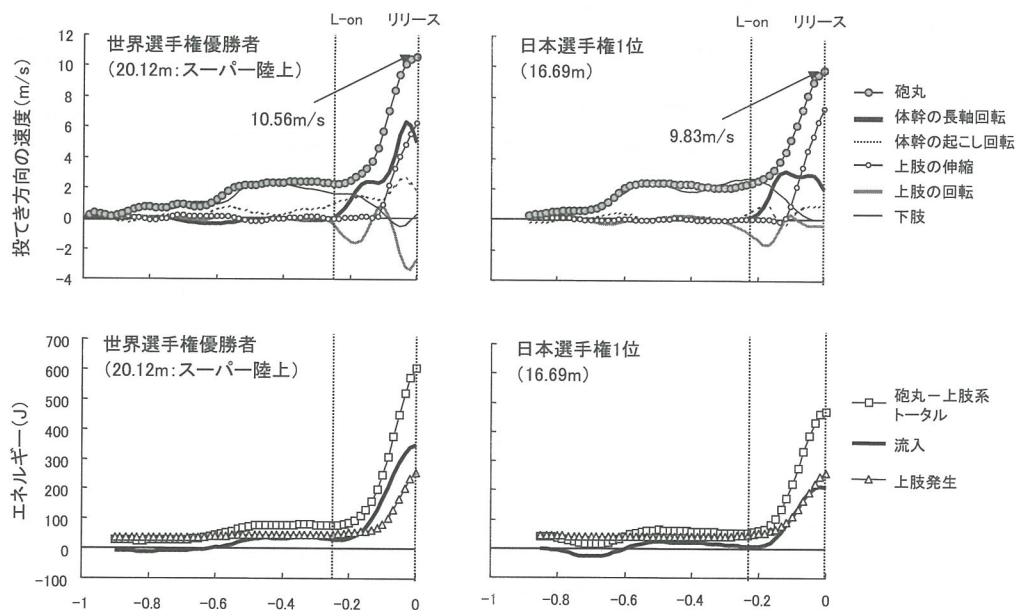


図5 砲丸速度に対する身体各部位の貢献（上段）および砲丸-上肢系のエネルギー変化（下段）からみた女子砲丸投げにおける世界選手権優勝者と日本選手権優勝者との比較

指導方法を確立し、特に男子選手に対しては積極的に取り組んでいくことが競技力向上のための大きな課題であると考えられる。

### 3. 世界レベルに対する日本選手の課題

砲丸投げにおいては男女を問わず世界一流選手は、体格が人並みはずれて大きく、怪力の持ち主であるというイメージがあり、実際にもそうである場合が多い。また、そのことが世界レベルの選手と日本選手との記録の違いの大きな原因であると解釈されることも多い。しかし、それだけが原因であろうか。ここでは、世界一流選手と日本一流選手との相違を事例的に紹介し、世界レベ

ルの投てき技術とその技術に対する日本選手の課題を考えてみたい。図4に、女子砲丸投げにおける世界選手権優勝経験者(WC)と日本選手権優勝者(JC)のスティックピクチャ、図5に両者における砲丸速度に対する身体各部位の貢献の仕方(上段)および上肢-砲丸系のエネルギー変化(下段)を示した。WCはJCと比較して、砲丸速度に対する身体各部位の貢献ではリリース直前における体幹の長軸回転の貢献が高く、このパターンは図3の回転投法のパターンに類似していること、およびエネルギー変化では上肢で発生させたエネルギーはほとんどかわらないが、体幹から上肢へ流入したエネルギー量が圧倒的に大きいことがわかる。すなわち、世界一流選手

はグライド投法でありながら、突き出し局面では回転投法に類似した突き出し動作を行うことによって、大きな出力源である体幹の貢献を大きくしており、このことは体幹から上肢へ伝達されるエネルギー量を増大させることにつながっているものと考えられる。一方、日本選手権優勝者は、出力源としてはそれほど大きくない上肢の貢献が高く、体幹のエネルギーを十分に利用できていない投てきとなっている。具体的な動作については田内ら(2006b)を参照されたい。これらのことは、世界一流選手は大きな体格を持ち、それに伴う力、パワーが大きいだけでなく、極めて合理的な投てき技術を獲得していること、反対に日本選手の方が効率の悪い投てき技術である可能性のあることを示唆するものである。したがって、世界レベルに対する日本選手の課題としては、大きな力、パワー発揮能力によって大きなエネルギーを獲得することに加えて、そのエネルギーをより効率よく砲丸の加速に利用できる投てき技術を獲得することがあげられる。出力が小さいといわれている日本選手は、少なくとも効果的なエネルギー利用が行えるような技術を身につけておかなければ、世界との差は埋まらないのであろう。

#### 4. 日本選手への期待

男子の日本記録は、昨年畑瀬聡選手によって18.56m

まで引き上げられた。しかし、2006年度の世界ランキング50位は19.98mであることから、男子選手の競技レベルは世界レベルに対しては遠く及ばないのが現状である。男子選手には19mを超え、少しでも世界との差が埋まることを期待したい。一方、女子の日本記録は、昨年亡くなられた森千夏選手が記録した18.22mである。表2に示した記録をみてわかるように、この記録は世界でも十分通用する記録であり、その偉大さを再認識させられる。2006年度の日本ランキングでは1位が16m台、2位が15m台、3位が14m台と残念ながら世界レベル、そして日本記録に対しても大きな開きがある。森選手が開拓した世界への道を引き継げる選手の出現に期待したい。

#### 参考文献

- 村木征人(1994) スポーツ・トレーニング理論. ブックハウス・エイチディ: 84-86.
- 植屋清見(2003) 記録の変遷から見た日本と世界の差. 月刊陸上競技37: 202-205.
- 田内健二(2006a) 砲丸投げ技術の変遷からみた競技力向上への課題. 体育の科学56(3): 213-218.
- 田内健二, 村上雅俊, 高松潤二, 阿江通良(2006b) 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-. 陸上競技研究紀要2: 65-73.



## やり投げの競技特性と世界レベルに対する日本選手の課題

田内 健二<sup>1)</sup>

## Performance characteristics of the javelin throw and the tasks for Japanese javelin throwers to the world level

Kenji Tauchi

やり投げは男子では長さ2.60～2.70m, 重さ800g, 女子では長さ2.20～2.30m, 重さ600gの槍を36.5mという助走路から投げ出す競技である。一般的には, 助走, クロスステップ, 投げの3つの動作によって構成されている。

本稿では, やり投げの競技特性と世界レベルに対する日本選手の課題について客観的データにもとづいて論じてみたい。

## 1. 近年のオリンピックおよび世界選手権における上位記録の変遷

表1, 2に, 2000年から2005年までのオリンピックおよび世界選手権の男女やり投げにおける決勝進出者の記録(参考までに1991年東京大会の記録も示した) およびシーズンベストに対する達成率を示した。記録について

表1 男子やり投における記録およびシーズンベストに対する達成率

| 【記録】  |        |        | (単位:m) |       |       |        |        |         |         |
|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|---------|---------|
| 年     | 試合     | 開催地    | 1位     | 2位    | 3位    | 1-3位平均 | 4-8位平均 | 9-12位平均 | 予選通過ライン |
| 1991  | 世界選手権  | 東京     | 90.82  | 88.12 | 87.08 | 88.67  | 82.31  | 74.42   | 79.54   |
| 2000  | オリンピック | シドニー   | 90.17  | 89.85 | 88.67 | 89.56  | 86.00  | 81.56   | 82.24   |
| 2001  | 世界選手権  | エドモントン | 92.80  | 91.31 | 89.95 | 91.35  | 85.09  | 79.97   | 81.12   |
| 2003  | 世界選手権  | パリ     | 85.44  | 85.17 | 84.74 | 85.12  | 82.13  | 78.36   | 77.24   |
| 2004  | オリンピック | アテネ    | 86.50  | 84.94 | 84.84 | 85.43  | 83.37  | 78.67   | 80.68   |
| 2005  | 世界選手権  | ヘルシンキ  | 87.17  | 86.18 | 83.54 | 85.63  | 78.87  | 71.56   | 77.08   |
| 【達成率】 |        |        | (単位:%) |       |       |        |        |         |         |
| 年     | 試合     | 開催地    | 1位     | 2位    | 3位    | 1-3位平均 | 4-8位平均 | 9-12位平均 |         |
| 2000  | オリンピック | シドニー   | 99.5   | 100.0 | 98.6  | 99.4   | 96.8   | -       |         |
| 2001  | 世界選手権  | エドモントン | 100.0  | 98.8  | 98.6  | 99.1   | 97.8   | 96.4    |         |
| 2003  | 世界選手権  | パリ     | 94.8   | 97.0  | 96.2  | 96.0   | 96.7   | 91.7    |         |
| 2004  | オリンピック | アテネ    | 100.0  | 100.0 | 98.4  | 99.5   | 97.0   | -       |         |
| 2005  | 世界選手権  | ヘルシンキ  | 100.0  | 96.2  | 92.5  | 96.2   | 92.8   | 85.6    |         |

各試合においてシーズンベストを更新した場合は, 達成率を一律100%とした。

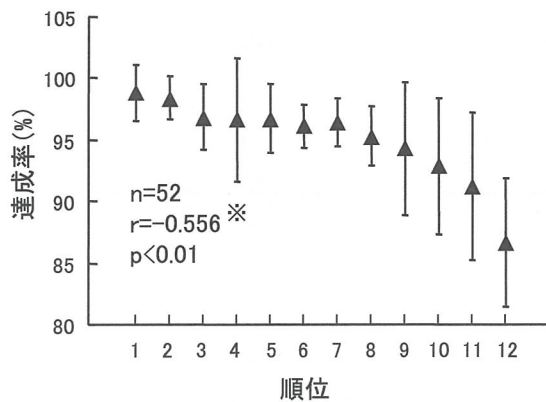
表2 女子やり投における記録およびシーズンベストに対する達成率

| 【記録】  |        |        | (単位:m) |       |       |        |        |         |         |
|-------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|--------|---------|---------|
| 年     | 試合     | 開催地    | 1位     | 2位    | 3位    | 1-3位平均 | 4-8位平均 | 9-12位平均 | 予選通過ライン |
| 1991  | 世界選手権  | 東京     | 68.78  | 68.68 | 66.80 | 68.09  | 63.37  | 59.20   | 60.90   |
| 2000  | オリンピック | シドニー   | 68.91  | 67.51 | 66.18 | 67.53  | 63.21  | 57.62   | 59.49   |
| 2001  | 世界選手権  | エドモントン | 69.53  | 65.78 | 64.69 | 66.67  | 61.95  | 58.46   | 58.42   |
| 2003  | 世界選手権  | パリ     | 66.52  | 63.28 | 62.70 | 64.17  | 60.76  | 57.86   | 58.94   |
| 2004  | オリンピック | アテネ    | 71.53  | 65.82 | 64.29 | 67.21  | 62.96  | 59.89   | 60.97   |
| 2005  | 世界選手権  | ヘルシンキ  | 71.70  | 70.03 | 65.96 | 69.23  | 61.71  | 56.54   | 59.06   |
| 【達成率】 |        |        | (単位:%) |       |       |        |        |         |         |
| 年     | 試合     | 開催地    | 1位     | 2位    | 3位    | 1-3位平均 | 4-8位平均 | 9-12位平均 |         |
| 2000  | オリンピック | シドニー   | 99.2   | 100.0 | 97.6  | 98.9   | 97.6   |         |         |
| 2001  | 世界選手権  | エドモントン | 97.2   | 98.6  | 97.2  | 97.7   | 96.6   | 93.0    |         |
| 2003  | 世界選手権  | パリ     | 100.0  | 95.9  | 97.3  | 97.7   | 96.8   | 91.9    |         |
| 2004  | オリンピック | アテネ    | 100.0  | 100.0 | 100.0 | 100.0  | 98.5   |         |         |
| 2005  | 世界選手権  | ヘルシンキ  | 100.0  | 100.0 | 99.2  | 99.7   | 96.7   | 92.3    |         |

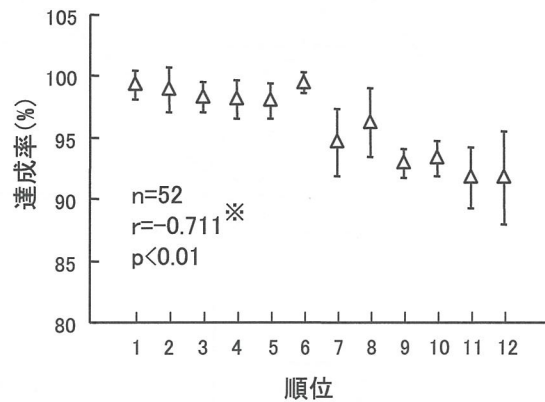
各試合においてシーズンベストを更新した場合は, 達成率を一律100%とした。

1) 早稲田大学スポーツ科学学術院 Faculty of Sport Sciences, Waseda University  
〒359-1192 埼玉県所沢市三ヶ島2-579-15 E-mail: tauchi@aoni.waseda.jp

## 男子やり投



## 女子やり投



※ rはspearmanの順位相関係数。

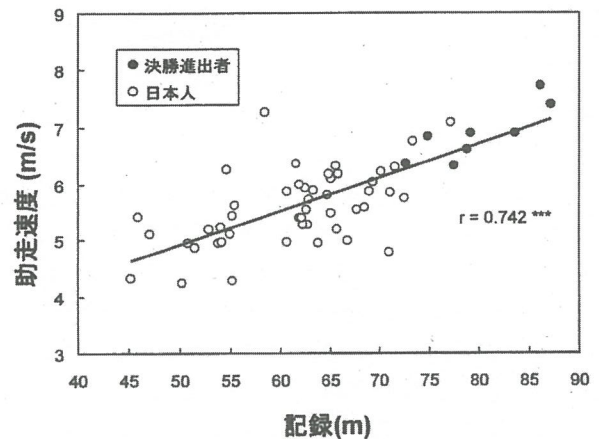
図1 男女やり投における各順位での記録の達成率

は、男子では2000年、2001年と優勝記録が90mを超え（ともに、ゼレズニー）、各順位における平均値も高い記録であったが、2003年以降若干競技レベルが停滞、下降している傾向にあった（2005年ヘルシンキ大会の4位以降の平均値が顕著に低いが、これは決勝が大雨の中で行われたことが原因であると思われる）。予選通過ラインについては、いずれの試合でも80m前後であった。また、女子では2000年から2005年まで1～3位の平均値の上がり下がりはあるが、それ以下の順位の平均値はほぼ同程度であった。予選通過ラインについてはいずれの試合も60m前後であった。これらのことから、やり投げにおける世界レベルは男子では80m以上、女子では60m以上という記録が基準になるものと考えられる。

記録の達成率については、男女ともに8位入賞者まではおおよそ99～96%と高い値であったが、9～12位では93～91%と低い値であった。また、男女ともに順位と達成率との間には有意な負の相関関係が認められ、相関係数は男女砲丸投げの値（本誌96ページ：図1）よりも高かった（図1）。このことから、やり投げにおいては大会前のシーズンベストが高いこともさることながら、試合において自らの力を十分に発揮できるか否かが大きく順位に影響するものと考えられる。すなわち、たとえランキングが高い選手であっても、本番における達成率が低く、下位になる可能性が高いということである。やり投げは水物といわれるが、このことが統計的にも裏付けられる結果であった。

## 2. 投てき技術の変化からみたやり投げの競技特性

やり投げにおいては、槍の初速度が投てき距離を獲得する上で最も重要な要素であることは多くの研究によって明らかにされているが、伊藤と村上（2006）はその初速度と助走速度との間に有意な正の相関関係が認められ

図2 やり投げ記録と助走速度との関係（村上と伊藤，2003）  
図中の●は、2005年ヘルシンキ大会における決勝進出者。

たことを報告した（図2）。また、同時に2005年ヘルシンキ大会における世界トップレベルの選手は、日本選手の助走速度よりも高いことも示している。このことは、近年の世界のやり投げ技術はより高い速度の中で遂行されていることを示唆するものである。

