

追 悼

関岡康雄先生を偲んで

2016（平成28）年9月12日、日本陸上競技学会初代会長（名誉会員）の関岡康雄先生が享年81歳でお亡くなりになりました。

直前の日本インターカレッジでは、いつものようにお酒を酌み交わしていたことが嘘のようです。日本インターカレッジ最終日、閉会式後マイクロバスにお乗りになる関岡先生に「先生、少し姿勢が悪くなりましたね。」とお伝えしたところ、先生は笑って「じゃあ、また」という会話が最後になりました。日頃から、姿勢の良かった先生の変化に、直感的に何か感じたのかもしれませんが、その数日後の訃報には、驚愕するとともに先生との数多くの思い出が走馬灯のようによぎりました。

関岡先生との出会いは、競技者を引退し、大学院修了後、指導者として歩み出した1970年代半ば頃、JOCの前身である日本体育協会競技力向上委員会のメンバーとして、宮下充正先生や関岡先生にお声掛けいただき、伊豆の大塚山荘でのスポーツ医科学の仕事で一緒にいたしました。その後、陸上競技の強化に関わる多くの仕事をさせていただきました。特に日本代表を率いての海外転戦は、先生と一緒になる機会が多く、様々な経験をさせていただきました。その中でも、思い出に残っているのは1985（昭和60）年、米国で開催された第5回太平洋沿岸五カ国後のヨーロッパ転戦中のスウェーデンにおいて、関岡先生の誕生会を日本チーム有志により、和気あいあいに行いました。その時の先生の笑顔が今でも思い出に残っております。また、強化育成という面で、特筆すべき点は、日本学生陸上競技連合の強化委員長・専務理事として「日本陸連」と「日本学連」のパイプ役として大学生の強化育成に携わってこられました。その結果、これまでのユニバーシアードの好成績や大学生の活躍は、関岡先生のご尽力の賜物だと思っております。

本学会の設立においては、1995（平成7）年、福岡ユニバーシアードの頃から、関岡先生、澤村博先生と私との間で事あるたびに「大学の陸上競技者から実践現場に直接還元できるような研究会を作りたい」という話が出ておりました。その後、関岡先生のリーダーシップのもとこのコアメンバーを中心に2002（平成14）年7月頃から数回にわたる会議を重ね、日本陸上競技学会は、2002（平成14）年10月に大きな理想と抱負をもって創立されました。第1期役員として関岡先生には初代会長になっていただき、小林寛道副会長、澤木啓祐副会長、澤村博理事長を中心として、総勢25名の理事により発足することとなりました。翌年の2003（平成15）年3月に東京学芸大学にて第1回学会大会を開催しスタートいたしました。学会設立当初より、関岡先生が事あるたびに話されていた本学会の使命は『「陸上競技に関する理論的・実践的研究の発展をはかり、会員相互の交流を促し、これによって実践に資することを目的とする」理論と現場の融合としての「技術と科学の調和」を掲げ、本学会がいささかでも競技力向上ならびに普及に創立当初の理論として培い育てていきたい』とおっしゃっていました。

現在、本学会は14年目をむかえ、毎年学会大会の開催、学会誌の発刊など、設立当初、関岡先生を始めとして私達が抱いていた思いが今でも学会の基盤となっており、設立にご尽力された本学会が、実践現場に還元できる研究を発信し、2020年の東京オリンピック・パラリンピック対策を契機として、更に飛躍していくことが我々残されたものの使命かと思えます。

どうか、これからは高いところから、本学会をお見守りください。ご冥福を心から祈っております。関岡先生、本当にありがとうございました。安らかに休息ください。

名誉会員 澤木 啓祐

関岡康雄先生略歴

【学歴・職歴】

昭和10年6月25日	福岡県に生まれる
昭和33年3月	東京教育大学体育学部体育学科卒業
昭和33年4月	慶応義塾志木高等学校教諭
昭和36年4月	東京教育大学附属中学校教諭（附属高等学校併任）
昭和39年4月	東京教育大学体育学部助手（体育学部スポーツ研究施設併任）
昭和44年4月	東京教育大学体育学部講師
昭和47年4月	東京教育大学体育学部助教授
昭和49年4月	筑波大学体育科学系助教授
昭和57年10月～	
平成11年3月	筑波大学体育科学系教授
平成2年4月～	
平成5年3月	筑波大学大学院体育研究科長
平成5年4月～	
平成8年3月	筑波大学体育科学系長
平成11年4月	筑波大学名誉教授
平成11年4月	仙台大学教授（平成11年4月～平成16年3月 副学長）
平成15年4月～	
平成18年3月	仙台大学特任教授
平成18年4月～	
平成23年3月	九州共立大学特別客員教授

【競技団体役職】

平成16年12月～	
平成22年3月	日本学生陸上競技連合 専務理事
平成17年4月～	
平成26年3月	日本学生陸上競技連合 副会長
平成27年4月	日本学生陸上競技連合 会長

【本学会役職】

平成14年10月～	
平成17年3月	日本陸上競技学会 会長

【受章】

平成4年10月	秩父宮章 日本陸上競技連盟
---------	---------------

【叙勲】

平成27年4月	瑞宝中綬章
平成28年9月12日	逝去（享年81歳）

加藤昭先生を偲んで

2017年（平成29年）2月10日、日本女子体育大学名誉教授の加藤昭先生が享年68歳でご逝去されました。

加藤先生が退任されて1年半後の学部創設50周年記念式典行事（2015年10月）で、創設に至る経緯を詳細に講演されていたのが思い出されます。その日、先生「お元気ですか」と言ったところ、いつもと違い「元気じゃないよ」と少し弱気になっていました。退職後の3年は病と闘いながらの日々が続いたとのことでした。懸命に生き抜いた人生で、告別式の際、奥様のお言葉にありましたように、「生涯に渡りスポーツの教育に情熱を尽くした人生でした」ということに尽きるかと思います。

東京教育大学の6年上の先輩であり、私が着任した時には、夜遅くまで熱心な指導を行い、投擲コーチとして日本選手権、日本インカレで優勝をするような選手を育成していました。当時チームの状況は良く、上昇ムードで日本IC総合優勝を目指したチームでした。

昭和50年代について振り返ってみますと、当時中長距離コーチが不在となり、加藤先生が投擲コーチを兼任していました。昭和56年の関東ICでは1500m・3000mの2種目で優勝し、特に3000mでは1位・2位・3位を制し表彰台を独占し、また、円盤投でも優勝し、総合2連覇をしています。

第60回日本ICでは、投擲種目と中距離種目の活躍は、めざましいものでした。最終種目4×100Rまで3チームが0.5点差で優勝を争い、優勝には、加藤先生の冷静沈着なアドバイスがあったからだと言っても過言ではありません。決戦（決勝）の直前、第3走者が脚に違和感があると訴えました。修行の身の私は動揺し、加藤先生に相談した結果、あっさり「大丈夫だ」という助言を得て、選手に伝えることが出来ました。選手に対する技術的なアドバイスと同時に選手の心をつかむということが出来る先生でした。選手に安心と自信を伝えることの大切さを学びました。その後、加藤先生は監督・部長としてチームをまとめました。

また、大学人そして研究者としては、日本陸上競技学会の理事として設立当初から貢献し、本学で行われた第5回大会では大会実行委員長として「女性アスリートのトレーニング・コーチング」のテーマを基に運営し大きな成果を得、本学会の発展に寄与しました。理論と実践の融合という、まさにスポーツコーチングの専門化であるといえます。

加藤先生の残された功績を忘れずに励み、スポーツコーチングの発展をしていくことが、我々にとっての責務だと思います。

どうか、これからは、陸上競技界の発展を、高いところから温かく見守って下さい。

ご冥福を心からお祈り致します。

会員 渡部 誠

加藤昭先生略歴

【学歴・職歴】

1971年 東京教育大学 体育学部 卒業
1971年 千葉県立京葉工業高等学校 教諭
1974年 日本女子体育大学 助手（投擲コーチ）
1996年 日本女子体育大学 教授
※陸上競技部コーチ，監督，部長を歴任.
※専攻主任，教務部長などを歴任.
2014年 日本女子体育大学名誉教授
二階堂学園評議員

【主な業績・著書】

『教師のための運動学』（1996）大修館書店
『女子陸上競技の指導』（1982）杉山書店
『運動学講義』（1990）大修館書店
『現代スポーツコーチ実践講座2 陸上競技（フィールド）』（1982）ぎょうせい

【社会的活動】

関東学生陸上競技連盟強化委員・評議員・幹事
専門領域：スポーツコーチング学
研究テーマ：競技力の構造
所属学会：日本体育学会，日本スポーツ運動学会（常任理事），日本陸上競技学会（理事）

図子浩二先生を偲ぶ

図子浩二先生が、平成 28 年 6 月 2 日にご逝去されました。享年 52 歳でした。短い生涯でしたが、本当に深く深い生き方だったと思います。

図子先生は、コーチング現場が大好きで、時間が許す限り大学のグラウンドに立ち続けておられました。競技会でもトレーニングでもきめ細かいコーチングを心がけ、学生が変わっていくことを何よりも喜んでおられました。そのコーチングは、アスリートを大切に、エビデンスを持って臨むという、日本のスポーツ界が目指すべきスタイルでした。

また、研究のための研究は良しとせず、常に現場で活かされることを念頭に置いて多くの研究論文や著書を著されてきました。これは、研究とコーチング現場の架け橋を自らが担おうという強い意志の表れであったと思います。最期まで、この意志を貫き数多の研究成果を残されましたが、図子先生とえば、やはり DJ Index (Drop Jump Index)。下肢のプライオメトリック能力の測定に広く用いられているこの指標は、図子先生が博士課程の学生の頃に開発されたものです。今では、陸上競技を始め多くのスポーツ種目のコントロールテストやタレントの発掘に活用されているだけでなく、一般人の体力指標としても用いられるほど現場に浸透しています。

そんな図子先生の元からは、多くの素晴らしいアスリート、そして現場志向の強い多くの研究者が育ちました。彼らは、しっかりと図子イズムを持ち、この先も日本の陸上競技界、スポーツ界を牽引してくれることでしょう。私たちも先生のご遺志を継ぎ、陸上競技の研究を推進することと、陸上競技のコーチングのレベルを高めることにより、陸上競技の普及・発展に力を尽くすことを誓います。

いつも天から競技会を観戦されているのでしょうね。どうかいつまでも温かく見守ってください。

ご冥福を心よりお祈り申し上げます。

日本陸上競技学会副会長 尾縣 貢

関子浩二先生略歴

【学歴】

1977-04 – 1980-03	香川県三豊郡財田町和光中学校	卒業
1980-04 – 1983-03	香川県観音寺第一高等学校	卒業
1983-04 – 1987-03	筑波大学 体育専門学群	卒業
1987-04 – 1989-03	筑波大学 体育学研究科 コーチ学専攻	修了
1989-04 – 1990-03	筑波大学 体育専門学群研究生	
1990-04 – 1995-03	筑波大学 体育科学研究科 体育科学専攻	修了

【職歴】

1922-04 – 1995-03	埼玉大学 教養部 非常勤講師	
1995-04 – 1995-12	筑波大学 体育センター 準研究員	
1992-01 – 2000-11	鹿屋体育大学 助手	
2000-12 – 2004-03	鹿屋体育大学 助教授	
2002-11 – 2003-08	西オーストラリア大学 研究員	
2004-04 – 2007-09	国立大学法人鹿屋体育大学 准教授	
2007-10 – 2009-11	国立大学法人鹿屋体育大学 教授	
2009-12 – 2012-03	国立大学法人筑波大学 大学院人間総合科学研究科 准教授	
2012-04 – (現在)	国立大学法人筑波大学 大学院人間総合科学研究科 教授	

競技レベルが異なる男子ジュニア走幅跳競技者の 踏切動作の特徴

柴田篤志¹⁾、清水 悠²⁾、小山宏之³⁾

Characteristics of the takeoff motions in the male junior long jumpers of different performance levels

Atsushi SHIBATA¹⁾, Yutaka SHIMIZU²⁾, Hiroyuki KOYAMA³⁾

Abstract

The purpose of this study was to compare the characteristics of the takeoff motions in male junior long jumper with different performance levels. The subjects were twenty-four male junior long jumpers and divided into two record based groups: the top group (jump distance, $7.58 \pm 0.13\text{m}$) and the sub group (jump distance, $6.95 \pm 0.12\text{m}$). The takeoff motions of the jumpers were videotaped with two high-speed video cameras and analyzed by DLT techniques. The results were summarized as follows;

1) The horizontal CG velocity at the touchdown of the takeoff for the top group was significantly greater than that of the sub group.

2) Although the top group obtained the greater vertical CG velocity during the takeoff phase than the sub group, the decrease in the horizontal CG velocity for the top group was significantly larger than that of the sub group.

3) The top group planted the foot of the takeoff leg farther ahead the CG at the touchdown than that of the sub group, and that contributed to obtain the vertical CG velocity during the first half of the takeoff phase.

4) Extension velocities of the knee and ankle joints of the takeoff leg for the top group were significantly larger than those of the sub group, and the faster extension of the takeoff leg contributed to gain the larger vertical CG velocity.

キーワード：走幅跳、ジュニア競技者、競技レベル、踏切動作

1. 緒言

日本陸上競技連盟（2015）は2020年に開催される東京オリンピックに向けて、ジュニア競技者の強化のために科学的データによるサポートが重要となると述べ、一流競技者に対する科学的データの収集とフィードバックだけでなく、ジュニア競技者の強化にも科学的手法を重視する必要性を指摘している。

走幅跳のバイオメカニクス的研究や報告の対象は世界一流競技者や日本一流競技者が中心であり、踏切準備や

踏切動作における特徴やそのメカニズムについて多くの検討がなされてきた（Koh and Hay, 1990；深代ほか, 1994；Lees et al., 1994；森 長 ほか, 2003；Philip and Lees, 2005；伊藤ほか, 2009；小山ほか 2010；清水ほか, 2011）。

一方で、ジュニア競技者を対象とした走幅跳のバイオメカニクス的研究は少ない。例えば、インターハイ入賞者を対象として、競技レベルごとの助走速度や踏切準備および踏切局面における動作を検討しジュニア競技者の技術的課題を明らかにしたもの（大村ほか, 2006）、日本一流高校生競技者2名を対象として縦断的な踏切動作の変化を事例的に検討し、競技レベルの向上が著しいジュニア期における踏切技術の変化とパフォーマンスの関係性を明らかにしたものがあるが（柴田ほか, 2015）、いずれも全国規模の大会における事例報告が中心となっている。助走速度に関する研究では幅広い競技レベルを対象とし、高校生競技者から世界一流競技者までの助走速度とパフォーマンスの関係性を明らかにしているが（Koyama et al., 2011）、踏切動作のキネマティクスを明らかにした研究は対象者の競技レベルが極めて限られているのが現状である。

つまり、幅広い競技レベルのジュニア競技者を対象とした踏切動作のキネマティクスのデータは不十分であり、異なる競技レベルのジュニア競技者を対象としてキネマティクスの特徴を明確にすることができれば、ジュニア競技者に対する科学的データによるサポートに活用可能な基礎的知見になる。そして、その知見はジュニア競技者がさらなる競技レベルの向上を目指すためのトレーニングやコーチングに活用できるものになると考え

1) 京都教育大学 Kyoto University of education
〒612-8522 京都府京都市伏見区深草藤森町 1

2) 島根大学 Shimane University
〒690-8504 島根県松江市西川津町 1060

3) 京都教育大学 Kyoto University of education
〒612-8522 京都府京都市伏見区深草藤森町 1

られる。

そこで、本研究の目的は異なる競技レベルのジュニア競技者の踏切動作をキネマティクスの的に比較することでその特徴と課題を明らかにし、ジュニア競技者のパフォーマンス向上のための示唆を得ることである。

2. 方法

2.1 対象者

分析対象者は2013年から2015年に日本国内で行われた競技会に出場したジュニア走幅跳競技者24名であり、跳躍距離によって上位群 (Top-G) 12名と下位群 (Sub-G) 12名に分けた。Table 1は各群の自己記録および分析試技の平均値を示している。跳躍距離の平均値は、上位群 ($7.58 \pm 0.13\text{m}$) と下位群 ($6.95 \pm 0.12\text{m}$) で有意な差がみられた ($p < 0.05$)。なお、跳躍距離は各競技会における公認記録とし、各競技会における気象条件の相違は跳躍動作に影響しないものと仮定した。また、Table 2は本研究で用いた映像を撮影した競技会の一覧である。

2.2 データ収集

各競技会における対象者の全試技をスタンドの最上段に固定した2台のハイスピードカメラ (CASIO 社製, EXILIM EX-F1 または、Panasonic 社製, Lumix DMC FZ-300) を用いて、踏切2歩前から踏切までを毎秒300コマまたは240コマで助走路前方および後方から固定撮影した。また、各競技会の試技撮影前にキャリブレーションポール (高さ2.4m または2.5m) を撮影範囲内の計測

点に順に立て撮影した。なお、これらの撮影は日本陸上競技連盟科学委員会の活動として行われたものである。

2.3 データ処理

本研究では、各対象者におけるすべての試技の中で最も記録の良かった試技を分析対象とし、踏切接地の10コマ前から踏切離地の10コマ後までの身体分析点23点をビデオ動作分析システム (DKH 社製, Frame-DIAS IV) によりデジタル化した。そして、2台のカメラの身体分析点とコントロールポイントの座標から、3次元DLT法を用いて身体分析点23点の3次元座標を得た。なお、3次元座標は進行方向右向きをx軸、進行方向をy軸、鉛直方向をz軸とした。これらの身体分析点の3次元座標は、Wells and Winter (1980) の方法を用いて分析点毎に最適遮断周波数を決定し、Butterworth low-pass digital filter を用いて4.8Hz から7.5Hz で平滑化した。

2.4 算出項目

接地時間、身体重心速度、関節角度および角速度、身体部分角度および角速度などのキネマティクス項目を算出した。

身体重心速度は、阿江 (1996) の身体部分係数を用いて身体分析点の座標データから身体重心座標を算出し、数値微分することによって算出した。角度定義はFig.1に示した。

足関節角度は膝中点と外踝点を結ぶベクトルと外踝点と拇指球を結ぶベクトルのなす角度、膝関節角度は大腿と下腿のなす角度とした。大腿角度は膝中点と大転子を結ぶベクトルが大転子から下ろした鉛直線となす角、下腿角度は足関節外踝と膝中点を結ぶベクトルが膝中点から下ろした鉛直線となす角、体幹角度は左右肩の中点と左右大転子の中点を結ぶベクトルが鉛直線となす角とし、前傾を負、後傾を正とした。また、肩回転角度は左右肩を結ぶベクトルがx軸となす角度とし、左回旋を正とした。腰回転角度は左右大転子を結ぶベクトルがx軸となす角度とし、左回旋を正とした。さらに、捻転角度は肩角度と腰角度の差とした。

2.5 局面定義および規格化

踏切接地 (TD) から踏切離地 (TO) までを踏切局面とし、踏切脚膝関節最大屈曲時 (MKF) を踏切中間としてTDからMKFを踏切前半、MKFからTOを踏切後半に分けた。そして、各局面を50%として踏切局面が100%となるように規格化した。

2.6 統計処理

上位群および下位群の各算出項目間の差を検討するために対応のないt検定を行った。有意水準は5%未満とした。

Table 1 Characteristics of subject.

	Personal best (m)	Age (yrs)	Jump distance (m)
Top-G (n=12)	7.62±0.12	18.1±0.8	7.58±0.13
(max-min)	(7.82-7.40)	(19.0-17.0)	(7.82-7.40)
Sub-G (n=12)	7.16±0.13	17.8±0.6	6.95±0.12
(max-min)	(7.37-6.91)	(18.0-16.0)	(7.19-6.80)
Significant difference	**	N.S.	**

** ; $p < 0.05$

Table 2 Competition data of analysis.

Competition name	Date	Stadium name
第7回日本ユース陸上競技選手権大会	2013.10.18	瑞穂公園陸上競技場
第29回日本ジュニア陸上競技選手権大会	2013.10.20	瑞穂公園陸上競技場
第67回全国高校高等学校陸上競技対校選手権大会	2014.8.1	山梨中銀スタジアム
第8回日本ユース陸上競技選手権大会	2014.10.3	瑞穂公園陸上競技場
第30回日本ジュニア陸上競技選手権大会	2014.10.5	瑞穂公園陸上競技場
第68回全国高校高等学校陸上競技対校選手権大会	2015.7.31	紀三井寺公園陸上競技場
第9回日本ユース陸上競技選手権大会	2015.10.16	瑞穂公園陸上競技場
第31回日本ジュニア陸上競技選手権大会	2015.10.18	瑞穂公園陸上競技場

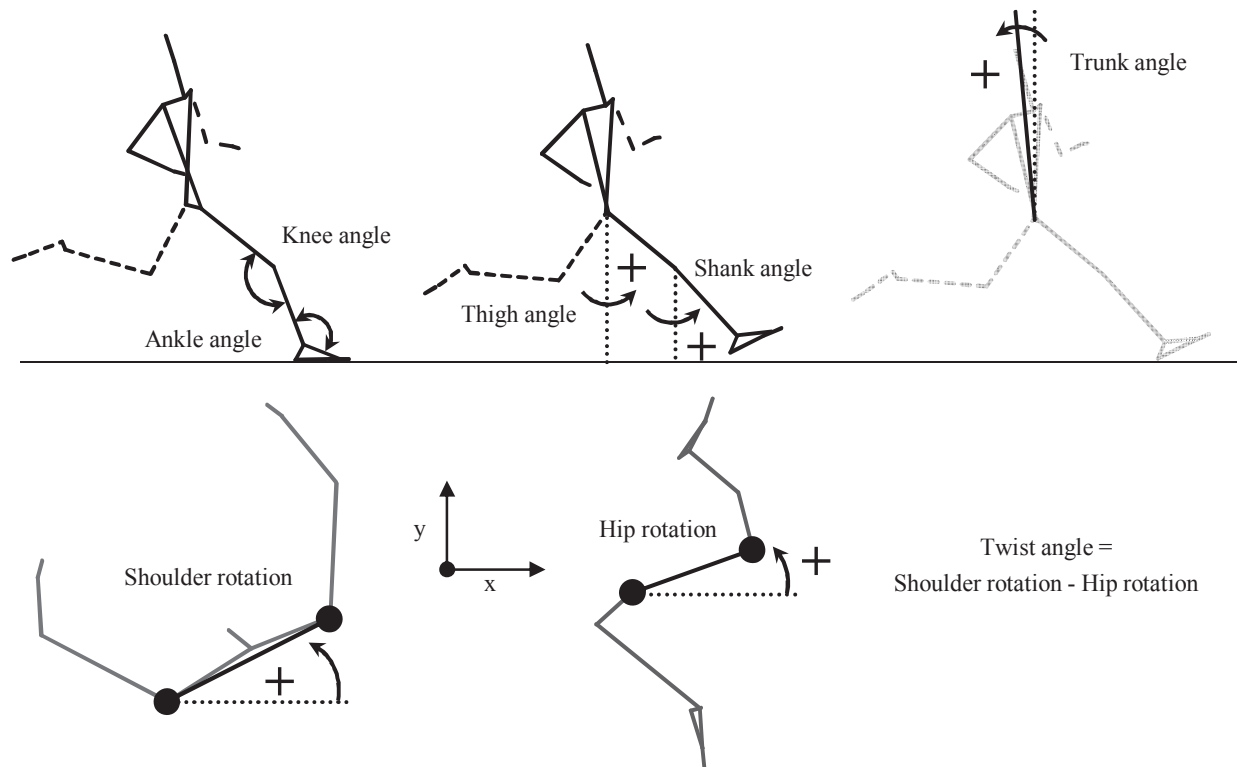


Fig.1 Definitions of joint and segment angles.

3. 結果

3.1 身体重心速度および踏切時間

Table 3 は各時点における身体重心速度および踏切時

間を示している。また、Fig.2 は踏切局面における身体重心の水平速度および鉛直速度の変化を示している。

TD における身体重心の水平速度は上位群が下位群よ

Table 3 C.G. velocities during the takeoff phase.

	Horizontal velocity (m/s)				Vertical velocity (m/s)						Takeoff angle (deg)		Contact time (sec)			
	TD	MKF	TO	∠TD-TO	TD	MKF	TO	∠TD-MKF	∠MKF-TO	∠TD-TO	TO	TD-MKF	MKF-TO	TD-TO		
Top-G	9.94±0.31	8.52±0.34	8.40±0.41	-1.55±0.24	-0.43±0.18	2.12±0.47	3.58±0.25	2.55±0.51	1.46±0.49	4.01±0.29	23.13±2.18	0.052±0.008	0.064±0.009	0.115±0.010		
Sub-G	9.33±0.18	8.44±0.25	8.17±0.30	-1.17±0.26	-0.08±0.16	1.78±0.33	3.08±0.13	1.85±0.37	1.31±0.37	3.16±0.21	20.72±1.37	0.046±0.008	0.072±0.009	0.117±0.010		
Significant difference	**	N.S.	N.S.	**	**	N.S.	**	**	N.S.	**	**	N.S.	N.S.	N.S.		

** ; p<0.05

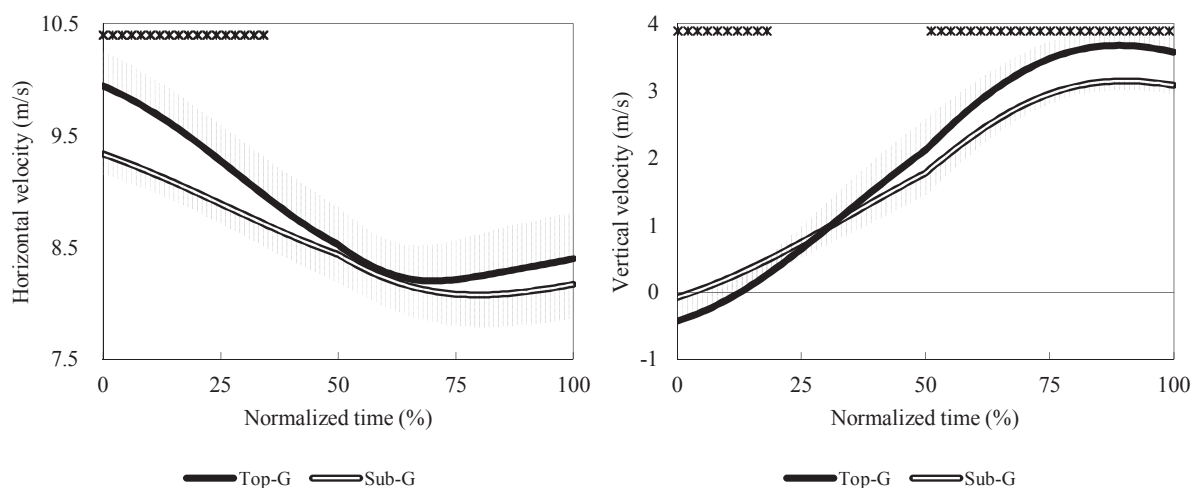


Fig.2 Changes in horizontal (left) and vertical (right) velocities of the C.G. during the takeoff phase. [* ; p<0.05]

り約 0.60m/s ほど有意に大きかったが ($p<0.05$), 35% 時点以降に有意な差はみられず, MKF および TO において有意な差はみられなかった. また, 踏切における水平速度の減速量 ($\angle$ TD-TO) に有意な差がみられ ($p<0.05$), 上位群は踏切局面における減速量が大きかった.

踏切局面における身体重心の鉛直速度には TD および TO において有意な差がみられ ($p<0.05$), 上位群は TD において鉛直下向きの身体重心の鉛直速度が大きく, その後 18% 時点にかけて有意な差がみられた ($p<0.05$). また, MKF で有意な差はみられなかったが MKF 直後の 51% 時点から 100% 時点にかけて有意な差がみられ ($p<0.05$), TO では上位群の鉛直上向きの身体重心の鉛直速度が大きかった. さらに, 踏切局面における鉛直速度の獲得量をみると, 踏切前半における鉛直速度の獲得量 ($\angle$ TD-MKF) に有意な差がみられ ($p<0.05$), 踏切全体における獲得量 ($\angle$ TD-TO) の約 65% を踏切前半で獲得していた.

跳躍角にも有意な差がみられ ($p<0.05$), 上位群が大きな跳躍角で離地していた. 踏切局面の接地時間に有意な差はみられず, 踏切前半時間および踏切後半時間にも有意な差はみられなかったが, 上位群は踏切後半時間が短い傾向がみられた.

3.2 踏切脚の動作

Table 4 は各時点における踏切脚の足関節, 膝関節角度, 大腿角度, 下腿角度を示している.

足関節角度には, TD で有意な差がみられ ($p<0.05$), 上位群は足関節を底屈した姿勢であった. また, 足関節の最背屈角度 (MIN) および TO には有意な差がみられなかった. 膝関節角度には TD および TO において有意な差がみられ ($p<0.05$), 上位群がいずれも伸展位であった. また, 膝関節の屈曲量に有意な差はみられなかったものの, 伸展量には有意な差がみられ ($p<0.05$), 上位群は踏切後半における膝関節の伸展が大きかった. 大腿角度に大きな差はみられず, 各時点における上位群および下位群の大腿の姿勢は類似していた. 下腿角度には TD および TO において有意な差がみられ ($p<0.05$), 上位群は TD において下腿をより後傾させた姿勢であり, 下位群は TO において下腿をより前傾させた姿勢であった.

Fig.3 は踏切局面における踏切脚の足関節角速度および膝関節角速度の変化を示している.

足関節角速度には, 17-62% 時点および 85-100% 時点に有意な差がみられ ($p<0.05$), 上位群は踏切前半における足関節の背屈速度が大きく, 踏切後半から TO にかけては足関節の底屈速度が大きく, そのピーク値も大き

Table 4 Joint and segment angles during the takeoff phase.

	Ankle angle (deg)			Knee angle (deg)					Thigh angle (deg)			Shank angle (deg)		
	TD	MIN	TO	TD	MKF	TO	Flexion	Extension	TD	MKF	TO	TD	MKF	TO
Top-G	129.9±3.0	100.9±3.6	137.2±5.6	165.2±3.2	148.7±2.0	170.3±2.5	-16.5±3.7	21.6±2.5	37.5±3.1	18.9±4.3	-22.3±2.9	24.8±4.0	-11.8±4.0	-31.4±4.1
Sub-G	120.6±5.0	101.1±7.4	137.1±13.6	160.0±4.5	147.7±7.2	164.1±5.8	-12.2±6.3	16.4±6.5	37.5±2.4	19.2±4.1	-20.2±3.3	18.9±5.8	-12.5±6.2	-36.2±4.7
Significant difference	**	N.S.	N.S.	**	N.S.	**	N.S.	**	N.S.	N.S.	N.S.	**	N.S.	**

** : p<0.05

** ; $p<0.05$

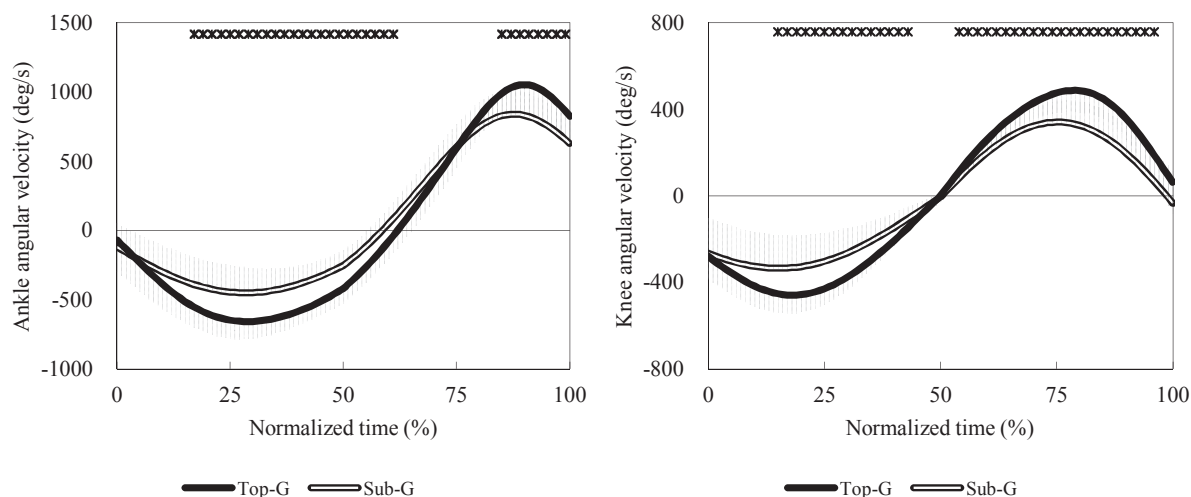


Fig.3 Changes in ankle (left) and knee (right) angular velocities of the takeoff leg during the takeoff phase. [* ; $p<0.05$]

かった。膝関節角速度には、15-44%時点および54-96%時点に有意な差がみられ ($p<0.05$)、上位群は踏切前半における膝関節の屈曲速度が大きく、MKF から TO にかけては膝関節の伸展速度が大きく、そのピーク値も大きかった。

Fig.4 は踏切局面における踏切脚の大腿角速度および下腿角速度の変化を示している。

大腿角速度には 47-99% 時点に有意な差がみられ ($p<0.05$)、上位群は MKF 付近から TO にかけて大腿の前方への回転速度が大きかった。下腿角速度には 20-51% 時点および 78-96% 時点において有意な差がみられ ($p<0.05$)、上位群は踏切前半における下腿の前方への回転速度が大きく、下位群は踏切後半における下腿の前方への回転速度が大きかった。

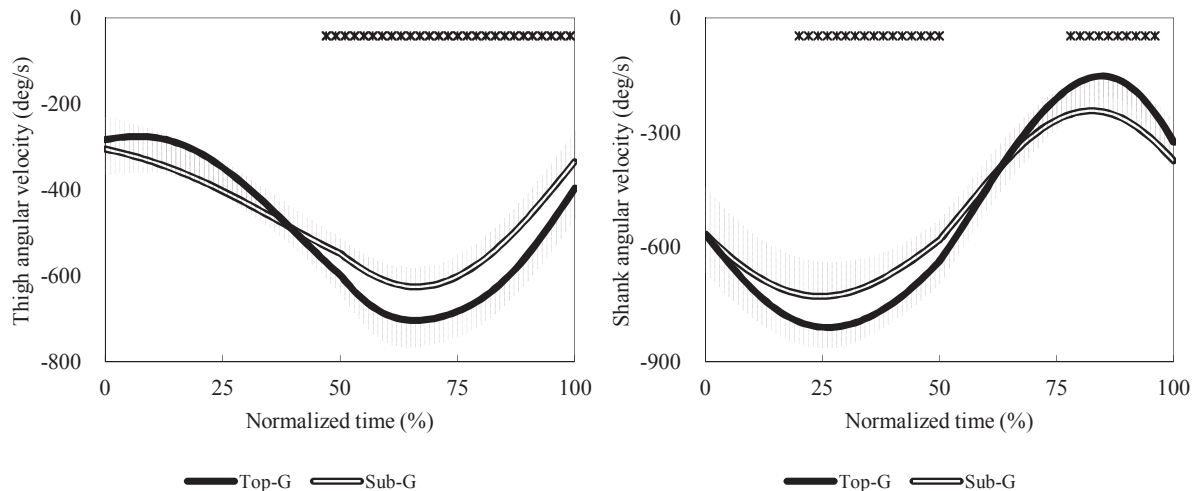


Fig.4 Changes in thigh (left) and shank (right) angular velocities of the takeoff leg during the takeoff phase. [* ; $p<0.05$]

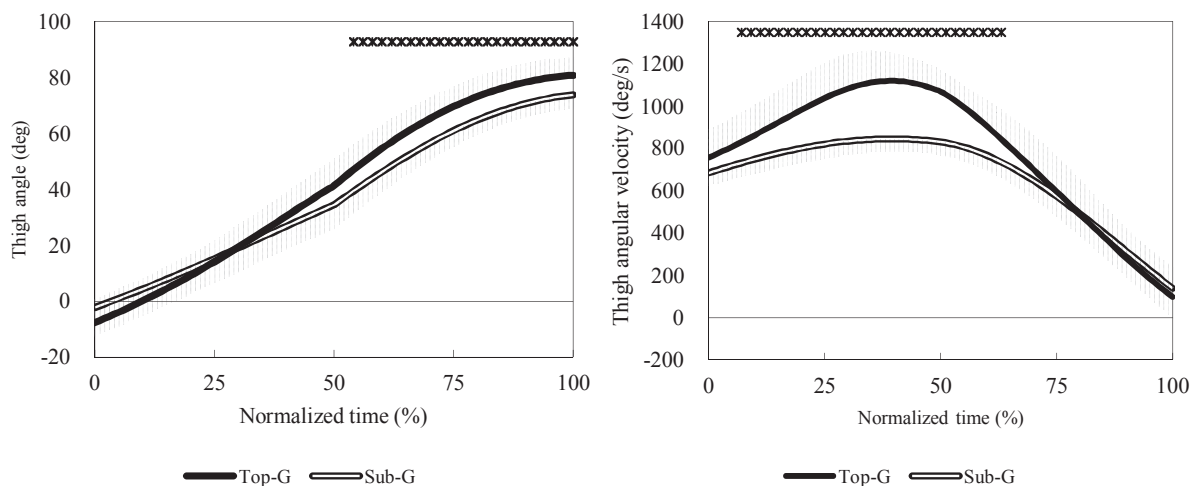


Fig.5 Changes in thigh angle (left) and thigh angular velocity (right) of the free leg during the takeoff phase. [* ; $p<0.05$]

3.3 振上脚の動作

Fig.5 は踏切局面における振上脚の大腿角度および大腿角速度の変化を示している。

大腿角度には 54-100% 時点に有意な差がみられ ($p<0.05$)、上位群は MKF 直後から TO にかけて大腿が前方に位置していた。また、大腿角速度には 7-63% 時点で有意な差がみられ ($p<0.05$)、上位群は TD 直後から MKF 直後にかけて大腿の前方への振り込み速度が大きかった。

3.4 体幹および肩、腰の動作

Table 5 は各時点における体幹角度および、肩回転角度、腰回転角度、捻転角度の変化を示している。

体幹角度には TD で有意な差がみられ ($p<0.05$)、上位群は体幹をより後傾させた姿勢であった。また、踏切

Table 5 Segement angles of the upper limb during the takeoff phase.

	Trunk angle (deg)				Shoulder rotation (deg)				Hip rotation (deg)				Twist angle (deg)		
	TD	MKF	TO	∠TD-TO	TD	MKF	TO	∠TD-TO	TD	MKF	TO	∠TD-TO	TD	MKF	TO
Top-G	12.1±3.4	7.0±4.6	4.9±5.7	-7.2±5.5	-22.6±4.2	-10.7±5.3	7.8±4.6	30.4±6.1	12.5±5.2	-5.6±6	-23.7±6.5	-36.2±8.9	-36.1±5.7	-6.2±7.7	30.5±7.5
Sub-G	6.7±4.3	5.0±3.8	6.1±3.7	-0.6±3.3	-19.4±8.2	-10.1±8.1	10.6±9.7	29.9±8.3	4.1±10.7	-6.7±10.8	-18.7±11.1	-22.8±12.7	-23.5±12.1	-3.5±11.8	29.3±12.1
Significant difference	**	N.S.	N.S.	**	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	**	N.S.	N.S.	**	**	N.S.	N.S.

** ; p<0.05

局面における体幹角度の変化量（∠TD-TO）にも有意な差がみられ（ $p<0.05$ ），上位群は踏切局面における体幹の前傾量が大きかった．肩回転角度には各時点において有意な差はみられず，両群の姿勢は類似しており，肩回転角度の変化量（∠TD-TO）にも差はみられなかった．腰回転角度にはTDで有意な差がみられ（ $p<0.05$ ），上位群は踏切脚側の腰が前方に出ていたが，MKFおよびTOにおける姿勢は類似していた．また，踏切局面における腰回転角度の変化量（∠TD-TO）にも有意な差がみられ，上位群は踏切局面における腰の回転範囲が大きかった．捻転角度にはTDで有意な差がみられ（ $p<0.05$ ），上位群は体幹をより捻った姿勢であったが，MKFおよびTOにおける捻転角度に有意な差はみられなかった．

4. 考察

4.1 身体重心速度と競技レベルの関係

本研究における両群の自己記録に対する分析試技の記録達成率は上位群が $99.5 \pm 0.7\%$ ，下位群が $97.1 \pm 1.5\%$ であり，本研究で分析対象としたジュニア競技者の跳躍は記録達成率の非常に高い試技であったといえる．

走幅跳の跳躍距離はその大部分が踏切離地時の身体重心の速度によって決定されるため，踏切局面では水平速度の減少を最小限にとどめ，大きな鉛直速度を獲得することが重要とされている（Hay, 1993；Lees et al., 1994；村木ほか，2004）．Table 3 および Fig.2 に示したように，踏切離地時の水平速度は上位群がやや大きいものの有意な差はなく，鉛直速度が有意に大きかった．つまり，上位群のより大きな跳躍距離は，水平速度の影響よりも鉛直速度を高めることによって達成されていたと考えられる．

先述したように，先行研究において踏切局面では水平速度の減少を最小限に抑えることが重要であるとされているが，両群の踏切局面における水平速度の減少量は上位群が大きかった．ここで，世界および日本一流競技者の踏切局面における重心速度の変化をみると（清水ほか，2011），踏切における水平速度の減少量は世界一流競技者で $-1.46 \pm 0.21\text{m/s}$ ，日本一流競技者では $-1.48 \pm 0.23\text{m/s}$ と報告されている．すなわち，本研究における上位群の水平速度の減少量は特別に大きいものではなく，下位群の減少量が少なかったと考えられる．このことから，TDにおける水平速度が小さい下位群は水平速度の減速

を少なくすることで水平速度を維持して跳躍距離を獲得しており，一方でTDにおける水平速度が大きい上位群は水平速度の大きな減速を伴う鉛直速度を獲得することで跳躍距離を獲得していたと考えられる．つまり，ジュニア競技者の競技力の発達として，踏切接地時の水平速度を高めることに加え，踏切局面では水平速度の減少を伴うものの鉛直速度を獲得していくことがパフォーマンスの向上につながってくると考えられる．

4.2 競技レベルからみた踏切動作の特徴

踏切局面における重心速度の変化から，上位群の踏切動作は水平速度の減少が大きいものの，踏切局面の前半における鉛直速度の獲得が大きくなる動作であり，下位群の踏切動作は水平速度の減少が比較的少ない動作であったと考えられる．

踏切前半における鉛直速度の獲得は踏切足を中心とした身体の前方向回転によって大部分が生じることが報告されており（Lees et al., 1993），より大きな鉛直速度を獲得するためには踏切足を身体重心のより前方へと接地する必要があるとされている（Coe, 1997）．踏切脚の動作をみると，上位群は踏切接地では踏切脚の下腿を前方へと振り出し，膝関節が伸展位で接地していた．そして，踏切前半では下腿が素早く前方回転していたことから，上位群の踏切前半における動作は，下位群に比べてより大きな鉛直速度を獲得できるものであったと考えられる．一方で，このように身体のより前方に踏切足を接地する姿勢は水平速度の減速を招くとされており（Seyfarth et al., 1999），上位群の方が水平速度の減少が大きかったことと関連していると考えられる．しかしながら，上位群の水平速度の減速は世界および日本一流競技者と同程度であったことから，上位群は下位群と比較すると一流競技者に類似した動作を行っていた可能性が示唆され，跳躍距離獲得のために適切な範囲内の踏切接地時の姿勢であったと考えられる．さらに，両群の踏切前半における踏切脚膝関節の屈曲に着目すると，有意な差はないもの上位群が大きく膝関節を屈曲させていた．踏切脚の膝関節の屈曲を抑制することは鉛直速度の獲得につながり（Philip and Lees, 2005），MKFにおいて踏切脚膝関節の角度が大きく伸展位である試技の跳躍距離が大きいと報告されていることから（森長ほか，2003），踏切局

面の前半においては膝関節の屈曲を抑制することの重要性が広く認識されている。一方で、本研究では上位群で膝関節の屈曲が大きい傾向はみられたが、MKFにおける膝関節の最大屈曲角度が同程度であったことから、踏切接地時に上位群が膝関節を伸展させた姿勢であったことが膝関節の屈曲量に影響していたと考えられ、上位群は大きな水平速度に対して踏切脚の最大屈曲角を下位群と同程度にとどめることでより大きな鉛直速度を獲得していた可能性が考えられる。

また、踏切後半において上位群は下腿の前方回転を抑え、下腿をあまり前傾させない動作であった。小山ほか(2010)は世界一流競技者の踏切動作の特徴から、下腿の前傾が少ない跳躍は大きな鉛直速度の獲得につながることを、下腿を前方へと回転させる動作が水平速度を維持した跳躍につながることを事例的に報告している。つまり、本研究における上位群の踏切後半における動作も大きな鉛直速度の獲得につながるものであったと考えられる。さらに、上位群は踏切後半において踏切脚の足関節および膝関節を素早く底屈・伸展させていた。阿江ほか(1989)は、踏切後半においては踏切脚足関節底屈筋群の concentric な収縮によるパワー発揮が鉛直速度の獲得に貢献することを報告しており、Muraki et al. (2008)は、踏切後半においても足関節および膝関節の底屈・伸展が重心速度の増加に貢献するとしている。さらに、上位群は有意な差はないものの踏切後半において短い時間で大きな鉛直速度を獲得していることから、踏切後半における踏切脚の足関節の底屈および膝関節の伸展は鉛直速度の獲得につながる動作であると考えられる。

振上脚の動作では、踏切の前半から中間において上位群は大腿を大きな速度で前方へと振り込んでおり、踏切後半における大腿の姿勢に大きな違いがみられ、上位群は振上脚をより引き上げた姿勢で踏切離地していた。志賀ほか(2002)は踏切局面における鉛直速度獲得のために、振上脚を前方へと素早く振り込む技術をあげており、上位群の振上脚の動作は鉛直速度の獲得に貢献するものであったと考えられる。また、踏切離地時に大腿を引き上げた姿勢は身体重心を直接的に上方へと引き上げることにつながる姿勢であるため、振上脚を素早く振り込むとともに踏切離地時に振上脚の大腿を引き上げることで高い重心位置で離地できると考えられる。

体幹の動作では、上位群は踏切接地時に体幹を大きく後傾させ、踏切局面では体幹を前方へと回転させながら踏切離地へと向かっていた。清水ほか(2011)は踏切における体幹の動作について、体幹を後傾させることは鉛直速度の獲得には効果的であるが水平速度の減少につながることを報告しており、踏切準備から踏切離地にかけては体幹の前傾を維持してより前方へと跳び出す跳躍の重要性を述べている。つまり、ジュニア競技者の上位群の踏切接地時の体幹の姿勢は鉛直速度の獲得には効果的

であるが、さらなるパフォーマンスの向上を目指すためには、より前傾した姿勢で踏切接地し、その後の踏切局面においては体幹の前傾を維持するような動作が求められる可能性が示唆される。

肩および腰の動作に関して、本研究では肩の回転に大きな違いはみられず、腰の回転では上位群が踏切接地で踏切脚側の腰を前方へと出した姿勢であり、体幹の捻りが大きかった。深代ほか(1994)は踏切局面における体幹の捻り幅と助走速度に正の相関があり、助走速度が大きいほど踏切中の上体の捻りが大きいことを報告している。つまり、助走速度が大きい上位群が踏切中の体幹の捻りが大きかったことは、深代ほか(1994)の結果と一致するものであった。すなわち、上位群は振上脚側の腰が後方に残った姿勢で接地し、腰を素早く回転させながら振上脚を素早く振り出しており、この動作が鉛直速度の獲得と関連していた可能性が考えられる。一方で、世界一流競技者は振上脚側の腰を前方に引き出した姿勢で接地するほど踏切局面における鉛直速度の獲得が大きく、振上脚側の腰が後方に残った姿勢で接地するほど水平速度が維持されるという報告があり(小山ほか, 2010)、本研究とは異なる結果が示されている。これらの結果の相違には、対象者の競技レベルが先行研究と本研究で異なることも影響していると考えられるが、踏切中の体幹の捻りに関する先行研究が少なく一定の見解が得られていないことから、今後さらなる検討をしていく必要があるといえるであろう。

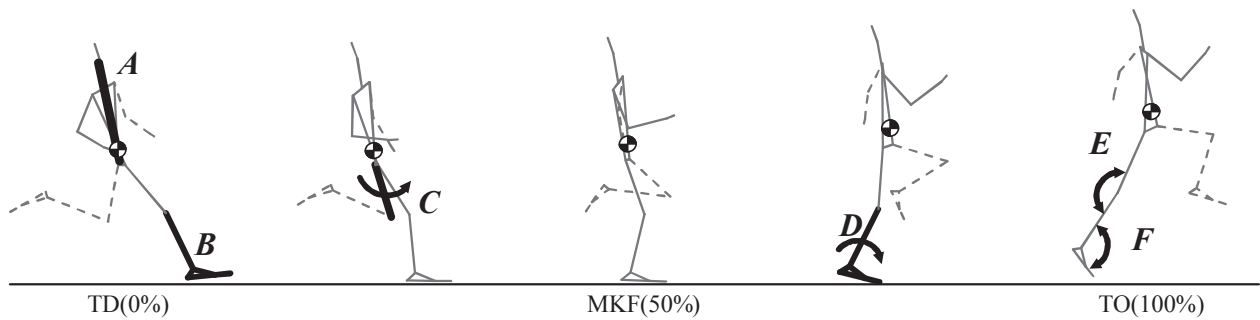
以上のような上位群の踏切局面における動作の特徴をFig.6に示した。

5. まとめ

本研究の目的は、異なる競技レベルのジュニア競技者の踏切動作をキネマティクスの分析し、比較することでその特徴と課題を明らかにし、ジュニア競技者のパフォーマンス向上のための示唆を得ることであった。

本研究で得られた結果をまとめると以下となる。

- ①上位群はTDにおける重心速度の水平速度が大きかったが、TOにおいては同程度であり、踏切局面における水平速度の減少が大きかった。
- ②上位群は踏切局面の前半で大きな鉛直速度を獲得し、踏切後半においても短い時間で大きな鉛直速度を獲得することでTOにおける鉛直速度が大きく、跳躍距離の獲得に貢献していた。
- ③上位群の踏切脚の動作は、踏切前半では踏切脚を伸展させることで重心のより前方に踏切足を接地し、下腿を素早く前方へと回転させることが鉛直速度の獲得に貢献していた。踏切後半においては足関節および膝関節を素早く底屈・伸展させる動作が鉛直速度の獲得に貢献していた。



- A** : Backward lean of the trunk was larger at the touchdown.
B : Backward lean of the shank of the takeoff leg was larger at the touchdown.
C : Forward swing of the free leg was faster during the 1st half of the takeoff.
D : Range of forward rotation of the shank of the takeoff leg was smaller during the 2nd half of the takeoff.
E・F : Extension velocities of the knee and ankle joints of the takeoff leg were faster during the 2nd half of the takeoff.

Fig.6 Characteristics of the takeoff motions of Top-G.

④上位群の上体の動作は、TDにおいて体幹を後傾させており、水平速度の減少を伴うものの大きな鉛直速度の獲得に貢献しており、踏切中の体幹の捻りも大きかった。

以上のことから、競技レベルの高いジュニア競技者は助走で大きな水平速度を獲得し、踏切局面では水平速度の減速を伴いながらも、大きな鉛直速度を獲得する動作を行うことで、跳躍距離を獲得していたことが明らかになった。

つまり、本研究における下位群に相当する競技レベルのジュニア競技者は助走で獲得することのできる速度を向上させ、より大きな速度で踏切に入ることであり、より大きな鉛直速度を獲得することのできる上位群の踏切動作に近づく技術的な取り組みを行うことが重要である。また、上位群の踏切局面における水平速度の減速および鉛直速度の獲得量は世界および日本一流競技者と比較して大きな差がなかったことから、下位群にあたるジュニア競技者がパフォーマンスを向上させる過程において、助走速度の増加に伴い踏切局面でより大きな水平速度の減少が生じるが、その水平速度の減少量の増加はパフォーマンスの向上に必要な範囲内のものであるといえるであろう。

さらに、上位群の踏切局面における動作には一流競技者の知見と類似するものがみられたことから、競技レベルの高いジュニア競技者に対しては一流競技者の知見を適応することが可能であり、踏切局面における動作の技術トレーニングの際には一流競技者を対象とした知見を活用することが可能であるといえるであろう。

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) トルクおよびトルクパワーからみた走幅跳における踏切脚筋群の機能. 陸上競技紀要, 2 : 2-9.

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. Japan Journal of Sports Sciences, 15 (3) : 155-162.

Coe, M. (1997) Kinematic-dynamic analysis of the takeoff action in the long jump. Track Coach, 139, 4443-4453.

深代千代, 若山章信, 小嶋俊久, 伊藤信之, 新井健宏, 飯干 明, 淵本隆文, 湯海鵬 (1994) 走幅跳のバイオメカニクス. 世界一流競技者の技術, ベースボール・マガジン社, pp.135-151.

Hay, J. G. (1993) Citius, Alutius, Longius (faster, higher, longer) : The Biomechanics of jumping for distance. Journal of Biomechanics, 26 (1) : 7-26.

伊藤信之, 阿江通良, 小山宏之, 村木有也, 図子浩二, 松尾彰文, 山田真由美, 平野裕一 (2009) 日本一流走幅跳選手における踏切準備動作. 陸上競技学会誌, 7 : 8-17.

Koh, T. J. and Hay, J. G. (1990) Landing Leg Motion and Performance in the Horizontal Jumps I: The Long Jump. International Journal of Sport Biomechanics, 6 : 343-360.

小山宏之, 村木有也, 吉原 礼, 永原 隆, 柴山一仁, 大島雄治, 高本恵美, 阿江通良 (2010) 走幅跳のバイオメカニク的分析. 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術. 財団法人日本陸上競技連盟 : 154-164.

Koyama, H., Muraki, Y., and Ae, M. (2011) Target value for the maximum run-up speed of the long jump based on the performance level. Proceedings of the 29th Conference of the international Society of Biomechanics in Sports, ISBS : 299-302.

Lees, A., Flower, N. and Derby, D. (1993) A biomechanical analysis of the last stride, touchdown and take-off characteristics of the women's long jump. Journal of

- Sports Science, 11 : 303-314.
- Lees, A., Graham-smith, P., and Fowler, N. (1994) A biomechanical analysis of the last stride, touchdown and takeoff characteristics of the men's long jump. *Journal of Applied Biomechanics*, 10 : 61-78.
- 森長正樹, 安井年文, 重城 哲, 加藤弘一, 岡野雄司, 小山裕三, 澤村 博 (2003) 走幅跳の成功試技と失敗試技における踏切および踏切準備動作の相違. 陸上競技研究, 52 (1) : 12-21.
- 村木有也, 阿江通良, 小山宏之, 伊藤信之, 山下訓史 (2004) 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, 陸上競技の医科学サポート研究 REPORT 2003, 3 (1) : 87-90.
- Muraki, Y., Ae, M., Koyama, H., and Yokozawa, T. (2008) Joint Torque and Power of the Takeoff Leg in the Long Jump. *International Journal of Sport and Health Science*, 6 : 21-32.
- 日本陸上競技連盟 (2015) 2015 競技者育成プログラム. 公益財団法人日本陸上競技連盟 : 東京.
- 大村一光, 飯干 明, 小山宏之, 村木有也, 阿江通良 (2006) 男子ジュニアトップ走幅跳選手における助走と踏切について. 陸上競技研究, 67 (4) : 27-35.
- Philip, G. and Adrian, L. (2005) A three-dimensional kinematic analysis of the long jump take-off. *Journal of Sports Science*, 23 (9) : 891-903.
- Seyfarth, A., Friedrichs, A., Wank, R., and Blickhan, R. (1999) Dynamics of the long jump. *The Journal of Biomechanics*, 23 : 1259-1267.
- 柴田篤志, 小山宏之, 清水 悠 (2015) 高校生トップ走幅跳選手のパフォーマンス変化と踏切動作の特徴. 陸上競技研究紀要, 10 : 113-117.
- 志賀 充, 永井 純, 尾縣 貢, 宮下 憲, 大山卞圭悟 (2002) 走幅跳における踏切準備及び踏切局面の身体動作と記録の関係. 陸上競技研究, 51 (4) : 9-17.
- 清水 悠, 阿江通良, 小山宏之, 村木有也 (2011) 標準動作モデルからみた一流走幅跳選手の踏切準備および踏切動作の特徴. 陸上競技研究, 85 (2) : 23-30.
- Wells, R. P. and Winter, D. A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics normal, pathological and sporting gaits. *Human Locomotion*, 1 : 92-93.

短距離走スタートにおける第1歩目への着地からみた ブロッククリアランスと加速様態に関する研究

篠原康男¹⁾, 前田正登²⁾

Block clearance and acceleration patterns in sprint starts with a focus on landing of the first step

Yasuo SHINOHARA¹⁾, Masato MAEDA²⁾

Abstract

In this study, we examined block clearance and acceleration patterns in sprint starts by focusing on landing of the first step. Participants were 18 male sprinters who performed a 30-m start dash from starting blocks as in a typical sprint race. Four video cameras (60 Hz) were used to record the block clearance motion and sprint motion of each sprinter during the start. Cluster analysis was used to classify the participants according to the type of first-step landing as an indicator of the time and distance traveled by the center of gravity until the landing of the first step. Consequently, the participants were divided into three groups: Group A (more distant first-step landing), Group C (quicker first-step landing), and Group B (intermediate). The rotation angle of the inverted pendulum model at the set position was significantly greater in Group A than in Group C. Horizontal distance from the forefoot toe to the center of gravity at the set position was significantly shorter in Group A than in Group C. The change in length of the inverted pendulum and the angular displacement of its rotation angle during block clearance were significantly greater in Group A than in Group C. Horizontal and vertical displacement of the center of gravity during block clearance was significantly greater in Group A than in Group C. During the entire acceleration, including block clearance, the step length was significantly greater in Group A than in Group C, and conversely, step frequency was significantly higher in Group C than in Group A. From block clearance until the third step, running speed was significantly higher in Group A than in Group C, but after 5 m, there was no significant difference between the two groups. Taken together, these results show that the sprint characteristics of the block clearance and acceleration phases differ according to the landing of the first step, and suggest that there is an ideal block clearance method for achieving a suitable first-step landing. Furthermore, acceleration after the first step may be affected by the method of first-step landing.

キーワード：クラウチングスタート、スターティングブロック、ブロッククリアランス、第1歩目

1. 緒言

陸上競技の短距離走は、疾走速度を基に、加速局面およびトップスピード局面、減速局面という3つの局面に

分けられ (Mero et al, 1992; 土江, 2008), これらの局面の中でも、トップスピード局面における最大疾走速度とゴールタイムの間には非常に強い相関関係がある (阿江ほか, 1994; 松尾ほか, 2008) ことが明らかになっている。一方、加速局面はトップスピード局面につながる局面であり、身体を加速させた結果としてトップスピードに至るものと考え、加速局面の役割は極めて重要であると考えられる (土江, 2008)。

短距離走では、クラウチングスタートでの出発が義務づけられており、スターティングブロックから離地するまでのブロッククリアランス、そしてブロッククリアランス後の第1歩目以降、選手は疾走速度を加速させ、トップスピードへと至る。疾走速度はステップ長とステップ頻度の積で決まることから (阿江, 2004), 疾走速度の増加には、ステップ長とステップ頻度のいずれかが大きくなる必要がある (土江ほか, 2010; 豊嶋ほか, 2015)。永原・図子 (2013) は、女子短距離選手を対象とした加速局面全体にわたる1歩ごとの加速度とステップ変数の変化率の関係について検討し、スタート直後から第8歩目まではステップ長を大きく増加させることが効果的な加速に重要であると報告している。一方で、Nagahara et al. (2014) は、男子短距離選手においては、スタート直後から第3歩目の加速局面初期ではステップ頻度を増大させることが重要であり、第5歩目から第15歩目までの加速局面中盤ではステップ長を増大させることが重要であると報告している。また、加速局面におけるステップ長およびステップ頻度の増加の仕方に着目した研究もみられている。内藤ほか (2013) は、短距離走選手におけるステップ長とステップ頻度のいずれかの優位性に着目してステップタイプを分類し、ステップタイプ毎の

1) 立命館大学共通教育推進機構 Institute for General Education, Ritsumeikan University
〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1

2) 神戸大学大学院人間発達環境学研究科 Graduate School of Human Development and Environment, Kobe University
〒657-8501 兵庫県神戸市灘区鶴甲 3-11

100m レースにおける加速局面の疾走動態を検討している。その結果、ステップタイプ間の 100m レースタイムおよび疾走スピードに有意な差は認められなかったものの、加速局面の疾走動態は異なること、ステップタイプによって、高いスピードを示す競技者の加速局面の疾走動態の特徴は異なる可能性があることを示している。

このように、短距離走における加速の仕方について、ステップ変数に着目した検討がなされているものの、これらの研究の多くが、スターティングブロックからの発走（以下、「ブロッククリアランス」とする）を分析対象には含めておらず、ブロッククリアランスにおける発走を含めて加速の仕方を検討したものは少ない。このことについて、篠原・前田（2013）は、スターティングブロックに加えられた力積と第 1 歩目で加えられた力積に有意な負の相関関係がみられたことから、ブロッククリアランスで大きな速度を獲得するか、第 1 歩目で獲得する速度を高めるか、選手の加速方略に合わせてスタートを行っているかと述べている。また、ブロッククリアランスでの加速は静止した状態から加速するため、レース全体を通して最も速度の増加量が大きいことも踏まえると、スターティングブロックからの発走も加速の一部として検討する必要があるといえる。しかし、スターティングブロックからどのようにクリアランスするかが、その後のステップにおける加速とどのように関係するかについては、ほとんど検討されていない。

ブロッククリアランスについては、指導書（土江、2011）において、ブロッククリアランス時の身体重心の移動の仕方から、「伸び上がり式スタート」、「倒れ込み式スタート」、伸び上がりと倒れ込みの両方を兼ね備えた「中間式スタート」の 3 つのタイプが提案されている。このことについて、金高ほか（2005）や篠原・前田（2014）は、前足の足先と身体重心を仮想の線分で結んだ逆振り子モデル（Jacobs and Schenau, 1992）を用いて、「回転運動」と「伸展運動」からブロッククリアランス動作を検討している。しかし、これらの報告はブロッククリアランス中の動作に特に着目したものであり、ブロッククリアランス後の第 1 歩目着地の仕方からブロッククリアランスを検討した研究はみられていない。指導書（日本陸上競技連盟, 1988）では、短距離走のレースを考える際、号砲への反応で動き出してから第 1 歩目を 1 つのまとまりとして、最適な位置に第 1 歩目を着くことが指摘されている。吉岡（1959）も短距離走のスタートで最もよいスタートをするためのポイントのひとつに、第 1 歩目の歩幅と着地方法を挙げている。また、Schot and Knutzen（1992）の研究によると、スタートラインから前足までが脚全体の長さの 60% の距離としたエロンゲータッドスタートでは、スタートラインから前足までが脚全体の長さの 50% の距離としたパンチスタートに比べて、第 1 歩目が大きかったことが報告されている。

このことから、第 1 歩目の着地には、ブロッククリアランス局面に含まれるスターティングブロックの設置位置も少なからず影響するものと考えられる。したがって、これらの報告を踏まえると、短距離走のスタートにおける発走の仕方を検討する上で、従来までの検討のようにブロッククリアランス中の動作のみに着目するのではなく、静止した Set の状態から第 1 歩目の着地までを含めた一連の流れとして、ブロッククリアランスやそのタイプを検討する必要があるといえる。

本研究では、短距離走スタートにおけるブロッククリアランスを含めたスタートでの加速について、1) Set の状態から第 1 歩目の着地までを一連の流れとして、特に第 1 歩目の着地の仕方からブロッククリアランスのタイプを検討し、2) ブロッククリアランスのタイプが第 1 歩目以降の加速における疾走速度やストライド、ピッチなどのステップ変数とどのように関係するかについて検討して、短距離走スタートにおける加速方略に関する基礎的な知見を得ることを目的とした。

2. 方 法

2.1 被験者

被験者は、大学陸上競技部に所属する男子短距離選手 18 名とした。なお、被験者には実験前に研究の目的、実験方法及び測定時の危険性などについて十分に説明を行った後、実験参加の了解を得た。実験は、「神戸大学大学院人間発達環境学研究科における人を直接の対象とする研究に関する規程」に則り行われた。

2.2 実験方法

実験はオールウェザートラックの競技場にて、十分なウォーミングアップの後に実施した。実験試技は、競技会を想定したスターティングブロックからのクラウチングスタートとし、試技は 2 回とした。試技前には、各被験者が競技会を想定したスタートを実験試技で行えるように、競技会および日常のトレーニングの際に用いているスターティングブロックの配置と同じ位置に設定した。また、疲労の影響が無いように、被験者には試技間に十分な休息を与えた。なお、被験者の発走の合図は日本陸上競技連盟競技会規則第 162 条に準拠（「On your marks」と「Set」）し、発走の合図にスタート信号器（JESTAR, ニシ・スポーツ社製、以下「JESTAR」とする）を用いた。被験者には発走のスタート音がピストル音とは異なることを説明し、十分に練習して発走の合図に慣れさせた上で実験試技を行わせた。

Set 時から被験者が 30m 付近に達するまでのブロッククリアランスを含めたスタートおよび加速局面の疾走の様子を、完全に同期した 4 台のビデオカメラ（DXC-200A: SONY 社製; 2 台, XC-009: SONY 社製; 2 台）を用いて撮影した（図 1）。撮影速度は 60fps、シャッタースピー

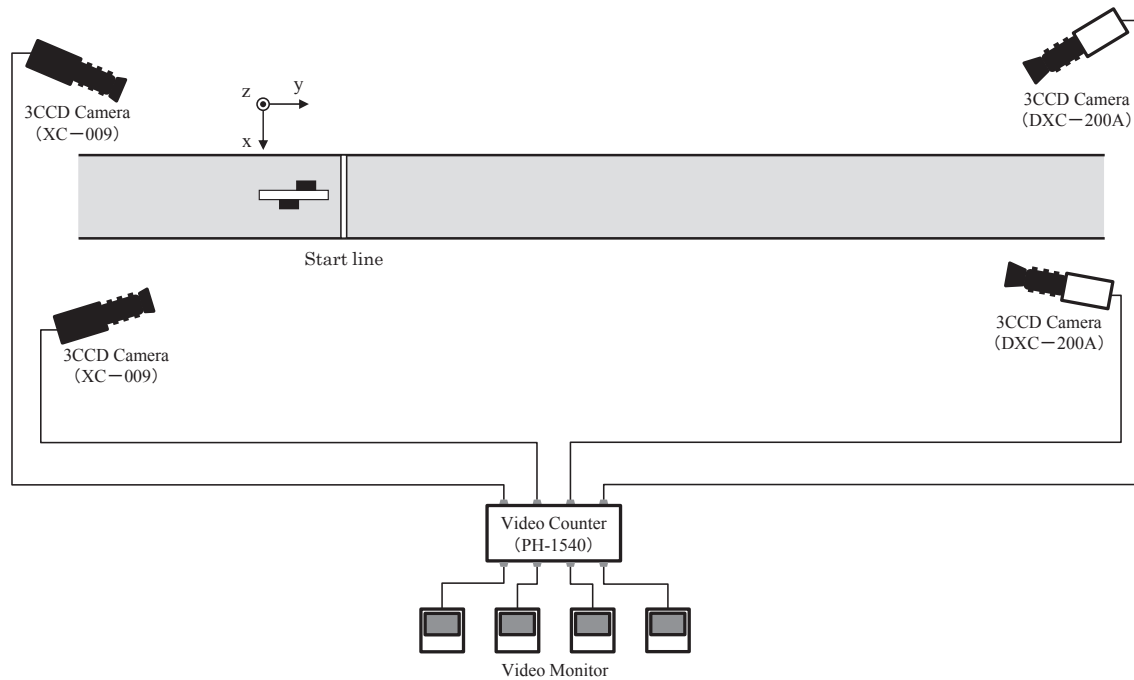


図1 実験構成図

ドは 1/250 秒であった。撮影範囲は、疾走区間におけるスタートラインの後方 2m 区間を含めたスタートラインから 30m 付近までの区間とした。これらのカメラは、できる限り撮影範囲から離して配置するように配慮し、スタートライン前方および後方ともに左右のカメラ間距離は約 7m、前方と後方のカメラ間距離は約 75m に設定した。後述するが、本研究のカメラ配置は、被験者の進行方向に誤差が大きくなりやすいものとなっている。そのため、キャリブレーションを行う際のコントロールポイントの設置箇所については、被験者の左右方向には 3 箇所、高さ方向には 5 箇所としたのに対し、進行方向には 8 箇所とより多くのコントロールポイントを配置して、計 120 箇所とし、カメラ配置の欠点を補うよう配慮した。なお、撮影に用いた 4 台のカメラのうち、スタートライン後方のカメラ 1 台に JESTAR の発光（発走の合図）が写り込むようにした。また、スタートラインから 30m 地点の通過タイムについても、計測員を配置して計測した。

2.3 試技分析

分析は、Set の時点から被験者が 30m 地点を通過する時点までとし、測定した 2 回の試技のうち、被験者の内省が良く、計測員により手動で計測した 30m 地点通過時の疾走タイムが良かった試技を分析対象とした。分析に用いた試技について、撮影により得られた映像をコンピュータに取り込み、3 次元動作解析ソフトウェア (Frame-DIAS IV, DKH 社製) を用いて、身体 23 点をデジタイズし、3 次元 DLT 法による分析を行った。デジ

タイズにより得られた 3 次元座標から、進行方向と鉛直方向の 2 次元座標を得た。得られた座標データは Butterworth low-pass digital filter を用いて平滑化を行った。このときの遮断周波数は先行研究（堀ほか、2011；加藤・三村、2010；篠原・前田、2014）を参考に 6Hz とした。平滑化した座標値を用いて、身体重心の位置座標を求めた。算出には阿江 (1996) が報告したモデル（日本人アスリート）を用いた。なお、本研究では左右方向を X 軸（被験者の右方向を正）、選手の前後方向を Y 軸（被験者の進行方向を正）、鉛直方向を Z 軸（被験者の鉛直上向きを正）とした。また、本研究では実験を 5 回に分けて実施し、測定日ごとにキャリブレーションを行った。DLT 法によるキャリブレーションによる標準誤差を測定日ごとに求めた結果、キャリブレーションによる標準誤差は X 軸方向で $0.88 \pm 0.19\text{cm}$ 、Y 軸方向で $3.11 \pm 0.45\text{cm}$ 、Z 軸方向で $0.89 \pm 0.46\text{cm}$ であった。このことから、X 軸方向および Z 軸方向は良好なキャリブレーションであったと考えられるものの、進行方向である Y 軸方向の標準誤差は他の軸と比べてやや大きく、以降の考察はこれらの標準誤差を考慮して進めた。

2.4 分析項目

本研究では、Set から前足が前ブロックから離れるまでをブロッククリアランスとし、前ブロックから前足が離れた時点をブロッククリアランス時とした。また、ブロッククリアランス後に第 1 歩目の接地足が地面に着地した時点を第 1 歩目着地時、第 1 歩目の接地足が地面から離地する時点を第 1 歩目離地時とした。以降、各被験

者が 30m 地点を通過するまでの各ステップについても、第 n 歩目の接地足が地面に着地した時点を第 n 歩着地時、第 n 歩目の接地足が地面から離地する時点を第 n 歩離地時とした (図 2)。

本研究では、以下の分析項目を算出した。

(1) 30m 通過タイム (s)

JESTAR による発走の合図に対して、被験者が発走を開始した時点 (以下、「スタート音への反応時点」とする) から 30m 地点の通過時点までの時間を 30m 通過タイムとして算出した。なお、本研究ではスタート音への反応時点について、先行研究 (Morin et al., 2010; 加藤ほか, 2013) を参考に、身体重心速度の水平成分が 0.2m/s を上回った時点とした。その際、身体重心速度の水平成分は $1/60$ 秒間隔で算出されていることから、 0.2m/s を上回った前後のコマにおける重心速度の値を用いて直線内挿し、スタート音への反応時点を $1/100$ 秒まで分解能を上げて求めた。また、30m 地点の通過時点については、30m 地点を通過する前後のコマにおける身体重心の水平位置変位を用いて、直線内挿し、30m 地点の通過時点を $1/100$ 秒まで分解能を上げて求めた。

(2) ストライド (m)

本研究では、被験者が 30m 地点を通過するまでのブロッククリアランスおよび各ステップのステップ長 (以下、「ストライド」とする) は、Set 時および各ステップにおける着地時の身体重心位置を用いて算出するものとした。したがって、Set 時および各ステップにおける着地時の身体重心位置については、Set 時を CG_{set} 、第 1 歩目着地時を CG_{on_1} 、以降、第 n 歩目着地時を CG_{on_n} 、…として定義し (図 2)、ブロッククリアランスのストライドについては CG_{set} から CG_{on_1} までの身体重心位置の水平移動距離、第 1 歩目のストライドについては CG_{on_1} から CG_{on_2} までの身体重心位置の水平移動距離とした。以降、第 n 歩目のストライドについては、 CG_{on_n} から CG_{on_n+1} までの身体重心位置の水平移動距離とし

て、ストライドはすべて各歩における着地時の身体重心位置の水平距離として算出した。

(3) ピッチ (Hz)

被験者が 30m 地点を通過するまでのブロッククリアランスおよび各ステップのステップ頻度 (以下、「ピッチ」とする) については、例えば、ブロッククリアランスのピッチは CG_{set} から CG_{on_1} までの所要時間の逆数を、第 1 歩目のピッチは、 CG_{on_1} から CG_{on_2} までの所要時間の逆数をピッチとして算出した。なお、ブロッククリアランスについては、スタート音への反応時点を CG_{set} の時点として CG_{on_1} までの所要時間を求めたうえでピッチを算出した。

(4) 疾走スピード (m/s)

ブロッククリアランスおよび各ステップにおけるストライドとピッチの積を疾走スピードとして算出した。

(5) 接地期距離および滞空期距離 (m)

Set 時とブロッククリアランス時および各ステップにおける着地時と離地時の身体重心位置から、接地足が地面に着地してから離地するまでの接地中に身体重心が移動した水平距離 (以下、「接地期距離」とする)、および接地足が離地してからもう一方の足が地面に着地するまでの間に身体重心が移動した水平距離 (以下、「滞空期距離」とする) を算出した (福田ほか, 2013)。なお、ブロッククリアランス時および各ステップにおける離地時の身体重心位置については、ブロッククリアランス時を CG_{BCL} 、第 1 歩目離地時を CG_{off_1} とし、以降、第 n 歩目離地時を CG_{off_n} 、…として定義した (図 2)。着地時も含めこれらの定義をもとに、ブロッククリアランスの接地期距離については、 CG_{set} から CG_{BCL} までの身体重心位置の水平移動距離とし、ブロッククリアランスの滞空期距離については、 CG_{BCL} から CG_{on_1} までの身体重心位置の水平移動距離とした。以降、第 n 歩目の接地期距離については、 CG_{on_n} から CG_{off_n} までの身体重心位置の水平移動距離とし、第 n 歩目の滞空期距離については、

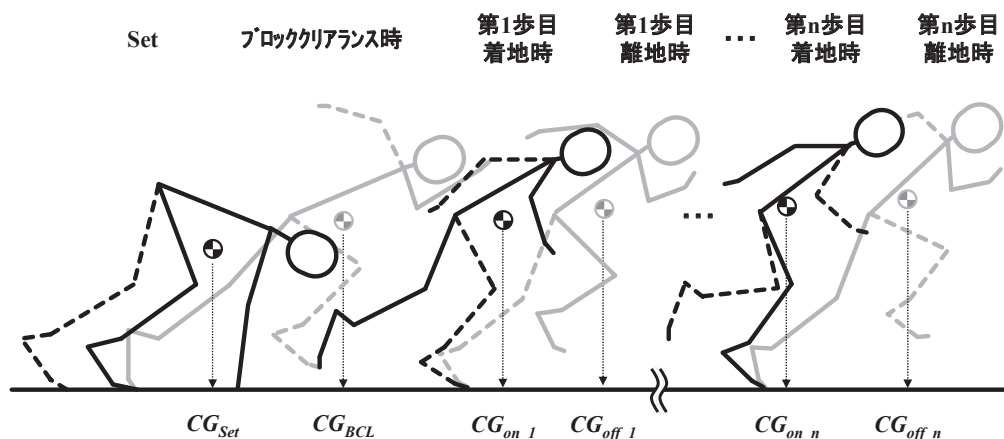


図 2 Set 時とブロッククリアランス時および各ステップにおける着地時と離地時の身体重心位置と各時点を表す略図

$CG_{off,n}$ から $CG_{on,n+1}$ までの身体重心位置の水平移動距離として、それぞれ求めた。

(6) 接地時間および滞空時間 (s)

ブロッククリアランスにおける接地時間と滞空時間については、スタート音への反応時点 (CG_{set}) からブロッククリアランス時 (CG_{BCL}) までの所要時間を接地時間とし、ブロッククリアランス時 (CG_{BCL}) から第1歩目着地時 ($CG_{on,1}$) までの所要時間を滞空時間とした。以降、各ステップについては、第 n 歩目の $CG_{on,n}$ から $CG_{off,n}$ までの所要時間を第 n 歩目の接地時間とし、第 n 歩目の $CG_{off,n}$ から $CG_{on,n+1}$ までの所要時間を第 n 歩目の滞空時間として、それぞれ求めた。

(7) ブロッククリアランスにおける動作に関する各変量

本研究では、ブロッククリアランスにおける動作について、先行研究 (金高ほか, 2005; 金高ほか, 2009; 三井ほか, 2003) を参考に、前足つま先と身体重心を結ぶ仮想の線分が、前足つま先を中心として前方に回転しながら縮伸する逆振り子モデル (Jacobs and Schenau, 1992) を用いて検討した (図3)。分析項目のうち、逆振り子の長さ (r) と逆振り子の回転角度 (θ_{CG}) については、Set 時の値とブロッククリアランス時の値の差分から、長さの変化量および回転角度の角変位をそれぞれ算出した。逆振り子の伸展速度 (Vr) と逆振り子の回転角速度 (ω) については、ブロッククリアランスでの逆振り子の長さの変化量と逆振り子の回転角度の角変位をブロッククリアランスにおける接地時間で除することによって、ブロッククリアランスにおける平均伸展速度および平均角速度をそれぞれ求めた。また、前足つま先から身体重心までの水平距離 (D_{CG}) については、Set 時とブロッククリアランス時の値をそれぞれ算出し、そ

の差分からブロッククリアランスでの身体重心の水平変位を算出した。なお、逆振り子の回転角速度は時計回り (前方への回転) を正とした (木野村ほか, 2012)。

また、これらの項目とは別に、ブロッククリアランス時の身体重心の速度について、水平成分および鉛直成分ごとにそれぞれ算出した。

(8) 第1歩目の着地に関する各変量

各被験者の第1歩目の着地について、第1歩目を着地するまでに要した時間 (以下、「第1歩目を着地するまでの時間」とする) と第1歩目を着地するまでに移動した距離 (以下、「第1歩目を着地するまでの移動距離」とする) の2つの変量を算出した。本研究では、第1歩目を着地するまでの時間については、先行研究 (坂田ほか, 1996) を参考に、スタート音への反応時点から第1歩目を着地するまでとした。また、第1歩目を着地するまでの移動距離については、 CG_{set} から $CG_{on,1}$ までの身体重心位置の水平移動距離とした。

さらに、第1歩目の着地足が着地した位置 (以下、「第1歩目の着地位置」とする) について、着地足のつま先とスタートラインまでの水平距離を算出した。

2.5 統計処理

本研究では、各被験者の第1歩目の着地の仕方を分類するために、第1歩目を着地するまでの時間と第1歩目を着地するまでの移動距離の2つの変量を用いて、第1歩目の着地の仕方の群分けを行った。短距離走スタートにおける第1歩目については、指導書 (阿部, 2004) において、短距離走のスタートにおける技術のチェック項目として、第1歩目を着く位置が挙げられており、第1歩目の着地する位置を目印によって変えるという練習プログラムがスタート技術の練習方法として紹介されている。また、別の指導書 (シュモリンスキー, 1982) では、短距離走のスタート練習における観察点として、「できるだけ遠くに素早く第1歩目を着地」することが挙げられている。これらの指導書をもとに、第1歩目の着き方については、「どの程度遠くに着地していたか」を「第1歩目を着地するまでの移動距離」、「どの程度素早く着地していたか」を「第1歩目を着地するまでの時間」として、第1歩目の着き方についての群分けができるものと考えた。具体的には、先行研究 (松田ほか, 2010; 内藤ほか, 2013; 山元ほか, 2014) を参考に、第1歩目を着地するまでの時間と第1歩目を着地するまでの移動距離に対して、変量を標準化した平方ユークリッド距離を算出し、Ward 法によるクラスター分析をケース (個体) に対して行った。また、第1歩目着地の仕方を群分けした後、群間で加速局面の各変量を比較する際には、特に分析対象区間の後半ではステップ数が同一であっても到達距離にはタイプおよび被験者間で差が生じることが予想され、単純に同一ステップでのタイプ間の比較をする

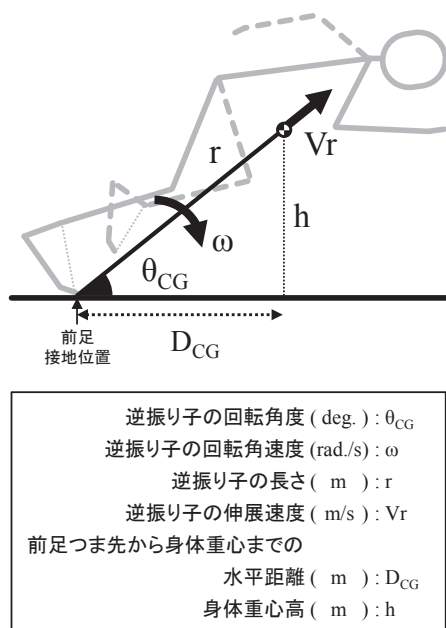


図3 ブロッククリアランスにおける分析項目

ことができないものと考えた。そこで、ブロッククリアランス (BCL) および第1歩目 (1st), 第2歩目 (2nd), 第3歩目 (3rd) については, ステップ長の被験者間の最大値が, 平均ステップ長を上回っていなかったため, 到達距離に著しい差が生じ難いと考えられることから, 同一ステップでのタイプ間比較を行った。また, 第4歩目以降については, ステップ長の被験者間の最大値が, 平均ステップ長を上回っていたこと, 第4歩目ではほぼ5mの地点に到達していたことから, 5m地点以降は2.5m刻みの各地点に最も近いステップを該地点のステップとして同地点での群間比較を行った。各地点に最も近いステップの特定には, 各ステップにおける接地足のつま先のスタートラインからの水平距離を目安に, 各地点との距離の差が最も小さいステップとした。なお, 30m地点を跨いでストライドをとる被験者もいたことから, 30m地点での各項目が算出できないケースがみられたため, 同地点での群間比較は27.5m地点までとした。

各分析項目の値は, 群別に平均値±標準偏差として示した。ブロッククリアランスにおける動作に関する各変量については, ブロッククリアランスのタイプ別に一元配置分散分析を行い, 多重比較にはscheffe法を用いて検定した。各ステップにおける分析項目については, 二元配置分散分析 (第1歩目の着地×スタート後の変化) を行った。主効果が認められた際の多重比較には

scheffe法を用いて検定した。また, 交互作用が認められた場合は単純主効果の検定を行い, 多重比較にはscheffe法を用いて検定した。なお, スタート後の変化については, 本研究の目的と異なるため, 主効果の有意性の有無のみ表記した。分析項目間の関係は, ピアソンの積率相関係数を用いて検討した。すべての検定の有意水準は5%未満とし, 10%未満を有意傾向とした。

3. 結果

第1歩目を着地するまでの時間および第1歩目を着地するまでの移動距離と100m走ベスト記録および30m通過タイムとの関係を図4に示す。第1歩目を着地するまでの時間および第1歩目を着地するまでの移動距離ともに, 100m走ベスト記録および30m通過タイムとの間には有意な相関関係はみられなかった。

第1歩目着地の仕方をクラスター分析によって類型化した結果を図5に示す。分析の結果, クラスターが大きく分かれる点で, 被験者は3つの群に分類できた (それぞれA群, B群およびC群とする)。表1に, 被験者全体および各群の被験者の特徴について示す。各群の身長, 体重, 100m走ベスト記録および30m通過タイムに有意な差は認められなかった。これら各群の第1歩目を着地するまでの時間と第1歩目を着地するまでの移動距離を比較したところ, 第1歩目を着地するまでの時間はA群,

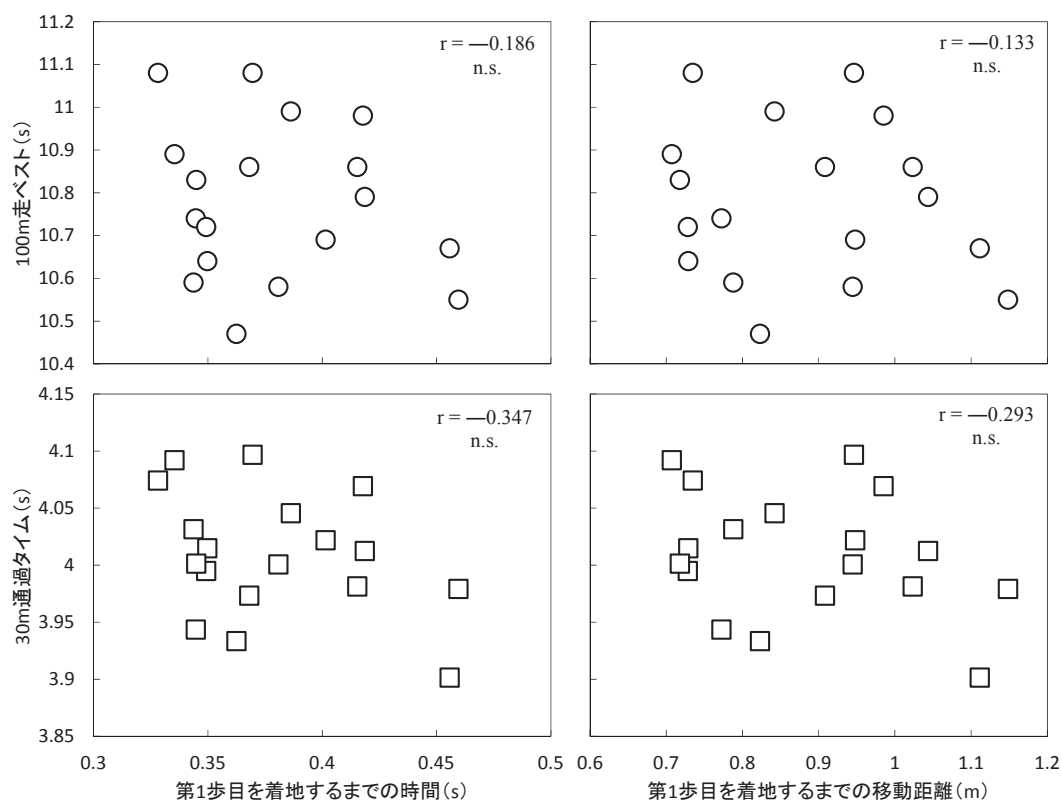


図4 第1歩目の着地までの時間および第1歩目の着地までの移動距離と100m走ベスト記録および30m通過タイムとの関係

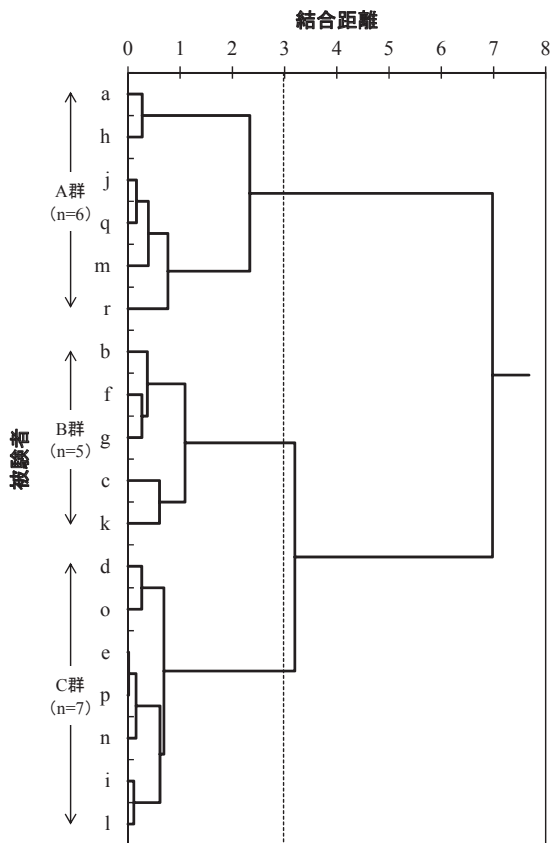


図5 第1歩目を着地するまでの時間とSetから第1歩目着地までの身体重心の水平変位に基づくクラスター分析の結果

B群, C群の順に有意に長く(A群>B群, C群: $p<0.01$; B群>C群: $p<0.05$), 第1歩目を着地するまでの移動距離はA群, B群, C群の順に有意に長かった($p<0.01$). さらに, 第1歩目の着地位置について, A群とB群はC群に比べて有意にスタートラインから遠かつ

た($p<0.01$). また, Set時のスタートラインからの前足の水平距離および後足の水平距離は群間で有意な差は認められなかった. なお, 図6には, 第1歩目を着地するまでの時間と第1歩目を着地するまでの移動距離の関係について, 各群の被験者の分布を示した. 図中のマーク近傍にあるアルファベットは図5の被験者を識別するアルファベットと対応している. 図6のように, 第1歩目を着地するまでの時間と第1歩目を着地するまでの移動距離の間には有意な正の相関関係($r=0.950$, $p<0.01$)が認められた. さらに, 図7に各群の被験者のスターティングブロックの設置位置について示した. 図6と同様に, 図5の被験者を識別するアルファベットを図中のマーク近傍に示した.

表2に, ブロッククリアランスにおける動作に関する各変量について群別に示した. Set時では, 逆振り子の長さには各群で有意な差は認められなかったものの, 逆振り子の回転角度について, A群はC群に比べて有意に回転角度が大きかった($p<0.01$). また, 前足つま先から身体重心までの水平距離についても, A群はC群に比べて有意に距離が短かった($p<0.05$). 身体重心高については, 各群で有意な差は認められなかった. ブロッククリアランス時では, 逆振り子の長さ, 逆振り子の回転角度および前足つま先から身体重心までの水平距離について, 各群で有意な差は認められなかった. 一方, 身体重心高については, A群がC群に比べて有意に高かった($p<0.01$).

Set時とブロッククリアランス時の値を用いて, ブロッククリアランスでの変化量および角変位を比較検討した結果, 逆振り子の長さの変化量および角変位ともに, A群とB群はC群に比べて, 変化量および角変位が有意に大きかった(A群>C群: $p<0.01$; B群>C群:

表1 被験者の特徴

		全体 (n = 18)	A群 (n = 6)	B群 (n = 5)	C群 (n = 7)	分散 分析	多重 比較
身長	(cm)	174.2 ± 5.3	176.1 ± 4.1	175.8 ± 6.7	171.4 ± 4.5	n.s.	—
体重	(kg)	65.6 ± 5.3	67.8 ± 4.9	64.8 ± 5.5	64.1 ± 5.7	n.s.	—
100m 走ベスト記録	(s)	10.78 ± 0.18	10.76 ± 0.15	10.80 ± 0.26	10.78 ± 0.17	n.s.	—
30m 通過タイム	(s)	4.01 ± 0.05	3.99 ± 0.06	4.01 ± 0.06	4.02 ± 0.05	n.s.	—
第1歩目を着地する までの時間	(s)	0.38 ± 0.04	0.43 ± 0.02	0.37 ± 0.01	0.34 ± 0.01	**	A > B, C ** B > C *
第1歩目を着地する までの移動距離	(m)	0.88 ± 0.14	1.04 ± 0.08	0.89 ± 0.06	0.74 ± 0.03	**	A > B > C **
第1歩目の着地位置 (SL 基準)	(m)	0.56 ± 0.16	0.71 ± 0.04	0.60 ± 0.03	0.40 ± 0.12	**	A, B > C **
SL からの前足の 水平距離	(cm)	43.4 ± 10.8	38.1 ± 7.2	42.4 ± 9.5	48.8 ± 12.9	n.s.	—
SL からの後足の 水平距離	(cm)	65.3 ± 7.1	62.5 ± 4.1	65.6 ± 8.3	67.5 ± 8.4	n.s.	—

**: $p<0.01$, *: $p<0.05$, n.s.: no significant

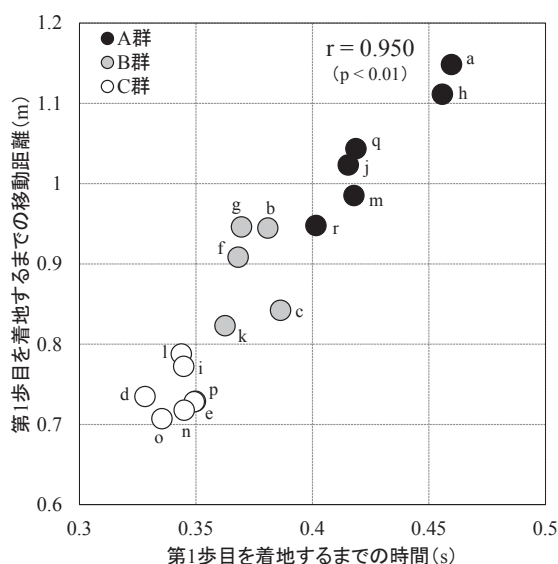


図6 各群の被験者における第1歩目の着地までの時間と第1歩目の着地までの移動距離の関係

$p < 0.05$). また、身体重心の水平変位については、A群とB群はC群に比べて有意に変位が大きく、鉛直変位については、A群はB群とC群に比べて有意に変位が大きかった ($p < 0.05$).

ブロッククリアランス中の逆振り子の伸展速度には各群で有意な差は認められなかったものの、逆振り子の回転角速度はA群がC群に比べて有意に大きく ($p < 0.05$), B群もC群に比べて大きい傾向を示していた ($p < 0.1$).

ブロッククリアランス時の身体重心の速度については、水平成分のみ有意差がみられ、A群とB群はC群に比べて有意に速度が大きかった ($p < 0.05$).

図8にA群とC群のブロッククリアランスにおける逆振り子の挙動を示した. なお、図8はSet時およびブロッククリアランス時の逆振り子を示したものであり、図中の原点は前足つま先の位置を表している. 表2の結果にある通り、A群とC群ではSet時の前足と身体重心の位置関係、そして、逆振り子の動作範囲が大きく異なっ

表2 ブロッククリアランスにおける動作に関する各変量

		A 群 (n = 6)	B 群 (n = 5)	C 群 (n = 7)	分散 分析	多重 比較
Set 時						
逆振り子の長さ	(m)	0.63 ± 0.04	0.65 ± 0.03	0.66 ± 0.06	n.s.	—
逆振り子の回転角度	(deg.)	71.98 ± 5.67	66.95 ± 4.98	60.40 ± 5.20	**	A > C **
前足つま先から 身体重心までの水平距離	(m)	0.19 ± 0.06	0.26 ± 0.06	0.33 ± 0.08	*	A < C *
身体重心高	(m)	0.59 ± 0.03	0.60 ± 0.02	0.57 ± 0.03	n.s.	—
ブロッククリアランス時						
逆振り子の長さ	(m)	1.18 ± 0.04	1.17 ± 0.07	1.12 ± 0.06	n.s.	—
逆振り子の回転角度	(deg.)	42.41 ± 1.91	40.46 ± 1.79	40.77 ± 1.76	n.s.	—
前足つま先から 身体重心までの水平距離	(m)	0.87 ± 0.05	0.89 ± 0.07	0.85 ± 0.06	n.s.	—
身体重心高	(m)	0.80 ± 0.03	0.76 ± 0.04	0.73 ± 0.03	**	A > C **
ブロッククリアランスでの変化量 および角変位						
逆振り子の長さの変化量	(m)	0.56 ± 0.04	0.52 ± 0.05	0.46 ± 0.02	**	A > C ** B > C *
逆振り子の角変位	(deg.)	29.57 ± 4.47	26.49 ± 4.07	19.63 ± 3.86	**	A > C ** B > C *
身体重心の水平変位	(m)	0.69 ± 0.06	0.63 ± 0.05	0.52 ± 0.03	**	A, B > C *
身体重心の鉛直変位	(m)	0.20 ± 0.02	0.16 ± 0.03	0.16 ± 0.02	*	A > B, C *
ブロッククリアランス中の伸展速度 および回転角速度の平均値						
逆振り子の伸展速度	(m/s)	1.74 ± 0.05	1.77 ± 0.18	1.71 ± 0.08	n.s.	—
逆振り子の回転角速度	(rad/s)	1.61 ± 0.17	1.56 ± 0.17	1.26 ± 0.24	*	A > C * B > C †
ブロッククリアランス時の身体重心 の速度						
水平成分	(m/s)	3.55 ± 0.16	3.53 ± 0.11	3.21 ± 0.24	**	A, B > C *
鉛直成分	(m/s)	0.63 ± 0.10	0.61 ± 0.07	0.66 ± 0.12	n.s.	—

**: $p < 0.01$, *: $p < 0.05$, †: $p < 0.1$, n.s.: no significant

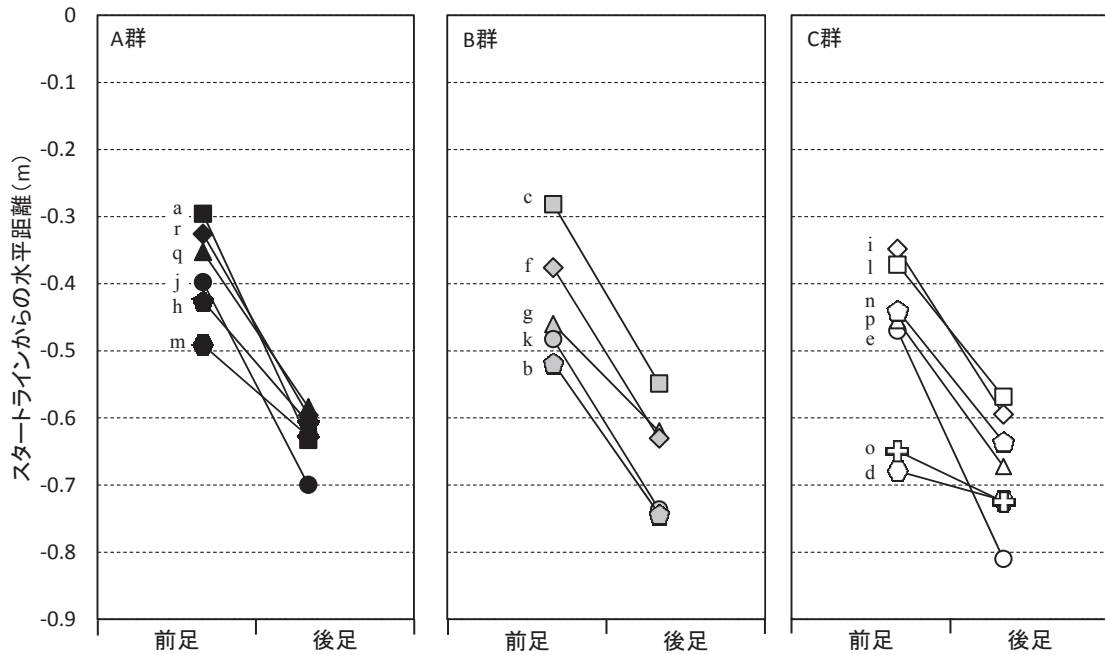


図7 各群の被験者におけるスターティングブロックの設置位置

ていることが見てとれる。

図9に、各群の被験者におけるストライド(上段)、ピッチ(中段)、疾走スピードの変化(下段)について示した。ストライドはステップ数および到達距離が進むにしたがって有意に変化し($p<0.01$)、漸増傾向にあった。また、群間に有意な主効果がみられ、A群はC群に比べてストライドが有意に大きかった($p<0.01$)。ピッチはブロッククリアランスから第1歩目にかけて急激に変化し($p<0.01$)、第1歩目以降は大きな変化はなく推移していた。また、群間に有意な主効果がみられ、A群はC群に比べて有意にピッチが小さかった($p<0.01$)。疾走

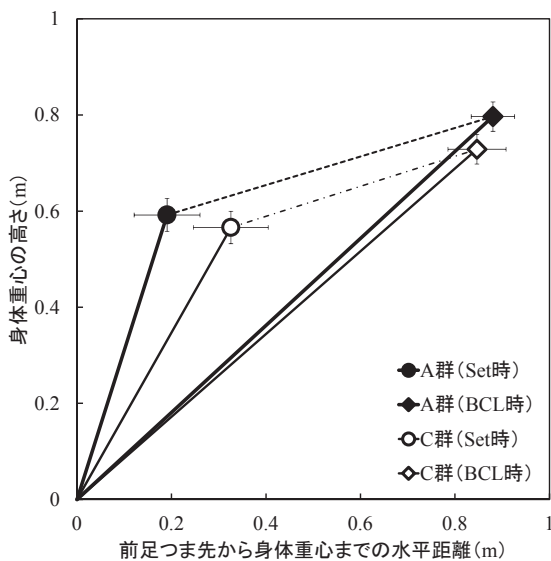


図8 A群とC群のブロッククリアランスにおける逆振り子の挙動

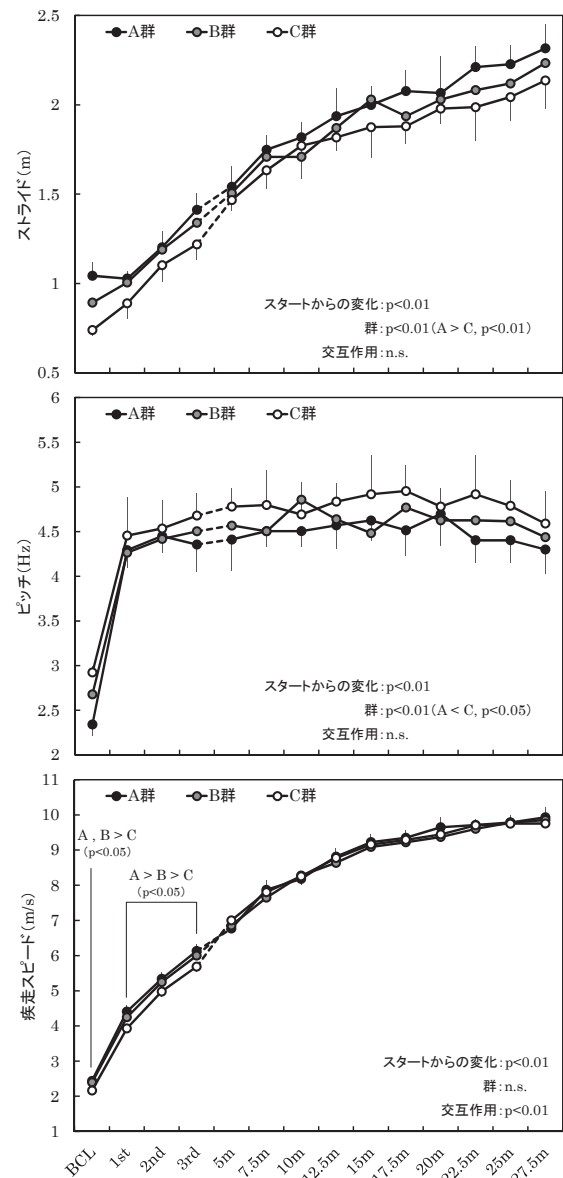


図9 ストライド、ピッチおよび疾走スピードの変化

スピードについては、ステップ数および到達距離が進むにしたがって有意に変化し ($p<0.01$)、漸増傾向にあった。群間に有意な主効果は認められなかったが、有意な交互作用がみられたため ($p<0.01$)、単純主効果を検討した。その結果、ブロッククリアランスでは A 群と B 群は C 群に比べて疾走スピードが有意に大きかった ($p<0.05$)。また、第 1 歩目から第 3 歩目にかけて、A 群、B 群、C 群の順に有意に疾走スピードが大きかった ($p<0.05$)。

図 10 に、各群の接地期および滞空期距離と接地および滞空時間について示した。接地期距離は第 3 歩目まで増加傾向を示し、以降は大きく変化していなかった ($p<0.01$)。また、群間に主効果が有意となる傾向がみられ ($p=0.0729$)、A 群は C 群に比べて接地期距離が有意に大きい傾向を示した ($p=0.0757$)。滞空期距離はステップおよび到達距離が進むにしたがって有意に変化し ($p<0.01$)、漸増傾向にあった。また、群間に有意な主効果はみられなかった。一方、接地時間については、ブロッククリアランスから第 1 歩目にかけて急激に変化し、以降もステップおよび到達距離が進むにしたがって漸減傾向にあった ($p<0.01$)。また、群間に主効果が有意となる傾向がみられ ($p=0.0998$)、C 群は A 群に比べて接地期距離が有意に大きい傾向を示した ($p=0.0999$)。さらに、有意な交互作用がみられたため ($p<0.01$)、単純主効果を検討した。その結果、ブロッククリアランス、

5m 地点および 10m 地点において、A 群、B 群、C 群の順に有意に接地時間が長かった ($p<0.01$)。滞空時間については、ブロッククリアランスから第 1 歩目にかけて減少し、その後はステップおよび到達距離が進むにしたがって漸増傾向にあった ($p<0.01$)。群間に有意な主効果は認められなかったが、有意な交互作用がみられたため ($p<0.01$)、単純主効果を検討した。その結果、ブロッククリアランスでは A 群は B 群と C 群に比べて滞空時間が有意に長かった ($p<0.01$)。

4. 論 議

4.1 第 1 歩目の着地の分類とその特徴

本研究では指導書 (阿部, 2004; シュモリンスキー, 1982) をもとに、第 1 歩目の着地について、第 1 歩目を着地するまでの時間および移動距離から検討を試みた。図 4 より、第 1 歩目を着地するまでの時間と第 1 歩目を着地するまでの移動距離はともに、被験者の 100m 走ベスト記録および測定試技における 30m 通過タイムとの間に有意な相関関係はみられず、各値は散らばっていた。したがって、第 1 歩目の着地が被験者の競技レベルやパフォーマンスを決定するものではないと考えられる。言い換えれば、選手の競技レベルやパフォーマンスに関わらず、第 1 歩目の着地は各選手によって様々であると考えられる。

図 6 より、第 1 歩目を着地するまでの時間と第 1 歩目

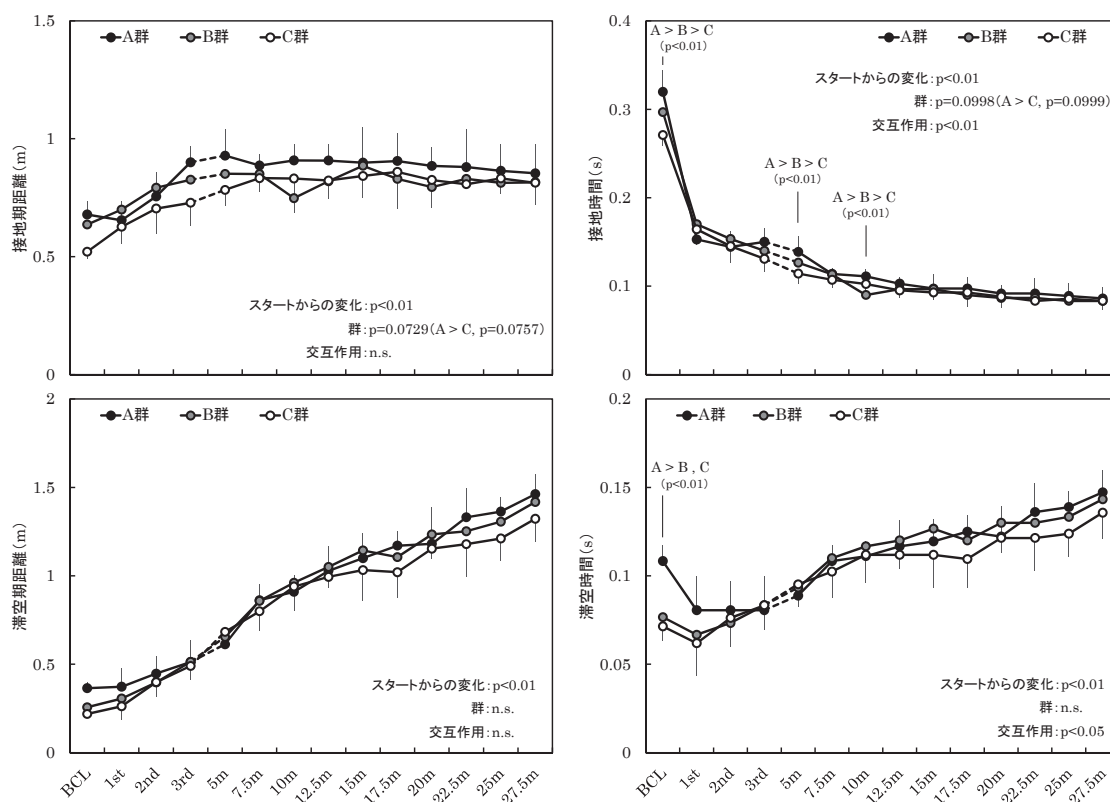


図 10 接地期および滞空期距離と接地および滞空時間の変化

を着地するまでの移動距離の間には有意な正の相関関係がみられていた ($r=0.950$, $p<0.01$)。このことから、第1歩目を素早くかつ遠くに着地していた被験者はいなかったものと考えられ、被験者は第1歩目の着地に関して、「時間」あるいは「距離」のいずれかが大きい着地となっていたと考えられる。そこで、第1歩目を着地するまでの時間と第1歩目を着地するまでの移動距離の2変数を用いて、先行研究(松田ほか, 2010; 内藤ほか, 2013; 山元ほか, 2014)を参考に、被験者の第1歩目の着地の仕方についてクラスター分析による分類を試みた。その結果、本研究で対象とした被験者は3つの群に分けられた(図5)。これら3群の特徴について検討したところ(表1)、A群は他の2群に比べて第1歩目を着地するまでの時間が有意に長く、第1歩目を着地するまでの移動距離が有意に長かった。また、C群は他の2群に比べて第1歩目を着地するまでの時間が有意に短く、第1歩目を着地するまでの移動距離が有意に短かった。さらに、スタートラインを基準とした第1歩目のつま先の着地位置が、A群がC群に比べて有意に遠かったこと(表1)を踏まえると、A群は「第1歩目をより遠くに着地していた被験者」の群、C群は「第1歩目着地をより素早く行っていた被験者」の群であったと考えられる。また、B群については、これらA群およびC群の中間に位置する結果であったこと、第1歩目を着地するまでの時間および第1歩目を着地するまでの移動距離が全体の平均値に近かったことから、「第1歩目着地における中間型の被験者」の群であったと考えられる。一方、これら3群間で、身長や体重に有意な差はなく、100m走の自己ベスト記録および実験試技における30m通過タイムにも有意な差がみられなかった(表1)。したがって、これら3群は、第1歩目の着地の仕方以外に大きな差異はなかったと考えられる。なお、これら3群のスターティングブロックの設置位置について、Set時のスタートラインからの前足の水平距離および後足の水平距離は群間で有意な差は認められなかった(表1)。また、図7のスターティングブロックの設置位置では、A群の被験者の後足ブロックの位置がスタートラインから60cmのあたりに集まる傾向にあり、C群の被験者o、被験者dの前足ブロックの位置がその他の被験者に比べてスタートラインから遠い傾向にあったものの、各群内でみると、前後のブロックの設置位置の組み合わせはばらばらについていることが読み取れた。このことから、本研究で対象とした被験者における第1歩目を着地するまでの移動距離および時間は、スターティングブロックの設置位置が少なからず影響していた可能性は否定できないが、ブロックの設置位置によってそれらが決定してしまうわけではないものと考えられる。先行研究によると、スターティングブロックの設置位置の設定は選手自身の構えやすさに任せて設定される傾向が強いことが報告さ

れている(一川ほか, 2006)。また、スターティングブロックの設置位置が同じであっても、スタートラインに手をついた時の腕の角度(Schot and Knutzen, 1992)や各ブロックへの加重配分によって、構えの姿勢は異なることが考えられる。さらに、篠原・前田(2013)によると、スターティングブロックの設置位置とブロッククリアランスでの力発揮の間には有意な相関関係がみられなかったことが報告されている。これらの報告を踏まえると、スターティングブロックの設置位置は、各選手が自身の体格や望ましいと考えているSetの姿勢、あるいは、ブロッククリアランスでの動作や力発揮のしやすさ等に応じて、それぞれ個別に設定していると推察される。したがって、第1歩目の着き方の差異には、スターティングブロックの設置位置そのものが影響したのではなく、選手が個々に設定したブロック位置で構えたSetの姿勢やブロッククリアランスでの動作が影響した結果として、群間で差がみられたものと推察される。そこで、第1歩目の着地の仕方が異なる各群のブロッククリアランスについて、次節で検討する。

4.2 第1歩目の着地の仕方とブロッククリアランス

第1歩目はその直前のブロッククリアランスに関係することが先行研究(篠原・前田, 2013; 2014)で報告されており、短距離走の指導書(日本陸上競技連盟, 1988)においても、号砲(本研究のスタート音に相当)への反応から第1歩目までを一連の動きとして、目指すべき技術が解説されている。そこで、第1歩目の着地が異なる各群のブロッククリアランスについて、先行研究(金高ほか, 2005; 金高ほか, 2009; 篠原・前田, 2014)を参考に、前足の足先と身体重心を仮想の線で結んだ逆振り子モデル(Jacobs and Schenau, 1992)を用いて、A群とC群を対比しながら検討する。

表2より、Set時の逆振り子モデルおよび前足と身体重心の位置関係をみると、A群はC群に比べて逆振り子モデルの回転角度が有意に大きく、前足つま先から身体重心までの水平距離も有意に短かった。一方、ブロッククリアランス時では、これらの項目に両群間で有意な差はみられなかった。そのため、A群はC群に比べて、ブロッククリアランスでの逆振り子の角変位および身体重心の水平変位は有意に大きかった。これらのことから、A群は、Set時において前足と身体重心の水平距離が近く、逆振り子モデルの前傾が小さい構えの姿勢であったと考えられる。逆にC群は、前足と身体重心の水平距離が離れており、逆振り子モデルの前傾が大きい構えの姿勢であったと考えられる。つまり、第1歩目の着地が異なるA群とC群では、前足と身体重心の位置関係からみたSet時の構え方は異なるものであったと推察される。また、ブロッククリアランスにおける逆振り子の角変位および身体重心の水平変位にはA群とC群の間に

有意差が認められていた。したがって Set 時には、A 群はブロッククリアランスにおける逆振り子の回転範囲が大きくなるような構え方、逆に C 群は回転範囲が小さくなるような構え方になっていたと推察される (図 8)。

一方、逆振り子の長さについては、Set 時およびブロッククリアランス時ともに両群間で有意な差は認められなかったが、A 群は C 群に比べて、逆振り子の長さの変化量が有意に大きかった (表 2)。また、Set 時とブロッククリアランス時の逆振り子の長さは、Set 時では A 群が 0.63m、C 群が 0.66m で C 群の方が長く、ブロッククリアランス時では、A 群が 1.18m、C 群が 1.12m で A 群の方が長かった。つまり、A 群はブロッククリアランスにおける逆振り子の伸展範囲が大きくなるようなクリアランス動作、逆に C 群は伸展範囲が小さくなるようなクリアランス動作になっていたと考えられる。また、ブロッククリアランス時の身体重心高は A 群の方が C 群よりも有意に高く、ブロッククリアランスにおける鉛直変位も有意に大きかった。このように、A 群と C 群で伸展の動作範囲の大きさが異なっていたことにより、鉛直変位にも差が生じたものと推察される。