図3は、男女やり投げにおける投局面の右足接地時点における身体重心の位置を示している。力学的には、槍に大きなエネルギーを与えることによって、大きな初速度が得られることから、体幹を後傾させ、上肢を後方に伸ばすことで後方から長い距離にわたって槍を加速させることが良い投てき技術であると考えられてきた。したがって、1970年代の世界のトップ選手は投げ直前の構えが後傾しており、右足の接地位置に対して身体重心位置が後方にある（図3：Bartonietz, 2000）。しかし、右足の接地位置が重心よりも前にあることは、助走によって獲得した並進方向（投てき方向）の速度に対するブレーキが大きくなる要因になる。この点について、1980年代、1990年代における世界のトップ選手をみると、徐々に身体重心のより近くに右足を接地するようになり、投てき



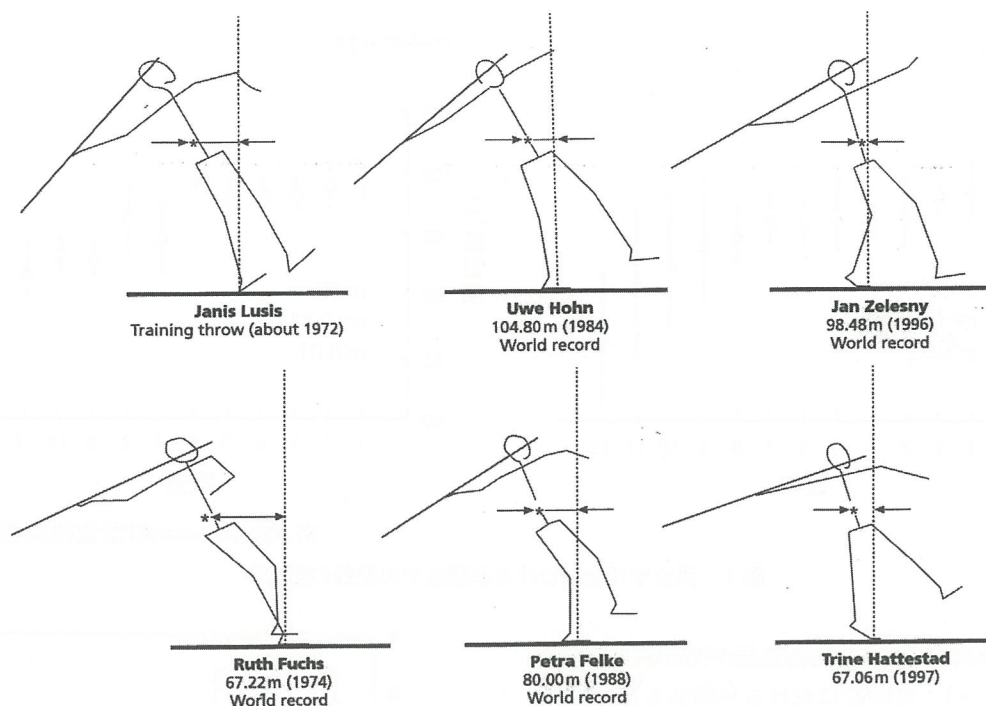


図3 右足接地時における重心位置の変遷 (Bartoniets, 2000)

方向の速度に対するブレーキを少なくするような技術に変化していることがみてとれよう。同様の結果は、野友ら (1998) によっても報告されている。彼らは、50m前後から90mを超える世界トップレベルまでの男子選手の動作を3次元解析した結果、エリート選手ほど右足接地から左足接地までの右肘の屈曲角が大きく、体幹の後傾角が小さいこと、左足接地からリリースまでの左膝の屈曲が小さいことを明らかにした。このことから、右足接地によるブレーキをできる限り少なくし、投げ直前に接地する左足を屈曲させないことによって、体幹の起こし回転を利用して槍を加速させていると述べている。体幹は、上肢と比較してより大きなエネルギーの発生源であることから、その体幹の動作を槍の加速に利用するという考え方は極めて合理的であると考えられる。以上のことから、やり投げの投てき技術は、上肢で大きなパワーを発揮し、槍を長い距離にわたって加速させるという考え方から、助走によって獲得される身体のエネルギーをロスすることなく槍の加速に利用するという考え方へと変化してきたといえよう。先の図2で指摘した近年の世界一流選手の助走速度が高い傾向にあることは、このような投てき技術の変化が背景にあると思われる。

### 3. 世界レベルに対する日本選手の課題

日本におけるやり投げは、吉田雅美選手がロサンゼルスオリンピック (1984年) において5位入賞、溝口和洋選手が世界選手権ローマ大会 (1987年) において6位に入賞しており、日本の投てき種目では唯一世界に通用する投てき種目として知られてきた (現在では、ハンマー投げの室伏広治選手の活躍によりこの限りではない)。

現在の日本におけるやり投げのトップ選手は、日本選手権7連覇中の村上幸史選手であろう。村上選手の自己ベスト記録は81.71mであり、表1の結果からみても入賞の可能性は大いにあるといつてよい。筆者は、日本陸連科学委員会の活動として、村上選手の2004年から最新の2007年の投てき技術を分析してきた。ここでは、村上選手の技術の年次変化を分析し、世界レベルに対する村上選手の技術的課題を考えてみたい。

分析試技は、2004年は79.70m (静岡国際)、2005年は79.79m (日本選手権)、2006年は78.58m (日本選手権)、2007年は78.26m (大阪グランプリ) であり、村上選手の当該年度のシーズンベスト記録あるいはそれに近い記録の試技であった。図4に村上選手の分析試技における右足接地からリリースまでのスティックピクチャ、図5に槍速度に対する身体各部位の貢献の年次変化を示した。村上選手は、投てき記録については2004年以降高いレベルを維持しているが、図5の結果をみると投てき技術に関しては徐々に変化している。それは、左足接地からリリースまでの局面にみられ、2004年では体幹の長軸回転および下肢 (≒助走速度) の貢献が低く、上肢の回転の貢献が高いが、2005年から2006年にかけて体幹の長軸回転および下肢の貢献が高くなり、上肢の回転の貢献が低くなっている点である。また、2007年も2006年と同様のパターンを示している。このことは、2004年では助走速度を左脚のブロック動作によって急激に減少させ、止められた体幹に対して上肢を振り回すような動作によって槍を加速させる投げであったのに対して、2006、2007年では助走速度をリリースまで止めることなく、体幹の捻り戻し動作と上肢の振り回り動作をあわせて槍を加速さ

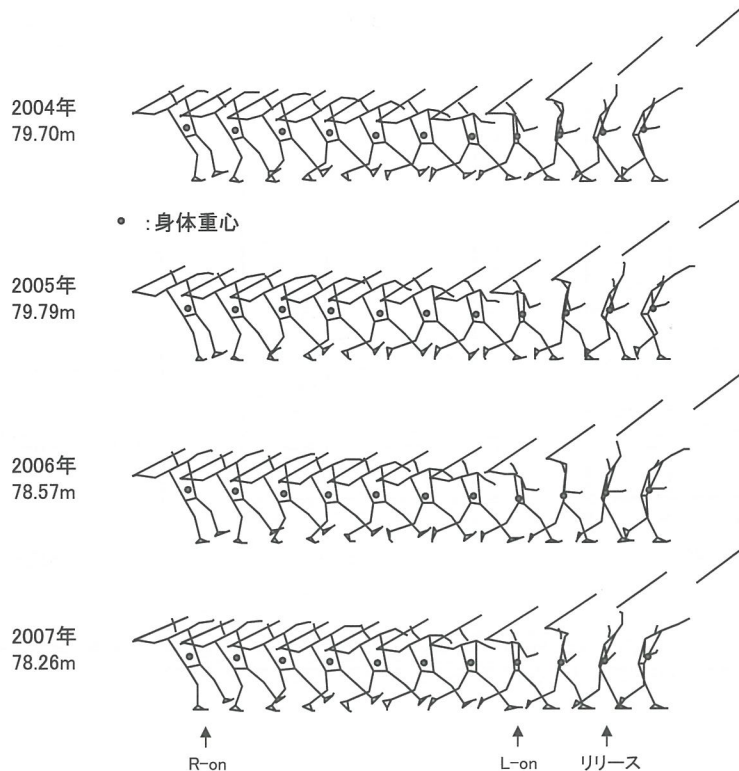


図4 村上選手における右足接地 (R-on) からリリースまでのスティックピクチャ

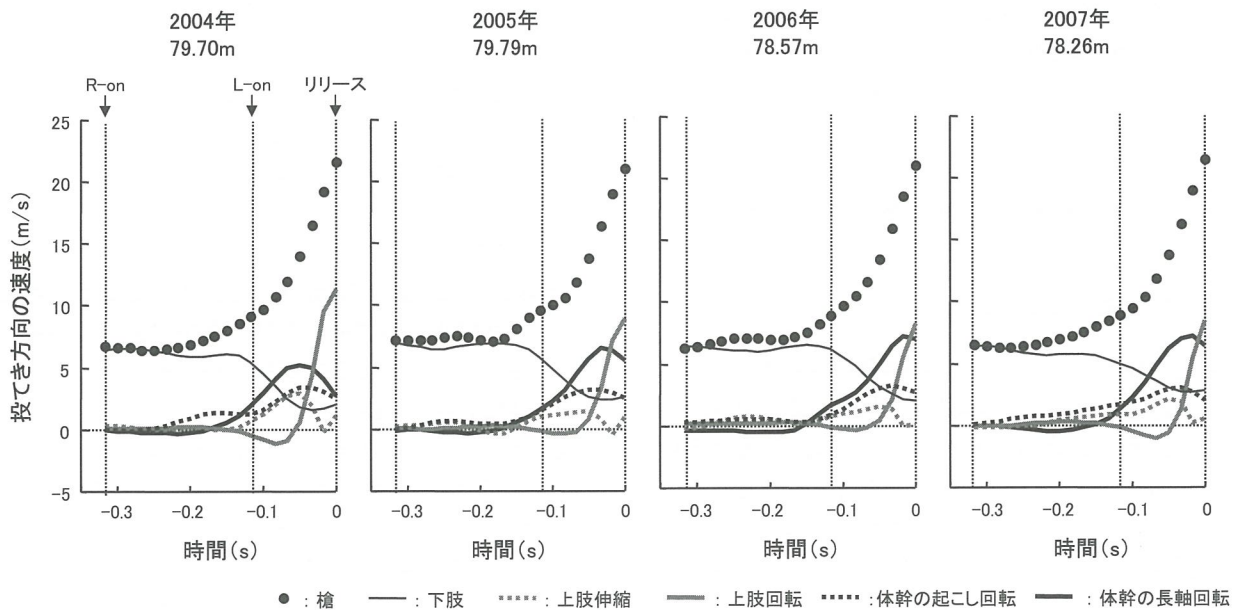


図5 村上選手における槍速度に対する身体各部位の貢献の年次変化

せる投げに変化していたことを示唆するものである。図4に示した4つの試技のスティックピクチャは一見よく似ているように見えるが、腰の位置に着目すると2004年、2005年ではリリース時からリリース後まで左足の後方に位置したままであるが、2006年、2007年ではリリース後に左足の真上付近まで移動しており、下肢の動作の貢献がリリースまで高いままであることが視覚的にも理解できよう。

このような村上選手の技術の変化に対して、世界レベ

ルの選手はどのような技術を行っているのだろうか。図6に、80mを超える投てきを行った3名の選手における槍の速度に対する身体各部位の貢献の平均パターンを示した（比較対照として村上選手の2004年、2007年の結果も示した）。世界レベルの選手は、下肢の貢献がリリースまで高く維持され、体幹の長軸回転の貢献も高い傾向にあり、このパターンは2007年の村上選手と極めて近かった。世界レベルの選手が村上選手よりも優れている点は、リリース直前の上肢の回転の貢献が高いことで



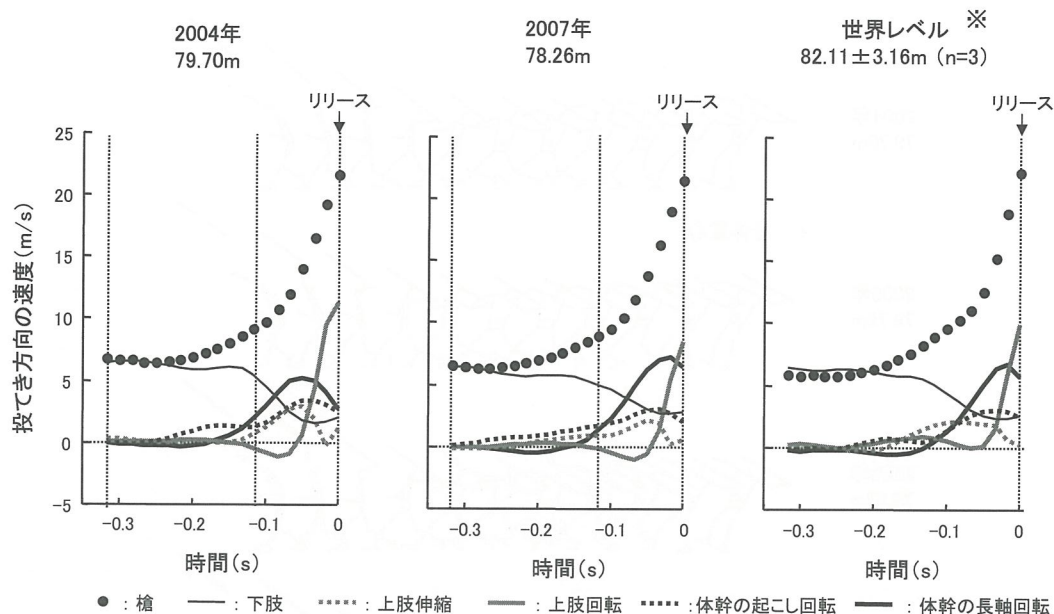


図6 村上選手（2004年，2007年）および世界トップクラスの槍速度に対する身体各部位の貢献  
※85.75m，80.50m，80.09mを記録した3名の選手の平均パターン。

あった。このことから、村上選手の投てき技術の変化は大きくとえらえると世界レベルのパターンに近づいてきたと判断できるが、80m以上の投てきを行うためには、現在の下肢や体幹の動作を行いながら、さらに2004年にみられた上肢の回転の貢献を高くすることが課題となるものと考えられる。なお、具体的な動作については、ここでは明らかにできないし、データによって説明できるようなレベルではないかもしれない。無責任ではあるが、ただ村上選手の健闘を祈るのみであることが正直な感想である。

#### 4. 日本選手への期待

上述してきたようにやり投げの男子においては、村上選手が決勝進出あるいは8位入賞を最も期待できる選手であろう。今年に限っても79.51m，78.26mと世界選手権参加B標準記録を2回上回っていることから、その期待は大きくなるばかりである。また、山本一喜選手が今年5月に76.07mという好記録をマークし、さらなる記録の向上が期待される。その他の選手の奮起にも期待したい。一方、女子においては、昨年のアジア大会で海老原有希選手が57.47mの自己記録をマークし、60mまで

あと一歩まで近づいてきている。自己記録を更新し、ぜひとも世界選手権出場、そして予選通過を果たしてもらいたい。

#### 謝 辞

本稿を執筆するにあたり、村上幸史選手（スズキ）には貴重なデータの公表を快諾していただきました。この場をかりて深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 伊藤章，村上雅俊（2006）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－。陸上競技研究紀要2：159－161。
- Bartonietz, K. (2000) Javelin Throwing : an Approach to Performance Development. Biomechanics in Sport (ed) Zatsiorsky, Blackwell Science : 401－434.
- 野友宏則，富樫時子，阿江通良（1998）記録水準の異なる選手のやり投げ動作に関するキネマティクスの研究。陸上競技研究32：32－39。

# ハンマー投の科学

岡本 敦<sup>1)</sup>, 桜井 伸二<sup>2)</sup>, 池上 康男<sup>3)</sup>

## Science of hammer throw

Atsushi Okamoto, Shinji Sakurai, Yasuo Ikegami

キーワード：ハンマー投，3次元動作解析，リリース時の初期条件，ハンマーにかかる力，回転半径

### 1. はじめに

IAAF (International Association of Athletics Federations) の2007年5月7日付けワールドランキングでは室伏広治選手が1位にランクされている。室伏選手はIAAFワールド・アスレチック・ファイナル (世界ファイナル) を始めとする2006年に出場した全8試合に優勝するという素晴らしい成績を取めている。いやがうえにも大阪世界陸上での優勝が期待される場所である。ハンマー投の歴代記録を見てみると、現在の世界記録はユーリー・セディフ選手の86.74mであるが、この記録は1986年に出されたものである。そして第2位に1cm差でベラルーシのイワン・チホン選手が86.73mを2005年に投げている。第3位は同じく2005年に84.90mを投げたベラルーシのワジム・デビャトフスキー選手である。そして第4位に室伏広治選手が2003年6月29日にプラハで84.86mを投げている。したがって、今年の世界陸上では、室伏広治選手とイワン・チホン選手、ワジム・デビャトフスキー選手の3人の争いとなる可能性が高いと思われる。

ハンマー投は一般にあまりなじみの無い競技ではあるが、最近では室伏広治選手の活躍もあり、世界陸上やオリンピックが近づくと注目の的である。本稿ではわれわれの研究グループがこれまで行ってきたハンマー投の分析データからハンマー投げの加速のメカニズムについて検討し、室伏広治選手のハンマー投の特徴についても言及する。

### 2. ハンマー投の3次元動作解析

本稿で紹介するデータは、われわれの研究グループが1991年に東京で開催された第3回世界陸上競技選手権

大会 (以下、東京世界陸上と呼ぶ) や1994年に広島で開催された第12回アジア競技大会陸上競技 (以下、広島アジア大会と呼ぶ) などの多くの国際大会を解析した結果である。その解析方法は、ハンマー投の投てきサークルの後方と側方の観客席に高速度ビデオカメラまたは16mmシネカメラを設置し、2つのカメラのシャッターが同時刻に切れるように同期して每秒100コマから250コマで撮影した。得られた映像を座標解析し、身体各部とハンマーヘッドの座標データからDLT (Direct Linear Transformation) 法によって3次元座標値を算出した。従来の側方から撮影して分析する2次元的な分析では、カメラの光軸に垂直な平面内の運動しか分析することができなかったが、このような3次元分析を行うことによってはじめて、ハンマー投のように回転運動を伴う運動も立体的に分析することが可能となった。

### 3. ハンマー投の投動作

ハンマー投に用いられるハンマーは、金属製の球体 (ハンマーヘッド) にピアノ線のワイヤーを介して把手 (ハンドル) が取り付けられている。ワイヤーの長さは1.175mから1.215mで、ハンマーの質量は7.26kg、ハンマー頭部の直径は110mmから130mmと定められている。このハンマーを投てき方向に対して後方を向いたまま頭上で数回スイングした後、身体を3回転ないし4回転させてハンマーを加速し、34.92度の扇型の投てきエリアめがけて投げ出す。近年の一流選手の多くは4回転投法である。

図1に1991年東京世界陸上で優勝したセディフ選手の身体およびハンマーの動きをスティックピクチャーで示した (池上康男ほか, 1994)。図はスイング動作の終了直前から3回転のターン後のリリースに至るまでの間の身体およびハンマーの動きを、サークル上方 (上段)、側方 (中段)、後方 (下段) から見たものである。

1) 名古屋経営短期大学 Nagoya Management Junior College

〒488-8711 尾張旭市新居町3255-5 Tel: 0561-54-9611 E-mail: okamoto@nagoya-su.ac.jp

2) 中京大学体育学部 School of Health and Sports Sciences, Chukyo University

〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立101

3) 名古屋大学総合保健体育科学センター Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University

〒464-8601 名古屋市千種区不老町



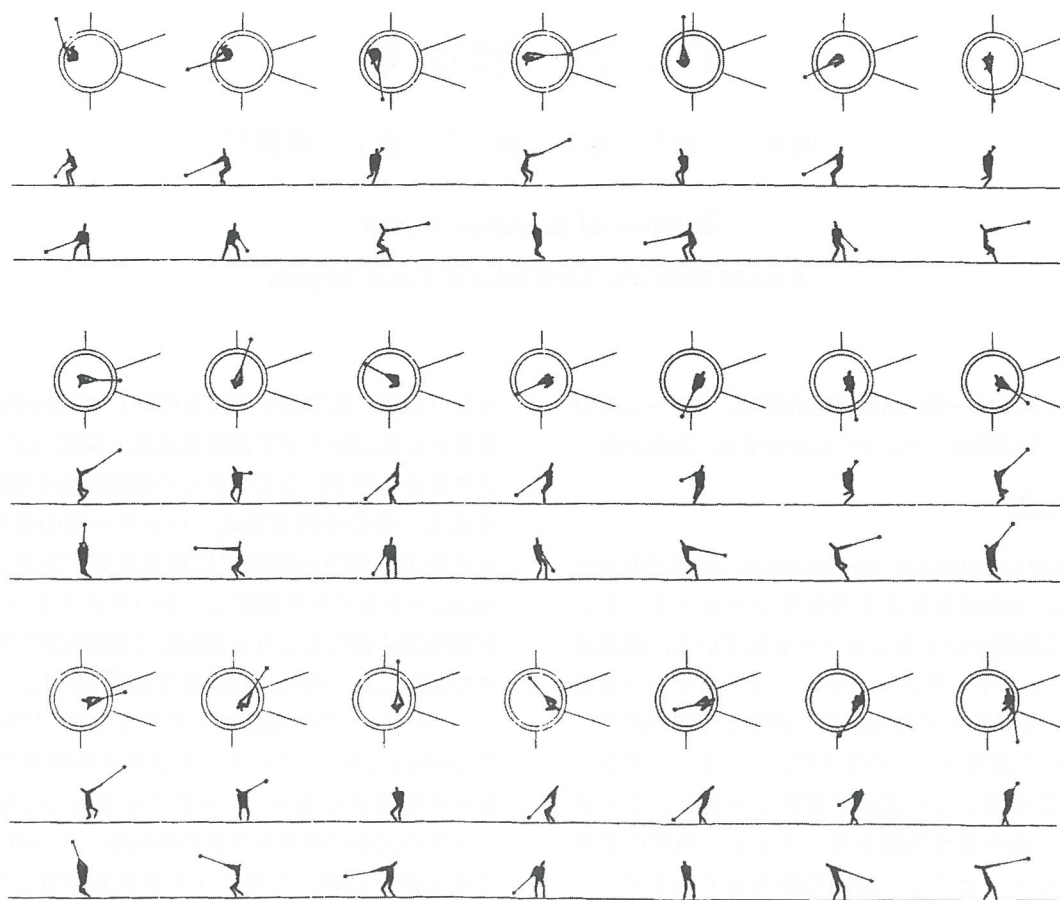


図1 ハンマー投の投動作のスティックピクチャー（'91東京世界陸上 セディフ選手）

最初の2回転のターンでは10～15コマ毎に、最後のターンからリリースまでは5コマ毎に示してある。各々のスティックピクチャーはDLT法によって得られた身体およびハンマーの3次元座標を水平面および2つの垂直平面に投影することによって求めたものである。

ターンの1回転の間にハンマーの位置が最も低くなる点をローポイント、最も高くなる点をハイポイントと呼ぶ。このローポイントとハイポイントを基準にターン動作を見ると、ローポイント直前から通過後にかけては両足が着地しており、この時点で身体重心は両足を挟んでハンマーと反対の位置にあった。その後、ハイポイントの通過の前後で、左足を軸とした身体の回転が起きていた。このとき、身体重心は両足に対してハンマーと反対側にあるのではなく、両足の真上あたりにあり、ローポイント通過後と異なり、身体の後傾姿勢は見られなかった。最後のローポイントからリリースに至るフィニッシュ動作（振り切り）では、身体は最も後傾しのけ反ったような姿勢でリリースに至っていた。

#### 4. ハンマーヘッドの軌跡

スイング動作の終了直前からターン後のリリースまでのハンマーヘッドの軌跡を東京世界陸上で優勝したセディフ選手の3回転投法と準優勝のアスタブコビッチ選手の4回転投法について図2に示した（池上康男ほか、

セディフ

アスタブコビッチ

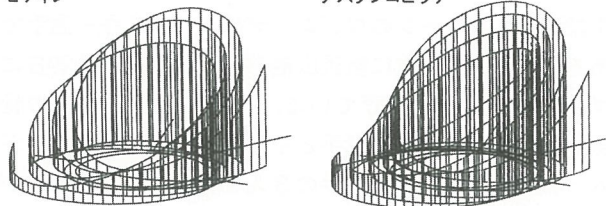


図2 ハンマーヘッドの軌跡

1994)。この図はターン中のハンマーヘッドの軌跡を投てき方向に対して斜め後方のやや上方から見たものである。縦の線はそれぞれの時刻（1/97秒毎）におけるハンマーヘッドの位置から地面に下ろした垂線である。いずれの選手の試技においても、ターンごとにその軌道面を傾けながら、投てき方向へ移動して行く様が観察できるのであろう。これはターンの初期には比較的水平に近い角度で加速していき、最終ターンに近づくにしたがって投射角に近づけながら加速していることを示している。特に最終ターン近くでは、ローポイントでハンマーがサークル面と接触することも多く、後述する最適投射角の42度から43度にするにはハンマー投に出場する体格の大きな選手でもぎりぎりの条件のようである。また、かといって水平に近い軌道面の傾きから最終ターンだけで最適な投射角に一気に角度を変えることも不可能であり、現在の選手が実施している、徐々に軌道面を傾ける技術

が定着したものと考えられる。

## 5. 身体重心の軌跡

図3に真上から見た身体重心および身体とハンマーの合成重心の軌跡をセディフ選手とアスタプコビッチ選手について示した(池上康男ほか, 1994)。身体重心の軌跡は半円を並べたような形状となっており, 身体とハンマーの合成重心の軌跡は身体重心に比べてより直線に近い軌跡を示していた。

## 6. リリース時の初期条件

一般に物体が空気中に投げ出されたときの飛距離は, 空気の影響を無視すれば, 初速度・投射角・投射高の3

つの初期条件によって決定される。やり投や円盤投では空気による揚力などの影響も大きく, 投てき物の迎え角や姿勢角を考慮することが必要であるが, ハンマー投では空気抵抗による飛距離の減少は若干あるものの, このリリース時の3つの初期条件によって飛距離が決定されていると考えて問題ない。

そこでまず, 世界の一流選手のリリース時の初期条件を調べてみることにした。表1は東京世界陸上の上位入賞6位までの選手の初期条件である(池上康男ほか, 1994)。また, 表2は広島アジア大会の決勝での初期条件である(岡本 敦ほか, 1997)。

ハンマー投のリリース時の初速度, 投射角, 投射高の3つの初期条件と記録との関係を図4に示した(岡本敦ほか, 2000)。上段は初速度と記録, 中段は投射角と記録, 下段は投射高と記録の関係を示したものである。図中の○は東京世界陸上のデータを, ●は広島アジア大会のデータを示している。これらの初期条件の内, 記録との間に有意な相関が得られたのは初速度だけであった。このようにハンマー投の記録は一流選手では, ほとんど初速度によって決定されていることになる。初速度と記録との相関についてみると,  $r = 0.996$  ( $p < 0.001$ ,  $y = 4.373 \times x - 45.036$ )と極めて高い相関が得られた。投射角と記録との間には有意な相関は得られなかったが, 2次曲線で回帰してみると, 最適な投射角は42度から43度のところにあるようである。投射高に関しては,

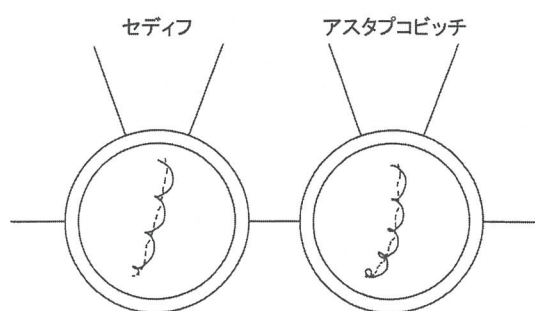


図3 身体重心と身体とハンマーの合成重心の軌跡  
(実線は身体重心を, 破線は合成重心の軌跡を示す。)

表1 東京世界陸上における上位入賞6選手のリリース時の初期条件

| 順位 | 名 前      | 記録(m) | 初速度(m/s) | 投射角(deg) | 投射高(m) |
|----|----------|-------|----------|----------|--------|
| 1  | セディフ     | 81.70 | 29.08    | 38.9     | 1.72   |
| 2  | アスタプコビッチ | 80.94 | 28.82    | 42.8     | 1.66   |
| 3  | バイス      | 80.44 | 28.63    | 45.2     | 1.32   |
| 4  | ゲチェック    | 78.98 | 28.30    | 42.8     | 1.58   |
| 5  | アブドバリエフ  | 78.30 | 28.45    | 41.4     | 1.94   |
| 6  | ショファアーニ  | 76.48 | 27.73    | 40.7     | 1.66   |
|    | 平均       | 79.47 | 28.50    | 42.0     | 1.65   |
|    | 標準偏差     | 1.76  | 0.43     | 2.0      | 0.18   |

表2 広島アジア大会における決勝出場者のリリース時の初期条件

| 順位 | 名 前        | 記録(m) | 初速度(m/s) | 投射角(deg) | 投射高(m) |
|----|------------|-------|----------|----------|--------|
| 1  | ビ・ツォン      | 72.24 | 26.3     | 42.0     | 1.58   |
| 2  | 室伏広治       | 67.48 | 25.9     | 45.0     | 1.69   |
| 3  | アバス・アカラブ   | 66.70 | 25.6     | 38.8     | 1.68   |
| 4  | 等々力信弘      | 63.94 | 24.9     | 43.5     | 1.74   |
| 5  | アル・ハビート    | 62.12 | 24.3     | 42.4     | 1.45   |
| 6  | アル・フセイン    | 60.26 | 24.1     | 40.9     | 1.67   |
| 7  | イ・ジュヒョン    | 60.12 | 24.2     | 38.8     | 1.5    |
| 8  | アル・アマイリ    | 56.76 | 23.5     | 45.6     | 1.5    |
| 9  | フォン・チャームフン | 50.88 | 21.9     | 40.1     | 1.71   |
|    | 平均         | 62.28 | 24.5     | 41.9     | 1.61   |
|    | 標準偏差       | 5.94  | 1.3      | 2.3      | 0.10   |



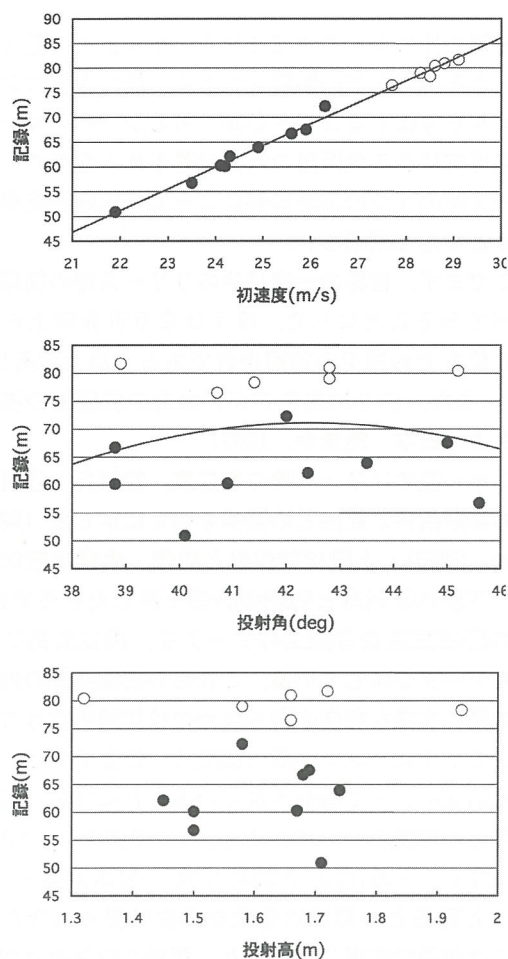


図4 リリース時の初期条件と記録の関係

有意な相関は得られず、最適な高さといったものも認められなかった。実際問題として、ハンマー投の投てき動作のなかで、初速度や投射角と独立して投射高を変えることは不可能であり、最適な投射角で投げ出すために軌道面を傾けた中で、時速100kmを越える速度で運動するハンマーを34.92度の投てきエリアの中に収めるためにリリースのタイミングが決まると、投射高は自ずと決まってしまうのである。