ブロッククリアランス中の動作について、逆振り子の伸展速度および回転角速度に着目すると、逆振り子の伸展速度には有意な差がみられなかったものの、回転角速度は、A 群の方が C 群に比べて有意に大きかった (表 2)。このことから、第 1 歩目の着地が異なる場合、ブロッククリアランス中における逆振り子の回転挙動に違いが現れるものと考えられる。土江 (2011) は、身体重心の移動の仕方からブロッククリアランス動作のタイプを「伸び上がり」と「倒れ込み」の観点から分類しており、A 群と C 群のブロッククリアランスは、倒れ込みに関する要因が大きく異なると考えられる。前述したように、逆振り子の回転角度および角変位の結果から、A 群は C 群に比べて、ブロッククリアランスにおける逆振り子の回転範囲が大きくなるような構え方をしていたと考えられる。加えて、動作中の回転角速度も有意に大きかったことから、A 群はブロッククリアランスにおける倒れ込み動作を大きくしたブロッククリアランスを行っていたものと推察される。一方、C 群は A 群に比べて、逆振り子の回転角度が小さく、前足と身体重心の水平距離が離れていたことから、ブロッククリアランスにおける逆振り子の回転範囲が小さくなるような構え方をしていたと考えられる。このことから、C 群は A 群に比べて、倒れ込み動作が小さいブロッククリアランスであったと考えられる。ブロッククリアランスでの接地時間が A 群、B 群、C 群の順に有意に長かった (図 10) 結果を踏まえると、C 群は A 群に比べて、ブロッククリアランスにおける回転範囲を小さくすることで、ブロッククリアランスに要する時間を短くし、「第 1 歩目着地をより素早く行っていた」ものと推察される。つまり C 群は、A

群のようにブロッククリアランスにおける倒れ込み動作を大きくするのではなく、逆振り子が前方に倒れ込みやすい構え方をすることで、早期に離地するブロッククリアランスとなっていたものと考えられる。

また、ブロッククリアランス時の身体重心の水平速度については、A 群は C 群に比べて有意に速度が大きかった (表 2)。ブロッククリアランス時の水平速度はスターティングブロック全体に加えられた力積の水平成分と強い正の相関関係があり (篠原・前田, 2014)、加えられた力積の水平成分は力が加えられた時間が長いほど大きい (篠原・前田, 2013) ことが明らかにされている。本研究ではスターティングブロックに加えられた力を測定していないが、A 群は C 群に比べてブロッククリアランスでの接地時間が長かった (図 10) ことから、水平方向への力積は大きいことが推察され、その結果、ブロッククリアランス時の水平速度が有意に大きくなっていたものと考えられる。また、短距離走選手 12 名を対象とした Schot and Knutzen (1992) の研究によると、ブロッククリアランス時の水平速度が大きいエロンゲートッドスタートでは、水平速度が小さいパンチスタートに比べて第 1 歩目が大きかったことが報告されている。これらのことから、本研究の A 群は C 群に比べて、倒れ込み動作を大きくすることでブロックに力を加える時間を長くし、ブロッククリアランス時の水平速度を大きくして、「第 1 歩目をより遠くに着地していた」ものと推察される。つまり、A 群は C 群に比べて、逆振り子の回転範囲が大きくなるような構え方であることが、第 1 歩目の着地をより遠くにするためのブロッククリアランスに繋がっていたものと考えられる。

以上のことを考慮すると、ブロッククリアランスにおける身体の倒れ込みの動作に関して、クリアランスにおける動作範囲を大きくするか、もしくは Set 時の回転角度を小さく (前方に逆振り子が倒れ込みやすく) するかによって、第 1 歩目の着地は異なるものと考えられる。

4.3 第 1 歩目の着地の仕方と加速局面でのストライド、ピッチおよび疾走スピード

図 9 より、ブロッククリアランスを含めたスタート全般にわたって、A 群は C 群に比べて有意にストライドが大きく、C 群は A 群に比べて有意にピッチが高かった。疾走速度を高めるためにはストライドかあるいはピッチのいずれかを高める必要があるが、ストライドとピッチのいずれにも交互作用がみられなかったことから、ブロッククリアランスを含め 30m に達するまでのスタート全般にわたって、A 群の被験者は終始ストライドが優位な加速、C 群の被験者は終始ピッチが優位な加速であったと考えられる。そこで、先行研究 (Hay, 1994 ; Hunter et al., 2004) を参考に、ストライドを構成する接地期距離および滞空期距離と、ピッチに直接的に影響す

る接地時間および滞空時間に着目する。

図10より、A群はC群に比べて、スタート全般にわたって、各ステップにおける接地期距離が有意に長い傾向であった。また、各ステップにおける接地時間についても、A群はC群に比べて、スタート全般にわたって有意に長い傾向がみられ、ブロッククリアランス、5m地点、10m地点では有意に接地時間が長かった。これらのことから、A群のストライドが優位な加速には接地期の移動距離の長さが、C群のピッチが優位な加速には接地期の時間の短さが、それぞれ少なからず影響していたと考えられる。先行研究(Hay, 1994; Hunter et al., 2004)によると、接地時間の長さに影響する要因の一つとして接地期距離が挙げられている。つまり、第1歩目着地の仕方が異なるA群とC群では、接地期距離の違いが影響し、ストライドまたはピッチのいずれかが優位な加速となっていた可能性が考えられる。また、接地期距離および接地時間には、脚長も影響する要因の一つとして挙げられている(Hunter et al., 2004)が、A群とC群で身長に有意な差が認められなかったことから、脚長についても群間に有意な差はないものと推察される。ただ、このことに関して、内藤ほか(2013)は、100mレース中の加速局面において、ストライドの優位性が高い加速をするタイプ(SL-Type)の競技者群は、ピッチの優位性が高い加速をするタイプ(SF-Type)の競技者群に比べて、身長が有意に高かったことを報告しており、加速局面でのストライドまたはピッチのいずれかが優位な加速となる場合、形態的な違いが加速局面でのストライドまたはピッチの優位性に影響することも考えられる。表1より、本研究ではA群とC群で身長に有意な差が認められなかったものの、平均値では5cm程度の差がみられていたことから、身長差も少なからず影響している可能性があることを踏まえておく必要がある。また、内藤ほか(2013)は前述の報告の中で、身長の影響を取り除いたストライド指数およびピッチ指数において、SL-Typeはストライド指数が、SF-typeはピッチ指数がそれぞれ高い値を示しており、ストライドまたはピッチが高まる走技術といった機能的な要因も加速の差異に影響することが考えられると述べている。したがって、A群とC群で接地期距離の大きさが異なる傾向にあったのは、両群の形態的な違いによる影響の大きさよりも、接地時や離地時の脚の角度(Hunter et al., 2004)の違いにみられるような走動作の違いの方がより影響して接地期距離や接地時間に差異が生じ、ストライドまたはピッチのいずれかが優位な加速になっていたものと推察される。

また、滞空時間はブロッククリアランスにおいてのみC群がA群に比べて有意に短かった。C群については、ブロッククリアランスでの接地時間が短い「第1歩目着地をより素早く行っていた被験者」の群と考えられたが、接地時間だけでなく、滞空時間も短かったことが第1歩

目の素早さに影響していたものと考えられる。しかし、ブロッククリアランス以降の滞空時間には両群間で有意な差がみられず、滞空期距離は加速局面全体に渡って群間に有意な差がみられなかった(図10)。Hunter et al. (2004)によれば、ストライドの大小には滞空期距離の長さが関係し、ピッチの高低には滞空時間の短さが関係するとされている。A群やC群のように、ストライドまたはピッチのいずれかが優位な加速であったと考えられる場合、これら滞空期に関する変数にもスタート全般にわたって違いが現れることが予想されるが、本研究では統計的な差異はみられなかった。図10をみると、30mに近づくにしたがって、A群はC群に比べて滞空期距離および滞空時間ともに値が大きい傾向にあり、先行研究(Hunter et al., 2004)の報告と一致する傾向にあったが、有意な差ではなかった。今後、加速局面におけるストライドおよびピッチと接地期および滞空期の時間と距離の関係について、さらなる検討が必要である。

ストライドとピッチの積として算出される疾走スピードは、ブロッククリアランスから第3歩目までにおいて、A群はC群に比べて有意に高かったが、5m地点以降には両群間で有意な差はみられなかった(図9)。また、ブロッククリアランス時の身体重心の水平速度についても、A群はC群に比べて有意に大きかった(表2)。つまり、ブロッククリアランスを含めたスタート直後においては、A群のようにストライドが優位となる加速の方が、疾走スピードが大きいスタートになっていると考えられる。一方で、5m地点以降には疾走スピードに差がみられず、同程度の疾走スピードで推移しており(図9)、ブロッククリアランスにおける接地時間および滞空時間はC群がA群より有意に短かった(図10)。したがって、C群のようにピッチが優位となる加速では、スタート開始直後における疾走スピードは小さいものの、次に続くステップへの移行を早くして、ステップ数を多くすることで速度を高めているものと推察される。

これらのことから、第1歩目の着地の仕方によって分類された各群では、第1歩目を着地して以降の加速局面においても、特徴的な加速となっていた可能性が示唆された。ブロッククリアランスと第1歩目着地の関係と合わせて考えると、短距離走のスタートにおける第1歩目の着地には、加速局面全体を通じた選手の加速方略が反映されているものと推察される。本研究の結果を踏まえると、A群のスタートは、逆振り子の回転範囲や倒れ込み動作が大きくなるようなブロッククリアランスを行って、第1歩目の着地をより遠くにし、第1歩目以降もストライドが優位な加速となっていたと言える。一方、C群のスタートは逆振り子の回転範囲や倒れ込み動作が小さくなるようなブロッククリアランスを行って、スターティングブロックから早期に離地することで第1歩目の着地をより素早くし、第1歩目以降もピッチが優位な加

速となっていたと言える。先行研究により、加速局面でストライドまたはピッチのどちらが優位となる加速であるかは、競技者によって異なることが明らかになっており（内藤ほか，2013），最大疾走速度に達するまでにこれらをどのようにして増大させるかは，自身の加速方略を検討する上で重要な観点となる。本研究で得られた知見は，加速方略に応じた第1歩目およびブロッククリアランスの存在を示唆しており，短距離走スタートにおける加速方略を検討する際には，その方略に合わせた第1歩目の着地や，そのような着地となるようなブロッククリアランスの方略をも包括して検討を行う必要があると言える。一方で，本研究では，ブロッククリアランス後の第1歩目をどのように着地するかを被験者に指示しておらず，得られた結果からは，ブロッククリアランスや第1歩目の着地がその後の加速に影響しているのか，第1歩目以降の加速に応じてブロッククリアランスや第1歩目の着地を行っていたのか，それらの因果関係やそれぞれの機序に関しては言及できない。今後，ブロッククリアランスの方略や第1歩目の着き方を変えた際に加速局面にどのような影響を及ぼすかについて，スタート全体を対象に詳細に検討する必要があると考えられる。

5. まとめ

本研究は，短距離走スタートにおけるブロッククリアランスを含めたスタートでの加速について，第1歩目の着地の仕方からブロッククリアランスのタイプの分類を試み，みられたタイプが第1歩目以降の加速における疾走速度やストライド，ピッチなどのステップ変数とどのように関係するかについて検討して，短距離走スタートにおける加速方略に関する基礎的な知見を得ることを目的とした。主な結果は以下の通りである。

- 1) 被験者の第1歩目の着地の仕方をクラスター分析によって分類した結果，3つの群（A群，B群，C群）に分類された。A群は「第1歩目をより遠くに着地していた被験者」の群，C群は「第1歩目着地をより素早く行っていた被験者」の群，B群は「第1歩目着地における中間型の被験者」の群であると考えられた。
- 2) A群とC群の比較から次のことが分かった。
 - ①ブロッククリアランスから第3歩目までにおいて，A群はC群に比べて有意に疾走スピードが高かったが，5m地点以降に両群間で有意な差はみられず，30m通過タイムにも有意な差はみられなかった。
 - ②A群はC群に比べて，Set時の逆振り子モデルの回転角度が有意に大きく，前足つま先から身体重心までの水平距離も有意に短かった。また，A群は，ブロッククリアランスにおける逆振り子の長さの変化量，角変位，身体重心の水平変位

および鉛直変位はいずれもC群に比べて有意に大きかった。

- ③ブロッククリアランスを含めたスタート全体での加速において，A群はC群に比べて有意にストライドが大きく，C群はA群に比べて有意にピッチが高かった。

以上の結果から，A群のスタートは，逆振り子の回転範囲や倒れ込み動作が大きくなるようなブロッククリアランスを行って，第1歩目の着地をより遠くにし，第1歩目以降もストライドが優位な加速となっていたと考えられた。一方，C群のスタートは逆振り子の回転範囲や倒れ込み動作が小さくなるようなブロッククリアランスを行って，スターティングブロックから早期に離地することで第1歩目の着地をより素早くし，第1歩目以降もピッチが優位な加速となっていたと考えられた。したがって，第1歩目の着地の仕方によって，ブロッククリアランスおよび第1歩目を着地して以降の加速局面の疾走は異なることがわかった。これらの結果は，短距離走におけるスタートでの加速疾走の方略についてブロッククリアランスを含めて検討する上で，有用な知見になると考えられる。

文 献

- 阿江通良（2004）走動作のメカニズム。金子公有・福永哲夫 編 バイオメカニクス—身体運動の科学的基礎—。杏林書院：東京，pp.166-168。
- 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—男子を中心に—。世界一流競技者の技術。第3回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス班報告書。日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス班編 ベースボール・マガジン社：東京，pp.14-28。
- 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 Science, 15 (3) : 155-162。
- 阿部征次（2004）改訂版スプリント・トレーニング・マニュアル（第1版）。ベースボール・マガジン社：東京，pp.116, 167-172。
- 福田厚治・貴嶋孝太・浦田達也・中村 力・山本 篤・八木一平・伊藤 章（2013）一流短距離選手の接地期および滞空期における身体移動に関する分析。陸上競技研究紀要, 9 : 56-60。
- Hay, J.G. (1994) Track and field running. The biomechanics of sports techniques, (4th edition). Prentice-Hall : Englewood Cliffs, New Jersey, pp.31-46, 396-423。
- 堀 尚・浦田達也・伊藤 章（2011）コーナー進入後の疾走速度は直線より低下するのか？バイオメカニクス研究, 15 (4) : 134-142。

- Hunter, J.P., Marshall, R.N., McNair, P.J. (2004) Interaction of step length and step rate during sprint running. *Medicine and science in sports and exercise*, 36 (2) : 261-271.
- 一川大輔・安井年文・高畠瑠依 (2006) スターティングブロック設置方法に関する基礎的研究. 陸上競技研究, 67 : 13-21.
- Jacobs, R. and Schenau, G.J.I. (1992) Intermuscular coordination in a sprint push-off. *Journal of Biomechanics*, 25 (9) : 953-965.
- 加藤彰浩・永原 隆・杉本和那美・木越清信 (2013) 小学生の体育授業における短距離走の距離の検討—最大疾走速度到達距離および時間に着目して—, 陸上競技研究, 94 : 11-17.
- 加藤謙一・三村達也 (2010) 短距離走におけるクラウチングスタートとスタンディングスタートの比較研究. 陸上競技研究, 81 : 17-27.
- 金高宏文・瓜田吉久・図子浩二 (2005) 逆振り子モデルからみたクラウチングスタートの特性. 第18回日本バイオメカニクス学会大会論集 : 102-103.
- 金高宏文・松村 勲・瓜田吉久 (2009) 逆振り子モデルからみたクラウチングスタートとスタンディングスタートの水平速度獲得要因の違い. *スプリント研究*, 19 : 19-28.
- 木野村嘉則・村木征人・図子浩二 (2012) 走り幅跳びにおける助走歩数を増やして踏切するための踏切動作 : 短助走跳躍から長助走跳躍に至る踏切動作等の変化率に着目して. *体育学研究*, 57 : 71-82.
- 松田有司・山田陽介・赤井聡文・生田泰志・野村照夫・小田伸午 (2010) 100m 自由形におけるストローク頻度とストローク長からみた泳タイプ分類. *体力科学*, 59 : 465-474.
- 松尾彰文・広川龍太郎・柳谷登志雄・土江寛裕・杉田正明 (2008) 男女 100m レースのスピード変化. *バイオメカニクス研究*, Vol.12, No.2 : 74-83.
- Mero A., Komi P.V. and Gregor R.J. (1992) Biomechanics of sprint running. *Sports Medicine*, 13(6) : 376-392.
- 三井 孝・図子浩二・瓜田吉久 (2003) 逆振り子運動からみたスプリントにおける加速走の特性. 第17回日本バイオメカニクス学会大会論集 : 34-35.
- Morin, J.B., Samozino, P., Bonnefoy, R., Edouard, P., Belli, A. (2010) Direct measurement of power during one single sprint on treadmill. *Journal of biomechanics*, 43 : 1970-1975.
- 永原 隆・図子浩二 (2013) 女子短距離選手を対象としたステップ変数による加速能力の評価. 陸上競技研究, 94 : 38-46.
- Nagahara, R., Naito, H., Morin, J.B., Zushi, K. (2014) Association of acceleration with spatiotemporal variables in maximal sprinting. *International journal of sports medicine*, 35 : 755-761.
- 内藤 景・苅山 靖・宮代賢治・山元康平・尾縣 貢・谷川 聡 (2013) 短距離走競技者のステップタイプに応じた 100m レース中の加速局面の疾走動態. *体育学研究*, 58 : 523-538.
- 日本陸上競技連盟編 (1988) 陸上競技指導教本. 大修館書店 : 東京, pp.22.
- 坂田洋満・宮下 憲・小倉幸雄・永井 純・尾縣 貢・関岡康雄 (1996) 女子スプリンターのスタート動作の特徴. 陸上競技研究, 26 : 2-9.
- Schot P.K. and Knutzen K.M. (1992) A biomechanical analysis of four sprint start positions. *Research quarterly for exercise and sport*, 63 (2) : 137-47.
- シュモリンスキー編 : 成田十次郎・関岡康雄訳 (1982) ドイツ民主共和国の陸上競技教程. ベースボール・マガジン社 : 東京, pp.175-176.
- 篠原康男・前田正登 (2013) 短距離走スタートにおけるスターティングブロックに加えられた力とブロッククリアランスの関係. *体育学研究*, 58 : 585-597.
- 篠原康男・前田正登 (2014) クラウチングスタートのブロッククリアランスにおける力発揮と動作の関係. *体育学研究*, 59 : 887-904.
- 豊嶋陵司・田内健二・遠藤俊典・磯 繁雄・桜井伸二 (2015) スプリント走におけるピッチおよびストライドの個人内変動に影響を与えるバイオメカニクスの要因. *体育学研究*, 60 : 197-208.
- 土江寛裕 (2008) スプリント走の各局面に影響をおよぼす体力と技術, 陸上競技研究, 75 : 2-11.
- 土江寛裕・櫛部静二・平塚 潤 (2010) 最大スプリント走時の走速度, ピッチ・ストライド, 接地・滞空時間の相互考察と, 競技力向上への一考察. 城西大学研究年報 (自然科学編), 33 : 31-36.
- 土江寛裕 (2011) 陸上競技入門ブック 短距離・リレー. ベースボール・マガジン社 : 東京, pp.38-41.
- 山元康平・宮代賢治・内藤 景・木越清信・谷川 聡・大山卞圭悟・宮下 憲・尾縣 貢 (2014) 陸上競技男子 400m 走におけるレースパターンとパフォーマンスとの関係. *体育学研究*, 59 : 159-173.
- 吉岡隆徳 (1959) 短距離走の新技術. 不味堂書店 : 東京, pp.62-85.

円盤投における並進運動に関するパラメータと 円盤の初速度との関係

前田 奎¹⁾, 大山卞圭悟²⁾, 広瀬健一¹⁾, 尾縣 貢²⁾

Relationship between parameters related to body translation and the initial velocity
of discus in the discus throw

Kei MAEDA¹⁾, Keigo OHYAMA BYUN²⁾, Kenichi HIROSE¹⁾, Mitsugi OGATA²⁾

Abstract

The purpose of this study was to investigate the relationship between body translation and release velocity in the discus throw. The performances of twenty-two male athletes were analyzed by using a three-dimensional motion analysis. There was a significant positive correlation between distance thrown and release velocity. The velocities of the center of gravity at push off the right foot (R-off), push off the left foot (L-off), and left foot on the ground (L-on), the path length of the center of gravity during flight phase, and the linear momentum at R-off, L-off, and L-on were significantly correlated with release velocity. The Angular momentum of the thrower-discus system around horizontal axis at right foot on the ground and release were significantly correlated with release velocity. The results of this study suggest that the improvement of release velocity is caused by the following movements: (1) driving thrower's body toward throwing direction by acquiring large linear momentum before L-off, (2) rotating thrower's body toward throwing direction around horizontal axis before release with suppressing the decrease in the velocity of the center of gravity and the linear momentum or increasing them.

キーワード：重心速度，重心移動距離，並進運動量，角運動量，起こし動作

1. 緒 言

円盤投は、陸上競技投てき種目の一つであり、直径2.5mのサークルから、規定の重量の円盤（一般男子：2.0kg，一般女子：1.0kg）を投てきし、その距離を競う種目である。一般に円盤投競技者は、投てき方向に背を向けた状態から、1回転半のターン動作を行い、円盤を投げ出す。ターン動作は足の接地および離地によって、5つの局面に分けられている (Fig. 1)。Hay and Yu (1995a) は、円盤投は限られた空間の中で、複雑な動作を高速で行う競技であるため、技術的に難しい競技であると述べており、円盤投のパフォーマンスを高めるためには、優

れた技術の習得が必要不可欠であると考えられる。

円盤投の投てき距離を決定する要因として、リリース時の円盤の初速度（以下、初速度）が最も影響が大きいということが報告されてきた (Badura, 2010; Bartlett, 1992; Hay, 1985; Schlüter and Nixdorf, 1984)。また Dapena (1993) は、準備局面からエントリ局面にかけて地面に対して鉛直軸まわりの角運動量を獲得し、空中局面から移行局面にかけてその角運動量の転移が行われ、投げ局面において身体の持つ角運動量を効率的に円盤に伝達することで、より大きな初速度を得ることができると述べている。Dapena (1993) が主張するように、円盤投においてより大きな投てき距離を達成するためには、空中局面以前の局面である準備局面およびエントリ局面における動作が重要であるといえる。さらに実際の指導現場においても、ターン動作前半の重要性は指摘されている。Silvester (2003) はバックスイング時に（右利き競技者の場合）体重を右足に乗せ、準備局面からエントリ局面にかけて左足に体重を移動させると述べている。ターン動作前半の準備局面およびエントリ局面において、大きな運動量を獲得するためには、Silvester (2003) が指摘するような体重移動が必要であると考えられる。Hay (1985) は、（右利き競技者の場合）左足を投てき方向に回転させながら、重心を左足の上あるいは左足を越えたところまで移動させることが、成功試技のための重要な要因であると述べており、円盤投のターン動作においては、動作開始時の適切な体重移動が、より良いターン動作を遂行するための重要な要因であるといえる。野球の投球やバッティング、ゴルフのドライバースhotsでは、身体の並進運動に引き続いて回転運動が行われながら、

1) 筑波大学大学院人間総合科学研究科 University of Tsukuba, Graduate School of Comprehensive Human Science
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1

2) 筑波大学体育系 University of Tsukuba, Faculty of Health and Sport Science
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1

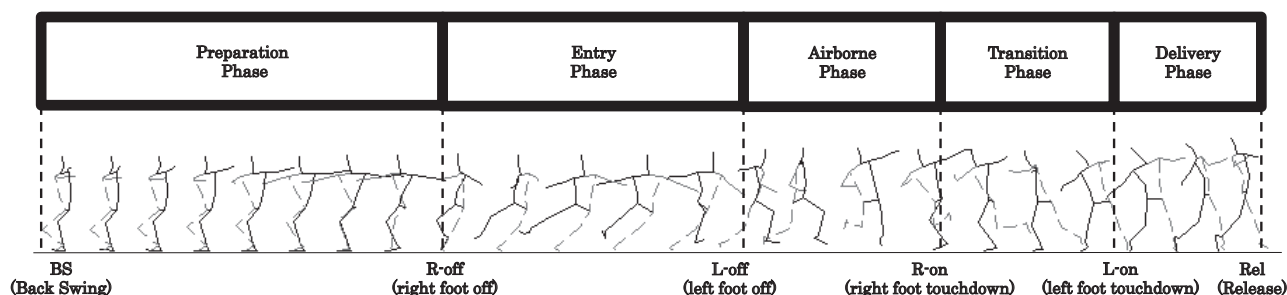


Fig.1 Definition of motion phases and events.

近位セグメントから遠位セグメントに向かって順序良く運動が行われることが報告されている (Welch et al., 1995; Matsuo et al., 2001; 桜井, 2004; 石田, 2005). 円盤投においても, 野球やゴルフと同様に, 身体の並進運動が後の回転運動へとつながることが推察される.

一般的に, 円盤投は「回転運動」として扱われることが多いが, Hay and Yu (1995a) が指摘しているように, 円盤投は「回転運動」と「並進運動」を伴う競技である. 円盤投の「回転運動」という側面に着目した研究は, これまで多く行われてきた. 先述した Dapena (1993) に加え, Hay and Yu (1995b) も L-off 時の鉛直軸まわりの角運動量と投てき距離との間に有意な相関関係が認められたと報告しており, 鉛直軸まわりの「回転運動」が円盤投の投てき距離と強く関係していることは明らかである. さらに, 宮西ほか (1998) が円盤の速度発生メカニズムを投てき動作中の角運動量の変動から分析していること, 宮崎ほか (2016) が上半身と下半身の鉛直軸まわりの角運動量の関係について示していることから, 円盤投における「回転運動」については十分に検討されているといえる. Silvester (1988) は, 円盤投において「回転運動」と「並進運動」のバランスが正確であることが重要であると主張した上で, 多くの競技者は十分な「並進運動」が伴わずにサークル内を「回転」していると指摘している. Silvester (1988) が指摘するように, 競技者の多くは円盤投動作における「回転運動」の重要性については実感しているものの, 投てき方向へ身体を推進させる「並進運動」については必ずしも重視されていない. 世界歴代 9 位の 71m26 という記録を有し, 1976 年のモントリオールオリンピックおよび 1984 年のロサンゼルスオリンピックで 3 位, 1987 年の世界陸上競技選手権ローマ大会で 2 位という実績を持つ John Powell 氏が, 「直線の運動というのが私の円盤投に対する見方である」という言説を残している (ブッシュ, 1979) こと, さらに同様の動作様式である砲丸投の回転投法を用いた競技者が, 並進運動を主とするグライド投法を用いる競技者よりも並進運動量が高い値を示したと報告されている (Ohya Byun et al., 2008; 大山卞・藤井, 2008) ことから, 「回転運動」として扱われるターン動作にお

ける「並進運動」の重要性がうかがえる. 円盤投の「並進運動」に関する研究として, わずかに Yu et al. (2002) の円盤投競技者はエントリ局面中にできる限り力強く投てき方向に身体 (+ 円盤系) を推進させるべきであるとする主張, 松尾・湯浅 (2005) の投てき方向へ身体重心速度を高めることが重要であるとする指摘はあるものの, 円盤投のパフォーマンスと「並進運動」との関係について詳細に検討した研究はほとんど見当たらない. 円盤投競技者が回転運動を行うための大きな運動量を獲得するためには, 前述したような動作前半の体重移動を伴う「並進運動」が重要な役割を担っていると考えられる.

以上のことから, 本研究では円盤投動作における「並進運動」を競技者 + 円盤系 (以下, システムとする) の重心速度, 並進運動量, 左右軸まわりの角運動量で表し, 投てき距離に大きな影響を与える初速度と「並進運動」に関するパラメータとの関係を明らかにし, 男子円盤投競技者のパフォーマンス向上のための示唆を得ることを目的とした.

2. 方法

2.1 データ収集

(1) 分析対象者

分析対象者は男子学生円盤投競技者 22 名であった. 競技者の特性について, Table 1 に示した. 全ての分析対象者は右利きの競技者であった.

(2) 試技の撮影

2013 年 9 月 8 日に開催された第 82 回日本学生陸上競技対校選手権大会 (以下, 日本インカレとする) 男子円盤投決勝における投てき, および 2014 年 8 月 17 日に行った実験における全力投てきの試技について, 対象となる競技者の試技を撮影した. 実験における被験者には, 研究目的および実験内容を説明し, 実験への参加の同意を得た. 試技の撮影には, 3 台のハイスピード VTR カメラ (Casio 社製, EX-F1) を用いた. 撮影コマ数は 300fps, 露出時間は日本インカレでは 1/1000sec, 実験では 1/2000sec であった.

Table 1 Characteristics of subjects (n = 22).

	Average	Max.	Min.
Height (m)	1.77 ± 0.05	1.85	1.67
Body Mass (kg)	95.82 ± 11.13	121	75
Distance Thrown (m)	44.10 ± 7.36	59.21	31.92

2.2 データ処理

日本インカレについては、1人の対象者につき、撮影した3投あるいは6投の試技の中から、最も記録の良かった投てきを分析対象とした。実験に関しては、各被験者任意の本数（1－6本）を投てきし、その中から記録の最も良かった試技を分析対象とした。撮影したVTR画像をFrame Dias IV（DKH社製）を用いて1コマおきに手動でデジタル化し、身体分析点25点および円盤中心1点の2次元座標値を得た。得られたそれぞれのVTR画像の2次元座標値と、あらかじめ設定した実空間座標値が既知のコントロールポイントの座標値から、DLT法を用いて分析点の3次元座標値を算出した。競技会および実験における標準誤差の平均値は、X軸：0.004m および 0.008m, Y軸：0.006m および 0.007m, Z軸：0.008m および 0.009m であった。求めた3次元座標値は残差分析法によって最適遮断周波数（3-9Hz）を決定し、Butterworth digital filter（Winter, 1990）を用いて平滑化を行った。なお、投てき方向に正対したときに右方向をX軸正方向、鉛直上方をZ軸正方向、X軸とZ軸の外積によって得られる方向をY軸正方向とし、X軸、Y軸、Z軸からなる右手系座標系を静止座標系と定義した（Fig.2）。

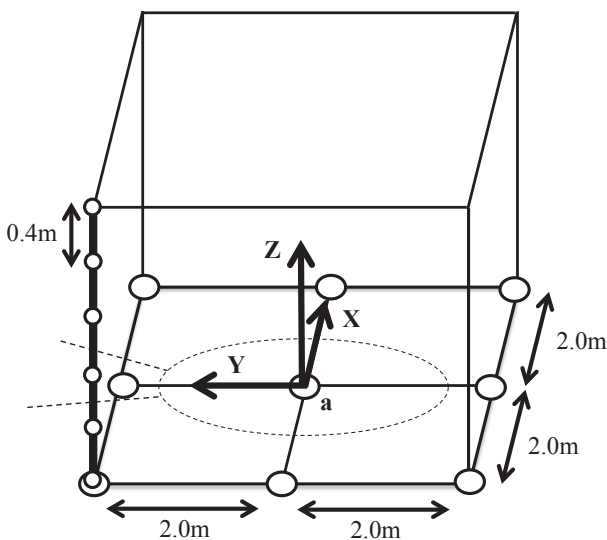


Fig.2 Definition of the world coordinate.

2.3 算出項目および方法

(1) リリースパラメータ

本研究ではリリースパラメータとして以下のパラメータを算出した。

1) 初速度

円盤の3次元座標値の変化量を時間微分することで速度を算出し、Rel時の円盤の速度を初速度とした。

2) 投射角

初速度のベクトルを静止座標系のYZ平面に投影し、投影されたベクトルとY軸とのなす角度を投射角とした。

3) 投射高

Rel時の円盤のZ座標値を投射高とした。また身長比でも投射高を算出した。

(2) 重心速度

得られた26点の分析点の3次元座標値から、阿江（1996）の身体部分慣性係数を用いて、身体合成重心（以下、システム重心とする）を算出し、システム重心の座標値の変化量を時間微分することにより、システム重心の速度を算出した。システム重心として算出するために、各競技者の体重に円盤の質量（2.0kg）を加えたものをシステムの質量として扱った。

(3) 重心移動距離

システム重心の3次元座標値をもとに、各コマ間の距離を積算することで局面ごとの重心移動距離を算出した。

(4) 並進運動量

システムの並進運動量を以下の式により算出した。

$$P = mv$$

なお、 P はシステムの並進運動量、 m はシステムの質量、 v はシステム重心速度を示す。

(5) 各移動座標系の定義

角運動量の算出に先立ち、身体各セグメントの右手系移動座標系を以下のように定義した。

1) 上胴座標系

左右肋骨下端の midpoint から左右肩関節の midpoint へと向かう単位ベクトルを z_{UT} とし、左肩関節から右肩関節へ向かう単位ベクトル s_{UT} をとした。つぎに、 z_{UT} と s_{UT} の外積によって得られる単位ベクトルを y_{UT} とし、さらに、 y_{UT} と z_{UT} との外積によって得られる単位ベク

トルを x_{UT} とした。そして、 x_{UT} , y_{UT} および z_{UT} を軸とする座標系を上胴座標系 Σ_{UT} と定義した (Fig. 3a)。

2) 下胴座標系

左右股関節の midpoint から左右肋骨下端の midpoint へと向かう単位ベクトルを z_{LT} とし、左股関節から右股関節へ向かう単位ベクトル s_{LT} をとした。つぎに、 z_{LT} と s_{LT} の外積によって得られる単位ベクトルを y_{LT} とし、さ

らに、 y_{LT} と z_{LT} との外積によって得られる単位ベクトルを x_{LT} とした。そして、 x_{LT} , y_{LT} および z_{LT} を軸とする座標系を下胴座標系 Σ_{LT} と定義した (Fig. 3b)

3) 頭部座標系

胸骨上縁から頭頂へと向かう単位ベクトル z_{HD} と上胴座標系の X 軸との外積によって得られる単位ベクトルを y_{HD} とした。つぎに、 y_{HD} と z_{HD} との外積によ

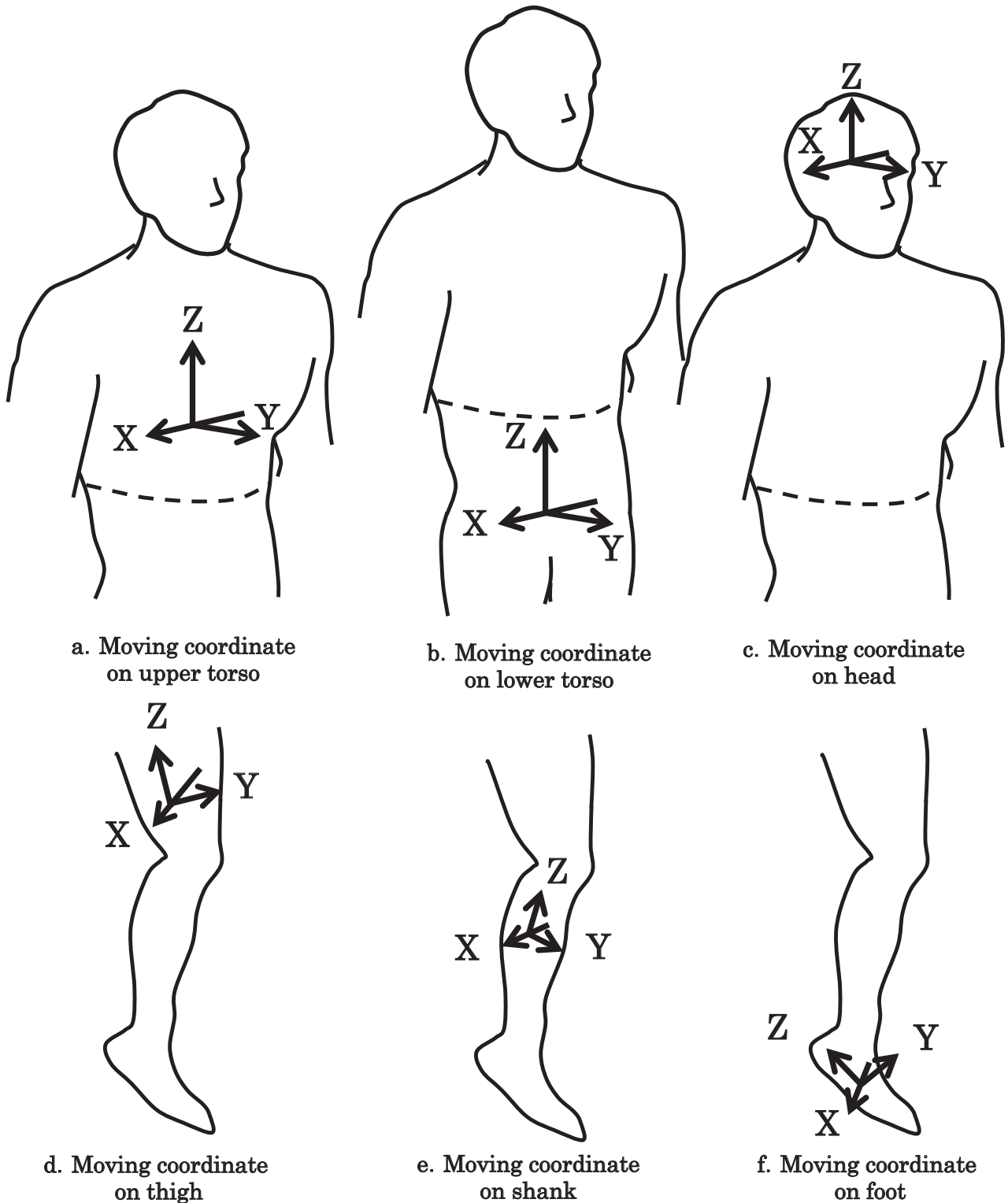


Fig.3 Definition of the moving coordinates.

て得られる単位ベクトルを x_{HD} とした。そして, x_{HD} , y_{HD} および z_{HD} を軸とする座標系を頭部座標系 Σ_{HD} と定義した (Fig. 3c)。

4) 大腿座標系

右大腿座標系について, まず右膝関節から右股関節に向かう単位ベクトルを z_{RTH} , 左股関節から右股関節に向かう単位ベクトルを shp とした。つぎに, z_{RTH} と shp の外積によって得られる単位ベクトルを x_{RTH} とし, さらに, x_{RTH} と z_{RTH} との外積によって得られる単位ベクトルを y_{RTH} とした。そして, x_{RTH} , y_{RTH} および z_{RTH} を軸とする座標系を右大腿座標系 Σ_{RTH} と定義した (Fig. 3d)

左大腿座標系 Σ_{LTH} についても, 同様の手順で定義した。

5) 下腿座標系

右下腿座標系について, まず右足関節から右膝関節に向かう単位ベクトル z_{RSH} と右大腿座標系の X 軸との外積によって得られる単位ベクトルを y_{RSH} とした。つぎに, z_{RSH} と y_{RSH} との外積によって得られる単位ベクトルを x_{RSH} とした。そして, x_{RSH} , y_{RSH} および z_{RSH} を軸とする座標系を右下腿座標系 Σ_{RSH} と定義した (Fig. 3e)

左下腿座標系 Σ_{LSH} についても, 同様の手順で定義した。

6) 足部座標系

右足部座標系について, まず右つま先から右足関節に向かう単位ベクトル r_{FT} と右下腿座標系の X 軸との外積によって得られる単位ベクトルを y_{RFT} とした。つぎに, z_{RFT} と y_{RFT} との外積によって得られる単位ベクトルを x_{RFT} とした。そして, x_{RFT} , y_{RFT} および z_{RFT} を軸とする座標系を右下腿座標系 Σ_{RFT} と定義した (Fig. 3f)

左足部座標系 Σ_{LFT} についても, 同様の手順で定義した。

(6) 角運動量

全身の角運動量の算出は, 身体を 15 個のセグメントから構成される剛体リンクモデルとして仮定し, Dapena (1978), 湯 (1995) の方法に基づいて行った。算出の基準座標系は, 身体重心に原点を平行移動した静止座標系とした。全身の角運動量 (L_j) の算出に用いた式を以下に示す。

$$L_j = \sum r_{j/G} \times m_j V_{j/G} + \sum I_j \times \omega_j$$

ここで, $r_{j/G}$ は身体重心からセグメント重心への位置ベクトル, m_j は各セグメントの質量, $V_{j/G}$ は身体重心に対するセグメント重心の相対速度ベクトル, I_j はセグメントの慣性テンソル, ω_j はセグメントの角速度である。円盤をリリースする前の全身の角運動量は, 質点とみなして計算した円盤 (質量 2kg) の角運動量 ($r_{j/G} \times m_D V_D$; D : 円盤) を式 (2) に加算して求めた。

Dapena (1993) にならって, この角運動量をシステムの角運動量とした。本研究では, 左右軸 (X 軸) まわりの角運動量 (L_x) を算出した。正負については先行研究と同様に, サークルを右側方から見て左まわりを正とした。

2.4 統計処理

各パラメータと初速度との間の関係について検討するために, Pearson の積率相関係数を用いた。有意性は危険率 5% 未満で判定した。

3. 結果

3.1 リリースパラメータ

初速度は 20.10 ± 1.65 m/s, 投射角は $34.48 \pm 3.53^\circ$, 投射高は 1.52 ± 0.12 m, 投射高 (身長比) は $86.08 \pm 6.70\%$ であった。Fig. 4 はそれぞれのリリースパラメータと投てき距離との関係を示したものである。初速度と投てき距離との間に有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.969$, $p < 0.001$)。投射角, 投射高および投射高 (身長比) と投てき距離との間には有意な相関関係は認められなかった (それぞれ $r = 0.159$, n.s.; $r = 0.189$, n.s.; $r = 0.105$, n.s.)。

3.2 形態に関するパラメータ

身長は 1.77 ± 0.05 m, 体重は 95.82 ± 11.13 kg であった。Fig. 5 は身長および体重と初速度との関係について示したものである。身長および体重は, いずれも初速度との間に有意な相関関係は認められなかった (それぞれ $r = 0.232$, n.s.; $r = 0.177$, n.s.)。

3.3 重心速度

BS 時, R-off 時, L-off 時, R-on 時, L-on 時, および Rel 時の重心速度は, それぞれ 0.14 ± 0.08 m/s, 0.93 ± 0.19 m/s, 2.44 ± 0.29 m/s, 2.21 ± 0.32 m/s, 2.04 ± 0.30 m/s, および 1.68 ± 0.19 m/s であった。Fig. 6 は各イベント時における重心速度と初速度との関係を示したものである。重心速度は R-off 時, L-off 時および L-on 時において, 初速度との間に有意な正の相関関係が認められた (それぞれ $r = 0.728$, $p < 0.01$; $r = 0.650$, $p < 0.01$; $r = 0.555$, $p < 0.01$)。BS 時, R-on 時および Rel 時は, 初速度との間に有意な相関関係は認められなかった (それぞれ $r = -0.091$, n.s.; $r = 0.293$, n.s.; $r = 0.266$, n.s.)。

3.4 重心移動距離

準備局面, エントリ局面, 空中局面, 移行局面, および投げ局面の重心移動距離は, それぞれ 0.29 ± 0.06 m, 0.59 ± 0.06 m, 0.24 ± 0.07 m, 0.38 ± 0.06 m, および 0.39 ± 0.08 m であった。Fig. 7 は各局面の重心移動距離と初速度との関係を示したものである。重心移動距離は, 空

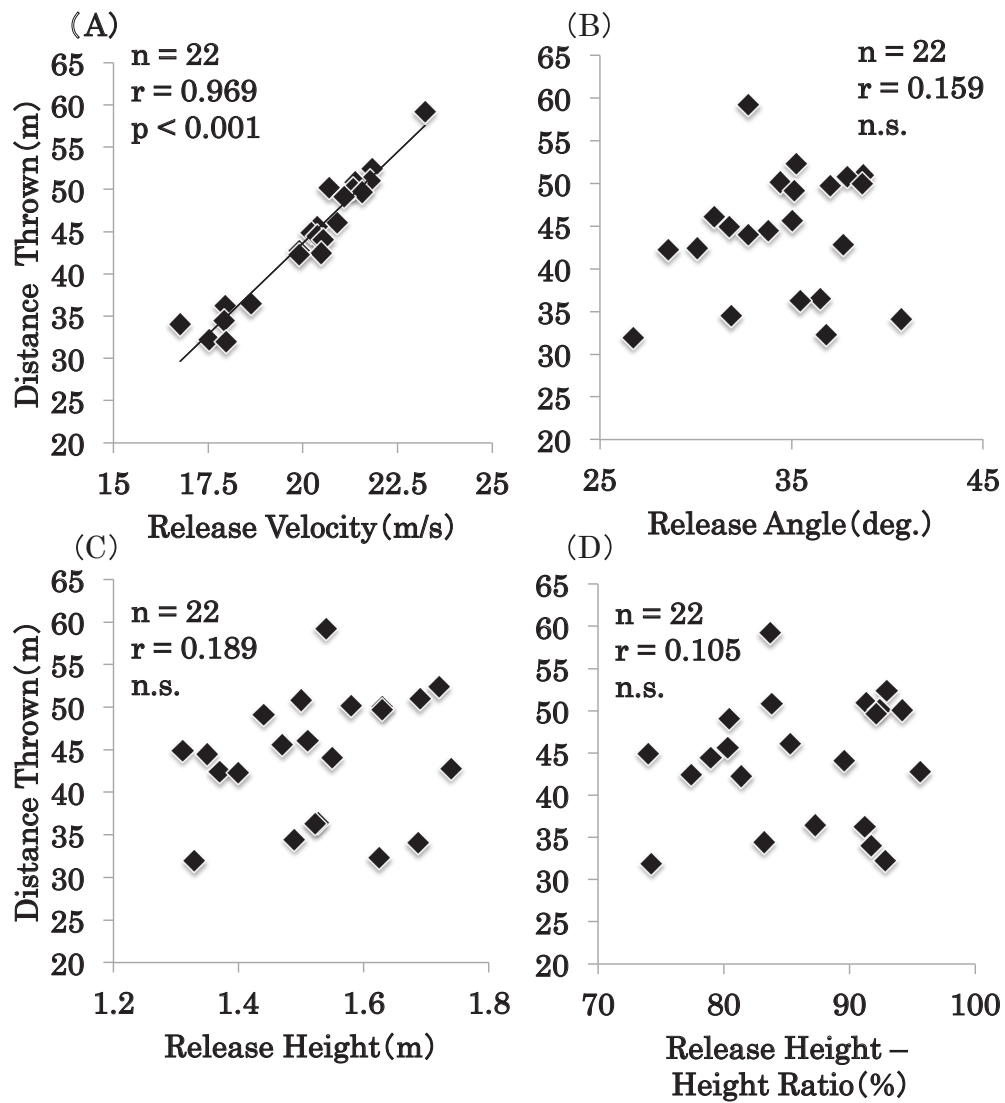


Fig.4 Relationships between distance thrown and release parameters.

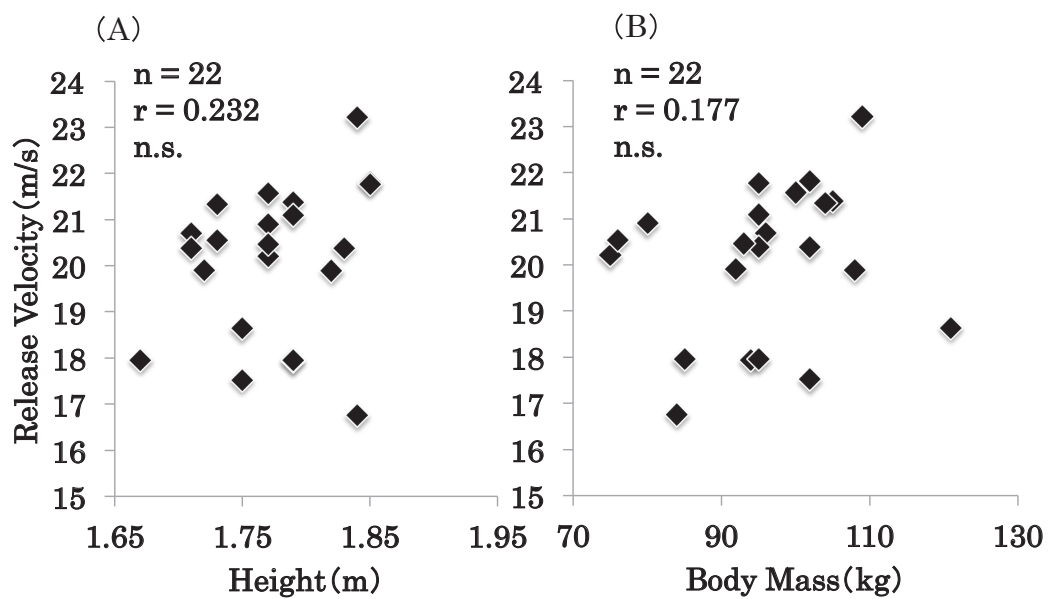


Fig.5 Relationships between distance thrown and morphological parameters.

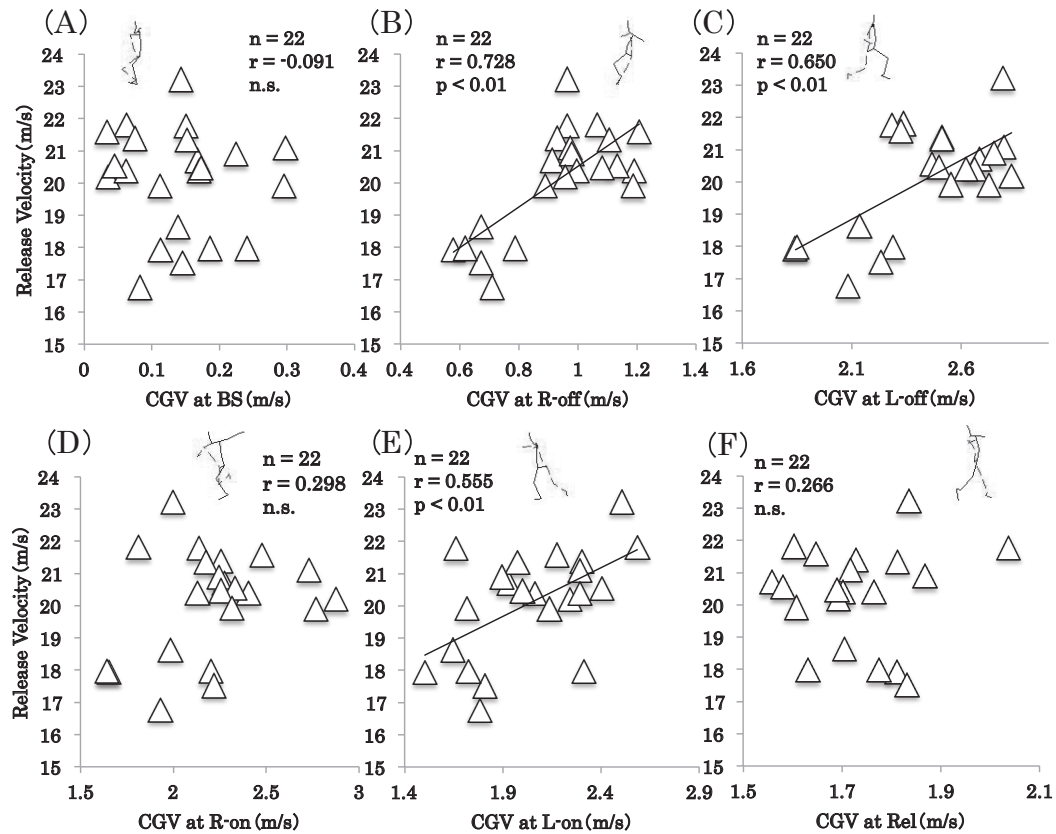


Fig.6 Relationships between distance thrown and the velocity of the center of gravity (CGV).

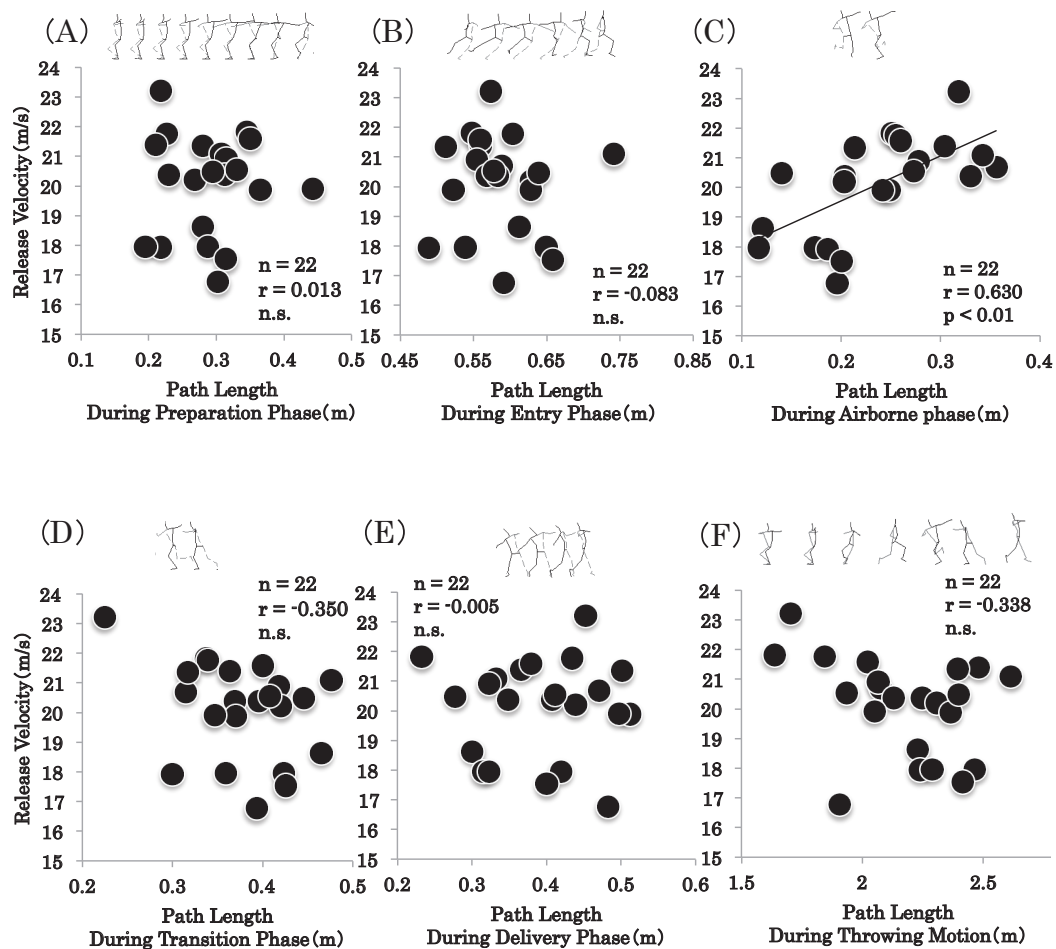


Fig.7 Relationships between distance thrown and the path length of the center of gravity (CG).

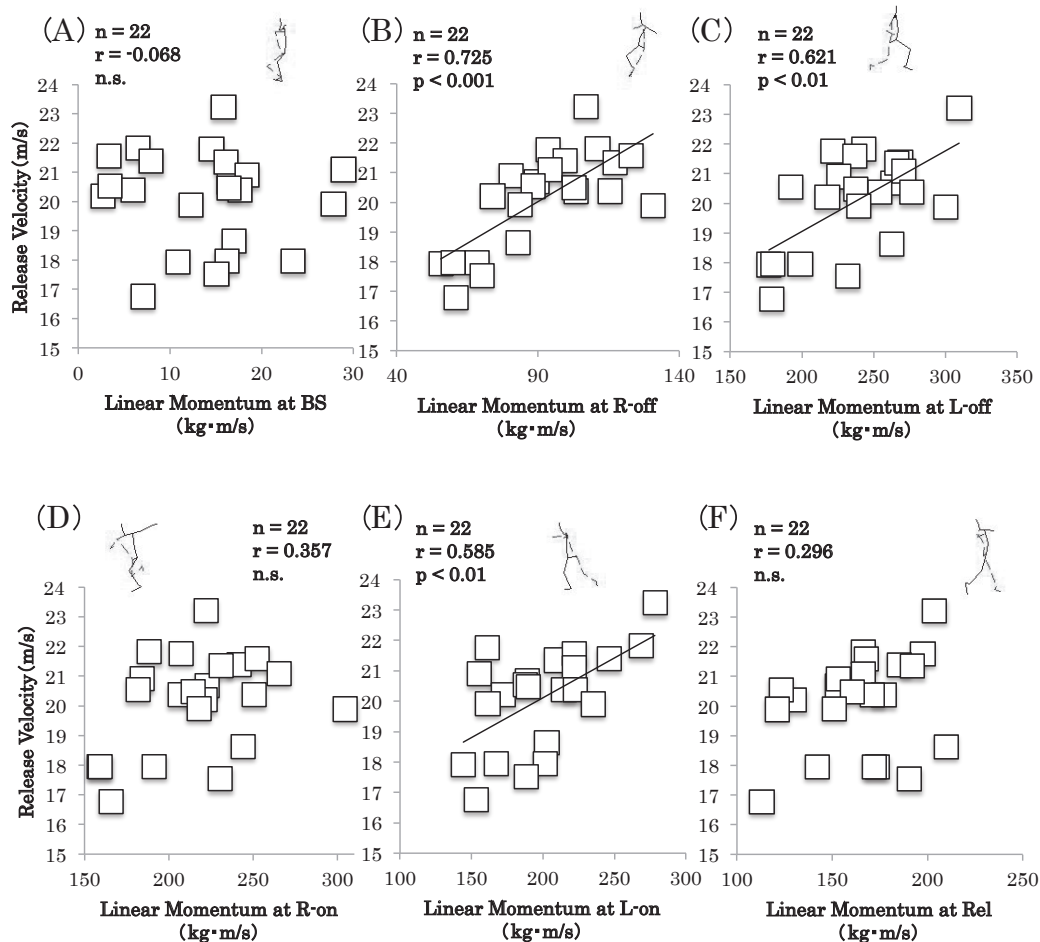


Fig.8 Relationships between distance thrown and the linear momentum.