以上のことから、一流選手のリリース時の初期条件をまとめると、まず、最適な投射角は42度から43度であり、この最適な投射角で投げ出すためにハンマーの回転する軌道面を傾けるとリリースのタイミングによって投射高は自ずと決定され、この条件の中で最大の初速度でハンマーを投げ出すことによって記録は決定されることになる。

## 7. ハンマー投の加速メカニズム

図5に東京世界陸上で優勝したセディフ選手のハンマーヘッド速度の経時的変化を示した。ハンマーヘッドの速度はリリースに向けて漸増傾向であり、1回転のターンにつき1度の周期的なスピードの増減が見られた。スピードの極大値は投てき方向に向かって後方でハンマーヘッドの位置が最も低くなるローポイント直後の

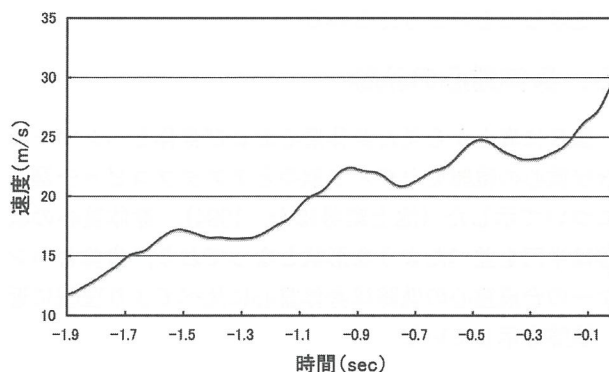


図5 セディフ選手のハンマーヘッドの速度の経時的変化

時期に、また極小値はハンマーヘッドの位置が最も高くなるハイポイント近辺であった。

ワイヤーにかかる遠心力は、ハンマーヘッドのスピードが最も大きいローポイント付近で大きく、ハイポイント付近で小さいという周期性を持ちながら、しだいに増加してリリースしていた。セディフ選手のこの投てきでは、最終ターンのローポイント近辺で最大値321kgwを記録した。

ここでハンマーヘッドに作用する遠心力と身体重心の移動との関係についてみると、ローポイント前後では、選手の身体重心は投てき方向に対して斜め前方へ移動している(図3)が、ハンマー頭部の遠心力は投てき方向とは逆方向に向いている。よってこの時期は、選手は遠心力に逆らって投てき方向へ身体を移動させてハンマーを引いていることになる。そして、このとき選手が発揮した力と投てき方向への移動距離の積が選手のなした力学的仕事となり、ハンマーヘッドのスピードを増加させるエネルギーとなる。これに対してハイポイント近辺では、身体重心の移動方向とハンマーヘッドに作用する遠心力の向きは同じになり、選手の身体がハンマーに引っ張られることになる。このとき、選手のなす力学的仕事は負となり、ハンマーのスピードが低下する。これらのことからハンマー投では、ターン毎になされるローポイント近辺での正の仕事とハイポイント近辺でなされる負の仕事との差によって、ターン毎にハンマーのエネルギーを増加させて、ハンマーヘッドを加速しているのである。ハンマー投が砲丸投と同じ重量の物体を、砲丸投の4倍近くも遠くに投げられるのは、1回のパワー発揮で投げる砲丸投に比べて、ハンマー投では3回転あるいは4回転のターン毎に発揮したパワーを蓄積して大きな仕事量をハンマーヘッドに与えることができるからである。

ハンマー投のリリースの姿勢をみると、ハンマー投の加速は身体を振ることによって行われているかのように見え、野球のバッティングなどのように身体を振る力を強くすることが重要だと思われるがちである。しかし、実際にハンマーを加速するのはターン中のローポイン

ト近辺で、遠心力に逆らって身体を後方へ移動する力によってである。この時の姿勢は、背筋力の測定やウェイトトレーニングでいうデッドリフトの動作に似た姿勢であり、このような力の発揮の仕方が重要なのである。世界の一流選手では、最終ターンのローポイント近辺でハンマーに作用する力は300kgwを超えており、このような大きな力を発揮するためには大腿四頭筋や大臀筋、背筋など、下肢や体幹部の大筋群を用い、大きなパワーを発揮することが不可欠である。

## 8. 室伏選手の記録の変遷

表3に室伏選手のリリース時の初期条件とハンマーに作用する力の最大値を1994年、1998年、2003年の投てきについて示した。また、図6に前述の投てき中のハンマーヘッドの速度の経時的変化を示した。初期条件では初速度の増加に伴って記録が伸びているのがわかる。ハンマー頭部の速度の経時的変化からは、投てき中の各ターン毎に速度が向上していることが見てとれる。また、年を追う毎に動作時間も短縮している様が見える。

ハンマーに作用する力の最大値は、いずれの場合にも最終ターンのローポイント近辺で出現していた。1994年から、1998年、2003年へと大きく増加しており、ハンマーに作用する力の最大値では、東京世界陸上のセディフ選手の値をも上回っている。体重当たりの力では、世界の一流選手でも3倍程度であるのに対して、室伏選手の値

はさらにそれらを大きく上回る。体重が軽いというハンデを、過酷なトレーニングで補っている様が、この値に現れていると言えるであろう。

さらにこれらの投てきの上方から見た身体重心の軌跡を図7に示した。図3のセディフ選手の身体重心の軌跡は、きれいに半円を並べたように移動していたが、室伏選手の軌跡はやや不規則で、半円と半円のつなぎ目で小さな円を描く傾向が見られた。1994年の投てきでは、ややふらついたかのような印象を受けるが、1998年、2003年と投てき方向への移動が増加してきており、ローポイントで遠心力に逆らってハンマーを加速する力が増加してきたことが見てとれる。

## 9. 室伏選手のハンマー投の特徴

室伏選手のハンマー投の特徴を検討するために、1998年静岡国際陸上競技選手権大会の76.37mの室伏選手のデータと1998年アジア選手権大会のアブドバリエフ選手の76.67mのデータを比較した。

表4に室伏選手とアブドバリエフ選手のリリース時の初期条件とハンマーを引く力の最大値、最終加速局面の平均パワーを示した。記録に30cmしか差がなく、リリース時の初期条件もアブドバリエフ選手の初速度がやや大きい。が投射角が低いので、両選手の投てきはほぼ直角といって良いであろう。ところがハンマーを引く力を比較すると、アブドバリエフ選手の307kgwに対して、

表3 室伏選手の初期条件とハンマーにかかる力の変遷

| 年        | 1994  | 1998  | 2003  |
|----------|-------|-------|-------|
| 年間ベスト    | 69.54 | 78.57 | 84.86 |
| 記録(m)    | 67.48 | 76.37 | 82.95 |
| 初速度(m)   | 25.9  | 28.4  | 29.2  |
| 投射角(deg) | 45.0  | 40.0  | 40.1  |
| 投射高(m)   | 1.69  | 1.46  | 1.42  |
| 力(kgw)   | 283   | 324   | 364   |
| (kgw/kg) | 3.45  | 3.60  | 3.75  |
| 体重(kg)   | 82    | 90    | 97    |

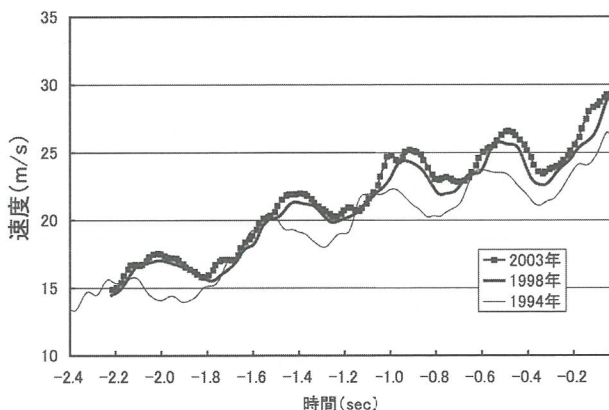


図6 室伏選手のハンマーヘッドの速度の経時的変化



図7 室伏選手の身体重心の軌跡

表4 室伏選手とアブドバリエフ選手の初期条件、力、パワーの比較

| 名前       | 室伏    | アブドバリエフ |
|----------|-------|---------|
| 自己ベスト    | 84.86 | 83.46   |
| 年        | 1998  | 1998    |
| 記録(m)    | 76.37 | 76.67   |
| 初速度(m)   | 28.4  | 28.9    |
| 投射角(deg) | 40.0  | 38.3    |
| 投射高(m)   | 1.46  | 1.85    |
| 力(kgw)   | 324   | 307     |
| (kgw/kg) | 3.60  | 2.74    |
| パワー(w)   | 3711  | 4600    |
| (w/kg)   | 41.2  | 41.1    |
| 体重(kg)   | 90    | 112     |
| 身長(m)    | 1.87  | 1.86    |



室伏選手は324kgwとやや大きく、体重当たりの力ではアブドバリエフ選手の2.74kgw/kgに対して室伏選手は3.60kgw/kgと室伏選手の体重当たりの力が圧倒的に大きかった。一方、最終ターンの力学的エネルギーの極小値からリリースまでの平均パワーを見ると、室伏選手の3711wに対してアブドバリエフ選手のパワーは4600wとアブドバリエフ選手の方が大きかった。体重当たりのパワーではほぼ同じという結果であった。

室伏選手とアブドバリエフ選手のハンマーヘッドの速度の経時変化を図8に示した。全体の動作時間はアブドバリエフ選手が2.60秒、室伏選手は2.19秒と室伏選手の方が短かった。また、動作前半でのハンマーヘッドの速度は室伏選手の方が速かったが、最終ターンではアブドバリエフ選手とほぼ同じになっていた。この結果を先ほどの表4のパワーの結果と合わせて考えると、室伏選手はターン毎に発揮できるパワーが小さく、ハンマーヘッドの加速がアブドバリエフ選手に比べると小さくなるので、スイングでハンマーヘッドの速度を上げて運動エネルギーを大きくしておいたと考えられる。

図9に投てき動作中の共通重心からハンマーヘッドまでの距離の経時変化を示した。ハンマーヘッドの回転

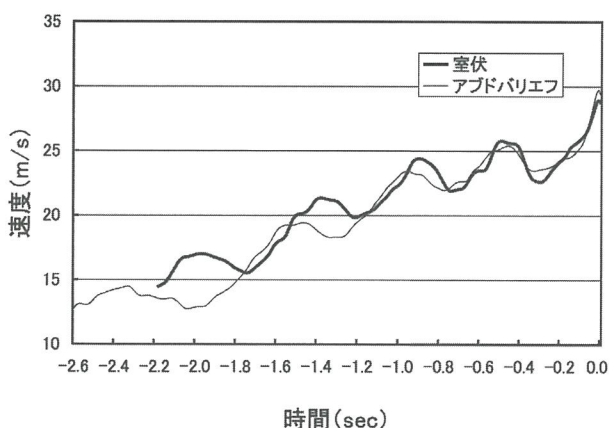


図8 室伏選手とアブドバリエフ選手のハンマーヘッドの速度の経時変化

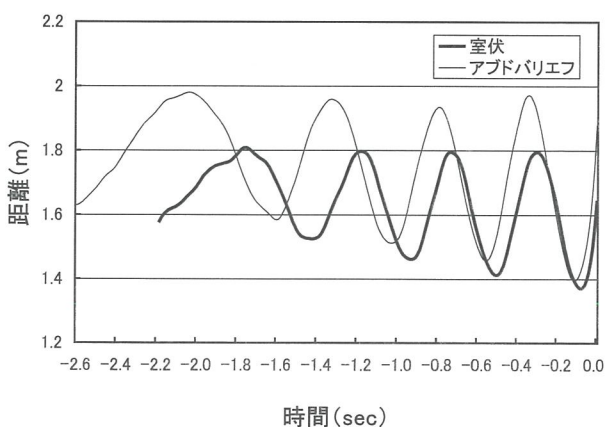


図9 室伏選手とアブドバリエフ選手のハンマーヘッドの回転半径の経時変化

半径は曲率半径によって求めると良いのだが、曲率半径を求めるためには速度の二乗や加速度を用いるために、高速度ビデオカメラを用いた3次元解析では精度がやや低くなる可能性がある。そこでここでは、ハンマー投の動作をハンマーヘッドと身体重心の二体問題と考え、ハンマーヘッドはハンマーヘッドと身体重心の共通重心の回りを回転すると仮定して、共通重心からハンマーヘッドまでの距離を回転半径と考えた。

最終ターンでハンマーを引く力の最大値が出現したときの共通重心からハンマーヘッドまでの距離は、室伏選手が1.37m（リリースの0.08秒前）、アブドバリエフ選手が1.41m（リリースの0.09秒前）とアブドバリエフ選手の方が大きな値を示した。ハンマーを引く力は共通重心の回りを回転するハンマーヘッドの遠心力にほぼ等しいと考えられるので、ハンマーヘッドの速度が同じであれば、ハンマーを引く力は回転半径に反比例する。したがって、室伏選手とアブドバリエフ選手のハンマー投では、アブドバリエフ選手の初速度が室伏選手よりもやや大きいにも関わらず、アブドバリエフ選手のハンマーを引く力の最大値が小さくなったのは、回転半径を現すと考えられる共通重心からハンマーヘッドまでの距離が大きかったためであると考えられる。

図10に室伏選手とアブドバリエフ選手のハンマー投の動作中の身体重心の軌跡を示した。図中のHPは最終ター

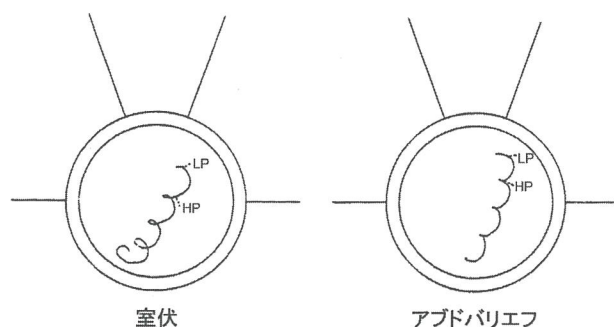


図10 室伏選手とアブドバリエフ選手の身体重心の軌跡

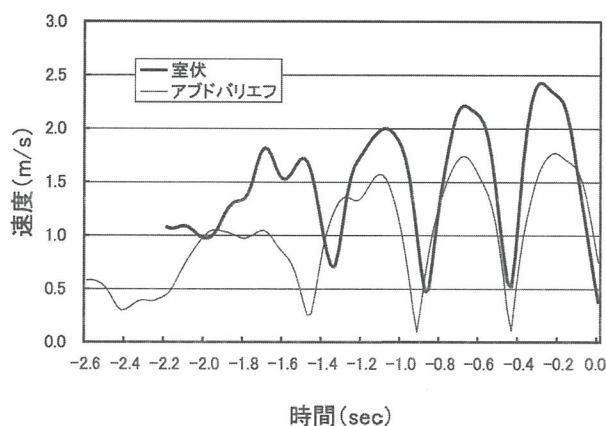


図11 室伏選手とアブドバリエフ選手の身体重心の速度の経時変化

ンのハイポイントを、LPはリリース直前のローポイントを示している。この時の身体重心の速度の経時的変化を図11に示した。

身体重心の軌跡では、HPからLPまでの移動距離は室伏選手の方が大きかったが、LPからリリースまでの移動距離はアブドバリエフ選手の方が大きかった。LPからリリースまでの身体重心の移動は、選手がハンマーヘッドの遠心力に逆らってハンマーを回転の中心方向へ引く力学的仕事を示している。したがって、ここでの身体重心の移動距離はパワーを示していると考えられる。そのため室伏選手のパワーが小さくなった原因は、ここでの移動距離が小さいことによると考えられる。

身体重心の速度の経時的変化では、アブドバリエフ選手はターン毎にLPからHPへの切り替え時に毎回、速度がほぼゼロになっているのに対して、室伏選手の身体重心は停止することが無かった。また、HP近辺での室伏選手の身体重心の速度は非常に大きくなっていた。アブドバリエフ選手はLPからHPへの切り替えで、一旦、身体重心の速度はほぼゼロになり、HPにかけてはハンマーの遠心力に耐えてその場に静止しようとしている。ところが室伏選手はLPからHPへの切り替えで、さらに積極的に自ら身体重心を加速し、HPでの身体重心の速度を大きくしながらハンマーヘッドの遠心力に逆らっているようである。さらに、最終ターンのLP直前では、ここで獲得した運動エネルギーをハンマーへ転移させることによってLP以前からハンマーを加速し、外国選手に大きく劣る体格のハンデを克服しているのである（この1998年当時の室伏選手の体重は90kgと発表されていた）。

## 10. まとめ

室伏選手は体重が軽いことによって、ハンマーヘッドの回転半径が小さくなり、体重の重い選手に比べると

大きな力を発揮しなければならないというハンデを克服し、投てき中にハンマーにかかる力の最大値は世界の一流選手でも体重の3倍程度であるところを、体重の3.6倍という大きな力を発揮していた。また、巨漢選手がハイポイントではハンマーの遠心力に耐えてその場に静止しようとしているのに対して、自らの身体を積極的に加速し、最終ターンのハイポイントで獲得したエネルギーを最終ターンのローポイント直前でハンマーへ転移させることによってローポイント直前からハンマーを加速していることが明らかとなった。

今年のIAAFの選手紹介では室伏選手の体重は99kgと紹介されている。以前に比べると体重が増加したとはいえ、外国選手に比べると、まだまだ軽量である。1991年の東京世界陸上のハンマー投では上位入賞6選手の平均体重は実に112kgであった。並居る海外の巨漢選手を相手にして、大阪世界陸上での室伏広治選手の活躍を期待したい。

## 文 献

- 池上康男, 桜井伸二, 岡本 敦, 植屋清見, 中村和彦 (1994) ハンマー投のバイオメカニクスの分析. 世界一流陸上競技者の技術 第3回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス研究班報告書. ベースボール・マガジン社, pp.240-256.
- 岡本 敦, 桜井伸二, 池上康男, 若山章信, 宮西智久, 川村 卓, 只左一也 (1997) アジア大会におけるハンマー投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.183-190.
- 岡本 敦, 桜井伸二, 小林寛道 (2000) 陸上競技のサイエンス ハンマー投. 月刊陸上競技, 34(12): 214-217.



# 混成競技の特性

持田 尚<sup>1)</sup>

## Characterization of Combined Events

Mochida Takashi

キーワード：混成競技，十種競技，七種競技，世界陸上

### 1. はじめに

十種競技 (Decathlon), 七種競技 (Heptathlon) などの混成競技 (Combined Events) は, 「走」, 「跳」, 「投」といった陸上競技の3要素を, 一つの種目にコンパイル (compile) したようなゲームである。競技は2日間にわたり, 十種競技では, 1日目, 『100m→走幅跳→砲丸投→走高跳→400m』, そして2日目, 『110mハードル→円盤投→棒高跳→やり投→1500m』が行われる。そして七種競技は, 1日目, 『100mハードル→走高跳→砲丸

投→200m』, 2日目, 『走幅跳→やり投→800m』が行われる (表1)。各種目でマークした記録を国際陸上競技連盟 (IAAF) の定める計算式 (IAAF, 2001) に基づいて得点化し, その合計得点で争われる。中国では十種競技のことを『十項全能』と表し, 競技特性も上手に伝えた名称であると感じさせられるが, まさに混成競技は, 陸上競技全般の能力を競う, 究極のゼネラリスト (Generalist) を目指す種目となる。

今回の大阪世界陸上には, 十種競技に田中宏昌選手 (モンテローザ: 7808点), 七種競技には中田有紀選手 (日本保育サービス: 5962点) が出場する。田中選手は8000点, 中田選手は6000点を超える日本記録を樹立し, 世界のGeneralistに仲間入りができるかが注目される。また, 優勝争いについては, 十種競技では, 7月時点においてランキング上位のRoman Sebrle (CZE, 8697点), Andrei Krauchanka (BLR, 8617点), Dmitriy Karpov (KAZ, 8553点), そしてBryan Clay (USA, 8493点) らが候補として挙げられる。いっぽう七種競技では, Carolina Klüft (SWE, 6681点), Lyudmila Blonska (UKR, 6626点), Jessica Ennis (GBR, 6388点), Jennifer Oeser (GER, 6366点) らが候補となるであろう。

本稿では, 大阪世界陸上における混成競技のみどころ紹介として, 種目特性, 特に十種競技について, 研究報告をもとに紹介する。

表1 混成競技種目の内訳

| 種目   | 日   | 順序 | 内訳       | 要素 |
|------|-----|----|----------|----|
| 十種競技 | 1日目 | 1  | 100m     | 走  |
|      |     | 2  | 走幅跳      | 跳  |
|      |     | 3  | 砲丸投      | 投  |
|      |     | 4  | 走高跳      | 跳  |
|      |     | 5  | 400m     | 走  |
|      | 2日目 | 6  | 110mハードル | 走  |
|      |     | 7  | 円盤投      | 投  |
|      |     | 8  | 棒高跳      | 跳  |
|      |     | 9  | やり投      | 投  |
|      |     | 10 | 1500 m   | 走  |
| 七種競技 | 1日目 | 1  | 100mハードル | 走  |
|      |     | 2  | 走高跳      | 跳  |
|      |     | 3  | 砲丸投      | 投  |
|      |     | 4  | 200m     | 走  |
|      | 2日目 | 5  | 走幅跳      | 跳  |
|      |     | 6  | やり投      | 投  |
|      |     | 7  | 800m     | 走  |

表2 世界記録の内訳

| 種目                                          | 日 (得点)         | 順序 | 内訳       | 記録           | 得点   |
|---------------------------------------------|----------------|----|----------|--------------|------|
| 十種競技<br>Roman Sebrle (CZE)<br>9026点         | 1日目<br>(4675点) | 1  | 100m     | 10秒64 (±0.0) | 942  |
|                                             |                | 2  | 走幅跳      | 8m11 (+1.9)  | 1089 |
|                                             |                | 3  | 砲丸投      | 15m33        | 810  |
|                                             |                | 4  | 走高跳      | 2m12         | 915  |
|                                             |                | 5  | 400m     | 47秒79        | 919  |
|                                             | 2日目<br>(4351点) | 6  | 110mハードル | 13秒92 (-0.2) | 985  |
|                                             |                | 7  | 円盤投      | 47m92        | 827  |
|                                             |                | 8  | 棒高跳      | 4m80         | 849  |
|                                             |                | 9  | やり投      | 70m16        | 892  |
|                                             |                | 10 | 1500 m   | 4分21秒98      | 798  |
| 七種競技<br>Jackie Joyner-Kersey (USA)<br>7291点 | 1日目<br>(4264点) | 1  | 100mハードル | 12秒69 (+0.5) | 1172 |
|                                             |                | 2  | 走高跳      | 1m86         | 1054 |
|                                             |                | 3  | 砲丸投      | 15m80        | 915  |
|                                             |                | 4  | 200m     | 22秒56 (-1.3) | 1123 |
|                                             | 2日目<br>(3027点) | 5  | 走幅跳      | 7m27 (0.7)   | 1264 |
|                                             |                | 6  | やり投      | 45m66        | 776  |
|                                             |                | 7  | 800m     | 2分08秒51      | 987  |

1) (財)横浜市体育協会 スポーツ医科学センター Sports Medical Center, Yokohama Sports Association  
〒222-0036 横浜市港北区小机町3302-5 日産スタジアム内 Tel: 045-477-5050 E-mail: ta01-mochida@yspc.or.jp

## 2. 世界レベルの混成競技

世界記録は十種競技9026点 (Roman Sebrle ; CZE), 七種競技7291点 (Jackie Joyner-kersee ; USA) である。内訳は表2に示した。得点記録だけをみると, 混成競技になじみの無い方は, 特にぴんと来ないかもしれないが, その内訳をみると, 各種目のレベルの高さに驚かされるだろう。また, 日本記録は, 十種競技7995点 (金子宗弘: 11秒23→7 m27→13m48→2 m02→49秒61, 14秒43→45m80→4 m90→60m24→4 分47秒90), 七種競技5962点 (中田有紀: 13秒97→1m75→11m74→25秒02, 6 m41→43m16→2 分19秒67) となっている。世界記録との間に, 男女とも1000点以上差が開いてしまっているのが日本の現状である。

## 3. 十種競技選手のパフォーマンス傾向

Van Damme et al. (2002) は, 世界にランキングされた600名の十種競技選手のパフォーマンス傾向から, 人の運動パフォーマンスにはAllocationの原理が影響しているという証拠を示した (図1)。つまり『生物の持つエネルギーは有限であり, ある一つにエネルギーが多く費やされれば, 他に割けるエネルギーは制限される』, 『ひとつのことに向けられるエネルギーは, 他へ向けられるエネルギーを制限することで最大化される』という進化生態学の領域でよく用いられるAllocationの原理が, 十種競技者のパフォーマンス傾向からも伺えた, というものである。図1は, 横軸に最も優れた種目の標準化スコアをとり, 縦軸には, 10個の種目についてそれぞれ割り出した標準化スコアの平均値をとっている。横軸は『秀逸度』を表わし, 縦軸は『万能度』を示す。

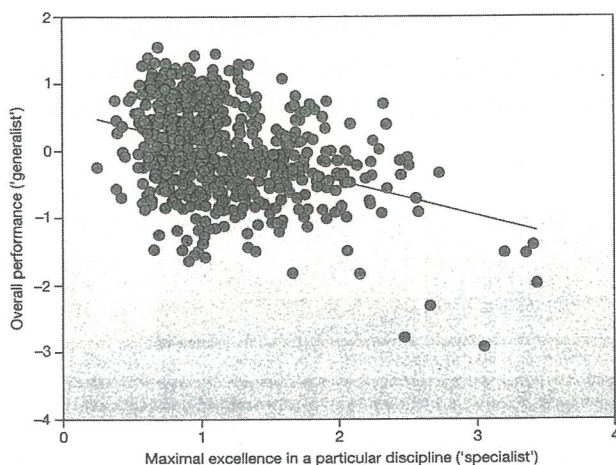


図1 World-class十種競技者 (600名) の秀逸度(specialist)と万能度 (generalist) との関係 (Van Damme et al., 2002)

秀逸度= (最も高い得点 (1 種目) - その種目の平均得点) / その種目の標準偏差

万能度: 10種目についてそれぞれ秀逸度を割り出し, その平均値としている。

確かに, 全体をみると外れ値とも見られるデータ, つまり平均値から3標準偏差以上も極端に優れた種目を有している者の十種競技パフォーマンスは低い傾向にあり ( $r = -0.37, P < 0.00001$ ; 図1), 確かに根底にはその原理が働いているのかもしれない。

しかしながら, 陸上競技の場合, 特に瞬発的種目 (短距離, 跳躍, 投てき) に優れるものは, 相互に正の影響があり, ほとんどが瞬発的種目で構成される十種競技については, ある一つの種目に秀でていることが, 全体のパフォーマンスに正の影響を与える可能性が高いと思われる。Kenny et al. (2005) は, オリンピックに出場した十種競技選手92名を対象に, Van Damme et al. (2002) の方法にならって, 秀逸度と万能度の関係をみたところ, 特にこのハイレベルの集団ともなると, 万能度の高いもののほど, 秀逸度の高い種目をもっていることを示した (図2)。これは, 競技者のポテンシャルがどのくらい高いレベルにあるのかが, 全体のレベルを引き上げる上で重要な因子であることを意味しており, そのポテンシャルの大きさが十種競技パフォーマンスのレベルオフを遅らせることになるのかもしれない。

## 4. 十種競技選手の体格

「十種競技選手は大柄である」という認識は多くの人が持っていることであろう。十種競技選手の体格に関する研究は, 古くは福田ら (1977) が行っており, ミュンヘンオリンピック参加選手を対象に, 各単一種目選手と十種競技選手について, 身長, 体重を比較している。その報告によれば, 十種競技選手の平均身長 ( $184.9 \pm 4.8 \sim 185.7 \pm 4.4$ cm) は, 砲丸投げ選手 ( $191.9 \pm 6.3$ cm) や円盤投げ選手 ( $191.0 \pm 4.3$ cm) ほど高くないが,

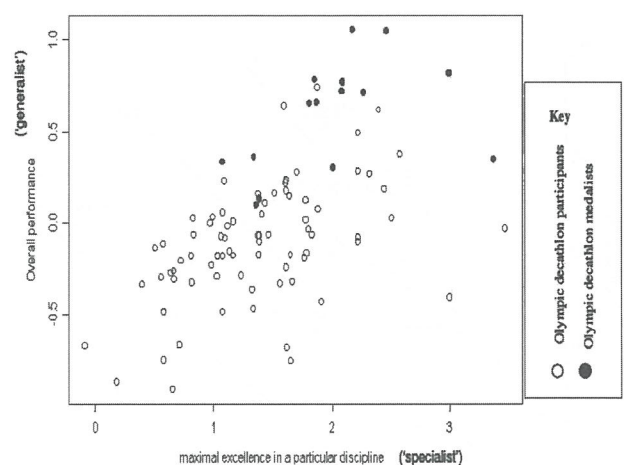


図2 十種競技オリンピック選手 (92名) の秀逸度 (specialist) と万能度 (generalist) との関係 (Kenny et al., 2005)

秀逸度= (最も高い得点 (1 種目) - その種目の平均得点) / その種目の標準偏差

万能度: 10種目についてそれぞれ秀逸度を割り出し, その平均値としている。



110mハードル選手 ( $184.9 \pm 4.1\text{cm}$ ) や走高跳選手 ( $186.1 \pm 5.5\text{cm}$ ) の平均値と同じぐらいの高さで、体重は、投てき種目の選手らに次ぐ重量 (十種競技:  $83.5 \pm 5.7 \sim 84.3 \pm 5.9\text{kg}$ ) である。体型指数を示すのによく用いられるBody Mass Index (以下BMIとする) を参考に、福田ら (1977) のデータと照らし合わせてみると、十種競技選手のBMIは $24(\text{kg}/\text{m}^2)$  程度であり、 $22(\text{kg}/\text{m}^2)$  が一般の標準体型とされているので、それよりはがっちりした体格であると言える。概して走ったり、跳んだりしなければならないという種目特性を反映した体型であると言え、大柄とはいっても、BMIが $30(\text{kg}/\text{m}^2)$  を超える投てき (円盤投げ、砲丸投げ) 選手的なタイプではない。(図3)。