中局面において、初速度との間に有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.630$, $p < 0.01$)。準備局面、エントリ局面、移行局面、投げ局面および合計の重心移動距離は、初速度との間に有意な相関関係は認められなかった (それぞれ $r = 0.013$, n.s.; $r = -0.083$, n.s.; $r = -0.350$, n.s.; $r = -0.005$, n.s.; $r = -0.338$, n.s.)。

3.5 並進運動量

BS 時、R-off 時、L-off 時、R-on 時、L-on 時、および Rel 時のシステムの並進運動量は、それぞれ $13.83 \pm 7.36 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, $91.47 \pm 21.32 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, $238.84 \pm 37.75 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, $216.45 \pm 36.16 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, $199.67 \pm 36.87 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$, および $164.59 \pm 27.00 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$ であった。Fig. 8 はそれぞれのイベント時における並進運動量と初速度との間の関係を示したものである。並進運動量は、R-off 時、L-off 時および L-on 時において、初速度との間に有意な正の相関関係が認められた (それぞれ $r = 0.725$, $p < 0.001$; $r = 0.621$, $p < 0.01$; $r = 0.585$, $p < 0.01$)。BS 時、R-on 時および Rel 時は、初速度との間に有意な相関関係は認められなかった (それぞれ $r = -0.068$, n.s.; $r = 0.357$, n.s.; $r = 0.296$, n.s.)。

3.6 X 軸まわりの角運動量

BS 時、R-off 時、L-off 時、R-on 時、L-on 時、および Rel 時のシステムの X 軸まわりの角運動量は、それぞれ $0.26 \pm 1.59 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$, $-27.01 \pm 6.56 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$, $15.01 \pm 6.92 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$, $13.46 \pm 5.48 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$, $-18.17 \pm 5.48 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$, および $-14.45 \pm 8.73 \text{ kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}$ であった。Fig. 9 はそれぞれのイベント時におけるシステムの X 軸まわりの角運動量と初速度との間の関係について示したものである。システムの X 軸まわりの角運動量は、R-on 時および Rel 時において、初速度との間に有意な負の相関関係が認められた (それぞれ $r = -0.452$, $p < 0.05$; $r = -0.510$, $p < 0.05$)。BS 時、R-off 時、L-off 時および L-on 時は、初速度との間に有意な相関関係は認められなかった (それぞれ $r = -0.210$, n.s.; $r = 0.123$, n.s.; $r = 0.026$, n.s.; $r = 0.058$, n.s.)。

4. 考 察

本研究では、22 名の男子学生円盤投競技者を対象に、公式競技会および実験においてデータを収集した。投てき距離は、全対象者の平均値が $44.10 \pm 7.36 \text{ m}$ であり、 31.92 m から 59.21 m の範囲であった。この記録範囲は

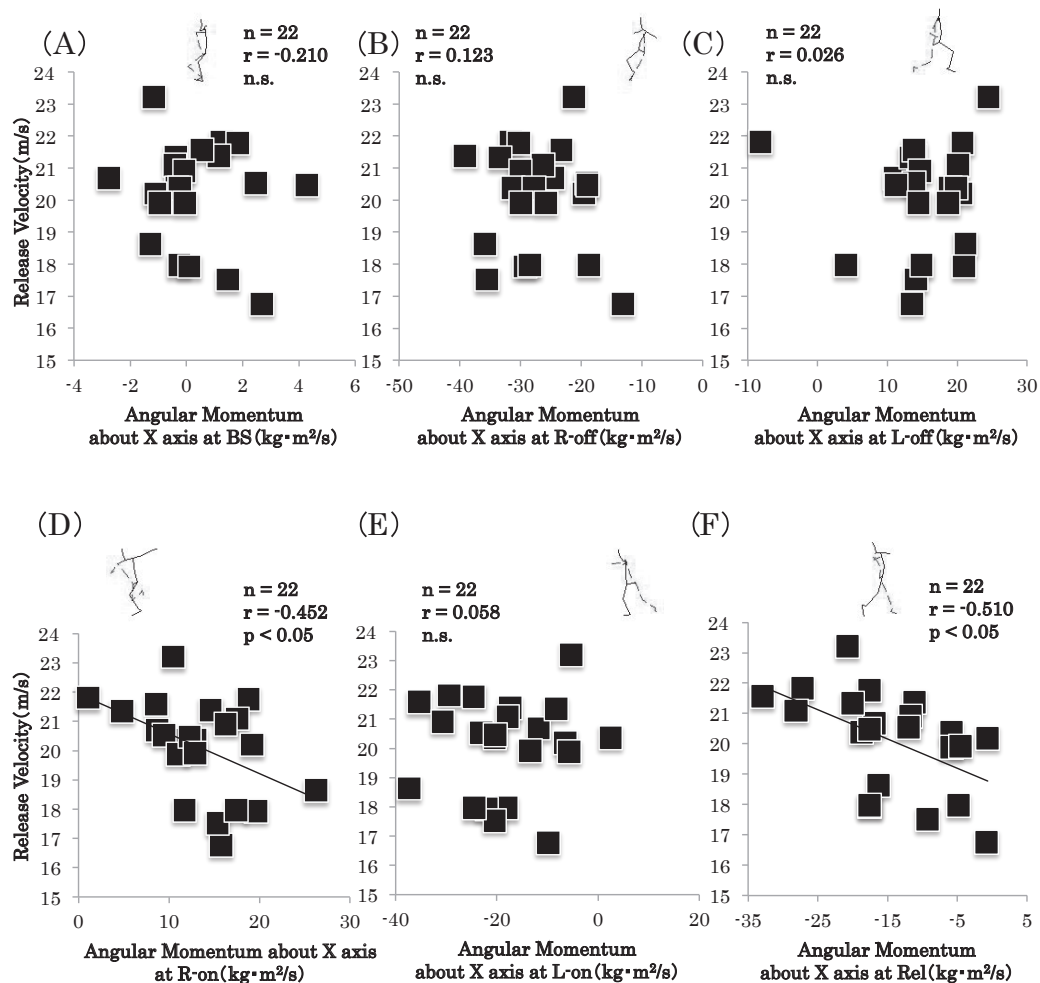


Fig.9 Relationships between distance thrown and the angular momentum at X axis.

2016年度ランキングでは、都道府県選手権出場レベルから日本トップレベルに該当する。したがって本研究では、広範囲なパフォーマンスレベルにある円盤投競技者のパフォーマンスを計測できたと考えられる。

4.1 リリースパラメータ

リリースパラメータと投てき距離との関係について、初速度のみ投てき距離との間に有意な正の相関関係が認められた (Fig. 4)。多くの先行研究においても、初速度が投てき距離に最も影響を与える要因であることが報告されている (Badura, 2010; Bartlett, 1992; Hay, 1985; Schlüter and Nixdorf, 1984)。一方で、投射角、投射高および投射高 (身長比) については、投てき距離との間に有意な相関関係は認められなかった (Fig. 5)。Hay (1985) は、円盤投における最適投射角は $35-40^\circ$ であると述べている。しかし、Lockwood (1963) や Hay and Yu (1995a) が報告した投射角には $30-45^\circ$ までの開きがあることや、競技レベルによって最適な投射角は異なると報告されている (Hay, 1985) ことから、他のリリースパラメータや空気力学的要因などによっても、最適な投射角は異なると考えられる。本研究における投射角の平均値は、

$34.48 \pm 3.54^\circ$ であり、先行研究で報告されている投射角の範囲内であった。一方で、本研究において投射角と初速度との間に有意な相関関係が認められなかったため、投射角は投てき距離に大きな影響を与えたとはいえないであろう。投射高に関して、山本ほか (2008) は、世界一流競技者の投射高 (身長比) は $95.6 \pm 5.0\%$ であり、国内一流競技者の投射高 (身長比) は $90.7 \pm 6.6\%$ であったが、投てき距離との間に有意な相関関係が認められなかったと報告している。本研究における投射高 (身長比) の平均値は、 $86.09 \pm 6.70\%$ であり、山本ほか (2008) の報告よりも小さな値であった。しかしながら、本研究においても投射高と投てき距離の間に有意な相関関係が認められなかったため、投射高も投てき距離に大きな影響は与えていないと考えられる。

4.2 形態に関するパラメータとの関係

身長および体重と初速度との間には、有意な相関関係は認められなかった (Fig. 5)。これまで円盤投は、身長や体重などの体格の大きな競技者が有利であるということが報告されてきたが (ボンパ, 2006; 石河, 1977; 山崎, 1993)、本研究においては、形態的要因が初速度に

大きな影響を与えなかったといえる。本研究では国内男子学生競技者を分析対象としたため、対象者の形態的な特性が均質であったことが原因であると考えられる。したがって本研究における対象者のパフォーマンスの違いは、体格的な要因よりも技術的な要因に影響を受けていると推察される。

4.3 「並進運動」に関わるパラメータと初速度との関係

本研究では、「並進運動」に関わるパラメータとして、重心速度、重心移動距離、並進運動量およびX軸まわりの角運動量を算出し、初速度との関係について検討した。以下、局面を追って、考察を進めていく。

まず、動作前半の重心速度および並進運動量に着目すると、R-off時、L-off時の重心速度および並進運動量と初速度との間に有意な正の相関関係が認められた (Fig. 6, 8)。このことは、初速度の大きな競技者ほど、動作前半であるR-off時およびL-off時に高い重心速度を有しており、より大きな並進運動量を獲得していたことを示している。田内ほか (2007) は、初級円盤投競技者がエントリ局面に要した時間と初速度との間に正の相関関係を示す傾向が認められたと報告しており、初級競技者は後半の動作を適切に行えるように、ターンの導入動作をゆっくり行うことが必要であると述べている。同様に Dapena (1993) は、重要な注意点として、初級円盤投競技者はターンの初期段階に角運動量を高めるよりも、全体の動作をコントロールすることを強調すべきであると指摘している。また Hay (1985) は、(右利き競技者の場合) 左足を投てき方向に回転させながら、重心を左足の上あるいは左足を越えたところまで移動させることが、成功試技のための重要な要因であると述べている。これらのことを考慮すると、競技レベルの低い競技者は動作速度を下げ準備局面からエントリ局面の動作を遂行していると推察されるが、初速度を高めてより大きな投てき距離を達成するためには、(右利き競技者の場合) システムを積極的に左に移動させることによって、重心速度を高め、より大きな並進運動を獲得することが重要であると考えられる。Dapena (1993) は、システムの鉛直軸まわりの正の角運動量が準備局面からエントリ局面前半において増大して最大となり、その後の局面ではほとんど変化しないことから、円盤の水平速度を高めるためには、ターン動作開始時の鉛直軸まわりの正の角運動量を大きくすることが重要であると主張している。Dapena (1993) の主張と本研究の結果から、準備局面からエントリ局面において積極的な体重移動を行うことで、システムを回転させるための勢いを獲得し、その結果システムの鉛直軸まわりの正の角運動量を増大させることが可能となり、最終的には大きな初速度の獲得、ひいては投てき距離の向上へとつながることが示唆された。

次に、空中局面における重心移動距離と初速度との間に有意な正の相関関係が認められた (Fig. 7) ことに関して、先述のように初速度の大きな競技者はL-offまでにより大きな重心速度および並進運動量を獲得していたため、直後の局面である空中局面でシステムを推進させることができ、重心移動距離も大きくなったと考えられる。Yu et al. (2002) は、エントリ局面の間にシステムをできる限り力強く投てき方向に推進させるべきであると主張している。さらに Silvester (2003) は、右脚の振込動作による強い回転力と左脚を強く地面に押し込む動作による推進力を結びつけることで、より大きな運動量を獲得することができると述べている。加えて Silvester (2003) は、ほとんど全ての初級競技者の技術的な問題点として、エントリ局面で過回転になっているか、十分な推進力が伴わないままサークル内を回転していると指摘している。エントリ局面での過回転は、よく見られる失敗のひとつとしてアメリカの指導書 (USA Track & Field, 2014) に示されている。これらのことから、積極的な左への体重移動によってL-offまでに重心速度および並進運動量を高めた状態で、地面を力強く蹴り出し、システムを投てき方向へと推進させることで過回転を防ぐと同時に、より大きな運動量を獲得することができ、初速度の増大、そして投てき距離の向上につながると推察される。

空中局面後のR-on時のX軸まわりの角運動量について、初速度との間に有意な負の相関関係が認められた (Fig. 9)。このことは、初速度の大きな競技者ほど、身体が投てき方向と反対に倒れるような勢いが小さかったことを示している。初速度の大きな競技者は、動作前半に獲得した重心速度および並進運動量が大きく、システムが投てき方向に推進していたためであると考えられる。

そして、動作後半の重心速度、並進運動量およびシステムのX軸まわりの角運動量に着目すると、L-on時の重心速度および並進運動量と初速度との間に有意な正の相関関係が認められ (Fig. 6, 8)、Rel時のシステムのX軸まわりの角運動量と初速度との間に有意な負の相関関係が認められた (Fig. 9)。これらの結果は、初速度の大きな競技者ほどL-on時に大きな重心速度および並進運動量を有しており、Rel時にはシステムが投てき方向へ起き上がる勢いが大きかったことを示している。初速度の大きな競技者は、動作前半で高めた重心速度および並進運動量によって、R-on時に身体が投てき方向と反対に倒れる勢いを小さくすることができていたため、R-onからL-onにかけて重心速度および並進運動量の減少を抑えるあるいは増加させることができたと考えられる。Rel時のシステムのX軸まわりの負の角運動量、すなわち身体が投てき方向に回転する勢いが大きかったことに関して、初速度の大きな競技者は、Relに向けて身体を

投てき方向へと起こす動作を行っていたことが推察される。吉福（1982）は、投球運動におけるステップ動作によって身体の下端を止めることで、全身の並進運動を回転運動に変え、縦方向の回転が生じると述べている。円盤投においても、L-on以降身体の下端である左足を止めることによって、それまでの並進運動を回転運動に変えて、身体を縦方向に回転させる動作、いわゆる「起こし動作」が生じると考えられる。松尾・湯浅（2005）は、L-on時の重心速度と初速度との間に有意な正の相関関係が認められたことから、L-onまでに身体重心速度を高めておくことが、初速度を高める上で重要な要因の一つになっていると述べている。松尾・湯浅（2005）の指摘と本研究の結果から、L-on時までに重心速度および並進運動量が高めることに加え、L-on以降左足を止めることによって、Relに向けて身体を投てき方向に「起こす動作」を行うことで、円盤投のパフォーマンスが向上する可能性があることが示唆された。

5. まとめ

本研究の目的は男子円盤投における「並進運動」と初速度との関係を明らかにし、男子円盤投競技者のパフォーマンス向上のための示唆を得ることであった。そのために、公式競技会および実験によって、22名の男子学生円盤投競技者を対象に動作分析を行い、初速度との関係について検討を試みた。

主な結果は以下の通りである。

- 1) 身長および体重と初速度との間には、有意な相関関係は認められなかった。
- 2) 初速度と投てき距離との間には、有意な正の相関関係が認められたが、投射角、投射高および投射高（身長比）と投てき距離との間には、有意な相関関係は認められなかった。
- 3) R-off時、L-off時およびL-on時の重心速度および並進運動量と初速度との間に、有意な正の相関関係が認められた。
- 4) 空中局面における重心移動距離と初速度との間に、有意な正の相関関係が認められた。
- 5) R-on時およびRel時のシステムのX軸まわりの角運動量と初速度との間に、有意な負の相関関係が認められた。

これらの結果から、国内男子学生円盤投において従来指摘されてきたような身長や体重といった形態的要因と初速度との関係は認められず、一方で初速度は投てき距離との関係が強いということが示された。そして、動作前半に重心速度を高め、より大きな並進運動量を獲得することで、システム（≡身体）を投てき方向へと推進させること、動作後半（L-onまで）に重心速度および並進運動量の減少を抑える、あるいは増加させつつ、身体の下端を止めることで、並進運動を縦方向の回転運動へ

と変え、システム（≡身体）を投てき方向へと「起こす動作」を行うことが、初速度の向上につながるということが示唆された。

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 Science*, 15: 155-162.
- Badura, M. (2010) Biomechanical Analysis of the Discus at the 2009 IAAF World Championships in Athletics. *New Studies in Athletics*, 25: 23-35.
- Bartlett, R. M. (1992) The biomechanics of the discus throw: A review. *Journal of Sports Science*, 10: 467-510.
- ボンパ：尾縣 貢・青山清英監訳（2006）競技力向上のトレーニング戦略. 大修館書店：東京, p.216.
- ブッシュ：小田海平訳（1979）ジム・ブッシュ（UCLA）の陸上競技コーチング. 講談社：東京, p.264.
- Dapena, J. (1978) A Method to determine the angular momentum of a human body about three orthogonal axis passing through its center of gravity. *Journal of Biomechanics*, 11: 251-256.
- Dapena, J. (1993) New Insights on Discus Throwing. *Track Technique*, 125: 3977-3983.
- Hay, J. G. (1985) *The Biomechanics of Sports Techniques* (3rd Edition). Prentice-Hall: Englewood Cliffs, pp.481-495.
- Hay, J. G. and Yu, B. (1995a) Critical characteristics of technique in throwing the discus. *Journal of Sports Sciences*, 13: 125-140.
- Hay, J. G. and Yu, B. (1995b) Free-Leg Action In Throwing The Discus. *Track Coach*, 134: 4265-4268.
- 石河利寛（1977）日本人体力とスポーツ体力. 杏林書院：東京, pp.278-295.
- 石田和之（2005）野球における動作の習熟プロセス. *体育の科学*, 55 (7): 517 - 521.
- Lockwood, H. H. (1963) Throwing the Discus. in GFD Pearson (ed) *Athletics*: pp.214.
- Matsuo, T., Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., Barrentine, S. W., and Andrews, J. R. (2001) Comparison of kinematic and temporal parameters between different pitch velocity groups. *Journal of Applied Biomechanics*, 17 (1): 1-13.
- 松尾宣隆・湯浅景元（2005）円盤投げ動作における身体重心速度が円盤速度と円盤＋投擲者角運動量に及ぼす効果. *中京大学体育学論叢*, 46 (2): 33-43.
- 宮西智久・桜井伸二・若山章信・岡本 敦・只左一也（1998）アジア一流競技者における円盤投げの角運動量の3次元解析. *バイオメカニクス研究*, 2 (1): 10-18.
- 宮崎利勝・高橋和将・平山大作・内藤 景・阿江通良・

- 大山卞圭悟 (2016) 円盤投げにおける体幹の捻転動作が円盤の初速度に与える影響. 陸上競技学会誌, 14 : 19-26.
- Ohyama Byun, K., Fujii, H., Murakami, M., Endo, T., Takesako, H., Gomi, K., and Tauchi, K. (2008) A biomechanical analysis of the men's shot put at the 2007 World Championships in Athletics. New Studies in Athletics, 23: 53-62.
- 大山卞圭悟・藤井宏明 (2008) 男子砲丸投一回転投法・グライド投法の比較を中心に－. バイオメカニクス研究, 12 : 153-160.
- 桜井伸二 (2004) 投動作のメカニズム (第 10 章投動作). 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. 杏林書院: 東京, pp.239-246.
- Schlüter, W. and Nixdorf, E. (1984) Kinematische Beschreibung und Analyse der Diskuswurftechnik. Leistungssport, 6: 17-22.
- Silvester, L. J. (1988) Discus Throwing. Track and Field Quarterly Review, 88: 30-31.
- Silvester, L. J. (2003) Complete Book of Throws. Human Kinetics: Illinois, pp.65-97.
- 湯海鵬 (1995) 3 次元的身体角運動量の算出方法. 体育学研究, 40 : 161-169.
- 田内健二・磯 繁雄・持田 尚・杉田正明・阿江通良 (2007) 円盤投の動作時間と投てき記録との関係. 陸上競技研究紀要, 3 : 25-31.
- USA Track & Field (2014) Track & Field Coaching Essentials. Human Kinetics: Illinois, pp.277-297.
- Welch, C. M., Banks, S. A., Cook, F. F., and Draovitch, P. (1995) Hitting a baseball: A Biomechanical Description. Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy, 22 (5): 193-201.
- Winter, D. A. (1990) Biomechanics and motor control of human movement. John Wiley and Sons: New Jersey, pp.41-43.
- 山本大輔・伊藤 章・田内健二・村上雅俊・淵本隆文・田邊 智 (2008) 世界 1 位と日本 1 位の男子円盤投選手の円盤加速動作の比較. 陸上競技研究紀要, 4 : 124-127.
- 山崎祐司 (1993) 円盤投げ (最新陸上競技入門シリーズ 12). ベースボールマガジン社: 東京.
- 吉福康郎 (1982) 投げる－物体にパワーを注入する. Japanese Journal of Sports Sciences, 1 (2): 85-90.
- Yu, B., Broker, J., and Silvester, L. J. (2002) A Kinetic Analysis of Discus-Throwing Techniques. Sports Biomechanics, 1 (1): 25-46.

最大下努力度でのリバウンドジャンプにおける 下肢筋群の負荷特性

関慶太郎¹⁾, 村越雄太²⁾, 青山清英³⁾

Load characteristics of lower limb muscles during submaximal repeated vertical jump

Keitaro SEKI¹⁾, Yuta MURAKOSHI²⁾, Kiyohide AOYAMA³⁾

Abstract

The aim of the present study was to clarify load characteristics of lower limb muscles during submaximal repeated vertical jump. 16 male athletes (age: 20.6 ± 0.9 years, height: 1.79 ± 0.06 m, weight: 81.7 ± 13.6 kg) were asked to jump repeatedly five times on a force platform under six different conditions: 100, 90, 80, 60, 45, and 30% of subjective output. Jumping motion in the sagittal plane was videotaped at a sampling rate of 120 Hz. Ground reaction force and muscular activity (EMG) of lower limb muscles were recorded at a sampling rate of 1000 Hz. The jump height significantly increases with subjective output. No significant difference in negative work done by ankle, knee, and hip joints was observed. However, positive work done by ankle and knee joints significantly increase with subjective output. The iEMG of knee extensor and hip extensor increase with subjective output. These results suggest that submaximal repeated vertical jump has same SSC function of ankle plantar flexor during as maximal repeated vertical jump, but its loads on knee extensor and hip extensor were decreased with subjective output. The submaximal repeated vertical jump might be plyometric training without high loads on hip and knee joints.

キーワード：伸長—短縮サイクル，力学的仕事，筋活動

1. 緒 言

Stretch-Shortening Cycle (SSC) 運動は、エキセントリック収縮がコンセントリック収縮に先立って生じる運動である。SSC 運動では、エキセントリック局面に続くコンセントリック局面において発揮される力を増強する機能 (Komi, 1984) や運動の効率を向上させる機能 (Aura and Komi, 1986; Kyröläinen and Komi, 2011) を有していることが知られている。したがって、SSC 運動遂行能力はあらゆるスポーツ種目において、重要な能力であることが伺える。そして、この SSC 運動を利用した

トレーニングであるプライオメトリックスは、より大きな力やパワー発揮を可能にすることが報告されている (Komi et al., 1982; 図子, 2012)。また、プライオメトリックトレーニングによって中長距離走パフォーマンスが向上した事例も報告されおり (図子, 2006)、運動の効率率が改善される可能性も考えられる。これらのことから、プライオメトリックスは様々なスポーツ種目のトレーニングとして幅広く利用できる可能性がある。

プライオメトリックスのひとつに、その場で鉛直方向に連続的に跳躍を行うリバウンドジャンプ (RJ) がある。RJ は特別な道具を必要とせず、跳躍高が次の跳躍の負荷となるため、非鍛錬者でも適応可能な負荷でトレーニングを行うことができるトレーニングである。このように、RJ は優れたトレーニング手段であるが、RJ の負荷特性に関する研究はわずかであり、類似した運動であるリバウンドドロップジャンプ (RDJ) に関するものがほとんどである。RDJ においては、足関節の負荷が膝関節や足関節と比較して有意に大きく、足関節に関与する筋群の役割が重要であることが示唆されている (Bobbett et al., 1987a, 1987b; 図子・高松, 1995)。また、図子・高松 (1995) は、接地時間を短縮するためには、足関節に関与する筋群のエキセントリック収縮と接地に対する時間的空間的な予測が影響していることを報告している。一方、RJ を用いた研究としては尹ほか (1999) が挙げられる。尹ほか (1999) は、傾斜面での RJ の負荷特性について、上り傾斜および平地では、下り傾斜と比較して跳躍高が高い傾向にあること、上り傾斜および平地ではアキレス腱張力が跳躍高に関わっていること、

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

2) 日本大学経済学部非常勤講師 College of Economics, Nihon University
〒101-8360 東京都千代田区三崎町 1-3-2

3) 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

そして、アキレス腱張力の増大のためには腓腹筋の stiffness を高めることが必要であることを報告している。このように、RJ や RDJ の負荷特性に関する研究はなされているものの、いずれも最大努力度での RJ や RDJ を対象としており、最大下努力度での検討はなされていない。先述のように、SSC は大きな力を発揮するだけでなく、運動の効率を向上させる機能も有することから、最大下努力度で行うことも有効である可能性は否定できない。そのためには、最大努力度だけでなく、最大下努力度で RJ を行った際の負荷特性を明らかにすることが重要である。

また、これまでになされてきた最大下努力度のジャンプに関する研究では、主観的努力度を変化させたときに生じる跳躍高の変化（グレーディング）について検討したものや（村木・稲岡, 1996）、キネマティクスやキネティクス変数（阿江ほか, 1994）について検討したものなど、ごく僅かである。さらに、負荷特性を明らかにする上で、キネティクスの分析では、主働筋と拮抗筋の共収縮によって関節トルクやパワー、力学的仕事を過小評価してしまったり、二関節筋の活動を十分に検討できなかったりする可能性がある。キネティクスの分析に加えて、筋活動（EMG）を測定することは、最大下の RJ の負荷特性を明らかにする上で有益であると考えられる。そこで、本研究では、主観的努力度を変化させることによって、最大下のリバウンドジャンプにおける負荷特性を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1 被験者

被験者は大学陸上競技部に所属する跳躍または投擲種目を専門とする男子学生 16 名（年齢：20.6 ± 0.9 歳、身長：1.79 ± 0.06 m、体重：81.7 ± 13.6 kg）であった。本研究の被験者は、全国大会への出場経験があるものがほとんどであり、普段からトレーニングの中で RJ を行っている者であった。したがって、本研究の被験者は、主観的努力度を変化させる試技を十分に行うことができる者であったと考えられる。被験者には、実験に先立ち、研究の目的、方法および実験に伴う安全性および危険性を十分に説明し、書面にて実験参加に関する同意を得た。なお、本研究は日本大学文理学部研究倫理委員会の承認を得て行われた。

2.2 実験試技および測定

実験試技は、主観的努力度の異なる計 12 セットの 5 回連続の RJ とした。主観的努力度は、100%、90%、80%、60%、45%、30% の 6 段階に設定し、それぞれの主観的努力度ごとに 2 セットの試技を行わせた。また、試技順による影響を避けるため、試技はランダムな順序で行わせた。試技の際にはシューズを着用させ、腕の振

り込み動作を用いないように、腰に手を当てた姿勢で実施した。試技と試技の間には十分な休憩を取らせた。

分析対象試技の選定は、次の手順で行った。ドロップジャンプにおける落下高が負荷を決定する要因であることから、連続 RJ における負荷は前のジャンプの跳躍高が落下高となって次のジャンプの負荷を決定していると考えた。そのため、1 セットの 5 回連続 RJ の中から、跳躍高が前のジャンプの跳躍高とほぼ同じであったジャンプを選択した。例えば、5 回連続 RJ のうち、3 回目のジャンプと 2 回目のジャンプの跳躍高がほぼ同じであった場合、3 回目のジャンプを分析対象とした。次に、主観的努力度 100% で行われた 2 セットの試技からそれぞれ選択された 2 回のジャンプのうち、跳躍高が高い方のジャンプを 100% の試技として採用した。そして、100% の試技の跳躍高に対する相対跳躍高をそれぞれの主観的努力度におけるジャンプで算出し、それぞれの主観的努力度において選択された 2 回のジャンプのうち、指定した努力度に相対跳躍高に近い方のジャンプをそれぞれの主観的努力度における分析対象試技として採用した。

2.3 計測およびデータ処理

試技はフォースプラットフォーム（Kistler, Switzerland）上で行わせ、地面反力は 1000Hz で測定した。矢状面の動作は被験者の側方 5m の地点に設置したハイスピードカメラ（GC-P100, JVC ケンウッド）を用いて 300fps で撮影した。その際、実長換算するためにフォースプラットフォームの周囲に 1m の間隔で校正マークを設置した。また、動作、地面反力および EMG の同期には、LED 型シンクロナイザ（DKH）を用いた。撮影された映像をもとに、支持期中の矢状面の動作について、つま先、MP 関節、かかと、外顆、膝関節、大転子、肩峰の 7 点と校正マーク 4 点を Frame-DIAS V（DKH）を用いて 100 Hz でデジタル化した。デジタル化によって得られた身体分析点の 2 次元座標値を校正マークの座標値から Matlab（MathWorks, USA）にて作成されたプログラムを用いて実長換算した。実長換算した座標値は座標成分ごとに Wells and Winter（1980）の方法に基づいて最適遮断周波数を決定し、Butterworth low-pass digital filter を用いて平滑化した。

筋電図（EMG）は、大殿筋（GM）、大腿二頭筋長頭（BF）、大腿直筋（RF）、外側広筋（VL）、腓腹筋（GA）、前脛骨筋（TA）から表面アクティブ電極（SX-230, Biometrics, UK）を用いて 1000Hz で測定した。電極貼付に先立ち、皮膚抵抗を減らし電極の粘着をよくするために、アルコールによる清拭を施した上で、両面テープにより皮膚への固定を行った。また、EMG を規格化するために、試技に先立って最大随意収縮（MVC）を行わせ、筋放電量を測定した。測定した EMG データは、

Butterworth high-pass digital filter を用いてアーチファクト成分をカットオフ周波数 10Hz で除去した。さらに、全波整流後、Butterworth low-pass digital filter によりカットオフ周波数 15 Hz にて包絡線を得た。

2.4 算出項目および算出方法

平滑化したデータから、身体を足部、下腿、大腿および体幹の4の部分からなるリンクセグメントモデルを作成した。各部分の質量中心および慣性モーメントは阿江(1996)の身体部分慣性係数を用いて算出した。足関節、膝関節および股関節のトルクは、これらのデータと地面反力を用いて、逆動力学演算によって算出した。また、これらの関節の角度を算出し、それを時間微分することで関節角速度を求めた。そして、関節トルクと関節角速度の内積によって関節トルクパワーを算出した。さらに、支持期中の関節トルクパワーを積分することで各関節の力学的仕事を算出した。

接地時間は、地面反力が基線から急峻に立ち上がり、基線の水準に低下するまでの時間とした。滞空時間 (T_{air}) は、地面反力が基線の水準に低下してから、再び急峻に立ち上がるまでの時間とした。跳躍高 (H) は、地面反力から読み取った滞空時間をもとに次式によって算出した。

$$H = 1/8 \cdot g \cdot T_{air}^2$$

ここで、 g は重力加速度 ($9.81\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$) を示す。

積分筋電図 (iEMG) は、支持期中の包絡線を積分することによって得られた。これを MVC 時の筋活動の最大値を 100% として規格化した。

2.5 統計処理

すべての値は平均値 $\pm$ 標準偏差で示した。異なる努力度間の差の検定には、対応のある一元配置分散分析を用いた。主効果が有意であった場合には、Tukey 法の多重比較を行った。なお、有意確率は 5% 未満とした。

3. 結果

Fig. 1 は、それぞれの主観的努力度における跳躍高を示した。跳躍高は、100%, 90%, 80%, 60%, 45%, 30%の順にそれぞれ、 0.34 ± 0.08 , 0.30 ± 0.08 , 0.28 ± 0.07 , 0.24 ± 0.07 , 0.21 ± 0.07 , 0.19 ± 0.08 m であった。跳躍高はすべての努力度間に有意差が認められた。跳躍高を相対値で示すと、100%から順にそれぞれ、 100.0 ± 0.0 , 88.5 ± 4.9 , 82.2 ± 5.8 , 69.8 ± 8.6 , 61.1 ± 9.8 , $52.9 \pm 13.7\%$ であった。接地時間は、100%から順にそれぞれ 0.196 ± 0.017 , 0.197 ± 0.024 , 0.199 ± 0.019 , 0.207 ± 0.020 , 0.211 ± 0.021 , 0.226 ± 0.033 秒であった。接地時間は、90%と30%との間 ($p < 0.001$)、100%と30%との間 ($p < 0.01$)、80%と30%との間 ($p < 0.01$)、45%と30%との間 ($p < 0.01$)、80%と45%との間 ($p < 0.05$)、100%と45%との間 ($p < 0.05$)、80%と45%との間 ($p < 0.05$)、60%と30%との間 ($p < 0.05$) に有意差が認められ、主観的努力度が低くなると共に接地時間が増加する傾向が認められた。

Fig. 2 は支持期中の足関節、膝関節および股関節の関節角速度および関節トルクを示した。足関節の角速度は、支持期前半に背屈角速度を示した後、支持期後半では底屈角速度を示した。足関節角速度の最小値 (背屈角速度の最大値) は、いずれの努力度間にも有意差は認められ

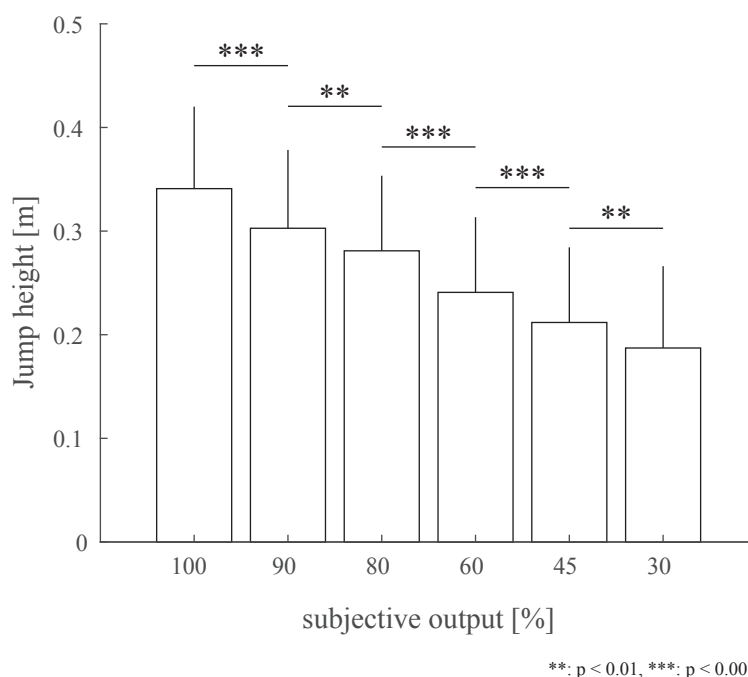


Figure 1 Jump height in each subjective output.

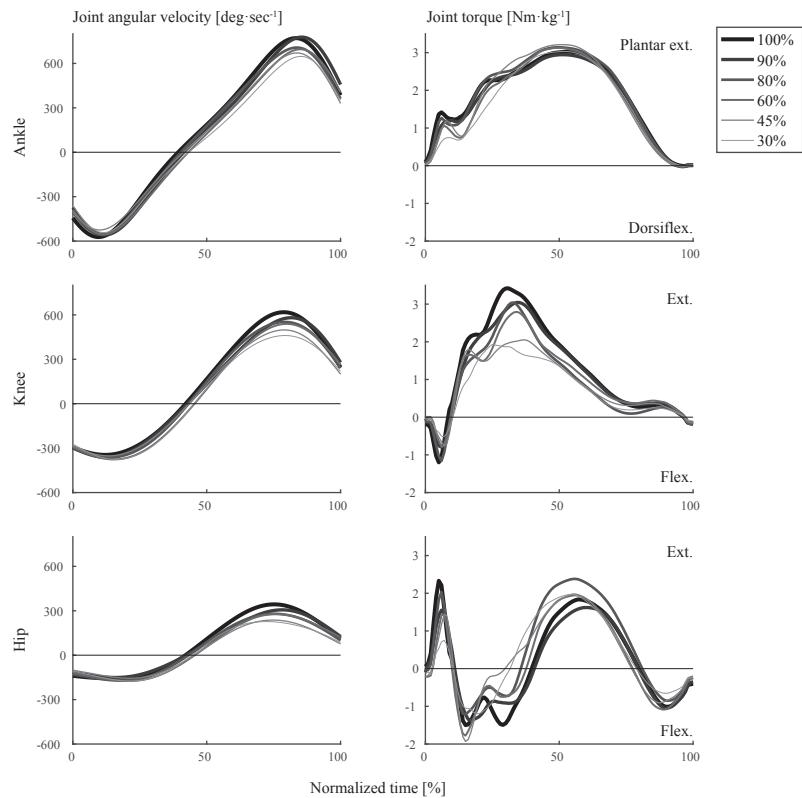


Figure 2 Joint angular velocities and joint torques of lower limb during contact.

なかった。膝関節と股関節の角速度は、支持期前半に屈曲角速度を示した後、支持期後半では伸展角速度を示した。膝関節および股関節角速度の最小値（屈曲角速度の最大値）は、いずれの努力度間にも有意差は認められなかった。足関節のトルクは、支持期全体にわたって底屈トルクを発揮しており、努力度の違いによってその大きさに差異は認められなかった。膝関節トルクは、接地直後に屈曲トルクを示すものの、その後は離地まで伸展トルクを発揮し続けた。支持期中盤付近の伸展トルクのピーク値は、100%と45% ($p < 0.01$), 80%と45% ($p < 0.05$) との間に有意差が認められ、努力度が高くなると共に伸展トルクのピーク値も大きくなる傾向が認められた。股関節トルクは、接地直後に伸展トルクを発揮し、その後、一旦屈曲トルクを発揮した後、再び伸展トルクに転じ、離地直前に屈曲トルクを発揮する傾向を示した。

Fig. 3 は、支持期中の足関節、膝関節および股関節の力学的仕事を示した。いずれの努力度においても、足関節の力学的仕事が最も大きい値を示した。足関節の正仕事は、努力度が小さくなると共にやや小さくなる傾向が認められた。また、膝関節の正仕事は、100%および90%と30%との間に有意差が認められた。一方で、股関節の正仕事および足関節、膝関節、股関節の負仕事には、いずれの努力度間においても有意差は認められなかった。

Fig. 4 は、支持期中における GM, BF, RF, VL, GA およ

び TA の iEMG を示した。TA については努力度間で有意差は認められなかったものの、それ以外の筋では、いくつかの努力度間で有意差が認められ、努力度が小さくなると共に iEMG も小さくなる傾向が認められた。

4. 考 察

本研究の目的は、主観的努力度を変化させることによって、最大下のリバウンドジャンプにおける負荷特性を明らかにすることであった。大学陸上競技部に所属する男子学生 16 名を被験者とし、主観的努力度 100, 90, 80, 60, 45, 30% の試技をランダムな順で行わせ、動作、地面反力、EMG を測定した。主観的努力度の変化に伴う下肢筋群の EMG の変化について検討した研究はこれまでに見当たらず、本研究の独自性のひとつである。キネティクスによる分析のみでは、主働筋と拮抗筋の共収縮によって関節トルクやパワー、力学的仕事が過小評価されている可能性があるが、EMG も併せて検討することで、新たな知見が提供できると考えられる。

まず、試技の妥当性を検討するために、主観的努力度の変化に伴う客観的出力（跳躍高）について検討していく。跳躍高はすべての努力度間に有意差が認められた。しかし、跳躍高を相対値でみると、最も低い努力度である 30% の試技において $52.9 \pm 13.7\%$ であった。客観的出力は、主観的努力度が小さくなるにつれて、主観的努力度との差が大きくなる傾向が認められ、主観的努

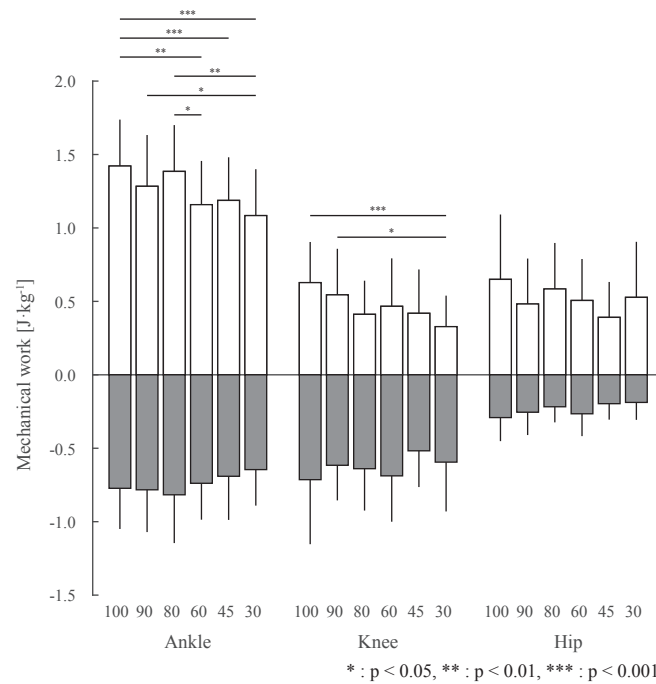


Figure 3 Mechanical works of lower limb during contact.

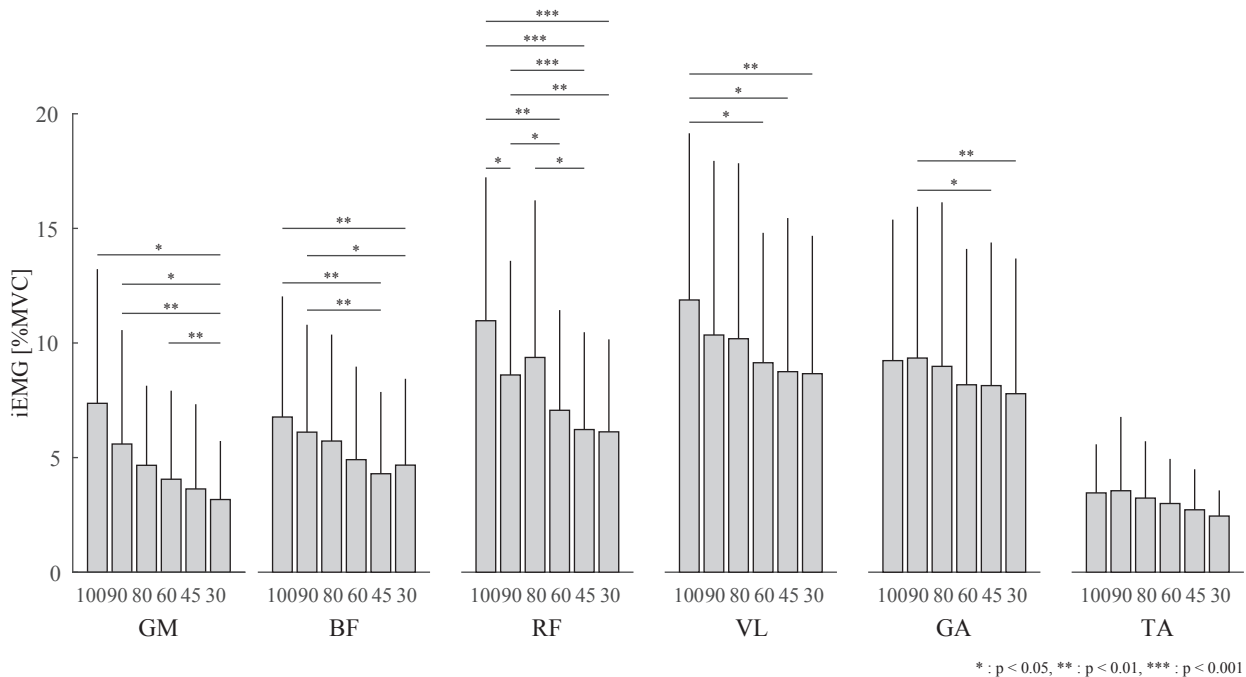


Figure 4 iEMG of lower limb muscles during contact.

力度と比較して客観的出力が大きいことが明らかになった。これは、村木・稲岡 (1996) の RDJ を用いた研究と一致する結果であり、RJ においても主観的努力度と客観的出力の関係は、主観的努力度が小さくなるにつれて、客観的出力との差が大きくなることが明らかになった。主観的努力度と客観的出力との間にこのような差異が認められるものの、客観的出力 (跳躍高) には努力度間で有意差が認められていることから、本研究の目的を達成

するにあたって妥当な試技が行えていると考えられる。

ここからは主観的努力度の変化に伴う負荷特性の変化について検討していく。まず、力学的仕事についてみると、いずれの努力度においても足関節の力学的仕事は最も大きい値を示した。足関節の力学的仕事について、負仕事はいずれの主観的努力度間においても有意差は認められなかったが、主観的努力度の増加に伴って、正仕事は増加する傾向が認められた。また、膝関節や股関節

の負仕事は、いずれの主観的努力度間においても有意差は認められなかった。負仕事は前の跳躍によって得られた跳躍高からの落下による衝撃を受け止める仕事と考えられるが、主観的努力度の変化に伴う大きな変化は認められなかった。阿江ほか（1994）は、異なる台高からの着地動作における下肢関節の貢献度の変化について、台高が高くなると共に下肢関節の負仕事が大きくなることを報告している。本研究においても、主観的努力度の増加に伴って跳躍高が増加していることから、落下高も主観的努力度とともに増加していると推測されるが、足関節の負仕事には大きな変化は認められなかった。阿江ほか（1994）の研究では、落下高が0.25mから1.0mまで大きく変化しているのに対して、本研究では、ひとつ前のジャンプにおける跳躍高である、落下高は0.20mから0.35mまでのわずかな変化であり、負仕事を変化させるには至らなかったと考えられる。また、個人によって落下の衝撃を受け止めるために動員された関節が異なったことにより、有意差が認められなかった可能性も考えられる。一方で、SSC運動におけるコンセントリック局面に発揮される力を増強する機能は、エキセントリック局面の負荷（負仕事）の大きさや筋の伸長速度の影響を受けることがこれまでの研究で明らかになっている（Aura and Komi, 1986）。力学的仕事は最も大きかった足関節の背屈角速度は、エキセントリック局面における足関節底屈筋群の伸長速度を示していると考えられるが、背屈角速度の最大値は、いずれの主観的努力度間においても有意差は認められなかった。また、SSC運動の力を増強する機能は、先述のエキセントリック局面の負荷の大きさに加えて、エキセントリック局面とコンセントリック局面の間の coupling time が短いことも重要であると言われている（Aura and Komi, 1986）。しかし、足関節の角速度の変化パターンをみると、主観的努力度が変化してもその大きさや変化パターンに大きな違いは認められなかった。したがって、主観的努力度の変化によって、足関節底屈筋の coupling time は大きく変化していないと考えられる。これらのことから、RJにおいては、主観的努力度を変化させても足関節底屈筋のSSC運動としての強度には大きな変化がないことが示唆された。

ここまで述べてきたように、下肢関節の負仕事には主観的努力度による有意な変化は認められなかった。一方で、主観的努力度の増加に伴って、足関節や膝関節の正仕事は増加する傾向が認められた。このような正仕事の変化の原因を検討するために、筋活動（iEMG）について検討する。正仕事の変化が最も大きかった足関節では、主観的努力度の増加に伴って、底屈筋であるGAのiEMGはわずかに増加する傾向が認められた。膝関節に着目してみると、伸筋であるRFやVLは、主観的努力度の増加に伴って、iEMGは顕著に増加していた。また、

膝関節伸展トルクは、主観的努力度の増加に伴って増加する傾向が認められた。これらのことから、膝関節伸筋のコンセントリックな筋活動が増加することによって伸展トルクが増加し、それが正仕事の増加という形で顕れていると考えられる。一方で、足関節底屈筋であるGAのiEMGの増加は、足関節の正仕事の増加と比較して明らかに小さいことが伺える。また、膝関節伸筋であるRFやVLのiEMGの増加は、膝関節の正仕事の増加と比較して大きいように見受けられる。BFは股関節と膝関節にまたがる二関節筋であり、膝関節では屈筋として作用する。主観的努力度の増加に伴って、BFのiEMGは増加していることから、膝関節で伸筋と屈筋の共収縮が生じている可能性も考えられる。しかしながら、BFのiEMGの増加を鑑みても、RFやVLのiEMGの増加は大きすぎると考えられる。Bobbett et al. (1986) は、垂直跳における足関節のパワーの一部は、膝関節で発生したエネルギーがGAを介して足関節に伝達されたものであると述べている。また、本研究では、ヒラメ筋（SO）の筋活動は測定していないが、GAはSOと比較して速筋線維の比率が高いことから、ジャンプのような運動ではGAが選択的に動員されることが先行研究で報告されている（Gollnick et al., 1973）。そのため、SOの筋活動の変化は、GAと比較して小さいことが推察され、足関節の正仕事の変化は足関節底屈筋群の活動量の変化以外の要因によって生じている可能性が高い。このようなことから、先述のiEMGと正仕事の増加量の不釣り合いは、RFやVLといった膝関節伸筋群のコンセントリック収縮によって発生したエネルギーがGAを介して伝達され、足関節の仕事となって現れていると考えられる。したがって、主観的努力度の変化は、SSCの機能の大きさを変化させるよりも、膝関節伸筋のコンセントリックな活動を変化させることで跳躍高を変化させていることが示唆された。

主観的努力度の増加に伴って、足関節や膝関節の正仕事が増加したのに対して、股関節の正仕事には主観的努力度間で有意差が認められなかった。股関節トルクについてみると、主観的努力度の変化による股関節トルクの変化パターンや最大値の大きな変化は認められなかった。一方で、主観的努力度の増加に伴って、股関節伸筋であるBFやGMのiEMGは増加する傾向が認められた。このように、股関節伸筋のiEMGが増加しているにも関わらず、股関節トルクや力学的仕事に変化が認められなかったのは、股関節屈筋であるRFの活動も増大しているためであると考えられる。逆動力学演算では、主働筋と拮抗筋の共収縮は考慮することができず、算出される関節トルクは正味のトルクとなる（van Ingen Schenau and Cavanagh, 1990）。そのため、主働筋と拮抗筋、両方の活動量が同様に増加した場合、関節トルクの値は変化しないため、力学的仕事には変化が認められな

かったと考えられる。しかし、主働筋と拮抗筋の共収縮は関節の剛性を向上させ、関節の安定性の向上に貢献するとされている。このことから、股関節まわりの筋群の活動は、跳躍高への貢献よりも上体の姿勢の安定に寄与していたものと考えられる。

これらのことから、最大下努力度のRJでは、足関節底屈筋群のSSC運動としての強度は最大努力度のRJと比較して大きく変化しないことが示唆された。また、最大下努力度のRJにおいては、膝関節伸筋や股関節伸筋のiEMGの減少が認められたことから、膝関節や股関節への負荷が減少すると考えられる。したがって、最大下努力度のRJは、足関節底屈筋群のSSC運動としての強度は大きく変化させずに、膝関節や股関節まわりの筋群への負荷を軽減したプライオメトリックトレーニングが行える可能性が示唆された。一方で、最大努力度のRJにおいては、足関節底屈筋群のSSCに加えて、膝関節伸筋のコンセントリック収縮によって発生したパワーが大きく関与していることが明らかになった。これは、下肢の爆発的なパワー発揮には、SSCだけでなく、コンセントリックな収縮による力発揮も重要な役割を果たしていることを示唆するものである。したがって、陸上競技選手がプライオメトリックトレーニングとしてRJを用いる場合、爆発的なパワー発揮を必要とする、短距離走や跳躍、投擲選手においては、最大努力度のRJを行うことが有効であると考えられるが、爆発的なパワー発揮よりも、長時間にわたって効率良くパワーを発揮し続けることが求められる中長距離走者においては、最大下努力度のRJを行うことが有効であると考えられる。

5. 要 約

本研究の目的は、主観的努力度を変化させることによって、最大下のリバウンドジャンプにおける負荷特性を明らかにすることであった。大学陸上競技部に所属する男子学生16名を対象に、主観的努力度100, 90, 80, 60, 45, 30%の試技をランダムな順で行わせ、動作、地面反力、EMGを測定した。主な結果は以下の通りである。

主観的努力度の変化に伴って、客観的出力（跳躍高）は変化し、いずれの主観的努力度間においても有意差が認められた。力学的仕事について、主観的努力度が変化しても下肢関節の負の力学的仕事は有意な変化は認められなかったが、主観的努力度の増加に伴って足関節および膝関節の正仕事は増加する傾向が認められた。また、主観的努力度の増加に伴って、大殿筋、大腿二頭筋、大腿直筋および外側広筋の活動は増加する傾向が認められた。

これらのことから、最大努力度と最大下努力度のリバウンドジャンプでは、跳躍高、筋活動量、正仕事では変化が認められているが、足関節底屈筋群に着目すると、

SSC運動としての強度は大きく変化していないことが明らかになった。したがって、最大下努力度におけるリバウンドジャンプは、膝関節や股関節まわりの筋群への負荷を軽減した上で、足関節底屈筋群のプライオメトリックトレーニングとして用いることができる可能性が示唆された。

文献

- 阿江通良（1996）日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *Jpn J Sports Science*, 15: 155-162.
- 阿江通良・大木昭一郎・高松潤二（1994）垂直跳および着地動作におけるパワー発揮の大きさと下肢関節の貢献度(1部 生体の力学的特性). *バイオメカニズム* (12): 97-108.
- Aura, O., and P. V. Komi (1986) Effects of prestretch intensity on mechanical efficiency of positive work and on elastic behavior of skeletal muscle in stretch-shortening cycle exercise. *Int J Sports Med*, 7 (3): 137-143.
- Bobbert, M. F., P. A. Huijting, and G. J. van Ingen Schenau (1986) An estimation of power output and work done by the human triceps surae muscle-tendon complex in jumping. *J Biomech*, 19 (11): 899-906.
- Bobbert, M. F., P. A. Huijting, and G. J. van Ingen Schenau (1987a) Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med Sci Sports Exerc*, 19 (4): 332-338.
- Bobbert, M. F., P. A. Huijting, and G. J. van Ingen Schenau (1987b) Drop jumping. II. The influence of dropping height on the biomechanics of drop jumping. *Med Sci Sports Exerc*, 19 (4): 339-346.
- Gollnick, P. D., R. B. Armstrong, B. Saltin, C. W. Saubert IV, W. L. Sembrowich, and R. E. Shepherd (1973) Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 34 (1): 107-111.
- Komi, P. V. (1984) Physiological and biomechanical correlates of muscle function: effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exerc Sport Sci Rev*, 12: 81-121.
- Komi, P. V., J. Karlsson, P. Tesch, H. Suominen, and E. Heikkinen (1982) Effects of heavy resistance and explosive type strength training methods on mechanical, functional and aspects performance. *Exercise and Sport Biology*. P. V. Komi, *Human Kinetics*: 90-102.
- Kyröläinen, H. and P. V. Komi (2011) Mechanical Efficiency of SSC Exercise. *Neuromuscular Aspects of Sport Performance*. P. V. Komi. Oxford, UK, Wiley-Blackwell. 17: 103-114.
- 村木征人・稲岡純史（1996）跳躍運動における主観的強

- 度（努力度合）と客観的出力との対応関係. スポーツ方法学研究, 9 (1) : 73-79.
- van Ingen Schenau, G. J., and P. R. Cavanagh (1990) Power equations in endurance sports. J Biomech, 23 (9): 865-881.
- Wells, R. P. and D. A. Winter (1980) Assessment of signal noise in kinematics of normal, pathological and sporting gaits, In Proc of the First Con of the Can Soc Biomech, Human Locomotion I: Canada, pp. 92-93.
- 尹聖鎮・大山卞圭悟・岡田英孝・高松 薫 (1999) 傾斜面でのリバウンドジャンプにおける腓腹筋の stiffness がアキレス腱張力に及ぼす影響. 体育學研究, 44 (6) : 510-521.
- 図子浩二 (2006) ランニングパフォーマンスの向上に対するプライオメトリックスの可能性 (特集 中長距離走ランニング・フォーム－評価と指導にデータを活用する). ランニング学研究, 18 (2) : 15-24.
- 図子浩二 (2012) プライオメトリックス (特集 スポーツにおける反動動作). 体育の科学, 62 (1) : 4-50.
- 図子浩二・高松 薫 (1995) リバウンドドロップジャンプにおける踏切時間を短縮する要因：下肢の各関節の仕事と着地に対する予測に着目して. 体育學研究, 40 (1) : 29-39.
-

試合期における 100m レース中のストライドおよび ピッチの個人内変動

内藤 景¹⁾, 荻山 靖²⁾, 山元康平^{3) 4)}, 宮代賢治³⁾, 谷川 聡⁵⁾

Intra-individual variations of stride length and stride frequency
in 100-m race during competition period

Hikari NAITO¹⁾, Yasushi KARIYAMA²⁾, Kohei YAMAMOTO^{3) 4)}, Kenji MIYASHIRO³⁾, Satoru TANIGAWA⁵⁾

Abstract

Purpose: The purpose of this study was to investigate the change of step-type according to fluctuate the 100-m performance during competition period by researching the intra-individual variations between stride length and stride frequency. **Methods:** A total of 95 male collegiate-level 100-m races were recorded with 8 analyzed athletes performing in 10 or more races. For each run of each athlete, the average stride frequency (SF) and stride length (SL) in 30 – 60m section during 100-m race was analyzed. The ratio of the SF and SL in 30 – 60m section (SF / SL ratio) was calculated by dividing SF by SL, as an indicator to evaluate the step-type (SL-type, Mid-type, SF-type). **Results:** Coefficient variations of the SF / SL ratio were $2.29 \pm 0.74\%$. 3 subjects fluctuated between SF-type and Mid-type, 2 subjects fluctuated between SL-type and Mid-type, and 3 subjects did not change step-type. 100-m race time was not related to SF / SL ratio in 7 subjects ($r = -0.14 - 0.41$). The correlation values between intra-individual variations of the SF / SL ratio and flight time showed high significant negative correlation in all subjects (with the range of $r = -0.71$ to -0.92), but contact time was not. **Conclusions:** These results suggest that the step-type change between SL-type and Mid-type or SF-type and Mid-type, however the step-type does not change between SL-type and SF-type in collegiate male sprinters. Moreover, the intra-individual variations of SF / SL ratio were related to variations of flight time.