さて、世界トップレベルでは、そのような体格的特徴をもつ十種競技選手らであるが、日本人十種競技選手ら

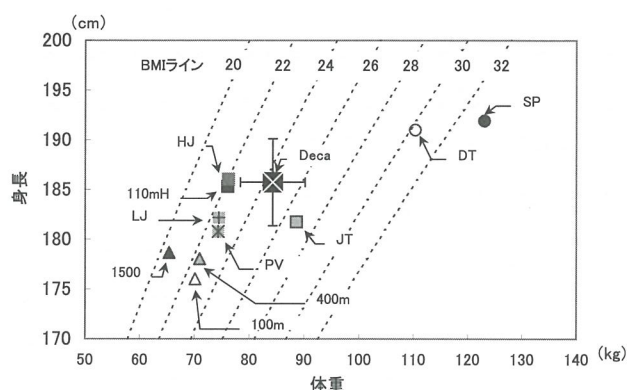


図3 種目別にみた陸上競技オリンピック選手の体格  
福田ら (1977) より筆者作図

〈略語〉Deca: 十種競技, LJ: 走幅跳, HJ: 走高跳, PV: 棒高跳, DT: 円盤投, SP: 砲丸投, JT: やり投, BMIライン: Body Mass Index ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ) のライン

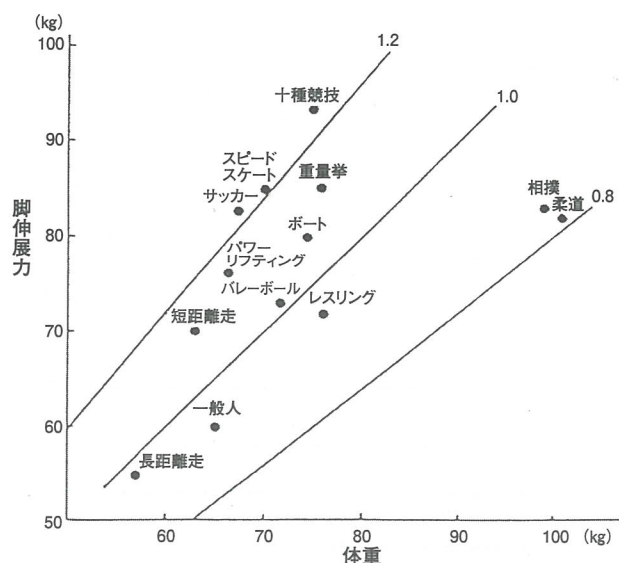


図4 各競技種目における脚伸展力 (等尺性最大筋力) と体重の関係  
※山本 (1991) により引用 斜線は体重当たりの脚伸展力

は、競技力に優れる諸外国の選手に比べ体格的に劣る傾向を示す (小林, 1990; 繁田, 1990)。小林 (1990) は、米国、カナダ、日本対抗国際混成競技大会において、男子十種競技全参加者 (16名) について形態計測を実施し、特に砲丸投げ、円盤投げとの記録には、形態の大きさが影響していると指摘し、量育、周育を高めることの重要性を主張している。

## 5. 十種競技選手の体力

十種競技は、その種目特性から筋力、調整力、敏捷性、柔軟性、持久力など、オールラウンドな体力を要求される。そのなかでも特に、瞬発的要素を含む種目が多く、十種競技選手の筋力は、サッカー、ハンドボール、スケートなど、他の競技種目の選手に比べても高いレベルにある (山本ら, 1988)。また、十種競技選手にとって、体格が大きいことは投てき種目に有利であるものの、体格が大きいだけでは走ったり、跳んだりするのに不利になってしまうため、トップレベルの十種競技者の体重あたりの筋力はとても高い (山本ら, 1988: 図4)。

いっぽう、持久力に関しては、最大酸素摂取量の比較からみると、十種競技選手の値は $57.6(\text{ml}/\text{kg}/\text{min})$  と (A.W.FARIS et al., 1980)、他の種目に比べてそう高くない (山地, 1985: 図5)。バスケットボールやバレーボール選手らと近い持久力レベルであった。

## 6. 十種競技の生理、生化学的特性

2日間にわたって戦いが繰り上げられる混成競技であるが、超長距離レースのように、連続して運動するという形態ではなく、瞬発的な運動が、多くの休息を挟みながら断続的に行われるという特徴をもつ。しかしながら、朝早くから競技が開始され、夜遅くに終了するといったように (表3)、丸々2日間は競技に拘束されるため、断続的ではあるといっても、体力的に消耗が激しい種目である (繁田ら, 1993)。十種競技試合後のCPK活性値は、

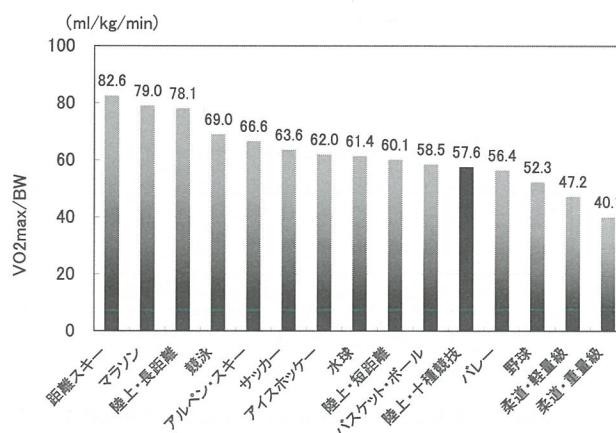


図5 男子スポーツ選手 (種目別) の最大酸素摂取量の比較  
※山地 (1992) より一部抜粋し筆者作図

表3 第11回IAAF世界陸上競技選手権大会2007 十種競技競技日程（世界陸上大阪公式ホームページより引用）

| 2007年8月31日(金) |    |           |      | 2007年9月1日(土) |    |            |      |
|---------------|----|-----------|------|--------------|----|------------|------|
| 時間            | 男女 | 競技        | グループ | 時間           | 男女 | 競技         | グループ |
| 10:00         | 男子 | 十種競技-100m |      | 9:00         | 男子 | 十種競技-110mH |      |
| 11:00         | 男子 | 十種競技-走幅跳  | A    | 10:00        | 男子 | 十種競技-円盤投   | A    |
| 11:00         | 男子 | 十種競技-走幅跳  | B    | 11:15        | 男子 | 十種競技-円盤投   | B    |
| 13:00         | 男子 | 十種競技-砲丸投  | A    | 13:00        | 男子 | 十種競技-棒高跳   | A    |
| 1日目 13:00     | 男子 | 十種競技-砲丸投  | B    | 2日目 13:00    | 男子 | 十種競技-砲丸投   | B    |
| 18:30         | 男子 | 十種競技-走高跳  | A    | 19:00        | 男子 | 十種競技-やり投   | A    |
| 18:30         | 男子 | 十種競技-走高跳  | B    | 20:20        | 男子 | 十種競技-走高跳   | B    |
| 21:35         | 男子 | 十種競技-400m |      | 21:30        | 男子 | 十種競技-1500m |      |

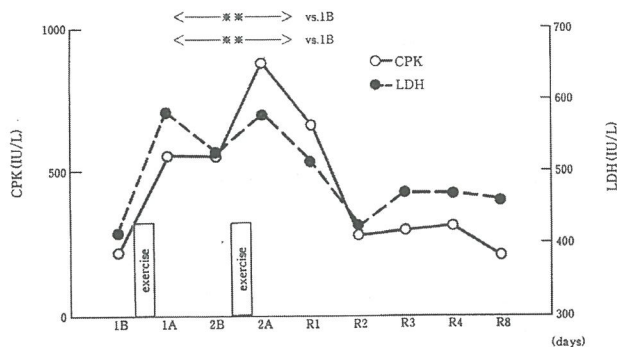


図6 十種競技における血清酵素の変化(繁田ら, 1993)

〈略語〉 1B: 1日目試合前, 2B: 2日目試合前  
1A: 1日目試合後, 2A: 2日目試合後  
R1~R8: 試合後1~8日目

試合前(CPK: 223.1 IU/L) に比べ, 約4倍(880.1IU/L)に上昇し, 中には2000 (IU/L) を超える者もいるほど, 十種競技は筋へのダメージが大きい競技と言える(図6: 繁田ら, 1993).

また, 試合終了後8日間経過した後でも, TP(血清総たんぱく)が試合前のレベルに回復していないことから, 通常の食事では栄養不足になるほど身体は疲労していることが示唆され, 栄養学的にも特別に対策を講じなければトレーニング再開に支障がでる種目でもあるようだ(繁田ら, 1993). 十種競技選手は, 競技中に約800kcal(1日間)を実際に摂取しており(桜井ら, 1989), 必要エネルギー量は確保しているとのことだが, 試合後の体力回復に充てる栄養摂取にも注意を払う必要があるようだ.

## 7. 血中乳酸濃度からみた十種競技のエネルギー代謝特性

短時間の激しい運動時における血中乳酸濃度(BLa)の上昇は, 筋活動時における糖利用の状況を反映しているが(八田, 2007), エリート十種競技選手らは, 各種目終了後のBLaが高い傾向にあり(桜井, 2006), 競技レベルの低い十種競技選手らに比べて, 筋の糖利用能力が高い傾向にあるようだ(桜井, 2006). しかしながら, 十種競技の走種目は, 100m, 400m, 1500mと短距離種目から中距離種目までを含み, それに対応したトレーニングを実施している影響は, 間欠的な漸増負荷走中の

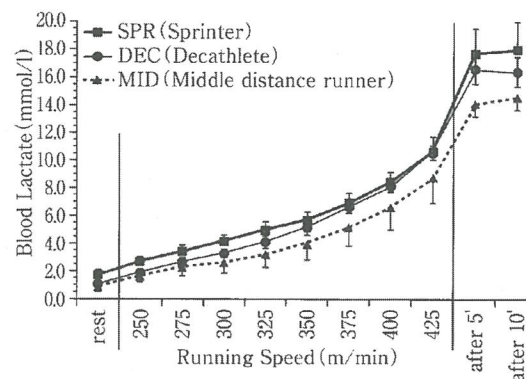


図7 走テスト中における血中乳酸濃度(BLa)動態(森丘ら, 2003)

BLa動態にも現れ, 十種競技選手ら(400m走:  $49.66 \pm 0.21$ 秒)の走テスト中のBLa動態は, 短距離選手(400m走:  $49.60 \pm 0.68$ 秒)と中距離選手( $50.09 \pm 0.87$ 秒)のちょうど中間的な推移を示している(図7: 森丘ら, 2003). また, 十種競技選手の疾走中のエネルギー代謝特性は, トレーニング内容によっても変化するため(森丘ら, 2006), その競技者のエネルギー代謝特性について把握しておくことが, 特に走種目のトレーニングを組み立てる上で重要なであろう.

## 8. 最後に

『日本混成競技の国際的レベルは, 日本陸上界の国際的レベルを映している』と, 言っても過言ではない. 世界レベル, 地域レベルで, 単独種目最高記録の合計点に対する十種競技記録の比率をみると, 十種競技世界記録(9026点)は, 単独種目世界記録合計得点の72.2%に相当し, アフリカ(67.8%), 南アメリカ(72.7%), ヨーロッパ(73.3%), アジア(75.2%), 北アメリカ(72.5%), オセアニア(73.5%), 各地域における比率を平均すると,  $72.5 \pm 2.5\%$ となる(図8, 持田未発表資料). そして, 十種競技日本記録(7995点)は, 各日本記録合計得点に対して72.5%と, 世界の標準的な比率であった(図8, 持田未発表資料). これは, 日本の十種競技は, 世界的にみて, その地域の競技レベルに対してそれ相応の競技レベルを有しているということを意味している. 日本の十種競技が8000点を壁にしているというのも, 日本陸上



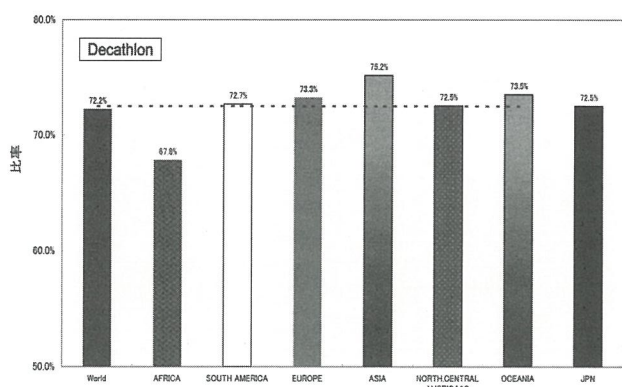


図8 エリア別にみた種目別最高記録パフォーマンスに対する十種競技記録の割合（持田，未発表資料）

界の競技レベル，国力を反映したものと捉えることもできる。そうすると，話はあまり単純でなく，大きな問題で，日本における混成競技レベルの問題は，単なる一種目の問題として片付けられないかもしれない。日本混成競技強化関係者らは，このエリア別にみた種目別最高記録パフォーマンスに対する十種競技の割合を参考に，特に，アジア，オセアニア，ヨーロッパ地域における十種競技得点比率が高いことの要因を探ることが，エリア競技力の比率を上回る結果，つまり日本人が8000点以上の記録を得るためには，求められているのではないだろうか。

いっぽう，七種競技では平均が $79.1 \pm 3.5\%$ であった（図9，持田未発表資料）。日本は77.0%と平均を下回っている。各日本記録合計得点（7743点）の79.1%は，6125点であり，この記録はエリア競技力の比率から考えると，日本人がマークできる可能性が高く，日本七種競技は，このレベルを目標として掲げ，アジア，北アメリカ，オセアニアを参考に強化していくべきかもしれない。

競技レベルの向上には，科学的情報や諸外国の情報が，コーチ間，選手間に多く流れ，議論が深まることが重要である。1990年代日本において盛んに行われてきた混成競技に関する研究が，当時の混成指導者らの支えとなってきたことは間違いない。今後，混成競技に関して，特に諸外国との比較に焦点を当てて，積極的に研究活動を行うことが，日本の混成競技界のみならず，ジュニア強化を含む，日本陸上界全体のレベルアップにも繋がることと思う。今回の大阪世界陸上における日本陸上競技連盟，科学委員会の活動が，少しでもそのきっかけになれば幸甚である。

## 参考文献

- A.W.FARIS, Ph.D., W.F.GILLEY, Ph.D., G.M. DEAN, Ph.D., K.C.TEH,M.D. (1980) Physiological profiles of world class decathlon athletes in training, J. sports Med., 20 : 285 - 290.
- 第11回IAAF世界陸上競技選手権大阪大会2007競技日程

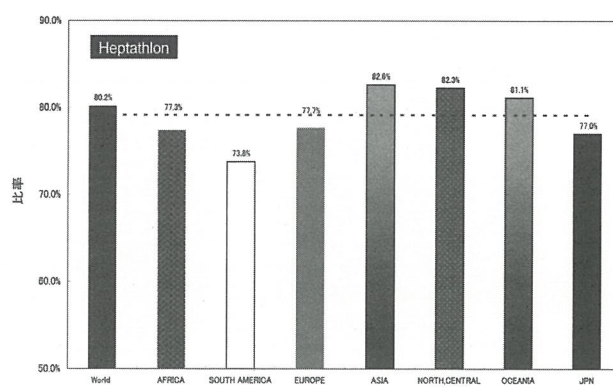


図9 エリア別にみた種目別最高記録パフォーマンスに対する七種競技記録の割合（持田，未発表資料）

世界陸上大阪公式ホームページ（URL：[http://www.osaka2007.jp/index\\_j.html](http://www.osaka2007.jp/index_j.html)）

福田廣夫，岩淵直作，佐藤光毅，渡辺 弘，花田明彦，三浦一雄（1977）オリンピック大会の陸上競技における十種競技の体格と成績について，日本体育学会 28，472.

八田秀雄（2007）乳酸，講談社サイエンティフィク：東京

Ian Christopher Kenny, Dan Sprevak, Craig Sharp, and Colin Boreham (2005) Success in the Olympic Decathlon : Some Statistical Evidence, Journal of Quantitative Analysis in Sports, 1-1, 1-6.

International Amateur Athletics Federation (IAAF) Scoring Tables for Combined Events 2001 Edition, URL：[http://www.iaaf.org/downloads/scoring\\_tables/index.html](http://www.iaaf.org/downloads/scoring_tables/index.html)

小林敬和（1990）十種競技の競技成績に影響を及ぼす形態的要因－国際大会における日米代表選手の比較－，日本体育学会第41回大会号，609.

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.

森丘保典，持田 尚，内丸 仁，青野 博，雨宮輝也，伊藤静夫，（2006）Maximal Anaerobic Running Test による十種競技者の走能力評価. 体育学研究, 51 : 117 - 124.

Pierre Beaulieu, Helene Ottoz, Caroline Grange, Janice Thomas and Claude Bensch (1995) Blood lactate levels of decathletes during competition, Br. J. Sp. Med 29 - 2 : 80 - 84.

桜井智野風，細谷真澄，山本利春（1989）十種競技選手の競技会における栄養摂取に関する調査研究，日本体育学会 40 : 638.

桜井智野風，安井年文，持田 尚，繁田 進，小林敬和，

- 松田克彦 (2006) 血中乳酸濃度変化から見る十種競技中のエネルギー代謝特性, 陸上競技学会誌 4-1: 9-13.
- 繁田 進, 有吉正博, 渡辺雅之 (1993) 十種競技が生体に及ぼす影響-血液性状からみた特性-, 陸上競技紀要 (6): 12-16.
- 繁田 進, 山本利春, 小林敬和, 有吉正博 (1990) 体格及び脚筋力と十種競技記録との関係, 東京学芸大学紀要 5 部門42: 95-100.
- Van Damme, R., Wilson, R. S., Vanhooydonck, B. and Aerts, P. (2002) Performance constraints in decathletes, *Nature*, 415: 755-756.
- 山地啓司 (1992) 最大酸素摂取量の科学, 杏林書院: 東京
- 山本利春, 山本正嘉, 繁田 進, 小林敬和 (1991) 十種競技選手における脚筋力と競技成績との関係, トレーニング科学, 3-2: 7-12.
- 山本正嘉, 山本利春 (1990) 十種競技選手の筋パワー特性, *Jpn.J.Sports Sci.* 9-4: 247-252.



# コーチング実践におけるテキストとしての科学的データの意義

青山 清英<sup>1)</sup>

## The role of scientific data in coaching behavior

Kiyohide Aoyama

### 1. はじめに

今日におけるスポーツ科学の発展は、高度な専門性が要求される競技スポーツに対して大きな影響を与えており、競技スポーツにおいてはスポーツ科学の知見を利用すること抜きには大きな成果を収めることは期待できない(阿江, 2002)。科学的な成果が発表される学術雑誌や研究機関などの報告書のみならず、日本陸連医・科学委員会による実際の試合における動作やレースの分析報告などは、コーチや選手に対して実際の現場におけるコーチングやトレーニングを考えるための有益な材料を提供してくれている。例えば、本号において主として取り上げられているバイオメカニクス研究成果は、身体運動や道具のふるまいを力学的に研究することにより、身体運動のメカニズムの究明、スポーツ技術の究明・開発、トレーニングや障害の予防、用具の開発への示唆を引き出してくれるので、陸上競技の研究においても重要である。また、最近では、事実を報告するだけでなく、蓄積されたデータから一流選手に共通する動作パターンを抽出したり、動作パターンとデータをもとに選手の技術を評価することも可能になっているという(阿江, 2002)。しかし、一方では「理論と実践の乖離」が叫ばれ、科学的知見が本当に現場に対して役に立つのかということが繰り返し問われている。しかし、このような議論においては、理論の側と実践の側がそれぞれ自分たちの立場を主張することに終始し、両者を「橋渡し」する積極的議論があまりみられない。

本稿では、コーチング実践における量的な科学的データの意義について、その活用方法の観点から検討し、理論と実践を「橋渡し」する「思考法」について明らかにしたい。

### 2. コーチングの現場

人の生きるさまざまな現場は、何よりもまず、何人かの固有名詞をもった特定の個人と固有名詞をもった特定の関わり手とが出会い、それぞれが様々な場面で関わり合う場である。関わり手はそれらの人たちに持続的に関

わって、その生と実相に直接触れている人である。その出会いや触れ合い、関わりの中で、両者の「あいだ」には喜び、悲しみ、苦悩、感動などの多様な情動を伴った様々な出来事が生まれてくる。このことは現場における選手とコーチの関係においてもあてはまる。それを選手あるいはコーチが自分の側に引き寄せていけば、関わり手は関わる相手の存在のあり様や自分の存在のあり様を中心に、さまざまな体験をもっていることになる(鯨岡, 2005)。

このように「人の生きる現場」の一場面である我々の「陸上競技の現場」は、実に多層的・多層的・多層的な表情をみせる世界なのである。我々はまずこの点に注意しておかねばならない。なぜなら、いかなる学問的営為もこの世界の全てをまるごと取り出して何らかの結論を下すことは不可能だからである。つまり、学問的営為にはこの世界の多重性、多次元的な所与性やそれに対応する知の複数のパースペクティブ性の問題系が存在するのである(新田, 2006)。したがって、我々は何らかの事実を学問的に明らかにするというのが、現場のひとつのパースペクティブから導かれるものであるという当然のことを理解しておかねばならない。

### 3. 科学的データとは何か

スポーツ科学は、前述したような世界であるコーチングの現場から、その当該の研究領域の方法を用いて現象の一面を切り取り、研究活動を行い科学的データを集積していく。しかし、科学的データとは、我々が通常理解しているような一義的なものではなく、そのデータの特性から量的データと質的データを分けて考えなければならない。ここでは量的データについて質的データと比較することからその特徴を明らかにしておきたい。

まず、データとは何か。データという日本語は、英語の「datum」の複数形であり、この語はもともラテン語で「与えられたもの」という意味をもっており、過去に起こってその結果が確定したものであり、それ自体はもはや変わることはないものという意味を担わされていた(村上, 1995, 32頁以下)。ここから、とりわけ自

1) 日本大学文理学部 College of Humanities and Sciences, Nihon University

〒156-8550 東京都世田谷区桜上水 3-25-40 Tel: 03-5317-9717 E-mail: kaoyama@chs.nihon-u.ac.jp

表1 質的研究と量的研究の特性の対比

| 研究の構成要素 | 質的研究       | 量的研究        |
|---------|------------|-------------|
| 仮説      | 帰納的        | 演繹的         |
| 標本      | 目的的・少数     | 無作為・多数      |
| 場所      | 自然・実社会     | 実験室         |
| データ収集   | 研究者が主な手段   | 客観的な道具を使用   |
| 計画      | 順応性のある・可変的 | 前もって決定されている |
| データ分析   | 記述的・解釈的    | 統計的方法       |

(J. R. Thomas and J. K. Nelson: 田中・西嶋 監訳, 2004より引用)

然科学的研究によって導き出された量的な自然科学的事実は、永遠に不変の「絶対的真理」を意味していると考えるのが一般的である。しかし、このようなデータは絶対性を主張しえないことは近代自然科学の発展を概観してみれば一目瞭然である(村上, 1995, 181頁以下)が、ここでは本論の射程を超えることになるので、この問題についてはこれ以上言及しない。

科学は研究方法に基づいて分類した場合、量的研究法を用いる自然科学と質的研究法を用いる人間科学に分類することができる(朝岡, 1999, 87頁以下)。量的研究は「分析」、すなわち現象の構成要素を個々に論じたり、調査することに焦点をあてて現象を数量化することから、現象発生の因果関係の解明をめざすものである。これに対して、質的研究は、ある経験が特別な状況に参与している人にとってどのような「意味」をもっているのか、各構成要素が全体のかたちとどのように「かみ合っているのか」を「理解」しようとすることである(J.R.Thomas/J.K. Nelson; 田中・西嶋訳, 2004, 364頁以下)。このように、質的研究は現象の本質に焦点をあてることになるが、その世界の見え方は、それをみる人の認知の仕方によって変化するようなきわめて主観的なものになる。

量的研究では、研究者は実験室で行われる測定や質問紙、その他の客観的な手段を用いて量的データを収集するというプロセスを必ず歩む。この量的データは通常、コンピュータなどを用いて統計的手法で「分析」され、自然科学的事実として措定されることになる。これに対して、質的研究においては、研究者自らがデータの収集や分析のための主要な手段となる。研究者は対象者と相互に影響し合いながら、観察結果や反応を収集して処理することになる。ここでは研究者の感受性と認知能力が決定的に影響するため、量的研究で主張されるような「客観性」は保証されない(J.R.Thomas / J.K. Nelson; 田中・西嶋訳, 2004, 364頁以下)。このような量的研究と質的研究の相違(表1 参照)に関する科学論的議論はすでに行われている(朝岡, 1999, 87頁以下)ので、ここでは繰り返し議論することはしないが、これまで述べてきたことから、我々が通常使っている「科学的データ」は両義性のある概念であり、それぞれの研究方法によって取り出される「データ」は、かなり異なる性質のもの

であることを繰り返し確認しておきたい。

このようなことから量的データとは、自然科学的方法を用いて我々が獲得することができる現象の一側面を示すものであるということが理解できる。

#### 4. 説明の原理と理解(解釈)の原理

量的データの活用に関する問題を考えるにあたり、我々は「説明」と「理解(解釈)」という概念について検討しておかねばならない。

哲学者のデイルタイは、一般解釈学の立場から「わたしたちは自然を説明し、心的生活を理解する」(ダンナー, 浜口訳, 1988, 55頁)という表現で「説明」という概念を「理解」と対照させている。たとえば、ある身振りについて語るのに、腕と手の解剖学的構造、腕が発揮する筋力の大きさ、腕の各セグメントにおける運動連鎖のメカニズム、エネルギーの消費量などから論ずるならば、たしかにその身振りは「理解」されているのではなく、「説明」されているのみである。しかし、その身振りが「身振り」となるのは、やはりその「意味」するところによってなのである。たとえば、挨拶の時の目配せや、誰かにこっちに来いと伝えるしぐさなどは、「身振り」としての意味をもっている。これこそが「理解」であり、「説明」とはべつのものなのである(ダンナー, 浜口訳, 1988, 55頁以下)。つまり、「説明」とは、自然科学的、数量的方法の立場から把握される量的なもの、量的データによって現象を把握することであり、「理解」はなにかを人間的なものとして認識し、同時にその「意味」を把握することといえよう。高橋(高橋, 1994)はこの両者は混同されてはならないし、一方を他方に還元することはできないとしながら、量的研究では因果律による「説明」と「理解」の両者が必要であるのに対して、質的研究では「説明」よりも「理解」がはるかに重用されるという。したがって、「理解」こそが量的研究と質的研究を通底するものにほかならないと指摘している。この事実は我々が実践において量的データを用いる際の重要な観点を示してくれる。

スポーツ技術の解明に大きな貢献が期待されるバイオメカニクス的研究を例にして考えると、自然科学の一領域であるバイオメカニクスで得られるデータは当然量



的データである。朝岡（朝岡，1999，272頁）によれば、この厳密な量的データをそのまま選手に提供しても選手の技術がただちに改善されるというわけにはいかないという。なぜなら、量的データは、合理的な運動経過というものは「どのようなものなのか」を示すことはできても、それによって、「どのようにすればその技術を達成することができるのか」を選手がただちに「理解」できるわけではないという。この点について金子（金子，1986）は、技術トレーニングにおいて、「どのようにすればできるのかに関する情報」を提供するためには、確かに目標となっている技術が「どのようなものであるのかに関する情報」が不可欠ではあるが、この「どのようなものであるのかに関する情報」がただちに選手の共感できる「どのようにすればできるのかに関する情報」に変換できるとは限らないとしている。ここに技術の習得における量的データ活用の本質的な問題があるといえよう。つまり、バイオメカニクスによって得られた量的データによって提供される知識は、主体の向こう側に置かれた観察対象に関する「説明的知識」であって、これらの知識によって選手は自分の動きがどのようになっているのか、あるいは、どのようにしなければならないのかを知ることはできても、どのようにすればそれが「できる」のかを直接、「理解」できるわけではない（朝岡，1999，273頁）。したがって、単なる量的データの提供では、頭では分かっている（説明することはできても）、身体では分からない（理解できない）ということが生じてしまうのである。しかし、このことが量的データが実践に対して「役に立たない」ことを示しているとするのは誤りである。なぜなら、我々の考察対象である陸上競技の技術は、人間という物質としての側面をもつ生物が行う運動なのだから、その技術は物理的条件に必ず拘束されることになる。この物理的条件を度外視した技術などは存在しない。人間の運動技術という現象の解明は、どうしても物理的側面に関する知識無しには成り立たないのである。したがって、ここで検討されるべきことは、量的データをどのようにして実践の中に活用していくのかという方法論の問題となってくる。

ただし、ここで注意しておかねばならないことは、学問的営為としての量的研究と質的研究はお互いに接点をもちえないし、もつ必要もないということである。両者はそれぞれ量的側面と質的側面を専門的方法を駆使して探求すべきなのであって、それがなまじ接点を求めようとすると、それが先入観となって、それぞれの責務を十分に果たしえないことになる。基礎的な科学研究として行われる限り、それぞれが独自の方法に徹すればよい。陸上競技に関する研究は、量的研究を中心に多大な研究成果を集積しており、その知見が実践に対して大きな貢献をしている。しかし、この内容をそのまま「理解」しただけではコーチングという全人的活動の把握という、

重要な要請には応えることができない。だからコーチングという現場の世界では、両者の研究成果を十分取り入れながら、両者の「接点そのもの」としてひとつの研究領域を形成することが要求されることになる。したがって、繰り返しになるがここではコーチングという実践の現場において、量的データをどのようにすれば活用できるのかについて検討することが必要となる。

## 5. コーチング実践における量的データの活用

これまでに我々は量的データの特性について確認し、その問題点をみてきた。それでは、様々な問題をはらむ量的データをどのようにコーチング実践で活用すればよいのであろうか。この問題を考えるにあたって、科学的研究成果を実践に役立たせるためのひとつの考え方について述べておきたい。

朝岡はその著『スポーツ運動学序説』の中でさまざまな研究方法に基づく個々の研究成果を、実践における応用に向かって活用するために次のような提言をしている（図1参照）。朝岡はまず「スポーツ運動学」を実践的应用理論を担う研究領域として措定し、スポーツ運動学が実践的应用理論として展開していくためには、まず第一に、個々の研究で考察されている対象が複合的な能力である「競技力」のどこに位置づけられるのか、換言すれば、個々の研究において断片的に取り上げられている競技力の、ある側面・部分を考察対象相互の関係において明確にされる必要があるとしている。すなわち、個々の研究成果を実践の中で統合することを目指すのであれば、これらの個々の技術や体力といった下位構成成分に関する研究は、個々の構成部分の構造や発生に関する研究にとどまらずに、その研究成果と他の下位構成部分の研究結果との関係を明らかにし、その不足を補うことによって、競技力の獲得や向上を可能にする具体的な方法の提示に向かわなければならない（朝岡，1999，268頁以下）。

第二には、研究課題を科学研究それ自体からではなく、スポーツの実践場面から提起することが重要である。なぜなら、スポーツの実践では、運動ははじめから生理学的・力学的・心理学的過程などとして分析的にばらばらに分解し、量的データとして表現される前に、実際に行われた運動経過が全体的なまとまりをもった現実の一回性の運動実行として、その時々目的に基づいて、直接「見る」ということを通してその問題点が把握されるからである（朝岡，1995，268頁以下）。当然この「見る」という観察者の態度では、観察対象に強く共感し、運動者の運動感覚を「中から」知覚する「運動モルフォロジー」<sup>（注1）</sup>の方法という質的運動把握の方法が用いられており、この方法を通してはじめて実践において解決が迫られている研究課題を把握することができるという。こうして把握された研究課題は、その内容に応じていくつかの考察法を組み合わせる研究されることになる（朝