キーワード：最大速度局面、ピッチ・ストライド比、ステップタイプ

1. 緒 言

100m 走のゴールタイムには、レース中の最大走速度が大きな影響を及ぼし (Gajer et al., 1999 ; Mackala, 2007), 走速度はストライドとピッチの積によって算出される。走パフォーマンスとストライドおよびピッチとの関係性を検討した先行研究では、世界トップスプリンターは十種競技者に比べて、ストライドとピッチの両方が高いこと (Kunz and Kaufmann, 1981), 100m レースのパフォーマンスが高い競技者はストライドが大きいこと (Gajer et al., 1999), 走速度が高いスプリンターほどピッチが高いこと (Mero et al., 1981) が報告されている。これらの横断的研究では、各研究における群分けの方法や、群分けされた被検者のパフォーマンス水準の違いが影響し、走パフォーマンスとストライドおよびピッチの関係性に関する結果が一致していないと考えられる。Salo et al. (2011) は、このような問題点を解決するために、複数の個人内におけるデータを分析する “single-subject analysis” を用い、ストライドとピッチが 100m レースのパフォーマンスに及ぼす影響は、競技者によって異なることを明らかにしている。

100m 走パフォーマンスとストライドおよびピッチの個人内変動について、縦断的に検討した研究 (新井ほか, 2004 ; 稲葉ほか, 2002 ; 黒澤ほか ; 2005 ; 中田ほか, 2003 ; Salo et al., 2011 ; 土江, 2009) がいくつか行われ

-
- 1) 福井工業大学スポーツ健康科学部 Department of Sports and Health Sciences, Fukui University of Technology
〒910-8505 福井県福井市学園 3-6-1
 - 2) 山梨学院大学スポーツ科学部 Faculty of Sport Science, Yamanashi Gakuin University
〒400-8575 山梨県甲府市酒折 2-4-5
 - 3) 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
 - 4) 日本学術振興会特別研究員 DC Research Fellow of Japan Society for the Promotion of Science
〒102-0083 東京都千代田区麹町 5-3-1
 - 5) 筑波大学体育系 Faculty of Health and Sports Sciences, University of Tsukuba
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1

ているものの、複数名のスプリンターの個人内変動を調べた研究は中田ほか（2003）と Salo et al.（2011）のみである。中田ほか（2003）は、スプリンター 8 名を対象として、約 1 年半のストライドとピッチの変化を調べた結果、ピッチとストライドの両方が増加した者、ストライドが増加した者、ピッチが増加した者が認められ、被検者によって異なる変化パターンが示されたことを報告している。また、Saló et al.（2011）は 100m レースタイムとピッチおよびストライドの個人内における相関関係を検討した結果、ピッチと関係性が認められた者、ストライドと関係性が認められた者、両変数と関係性が認められた者が示されたことを報告している。したがって、ある競技者個人内で 100m 走パフォーマンスとピッチおよびストライドとの関係性を検討した場合、単純にストライドまたはピッチのどちらかが高ければ、走速度が高いと結論付けることができないと考えられる。そのため、走速度の向上を考える場合、ピッチまたはストライドのどちらを優先的に高めるかを競技者に応じて判断することが必要になると考えられ、ストライドとピッチがどの程度個人内で変動するのかを調べることは指導現場に対する有益な情報になるであろう。しかし、個人内における 100m レース中のピッチとストライドの変化を、1 年以上の期間にわたって継続的に調べた研究は、先述の中田ほか（2003）と Saló et al.（2011）の 2 編のみしか見当たらず、ストライドとピッチの個人内変動を具体的な数値として示したのは、世界トップスプリンターを分析対象とした Saló et al.（2011）の報告のみであり、日本人スプリンターに関するデータは示されていない。

ところで、より高い走速度は個人毎のストライドとピッチの最適な比率の結果として生じることが指摘されている（Kunz and Kaufmann, 1981；Schiffer, 2009）。実際に、レース中のストライドとピッチの平均値などを基準にして、短距離走競技者は横断的にストライド型とピッチ型に分類でき（阿江ほか, 1994；宮下ほか, 1986）、短距離走競技者の特徴を把握するひとつの指標となっている。内藤ほか（2013）は、短距離走を専門種

目とする大学生競技者を対象に、ピッチ・ストライド比を指標としてクラスター分析を行った結果、相対的にストライドが大きいストライド型（SL-type）、相対的にピッチが高いピッチ型（SF-type）、どちらにも属さない中間型（Mid-type）の異なるステップタイプに分類され、SL-type と SF-type のそれぞれにおいて、走速度が高い競技者の加速局面におけるピッチおよびストライドの動態が異なることを報告している。したがって、ピッチ・ストライド比という指標を用いて、短距離走競技者のピッチおよびストライド関係を検討することが、100m 走パフォーマンスを向上させるための有益な情報になると考えられる。しかし、ピッチ・ストライド比が個人内でどの程度の変動を示し、また再現性の高い指標であるのかということや、100m 走パフォーマンスの変化に伴ってピッチ・ストライド比が大きく変化することで、ステップタイプのタイプ移行が生じるかどうかについて縦断的に調査した研究は行われていない。以上のことが明らかになれば、各個人のピッチ・ストライド関係を踏まえた上で、100m 走パフォーマンスを高めるためには、ピッチとストライドをどの程度高めることができるのかという指導上の観点が提示できると考えられる。

そこで本研究の目的は、100m 走を専門とする複数名の競技者を対象として、試合期における 100m レース中のストライドとピッチの個人内変動を調べること、さらに 100m 走パフォーマンスの変化に伴うステップタイプのタイプ移行について検討することであった。

2. 方法

2.1. 被検者

被検者は、T 大学の陸上競技部に所属する 100m 走が専門種目の男性学生競技者 8 名であった（100m 走自己ベストタイム：10.45 – 11.25 秒）。Table 1 には、全被検者の測定開始前年（2011 年）における 100m 走自己ベストタイム、身長、体重、分析したレースの本数、分析したレースの平均タイム、風速を示した。なお、分析対象とした 100m レースの風速は $\pm 2.0\text{m/s}$ 以内のものを

Table 1 Number of races with mean official time and wind velocity for each individual subject.

Subject	100m personal best time before 2012 (s)	Body height (m)	Body weight (kg)	Number of races	Race time (s)	Wind (m/s)
A	10.51	1.72	69.2	12	10.73 $\pm$ 0.28	0.70 $\pm$ 0.96
B	10.53	1.74	69.2	12	10.74 $\pm$ 0.13	0.67 $\pm$ 0.95
C	10.60	1.69	67.6	12	10.66 $\pm$ 0.08	0.54 $\pm$ 0.96
D	10.76	1.75	72.4	11	11.02 $\pm$ 0.10	0.75 $\pm$ 0.82
E	10.82	1.78	73.4	12	11.10 $\pm$ 0.17	0.83 $\pm$ 0.64
F	11.13	1.75	65.9	12	11.56 $\pm$ 0.19	1.13 $\pm$ 0.67
G	11.29	1.77	65.9	14	11.26 $\pm$ 0.25	0.99 $\pm$ 0.72
H	11.43	1.71	61.8	10	11.54 $\pm$ 0.25	0.92 $\pm$ 0.88

採用した。全被検者が2012年4月から100mレースに出場し、2013年11月までの期間内で10本以上のレースを分析できた。なお、分析を行ったレースの本数と期日は、各被検者の試合スケジュールや、トレーニング中に生じた下肢への違和感による試合の欠場によって統一することができなかった。

測定を開始するにあたり、研究目的、研究方法、個人情報および研究データの取り扱いについて、十分に説明し測定実施の同意を得た。なお本研究は、筑波大学研究倫理委員会の承認を得て行われた。

2.2. 測定時期と測定方法

2012年4月から2013年11月までの約1年半の期間にわたって、100mレースを2台のハイスピードカメラ(CASIO社製、EX-F1、撮影スピード：299.7fps、露出時間：1/1000–1/2000s)を用いて撮影した。カメラには被検者の胴体および足部が画角に映るよう撮影した。2台のカメラは歩数を計測するため、30m地点(女子100mH走の第3ハードル設置マーク)、60m地点(400mH走の第10ハードル設置マーク)の側方にて、スタートからゴールまでパンニング撮影を行った。

2.3. データ処理と分析項目

個人内における100m走パフォーマンスを評価するため、パフォーマンス達成率を算出した。2012年4月から分析を開始したため、2011年シーズンまでの100m走自己ベスト記録に対する各レースタイムの比率を算出した〔(各レースタイム・2011年シーズンまでの自己ベストタイム⁴⁾ × 100〕。

撮影された映像から、30–60m区間に要した歩数、平均ピッチ、平均ストライドを算出した。スタートピストルの閃光は、歩数を計測するために用いた60m地点のパンニングカメラにて撮影し、足部の任意の接地を同時刻として、30m地点のパンニングカメラのフレーム数と同期した。

スタートから30m地点または60m地点までに要した歩数は、宮代ほか(2013)と同様の方法で算出した。すなわち、各地点のマークを通過する直前に足が接地した時点のフレーム数(F_{before} とする)、各地点を通過したフレーム数(F_{middle} とする)、そして各地点を通過した直後に他方の足が接地した時点のフレーム数(F_{after} とする)を読み取った。 $(F_{\text{middle}} - F_{\text{before}})$ を $(F_{\text{after}} - F_{\text{before}})$ で除した値を、各地点を通過する直前に接地した時点までの歩数に加算することで、0–30m区間および0–60m区間の歩数とし、0–60m区間の歩数から0–30m区間の歩数を減じることで、30–60m区間の歩数を求めた。

30–60m区間の平均ピッチは、歩数を区間タイムで除すことで求め、平均ストライドは30mを区間の歩数

で除すことで求めた。以上のように算出した平均ストライドと平均ピッチの積を平均走速度とした。また、ステップタイプを判断するための指標として、ピッチ・ストライド比〔平均ピッチ・平均ストライド⁴⁾〕を求めた(伊藤ほか, 2001; 内藤ほか, 2013; 杉林ほか, 2003)。このピッチ・ストライド比はピッチをストライドで除すことで算出され、疾走速度がピッチまたはストライドのどちらに依存しているのかというピッチ・ストライド関係を評価する指標(伊藤ほか, 2001; 杉林ほか, 2003)である。さらに、30–60m区間の接地時間と滞空時間を算出するため、30m地点を通過した直後の歩数から、60m地点を通過する直前までの歩数を対象に、1歩毎の接地および離地時のフレーム数をカウントすることで、1歩毎の接地時間および滞空時間を求めた。算出された1歩毎の接地時間および滞空時間を平均化することで、30–60m区間の接地時間と滞空時間とした。なお、接地および離地の瞬間が、カメラの画角に入っていないレースが複数認められた。したがって、被検者C, Eは1本、被検者D, F, Gは2本のレースが、ピッチ・ストライド比と接地時間および滞空時間の相関関係の分析において除外された。

2.4. 統計処理

30–60m区間のピッチ・ストライド比、平均ストライド、平均ピッチは、被検者毎に平均値、標準偏差、変動係数(平均値に対する標準偏差の割合)、最大値、最小値、最大値と最小値の差を求めた。またステップタイプの変化を検討するため、内藤ほか(2013)が示した大学生の短距離走競技者におけるSL-type, SF-type, Mid-typeのピッチ・ストライド比の95%信頼区間を求めた。さらに、被検者毎にピッチ・ストライド比、平均ピッチ、平均ストライドと、風速、レースタイム、接地時間、滞空時間の関係性を検討するため、Pearsonの積率相関係数を算出した。有意性は危険率5%未満で判定した。

3. 結果

3.1. 試合期における100m走タイムとストライドおよびピッチの関係性

Table2には、各被検者における100m走タイムと、30–60m区間におけるストライドおよびピッチの相関関係を示した。100m走タイムと30–60m区間のストライドとの間に有意な負の相関関係が認められたのは、被検者A, F, G, Hの4名であった。100m走タイムと30–60m区間のピッチとの間に有意な負の相関関係が認められたのは、被検者A, B, D, E, Gの5名であった。被検者Cのみ、ストライドとピッチの両方に有意な相関関係が認められなかった。

Table 2 Correlation values of SL, SF and SF / SL ratio versus 100m race time for each individual subject.

Subject	Stride length	Stride frequency	Ratio of stride frequency and length
A	-0.66*	-0.65*	-0.04
B	-0.41	-0.74**	-0.14
C	-0.35	-0.16	0.10
D	0.23	-0.78**	-0.65*
E	-0.16	-0.71*	-0.34
F	-0.72**	-0.56	0.22
G	-0.88**	-0.76**	0.30
H	-0.81**	-0.29	0.41

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

3.2. 試合期における 100m 走タイムとストライドおよびピッチの個人内変動

Fig.1 には、個人内におけるストライドとピッチの相互変化を検討するため、被検者毎にストライドとピッチの個人内変動を示した。いずれの被検者においても規則的な変化は認められず、ストライドが維持されたままピッチが増加したレースや、ストライドは増加したがピッチは減少したレース（またはこれらの逆も生じている）、ストライドとピッチともに増加したレースなど様々な変動が観察された。

Table 3 には、個人内における最大速度局面の平均ストライドと平均ピッチの平均値、標準偏差、変動係数、最大値、最小値、そして最大値と最小値の差を示した。平均ストライドでは、変動係数が平均で $1.49 \pm 0.55\%$ で、最大値と最小値の差をみると平均で $0.11 \pm 0.04\text{m}$ 、最も小さい者で 0.05m 、最も大きい者で 0.15m であった。

平均ピッチでは、変動係数が平均で $1.40 \pm 0.42\%$ で、最大値と最小値の差をみると平均で $0.22 \pm 0.08\text{Hz}$ 、最も小さい者で 0.12Hz 、最も大きい者で 0.35Hz であった。

Fig.2 には、各被検者における 100m 走タイムの達成率と、30 – 60m 区間におけるピッチ・ストライド比の個人内変動を日付順に示した。また、ステップタイプのタイプ移行を検討するため、図中には内藤ほか（2013）が示した大学生の短距離走競技者における SL-type, SF-type, Mid-type のピッチ・ストライド比の 95% 信頼区間を各種破線で示した。

まず、100m 走タイムの達成率をみると、8 名の被検者のうち、A, C, D, G, H の 5 名は、前年度（2011 年）までの 100m 走自己ベストタイムを分析期間内で更新するとともに（D のみ自己ベストと同タイム）、自己ベストタイムを更新した際のデータを収集できた。また、残りの B, E, F の 3 名は自己ベストタイムを更新した際

Table 3 Mean, standard deviation (SD), coefficient of variation (CV), maximum (Max), minimum (Min), and difference (Max – Min) of stride length and stride frequency for each individual subject.

Subject	Stride length					Stride frequency						
	Mean	SD	CV	Max	Min	Difference	Mean	SD	CV	Max	Min	Difference
A	2.13±0.04		1.92	2.20	2.06	0.14	5.00±0.10		2.09	5.14	4.79	0.35
B	2.21±0.02		0.89	2.24	2.18	0.06	4.83±0.04		0.87	4.88	4.76	0.12
C	2.15±0.02		1.13	2.18	2.09	0.09	4.99±0.05		1.02	5.07	4.92	0.15
D	2.20±0.02		0.75	2.22	2.17	0.05	4.67±0.06		1.38	4.79	4.59	0.20
E	2.09±0.04		1.68	2.17	2.05	0.12	4.89±0.08		1.67	5.00	4.74	0.26
F	1.97±0.03		1.58	2.05	1.93	0.12	4.95±0.06		1.23	5.05	4.86	0.19
G	2.12±0.03		1.56	2.17	2.09	0.14	4.78±0.06		1.16	4.89	4.68	0.21
H	1.99±0.05		2.40	2.04	1.89	0.15	4.95±0.09		1.80	5.09	4.79	0.30
Mean			1.49	2.16	2.06	0.11			1.40	4.99	4.77	0.22
±SD			±0.55	±0.07	±0.10	±0.04			±0.42	±0.12	±0.10	±0.08

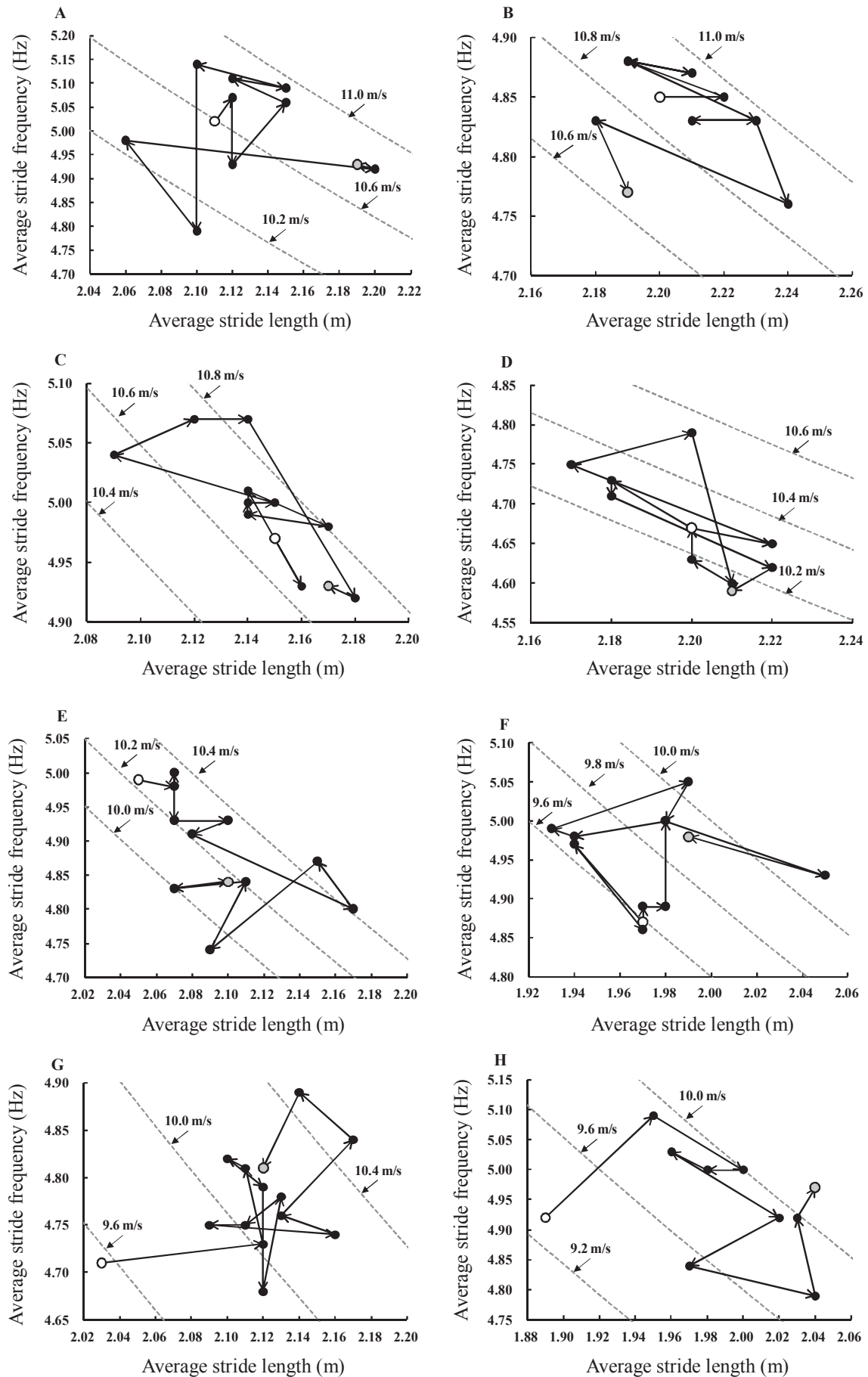


Fig.1 Longitudinal change in stride frequency and stride length for each individual subject. (White circles are the first race and gray circles are the last race during measurement period.)

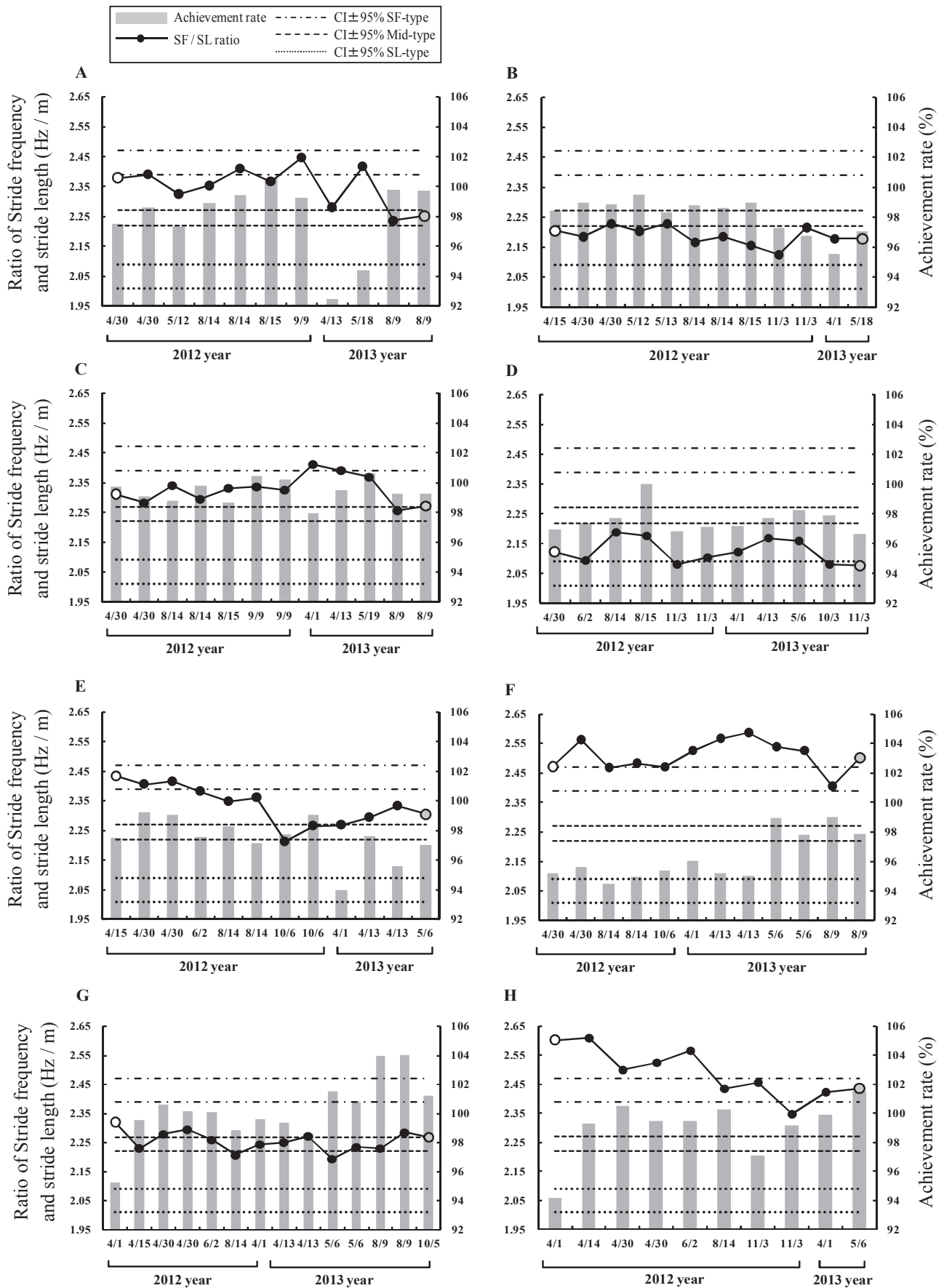


Fig.2 Longitudinal change in SF / SL ratio and achievement rate for each individual subject. (White circles are the first race and gray circles are the last race during measurement period. CI: confidence interval)

のデータを収集することができなかったものの、3名とも達成率が99%以上を示したレースのデータを収集することができた。具体的には、被検者Aが92.52 – 100.57%，被検者Bが95.55 – 99.53%，被検者Cが97.97 – 100.66%，被検者Dが96.68 – 100.00%，被検者Eが94.01 – 99.27%，被検者Fが94.48 – 99.02%，被検者Gが95.27 – 104.06%，被検者Hが94.15 – 101.51%の達成率を示した。

Fig.2より、全ての被検者において、ピッチ・ストライド比が常に一定の値を示すことはなく、増加と減少が繰り返されていることが観察された。各ステップタイプのピッチ・ストライド比における95%信頼区間（内藤ほか，2013）を基準として、ステップタイプのタイプ移行を検討した結果、SF-typeとMid-typeの間で移行を示した者（被検者A，C，E），SL-typeとMid-typeの間で移行を示した者（被検者B，D），タイプ移行がほとんど認められない者（被検者F，G，H）が観察された。しかし、SF-typeとSL-typeの間でタイプ移行を示す被検者は認められなかった。

Table 4には、個人内におけるピッチ・ストライド比の平均値、標準偏差、変動係数、最大値と最小値、そして最大値と最小値の差を示した。変動係数は平均値が $2.29 \pm 0.74\%$ で、その範囲は1.39% – 3.44%であった。最大値と最小値の差は、平均値が 0.18 ± 0.05 で、その範囲は0.10 – 0.26であった。また、Table 2には100m走タイムとピッチ・ストライド比の関係性を示した。ピッチ・ストライド比と100m走タイムの間には、被検者Dのみ有意な負の相関関係（ $r = -0.65$ ）が認められたが、残りの7名には有意な相関関係は認められなかった。

3.3. 個人内におけるストライドおよびピッチと接地時間および滞空時間との相関関係

Table 5にはストライド、ピッチ、ピッチ・ストライド比と接地時間および滞空時間における個人内の相関係数を示した。ストライドと滞空時間には全被検者において有意な正の相関関係（ $r = 0.64 - 0.93$ ）が認められた。ピッチにおいては、接地時間と有意な負の相関関係（ $r = -0.67 - -0.81$ ）が示された者と、滞空時間と有意な負の相関関係（ $r = -0.66 - -0.80$ ）が示された者が認められた。ピッチ・ストライド比においては、接地時間の間に有意な相関関係を示した被検者は認められなかったが、滞空時間との間には全ての被検者において有意な負の相関関係（ $r = -0.71 - -0.92$ ）が認められた。

4. 考 察

本研究の目的は、100m走を専門とする複数名の競技者を対象として、試合期における100mレース中のストライドとピッチの個人内変動を調べることで、さらに100m走パフォーマンスの変化に伴うステップタイプのタイプ移行を検討することであった。本研究の結果から、試合期での平均ストライドは0.10m前後、平均ピッチは0.20Hz前後の範囲で変動すること、ステップタイプの指標となるピッチ・ストライド比の変動係数は、 $2.29 \pm 0.74\%$ で個人内での変動が生じにくいこと、100m走パフォーマンスが変化してもSL-typeとSF-typeの間を移行するような大きなタイプ移行が生じないことが示された。しかし、個人内における滞空時間の変動がストライドに影響し、ピッチ・ストライド比の変動に関係することで、SL-typeとMid-type、またはSF-typeとMid-type間でのタイプ移行が生じることが明らかになった。

Table 4 Mean, standard deviation (SD), coefficient of variation (CV), maximum (Max), minimum (Min), and difference (Max – Min) of SF / SL ratio values for each individual subject.

Ratio of stride frequency to length						
Subject	Mean	SD	CV	Max	Min	Difference
A	2.35±0.07		2.97	2.45	2.24	0.21
B	2.19±0.03		1.39	2.23	2.13	0.10
C	2.33±0.05		2.03	2.41	2.26	0.15
D	2.13±0.04		1.97	2.19	2.08	0.11
E	2.34±0.07		2.93	2.43	2.21	0.22
F	2.51±0.05		2.07	2.59	2.40	0.19
G	2.26±0.03		1.53	2.32	2.19	0.18
H	2.49±0.09		3.44	2.61	2.35	0.26
Mean ±SD			2.29 ±0.74	2.42 ±0.14	2.23 ±0.11	0.18 ±0.05

Table 5 Correlation values between SL, SF, SF / SL ratio and contact time, flight time for each individual subject.

Subject	Stride length		Stride frequency		Ratio of stride frequency and length	
	Contact time	Flight time	Contact time	Flight time	Contact time	Flight time
A	-0.59	0.77**	-0.67*	-0.59	-0.11	-0.91**
B	-0.38	0.93**	-0.81**	-0.27	-0.26	-0.76**
C	0.00	0.92**	-0.57	-0.66*	-0.21	-0.84**
D	0.27	0.75*	-0.74*	-0.66*	-0.63	-0.73**
E	-0.37	0.82**	-0.14	-0.58	0.17	-0.78**
F	-0.40	0.64*	-0.70*	-0.53	-0.12	-0.71**
G	-0.90**	0.75**	-0.71**	-0.20	0.38	-0.89**
H	-0.75*	0.71*	-0.21	-0.80**	0.36	-0.92**

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$.

4.1. 100m 走パフォーマンスとストライドおよびピッチの個人内変動の関係

100m 走タイムとストライドおよびピッチとの相関関係を被検者毎に検討した結果、ストライドおよびピッチの両方と有意な関係性が示された者（被検者 A, G）、ストライドのみに有意な関係性が示された者（被検者 F, H）、ピッチのみに有意な関係性が示された者（被検者 B, D, E）、どちらも関係性が示されなかった者（被検者 C）が認められた。これらの結果は、国際レベルの一流短距離走競技者では、レースタイムとストライドおよびピッチとの関係性が競技者によって異なることを示した Salo et al. (2011) の結果を支持するものであった。本研究の被検者は、Salo et al. (2011) の被検者（100m 走タイムの平均値は 10.12 秒）に比べて競技レベルは低いものの、競技経験年数が 7.63 ± 2.13 年の学生競技者であり、短距離走の専門的な練習を少なくとも 5 年以上経験してきた競技者である。中田ほか (2003) は、熟練した短距離走選手では選手の特性が強く反映されるため、疾走速度の構成要素であるストライドとピッチが選手間で同じように変化することが少ないことを指摘している。本研究の結果はこの指摘を支持するものであり、100m 走タイムとストライドおよびピッチとの関係性は競技者によって異なるため、個人内においては一概にストライドまたはピッチのどちらかが重要であると結論づけることができないと考えられる。

分析を行った約 1 年半の試合期の間において、100m 走パフォーマンスは向上と低下が繰り返されており、それに伴ってストライドとピッチは増減を繰り返していた (Fig.1)。Table 3 に示したストライドとピッチの最大値、最小値、そして最大値と最小値の差の結果から、ストライドとピッチにはある程度の変動範囲が存在すると考えられる。Salo et al. (2011) は、世界トップスプリンター 11 名を対象として、複数年にわたる 10 – 27 本の 100m

レース全体における平均ストライドと平均ピッチを被検者毎に検討している。そのデータについて、個人内における平均ストライドの最大値と最小値の差を算出すると、平均で 0.10 ± 0.03 m、最も小さい者で 0.06m、最も大きい者で 0.14m であり、平均ピッチの最大値と最小値の差では平均で 0.20 ± 0.08 Hz、最も小さいもので 0.07Hz、最も大きい者で 0.30Hz であった。本研究では 30 – 60m 区間の平均ストライドと平均ピッチを検討しているため、Salo et al. (2011) とは分析区間の距離が異なるものの、個人内における平均ストライドまたは平均ピッチの最大値と最小値の差は、本研究 (Table 3) と Salo et al. (2011) では、ほぼ同程度の値であったことが分かる。これらのことから、短距離走を専門とする日本人の学生競技者においても、試合期での平均ストライドは 0.10m 前後、平均ピッチは 0.20Hz 前後の範囲で変動し、国際的なトップスプリンターとほぼ同じ傾向を示すことが示唆された。

4.2. 試合期におけるピッチ・ストライド比の個人内変動とステップタイプの移行

より高い走速度は個人毎のストライドとピッチの最適な比率の結果として生じるといわれており (Kunz and Kaufmann, 1981; Schiffer, 2009)、内藤ほか (2013) は、ピッチ・ストライド比を指標として、相対的にストライドが大きいストライド型 (SL-type)、相対的にピッチが高いピッチ型 (SF-type)、どちらにも属さない中間型 (Mid-type) の異なるステップタイプに分類されることを示している。本研究では、このステップタイプが、試合期の間に移行するのかを調べるため、100m 走パフォーマンスの変化に伴うピッチ・ストライド比の個人内変動を検討した。本研究で示された個人内におけるピッチ・ストライド比の変動係数 ($2.29 \pm 0.74\%$) は、内藤ほか (2013) が検討した 59 名の短距離走競技者から得られた個人間

のピッチ・ストライド比の変動係数 (8.33%) と比較して低い値であり、個人内においては変動性が極めて小さいことが分かる。これまで、ピッチ・ストライド比は、ピッチまたはストライドの依存性を評価する指標として用いられてきたが (伊藤ほか, 2001; 内藤ほか, 2013; 杉林ほか, 2003; 豊嶋ほか, 2015), どの程度の再現性を有する指標であるのかは明らかでなかった。しかし、本研究の結果から、競技会のような全力疾走時のピッチ・ストライド比は、短距離走競技者の疾走スタイルが SL-type であるのか、SF-type であるのかを客観的に判断するための指標として、個人内での変動が生じにくい変数であることが示唆された。

また、試合期におけるピッチ・ストライド比の個人内変動を時系列で検討した結果 (Fig.2), ピッチ・ストライド比が SL-type と Mid-type の間 (もしくは SF-type と Mid-type の間) で変動する被検者は認められたが、SL-type と SF-type の間で変動した被検者は認められなかった。これは 100m 走パフォーマンスが変化したとしても、SL-type と SF-type の間を移行するような大きなステップタイプのタイプ移行は生じないことを示している。より高い走速度を獲得するためのピッチとストライドの比率は、競技者によって異なる (Kunz and Kaufmann, 1981; Schiffer, 2009) と指摘されてきたように、本研究結果からも、短距離走競技者にはストライドとピッチにおいて競技者毎の固有の比率があり、100m 走パフォーマンスが変化したとしても、その比率に変化が生じる範囲には限界があると考えられる。この背景の一つには、身長や下肢長といった形態的要因 (Hoffmann, 1971) が関係しているであろう。特に身長や下肢長は、本研究の被検者である大学生ではほとんど変化が生じないと考えられるため、SL-type と SF-type の間でのタイプ移行は観察されなかったと推察される。

本研究の被検者 8 名のうち 7 名は、100m 走タイムとピッチ・ストライド比の個人内変動との間に相関関係が認められず、被検者 D のみ有意な負の相関関係が認められた (Table2)。この結果は、ピッチまたはストライドどちらかへの依存が、高い 100m 走パフォーマンスの達成に必ずしも有利になるのではないことを示している。ピッチ・ストライド比の特徴を踏まえると、100m 走パフォーマンスが向上した場合のピッチ・ストライド比の変化には 3 つのパターンがある。つまり、ピッチ・ストライド比が変化しない場合 (ピッチとストライドが同程度に増加)、ピッチ・ストライド比が増加した場合 (ストライドは一定でピッチが増加)、ピッチ・ストライド比が低下した場合 (ピッチは一定でストライドが増加) の 3 つである。したがって、100m 走タイムとピッチ・ストライド比の個人内変動との間に相関関係が認められなかった被検者 D 以外の 7 名は、これら 3 つのパターンがいずれも生じていたと考えられる。また、100m 走

タイムとピッチ・ストライド比の個人内変動の間に、有意な正の相関関係が認められた被検者がいなかったことから、100m 走の自己ベスト記録が 10.6 秒～11.2 秒である学生レベルの競技者においては、「ピッチがほぼ一定で、ストライドが大きくなる (ストライドへの依存が大きくなる)」ことによって、試合期の間に高い 100m 走パフォーマンスを達成できる可能性は低いと考えられる。

被検者 D のみ、100m 走タイムの個人内変動とピッチ・ストライド比の間に有意な負の相関関係が認められたが、この結果はストライドが一定でピッチへの依存が大きくなった時に高い 100m 走パフォーマンスが達成されたことを示している。この結果の原因として、分析した 11 本のレースのうち、最も記録のよいレースの風速が高かった (追風 1.9m/s) が影響している可能性が考えられた。しかし、分析を行った全レース合計 92 本を対象に、風速とピッチ・ストライド比の単回帰分析を行った結果、相関係数は 0.058、決定係数は 0.003 で有意な関係性は認められず、風速が直接的な原因ではなかった。本研究で分析した変数のみでは、被検者 D において相関関係が認められた原因を明らかにすることはできないが、被検者 D はストライドの変動係数が 0.75% で、全被検者の中で最も低かったことから、ストライドの変動が小さい特徴を有しており、ピッチの変動が走速度の優劣に影響していたと思われる。ストライドの変動が小さい理由については、走動作や体力的要因を合わせて検討していくことが必要であると考えられ、本研究では言及することができない。

ところで、本研究では最大速度局面に相当する 30 – 60m 区間のピッチ・ストライド比の個人内変動を検討したが、加速局面や減速局面においても同様の結果は示されるのであろうか。本研究の分析データから、0 – 30m 区間、60 – 100m 区間のピッチ・ストライド比の変動係数を被検者毎に算出した結果、0 – 30m 区間では $1.92 \pm 0.48\%$ 、60 – 100m 区間では $2.65 \pm 0.92\%$ であった。30 – 60m 区間は $2.29 \pm 0.74\%$ であったことを踏まえると、走速度が低下するレース後半の局面ほど、ピッチ・ストライド比の変動が大きくなる傾向にあるが、これらの平均値に対して一要因分散分析を行った結果、有意差は認められなかった ($F(2, 21) = 2.748$, $p = 0.098$)。局面間のピッチ・ストライド比の変動が、個々人の 100m 走パフォーマンスにどのような影響を及ぼしているのかは、本研究では言及することができないが、より多くの個人内データを収集していくことで、減速局面におけるピッチとストライドの変動が大きい競技者の走パフォーマンスの特徴などを明らかにできるかもしれない。

4.3. ピッチおよびストライドの個人内変動と接地時間および滞空時間との関係

本研究では、接地時間および滞空時間が、スプリント走パフォーマンスに関連する変数として検討されることが多く (Debaere et al., 2013; 土江ほか, 2010), 両変数はハイスピードカメラを用いれば、指導現場においても比較的容易にデータを収集しやすい変数であるという理由から、ストライドおよびピッチの個人内変動と接地時間および滞空時間の関係性を検討した。その結果、全ての被検者においてストライドは滞空時間と有意な正の相関関係を示したが、ピッチは接地時間または滞空時間と有意な負の相関関係が示され、被検者によって異なっていた。この結果は、ストライドの個人内変動には滞空時間の変化が関係するが、ピッチの個人内変動に対する滞空時間と接地時間の影響は、競技者によって異なる可能性を示している。土江ほか (2010) は、短距離・跳躍種目を専門とする 17 名の競技者において、ストライドは滞空時間と有意な正の相関関係が認められたが ($r = 0.574, p < 0.05$), 接地時間とは認められなかったこと、ピッチは接地時間 ($r = -0.679, p < 0.01$) と滞空時間 ($r = -0.838, p < 0.01$) の両者と有意な負の相関関係が認められたことを報告している。土江ほか (2010) は個人間の相関関係を検討しているが、個人内の相関関係を検討した本研究では、ピッチと接地時間および滞空時間の結果は異なるものであった。地面に対して鉛直方向により大きな力を加えた場合、離地時に重心がより高い鉛直速度をもち滞空時間が長くなることでストライドが増加する (豊嶋ほか, 2015) ため、ストライドと滞空時間の間には全被検者において相関関係が認められたと考えられる。一方、ピッチの結果に関しては、Hunter et al. (2004) のピッチとストライドの決定因子モデルに基づく以下のように考察できる。接地時間は支持期における水平速度の影響を、滞空時間は離地時における鉛直速度の影響を受けることから、走速度が高かったことで接地時間が短縮しピッチが高い値を示す場合と、離地時の鉛直速度が低いことで滞空時間が短縮しピッチが高い値を示す場合があると考えられる。その結果、ピッチの個人内変動と接地時間に関係性が生じた者と、滞空時間との間に関係性が生じた者が認められたと推察される。

さらに、本研究ではピッチ・ストライド比の個人内変動と滞空時間には有意な負の相関関係が全被検者で認められ、滞空時間が短いほどピッチ・ストライド比は高くなることが示された。本研究と同様に、個人内変動に着目した豊嶋ほか (2015) は、短距離走競技者 1 名の被検者において、ストライドが大きい疾走 (ピッチ・ストライド比が低い疾走) とピッチが高い疾走を比較すると、接地時間には有意な差が認められず、滞空時間に有意な差が認められたことを報告している。本研究では被検者を 8 名に増やして個人内変動を検討し、豊嶋ほか (2015)

と同様の結果が得られた。ピッチ・ストライド比と接地時間の間に相関関係が認められなかった背景には、接地時間、滞空時間、ストライド、ピッチ、ピッチ・ストライド比の 5 変数の相互関係が影響していると考えられる。ストライドと滞空時間には正の相関関係があること、ピッチは接地時間と滞空時間によって決定されること (土江ほか, 2010) を前提とした場合、以下のように推測できる。例えば、接地時間が短く、滞空時間が長い場合、ストライドは滞空時間が長いことで増加するが、ピッチは接地時間が短く、滞空時間が長いことで顕著な変化は生じず、それらの結果としてピッチ・ストライド比は減少すると考えられる。つまり、接地時間の長短に関わらず、ピッチ・ストライド比には増加と減少の両方が生じるため、接地時間とピッチ・ストライド比には相関関係が認められなかったと考えられる。しかし、ピッチとストライドを決定する他の要因には、支持距離、滞空距離、離地時の鉛直速度、重心高、力積などの力学的要因が影響するため、接地時間と滞空時間だけでなく、形態・体力・技術面の特徴を考慮した上で、個人内における 100m 走パフォーマンスの変化とステップタイプのタイプ移行を検討することが今後の課題となるであろう。

4.4. 本研究の限界と実践への示唆

まず本研究の限界について指摘する。本研究では、100m の自己ベストタイムが 10.5 秒から 11.3 秒のパフォーマンス水準の男子大学生を被検者として、2012 年 4 月から 2013 年 10 月までの約 1 年半の期間を分析した。また分析に用いた各被検者のレースの本数は、10 ~ 14 本であり、分析数がより増えれば結果が異なる可能性がある。そのため、本研究から得られる実践への示唆は、9 秒台や 10 秒台前半のよりパフォーマンス水準が高い競技者や、身体が成熟過程にあるジュニア期の競技者、そして分析期間をより長期間にした場合の結果については言及することができない。さらに、各被検者の 100m 走タイムの変動係数は 0.79 - 2.60% であることから、パフォーマンスの個人内変動が小さいことが、本研究結果に影響していると考えられ、より多くの個人内データを収集し、本研究よりも 100m 走タイムの変動係数が大きい場合は、異なる結果が示される可能性があることを踏まえておく必要がある。

以上の本研究の限界を踏まえた上で実践への示唆を示す。本研究の結果は、短距離走の指導者に対して、個人内における 100m 走パフォーマンスの変化を理解するための新たな知見を提供している。これまで、短距離走競技者は SL-type と SF-type に大別され、100m 走タイムが 10.6 秒前後と 11.1 秒前後の競技者を横断的に比較した場合、パフォーマンスが高い競技者ほど、SL-type ではストライドが大きく、SF-type ではピッチが高いことが報告されている (内藤ほか, 2013)。しかし、このステッ

プタイプが、個人内における100m走パフォーマンスの変動によって変化するかどうかは明らかにされてこなかった。パフォーマンスレベルが異なる競技者間を比較する横断的研究では、走速度が高い競技者の特徴として、ストライドが大きいまたはピッチが高いことが示されるものの、本研究の結果を踏まえると、個人内で100m走パフォーマンスが変動する過程においては、ストライドまたはピッチの片方の変数のみが増加していくような現象が生じるはことなく、ピッチ・ストライド比の増減が約0.20前後の範囲（Table 4）で、ストライドとピッチが相互に変化を繰り返しながら、走パフォーマンスが発達していくと考えられる。本研究においては、被検者Gがその典型例であった。この被検者は、2011年時点の100m走自己ベスト記録が11.29秒であったが、2013年8月には10.85秒の自己ベスト記録を更新した。ピッチ・ストライド比の個人内変動をみると（Fig.2）、ほぼMid-typeの95%信頼区間内で変動し続けながら、ストライドおよびピッチが相互に増加と僅かな減少を繰り返すことで走パフォーマンスが変化していた（Fig.1）。以上のことから、競技者および指導者は、100m走を専門とする競技者の100m走パフォーマンスが向上していく過程では、ピッチまたはストライドの片方が一方向的に増加していくのではなく、SL-typeとSF-type間でのタイプ移行が生じない範囲で、両変数が増加と減少を繰り返しながら、走パフォーマンスが発達していくという観点を理解しておく必要があるだろう。

今後は、本研究よりも個人内における走パフォーマンスの変動が大きい場合の検討を行う必要があるだろう。すなわち、準備期から試合期そして移行期までを含めたより長期間の分析や、体格が大きく変化するジュニア期の競技者を対象とした分析を行うこと、ステップタイプが異なる100m走パフォーマンスが同水準の競技者を対象として、力の発揮能力、走動作、トレーニング内容との関連も踏まえたデータを収集していくことが必要であろう。そのようなデータの収集と分析を継続していくことによって、競技者の特性を踏まえたオーダーメイド型の指導を実践するための知見を提供できると考えられ、複数の個人内におけるデータ分析に基づいた“single-subject analysis”をより詳細に実施していくことが指導現場に有用な知見を提供することに繋がると考えられる。

5. 要 約

本研究の目的は、100m走を専門とする複数名の競技者を対象として、試合期における100mレース中のストライドとピッチの個人内変動を調べることで、100mレースのパフォーマンス変化に伴うステップタイプのタイプ移行について検討することであった。得られた結果は以下の通りであった。

1. 短距離走を専門とする日本人学生競技者では、試合期において最大速度局面の平均ストライドは $0.11 \pm 0.04\text{m}$ 、平均ピッチは $0.22 \pm 0.08\text{Hz}$ で変動し、国際的なトップスプリンターとほぼ同じ傾向を示した。
2. 試合期における最大速度局面のピッチ・ストライド比の変動係数は、 $2.29 \pm 0.74\%$ で個人内での変動が生じにくい変数であった。
3. ステップタイプのタイプ移行を検討した結果、ピッチ型と中間型の間で移行を示した者が3名、ストライド型と中間型の間で移行を示した者が2名、タイプ移行がほとんど生じない者が3名認められた。
4. 最大速度局面におけるストライドと滞空時間には、全被検者において有意な正の相関関係が示されたが、ピッチは接地時間と有意な負の相関関係が示された者と、滞空時間と有意な負の相関関係が示された者が認められた。
5. ピッチ・ストライド比の個人内変動と接地時間の間に有意な相関関係は認められなかったが、滞空時間の間には全ての被検者において有意な負の相関関係が認められた。

以上の結果から、試合期において、短距離走を専門とする競技者のピッチ・ストライド比は試合期の間に増減を繰り返し、SF-typeとMid-typeの間、SL-typeとMid-typeの間ではタイプ移行が生じること、SL-typeとSF-typeの間でのタイプ移行が生じる可能性は極めて低いことが示唆された。また、滞空時間の延長と短縮が個人内におけるピッチ・ストライド比の変動を生じさせていることが示された。

文献

- 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－．世界一流競技者の技術．第3回世界陸上選手権大会バイオメカニクス班報告書．日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス班編．ベースボールマガジン社：東京，pp.14-28.
- 新井宏昌・渡邊信晃・高本恵美・真鍋芳明・前村公彦・岩井浩一・宮下 憲・尾縣 貢（2004）国内一流女子スプリンターにおけるトレーニング経過にともなう形態的・体力的要因と疾走動作の変化．体育学研究，49：335-346.
- Debaere, S., Jonkers, I., and Delecluse, C. (2013) The contribution of step characteristics to sprint running performance in high-level male and female athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27 (1): 116-124.
- Gajer, B., Thepaut – Mathieu, C. and Lehenaff, D. (1999) Evolution of stride and amplitude during course of the 100m event in athletics. *New Studies in Athletics*, 14 (1):

- 43-50.
- Hoffmann, K. (1971) Stature, leg length, and stride frequency. *Track Technique*, 46: 1463-1469.
- Hunter, J. P., Marshall, R. N., and McNair, P. J. (2004) Interaction of step length and step rate during sprint running. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 36 (2): 261-271.
- 稲葉恭子・加藤謙一・宮丸凱史・久野譜也・尾縣 貢・狩野 豊 (2002) 女子スプリンターにおける疾走能力の向上に関する事例研究. *体育学研究*, 47: 463-472.
- 伊藤浩志・村木征人・金子元彦 (2001) スプリント走加速局面における主観的努力度の変化がパフォーマンスに及ぼす影響. *スポーツ方法学研究*, 14 (1): 65-76.
- Kunz, H., and Kaufmann, D. A. (1981) Biomechanical analysis of sprinting: decathletes versus champions. *Brit. Journal of Sports Medicine*, 15 (3): 177-181.
- 黒澤茉莉子・藤井範久・阿江通良・横沢俊治 (2005) 女子 100m 競技者の大学 4 年間ににおける疾走動作改善に関する研究－回復脚の動作と動き方の意識との関係を中心に－. *陸上競技学会誌*, 3 (1): 1-9.
- Mackala, K. (2007) Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 meters. *New Studieds in Athletics*, 22 (2): 7-16.
- Mero, A., Luhtanen, P., Viitasalo, J. T., and Komi, P. V. (1981) Relationships between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scand. Journal of Sports Science*, 3 (1): 16-22.
- 宮代賢治・山元康平・内藤 景・谷川 聡・西嶋尚彦 (2013) 男子 100m 走における身長別モデルステップ変数. *スプリント研究*, 22: 57-76.
- 宮下 憲・阿江通良・横井孝志・橋原孝博・大木昭一郎 (1986) 世界一流スプリンターの疾走フォームの分析. *Jpn. J. Sports Sci.*, 5: 892-898.
- 内藤 景・苅山 靖・宮代賢治・山元康平・尾縣 貢・谷川 聡 (2013) 短距離走競技者のステップタイプに応じた 100m レース中の加速局面の疾走動態. *体育学研究*, 58 (2): 523-538.
- 中田和寿・阿江通良・宮下 憲・横澤俊治 (2003) バイオメカニクスデータを活用した短距離疾走動作の改善. *陸上競技学会誌*, 1 (1): 30-38.
- Salo, A. I. T., Bezodis, I. N., Batterham, A. M., and Kerwin D. G. (2011) Elite Sprinting: are athletes individually step-frequency or step-length reliant?. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 43 (6): 1055-1062.
- Schiffer, J. (2009) The sprints. *New Studies in Athletics*, 24 (1): 7-17.
- 杉林孝法・村木征人・伊藤浩志 (2003) 全力疾走反復条件下におけるパフォーマンス動態. *スポーツ方法学研究*, 16 (1): 27-37.
- 豊嶋陵司・田内健二・遠藤俊典・磯 繁雄・桜井伸二 (2015) スプリント走におけるピッチおよびストライドの個人内変動に影響を与えるバイオメカニクスの要因. *体育学研究*, 60: 197-208.
- 土江寛裕 (2009) 日本代表スプリンターにおけるレース中のピッチ変化が記録に及ぼす影響. *スポーツパフォーマンス研究*, 1: 169-176.
- 土江寛裕・櫛部静二・平塚 潤 (2010) 最大スプリント走時の走速度, ピッチ・ストライド, 接地・滞空時間の相互関係と, 競技力向上への一考察. *城西大学研究年報, 自然科学編*, 33: 31-36.

走高跳の助走における視線行動

東中友哉¹⁾, 河村剛光²⁾, 越川一紀²⁾, 中田 学²⁾, 青木和浩²⁾

Visual behavior in the approach run of the high jump

Tomoya HIGASHINAKA¹⁾, Yoshimitsu KOHMURA²⁾, Kazunori KOSHIKAWA²⁾, Manabu NAKATA²⁾, Kazuhiro AOKI²⁾

Abstract

The aim of this study was to investigate the difference about clarify in visual behavior of the high jumpers, decathlon athletes and normal students in the approach run of the high jump. Twenty-one university students participated in this study, and categorized into 3 groups (n=7: high jumpers, n=7: decathlon athletes, n=7 normal students). Seven normal university students who they took Track and Field by the class of the university, and do not usually exercise. All subjects put on mobile type sunglasses EMR 9 and carried out an experiment. All subjects set the height of the bar to 95%, 100% and 105% with a personal best as 100%. All subjects performed each three height approach runs and measured visual behavior by nine approach runs in total. Eye fixation point is classified the items in the bar, runaway of the high jump, the upper part of the bar, the lower part of the bar, upright, middle mark, and others. The results are as follows.

- 1) The first half of the approach run, high jumpers were longer than decathlon athletes and normal students about the eye fixation time for bar by all height.
- 2) The first half of the approach run, decathlon athletes and normal students were longer than high jumpers about the eye fixation time for runaway of the high jump by all height.
- 3) The latter half of the approach run, it was no significant difference that was statistical in all height.
- 4) High jumpers made an approach run while regarded a bar as fixation from the first half of the approach run to take-off. Approach run was in the first half, and decathlon athletes and university students regarded a bar as fixation and approach run was in the latter half and regarded runaway of the high jump as fixation.
- 5) This study found that no significant difference that was statistical in all height by the same subject.

From these results, visual behavior does not change because of the height, but the difference was seen in the first half of the approach run between the performance levels.

キーワード：注視, バー, 助走路, 助走前半, 競技レベル

1. 緒 言

陸上競技の跳躍種目には、「走幅跳」「三段跳」「走高跳」「棒高跳」がある。跳躍種目全てに共通していることは片足で踏み切ることであり、走高跳と棒高跳においては超えたバーの高さによって争われる（帖佐，1976）。また走高跳は、他の跳躍種目と違って助走路が設けられていないため、比較的自由度の高い種目であると考えられる。走高跳のフォームは歴史的に見ると変化しており、「はさみ跳び」「ロール・オーバー跳び」「ベリー・ロール」そして現在ではほとんどの選手が「背面跳び」を用いている（Dapena, 1980；大西，1977；関岡・栗原，1978）。現在の世界記録である男子 2M45，女子 2M09 も「背面跳び」によって樹立した記録である。

背面跳びの助走において、最も特徴的なのは踏切 3～5 歩前で曲線コースをとることである（深代・山際，1990；ジョセフ，2004）。助走前半部分では直線的に 3～4 歩、助走後半部分の 4～5 歩では踏切側の支柱に向かって曲線的に走ることが望ましいとされており、直線的な部分と曲線的な部分を兼ね備えた走高跳の助走は踏切、バー・クリアランスといった各局面の中で最も重要であり、なおかつ改善しやすい局面である（ジョセフ，2004）と言われている。良い助走が良い踏切を生み、良い踏切が良い空間動作を生み出す（大西，1977）と言われているほど全ては助走から始まるといっても過言ではない。

一方、人間はスポーツをする際多くの情報を目から得ていると言われており、スポーツと視覚についていくつもの研究が進められている。目と対象を結ぶ線である視線の動きを視線行動と呼び（藤本ほか，2004），Williams et al（1994）はスポーツのパフォーマンスにおいて、熟練者と初心者では異なる視線行動を用いていることが報

1) 文京区教育センター Bunkyo Education Center
〒113-0034 東京都文京区湯島 4 丁目 7 番 10 号

2) 順天堂大学スポーツ健康科学部 School of Health and Sports Science, Juntendo University
〒270-1695 千葉県印西市平賀学園台 1 丁目 1 番

告されている。また Tenenbaum (2003) はあらゆるスポーツにおいて初級者は直接対象物を見る中心視によって視覚情報を獲得しているが、熟練者は対象物を視野端で見る周辺視を用いて周囲の情報を獲得していると報告している。

また、わずかではあるが陸上競技においても視線行動を検証した研究も認められている。400M ハードルにおいて、初級者と熟練者による視線行動の比較検討がなされており、対象物であるハードルに対して初級者は熟練者よりも疾走中にハードルを注視する回数が有意に多かったと報告している（濱出ほか，2013）。ハードルやバー、踏切板といった目標物との距離を調整する種目においては、疾走中の視線行動はパフォーマンスや助走、踏切に影響を与える要因の一つになると考えられる。

瞬時に様々な状況が変化する球技スポーツにおいて、視線行動は重要視されている為に多くの研究が報告されているが、クロズドスキルである走高跳においての視線行動は見当たらない。走高跳の最も重要である助走において、熟練者と非熟練者では視線行動にどのような違いが表れるのかということをは明らかにすることは、スポーツ現場において競技力向上やコーチングとして一つの指導アプローチの重要な情報になるのではないかと考えられる。

本研究では走高跳に着目し、専門競技者群・混成競技者群・一般学生群の3群において、助走中の視線行動の違いを明らかにすることを目的とする。

2. 方 法

2.1 実験方法

(1) 被験者

本研究に先立ち、被験者に本研究の目的・方法・内容及び参加に伴う危険性に関する詳細な説明を口頭ならびに文書にて行い、実験への参加を依頼した。また被験者が未成年の場合、その保護者にも本研究の主旨を十分に説明し、実験に参加することを依頼し同意を得て行った。なお、本研究は順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科研究等倫理委員会の承認を得た。

被験者のうち、自己記録が関東学生陸上競技対校選手権大会男子1部参加B標準記録である2m03を超えている男子陸上競技者7名（身長 $177.3 \pm 4.8\text{cm}$ 、体重 $66.3 \pm 6.9\text{kg}$ 、年齢 21.0 ± 1.4 歳、最高記録 $210.3 \pm 2.8\text{cm}$ 、競技歴 9.9 ± 1.8 年）を専門競技者群（熟練者）とした。混成競技を専門としている男子陸上競技者7名（身長 $177.7 \pm 3.6\text{cm}$ 、体重 $73.7 \pm 6.0\text{kg}$ 、年齢 20.6 ± 1.4 歳、最高記録 $187.9 \pm 7.8\text{cm}$ 、競技歴 7.0 ± 2.7 年）を混成競技者群（非熟練者）とした。そして、大学授業の「陸上運動」を履修したことがあり、普段運動をあまり行っていない男子学生7名（身長 $173.9 \pm 4.8\text{cm}$ 、体重 $63.6 \pm 7.2\text{kg}$ 、年齢 21.0 ± 0.8 歳、最高記録 $145.0 \pm 4.6\text{cm}$ ）を一

般学生群（非熟練者）とした。

(2) 測定方法

視線行動を計測する際のバーの高さの設定として、村木（1994）は陸上競技の試合においてフィールド種目の競技達成率は自己記録の94.7%といわれていることと、自己記録の90%～95%は専門的準備期の練習で最も多用する高さである（日本陸上競技連盟編，1990）ということから95%、自己記録の100%、高さの変動による視線行動の変化を見るために自己記録よりも高い105%の3段階の高さを設定した。各高さにおいて3本ずつ助走を行い、計9本の助走による視線行動を計測した。尚、専門競技者7名と混成競技者7名はそれぞれの公認競技会での自己記録を参考にした。一般学生は事前に9歩助走で行うことを指導した上で練習を行ってもらい、その後自己記録の測定を行ってバーの高さを設定した。

被験者の視線行動を測定する機器として、モバイル型アイマークレコーダ EMR9 グラスタイプ（nac 社）を使用した。検出レートは60Hzで計測を行い、視野レンズは92°を使用した。頭部に固定された視野カメラ（撮影速度30f/sec）による映像上に、眼球運動測定データとしてのアイマークが重ねられ、アイマーク視野映像としてSDカードに記録された。助走の一步毎の時間を測定するため、支柱から横5m×縦5mの助走側方にビデオカメラ（GC-PX1, Victor 社製）を設置し、撮影した（60f/sec）。尚、助走スタート位置のマークを第1マーク、中間マークを第2マーク、踏切側の支柱の外側3～5m付近に設置されたマークを第3マークとした（図1）。

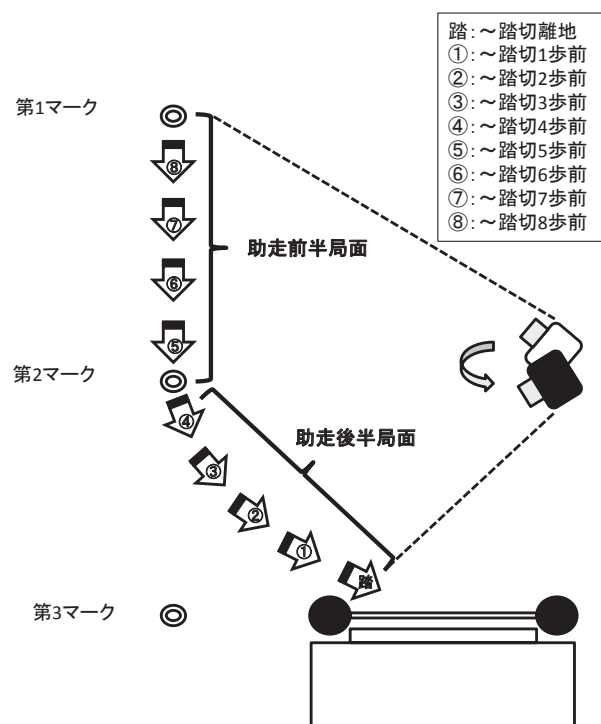


図1 助走マークの設定と各歩数における定義

(3) 実験手順

被験者はモバイル型アイマークレコーダを頭部に装着し、コントローラーをウエストバックに入れ腰に装着した。視線行動を定める為のキャリブレーションを行った後、本来の助走になるべく近づけるよう助走練習を各自2~3本行ってもらった。本実験の限界点として590gのコントローラーをウエストバッグに入れ被験者の腰に装着した状態で助走を行ったため、背中から着地する背面跳びは危険性が高いことから本研究では踏切離地までとし、踏切後はバーを手で避けるよう統一して行った。分析において、アイマークレコーダで録画されたデータと助走側方からのデジタルビデオカメラの映像を同期させるため、助走開始前にアイマークレコーダを装着した被験者とデジタルビデオカメラの前でLEDライトを点灯させ、閃光開始を同期の基準とした。被験者はその後助走開始位置に着き、十分な休憩を挟みながら95%・100%・105%の3条件を各3回、計9本助走を自身のタイミングで行った。全試技終了後に内省調査を行い、実験を終了とした。

2.2 分析方法

(1) 分析項目

アイマークレコーダによって測定されたデータは解析用ソフトEMR-dFactory (nac社)によって撮影したものを1コマずつ分析した。視野映像上(解像度640×480ピクセル)でアイマーク座標の中心から半径30ピクセル以内を注視範囲とし、0.05sec以上視線が停留した場合を「注視」と中田(2014)が定義していることから本研究では2video frames(0.067sec)以上を「注視」と定義した。注視項目は①バー②助走路③バー上部④バー下部⑤支柱⑥中間マーク⑦その他とした。①バーは注視範囲にバーが入っている場合、②助走路は助走開始位置からバーまでの(中間マークを除く)助走路を見ている場合、③バー上部は①以外でバーより上の場合、④バー下部は①以外でバーより下の場合、⑤支柱はバーと地面に注視範囲が入っておらず支柱を見ている場合、⑥中間マークは直線助走から曲線助走に移行する際に目印として置かれたマークに注視範囲が入っている場合、⑦その

他はその他の場所を見た場合と視線が2video framesに満たなかった場合とした。また、注視の対象が移動した回数を記録した。

得られた映像は画像ソフト(Quick Time Player)を用いて解析した。助走分析区間は踏切8歩前離地から踏切離地時までとし、片脚が地面から離地した瞬間から逆脚が離地する瞬間までを一歩毎にコマ数で算出した。

全試技終了後に①スタート時②中間時③踏切時にどこを見て助走を行っていたのか、自由記述で回答してもらった。

(2) 統計処理

身体特性と自己記録において平均値±標準偏差にて表記し、分散分析を用いて専門競技者群・混成競技者群・一般学生群の3群を比較した。またF値が有意と認められた場合はTukeyの多重比較検定を行った。本研究はすべての検定において統計的有意水準は危険率5%未満とし、統計処理ソフトIBM SPSS Statistics 21 (IBM社製)を用いて検定を行った。

3. 結果

3.1 3群における身体特性と自己記録の比較

3群間における身体特性の比較を表1に示した。年齢はそれぞれのグループの平均値が同程度を示し、グループ間の差は認められなかった。身長については、専門競技者群と混成競技者群が平均値で同程度を示し、これらは一般学生群よりも平均値で大きい値を示したが、グループ間で有意差は認められなかった。また、体重においても混成競技者群は専門競技者群と一般学生群よりも平均値で大きい値を示したがいずれも有意差は認められなかった。一方、自己記録においては専門競技者群・混成競技者群・一般学生群の順に平均値で大きい結果が示され、グループ間の比較において有意差が認められた。

3.2 95%条件での各項目注視割合

95%条件での注視割合の各項目において、統計的に有意差が認められたのはバーと助走路であり、バー上部、バー下部、支柱、中間マーク、その他においては有意差

表1 被験者の身体特性

	専門競技者群 (I)	混成競技者群 (II)	一般学生群 (III)	有意差
人数	7	7	7	n.s.
年齢	21.0±1.4	20.6±1.4	21.0±0.8	n.s.
身長(cm)	177.3±4.8	177.7±3.6	173.9±4.8	n.s.
体重(kg)	66.3±6.8	73.7±6.0	63.6±7.2	n.s.
自己記録(cm)	210.3±2.8	187.9±7.8	145.0±4.6	I >> II >> III
	平均値±標準偏差			<<p<0.01

が認められなかった。この2項目においては図2、図3で示した。図2はバーの高さが自己記録に対して95%の時のバーの注視割合を示したもので、図3は同条件での助走路の注視割合を示したものである。専門競技者群のバーの注視割合は、助走を始める7~8歩前は小さい傾向があるが踏切に近づくにつれて大きくなるものの、専門競技者群を除いては踏切で小さくなる傾向を示した。歩数毎にそれぞれのグループ間の注視割合を比較したところ、踏切8歩前と踏切7歩前は、専門競技者群の注視割合が混成競技者群、一般学生群のものよりも大きい結果を示し、有意差が認められた ($p<0.01$)。また踏切6歩前は、専門競技者群の注視割合が混成競技者群、一般学生群のものよりも大きい結果を示し、有意差が認められた ($p<0.05$)。助走路の注視割合において、助走を始める6~8歩前は混成競技者群と一般学生群におい

て大きい傾向を示し、踏切5歩前から踏切にかけては小さい傾向が示された。専門競技者群は助走全体を通して高い傾向を示されなかった。歩数毎に比較したところ、踏切8歩前は混成競技者群と一般学生群の注視割合が専門競技者群より大きい結果を示し、有意差が認められた ($p<0.05$)。また踏切7歩前と6歩前は、混成競技者群と一般学生群の注視割合が専門競技者群より大きい結果を示し、有意差が認められた ($p<0.01$)。

3.3 100%条件での各項目注視割合

100%条件での注視割合の各項目において、統計的に有意差が認められたのはバーと助走路であり、バー上部、バー下部、支柱、中間マーク、その他においては有意差が認められなかった。この2項目においては図4、図5で示した。図4は自己記録の高さでのバーの注視割合を

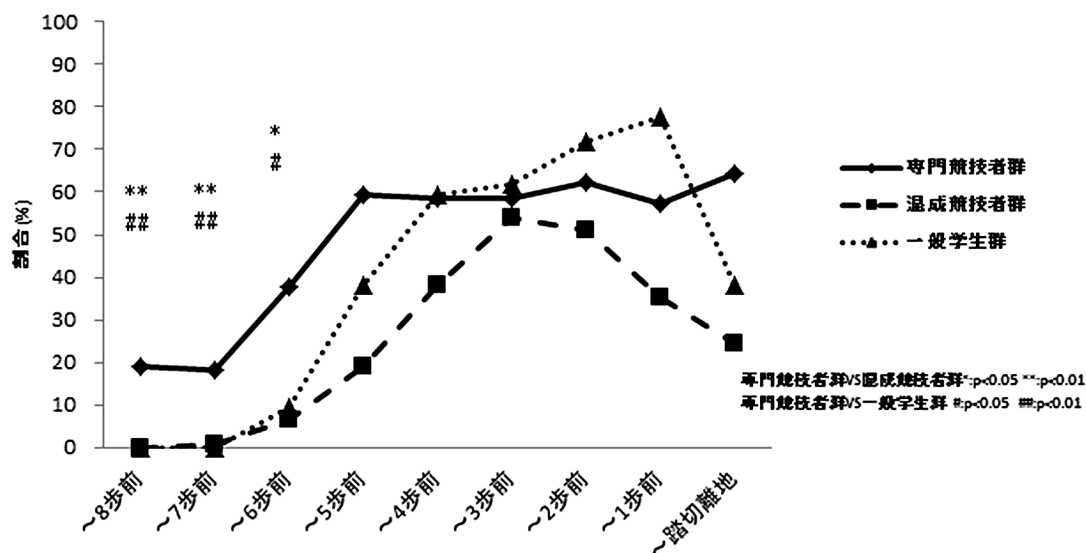


図2 自己記録に対する95%時の高さにおけるバーの注視割合

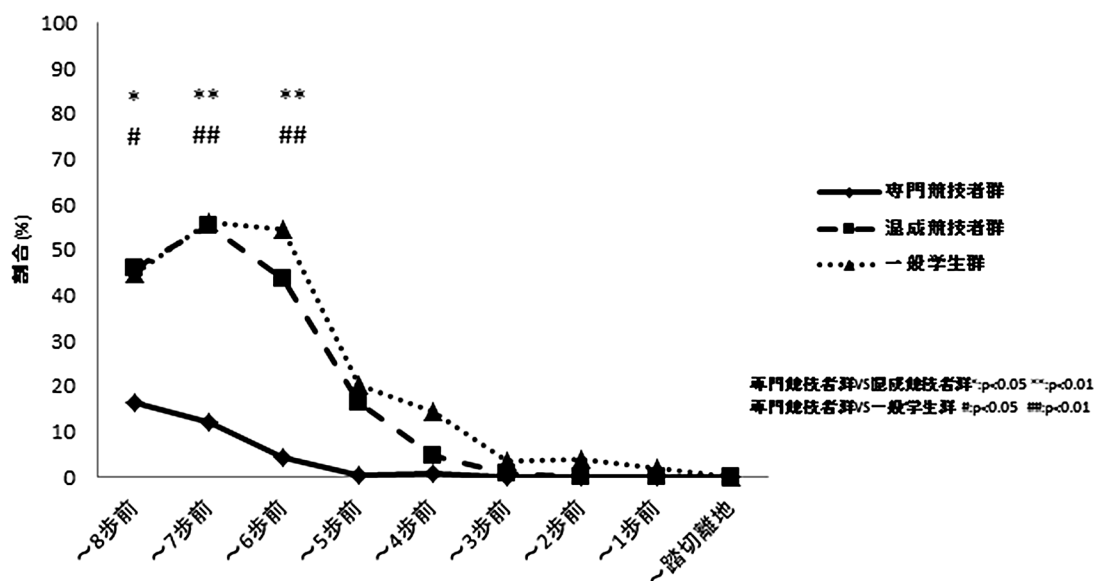


図3 自己記録に対する95%時の高さにおける助走路の注視割合

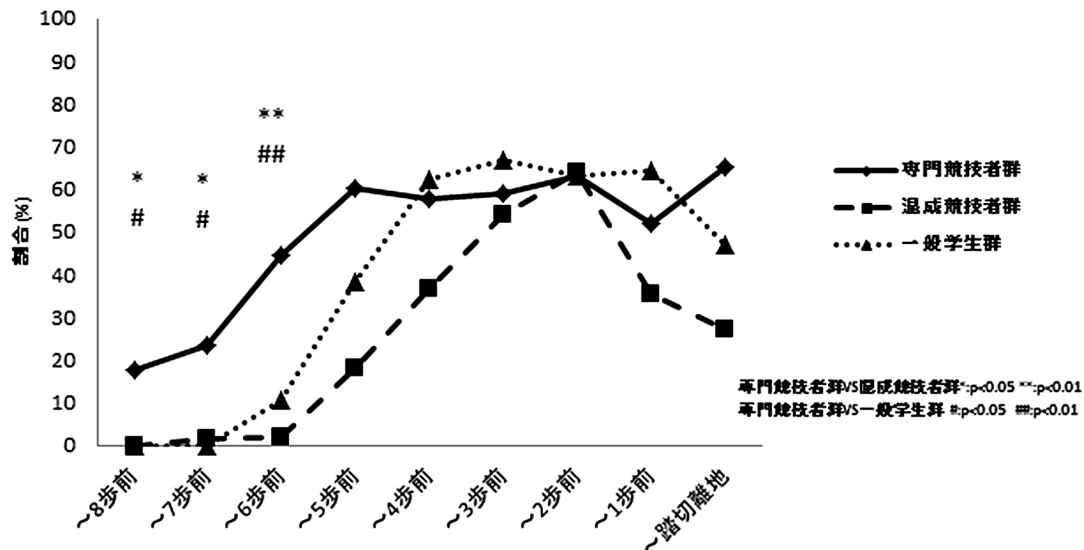


図4 自己記録に対する100%時の高さにおけるバーの注視割合

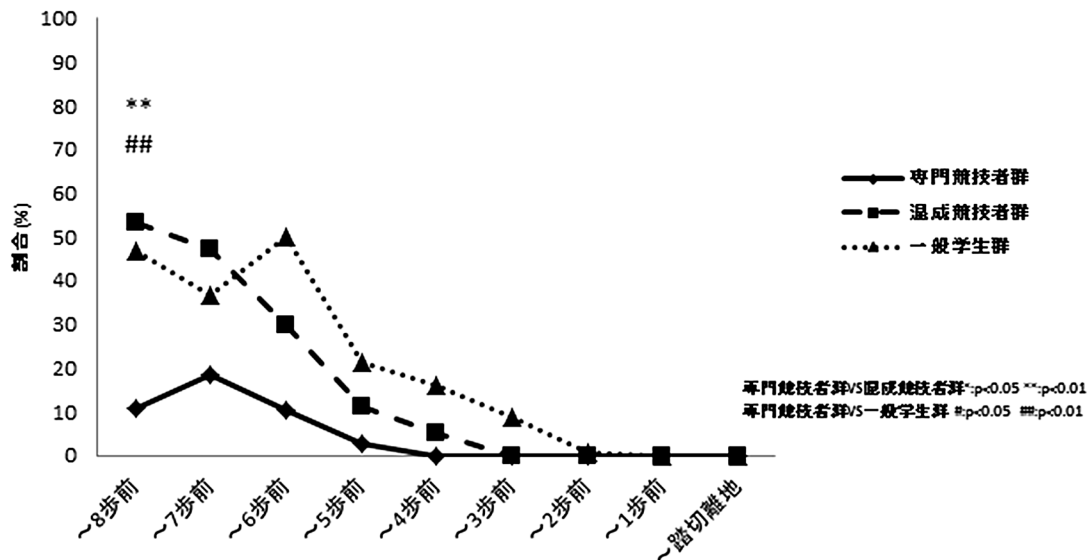


図5 自己記録に対する100%時の高さにおける助走路の注視割合

示したもので、図5は同条件での助走路の注視割合を示したものである。専門競技者群のバーの注視割合は、95%時のバーの注視割合と同様に助走を始める7~8歩前は小さい傾向があるが踏切に近づくにつれて大きくなり、専門競技者群を除いては踏切で小さくなる傾向を示した。歩数毎にそれぞれのグループ間の注視割合を比較したところ、踏切8歩前と踏切7歩前は、専門競技者群の注視割合が混成競技者群、一般学生群のものよりも大きい結果を示し、有意差が認められた ($p<0.05$)。また踏切6歩前は、専門競技者群の注視割合が混成競技者群、一般学生群のものよりも大きい結果を示し、有意差が認められた ($p<0.01$)。助走路の注視割合において、混成競技者群と一般学生群は助走を始める6~8歩前に大きい傾向を示し、踏切5歩前から踏切にかけて小さい傾向

が示された。専門競技者群は助走を始める7歩前で一度高くなったものの全体を通して小さい傾向を示した。歩数毎に比較したところ、踏切8歩前は混成競技者群と一般学生群の注視割合が専門競技者群より大きい結果を示し、有意差が認められた ($p<0.01$)。

3.4 105%条件での各項目注視割合

105%条件での注視割合の各項目において、統計的に有意差が認められたのはバーと助走路と支柱であり、バー上部、バー下部、中間マーク、その他においては有意差が認められなかった。この3項目においては図6、図7、図8で示した。図6はバーの高さが自己記録に対して105%の時のバーの注視割合を示したもので、図7は同条件での助走路の注視割合、図8は同条件での支柱

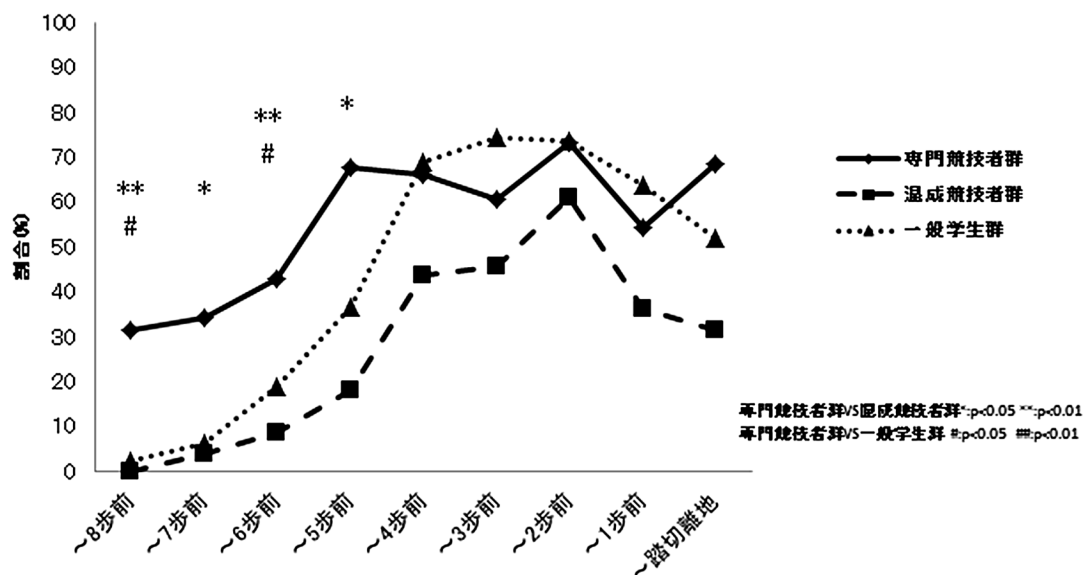


図6 自己記録に対する 105%時の高さにおけるバーの注視割合

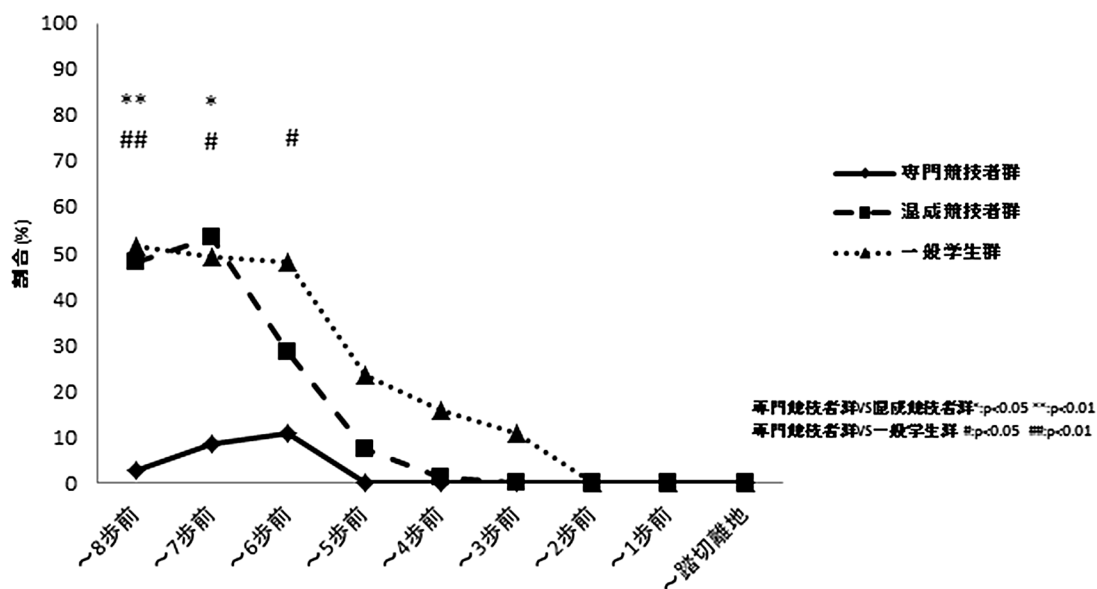


図7 自己記録に対する 105%時の高さにおける助走路の注視割合

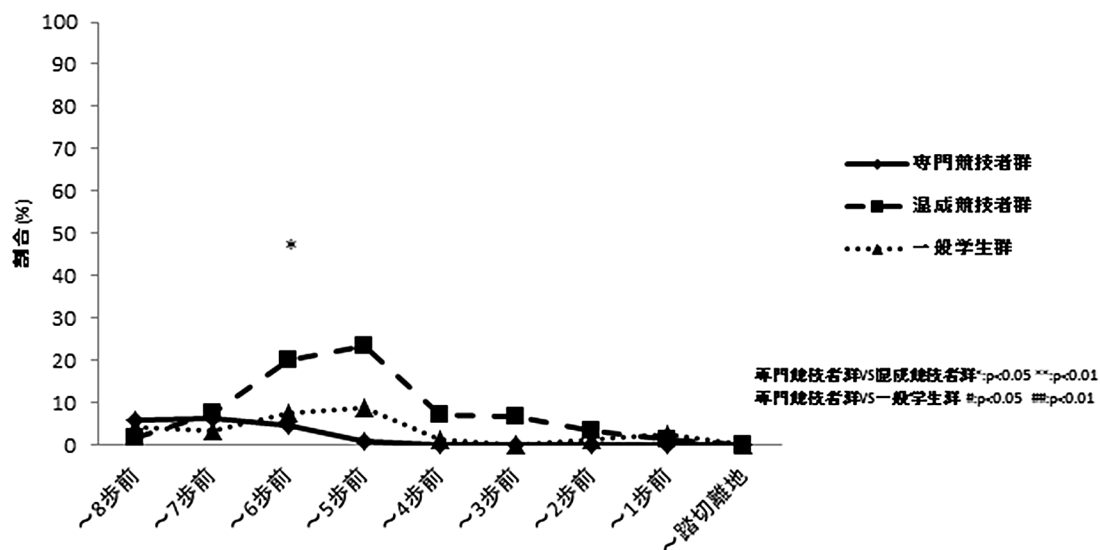


図8 自己記録に対する 105%時の高さにおける支柱の注視割合

の注視割合を示したものである。専門競技者群のバーの注視割合は95%、100%時に比べると助走を始める8歩前から比較的高い傾向を示し、専門競技者群を除いては踏切にかけて小さくなる傾向を示したが、専門競技者群は踏切で高くなる傾向を示した。歩数毎にそれぞれのグループ間の注視割合を比較したところ、踏切8歩前と踏切6歩前は専門競技者群の注視割合が混成競技者群のものよりも大きい結果を示し有意差が認められ ($p<0.01$)、また専門競技者群の注視割合が一般学生群のものよりも大きい結果を示し有意差が認められた ($p<0.05$)。踏切7歩前と踏切5歩前においては、専門競技者群の注視割合が混成競技者群のものよりも大きい結果を示し有意差が認められた ($p<0.05$)。助走路の注視割合において、混成競技者群と一般学生群は助走を始める6~8歩前に大きい傾向を示し、踏切5歩前から踏切にかけて小さい傾向が示された。専門競技者群は、助走を始める6歩前にかけて高くなったものの全体を通して小さい傾向を示した。歩数毎に比較したところ、踏切8歩前は混成競技者群と一般学生群の注視割合が専門競技者群のものよりも大きい結果を示し有意差が認められた ($p<0.01$)。踏切7歩前は、混成競技者群と一般学生群の注視割合が専門競技者群のものよりも大きい結果を示し有意差が認められ ($p<0.05$)、踏切6歩前においても一般学生群の注視割合が専門競技者群のものよりも大きい結果を示し有意差が認められた ($p<0.05$)。支柱の注視割合において、どの群にも高い傾向は見られなかったが、混成競技者群は助走を始めて5~6前に小さい傾向が見られた。歩数毎に比較したところ、混成競技者群の注視割合が専門競技者群のものよりも大きい結果を示し有意差が認められた。

4. 考 察

全高さ条件で共通に、助走前半局面において専門競技者群は混成競技者群と一般学生群に比べ、バーを注視している割合が有意に高い結果となり混成競技者群と一般学生群は専門競技者群に比べ、助走路を注視している割合が有意に高い結果となった。

スポーツにおける視線行動について、熟練者は視線行動の範囲が狭いのにに対し非熟練者は視線行動の範囲が広いということが言われている (加藤・福田, 2002; 水田ほか, 1989; 武藤・清水, 2009; 鯛谷, 1968)。様々な状況が瞬時に変化するスポーツにおいて、真下 (2002) はプレーや発揮パフォーマンスを頭の中で思い描く能力の事を視覚化能力と呼び、パフォーマンスが高い選手ほどこの能力に長けていると言われている。また熟練者において、視支点 (Visual pivot) と呼ばれる周辺視を活用して情報を得ていると言われている (日本スポーツ心理学会編, 2004)。視支点とは、広い範囲の対象をとらえる際にその対象の中心付近に置かれる仮想的な支点であり、その支点が置かれた位置そのものはそれほど重要な

視覚情報を有していないが、その支点の周辺部には動きや位置関係を示す重要な情報が存在している。このような視支点はボクシング (Ripoll et al, 1995) や空手 (Williams et al, 1999) でも活用されている。Ripoll (1991) によると、視支点を用いて周辺視を活用することで総合的な視線行動活動を行うことができ、一方で視支点を用いない非熟練者は中心視により分析的に視線行動活動を行っていると考えられている。また、視野内の注意エリアを移動させる際中心視を用いるよりも周辺視を活用して選択的注意移動させた方が処理は早く、効率が良いと言われている (David, 1984)。内省報告の結果からも、混成競技者群と一般学生群においては、スタート時は中間マーク、踏切時はバーといった意識で助走を行っており、アイマークレコーダでの視線行動と内省報告がほとんど一致していた。しかし専門競技者群においては、アイマークレコーダによる視線行動はスタート時バーへと向けられていたが、内省報告では中間マークを見ているというズレがあったことから、熟練者はバーに支点を置きつつ周辺視野で中間マークや助走路の情報を得ているのではないかと考えられる。

この結果から、本実験はクローズドスキルである走高跳の為、球技系スポーツに比べると状況が変化することや予測することが少ないが、専門競技者群は日頃の練習によって身に着いた予測が視線行動の狭めることを可能にし、視支点による仮想的な支点を定めることで周辺視を用いて様々な情報を効率よく捉えることができたのではないかと考えられる。また、走高跳における視線行動の範囲を狭める要因として、助走後半局面で視線が下がっていると踏切準備で身体が前傾してしまうため、第2マークを過ぎた辺りから視線はバーの方へ向けることが望ましいとされている事や、踏切で急にバーへと視線を上げると非常に高く見えてしまう事も指摘している (日本陸上競技連盟編, 1990)。よって、専門競技者群は助走前半局面からバーに視支点を置くことにより視線行動の範囲は狭まり、助走後半局面への情報や位置関係を周辺視によって得ていたと考えられる。

一方、非熟練者は中心視により分析的に視線行動活動を行っていると考えられている (Ripoll, 1991) ことから、混成競技者群と一般学生群は「ボールウォッチャー」と呼ばれる対象物を中心視で終始追従してしまう傾向になっていると考えられる (梅崎ほか, 2014)。技術的な面において未熟であると考えられる為、全体的に助走到に余裕がなく助走前半局面から助走後半局面への移行に意識が集中し、助走路やバーなど様々なところに視線が向けられていたため視線行動の幅が広がったのではないかと考えられる。鯛谷 (1968) のバスケットボールのショットにおける注視点の研究においても、経験者、未経験者ともにショットが成功したときは視点の動揺も小さく、動揺のパターンが類似しているが、ショットが不安定の

ときは動揺の上下動も大きく、不安定な動揺のパターンを示していることから、視線行動の範囲を狭める事は走高跳においても重要であると考えられる。今回、混成競技者群が専門競技者群ではなく一般学生群と視線行動が類似した結果に対して、混成競技者は走高跳の競技歴は長いものの普段の練習で走高跳の専門的な練習に割く時間はほとんどなく、試合のみ走高跳を行う者もいたことから専門競技者よりも一般学生に近い視線行動になったのではないかと考えられる。

指導書（日本陸上競技連盟編，1990；ジョセフ，2004）によれば、助走前半局面は直線上に置かれた第3マークに視線を向け、第2マークを超えてからの助走後半局面では支柱やバーに視線を向けることが良いとされている。本実験の結果から、混成競技者群と一般学生群では指導書のように助走前半局面で助走路に視線を向け、助走後半局面はバーに視線を向けていた。しかし、専門競技者群は助走前半局面からバーに視線を向け、助走後半局面もバーに視線を向けている結果となった。熟練者は非熟練者よりも視線行動の範囲が狭いという先行研究の結果を支持する結果となったことから、競技レベルが上がるにつれて視線行動の範囲が狭まり、バーを注視する割合が高くなると考えられる。これらの結果から、指導書等で推奨されている視線行動は非熟練者の視線行動と類似しており、熟練者は指導書と違った視線行動を行っていることが示唆された。しかし、熟練者を見習って視線行動の範囲を狭めることが良いというのではなく、日頃の専門的な練習によって身に着いた結果であることも予想され、日頃のトレーニングにおいてどのように視線行動に関わる教示や指導をすれば良いかは引き続き検証が必要になると考えられる。今後の課題としては、本実験において行うことが出来なかった踏切後のバー・クリアランスまでの視線行動を測定することが出来ればさらなる発展へとつながるのではないかとと思われる。

5. 結 論

走高跳の助走において、助走前半局面では専門競技者群はバーの注視割合が混成競技者群と一般学生群に比べ有意に高く、混成競技者と一般学生は助走路の注視割合が専門競技者に比べ有意に高かった。また、助走後半局面においては専門競技者群、混成競技者群、一般学生群に有意な差が認められなかった。

付 記

本論文は、平成27年度順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科修士論文をもとに作成した。

文献

帖佐寛章（1976）陸上競技—スポーツ全集 12—。ポプラ社：東京，pp.124-140。

Dapena, J. (1980) Mechanics of translation in the Fosbury flop. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 12(1): 37-44.

Daivids, k. (1984) The role of peripheral vision in ball games, Some theoretical and practical notions. *Physical Education Review*, 7: 26-40.

藤本武司・砂山 渡・山口智浩・谷内田正彦（2004）視線行動の可視化による着眼スキル伝達支援。人工知能学会論文誌，19（3）：174-183。

深代千之・山際哲夫（1990）跳ぶ科学。大修館書店：東京。

濱出広大・中本浩揮・幾留沙智・森 司郎（2013）視線行動を変容させるトレーニングがハードル走の歩幅の変動性に及ぼす効果。スポーツパフォーマンス研究，5：261-271。

ジョセフ：澤村 博ほか監訳（2004）コーチングマニュアル。出版芸術社：東京，pp.115-136。

加藤貴昭・福田忠彦（2002）野球の打撃準備時間相における打者の視線行動ストラテジー。人間工学，38（6）：333-340。

真下一策（2002）スポーツビジョンスポーツのための視覚学—。ナッブ社：東京。

真下一策・石垣尚男・遠藤文夫（1994）トッププレイヤーのスポーツビジョン検査。臨床スポーツ医学，Vo1,11（2）：192-197。

水田拓道・池田晃一・石井源信・中村正道・清水信行・丸山剛生（1989）硬式テニスの指導に関する研究。日本体育学会大会号，40B: 647。

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：東京，pp.84-101。

武藤健一郎・清水 裕（2009）アイマークレコーダーによる剣道審判の視線研究。武道学研究，41（2）：1-11。

中田 学（2014）バレーボールにおける注視点の特性。順天堂大学大学院修士論文。

日本陸上競技連盟編（1990）実戦 陸上競技（フィールド編）。大修館書店：東京，pp.40-44。

日本スポーツ心理学会編（2004）最新スポーツ心理学—その軌跡と展望—。大修館書店：東京，pp.163-174。

大西暁志（1977）走高跳—陸上競技入門シリーズ 4—。ベースボール・マガジン社：東京，pp.12-43。

Ripoll, H. (1991) The understanding-acting process in sport: the relationship between the semantic and the sensorimotor visual function. *International Journal of Sport Psychology* 22: 221-243.

Ripoll, H., Kerlirzin, Y., Stein, J. F., and Reine, B (1995) Analysis of information processing, decision making, and visual strategies in complex problem solving sport situations. *Human Movement Science* 14: 325-349.

関岡康雄・栗原崇志（1978）走高跳における曲線助走の

- 効果に関する研究. 筑波大学体育紀要, 1: 77-86.
- 鯛谷 隆 (1968) バスケットボールのショットにおける注視点の研究. 東京女子体育大学紀要, 4: 72-76.
- Tenenbaum G (2003) Expert athletes: an integrated approach to decision making. In Starkes JL, et al. (Eds) Expert performance in sports. Human Kinetics: pp.191-218.
- 梅崎さゆり・野村照夫・来田宣幸 (2014) バレーボール選手のミニゲームにおける視線行動活動. スポーツパフォーマンス研究, 6: 36-50.
- Williams, A.M., Davids, K., Burwitz, L., and Williams, J.G (1994) Visual Search Strategies in Experienced and inexperienced Soccer Players. Research Quarterly for Exercise and Sport, 65(2): 127-135.
- Williams, A.M. and Elliott, D. (1999) Anxiety, expertise, and visual search strategy in karate. Journal of sport & Exercise Psychology, 21: 362-375.
-

現代のトップ選手の競技力形成に関するプラトノフの思想

青山 亜紀 (日本大学)

1. はじめに

競技スポーツの指導に関わる理論研究の始まりは、1930年代までに遡る。当時、増加の一途をたどるさまざまな種目にしたい個々のスポーツ種目で固有の指導法が次々に確立されたが、この時点ではまだ個別理論としての研究に過ぎなかった。一般理論としてのコーチング学の原点といえるのは、1950年から60年代にソ連を中心に共産圏で発展した「Trainingslehre」であろう（朝岡, 1999）。この一般理論としてのコーチング学の発展に大きく寄与した旧ソ連の研究者マトヴェイエフ（Матвеев, Л. П.）によるスポーツトレーニングのピリオダイゼーション理論は、スポーツトレーニングに関わる問題を、実際の指導現場からの実践知と自然科学的研究成果を統合して体系化を試みたことに大きな特徴がある。マトヴェイエフによる一連の研究は大きな成果をあげ、一般トレーニング学の濫觴として広く認知されることとなった。

マトヴェイエフが研究テーマとして掲げた選手の競技力向上に関わる問題のなかでも「目標とする主要試合で最高の競技成績を達成させる」ということは、今も変わらぬ重要な課題である。そのため、この課題について今日に至るまで様々な研究が多く、専門家により行われ、その結果、高度に発展した現代の競技スポーツの要求に応じた新たなトレーニングピリオダイゼーションが検討されるようになり、我が国においてもいくつかの方法が紹介された（青山, 2012, 2013, 2014, 2015）。しかし残念ながら近年のスポーツ科学では、競技力の構造の全体を統合的観点から検討されることなく研究領域や研究課題の細分化が進み、マトヴェイエフが確立したような実践現場における実践的知識と自然科学を中心とする理論的知識を結合させた研究成果として競技力向上システムを構築することが困難な状況となっている。もちろんこのことは、近年の研究の動向の問題だけではなく、国家体制の問題も関わっている。

このような状況の中、ウクライナの研究者であるプラトノフ（Платонов, В.Н.）は、近年の自然科学的知見をふまえていることはもとより、現代の高度に発展した競技システムを帰納的に捉えて研究を行っている代表的な研究者である。2009年、ロシアの専門誌「Теория и практика физической культуры」に掲載されたプ

ラトノフの論文『年間スポーツトレーニングのピリオダイゼーション. 問題の歴史, 状況, 議論, 刷新の道のり（Теория периодизации спортивной тренировки в течение года: история, вопросы, состояние, дискуссии, пути модернизации）』（pp.18-34）は、ピリオダイゼーション理論の歴史的経緯に始まり、ピリオダイゼーション理論の一般構造と基礎原理、様々な研究者によるマトヴェイエフの伝統的なピリオダイゼーションに対する批判および代替案の紹介とそれに対する反論、そしてプラトノフ自身の提唱するピリオダイゼーション理論と現代的モデルの詳細な具体例に及ぶ非常に多岐にわたる内容がまとめられている。プラトノフの提唱するスポーツトレーニングのピリオダイゼーション理論は、マトヴェイエフが長年にわたり築き上げてきた競技力向上システムに基づき、競技スポーツの商業化によって生じた試合の過密化現象など現代の競技スポーツを取り巻くさまざまな問題をふまえた上で、さらに発展させている点について秀逸を極めており、まさに現代におけるピリオダイゼーション理論の集大成と目される。これまでもプラトノフによるマルチサイクルのピリオダイゼーション理論については紹介した（青山, 2016）が、そこでは基本的な理念等の紹介に終始し、残念ながら具体的な方法の解決には至らなかった。

そこで本論では、プラトノフの論文『年間スポーツトレーニングのピリオダイゼーション. 問題の歴史, 状況, 議論, 刷新の道のり』の内容から「現代の競技スポーツの状況に応じたピリオダイゼーション理論の実践的応用」の章（pp.29-34）を抄訳し、マトヴェイエフによる伝統的なピリオダイゼーション理論を発展させたプラトノフの思想を、具体的な実践例によって紹介したい。本論が、トップ選手が最重要試合において最高成績を達成するために、「なぜピリオダイゼーションを行わなくてはならないのか？」というピリオダイゼーション理論の本質的意義を改めて見つめなおす契機となることを願いたい。

2. プラトノフの論文「年間スポーツトレーニングのピリオダイゼーション: 問題の歴史, 状況, 議論, 刷新の道のり (Теория периодизации спортивной тренировки в течение года: история, вопроса, состояние, дискуссии, пути модернизации)」の抄訳

〈現代の競技スポーツの状況に応じたピリオダイゼーション理論〉

ピリオダイゼーション理論の基本は、長期的トレーニングサイクル（マクロサイクル）に基づいたスポーツトレーニングの構造である。マクロサイクルの構造と内容に関する知見は、一般理論においても、また、個々のスポーツ種目の個別論においても全面的に裏付けられており、多くの選手のオリンピックに向けた準備システムに導入されている。ピリオダイゼーション理論の基本原則の一つであるスポーツフォーム（最高の競技パフォーマンス達成のための選手の最高の準備状態）は、1年または半年という長期のプロセスで到達するものであることから、半年以下の短期間のトレーニングサイクルでは、その形成のためには明らかに短いと言えるだろう（マトヴェイエフ, 1964, 1977）。しかしその後（90年代以降）、多くの理由により試合カレンダーが拡大され、重要な試合が1年のかなりの部分を占めるようになったことにより、試合で成功するための準備のピークが一つあるいは二つのみといった準備構造システムでは、急速に変化するスポーツ実践のニーズを満たすことはもはやできなくなった。各スポーツ種目の連盟・組織委員会、テレビスポンサー、ひいては賞金のかかっている選手自身にも試合が商業的価値をもつことから、重要な試合の数が飛躍的に増加し一部の種目では試合期が8カ月から10カ月にも及ぶようになった。

実際の試合活動の時間が拡大し過密化されたことで、年間準備のピリオダイゼーション理論の一部理論上のポイントの見直しと、信頼のおける科学的知識に基づく将来を見据えた方法が求められるようになったが、このことは、変動的で絶えず進化する知識体系としてピリオダイゼーション理論をとらえてきたマトヴェイエフが、常に呼びかけていたことである。しかしこのような主張は、一部の専門家達によってトップ選手の年間準備構造の新しい方法を形成する試みにすり替えられた。そのような考え方とは、年間の大半にもわたる多数の試合に出場することを見込んで、トレーニングの構造を短い期間の基礎的および専門的準備期を交互に配置するというトレーニング構造を持つ方法論である。このような新しい試みの実践により、年間の大部分に渡る試合に出場することは可能となったが、それと同時に、主要試合で最高の準

備レベルに到達し、最高のパフォーマンスを発揮する確率が激減するほか、トレーニングの質やパフォーマンスレベルの低下、怪我の増加をも伴ってしまうことが明らかになった。

このような新しい試みが生み出されることと並行して、一方ではピリオダイゼーション理論の基本原則と近年の試合カレンダーとの間の矛盾を解消するような年間準備構造の方法論を発展させる方向性が模索されてきた。こうした状況において、準備期で形成される「試合に向けたアスリートの準備の度合い」と「最高のパフォーマンスのための準備状態（スポーツフォーム）」の概念を、より明確に区別する必要性が出てきたのである。その理由は、形成に長期間を有する選手の高いレベルの準備の度合いは、十分安定的で急激に変動しない性質によって確立される一方、最高のパフォーマンスのための準備状態（スポーツフォーム）は、高いレベルの準備の度合いをベースに確立され、かなり急速に形成される要素、たとえば、実際の状況と有機的に結びついている選手の体力的、技術・戦術的、精神的準備の様々な要素から成る特殊な上部構造を前提としている。したがって、「最高のパフォーマンスのための準備状態（スポーツフォーム）」を分析する際には、試合活動の効率を左右する内的要因も、実際の試合条件にかかわる外的要因についても考慮しなくてはならない（プラトノフ, 1997）。このような見解は、マトヴェイエフ（1999）も支持していた。

このように、準備期で形成される「アスリートの高い準備の度合い」、ならびに「最高のパフォーマンスを目指した準備状態（スポーツフォーム）」についての正しい理解と、両者が相互に作用し、全体としてあるいは単体で形成されることを理解しなければならない。さらにこれらの状態に到達していくプロセスの特性や、様々なレベルの試合におけるその役割について、個々のスポーツ種目や試合のレベルなどの複雑な状況を考慮した、多面的な考えを持つことが必要とされる。こうした概念を深く理解することができれば、高度に発展した今日の競技スポーツの現状に応じた選手の準備を合理的に構築することが可能となるのである。

〈競技スポーツの現状に応じたピリオダイゼーションの実践における原則〉

ピリオダイゼーション理論の基本原則と近年の試合カレンダーとの間の矛盾を解消するような年間準備構造の合理的な方法は、選手の準備度合いを「系統的に向上させること」と「比較的安定させること」が前提となる。年間およびマクロサイクルにおいて、準備の度合いが著しく変動することは、移行期における急激な低下も含めて不適切である。選手の高い準備度合いは、年間のかなりの部分（8～10カ月まで）で発達し、若干の変動はあるものの維持されなくてはならない。

準備期において選手は、多面的な基礎的トレーニング課題を解決するとともに、試合に向けた高いレベルの準備度合いを達成することに明確な目標をおいている。このことについては伝統的なピリオダイゼーションと同様であるが、移行期の内容に関しては、根本的な修正が必要である。ピリオダイゼーション理論によって定義されているスポーツフォームの一時的消失の概念は、いわゆる、不安定な要素を含んでいるスポーツフォームの特殊な上部構造のみに関わっている。選手の高いレベルの準備度合いの前提条件となっている安定的な要素に関して言えば、その時点で到達された適応レベルが消失されてはならず、許容されるのは、選手の身体機能について若干の低下（4～6%以下）であり、それに伴うスポーツパフォーマンス（競技結果）については3～4%程度の低下である。要するに、心身の十分な休養と回復が課題となる移行期の期間と内容は、特に激しい脱適応が起こりやすい準備度合いの重要な要素が維持されるか、あるいは若干の低下にとどめられなければならない。このようなことから、ヴォロビヨフ（Воро́бьев, А.Н.）の言うように（1989）移行期は10日間にとどめることが妥当であろう。実際のところ、近年の多数の科学的データは、トレーニングプロセスにおいて長期の休養と準備の安定的要素の急激な低下を容認しないことを示しており、7～10日間の移行期は、積極的および消極的休養に充てるべきである。もし移行期がこれ以上長い場合は、最も重要で回復させることが困難であるトレーニング要素について、顕著な脱適応を引き起こさないような負荷を与えるトレーニングを行う必要がある（プラトーノフ, 2004）。これに関して、近年一部海外の専門家達によって提唱されているスポーツトレーニングのピリオダイゼーションの構造は、現代の実情においては明らかに時代遅れであり、受け入れがたいものであると言わざるを

得ない。例えばボンパ（図1）の移行期の長さや内容は、これまでに到達した準備度合いのレベルを急激に低下させるようなものとなっており、これは適応理論の見地から言っても、あるいは長期間の準備期をとることができない試合カレンダーの条件から見ても決して容認できない。

準備期で形成される「高いレベルの準備度合い」とは異なり、「最高の競技力の発揮のための準備状態（スポーツフォーム）」は激しく変動しうる。この状態への到達は、選手の準備の最も特異かつ個別的な部分であり、主に効果的な回復、超回復、技術・戦術的、精神的調整、時間的ストレス、気候・天候条件、身体的状態の調整、効果的なウォーミングアップと試合直前の準備などといった概念と多に関わっている。すなわちこの状態は、試合カレンダーやその条件、試合に向けた直接準備の特性、試合参加者の構成等に影響を受け大きく変動するのである。

このように、試合での最高の競技力を発揮するためには、「試合に向けた選手の高い準備度合い」を形成すること、すなわち長期間にわたり選手の準備度合いの基礎的・専門的要素を形成するプロセス、そして同時に「実際に試合で最高のパフォーマンスを発揮するための準備状態（スポーツフォーム）」を形成するプロセス、すなわち選手の準備のさまざまな面（体力的、技術的、戦術的、精神的）を実際の試合に向けて具体的な状況を有機的に結び付ける比較的迅速に経過するプロセスが必要となる。これらのプロセスは相互に関連してはいるものの、それと同時に個別の発達プロセスを持っているという関係性を理解することによって、年間の主要試合（世界選手権、オリンピック）に向けた計画的な準備の必要性と、商業的なものも含め多数の試合へ参加をするという矛盾した課題を、ある程度解決することが可能となる。

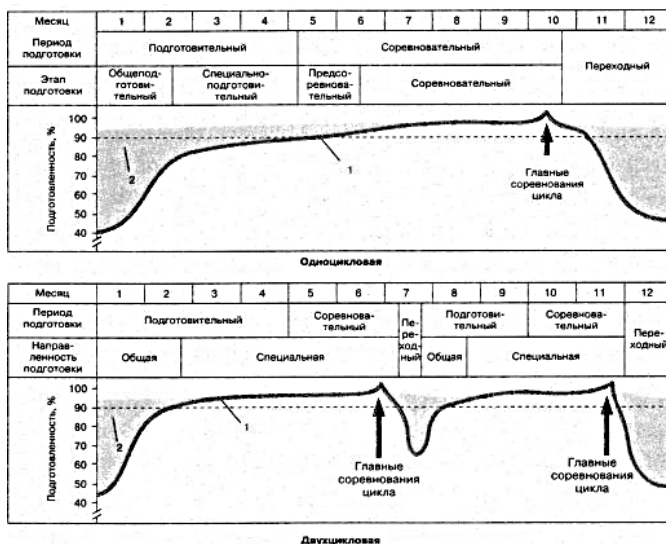


図1 陸上競技の年間準備構造（T. Bompа, 2002）

Месяца: 月

Период подготовки: 期分け

Подготовительный: 準備期 Соревновательный: 試合期 Переходный: 移行期

Этап подготовки: 段階

Общеподготовительный: 一般準備 Специальноподготовительный: 専門準備

Предсоревновательный: 試合前 Соревновательный: 試合

Подготовленность, %: 準備度合 (%)

Главные соревнования цикла: サイクルの主要試合

Одноцикловая: シングルサイクル Двухцикловая: ダブルサイクル

1: T. Bompа の推奨する準備度合の変動 2: 再適応に容認できない範囲 (著者加筆)

このようにして、年間の主要試合で最高の結果を達成することに照準を定め、基礎的・専門的要素の準備度合いが計画的に形成されていく中で、試合に向けた直接準備の原則に基づいて組み立てられたマクロサイクル的な特徴を持つ特殊な構造が年間に数回配置されるトレーニングシステムが形成されるに至った。このシステムは独立したマクロサイクルをいくつか配置しても、シングルまたはダブルサイクル構造を基盤とした伝統的なピリオダイゼーションシステムにおける競技力形成の法則性を乱さない年間トレーニングシステムとなる。この場合、年間の最初のマクロサイクルで最大限の専門的負荷をかけようとする、主要試合で最高の結果を達成するという見地からみて、必然的にトレーニング効果が低下しマルチサイクルのプランニングは理にかなっていないという印象を生むこととなってしまう。

年間トレーニングにおいてマルチサイクルのピリオダイゼーションを採用する際は、伝統的なシングルおよびダブルサイクルの年間準備構造とは異なる原則が存在する。それらのうち、トップ選手の準備に関連する主なものを以下に示す。

- ・一般的準備の性質（種目特性に無関係だと伝統的に理解されている）を持つトレーニングをトップ選手の準備システムから除外する。

- ・トレーニングの基盤となる構成要素（期、段階、メゾサイクル）内に、試合活動の構造と有機的にかかわっているスキルや能力の発達を直接的または間接的に促すようなトレーニングエクササイズを配置する。

- ・次に行われる専門的準備の基盤をつくる基礎的な性質を持つ一部のメゾサイクルを除き、年間準備プロセス全体の戦略的方向性は、さまざまな運動の技術・戦術的能力、精神的状態を向上させることと同時に、トレーニングのさまざまな側面を向上させるプロセスの相互関係を保障するような広範囲にわたる統合能力として現れるトレーニングの総合的な性質を重視することである。

- ・マクロサイクルの一部の構造（期、段階、メゾサイクル）において、トレーニングの各重要な要素に、飛躍的に適応を促進させるための刺激として、単一的な方向性の負荷を集中させることは、総合的な性質の効果的なトレーニングと有機的に結びつくこととなる。

- ・回復とレクリエーション的性質の期間と内容の構成（回復ミクロサイクル、移行期）は、準備度合いの到達レベルを決定づける要素全体に関して脱適応のプロセスが著しく進行することがないようなものでなくてはならない。すなわち、顕著な脱適応は、最高のパフォーマンスを達成するための準備を決定づける、比較的迅速に形成される特性（不安定要素）に関してだけに認められる。

以上のポイントに従うことによって、スポーツ種目の特性、試合カレンダー、または選択されたトレーニング戦略によって様々なバリエーションの年間準備構造を実

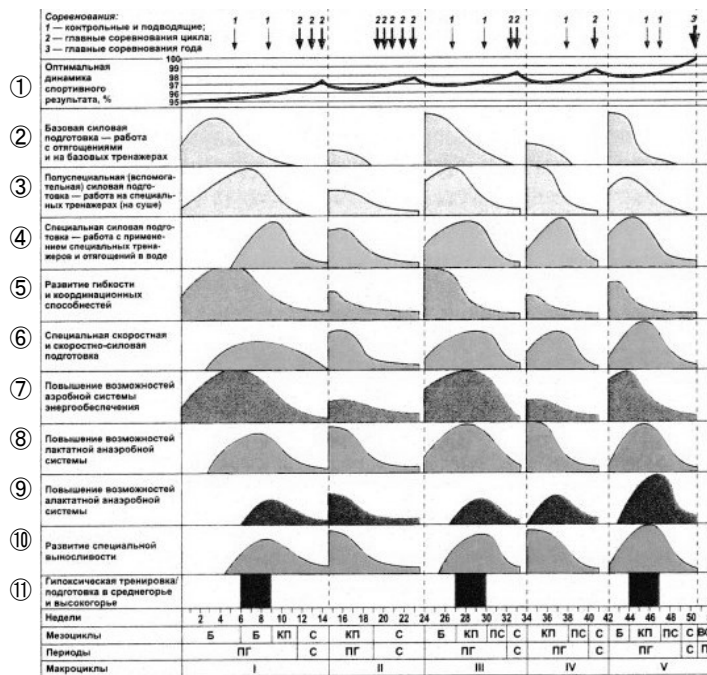
現することが可能となる。しかしながら、どのような年間トレーニングシステムが用いられているか（シングルサイクル、ダブルサイクルまたはマルチサイクル）ということとは関係なしに、年間の主要試合に出場する際には、選手が最高レベルの準備状態に到達することを可能とする、長期的な適応を形成してゆく法則性は守らなければならない。その際にはトレーニング状態の様々な要素が連続性を保ちながら有機的連関を形成することが可能となるようなトレーニングの負荷変動を行わなければならない。

〈マルチサイクルのピリオダイゼーションの具体的方法〉

図2には、競泳の中距離を専門としている水泳選手のための5重サイクルの年間準備のピリオダイゼーションを、図3には、フリースタイルのレスラーのための4重サイクルの年間準備のピリオダイゼーションを示した。

これらの基本的な特徴は、さまざまなトレーニング要素を連続的に、かつ同時に形成するということである。したがって、基礎トレーニングを専門的トレーニングとうまく結合させることとトレーニングを構成している個々の要素の形成における選択的な効果を統合化することにより競技力を完成させていくことが可能となる。主要試合に向けた選手の計画的な準備を成功させるためには、年間のかんりの期間において専門的準備度合いのレベルを十分に高く段階的に高め、重要なトレーニング要素に対して適応反応を促進することが重要である。同時に、急激な適応—脱適応—再適応のプロセスが起こらないようにすることが求められる。これによって、多くの試合に参加しつつ、年間の主要試合の「スタート」の瞬間に、高い確率で準備状態のピークに到達できる。

マルチサイクルの使用に際して（このケースでは、水泳選手のための5重サイクルの年間準備構造；図2参照）は、各種のトレーニング内容の比率に若干の特徴があることに注意しなくてはならない。このケースでは、すでに初めのマクロサイクルにおいて、主として決められた一般的準備の課題とともに、著しい量の専門的トレーニングが計画されている。これは、14週間後には早くもこのサイクルの主要試合のための準備度合いを十分に高いレベルに到達することを可能にさせるためである。最初の、そして2番目のマクロサイクルにおいて専門的準備を形成する諸要素があるということは、後に続くマクロサイクルでも伝統的な一般的準備の取り組み方とは一定の相違が認められる。特に3番目と5番目のマクロサイクルにおいては、短期間の基本メゾサイクルが設けられ、一般的準備の傾向を持つ著しい量の筋力トレーニングと有酸素トレーニングが計画される。これによって、専門的な課題をうまくこなすためのベースとなるような一般的準備合いの高いレベルを維持することを可能にさせる。そして前のマクロサイクルから次のマクロサイク



Соревнования : 1 :調整—導入 2 :サイクルの主要試合 3 :年間の主要試合

- ① パフォーマンスの至適変動
- ② 基礎的筋力トレーニング
- ③ 補助的筋力トレーニング(陸上にて)
- ④ 補助的筋力トレーニング(水中にて)
- ⑤ 柔軟性と調整力の発達
- ⑥ 専門的筋力とスピード筋力のトレーニング
- ⑦ 有酸素性エネルギー供給系能力の向上
- ⑧ 無酸素性エネルギー供給系能力(乳酸系)の向上
- ⑨ 無酸素性エネルギー供給系能力(非乳酸系)の向上
- ⑩ 専門的持久力の発達
- ⑪ 柔軟性トレーニング/高地トレーニング

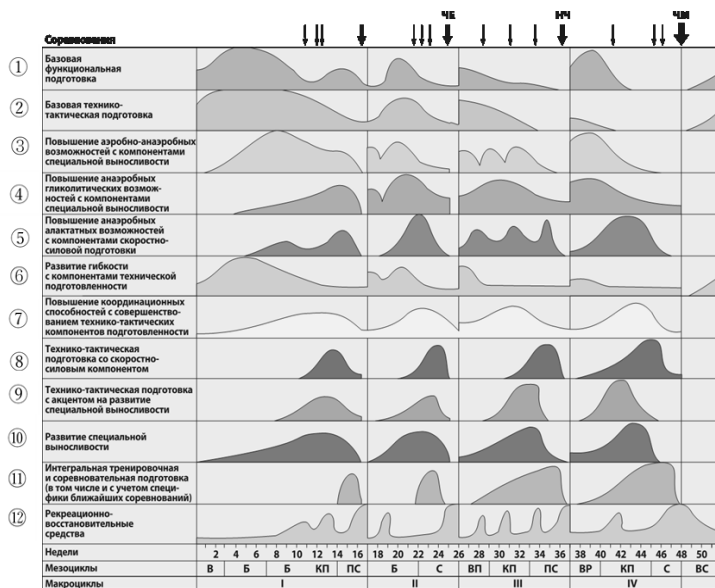
Недели : 週

Мезоциклы : Мезоцикл Б : Базис КPI : КPI C : C ПГ : ПГ C : C ПГ : ПГ C : C ПГ : ПГ C : C

Периоды : 期 ПП : ПП C : C ПГ : ПГ C : C ПГ : ПГ C : C ПГ : ПГ C : C

Макроциклы : Макроцикл

図2 トップクラスの競泳選手(中距離種目)の5重サイクルの年間準備構造



Соревнования : 1 :調整—導入 2 :サイクルの主要試合 3 :年間の主要試合

- ① 基礎的機能のトレーニング
- ② 基礎的技術—戦術トレーニング
- ③ 有酸素—無酸素性能力の向上(専門的持久力)
- ④ 無酸素性(乳酸系)能力の向上(専門的持久力)
- ⑤ 無酸素性(非乳酸系)能力の向上(スピード筋力系要素)
- ⑥ 技術的要素のトレーニングによる柔軟性の発達
- ⑦ 技術—戦術的要素の改善による調整力の向上
- ⑧ スピード筋力系要素による技術—戦術トレーニング
- ⑨ 専門的持久力の発達を強調した技術—戦術トレーニング
- ⑩ 専門的持久力の発達
- ⑪ 統合的トレーニングと試合形式のトレーニング
- ⑫ 積極的回復方法(レクリエーション)