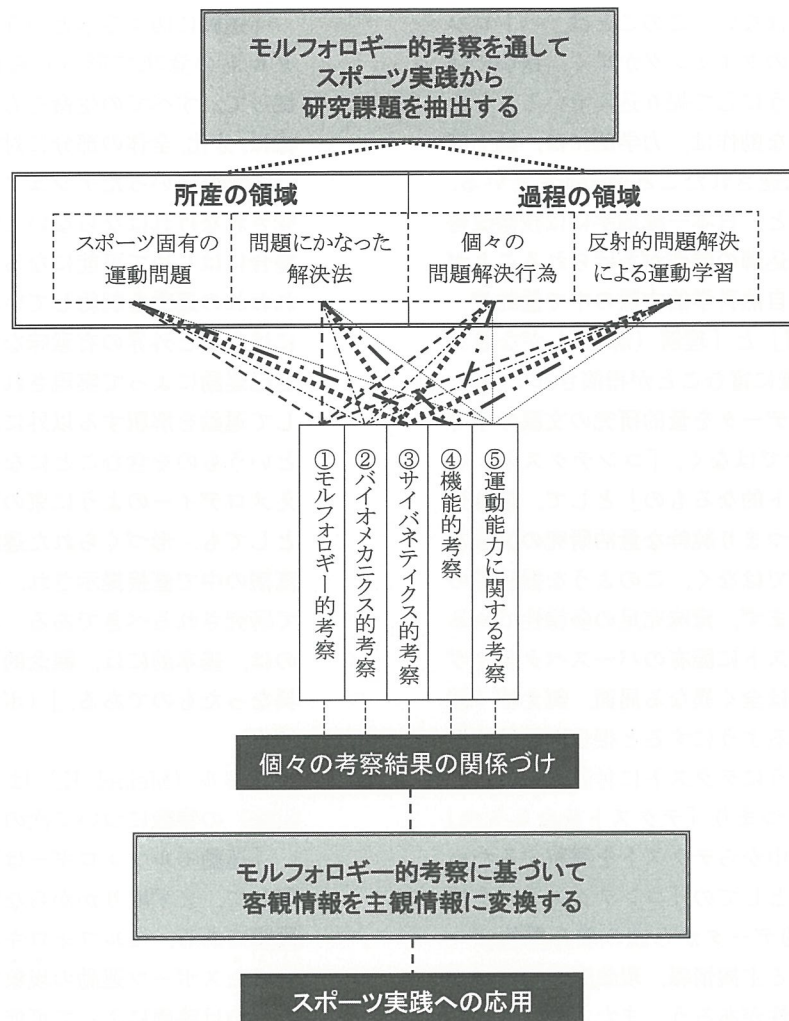


図1 実践的統合理論構築のためのフローチャート（朝岡，1995より引用）

岡，1999，268頁以下）。

第三には，こうして組み合わせられたさまざまな研究成果は，単に研究の成果として呈示するだけではなく，実践の場でその有効性を検証することが必要になるために，それらを現場で用いられている「全体的－直感的な言葉」に翻訳することが不可欠になるという。つまり，研究成果を選手が身をもって体験できるための感覚内容としての「身体知」に変換するために，「追－感」の方法によって相互主観的に了解可能な概念やカテゴリーによって表現することを目指す「モルフォロギー的考察法」<sup>（注2）</sup>によってはじめて翻訳された知が獲得されることになる。つまり，実践に役立つ研究は，研究課題を質的問題として取り出し，個々の研究方法を用いて分析し，得られたそれぞれの研究成果の関係性を検討した上で，それらをまた，質的なものとして把握していくことが必要となるのである。ここにおいて，我々は量的データの「テクスト的なもの」としての性質について検討しなければならない。

ひとつの例をあげて考えてみたい。図2は阿江（阿江，2002）によって示された日本一流走幅跳選手の振上脚大腿の角速度をペドロソ選手のものと比較したものであ

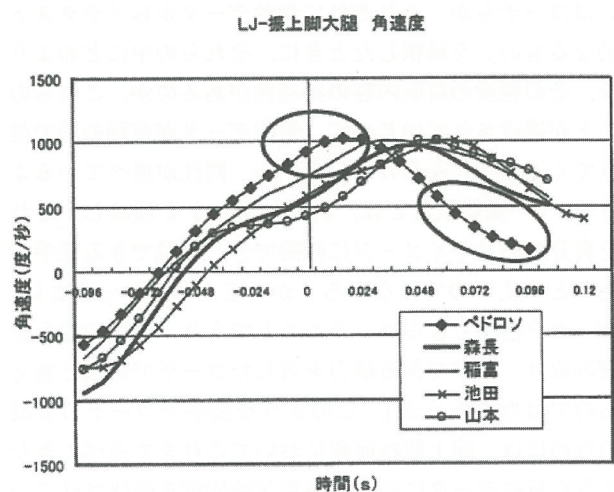


図2 一流走幅跳選手における振込脚の角速度（阿江，2002より引用）

る。阿江（阿江，2002）はこの量的データから次のように説明と解釈をしている。日本一流選手に比べて，ペドロソ選手は踏切足接地時における振込脚の角速度が大きく，その後踏切中に急激に減速し，離地時では日本一流選手よりもかなり小さくなっている。しかし，角速度の



最大値には両者間では差はない。このことは、ペドロソ選手では、振込脚の振込のタイミングが早く、踏切では急激に振込脚を止めるようにして振り込んでいることを意味している。このような動作は、力学的には、振上脚の運動量が他の部分に伝達されたことを意味している。このようにして見てみると、日本一流選手には技術改善の課題のひとつとして振込脚の動作があげられることがわかるという。ここでは自然科学的文脈の中で量的データを用いて動作の「説明」と「理解（解釈）」がなされており、実践に対して示唆に富むことが指摘されている。しかし、このように量的データを量的研究の文脈の中でテキストとして読むだけではなく、「コンテキスト」を把握するための「テキスト的なもの」として、読み込むことも必要であろう。つまり純粋な量的研究の文脈としてのテキスト理解だけではなく、このような振込脚の動作に関する結果から、まず、意味充足の多様性である解釈の複数性というテキストに固有のパースペクティブ性を基盤にして、踏切とは全く異なる局面、例えば「踏切の二歩前で上体を立てるようにすると振込脚を早く振り込めるかな」などのようにテキストに付随しているテキスト以上の解釈内容、つまり「テキスト的なもの」を見抜く。そして、その中からテキストを解釈するために必要なテキストの総体としての「コンテキスト」を把握するというような量的データから読み取る質的データ、客観情報から読み取る主観情報、現象論から本質論への変換がなされる必要性がある。また、このようにして取り出されたコンテキストの相互主観的共有の可能性についても検討される必要がある。つまり、選手あるいはコーチらが、それぞれに量的データから「テキスト的なもの」を解釈したときに、それらの中にどのような、その程度の解釈内容の共通性があるのか、これらのことが達成されてはじめて、量的データが実践の場で生きてくることになるのではないか。阿江が述べているように、「一流競技者とは、科学的データを理解し、それを自分の感じやイメージに変換でき、実践できる選手であるといえるのではなからうか。また一流コーチとは、データを活用できるコーチのことであり、選手の動きを読み取り、洞察できる能力を有したコーチであると言えるのではなからうか」。このような選手やコーチの育成のためには、陸上競技研究においてこれまで述べてきたような量的データに関する解釈学的研究を進展させていかねばならない。これらの研究はまだ端緒に立ったばかりである。

## 注 釈

注1：ボイテンダイク（Buytendijk, F.J.J.）は、その著『人間の姿勢と運動に関する一般理論』の中で「運動モルフォロジー」について次のように説明している。

「運動に関する学というものは、運動がゲシュタルトの意味で形づくられた統一として生じ、従って、すべての生命をもった形式とまったく同様に、分化、全体の部分に対する関係、形態類縁性、形態発生といったゲシュタルト特性に基づいて研究されなければならないということが見抜かれた場合にはじめて可能になる。運動学はつまり、われわれの運動を制約している諸過程の分析、さらには主体と外界の有意義な関係として、すなわち自己運動によって実現される機能や行動の仕方として運動を解釈する以外に『運動モルフォロジー』というものを含むことになる。その対象は、たとえばメロディーのように束の間に過ぎ去ってしまうとしても、形づくられた運動実行であり、それは直観の中で直接提示され、その構造特性に基づいて研究されるべきである。この種の研究というのは、基本的には、概念的因果分析とはいくらか異なったものである。」（ボイテンダイク：朝岡訳、37頁）

注2：マイネル（Meinel, K.）は『モルフォロジー的考察法』の特徴について次のように説明している。

「運動モルフォロジーは運動を研究していくに際して、まず取りかからなければならない第一の段階である。モルフォロジーの対象は現実<sup>・</sup>に与えられたスポーツ運動の現象であり、それを客観化するのには映画によって可能になっている。この考察法は、“現象科学的”考察法とも名づけられるであろうが、運動モルフォロジーという名称は何が問題となるかを明確に表すので、好んでこの名称を取りあげるものである。そこでは、われわれの感覚器、とくに直接に目に訴えられる運動形態の把握と記述が前景に立てられる。したがって、運動モルフォロジーは身体構造のモルフォロジーではなくて、身体運動のモルフォロジーであり、機能モルフォロジーなのである。映画は厳密に観察したり、止めて観察したり、反復してなんども見ることができるし、また構成成分に分けたり、計測したり、比較考察することも可能にする。モルフォロジー的運動分析はつかの間の印象分析のなかに隠されている事実や徴表や関係を確認させてくれる。映画はまた、個々の運動習熟が形成されていく発達位相を比較考察したり、運動系に関する発生についての発達段階を比較考察することができる。モルフォロジーはスポーツ運動が漸次に発生したり、形成化されていくのを追求することによって、それは－エルンスト・ヘッケルによる概念構成を利用すれば－形態発生<sup>・</sup>、すなわち運動形態の発達と形成の理論へと発展するのである。モルフォロジーは比較と抽象化によって一定

の徴表と固有性を浮き彫りにし、運動類縁性をとらえ、モルフォロジーとしての事実資料の範囲において、最後には、一般化というものを可能にする諸連関と諸関係を把握するものである。

したがって、モルフォロジー的研究法はスポーツ運動学の最初の拠点として不可欠なのである。それはスポーツ運動を解剖学的・生理学的・心理学的あるいは物理学的・力学的立場から分析的に考察していくに先立って、スポーツ運動を現実に行われている姿のままでもとらえようとするものである。一般に、これらの個別科学は、スポーツ運動というもののある全体現象として、また環境に対する高次の行動形式の特別な質を示すような、分割できない運動系の行為としてとらえていこうとするものではないのである。

これに対して、モルフォロジー的考察法でとらえようとするのは、たとえば、空時・力動構造、運動の流動、運動の弾性など、一般に分析的研究が避けてしまう運動の徴表や固有性である。また、運動モルフォロジーは解剖学・生理学的、物理学・力学的な運動の前提や条件のなかからは、さしあたって何ひとつ取り入れないけれども、心理学的考察法はこのモルフォロジー的考察法と密接な結びつきをもっている。

走ることや器械運動の技をしっかりと観察し、分析していく場合に、モルフォロジーの学者はまずもって、たとえば、空時的な展開形式、運動の大きさ、運動のスピード、運動の目標指向性など、可視的な、知覚できる量的・質的な諸徴表をその前景に立てる。モルフォロジー的考察法は、スポーツ運動を目を通して外から知覚していただくでな

く、体験し、“中から”知覚することによって大きく補充され、拡大される。」(マイネル:金子訳, 106頁以下)

## 文 献

- 阿江通良 (2002) バイオメカニクスデータのコーチングへの応用, 陸上競技研究48: 8-18.
- 朝岡正雄 (1999) スポーツ運動学序説, 不昧堂出版, 東京.
- Buytendijk, F.J.J. (1956) Allgemeine Theorie der menschlichen Haltung and Bewegung, Springer-Verlag Berlin, S.41.
- ヘルムート・ダンナー: 浜口順子訳 (1988) 教育学的解釈学入門, 玉川大学出版局, 東京.
- J.R.Thomas / J.K.Nelson: 田中喜代次・西嶋尚彦監訳, (2004) 身体運動科学における研究方法, ナップ, 東京.
- Kaneko A.: 朝岡正雄訳 (1986) スポーツ技術創作の方法論序説, 運動形態学研究会会報, 第3号, 37-50.
- 鯨岡 峻 (2005) エピソード記述入門, 東京大学出版会, 東京, 3-5頁.
- マイネル: 金子明友訳 (1981) スポーツ運動学, 大修館書店, 東京.
- 村上陽一郎 (1995) 新しい科学論, 講談社, 東京.
- N. Cross/J. Lyle (1999) The Coaching Process, Butterworth-Heinemann.
- 新田義弘 (2006) 現象学と解釈学, 筑摩書房, 東京, 247-254頁.
- 高橋義人 (1994) 世紀末転換期におけるゲーテ・ルネサンス, 現代思想22 (2): 78-94.



## 日本陸上競技学会企画委員会 委員名簿

委員長 阿江 通良 (筑波大学)  
副委員長 森丘 保典 (日本体育協会)  
委員 池田 延行 (国土舘大学)  
委員 尾縣 貢 (筑波大学)

委員 加藤 謙一 (宇都宮大学)  
委員 永井 純 (環太平洋大学)  
委員 山下佐知子 (第一生命)

※敬称略

## 編集後記

今夏、日本で2度目の開催となる世界陸上が大阪にやってきます。本学会の理事会においても、ぜひ世界陸上に向けた企画を…という「陸上競技」を冠名とする学会としては至極当然の成り行きにより、期間中の学会大会開催とともに本号の発刊が企画されました。企画は、世界陸上本番に向けて、各種目の特性や競技の見どころなどについて、国内外の注目選手のデータなどを交えて科学的に解説する特集号を作成するというものでした。昨今、五輪や世界陸上といったビックイベント後に詳細なレポートが出るのは通例ですが、科学的な分析結果に基づいた「見どころ解説」が大会前に出版されることの有無については、寡聞にして知りません。

執筆者は、陸上競技の分析・研究に精通していることはもちろん、指導者として日夜フィールドに立たれている、または選手としての情熱いまだ衰えずという方々まで多士済々です。学会誌という趣旨を十分にご理解いただき、商業誌とは一線を画した、内容の濃い科学的論考をお寄せいただいたと感じています。

1991年東京大会からすでに16年の歳月が流れました。東京大会は、ルイスやパウエルの世界記録、谷口浩美選手のマラソン金メダルなどで大いに盛り上がりました

が、同時に、多くの陸上関係者を動員して大々的にトップアスリートのパフォーマンス分析を行ったという意味においてエポックメイキングな大会でもありました。本号執筆者のうち約半数の方々が、その「東京大会プロジェクト」に参画されておりますが、16年後の今日に至るまで、フロンティア精神とボランティア精神旺盛に活動を継続されているのを眼にするにつけ、その無言の教えに背筋の伸びる思いがします。

目次をご覧いただければお分かりのように、残念ながら全種目を網羅することはできませんでした。しかし、陸上競技のみならず、多くのスポーツ種目に共通するパフォーマンスの「つぼ」や「コツ」を鋭く射抜く観点がそこかしこに示されています。多彩な専門領域を持つ会員が「陸上競技」という名の下に集結している本学会には、学際的・総合的な実践や議論の蓄積が使命として課せられておりますが、本号がその一翼を担うことを願ってやみません。

最後になりましたが、ご多忙の折、執筆をご快諾頂いた皆様に、この場をお借りして深謝いたします。ありがとうございました。

(企画副委員長 森丘 保典)

## 陸上競技学会誌 第6巻特集号 (Vol.6 suppl., 2007)

2007年7月31日

発行人 澤木啓祐

編集人 阿江通良

発行所 日本陸上競技学会

〒156-8550 東京都世田谷区桜上水3丁目25番40号

日本大学文理学部体育学研究室内

日本陸上競技学会事務局

TEL: 03 - 5317 - 9717

印刷 ホクエツ印刷株式会社

Plus<sup>プラス</sup>α<sup>アルファ</sup>を求めて  
プラスの発想

P  
rogrammer

P  
roducer

P  
lanner

P  
rogresser

-er's

P  
rinter



⊖ ホクエツ印刷株式会社

〒135-0033 東京都江東区深川2丁目26番7号  
TEL:03-5245-8821 FAX:03-5245-8828



Japan Journal of  
Studies in Athletics