Недели : 週

Мезоциклы : Мезоцикл Б : Базис КPI : КPI C : C ПГ : ПГ C : C ПГ : ПГ C : C ПГ : ПГ C : C

Макроциклы : Макроцикл

図3 レスリング選手(フリースタイル)の4重サイクルの年間準備構造

ルへ、専門的スピードとスピード筋力系のトレーニング、そして同様に、専門的持久力の発達を促進するためのトレーニングの量が増加することになる。山地および高地という条件で効果が増大する専門的トレーニングの量が最大となるのは、年間の主要試合が終了する5番目のマクロサイクルである。5つの各マクロサイクルについて、トレーニングの量と方向性の比率を分析してみると、シングルサイクル、ダブルサイクルを基盤とした伝統的なピリオダイゼーションシステムにおける競技力形成の基

本的法則性を順守しつつ、マルチサイクル構造固有の基本原則を重ね合わせるという中間的なタイプの特徴が見て取れる(図2)。

レスリングフリースタイルの選手のための4重サイクルの年間準備のピリオダイゼーションモデルを分析する中でも同様のアプローチがみられる。これは、1年の大半におよぶ試合に参加し、世界選手権開催時に最高の準備レベルの到達することを目指したものである(図3)。

マルチサイクルによる年間準備のピリオダイゼーション

ンでは、どのパターンであっても、重要であるのはしばしば「主要試合のための直接準備段階」と呼ばれる最後のマクロサイクルであろう。図4に先行するマクロサイクルの主要試合（通常これは、国内の選抜試合）後、4～6日間の積極的休養の後に始まる水泳選手の主要試合のための直接準備段階の構造を例として示した。直接準備段階の期間は5週間から10週間と幅がみられるが、この例では、基礎（базовый）メゾサイクル（2週間）、調整—準備（контрольно-подготовительный）メゾサイクル（3週間）そして試合前（предсоревновательный）メゾサイクル（3週間）の3つのメゾサイクルによる8週間の構造となる。

基礎メゾサイクルでのトレーニング内容は、以下に示したように準備期の第1段階に一致するものとなる。筋力と柔軟性の発達を目的とした陸上での著しい量のトレーニング（2週間で14～16時間）を実行し、水中でのトレーニングは、主にそれまでに達成された有酸素能力のレベルの回復に向けられている（有酸素トレーニングのみの場合は、総量の最大35～45%まで、有酸素—無酸素混合の場合は、最大25～30%までの構成となる）。高地で行われる調整—準備メゾサイクルの初期には、比較的小さい負荷が計画され（4～6日）、これにより選手は高地での環境に適応することが出来る。そして準備期後半と試合期のプログラムは、極めて緊張した専門的トレーニングとなる。高地での21日間に渡るトレーニングの終了後、選手は3週間の試合前メゾサイクルの最後のプログラムを確実にものにするため、トレーニング拠点を平地へ移動する。科学研究の実践結果によると、高地トレーニングによるトレーニングの遅延効果

は、トレーニングの終了後19～23日目に発生することが明らかとなっている。これらのことが、最終の試合前メゾサイクルの期間が確定される根拠となる。試合前メゾサイクルは、1週間のミクロサイクル3つから構成される。第1ミクロサイクルの主要な課題は、高地でのトレーニングを終えたアスリートが再適応することにある。第2、第3ミクロサイクルの目的は、高地での調整—準備メゾサイクルで負荷をかけた後、①水泳選手の機能的能力の十分な回復、②適応の遅延効果発生のための必要な条件をつくること、③試合に出場する参加者の構成やその試合環境を考慮して、実際に試合に参加する上での技術と戦術、精神的状態の調整などに向けられる。

主要試合に向けた直接準備段階は、一般的準備、補助的準備、専門的準備、そして直接的にスタートへ導く試合直前期をそれぞれ短期間に備えた、独立したマクロサイクルの特徴を帯びている。このような直接準備段階を合理的に構成できた場合、少なくとも60～75%以上の選手が、年間の主要試合で自己最高記録ないしはそれに非常に近い結果を残すことができる。このような結果が45～60%の場合でも、実施された情報の効果は十分に高いものであるとして評価される。30～45%では可の評価、30%未満では不可となる。

〈オリンピックサイクル最終年に適した年間準備のピリオダイゼーション〉

オリンピックに向けた準備の年間計画立案において、主要試合での「スタート」の瞬間に、最高の準備状態に到達することを論じる場合、マクロサイクルの数とそれ

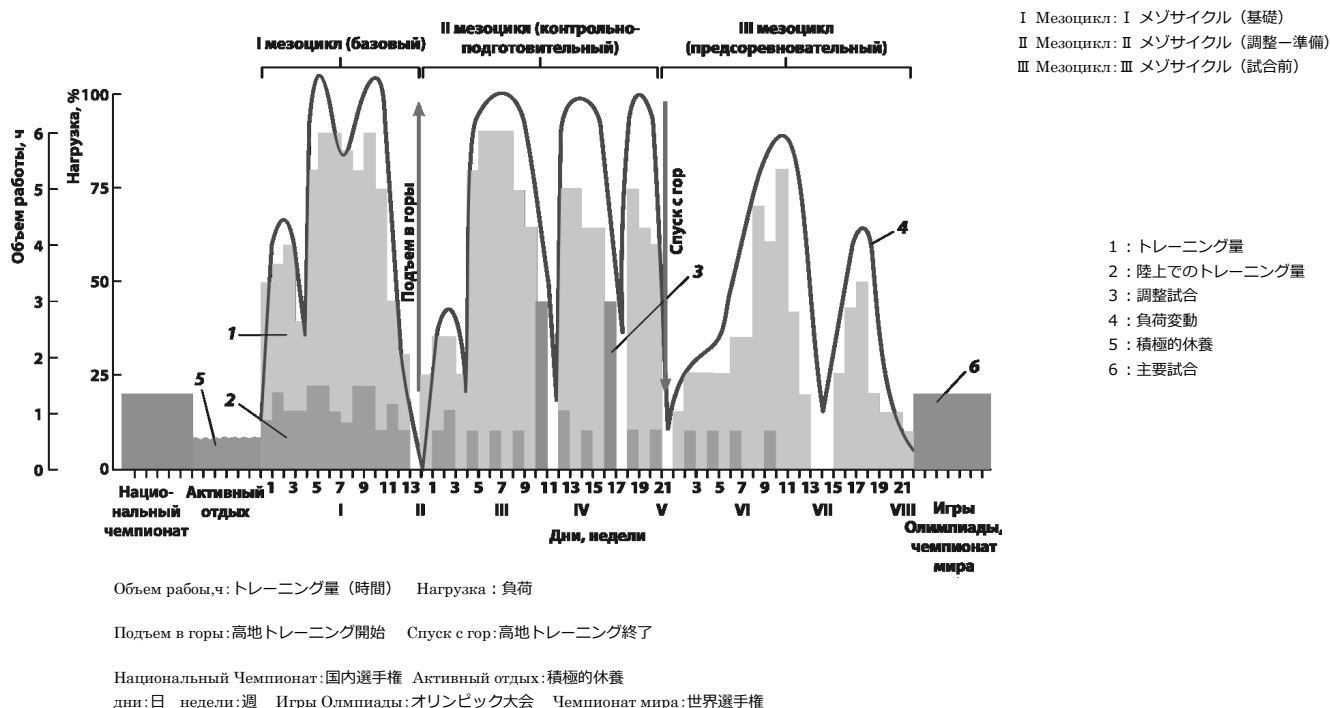
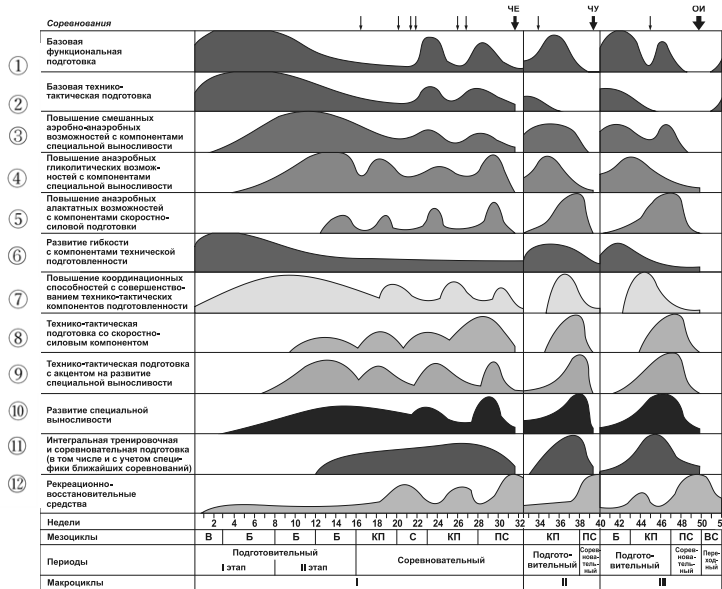


図4 水泳選手の主要試合に向けた直接準備段階の構造例

に応じた重要な試合の数は、主要試合での最高の結果の達成の確率と反比例するということを念頭に置くべきである。したがってトップ選手の中で特にオリンピック出場が準備の最終年度の開始前に確定している選手達には、マルチサイクルの年間ピリオダイゼーションは推奨できない。最適なタイプは、シングルサイクルとダブル・トリプルサイクルの中間のモデルのピリオダイゼーションである。図5および6に示したモデルは、レスリングフリースタイルや中距離走者（男子1500m）用に作成

され、2008年第29回オリンピック大会の準備の最終年のための、ウクライナのトップ選手用に推奨されたモデルである。どちらのケースでも、マルチサイクルの特殊な特徴が付加されるシングルサイクル構造の基礎的法則性を基盤とした、トリプルサイクルの年間準備のピリオダイゼーションとなっている。

以上のように、スポーツトレーニングのピリオダイゼーションにおける現代の一般的原理、一部の明確化した基礎的法則性、原則的ポイントを図を用いて示してき



Соревнования: ЧЕ:ヨーロッパ選手権 ЧУ:ウクライナ選手権 ОИ:オリンピック大会

- ① 基礎的機能のトレーニング
- ② 基礎的技術—戦術トレーニング
- ③ 有酸素—無酸素性能力の向上(専門的持久力)
- ④ 無酸素性(乳酸系)能力の向上(専門的持久力)
- ⑤ 無酸素性(非乳酸系)能力の向上(スピード筋力系要素)
- ⑥ 技術的要素のトレーニングによる柔軟性の発達
- ⑦ 技術—戦術的要素の改善による調整力の向上
- ⑧ スピード筋力系要素による技術—戦術トレーニング
- ⑨ 専門的持久力の発達を強調した技術—戦術トレーニング
- ⑩ 専門的持久力の発達
- ⑪ 統合的トレーニングと試合形式のトレーニング
- ⑫ 積極的回復方法(レクリエーション)

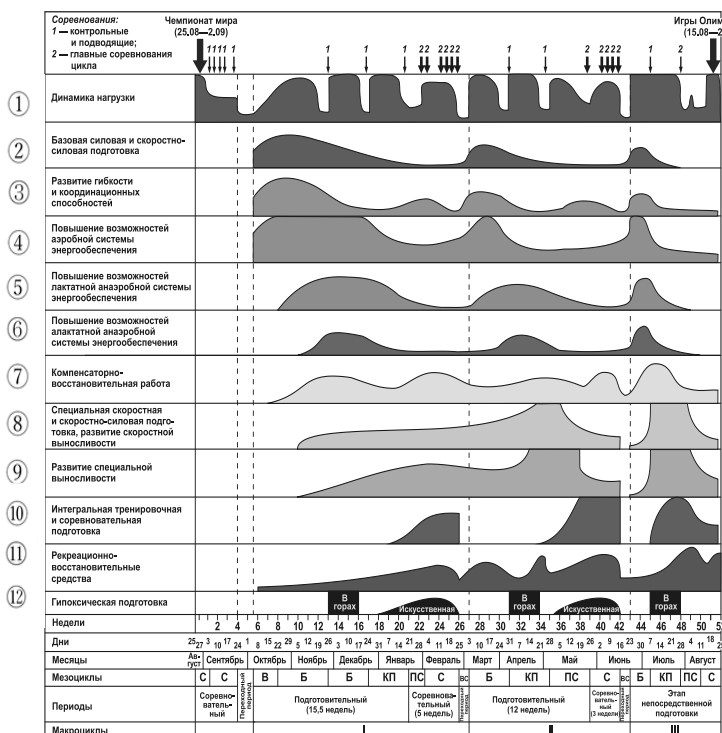
Недели: 週

Мезоциклы: МС: サイクル В: 導入 Б: 基本 КП: 調整—準備 ПС: 試合前 ВС: 回復 С: 試合

Периоды: 期 Подготовительный: 準備期 (第1段階、第2段階) Соревновательный: 試合期 Переходный: 移行期

Макроциклы: Макроцикл

図5 2008年オリンピック大会に向けたレスリング選手（フリースタイル）の年間準備構造



Соревнования: 1: 調整—導入 2: サイクルの主要試合

Чемпионат мира: 世界選手権 Игры Олимпиады: Олимпийские игры

- ① 負荷変動
- ② 基礎的筋力とスピード筋力のトレーニング
- ③ 柔軟性と調整力の発達
- ④ 有酸素性エネルギー供給系の能力強化
- ⑤ 無酸素性エネルギー供給系(乳酸系)の能力強化
- ⑥ 無酸素性エネルギー供給系(非乳酸系)の力強化
- ⑦ 補償—回復を促すトレーニング
- ⑧ 専門的スピードとスピード筋力のトレーニング、スピード持久力の発達
- ⑨ 専門的持久力の発達
- ⑩ 統合的トレーニングと試合形式のトレーニング
- ⑪ 積極的回復方法(レクリエーション)
- ⑫ 高地トレーニング

Недели: 週 Дни: 日 Месяцы: 月 (9月~8月)

Мезоциклы: МС: サイクル В: 導入 Б: 基本 СП: 専門的準備 ПС: 試合前 ВС: 回復 С: 試合

Периоды: 期 Подготовительный: 準備期 (第1段階、第2段階) Соревновательный: 試合期 Переходный: 移行期

Макроциклы: Макроцикл

図6 2008年オリンピック大会に向けた陸上競技中距離走選手の年間準備構造

たが、多年の準備段階にある選手を、年齢や個々の能力を考慮して、具体的なスポーツ種目と試合の種別に応じて高いレベルに到達させるためには、適応の原理（即時的ないし長期的適応，脱適応と再適応，過剰適応），プラスとマイナスの転移，疲労，回復，超回復，トレーニングの遅延効果などといった現象に特に注目し，スポーツトレーニングの理論的一方法論的，そして医学的一生物学的原理の分野における深い知識を必要とする．マルチサイクル構造の科学的知識をもとに，個々の具体的なケースに応じた詳細で多方面な研究を行わない限り，実際のエリートスポーツの現場におけるピリオダイゼーション理論を効果的に実践することは見込めない．現代のエリートスポーツの現状を考慮すると，ピリオダイゼーション理論のより一層の検討，有効な法則性，基本概念と原理の改善に対する要求が増加するだろう．この領域における研究成果は，当然，科学的な知識による客観的な分析，問題を正確に，簡潔にまとめ上げた表現，信憑性のある仮説にかかってくる．この研究において計り知れない助けとなりうるのは，マトヴェイエフの著書「スポーツの一般理論とその応用」（2001，2005）に示されている詳細な研究内容であろう．先入観のない，慎重で学識のある専門家は，この著書でこれからのピリオダ

イゼーション理論研究が発展するための方向性と，理論と実践の両面において重要な基盤となることを見出すだろう．

文献

- 青山亜紀（2012）ブロック・ピリオダイゼーションとは何か．陸上競技学会誌，10（1）：36-43.
- 青山亜紀（2013）トップアスリートの試合に向けた準備システムを考えるーブロック・ピリオダイゼーションとは一．陸上競技研究紀要，9：27-31.
- 青山亜紀（2014）トップアスリートとコーチのための“ブロック・ピリオダイゼーション”のモデルプラン．陸上競技学会誌，12（1）：98-103.
- 青山亜紀（2015）最重要試合での達成力形成における今日の課題．陸上競技学会誌，13（1）：53-62.
- 青山亜紀（2016）東京オリンピックを成功へ導くためのトレーニング学的戦略ー年間トレーニングのピリオダイゼーションとオリンピックサイクルを考えるー．陸上競技学会誌，14（1）：53-58.
- 朝岡正雄（1999）スポーツ運動学序説．不昧堂：東京，pp.169-171.

パラ陸上競技におけるコーチングに求められる 省察的实践について

近藤 克之（日本大学スポーツ科学部）

1. はじめに

東京 2020 パラリンピック競技大会（以下、東京パラ）に向け、出場を目指す選手は日々のトレーニングに力を注いでいる。パラリンピック競技大会はオリンピック競技大会と同様に 4 年に一度開催され、北京 2008 パラリンピック競技大会以降、パラリンピックにおける陸上競技（以下、パラ陸上競技）では、大会運営が実質的にオリンピック競技大会と同一組織委員会によって実施されるようになった。大会運営においてオリンピック競技大会と同様な手順や規則がパラリンピック競技大会にも適用され大会の競技性や価値は一層高まってきていることに連動して、選手が発揮する競技力も高まってきている。

東京パラでは、合計 22 競技が実施予定であるが、その中でもパラ陸上競技で参加可能な競技クラスや実施予定種目は多岐にわたる。実際に、リオ 2016 パラリンピック競技大会（以下、リオパラ）の陸上競技では、視覚障がい、知的障がい、痙性麻痺や筋強直などの特徴を示す脳性麻痺、低身長、四肢欠損などの障がいのある「立位」姿勢で競技を行うことができるクラスや、筋力低下、切断、関節可動域制限などの障がいがあり（表 1）、「車いす」や「投擲台」を使用して競技を行うクラスに区分され、それぞれの競技クラス（表 2）において、短距離種目（100m, 200m, 400m）、中長距離種目（800m, 1500m, 5000m）、跳躍種目（走幅跳、走高跳）、投てき種目（砲丸投、やり投、円盤投、こん棒投）が男女別に実施されている。これらの競技クラス及び種目において国際的に競技力が高まるにつれ、競技成果としてメダルを獲得することは非常に難しい状況となってきたと言える。現にリオパラの陸上競技では、日本チームとしてのメダル獲得数は 7 個（金 0 個、銀 4 個、銅 3 個）であり、パラリンピック競技大会 2 大会連続で金メダル獲得に至っていない。

競技力が高まっている状況を説明する際に、陸上競技が客観的計測競技の代表的競技であることを踏まえ、記録面に着目すると、ドイツの Markus Rehm 選手（競技クラス T44；右片下腿切断）が、2015 年に走幅跳で 8m40(+1.8) を記録していることは特筆すべきことである（リオパラでは 8m21(+0.4) で優勝した）。Markus Rehm 選手は競技用義足を用いて競技を行い（パラ陸上競技に出場する下肢切断選手の大多数がカーボンファイ

バー製の最先端の義足を用いている）、義足側で踏み切りを行なっているが、現在のパラ陸上競技での競技ルールではその適用範囲内であり、今後さらに記録を向上させる可能性がある。競技用に特化した道具を用いる点では競技用の車いす（レーサー）も同様である。レーサーは、前輪が 1 つ、後輪が 2 つの 3 輪構造であり、パラ陸上競技では、小さな車輪が 1 つと大きな車輪が 2 つと定められている（IPC Athletics, 2016）。近年は自動車産業の技術が適用され、BMW 社や HONDA 社製の高性能なレーサーが開発されていることに注目が集まる一方で、各国における製造技術や経済力の差によって競技結果が異なるような事態は避けなければならないだろう。これらのように競技用義足やレーサーの性能向上による競技力向上に与える影響について関心が高まることが多いが、リオパラでは、視覚障がい弱視クラスの男子 1500m の種目において、当該種目の 1 から 4 位者までの記録がオリンピックの優勝者の記録よりも速かったことは、出場していた選手の NPC のニュースでも取り上げられ議論となった（Canadian Paralympic Committee, 2016）。レースコンディションや戦術、自己記録といった様々な要素を踏まえる必要はあるが、競技用に特化した道具を用いない種目においても、オリンピックとパラリンピックが記録面において比較される事例となった。

これらの現況は、パラ陸上競技の一側面に過ぎないことであるが、競技力向上を目指す選手を支援する人的資源を考える時に、医師や理学療法士、作業療法士、義肢装具士、工学分野の専門的知識を持った技術者など、様々な専門性を持った実践者が、選手に比較的近い立場として存在している中で、これまで陸上競技の専門的知識を持った実践者としてのパラ陸上競技のコーチング実践について論考する場が非常に少なかったのではないかと思われる。そこで本稿では、コーチング学における種々の理論を授用することと同時に、陸上競技の専門的な知識を持ち技術的にも熟達していることを前提としながら、パラ陸上競技の実践現場に省察する態度を持って接することができ、状況に応じて臨機応変に対応できるコーチとしての職能を高めるための可能性を論考したい。パラ陸上競技では、上述したように多様な競技クラスと実施種目が組み合わさることと、参加する選手の障がいの状態も一様でなく、さらに様々な専門性を持った実践者（支

表1 パラ陸上競技に参加している選手の障がいの種類

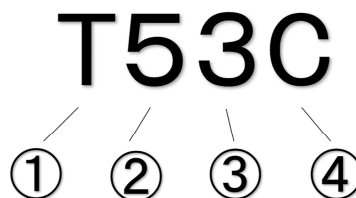
(一般社団法人 日本パラ陸上競技連盟 クラス分け委員会 クラス分けQ&A, 2016より引用)

障がいの種類	障がいの概要	主な疾患例
筋 緊 張 亢 進	運動麻痺の一つ。筋肉に常に力が入っていて、コントロールが難しい状態。力を抜くことが非常に困難	脳性麻痺、脳卒中、後天性脳損傷、多発性硬化症
運 動 失 調	運動麻痺の一つ。運動の協調が難しく、動作を円滑に行うことが困難となる状態	脳性麻痺、脳損傷から生じる運動失調、フリードライヒ運動失調症、多発性硬化症、脊髄小脳失調
ア テ ト ー ゼ	運動麻痺の一つ。筋肉のコントロールが困難で、本人の意思とは無関係に常に体の一部が動いてしまう状態	脳性麻痺、脳卒中、脳外傷
四 肢 欠 損	生まれつき、または事故や病気によって手足の一部または全てを失った状態	外傷もしくは先天性四肢欠損（奇形）による切断
他動関節可動域制限	関節の動きが制限され、正常に曲げ伸ばしができない状態	関節拘縮、強直、火傷後関節拘縮
筋 力 低 下	手足や腹筋背筋などの筋力が低下した状態	脊髄損傷、筋ジストロフィー、腕神経叢損傷、エルブ麻痺、ポリオ、二分脊椎症、ギランバレー症候群
脚 長 差	左右の足の長さが異なっている状態	先天的もしくは外傷による片下肢における骨短縮
低 身 長	疾患などにより身長発育に制限があり身長が低い状態	軟骨異形成、軟骨発育不全症、軟骨異形成症、発育機能障害
視 覚 障 が い	先天的、または後天的に視力が低下していたり、視野に制限のある状態	網膜色素変性症など
知 的 障 が い	知的機能の障がいにより認知能力が全般的に遅れた水準にある状態	

※ パラリンピックなどの国際大会では、障がいの種類ごとに出場することができる最小の障がい基準（Minimam Disability Criteria / MDC）が定められている。この基準を満たさない場合は、国際大会に参加することができない。

表2 パラ陸上競技におけるクラス分け表示の概要

(一般社団法人 日本パラ陸上競技連盟 クラス分け委員会 クラス分けQ&A, 2016より引用)



① 競技種類

走競技・跳躍競技のクラスを意味する「T」、投てき競技のクラスを意味する「F」がある。
T/Track: 走競技（100m～マラソン）、跳躍競技（走り幅跳び、走り高跳び、三段跳び）
F/Field: 投てき競技（砲丸投げ、円盤投げ、やり投げ、こん棒投げ）

② 障がいの種類

選手の主たる障がいの種類や競技形式を示す。
1 0 番台: 視覚に障がいのある立位競技者
2 0 番台: 知的に障がいのある立位競技者
3 0 番台: 痙性麻痺、筋強直、協調運動障がいなどの特徴を示す脳原性の麻痺のある立位競技者及び車椅子や投てき台を使用する競技者
4 0 番台: 低身長、脚長差、切断、関節可動域制限、筋力低下等の障がいのある立位競技者
5 0 番台: 脚長差、切断、関節可動域制限、筋力低下等の障がいのある車椅子や投てき台を使用する競技者
6 0 番台: 聴覚に障がいのある立位競技者（パラリンピックでは参加資格はない）

③ 障がいの程度

障がいの程度に応じて0～9の番号が割り当てられる。
基本的に番号が小さいほど障がいの程度は重くなる。

④ クラス・ステータス/Class Status

選手のクラス分け状況を示す。
N : New : 過去クラス分けを受けた事がなく、競技前に受けなければならないもの
R : Review : クラスが確定しておらず、再度クラス分けを受ける必要のあるもの
C : Confirmed : クラスが確定したもの

援者)が連携することが求められる。コーチとしてそれらの状況を俯瞰しながら、選手が陸上競技の競技力を高めていくことの前提として、デューイやショーンの「省察」についての概念を適用していくことは、その実践力を高めることに結びつくのではないかと考える。

2. パラ陸上競技のコーチング実践で「省察」の概念を用いる意義

前述したように、パラ陸上競技の選手の障がいの状態は一樣ではなく、その個性性は非常に高い。「視覚障がい」とひとくちに言っても、先天性のものなのか、後天的に発生したものなのか、現在の見え方や障がいの症状が進行するものなのかどうか、過去に運動経験があるのか重複する障がいがあるのか、といった状態は繰り返し確認や観察を行う必要がある(場合によっては医学的な観点からの診断が必要となる)。重度の視覚障がいのある選手の場合は、競技アシスタントとして伴走者と競技を行うことが認められているが、どのように伴走者と動きを同調させていくかについても十分に検討を行わなければならない(近藤, 2011)。「下肢切断」においては、利き足を切断している場合もあるし、片側なのか両側なのかによって身体の動かし方が全く異なると言って良いし、切断部位が大腿部からか下腿部からなのかによっては使用する装具も異なり、行える運動も大きく異なってくる。立位姿勢で競技を行うことができない場合には、座位の競技クラスを想定しなければならない。立位姿勢で競技を行う場合には、残存部位の長さも選手によって様々であり個人の状態に応じて装具の形状(ソケットや装着する角度等を含めて)を調整する必要がある。臼井・沖野(2014)は、義肢装具士として長年、競技用義肢を日常生活用のものも含めて製作してきている中で、競技特性を十分に理解した上で最適な義肢装具を製作し調整することが重要であるとしている。また「レーサー」に乗車するとしても、脊椎損傷などによる筋力低下や脳原性麻痺などによる運動失調や筋緊張亢進のある状態などで競技を開始していることを念頭に置いておかなければならない。これらの要素は、陸上競技の専門的なトレーニングを行うための前提条件として熟慮しなければならない要因であり、専門的なトレーニングを開始した後も継続的に確認や検討を繰り返し行っていくことが求められる内容である。このように、複雑な状況を生きるパラ陸上競技選手が抱える状況は複合的であり個性性が高いことから、コーチとして選手の陸上競技での競技力を向上させるための専門的なトレーニングを行っていくためには、その前提として、ショーン(2007)が述べているような、コーチ自身の行為を「省察」し実践を通して知識を生成する「省察的实践者」という専門職像が求められると考える。

ショーン(2001)はこの省察的实践という認識が、瞬

時に生じては消えゆく束の間の探求としての思考である「行為の中の省察(reflection in action)」にもとづくものであり、「状況との対話(conversation with situation)」として遂行される活動中の思考のみならず、実践の事後に出来事の意味をふり返る「行為の後の省察(reflection after action)」を含み、さらに実践の事象を対象化して検討する「行為についての省察(reflection on action)」を含んでいるとしている。ここで用いられている「省察」という言葉は、「Reflection」の和語であるが、平川(2010)はこの解釈として、実践を記述や描写、分析そして評価するために、また実践から学習の情報を得るために、実践経験を見直す過程であるとしている。また、省察的实践(reflective practice)という言葉自体は、ジョン・デューイの『思考の方法』(How We Think, 1910)の「reflective thinking」に由来している(ショーン, 2001)。このような実践的認識は繰り返し行われ、このような思考態度をパラ陸上競技におけるコーチング実践の基盤とすれば、仮に自身の身体に障がいのないコーチがその現場で様々な障がいのある選手と向かいあった時にでも、複合的な課題を対処するための方策を検討し始めることができると考えられる。また、コーチ自身に障がいがない場合でも、実際に動く感じを体験するものとして、模擬義足やブラインド体験、レーサー乗車等を通して「行為の中の省察」を行い、「行為の中の知(knowing in action)」を得るような場面を設定することも可能であろう。ここで得られる感じは、実際に選手が感じているものとは異なるのかもしれないが、何らかの障がいのある状態で競技を行う感じに近づくことは、その実践の構造や課題を抱える枠組みを理解することにつながるだろう。障がいの状態を理解することと同時に、その状態で競技を行う枠組みを理解するという意味においても省察的实践の認識はパラ陸上競技のコーチングにおいて意義があるものであると考える。

3. 省察的实践の思考を持ったパラ陸上競技のコーチング実践に向けて

図子(2014)は、コーチングとは選手・チームとの間に良好な関係性を築きながらパフォーマンスを向上させるための思考および行為のことであると述べている。パラ陸上競技においても、この関係性については重要性を増してきており、パフォーマンスを向上させるために陸上競技の専門的知識や技術の提供が求められている。一方で、これまで陸上競技界で蓄積されてきている理論や実践知を、そのまま適用させることができないことも多い。例えば、「懸垂」や「手押し車」のような運動を行おうとしても、上腕切断(欠損)や重度の脳性麻痺の選手では簡単に行うことができない。「スキップ」や「バウンディング」を行おうとしても大腿切断選手では簡単に行うことができない。車いす選手が頭上から前方へメ

ディシンボール投げを行おうとしても簡単に行うことができない。これらはあまりにも簡単な動作と思われるかもしれないが、実際にそのような状況を目の当たりにした時に、その瞬間にどのような思考を持って対応することができるかは、コーチとして重要な分岐点となるであろう。ショーンという省察的实践を通して、または表3として表すことができる省察的实践者としての思考が求められると考える。語弊がないように記述しなければならないことは、表3の「技術的熟達者」であるということが悪いということではなく、これまでの技術的熟達者に見られた傾向として技術的合理性に基づき、理論をそのまま実践現場に適用させようとするのでは限界があるということと同時に、陸上競技の技術的熟達者であり省察的实践の思考を十分に考慮したコーチがパラ陸上競技で求められているのだと言える。

4. 終わりに

本稿では、パラ陸上競技におけるコーチング実践の現場でコーチに求められる思考として、「省察的实践」の可能性を模索してきた。パラ陸上競技の実践現場では、想像以上に複合的な要因が存在しているのかもしれない。それは、選手には競技以外にも社会に求められる役割が多岐に渡り、競技を行う本質を見失う可能性もあるからである。しかしながら、選手が自身の身体の可能性を最大限に開発させ、記録や順位を競うことを目指す中で、コーチとして陸上競技の専門的な知識を持ち技術的熟達者であることを前提としながら、パラ陸上競技の実践現場へ省察的態度を持って接することができる能力は必要不可欠であろう。尾縣（2016）は、東京2020オリンピック・パラリンピックに向けて、コーチの育成が重

要課題であり、育成されたコーチが東京2020オリンピック・パラリンピック以降のレガシーの一つとして位置づけられる可能性を述べている。日本パラ陸連においても、2016年からパラ陸上競技の指導者育成システムが始まった。コーチの育成という枠組みにおいてオリンピック・パラリンピックの協働関係が築かれ、様々な事例が共有されることによってコーチの職能が向上する可能性もあるのではないかと考える。

文献

- 朝岡正雄（2009）コーチング学の今日的課題。平成21年度日本大学大学院文学研究科教育学専攻体育学コース特別講義集，1-35。
- 尾縣 貢（2016）コーチの資質・能力の向上に関する政策動向：東京オリンピックの強化へと関連づけて。陸上競技学会誌，14：47-52。
- Canadian Paralympic Committee (2016) Are Paralympians Faster Than Olympians: Men's T13 1500m Paradox Explained. <http://paralympic.ca/news-and-events/news/are-paralympians-faster-than-olympians-mens-t13-1500m-paradox-explained>, (参照日 2017年2月1日)。
- ドナルド・ショーン：佐藤 学・秋田喜代美 監訳（2001）専門家の知恵－反省的实践家は行為しながら考える－。ゆみる出版：東京。〈Donald A. Schön (1983) The Reflective Practitioner : How Professionals Think in Action. Basic Books : New York〉
- ドナルド・ショーン：柳沢昌一・三輪建二監訳（2007）省察的实践とは何か－プロフェッショナルの行為と思考－。鳳書房：東京。〈Donald A. Schön (1983) The Reflective Practitioner: How Professionals Think in

表3 専門家とクライアントの関係

(ショーン, 2007, p317 より引用 一部改変)

技術的熟達者 (Expert)	省察的实践者 (Reflective Practitioner)
自分では不確かだと思っても、知っていることを前提にされており、知っている者としてふるまわなければならない。	知っていることを前提にされているが、私だけがこの状況下で、関連する重要な知識をもつ人間なのではない。私が不確かであることは、自分にとっても相手に対しても学びの機会になりうる。
クライアントと距離を置き、専門家の役割の保持に努めるのがよいだろう。クライアントに、自分が専門家であることを理解させるとともに、「甘味料」のような温かさや共鳴の感情を伝えるとよい。	クライアントの考え方や感情を知るよう努めてみよう。置かれている状況の中で、クライアントが私の知識を発見し、その知識に敬意を示してくれるのなら、喜んで受け入れよう。
クライアントからの反応の中に、プロフェッショナルである私の社会的人格に対し、服従と尊敬の気持ちがあるかどうかを探してみるとよい。	自由な感覚およびクライアントとの真の結びつきを探索してみよう。プロフェッショナルとしての体裁を取り繕う必要はもはやないのだから。

※ 社会において、サービスの受け手は、提供する専門的職業の種類によって様々に呼ばれる。弁護士、会計士、建築家、工業コンサルタントなどのサービスの受け手は「クライアント」と呼ばれる。医師、歯科医師、心理療法家に対する「患者」、教師に対する「生徒」「指導学生」、ソーシャルワーカーに対する「クライアント」「ケース」「カウンセリングを受ける人」という具合である。これらの名称は、しばしば人間関係の差異を示す重要な意味合いをもっているが、ここではそれらを包括する用語として「クライアント」を用いる。

- Action. Basic Books: New York)
- 平川俊功 (2010) 養護教諭10年経験者研修の成果からのリフレクションの意義の検証. 東北大学大学院教育学研究科研究年報, 59 (1) : 381-400.
- IPC Athletics (2016) Athletics Rules and Regulations 2016-2017. Rule 14: Wheelchair Requirements, IPC Athletics: Bonn, pp.58.
- 陰田隼貴・入口 豊・上野大樹・ベネット ブレイク (2014) 反省的实践家としてのスポーツコーチに関する研究 (I). 大阪教育大学紀要第IV部門, 62 (2) : 23-35.
- 近藤克之 (2011) 重度視覚障害者の短距離走における伴走ロープの握り方についての一考察. 陸上競技学会誌, 9 : 21-24.
- 日本障害者スポーツ協会 日本パラリンピック委員会 (2009) 2008年北京パラリンピック競技大会報告書. 本部役員報告 総務報告, p32-35.
- 臼井二美男・沖野敦郎 (2014) 日本における陸上競技用義肢の現状. 日本義肢装具学会誌, 30 (3) : 125-132.
- 岡子浩二 (2014) コーチングモデルと体育系大学で行うべき一般コーチング学の内容. コーチング学研究, 27 (2) : 149-161.
-

新しいスポーツ栄養ガイドライン“Nutrition and Athletic Performance”の解釈と陸上競技選手への応用

順天堂大学スポーツ健康科学部 協力研究員

鈴木 いづみ (日本陸上競技連盟栄養士会)

早稲田大学スポーツ科学学術院 教授

田口 素子 (日本陸上競技連盟医事委員)

はじめに

2016年3月、アメリカスポーツ医学会、食事と栄養のアカデミー(元のアメリカ栄養士会)、カナダ栄養士会、より、スポーツ栄養学に関する共同声明 Nutrition and Athletic Performance¹⁾ (以下 NAP2016) が公表された。スポーツ活動のパフォーマンスとそのリカバリーは、良き栄養戦略を選択することによって高められるというのが三者の見解である。本稿では、NAP2016のポイントを解説し、陸上競技選手への応用を踏まえてスポーツ栄養に関する最新情報を提供する。

1. エネルギー必要量, エネルギーバランス, エナジー・アベイラビリティ

(NAP2016のポイント)

- ✓ エナジー・アベイラビリティは、スポーツ栄養で新たに広まっている概念である
- ✓ エナジー・アベイラビリティはエネルギー摂取量を「消費量」とつり合わせるというより、「最適な健康状態と機能のために必要な量」とつり合わせるようにするという考え方である
- ✓ エナジー・アベイラビリティは除脂肪体重 1kg あたり 45kcal/日 が健康にとって最適であり、慢性的に 30kcal/日 以下になると身体機能の様々な障害に関連する
- ✓ 相対的エネルギー不足 (RED-S) に伴って起こる様々な生理学的な問題は男女アスリートに観察される

適切なエネルギー摂取は最適な身体機能をサポートし、主要栄養素および微量栄養素の摂取量を決定し、身体組成を操る手助けをする。アスリートのエネルギー必要量は、期分けや試合サイクル、トレーニングの量や強度に応じて変化する。また、寒暖、悩み、ストレス、高度、損傷、薬物、薬物療法、除脂肪体重増加、月経周期(黄体期)等によっても必要量は増加²⁾したり、逆に老化、除脂肪体重減少、月経周期(卵胞期)等によって低下³⁾したりする。成人アスリートの場合、体重の変化がない状態における摂取量が適切なエネルギー摂取量と考えら

れる。この状態は総エネルギー摂取量と総エネルギー消費量のつり合いが取れているエネルギーバランス状態にあるといえる。したがって、身体が要求するエネルギー量を適切に摂取しているかどうかを評価する目安として定期的な体重測定をすべきである。

NAP2016では、エネルギーバランスよりもむしろ、エナジー・アベイラビリティという概念を用いることが推奨されている。エナジー・アベイラビリティとは、エネルギー摂取量から運動時のエネルギー消費量を差し引いた後に残された、様々な生理機能のために利用できるエネルギー量のことである⁴⁾。これはエネルギー摂取量を「消費量」とつり合わせるというより、「最適な健康状態と機能のために必要な量」とつり合わせるようにするという考え方である。エナジー・アベイラビリティは女性を対象とした研究から発展し、健康維持に必要なエナジー・アベイラビリティは除脂肪体重 1kg あたり 45kcal/日 であり、慢性的に 30kcal/日 以下になると身体機能の様々な障害に関連するとされている⁴⁾。エナジー・アベイラビリティ、月経状態、骨の健康が最適な状態にない女性アスリートはしばしば見られ、これは女性アスリートの三主徴 (female athlete triad: FAT) として近年関心を寄せられている。一方 IOC では相対的エネルギー不足 (Relative Energy Deficiency in Sports: RED-S) と呼び低エナジー・アベイラビリティの影響は女性アスリートのみならず、男性アスリートにおいても起こりうることを指摘し⁵⁾、短期および長期的に運動能力を損なうことが懸念されている。エナジー・アベイラビリティの低下が連続的に起こるときに健康と生理機能障害が生じることが明らかになっている。

陸上競技は走る、投げる、跳ぶといった人間の基本動作を競う競技である。それゆえ、身体の在り様そのものが競技成績に反映されやすい。武器としての身体を生理学的観点から良好な状態にするために、従来のようにエネルギーバランスの良し悪しに注視するにとどまらず、エナジー・アベイラビリティが適切に保たれ、相対的エネルギー不足がないかどうかをモニタリングすることが重要である。

2. 身体組成とスポーツパフォーマンス

(NAP2016のポイント)

- ✓ 身体組成の基準は絶対値よりも範囲として示されるべきである
- ✓ 体重、身体組成を変化させる場合は短期間で行うべきではない
- ✓ 減量は試合とは離れた時期に行うよう計画すべきである
- ✓ 減量時にエネルギー制限をする場合は、たんぱく質摂取量を増加させると、除脂肪体重とパフォーマンスを維持する可能性がある

NAP2016の中で、身体組成とスポーツパフォーマンスとの関係について注目されることは3点である。1つめに、単一の「最適な身体組成」というものを厳密に設定してあらゆる種目や集団には推奨すべきでない⁶⁾ということを明確にしている点である。そもそも身体組成の測定法には技術的な誤差があり、パフォーマンス予測に特定の値を用いるには限界がある。また、アスリートの競技シーズンやキャリア全体の中で個々のアスリートの身体組成は変化する。そのため、身体組成の絶対値を基準として適用したり、身体組成づくりのゴールに設定したりすることは適切ではなく、望ましい範囲として示され応用される方がよい⁷⁾としている。

2つめに、NAP2016では、体重、身体組成を変化させる場合、短期間で行うべきではないとしている点である。特に減量は短期間で急速に行うと体内の水分不足、貯蔵グリコーゲンの減少、除脂肪体重の減少などをもたらし、嘔吐のような強制排出や絶食などの病的な行動が健康とパフォーマンスを損ないかねない⁸⁾。適切な減量期間については、期間を明確にしていなかったが、30日間のエネルギー制限における体重減少(0.02-5.8%)ではパフォーマンス低下は随伴しなかったという報告がある¹⁾。また、4-12週以上に渡る期間の減量で男女アスリートの除脂肪体重は維持されたという報告がある¹⁾。

3つめに、減量の場合、減量に取り組むべき時期、その間の栄養摂取、減量ペースについて明確にしていることが注目される。減量の時期としては試合時のパフォーマンス減少を最小限にするために、基礎トレーニング期あるいは試合とは十分に離れた時期に行うよう計画されるべきとしている。方法は、骨格筋量やその他の健康目標を維持しながら体脂肪の減少を最大化すべきであり⁹⁾、そのための栄養摂取については、わずかにエネルギー制限をし、たんぱく質摂取量を増加させてゆっくりと減量することが望ましいとしている。これに関して興味深いエビデンスが挿入されている。それは、2週間の減量において体重1kgあたり2.3gのたんぱく質を含むエネルギー制限食を提供することで、体重と体脂肪を減少させつつ骨格筋量を保持できたというものであっ

た¹⁰⁾。最近のスポーツ栄養ガイドラインでは2.3g/kg/日という高たんぱく質摂取を推奨する報告はなく新しい考え方である。また、先に上げた4-12週間以上に渡る減量でも、低エネルギー条件下でたんぱく質摂取量を増加させることでレジスタンストレーニングを行った男女アスリートの除脂肪体重を維持したとされている¹⁾。減量ペースについては、週あたりの体重減少を1%未満におさえた場合に除脂肪体重とパフォーマンスがよく維持されたと報告されている⁹⁾。これらのことから、身体組成の適正化をめざした減量の実施においては、試合とは十分離れた時期に、エネルギー制限と高たんぱく質摂取を実施しつつ、週1.0%程度の体重減少を伴う減量ペースでゆっくりと行うことが望ましいと考えられる。

3. 糖質(炭水化物)

(NAP2016のポイント)

- ✓ 運動時に利用可能な糖質が十分にある状態では長時間運動や間欠的な高強度運動のパフォーマンスを高める
- ✓ 運動時に利用可能な糖質が十分でない状態でのトレーニングは代謝応答は認められるものの、パフォーマンスへの有用性は現在のところ明確ではない
- ✓ 糖質供給源となる食品の、グリセミック指数の高低は持久性運動のパフォーマンスにも代謝応答にも影響しない

NAP2016では carbohydrate availability (糖質アベイラビリティ)という言葉が多用されている。これは、運動時に利用可能な糖質が体内に十分にある状態をさす。そしてNAP2016では、高糖質アベイラビリティは長時間運動や間欠的な高強度運動のパフォーマンスを高めると改めて強調している。

2011年Burkeらによりトレーニングと試合のための糖質摂取に関するガイドラインが公表された¹¹⁾。これは糖質アベイラビリティを高めるためのガイドラインであり、NAP2016でも同様のものが採用されている。それによると、日々の準備や回復のための糖質摂取量は、低強度もしくは技術練習の場合1日あたり体重1kgあたり3-5g、1時間以内の適度な運動プログラムの場合で5-7g、1日1-3時間の中-高強度の持久性運動で6-10g、1日4-5時間の中-高強度の運動で8-12gとなっている。また、試合前における糖質摂取量も公表されており、90分未満で終えるような試合前の24時間で体重1kgあたり7-12g、90分以上継続される高強度の試合の36-48時間前から、24時間あたり体重1kgあたり10-12g、試合1-4時間前においては、体重1kgあたり1-4gを推奨している。さらに、試合中の補給として45分未満で終えるような場合は必要なしとし、45-75分継続する試合では

少量の糖質補給, 1-2.5 時間継続する場合で 1 時間あたり 30-60g, 最後に 2.5-3 時間を超えるような場合で 1 時間あたり 90g までと推奨している。なお, 試合に向けた糖質補給は主要なトレーニングセッションの場合でも同様となっている。

以上の通り, 糖質摂取に関するガイドラインでは, さまざまな運動負荷に対して, 基本的に糖質アベイラビリティを高めることを推奨している。しかし NAP2016 では, トレーニング刺激・適応の向上に重点をおく場合, 絶食状態でトレーニングしたり, トレーニングセッション間で糖質補給をしないとといった操作をして, 意図的に糖質アベイラビリティを低下させることも有用であると説明している。これは, 筋グリコーゲンが低い状態で持久性運動を行うことによってミトコンドリアの酵素活性の向上, ミトコンドリア量増加, 脂質の酸化割合の向上等のさまざまな代謝応答が起こることが認められていることから^{12,13)}, 低糖質アベイラビリティでの持久性運動が, そのパフォーマンスを高める可能性があるためである。そして, 今や期分けされたトレーニング計画の中で低糖質アベイラビリティ状態でのトレーニングを戦略として組み込むことが, スポーツ栄養の実践の一部として認識されつつあるとされている。そして, 質・量ともに十分な練習量を積みたいのか, あるいは低糖質順応の成果を得たいのか, そのどちらを優先するかを熟慮の上アスリートは高糖質食, 低糖質食のどちらをとるべきか考えよと記載されている。しかしながら, 低糖質食の実践においては, 現実的に摂取すべき糖質量に関して十分な情報がないためリスクが伴う。また, 低糖質アベイラビリティで運動することの代謝的有用性を裏付ける理論はあるが, パフォーマンスにはポジティブな結果はないと報告されており¹⁾, 現実的な方法とは言い難い。近年は低糖質ダイエット, あるいはケトジェニックダイエットと称する食事がトレンドとなっている。糖質制限食は本来, 肥満や糖尿病を患う人向けの食事法であったが, 一部のトップアスリートにもそういった志向にある者が少なからず見られる。しかし, ウェイトコントロールを目的とした低糖質食にしろ, 低糖質順応 (代謝応答) を期待しての低糖質食にしろ, いずれにせよ, アスリートが糖質摂取を制限することについては, その有用性と方法の科学的裏付けが十分であるとはいえないため, 陸上競技選手の低糖質食の実践は慎重にすべきであろう。

糖質関連で注目されるその他のトピックとして, グリセミック指数 (Glycemic Index: GI) と運動との関連についての新たな知見がある。GI とは血糖上昇反応指数であり, 高値になるほどインスリン分泌が高く, ひいては栄養素の取り込み能も高いということは広く認識されている。実際, グリコーゲン枯渇後に高 GI 食品を摂取した群は低 GI 食品を摂取した群よりその後 24 時間の筋グリコーゲン回復量が有意に高かったと報告されてお

り¹⁴⁾, アスリートのリカバリーには高 GI 食品摂取が望ましいとされてきた。しかしながら, GI の高低は代謝応答とパフォーマンスのいずれにも影響しなかったことが明らかとなった¹⁾。そもそも日本の食生活において GI 値の高低はあまり意識されることはないが, この知見により改めて GI 値の高低については神経質にならなくてもよいと考えられる。

4. たんぱく質

(NAP2016 のポイント)

- ✓ アスリートの代謝応答, 修復, 改造, 新陳代謝をサポートするのに必要なたんぱく質摂取量は 1.2-2.0g/kg/日である
- ✓ 減量中やケガによる休養期は 2.0g/kg/日, またはそれ以上のたんぱく質を摂取することが除脂肪体重の減少を防ぐのに有効かもしれない
- ✓ 運動直後に 0.25-0.3g/kg のたんぱく質を摂取し, その後は 3-5 時間ごとに同量のたんぱく質を摂取することがトレーニング適応を最大化する
- ✓ 骨格筋の維持, 修復, 合成のために有効な食品たんぱく質は乳・乳製品, 赤身肉である

アスリートのたんぱく質摂取量に関するガイドラインでは, 一般人に適用される食事摂取基準を越えた量が推奨され, 概ね確立されつつある。しかし最近のトレンドはタイミングのようである。NAP2016 では, たんぱく質必要量, 摂取タイミング, たんぱく質供給源の 3 点に分けて新しい知見を加えている。

(たんぱく質の必要量)

先行研究を踏まえて体内のたんぱく質の代謝, 修復, 改造, 新陳代謝をサポートするのに必要なたんぱく質摂取量は一般的に 1.2-2.0g/kg/日であるとしている。しかし, これでは範囲が広過ぎてアスリート個々に適用するにはあまり使い勝手がよいとは言えない。たんぱく質の必要量に関連した研究では, トレーニングの期分けや経験に応じて柔軟に調整してよい^{15,16)} という報告や, また, アスリートの鍛錬度, トレーニング内容, 糖質アベイラビリティ, エナジー・アベイラビリティに合わせて必要量は変動する^{15,17)} という報告などがある。これらの通り, 必要量の範囲内で個人の状況に応じて調整し, 身体や体力に関連する指標をもとに評価と再調整を繰り返していくことが重要であろう。

たんぱく質必要量に関して注目される点としては, エネルギー制限をしているアスリートや, ケガによる突然の練習休止を余儀なくされたアスリートに対し, NAP2016 は 2g/kg/日かそれ以上のたんぱく質摂取を推奨していることである。これは減量中やリハビリ中の選手が 2.0g/kg/日またはそれ以上のたんぱく質を摂取する

ことにより除脂肪体重の減少を防ぐのに有効かもしれない^{10,18,19)}という報告に基づくものである。近年のスポーツ栄養ガイドラインでは2gを超えるたんぱく質摂取を推奨することはなかったため、新しい流れとなるのかもしれない。

(たんぱく質摂取のタイミング)

アスリートの筋肉づくりに貢献するたんぱく質摂取のタイミングについて、NAP2016では興味深い報告があげられている。例えば、筋力と筋肉量の増加は、運動後即時にたんぱく質を摂取することによって最大になることが示唆されている²⁰⁾。また、摂取タイミングと摂取量に関する報告では、運動後0-2時間という早期回復期に約10gの必須アミノ酸を摂取することにより、運動後の筋たんぱく合成(muscle protein synthesis: MPS)が最適化されることが報告されている^{21,22)}。これをもとにアスリートの典型的な体格に合わせて0.25-0.3 g/kg 体重あるいは15-25gというたんぱく質摂取量のガイドラインが導かれている。また、運動後早期の摂取というだけでなくその後の追加摂取については、運動後24時間以内に追加摂取したたんぱく質に応答し、最終的には持続的な筋タンパクの増加と機能的変化を引き起こす可能性がある²³⁾という報告ある。従来のたんぱく質の摂取量のガイドラインは、1日の総たんぱく質摂取量(g/kg)に焦点を当てていたが、新たなガイドラインでは0.3g/kg 体重を目標に、キーとなる運動後に3-5時間ごとに複数の食事により摂取することによって筋のトレーニングへの適応が最大化することが強調されている^{16,4,25)}。

しかしながら日本人の食生活を考えたとき、15-25gのたんぱく質を3-5時間おきにとることはあまり現実的ではない。それでも、日本人の通常の食事パターンは5-6時間ごとであるため、欠食せずに確実にたんぱく質を摂取することや補食にたんぱく質を含めることは重要であろう。特に筋肉づくりが重要な短距離種目の選手、投てき種目の選手は注意したい。なお、1回に40gを超えるような高用量のたんぱく質摂取が筋タンパク合成を増加させるかについてはいまだ明らかとされていない²⁴⁾。

(最適なたんぱく質供給源)

牛乳由来のたんぱく質摂取は、筋力増大および身体組成の好ましい変化に有効であることが、長期トレーニングの研究で示唆されていることから^{20,26,27)}、NAP2016では最適なたんぱく質として乳たんぱくを上げている。乳たんぱくは必須アミノ酸の1つであるロイシン含量が多く、分岐鎖アミノ酸(BCAA: Branched Chain Amino Acid)の消化と吸収動態がよいと報告されている²⁸⁾。特にロイシンは筋肉づくりに関連性の高いアミノ酸である²⁹⁾。最近の研究ではロイシン摂取によってトレッドミル運動後

に筋たんぱく合成が促進する³⁰⁾という報告があるほか、トレッドミル運動後、糖質+たんぱく質+ロイシン摂取によりインスリン反応が高まり³¹⁾、体たんぱく合成を促進し³²⁾、体たんぱく分解を抑制する³³⁾など、ロイシンが筋たんぱく合成に関与していることが複数の報告から明らかになっており、ロイシン豊富な牛乳の摂取が有効であることが考えられる。

ほかに筋たんぱく合成と体たんぱく質の増加をもたらす食品には赤身肉があり、たんぱく質サプリメントではホエイ、カゼイン、大豆、卵のたんぱく質を材料としたものが報告されている。たんぱく質サプリメントに関して、自然な食品のたんぱく質源が手に入らないときなどに代用品として利用してもよいが、たんぱく質サプリメントの使用を考える際には、個々のアスリートの栄養評価を徹底することが重要であるとしている。さらに、トレーニングへの適応とリカバリーを最適化する際もたんぱく質サプリメントを推奨することはなるべく避け、食事全体の質を維持・改善することに注力することを第一に考えるべきであると記載されている。

5. 脂質

(NAP2016のポイント)

- ✓ 高脂肪・低糖質食は脂質利用を高めることはなく、高強度運動においてパフォーマンスを低下させる
- ✓ 脂質の摂取制限は総エネルギー摂取量の20%未満にすべきではない
- ✓ 大幅な脂質の摂取制限はあくまで短期で行うべきである

近年、高脂肪・低糖質食が運動時の脂質利用をより高めるのではないかと関心が集まっているが、現在のエビデンスでは糖質アベイラビリティが高い条件で、しかも中等度の運動強度において脂質酸化が促進されるため³⁴⁾、高脂肪食では脂質酸化率の促進は期待できない。それどころか高強度運動ではむしろパフォーマンスが損なわれるとされている^{34,35)}。また、高脂肪食は糖質アベイラビリティと糖質の利用能力を減少させるため、競技者が高品質なトレーニングや高強度な運動を行う能力を犠牲にしまいかねない³⁶⁾。そのため、高脂肪食を実践して脂質のエネルギー利用を追求しようとすることは、高強度のトレーニングを十分に行うに至らないため競技力向上に貢献するとは必ずしもいえない。近年日本においても低炭水化物ダイエットは注目されているが、競技力向上をめざす陸上競技選手が安易に実施すべきではない。

過剰な脂質摂取は体脂肪量の増加をもたらすことから、アスリートは減量や身体組成の改善のために、脂質摂取量を制限することがある。しかし、NAP2016では、アスリートは長期にわたって脂質摂取量を総エネルギー

量の20%未満にすべきではないとしている。これは脂溶性ビタミンの吸収が損なわれたり、必須脂肪酸の摂取不足につながり、さまざまな栄養素の摂取量が減少しやすくなるためである³⁷⁾。脂質の大幅な摂取制限は、必要に応じて（例えば試合前調整期など）短期間に限定して行えばよいであろう。

6. 微量栄養素

NAP2016 では、エネルギー制限中や極端な減量中の者、偏食のある者、禁忌食品が1つ以上ある者は、カルシウム、ビタミンD、鉄、抗酸化栄養素（抗酸化物質）不足の可能性があるとされている^{38),39),40),41)}。

6-1. 鉄

（NAP2016 のポイント）

- ✓ 鉄欠乏の要因はヘム鉄摂取不足とエネルギー不足である
- ✓ 栄養以外の鉄欠乏の要因は成長期、高所トレーニング、月経、溶血、輸血、傷害である
- ✓ 鉄欠乏のハイリスク者は高強度トレーニングを行っているアスリート、長距離ランナー、ベジタリアン、頻回に献血をするアスリートである
- ✓ 鉄欠乏のハイリスクアスリートは鉄摂取の推奨量を越える鉄摂取をすべきである

アスリートにとって深刻な鉄欠乏（体内鉄が非常に少ない状態）は健康障害のみならず、パフォーマンスにネガティブな影響を与えるため、早急な治療とモニタリングを要する⁴²⁾。鉄欠乏は、ヘム含有食品に由来する鉄摂取不足で頻発する。また通常は1000kcalの摂取でおよそ6mgの鉄が摂取できることが明らかとなっているため、摂取エネルギーの不足も鉄欠乏の原因となる⁴³⁾。鉄欠乏の栄養以外の要因としては、成長期、高所トレーニング、月経、溶血、輸血、傷害があげられる^{40),44)}。また、高強度トレーニングを行っているアスリートは汗、尿、便、血管内容血からの鉄喪失量が増加する可能性があり、鉄欠乏のリスクがある。とりわけ、鉄欠乏のハイリスクアスリートは、長距離ランナー、ベジタリアン、頻回に献血をするアスリートである。ハイリスクアスリートは定期的にスクリーニングされるべきであり、推奨量（女性>18mg/日、男性>8mg/日）よりも多く鉄を摂取すべきであるとされている^{44),45)}。ちなみに日本人の食事摂取基準（2015年版）における鉄推奨量は女性10.5mg/日、男性7.0mg/日である（いずれも18-29歳、女性は月経ありの場合）。国によって定められている鉄推奨量が異なるため、ハイリスク者に向けた適切な鉄摂取量については議論が必要である。

鉄欠乏性貧血の回復には3-6ヶ月を要するため、そうなる前に栄養介入を始める方がよい^{39),44)}。ヘモグロビン

濃度は正常でも低フェリチンであるような、貧血ではないが鉄欠乏状態（潜在性鉄欠乏）にあるアスリートは、まずはヘム鉄供給源を増やすか、あるいは食事で非ヘム鉄+ビタミンCの組み合わせを増やすなど、鉄吸収を上げるよう予防策を講ずるべきである。なお、鉄欠乏状態の推移をモニタリングする上でフェリチン値は最適の指標といえる⁴⁶⁾。しかしながら、フェリチンは炎症とともに増加する急性期タンパク質のひとつであるため、運動によって炎症を起こす可能性のあるスポーツ選手にとっては、評価指標として妥当性に疑問符がつく。また、健康上問題のあるフェリチン値を10ng/ml未満とするか35ng/ml未満⁴⁷⁾とするか様々な提案がなされているが、まだ同意には至っていない。もちろん、炎症がなければ鉄栄養状態不全の最適の指標として使用することはできる。また、NAP2016は基本的にアスリートが日常的に鉄サプリメントを摂取することを推奨していない。我が国の陸上競技選手では最近鉄剤注射により安易に鉄分を多量摂取するケースが散見されるが、日本陸上競技連盟医事委員会においてもサプリメント使用を推奨しない立場をとっている。日本陸連「貧血対処七か条」（図1）をご覧いただき、指導にお使いいただきたい。

6-2. ビタミンD

（NAP2016 のポイント）

- ✓ 骨格筋系の機能におけるビタミンDの役割に関する研究が増加してきている
- ✓ 体内のビタミンD状態を良好にするには、推奨量以上のビタミンDを摂取することと紫外線にあたるのが大切である
- ✓ 血中ビタミンDレベル80nmol/Lから100-125nmol/Lにあることがトレーニングへの適応を最適化する
- ✓ 疲労骨折の経験者や骨や関節のケガ経験者、オーバートレーニングの者、筋の痛みや虚弱である者、紫外線にあたらないライフスタイルのアスリートは、特に血中ビタミンDレベルの評価が必要

ビタミンDはカルシウムとリンの吸収と代謝を調節し、骨の健康状態を維持する重要な役割を担っている。NAP2016によると、最近では骨格筋におけるビタミンDは筋肉の代謝機能への関わりからアスリートのパフォーマンスを支える効果があるかもしれないという新たな関心が集まりつつあり、それらの研究が増えてきていることである。例えば、ビタミンDとケガの予防⁴⁸⁾、リハビリテーション⁴⁹⁾、神経筋機能の改善⁵⁰⁾、速筋繊維肥大⁵⁰⁾、炎症の軽減⁴⁸⁾、疲労骨折のリスク減少^{47),50)}、急性呼吸器疾患との関係⁵⁷⁾などである。しかし、骨格筋系の機能におけるビタミンDの役割を解明し、アスリート向けのガイドラインとするには、さらなる実験データが必要である。

過剰な鉄分は身体に害です！

日本陸連「アスリートの貧血対処7か条」

貧血とは血液中で酸素を運ぶヘモグロビン濃度が低い状態をいい、パフォーマンスの低下に直結する病気です。貧血のなかで、アスリートにもっとも多いのは鉄欠乏性貧血で、これは食事、休養やトレーニング強度・量に気を配ることで予防することができます。

極度な食事制限やオーバーワークも鉄欠乏性貧血を招きますので、指導者はアスリートの状態を把握した上で指導する必要があります。

一方で、鉄分サプリメントの過量使用や鉄剤の静脈内注射が日常的に行われている事実があります。鉄分が体内に多く入りすぎると、肝臓、心臓などの重要な臓器に蓄積し、体に悪影響をもたらします。

日本陸上競技連盟はアスリートの健康確保のため、貧血の予防・早期発見・適切な治療をめざし、「アスリートの貧血対処7か条」を作成いたしました。アスリートのみならず、指導者、保護者の皆さんにも活用していただきたいと思います。



日本陸連「アスリートの貧血対処7か条」

- | | | |
|---|------------------------------|--|
| 1 | 食事で適切に鉄分を摂取 | 質・量ともにしっかりとした食事で、1日あたり15～18mgの鉄分を摂れます。普段から鉄分の多い食品を積極的に食べましょう。 |
| 2 | 鉄分の摂りすぎに注意 | 鉄分を摂りすぎると、体に害になることがあります。1日あたりの鉄分の耐容上限量は男性50mg、女性40mgです。鉄分サプリメントを摂りすぎると、この量を超えますので、注意しましょう。 |
| 3 | 定期的な血液検査で状態を確認 | 年に3～4回は血液検査を受けて、自分のヘモグロビン、鉄、フェリチンの値を知っておきましょう。フェリチンは体に蓄えられた鉄分量を反映するたんぱく質で、鉄欠乏状態で最も早く低下する敏感な指標です。ヘモグロビン値は最後に低下しますので、貧血では体の鉄分量は極度に減っています。 |
| 4 | 疲れやすい、動けないなどの症状は医師に相談 | 疲れやすくパフォーマンスが低下する時は、鉄欠乏状態や貧血かもしれません。早めに医師に相談しましょう。 |
| 5 | 貧血の治療は医師と共に | 鉄欠乏性貧血の治療の基本は飲み薬です。医師に処方してもらいます。ヘモグロビン値が正常に回復してから3ヶ月間は続けましょう。 |
| 6 | 治療とともに原因を検索 | 鉄欠乏性貧血には原因が必ずあります。治療を受けるだけでなく、消化器系、婦人科系、腎泌尿器系などの検査を受けましょう。 |
| 7 | 安易な鉄剤注射は体調悪化の元 | 鉄剤注射は投与量が多くなりがちで、鉄が肝臓、心臓、脾臓、甲状腺、内分泌臓器や中枢神経などに沈着し、機能障害を起こすことがあります。体調不良とかパフォーマンスが思い通りでない、といった理由で、鉄剤注射を受けることはもってのほかです。鉄剤投与が注射でなければならないのは、貧血が重症かつ緊急の場合や鉄剤の内服ができない場合です。 |

JAAF

公益財団法人日本陸上競技連盟

図 1

ビタミンD不足(水酸化型ビタミンDが50-75nmol/L)、または欠乏(50nmol/L未満)のリスクが高まりやすいのは緯度35以上の地域に住む者、インドアで練習や試合を行うアスリートとされている。また、色黒、高体脂肪、紫外線が低い早朝や夕方にトレーニングを行っている者や服や日焼け止めなどで紫外線を積極的にブロックしている者なども不足や欠乏のリスクが高まっているという⁴⁹⁾。アスリートは食事からのビタミンD摂取が十分であるとは言い切れないため⁴⁹⁾、体内のビタミンDの状態を良好に保つためには、推奨量以上のビタミンD補給が必要とされている。また、栄養摂取だけでなく十分な紫外線に当たることも重要である⁴⁹⁾。

ビタミンD摂取量に関する最近の研究によれば、NCAA ディビジョン1の競泳選手とダイビング選手を対象とした研究で、開始時の血中ビタミンDの値が130nmol/Lの対象者に1日1回4,000IU(100 μ g)のビタミンDを摂取させたところ、6ヶ月以上十分な状態を維持できており、プラセボを投与されたアスリートは平均して50nmol/Lまで低下したとのことである⁵²⁾。ちなみに米国の食事摂取基準(DRIs)⁵³⁾及び日本人の食事摂取基準(2015年版)ともに耐容上限量は100 μ g/日(米国9歳以上男女/日本18歳以上男女)である。この基準に照らすと、当該研究におけるビタミンD摂取量は過剰摂取による健康障害の発現が危惧される量に近い。このアウトカムについてはディスクッションが必要であろう。一方で必要量の決定に至らないものの、血中ビタミンDレベルが80nmol/Lから100-125nmol/Lにあることがトレーニングへの適応を最適化する⁵⁰⁾との報告から、血中ビタミンDレベルをモニタリングすることで適切なビタミンD摂取をめざすことが実行可能な方法かもしれない。特に、疲労骨折、骨・関節傷害の既往歴のある者、オーバートレーニングの者、筋の痛みのある者、虚弱である者、紫外線にあたらないライフスタイルである者は、ビタミンD補給の個別対応が必要か確認するために血中ビタミンDの測定評価が必要だという⁵⁴⁾。しかしながら、NAP2016では、ビタミンDの評価と治療はきわめて重大としながらも、ビタミンDがアスリートにとってエルゴジェニックエイドとなることは支持していない。

6-3. カルシウム

(NAP2016のポイント)

- ✓ エネルギー制限、摂食障害、乳・乳製品嫌いがあるとカルシウム摂取量が少なくなる
- ✓ カルシウム摂取量が少なく月経障害があると低骨密度や疲労性骨折のリスクが増加する
- ✓ カルシウムサプリメントは食事の評価した上で利用を検討すべきである
- ✓ 低エネルギーアベイラビリティまたは月経障害の

あるアスリートの骨の状態を最適化するには十分なカルシウムとビタミンDを摂取する

NAP2016では、低エネルギーアベイラビリティによって低骨密度や疲労性骨折のリスクは増加し、カルシウム摂取量が少ない状況で月経障害があると、さらにリスクを増加させるとしている^{39,55,56)}。よって特に女性アスリートは低エネルギーアベイラビリティに注意するばかりでなく、十分なカルシウム摂取も心がけるべきである。しかし、エネルギー制限、摂食障害、乳・乳製品嫌いがあるとカルシウム摂取量が少なくなる。こういった場合、サプリメントによる補給もひとつの方法であるが、それは日常的なカルシウム摂取量をしっかり評価した上で利用をすることが重要である。カルシウム摂取と骨の状態を調べた研究では、低エネルギーアベイラビリティまたは月経障害のアスリートの骨の状態を最適化するのに必要な摂取量はカルシウム1,500mg/日⁵⁷⁾、ビタミンD1,500-2,000IU/日(38-50 μ g/日)⁵⁸⁾と報告されている。日本人の食事摂取基準(2015年版)に照らすとカルシウムはおよそ2.3倍、ビタミンDは7-9倍になる量であるため、参考値と考えた方がよい。減量が必要な陸上競技選手はカルシウムとビタミンDの十分な摂取を心がけたいが、摂取量については検討が必要である。

6-4. 抗酸化物質

(NAP2016のポイント)

- ✓ アスリートは内因性の抗酸化システムが発達しているため、抗酸化物質を豊富に含む食品を摂取していれば、サプリメントで補う必要はないかもしれない
- ✓ 抗酸化物質をサプリメントで摂取することが競技パフォーマンスを高めるという報告はほとんどない
- ✓ 抗酸化物質不足のハイリスク者は、エネルギー制限中の者、長期間低脂肪食をとっている者、フルーツ・野菜・穀物全般の摂取制限をしている者である

抗酸化栄養素は酸化的傷害から細胞膜を保護するのに重要な役割を果たしている。運動は酸素消費を10-15倍増加させるため、日常的なトレーニングは細胞に絶えず酸化的ストレスを与えたと考えられており⁵⁹⁾、急激な運動が過酸化脂質を増加させたという報告もある⁵⁹⁾。一方で、運動は、生来の抗酸化システム機能を増強し、過酸化脂質を減少させるといった報告もあり⁶⁰⁾、鍛錬されたアスリートは運動習慣のない者と比べて内因性の抗酸化システムが発達しているとみられる。そのため、NAP2016では、鍛錬されたアスリートは、抗酸化物質を豊富に含む食品を摂取していれば、サプリメントで補う必要はないかもしれないとしている。

抗酸化物質をサプリメントで補えば競技パフォーマンスを高めるという報告はほとんどなく⁶⁰⁾、むしろトレー

ニングへの適応にネガティブに作用するかもしれないという報告⁶¹⁾がある。さらに、最近の論文では、抗酸化物質のサプリメントが運動により誘発される酸化ストレスを防ぐ手段になるとは支持していない。そのため、NAP2016では、抗酸化物質に関する最も安全で効果的な戦略は、抗酸化物質を豊富に含む食品を上手に選んで摂取することだとしている。

それでもなお、抗酸化物質をサプリメントで補給する場合は、許容上限量を越えないように摂取することが重要である。なぜなら、必要以上に摂取すると返って酸化を促進するかもしれないからである⁵⁹⁾。なお、抗酸化物質不足のリスクが最も大きいアスリートは、エネルギー制限中の者、長期間低脂肪食をとっている者、フルーツ・野菜・穀物全般の摂取制限をしている者である¹⁵⁾。こういったハイリスク者には、先述の通り、抗酸化物質を豊富に含む食品をしっかりとることが重要であろう。

微量栄養素の効果をまとめると、不足分の補完を目的とする場合はともかく、ビタミンやミネラルを必要以上に摂取することがパフォーマンスを改善することはない^{39,40)}ということは明らかである。微量栄養素のサプリメント利用を支持する論文は不確かな発見や不十分な証拠でおよそ信頼できないものもしばしばみられる。しかし、普段の食事が微量栄養素の必要量を満たしているにもかかわらず、多くのアスリートは微量栄養素のサプリメントを必要以上に摂取している。公認スポーツ栄養士は、微量栄養素不足に関連した各種パラメータの観察と、普段の摂取量を把握することで、アスリートが微量栄養素を適切に摂取できるよう手助けすることができる。そのため、アスリートは微量栄養素のサプリメント利用を考える場合、その必要性を自己判断せず、スポーツ栄養士など専門性を有する者に自身の微量栄養素の栄養状態を評価してもらった上で判断すべきである。

7. 運動前・中・後の食事

(NAP2016のポイント)

- ✓ 運動前、中、後の栄養戦略の第1の目的は、運動中または終盤に、疲労やパフォーマンス低下を生じさせる要因に対処すること
- ✓ 第2の目的は、試合中ずっと胃腸を快適な状態にすること
- ✓ 第3の目的は、数日～数週間にわたる競技日程中ずっと競技に適した状態を提供し続けること

NAP2016によると、運動前、中、後の栄養戦略の目的を以下3点あげている。第1の目的は、運動中または終盤に、疲労やパフォーマンス低下を生じさせる要因に対処することである。具体的には、脱水、電解質バランスの異常、グリコーゲン枯渇、低血糖、胃腸の不快感、

胃腸障害、酸アルカリバランス異常などを防ぐことである。運動前、中、またはセッション間の回復期に摂取されたドリンクやサプリメントは、運動に必要なエネルギーを増加させたり、あるいは代用となったり、恒常性維持やストレスに適応するための基質を供給したりすることで、パフォーマンス低下させるさまざまな要因に対処するものである。第2の目的は、試合中ずっと胃腸を快適な状態にすることである。空腹感や胃腸の不快感、胃腸障害はパフォーマンスを低下させる可能性があるためである。そして、最後の目的は、数日間、数週間にもわたる競技日程の間中ずっと、競技に適した状態を栄養サポートによって提供し続けることである。

具体的な補給方法・食事方法については、その試合やおかれた環境、試合前の運動の影響、食欲、個々の反応、好みなどにもよるとしており、実践経験を重ねることが重要と考えられる。

8. 水分補給ガイドライン

(NAP2016のポイント)

- ✓ アスリートは運動前、中、後において戦略的な水分補給に励むべきである
- ✓ 運動後の体重減少は2%以内に留めることが望ましい
- ✓ 脱水状態の評価には体重、尿比重、尿浸透圧を用いるとよい

NAP2016においては、アスリートは恒常性、身体機能、運動パフォーマンス、心身の良好な状態を保つために、運動前、中、後において戦略的な水分補給に励むべきであるとしており、これまでのガイドラインと特に変わりはない。また、脱水の程度とパフォーマンスとの関係では、暑熱環境下において体重の2%を越える水分損失は認知機能や有酸素性パフォーマンスを低下させること^{62,63,64,65)}、体重の3-5%の脱水時に無酸素系運動または高強度運動の低下、特殊なスキルを要するパフォーマンスの低下が共通してみられること^{62,63)}、体重の6-10%の水分損失時の重篤な脱水は、心拍量、発汗、皮膚および筋血流量が減少すること⁶⁶⁾、を指摘しており、これまでのガイドラインと同様に、運動後の体重減少は2%以内に留めることが望ましいとしている。

体水分の状態の評価についてNAP2016では体重、尿比重、尿浸透圧を上げている。急激な体重変化は体水分量の影響を受けるため、日々の水分状態は起床時排尿後の体重をモニタリングすることで推察することができる。また尿比重と尿浸透圧は脱水状態の評価に有効であるとされる。早朝一番の尿の中間尿を評価すると、尿比重は1.020未満、個人内変動を加味すると1.025未満までが一般的な体水分量を示す値であるとされる⁶⁷⁾。尿浸透圧は、700mOsm/kg未満が正常な体水分量を示す値

であり、900mOsm/kg 以上の場合脱水症となるとされている^{62,67)}。

8-1. 運動前、運動中、運動後の水分補給

(NAP2016 のポイント)

- ✓ 運動前) 運動の 2-4 時間前に体重 1kg あたり 5-10ml の水分を摂取することで運動開始時の体水分量を正常化できる
- ✓ 運動中) アスリートは運動前後の体重差、運動中の排尿量、飲水量を加味して発汗量を評価し、個人に見合った水分補給プランを立てる必要がある
- ✓ 運動後) 食事中の食塩は体水分の回復に役立つため、運動によって多量のナトリウムを喪失した後は塩分を制限すべきではない
- ✓ 運動後) 運動による水分喪失量の 1.25-1.5 倍の水分を最終的に補給する必要がある

(運動前)

階級制スポーツのアスリートが減量のために行う意図的な脱水は、大幅な水分の喪失により試合開始までに体水分量が回復しないとされる。それでもなお、減量に脱水という手段をとる事例は少なくない。また、暑熱環境下での長時間練習や、1 日に何試合も行う場合、運動開始時にすでに水分が不足している状態で臨むアスリートがいることも報告されており^{63,68)}、運動前の水分補給は、運動中のそれよりも注意が払われていない可能性がある。NAP2016 では、運動の 2-4 時間前に体重 1kg あたり 5-10ml の水分を摂取することで運動開始時の体水分量を正常化できるとしており^{8,62)}、運動前の水分補給の必要性が強調されている。

(運動中)

諸条件によって異なるが、発汗速度は 1 時間あたり 0.3-2.4 リットルと報告されている^{62,67)}。NAP2016 では、運動中は全身の水分の喪失が体重の 2% 未満になるように水分補給すべきとしている。これは従来のガイドラインと同様である。一般的に競技水準の高いアスリートの場合、発汗による水分喪失量は水分摂取量を超えているとされている。そのため、アスリートは発汗量に見合った水分摂取を意図的に行う必要がある。アスリートの発汗量は、運動前後の体重測定をし、運動中の排尿量や飲水量を加味することで評価することができる⁶²⁾。NAP2016 によると、多くのアスリートに適した水分補給のプランは、一般的に 1 時間あたり 0.4-0.8 リットルの摂取を上げているが、あくまで発汗量を評価した上で個人に見合った量に調整する必要があるとしている。

汗のナトリウム濃度は変動が大きいとしながらも、NAP2016 では平均 50mmol/L (約 1g/L) と示された。これは塩分に換算すると 2.54g/L に相当する。発汗量や排

尿量以上に過剰に水のみ摂取すると低ナトリウム血症 (血中ナトリウム 130mmol/L 未満) を起こすことが知られており、深刻な場合は死の危険性もあるため注意を促す必要がある。特に、1 時間に 1.2 リットル以上の多量の発汗があり、塩辛い汗をかいているとき、または、2 時間以上継続的に運動を行っているときは、ナトリウムを摂取すべきとの報告がある^{63,67,65)}。なお、骨格筋のけいれんは、大半の場合筋疲労によって生じるとしながらも、水分補給不足や電解質のアンバランスにも関連してくる可能性があるとしている。高濃度のナトリウムを含む発汗があるアスリートや暑熱環境に馴化していない場合に特にけいれんのリスクが高くなる可能性があるとの報告があることから⁶⁹⁾、急に暑くなった時期や発汗量が特に多いときはナトリウムと水分の補給が重要であることがあらためて示唆されている。

(運動後)

多くのアスリートは水分が喪失された状態で運動を終え、回復期に体水分量をもとの状態に戻す必要がある^{62,68)}。食事中の食塩の存在は、おもに血漿など細胞外液に水分を留めるかたちで、ゆっくりと体水分量を回復させるのに役立つ。そのため、NAP2016 では、ナトリウムを大量に喪失した運動後にはナトリウム制限をすべきではないとしている。また、発汗や排尿を通じて水分喪失は運動後も続くため、激しい運動後は総水分喪失量に対して 1.25-1.5 倍の水分をトータルで補給する必要があるかもしれない。さらに、回復期でのアルコールの多量摂取は利尿作用があるため勧められないとしているが、180mg 未満のカフェインでは利尿作用の心配はないとの報告がある⁶²⁾。

9. サプリメントとエルゴジェニックエイド

(NAP2016 のポイント)

- ✓ サプリメントの使用を考える場合は、その製品の効果、安全性、コスト等様々な側面から利益分析をすべきである
- ✓ サプリメントメーカーが独自で表示する安全表示は信頼すべきではない
- ✓ サプリメントの選択はアスリートの自己責任であり、使用によってもたらされる結果も自己責任である

NAP2016 では、しっかりとしたエビデンスでエルゴジェニック効果を支持しているサプリメントは比較的小さいことを指摘している^{70,71)}。例えば、ポジティブな結果が得られた研究方法は、ほとんどの場合、サンプルサイズが小さかったり、トレーニングを実施していない被験者を使用していたり、試験項目が妥当でなかったり、複合の変数をうまくコントロールできていないなど、解

釈に制限がある場合が多い^{70,71)}。それを踏まえた上でNAP2016は、以下のサプリメントは推奨するものではないが訴求通りの効果があるかもしれないとしている⁷⁾。

- スポーツ食品（スポーツドリンク、スポーツバー、スポーツ菓子、スポーツジェル、電解質サプリメント、プロテインサプリメント、液体ミールサプリメント）
- メディカルサプリメント（鉄サプリメント、カルシウムサプリメント、ビタミンDサプリメント、マルチビタミン/マルチミネラル、n-3系脂肪酸）
- クレアチン
- カフェイン
- 重曹
- ベータ-アラニン
- 硝酸（NO₃）

上記は、オーストラリア国立スポーツ研究所（Australian Institute of Sport: AIS）が公開している情報に基づくものである。AISでは、科学的な証拠の重要度に基づくサプリメントとスポーツ食品の分類システム⁷²⁾を独自に開発し、これに基づいて、安全、合法、そしてスポーツパフォーマンスの向上に効果的であるかどうかを製品ごとに等級付けして評価を行っている。またホームページ上で公開もしている。

<http://www.ausport.gov.au/ais/nutrition/supplements/classification>

NAP2016は、アスリートはあらゆるサプリメントやスポーツ食品を使用する前に、費用対効果の分析⁷³⁾を助けてもらい、自身の試合で得られる栄養学的、生理学的、そして心理学的なメリットと、起こりうるデメリットを比較すべきであるとしている。また、具体的な使用プロトコルは、個人向けに仕立てられるべきで、製品選択には危険物質や禁止物質の混入のリスクも考慮すべきであるとしている。

特にアンチドーピングの規則遵守という点において、禁止物質が含まれていないかを十分に評価する必要がある。NAP2016では、サプリメントメーカーが安全性をアピールするために独自で表示する文言は、禁止物質が含まれていないことを保証するのに信頼をおける指標ではないと明確にしている。その文言とは、100% pure（100%純粋）、pharmaceutical grade（医薬品グレード）、free of banned substances（禁止物質を含まない）、Natural Health Product-NHPN/NPN（カナダにおける健康自然食品の登録番号）等である。一方で、NAP2016では、ISO-17025取得の民間の検査機関では禁止物質の含有を検査することが可能であり、製品の純粋性を保証することができるとしている。日本においては、日本アンチドーピ

ング機構（JADA）によって安全性を評価された製品についてのみ、アンチドーピングの規則遵守が保証されているのが現状である。しかしながら、様々な製品が簡単に入手できるのが現状である。安全性に不安のあるサプリメントやエルゴジェニックエイドを使用する際は、スポーツドクター、スポーツファーマシスト等の専門家に相談の上で使用するようにしたい。

なお、日本においても国立スポーツ科学センター（JISS）、国立健康・栄養研究所においても、サプリメントや栄養素、機能性成分に関する情報をサイトで公開しているので参照されたい。

国立健康栄養研究所 「健康食品」の安全性・有効性情報 素材情報データベース

<https://hfnet.nih.go.jp/contents/indiv.html>

国立スポーツ科学センター スポーツフード&サプリメントの種類

<http://www.jpnsport.go.jp/jiss/nutrition/supplement/grouping/tabid/1219/Default.aspx>

10. 高所における栄養

（NAP2016のポイント）

- ✓ 高所トレーニングのおもな目的は赤血球の増加、ヘモグロビン量の増加、ひいては酸素運搬能の増加である
- ✓ 高所トレーニングにおける栄養的配慮のカギは、エネルギー、糖質、たんぱく質、鉄、抗酸化栄養素の十分な摂取である
- ✓ 高所トレーニング期間中は脱水しやすいため十分な水分補給が重要であるが、具体的な給水量についてはまだ明らかではない

高所トレーニングについては種々の報告があり、それらで示唆されたこととNAP2016に網羅された内容に大きな相違はなかった。高所トレーニングは一定の効果が期待できる一方で、特殊環境に身を置くことで、さまざまなリスク（病気、感染、紫外線被曝、低圧と低酸素、不慣れたトレーニング量と強度、断続的な睡眠）を高める可能性がある。これらのリスクを回避し、あるいは最小限に抑え、高所トレーニング効果を最大にするため、高所トレーニングにおいては適切な栄養が必要不可欠となる。カギとなる栄養的配慮は、糖質補給を中心とした十分なエネルギー摂取、たんぱく質、鉄、抗酸化栄養素の十分な摂取である。また、脱水しやすいため水分補給も重要である。それは、初期の利尿、呼吸数の増加、低湿度、運動による発汗と関係するとされている。なお、高所トレーニングにおける水分補給量については、1日4-5リットルとの報告⁷³⁾もあれば、個人の脱水状況を観察することを推奨する専門家もあり、NAP2016では明確にはされなかった。

おわりに

本稿では2016年3月に公表された新しいスポーツ栄養ガイドライン“Nutrition and Athletic Performance”の解釈について取り上げた。このガイドラインにより、これまでの情報に新たな知見が加えられた形であるが、あくまでもアメリカ、カナダをはじめとする諸外国のデータをもとにまとめられた情報である。したがって、日本人の食事摂取基準や食生活、食習慣にフィットするものではないと考えられる情報も含まれている。陸上競技選手への応用に際しては、運動量、身体的状況及び栄養状態などを評価の上、公認スポーツ栄養士と連携して指導にあたっていただきたい。

参考文献

- 1) Thomas DT, Erdman KA, Burke LM. American College of Sports Medicine Joint Position Statement. Nutrition and Athletic Performance. Med Sci Sports Exerc. 2016 Mar; 48(3): 543-68.
- 2) Manore M, Thompson J. Energy requirements of the athlete: assessment and evidence of energy efficiency. In: Burke L, Deakin V, eds. Clinical Sports Nutrition. 5th eds. Sydney, Australia: McGraw-Hill; 2015:114-139.
- 3) Spriet LL. New insights into the interaction of carbohydrate and fat metabolism during exercise. Sports medicine. 2014;44(Suppl 1):S87-96.
- 4) Loucks AB. Energy balance and energy availability. In: Maughan RJ, ed. Sports Nutrition, The Encyclopaedia of Sports Medicine, an IOC Medical Commission Publication. West Sussex, UK: John Wiley & Sons, Ltd.; 2013:72-87.
- 5) Mountjoy M, Sundgot-Borgen J, Burke L, et al. The IOC consensus statement: beyond the Female Athlete Triad-Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S). British Journal of Sports Medicine. 2014; 48(7): 491-497.
- 6) Sundgot-Borgen J, Meyer NL, Lohman TG, et al. How to minimize the health risks to athletes who compete in weight-sensitive sports review and position statement on behalf of the Ad Hoc Research Working Group on Body Composition, Health and Performance, under the auspices of the IOC Medical Commission. British Journal of Sports Medicine. 2013;47(16):1012-1022.
- 7) Santos DA, Dawson JA, Matias CN, et al. Reference values for body composition and anthropometric measurements in athletes. PloS One. 2014; 9(5): e9784618.
- 8) Sundgot-Borgen J, Garthe I. Elite athletes in aesthetic and Olympic weight-class sports and the challenge of body weight and body compositions. Journal of Sports Sciences. 2011; 29(Suppl 1): S101-114.
- 9) Garthe I, Raastad T, Refsnes PE, Koivisto A, Sundgot-Borgen J. Effect of two different weight-loss rates on body composition and strength and power-related performance in elite athletes. International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism. 2011; 21(2): 97-104.
- 10) Mettler S, Mitchell N, Tipton KD. Increased protein intake reduces lean body mass loss during weight loss in athletes. Medicine and Science in Sports and Exercise. 2010; 42(2):326-337.
- 11) Burke LM, Hawley JA, Wong SH, Jeukendrup AE. Carbohydrates for training and competition. Journal of Sports Sciences. 2011;29(Suppl 1):S17-27.
- 12) Philp A, Hargreaves M, Baar K. More than a store: regulatory roles for glycogen in skeletal muscle adaptation to exercise. American Journal of Physiology, Endocrinology and Metabolism. 2012; 302(11): E1343-1351.
- 13) Bartlett JD, Hawley JA, Morton JP. Carbohydrate availability and exercise training adaptation: Too much of a good thing? Eur J Sport Sci. 2014:1-10.
- 14) Burke LM et al.: Muscle glycogen storage after prolonged exercise: effect of the glycemic index of carbohydrate feeding. J Appl Physiol, 75: 1019 -1023, 1993.
- 15) Rosenbloom CA, Coleman EJ. Sports Nutrition: A Practice Manual for Professionals. Academy of Nutrition & Dietetics; 2012.
- 16) Moore DR, Phillips SM, Slater G. Protein. In: Deakin V, Burke L, eds. Clinical Sports Nutrition. 5th ed: McGraw-Hill Education; 2015: 94-113.
- 17) Areta JL, Burke LM, Camera DM, et al. Reduced resting skeletal muscle protein synthesis is rescued by resistance exercise and protein ingestion following short-term energy deficit. American Journal of Physiology, Endocrinology and Metabolism. 2014; 306(8): E989-997.
- 18) Phillips SM, Van Loon LJ. Dietary protein for athletes: from requirements to optimum adaptation. Journal of Sports Sciences. 2011; 29(Suppl 1): S29-38.
- 19) Wall BT, Morton JP, van Loon LJ. Strategies to maintain skeletal, muscle mass in the injured athlete: nutritional considerations and exercise mimetics. Eur J Sport Sci. 2015; 15(1): 53-62.
- 20) Josse AR, Tang JE, Tarnopolsky MA, Phillips SM. Body

- com- position and strength changes in women with milk and resistance exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2010; 42(6): 1122-1130.
- 21) Phillips SM. Dietary protein requirements and adaptive advantages in athletes. *The British Journal of Nutrition*. 2012; 108(Suppl 2): S158-167.
 - 22) Beelen M, Burke LM, Gibala MJ, van Loon LJ. Nutritional strategies to promote postexercise recovery. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2010; 20(6): 515-532.
 - 23) Areta JL, Burke LM, Ross ML, et al. Timing and distribution of protein ingestion during prolonged recovery from resistance exercise alters myofibrillar protein synthesis. *The Journal of Physiology*. 2013; 591(Pt 9): 2319-2331.
 - 24) Moore DR, Robinson MJ, Fry JL, et al. Ingested protein dose response of muscle and albumin protein synthesis after resistance exercise in young men. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2009; 89(1): 161-168.
 - 25) Phillips SM. A brief review of critical processes in exercise-induced muscular hypertrophy. *Sports Medicine*. 2014; 44(Suppl 1): S71-77.
 - 26) Hartman JW, Tang JE, Wilkinson SB, et al. Consumption of fat-free fluid milk after resistance exercise promotes greater lean mass accretion than does consumption of soy or carbohydrate in young, novice, male weightlifters. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2007; 86(2): 373-381.
 - 27) Josse AR, Atkinson SA, Tarnopolsky MA, Phillips SM. Increased consumption of dairy foods and protein during diet- and exercise-induced weight loss promotes fat mass loss and lean mass gain in overweight and obese premenopausal women. *The Journal of Nutrition*. 2011; 141(9): 1626-1634.
 - 28) Pennings B, Boirie Y, Senden JM, Gijsen AP, Kuipers H, van Loon LJ. Whey protein stimulates postprandial muscle protein accretion more effectively than do casein and casein hydrolysate in older men. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2011; 93(5): 997-1005.
 - 29) Churchward-Venne TA, Burd NA, Mitchell CJ, et al. Supplementation of a suboptimal protein dose with leucine or essential amino acids: effects on myofibrillar protein synthesis at rest and following resistance exercise in men. *The Journal of Physiology*. 2012; 590(Pt 11): 2751-2765.
 - 30) Anthony J.C. et al. 1999. Leucine supplementation enhances skeletal muscle protein metabolism in human. *Am J Physiol* 263: E928-E934.
 - 31) Koopman et al. 2005. Combined ingestion of protein and free leucine with carbohydrate increase postexercise muscle protein synthesis in vivo in male subjects. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 288: E645-E653.
 - 32) Gore et al. Extremity hyperinsulinemia stimulates muscle protein synthesis in severely injured patients. 2004. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 286: E529-5342004.
 - 33) Biolo et al. 1997. An abundant supply of amino acids enhances the metabolic effects of exercise on muscle protein. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 273: E122-E129.
 - 34) Phinney SD, Bistrian BR, Evans WJ, Gervino E, Blackburn GL. The human metabolic response to chronic ketosis without caloric restriction: preservation of submaximal exercise capability with reduced carbohydrate oxidation. *Metabolism: Clinical and Experimental*. 32(8): 769-776. (1983)
 - 35) Havemann L, West SJ, Goedecke JH, et al. Fat adaptation followed by carbohydrate loading compromises high-intensity sprint performance. *Journal of Applied Physiology*. 100(1): 194-202. (2006)
 - 36) Burke LM. Re-examining high-fat diets for sports performance: did we call the “nail in the coffin” too soon? *Sports Medicine*. 45(1): 33-49. (2015)
 - 37) Institute of Medicine FaNB. Dietary Reference intakes for Energy, Carbohydrate, Fiber, Fat, Fatty Acids, Cholesterol, Protein and Amino Acids. Washington, D.C.: National Academies Press; 2005
 - 38) Farajian P, Kavouras SA, Yannakoulia M, Sidossis LS. Dietary intake and nutritional practices of elite Greek aquatic athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2004; 14(5): 574-585.
 - 39) Lukaski HC. Vitamin and mineral status: effects on physical performance. *Nutrition*. 2004; 20(7-8): 632-644.
 - 40) Volpe SL, Bland E. Vitamins, Minerals, and Exercise. In: Rosenbloom CA, Coleman EJ, ed. *Sports Nutrition: A Practice Manual for Professionals*. 5th eds. Chicago: Academy of Nutrition and Dietetics; 2012: 75-105.
 - 41) Woolf K, Manore MM. B-vitamins and exercise: does exercise alter requirements? *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2006; 16(5): 453-484.
 - 42) McClung JP, Karl JP, Cable SJ, et al. Randomized, double-blind, placebo-controlled trial of iron

- supplementation in female soldiers during military training: effects on iron status, physical performance, and mood. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2009; 90(1): 124-131.
- 43) Beard J, Tobin B. Iron status and exercise. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2000; 72(2 Suppl): 594S-597S.
 - 44) Haymes E. Iron. In: Driskell J, Wolinsky I, eds. *Sports Nutrition: Vitamins and Trace Elements*. New York, NY: CRC/Taylor & Francis; 2006: 203-216.
 - 45) Cowell BS, Rosenbloom CA, Skinner R, Summers SH. Policies on screening female athletes for iron deficiency in NCAA division I-A institutions. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*. 2003; 13(3): 277-285.
 - 46) Peeling P, Sim M, Badenhorst CE, et al. Iron status and the acute post-exercise hepcidin response in athletes. *PloS One*. 2014; 9(3): e93002.
 - 47) Peeling P, Dawson B, Goodman C, Landers G, Trinder D. Athletic induced iron deficiency: new insights into the role of inflammation, cytokines and hormones. *European Journal of Applied Physiology*. 2008; 103(4): 381-391.
 - 48) Ruohola JP, Laaksi I, Ylikomi T, et al. Association between serum 25(OH) D concentrations and bone stress fractures in Finnish young men. *Journal of Bone and Mineral Research: The Official Journal of the American Society for Bone and Mineral Research*. 2006; 21(9): 1483-1488.
 - 49) Larson-Meyer DE, Willis KS. Vitamin D and athletes. *Current Sports Medicine Reports*. 2010; 9(4): 220-226.
 - 50) Cannell JJ, Hollis BW, Sorenson MB, Taft TN, Anderson JJ. Athletic performance and vitamin D. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2009; 41(5): 1102-1110.
 - 51) Halliday TM, Peterson NJ, Thomas JJ, Kleppinger K, Hollis BW, Larson-Meyer DE. Vitamin D status relative to diet, lifestyle, injury, and illness in college athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2011; 43(2): 335-343.
 - 52) Lewis RM, Redzic M, Thomas DT. The effects of season-long vitamin d supplementation on collegiate swimmers and divers. *International Journal of Sports Nutrition and Exercise Metabolism*. 2013; 23(5): 431-440.
 - 53) Cranney C, Horsely T, O'Donnell S, Weiler H, Ooi D, Atkinson S, et al. Effectiveness and safety of vitamin D. Evidence Report/Technology Assessment No.158 prepared by the University of Ottawa Evidence-based Practice Center under Contract No. 290-02.0021. AHRQ Publication No.07-E013. Rockville, MD: Agency for Healthcare Research and Quality, 2007.
 - 54) Moran DS, McClung JP, Kohen T, Lieberman HR. Vitamin d and physical performance. *Sports Medicine*. 2013; 43(7): 601-611.
 - 55) Nickols-Richardson SM, Beiseigel JM, Gwazdauskas FC. Eating restraint is negatively associated with biomarkers of bone turnover but not measurements of bone mineral density in young women. *Journal of the American Dietetic Association*. 2006; 106(7):1095-1101.
 - 56) Nattiv A, Loucks AB, Manore MM, et al. American College of Sports Medicine position stand. The female athlete triad. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2007; 39(10): 1867-1882.
 - 57) Kitchin B. Nutrition counseling for patients with osteoporosis: a personal approach. *J Clin Densitom* 2013; 16: 426-31.
 - 58) Holick MF, Binkley NC, Bischoff-Ferrari HA, et al. Evaluation, treatment, and prevention of vitamin D deficiency: an Endocrine Society clinical practice guideline. *J Clin Endocrinol Metab* 2011; 96: 1911-30.
 - 59) Peternej TT, Coombes JS. Antioxidant supplementation during exercise training: beneficial or detrimental? *Sports Medicine*. 2011; 41(12): 1043-1069.
 - 60) Watson TA, MacDonald-Wicks LK, Garg ML. Oxidative stress and antioxidants in athletes undertaking regular exercise training. *International Journal of Sports Nutrition and Exercise Metabolism*. 2005; 15(2): 131-146.
 - 61) Draeger CL, Naves A, Marques N, et al. Controversies of anti-oxidant vitamins supplementation in exercise: ergogenic or ergolytic effects in humans? *Journal of the International Society of Sports Nutrition*. 2014; 11(1): 4. American College of Sports M, Sawka MN, Burke LM, et al.
 - 62) American College of Sports Medicine position stand. Exercise and fluid replacement. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2007; 39(2): 377-390.
 - 63) Shirreffs SM, Sawka MN. Fluid and electrolyte needs for training, competition, and recovery. *Journal of Sports Sciences*. 2011; 29(Suppl 1): S39-46.
 - 64) Goulet ED. Dehydration and endurance performance in competitive athletes. *Nutrition Reviews*. 2012; 70(Suppl 2): S132-136.
 - 65) Jeukendrup A, Carter J, Maughan RJ. Competition fluid and fuel. In: Burke L, Deakin V, eds. *Clinical Sports Nutrition*. 5th ed. North Ryde NSW, Australia:

- McGraw-Hill Australia Pty Ltd; 2015: 377-419.
- 66) American College of Sports M, Armstrong LE, Casa DJ, et al. American College of Sports Medicine position stand. Exertional heat illness during training and competition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2007; 39(3): 556-572.
 - 67) Kenefick RW, Cheuvront SN. Hydration for recreational sport and physical activity. *Nutrition Reviews*. 2012; 70(Suppl 2): S137-142.
 - 68) Garth AK, Burke LM. What do athletes drink during competitive sporting activities? *Sports Medicine*. 2013; 43(7): 539-564.
 - 69) Bergeron MF. Exertional heat cramps: recovery and return to play. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2007; 16(3): 190-196.
 - 70) Maughan RJ. Risks and rewards of dietary supplement use by athletes. In: Maughan RJ, ed. *Sports Nutrition, The Encyclopaedia of Sports Medicine, an IOC Medical Commission, 1st Edition*. West Sussex, UK: John Wiley & Sons Ltd.; 2014
 - 71) Burke LM, Cato L. Supplements and Sports Foods. In: Burke LM, Deakin V, eds. *Clinical Sports Nutrition, 5th Edition*. 5th ed. North Ryde NSW, Australia: McGraw-Hill Pty Ltd.; 2015: 493-591.
 - 72) Australian Institute of Sport. Supplements. <http://www.ausport.gov.au/ais/nutrition/supplements>. Accessed 7 July, 2015.
 - 73) Koehle MS, Cheng I, Sporer B. Canadian Academy of Sport and Exercise Medicine position statement: athletes at high altitude. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*. 2014;24(2):120-127
-

基調講演

【リオデジャネイロオリンピックから東京オリンピックへ】 日本陸上競技連盟の取り組み

尾縣 貢（筑波大学）

1. はじめに

「スポーツは、世界共通の人類の文化である」これは、2011 年に施行されたスポーツ基本法の冒頭のフレーズである。わが国のスポーツは、未だ文化と呼べる域には成熟しているとは言えず、文化として認知されるようになることがスポーツ界に突きつけられた使命だと私は解釈をしている。

このスポーツ基本法の施行を皮切りに、2013 年東京オリンピック・パラリンピック開催決定、2015 年スポーツ庁新設と大きな出来事が相次いでいる。このような背景があり、注目を浴びているスポーツであるからこそ、この機に変えていこうという動きもある。例えば、スポーツ関連産業の市場規模を 2025 年には、約 10 兆円増しの 25 兆円に拡大しようという取り組みも始まった。これには、スポーツ施設をこれまでのコストセンターからプロフィットセンターに変えていこうという新たなプロジェクトも含まれている。オリンピック・パラリンピックを機にわが国のスポーツのあり方を考え直し、日本式のスポーツを創り上げるということは斬新な試みである。一方で、スポーツの価値を大きく変えることにより、ひずみが生じることも我々は予想しなければならない。この大きな変革の渦の中、陸上競技をより発展させるためには、様々な状況に臨機応変に対応していくことも重要であると感じている。しかし、いかなる時でも忘れてはいけないことは、スポーツが一つの手段やツールとなっていけないということである。

3 年半後に迫った東京オリンピックの成功に向けて、既に準備は進行中であるが、これからは目まぐるしいスピードで物事が進んでいくものと予想している。

東京オリンピックの成功のためには、陸上界は次の 3 つの目標を達成することが求められるであろう。

- ◆アスリートが活躍する
- ◆オールジャパン体制で最高の競技運営を行う
- ◆2020 年以降に脈々と引き継がれるレガシーを残す

2. アスリートの活躍

リオデジャネイロ・オリンピック後の 9 月の理事会にて新委員長に伊東浩司氏を選出し、11 月から新強化体

制に移行をした。図 1 は、新強化体制を示した組織図である。新組織の大きな特徴は、これまでのブロック別の強化をやめ、種目別、個人別の強化にシフトしたことである。それとともに、目指すターゲットにより、種目をグループに分けて、それぞれの目標に応じた強化策を取るということである。

金メダルが目標の男子 4 × 100m リレーと競歩をゴールドターゲット、男子 400m ハードル、男子棒高跳、男子やり投をメダルターゲットとした。その下はトップ 8 ターゲットであるが、これに属する種目は、決勝や準決勝という次のラウンドに駒を進めることが目標となる。伊東委員長の言葉を借りれば、「イブニング・セッションに日本のアスリートが出場し、お茶の間を沸かせることが重要である」ということである。この状況は、東京オリンピックで陸上競技が認知されるための大きな条件であることは間違いない。続いてアジアでの活躍を目指すワールドチャレンジを置く。これに属する種目には、まずはアジアでの活躍を目標に、アジアの競技会への派遣を積極的に行う。また、海外コーチの招聘によるアスリートやコーチのための研修などを開催することなどで根本的なレベルアップを図っていく。

これらのステージ設定の妥当性は、過去 5 回のオリンピックの入賞実績を示した表 1 から説明ができる。ゴールドターゲットである男子 4 × 100m リレーは 5 回連続で入賞を果たし、世界トップの水準を維持している。また、男子競歩は、この 3 大会で一つのメダルと 3 つの入賞を獲得しており、確実性と可能性を持った種目である。

かつては、お家芸と言われたマラソンであるが、女子に関しては、2008 年以降入賞はない。男子は、2004 年、20012 年の 2 大会で入賞しているものの、入賞が確実な種目とは言えなくなっている。しかしながら、男女マラソンはメダルターゲットと同様の扱いで、マラソン強化戦略プロジェクトを新設して復活を目指す。これは、男女マラソンは、実業団および学連の強化基盤が強く、また多くのアスリートが取り組んでいることから、ワールドクラスのアスリートが育つポテンシャルを持っているとともに、マラソンに対する国民の期待度が高いからである。

ここで、日本人がマラソンにおいて活躍することがで

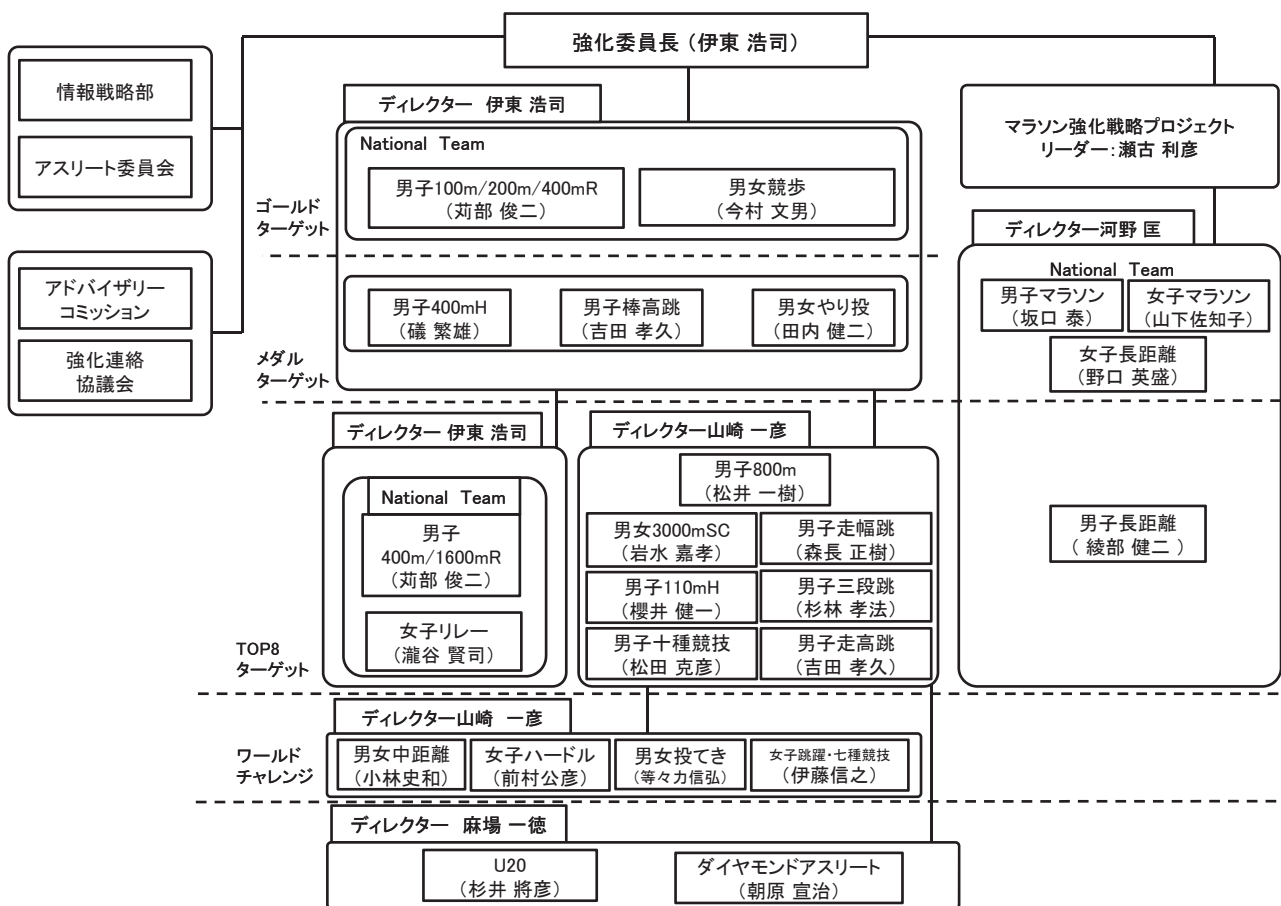


図1 日本陸上競技連盟強化委員会の組織図

表1 オリンピック過去5大会の入賞者一覧

順位	2000 シドニー	2004 アテネ	2008 北京	2012 ロンドン	2016 リオ
1	女子マラソン	男子ハンマー投 女子マラソン			
2					男子 400mR
3			男子 400mR	男子ハンマー投	男子 50kmW
4		男子 400mR 男子 1600mR			
5		男子マラソン 女子マラソン	男子ハンマー投	男子 400mR	
6	男子 400mR	男子マラソン		男子マラソン	男子 20kmW 男子棒高跳
7	男子 10000m 女子マラソン	女子マラソン	男子 50kmW	男子 50kmW	
8					

きる見込みと、そのための課題について述べたい。世界ランキングからすると、マラソンの活躍は難しいと言われても仕方ない。たとえば、2015年（2015年1月－12月）の男子マラソンのランキングを見ると20位のうち15名がケニア、4名がエチオピア、1名がウガンダであった。日本のトップの今井正人（トヨタ自動車九州）の2時間7分39秒は、ランキング40位であり、とてもケニア、エチオピア勢に歯が立たないように思える。しかし、表2の過去のオリンピック4大会の男子マラソンの入賞国

を見ると、必ずしもケニアとエチオピアが独占しているわけではないことがわかる。アメリカ、ブラジル、日本なども3-4名の入賞者を出している。

オリンピックのマラソンレースがランキング通りにいかない理由には、二つのことが考えられる。一つは、オリンピックのレースでは正確で速いペースを刻んでいくペースメーカーがいないことである。図2は、リオデジャネイロ・オリンピックの男子マラソンの5キロごとの平均速度を示している。25キロまでは極めて遅いペー

表2 オリンピック男子マラソン過去4大会の入賞国

順位	2004 アテネ	2008 北京	2012 ロンドン	2016 リオ
1	イタリア	ケニア	ウガンダ	ケニア
2	アメリカ	モロッコ	ケニア	エチオピア
3	ブラジル	エチオピア	ケニア	アメリカ
4	イギリス	エチオピア	アメリカ	エリトリア
5	日本	ケニア	ブラジル	タンザニア
6	日本	スイス	日本	アメリカ
7	ケニア	エチオピア	ジンバブエ	スイス
8	ポルトガル	エリトリア	ブラジル	ウガンダ

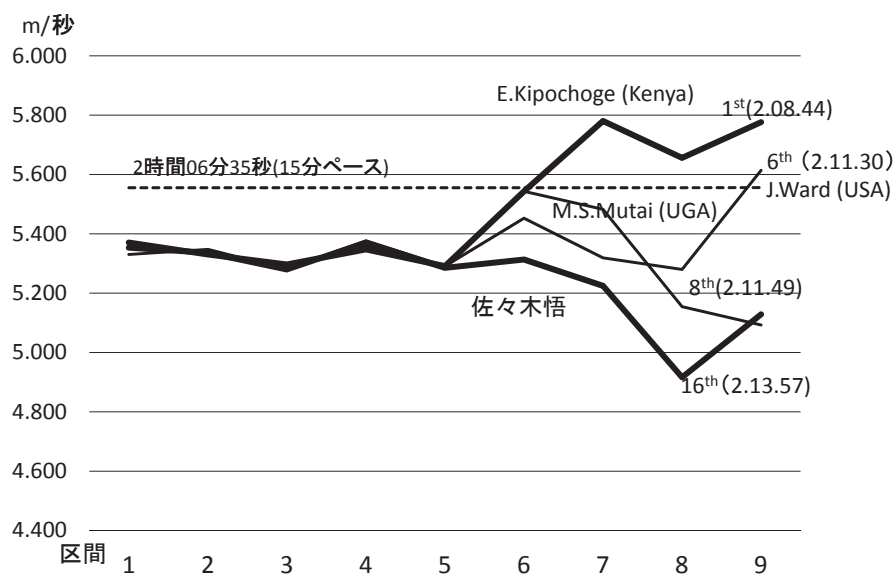


図2 リオデジャネイロオリンピック男子マラソンのレースペース

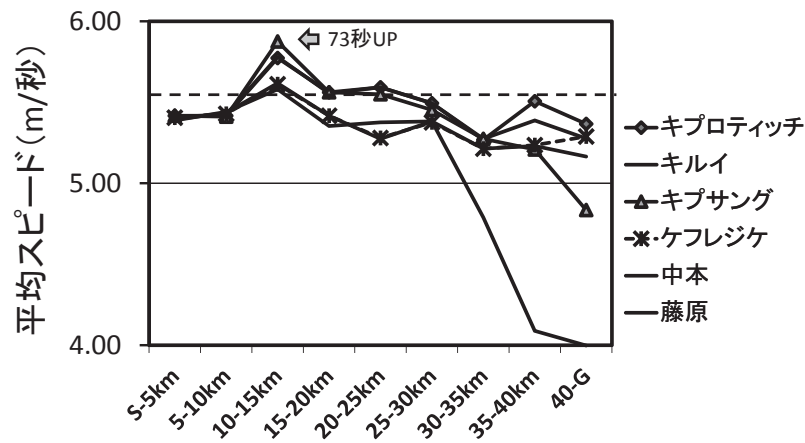
スでレースが進行し、そこから一気にスピードが高まった。これは、いわゆるネガティブスプリットである。図3は、ロンドン・オリンピックにおける男子マラソンの5キロごとの平均スピードである。10 - 15キロで一気にペースアップし、その後は、それぞれのランナーで異なるスピード推移を示した。すなわち、オリンピックのマラソンは、ペース展開が予想できないため、自分で戦局を見極め、適切なペースを自分で作っていく能力が求められるのである。

二つ目は、オリンピックは夏場の暑い中で行われるということである。ほとんどが気温の高い悪条件下での我慢比べのようなレースになり、ペースが抑えられることが多い。東京では高温に加え、高湿度が予想される。そこで、耐暑能力に優れたランナーが優位になることは予想に難くない。日本陸連の科学委員会では、リオデジャネイロ・オリンピックに向けての暑熱対策に取り組んできたが、東京オリンピックに向けては、さらに重点的に行っていく。これら二つのことから、真夏に行われる東京オリンピックでは、記録の出る環境が整ったマラソンとは異なる能力も求められると言える。

マラソンに限らず、全ての競技に共通して強化を推進

する上で、特に留意することがある。それは、国際競技会というプレッシャーがかかる場で自分の力を十分に発揮できる精神力を高めていくということである。ホームで開催される東京オリンピックでは、極めて強い精神的ストレス、プレッシャーがかかり、極度の緊張状態に陥ることが予想される。重圧に屈しない、あるいはプレッシャーを力にできるポジティブな精神を作り上げていくことが強く望まれる。

ここで、狙ったところで実力を発揮することの重要性を示した事例を挙げてみよう。表3はリオデジャネイロ・オリンピックの男子400mハードル準決勝のリザルトである。野澤啓祐（ミズノトラッククラブ）は予選で48秒62のパーソナルベストを出し、予選3位の記録で準決勝に進出した。しかし、準決勝1組では49秒20で6位に終わり、決勝に進むことはできなかった。勝負にタラレバはないが、準決勝で予選の記録をマークすることができれば、どの組に回っていても決勝に進むことができた。もう一例は、男子やり投である。図4は、男子やり投予選と決勝の結果を示している。新井涼平（浜松アスリートクラブ）の予選でマークした84m16は、全体で4位。決勝では79m47と力を出すことはできなかった。



キプロティッチ(ウガンダ)①2.08:01 キルイ(ケニア)②2.08:27
 キプサング(ケニア)③2.9:37 キフレジケ(アメリカ)④2.11:06
 中本⑥2.11:16 藤原(45) 2.19:11

図3 ロンドンオリンピック男子マラソンレースペース

表3 リオデジャネイロ・オリンピック男子400mハードル準決勝のリザルト

順位	準 決 勝					
	1組		2組		3組	
1	K Clement	48.26 SB Q	A Whyte	48.32 PB Q	T Barr	48.39 NR Q
2	B Tumuti	48.85 SB Q	J Culson	48.46 SB Q	H Koech	48.49 PB Q
3	S Fernandec	48.87 NR	Y Copello	48.61 q	B Robinson	49.65 PB
4	A Lahoulou	49.08	R Magi	49.64 q	K Waholm	48.81
5	J Hyde	49.17	L J Zyle	49.00	A Bultheel	49.46
6	<u>野澤啓佑</u>	<u>49.20</u>	J Andrade	49.32	A Silva	49.75
7	E Cray	49.37	O Moro	49.75	E Alejandro	49.95
8	J Green	49.54	M Sugimachi	49.77	R Cato	DQ

NR: National record PB: Personal best SB: Season best Q: 順位による決勝進出
 q: タイムによる決勝進出 野澤 予選4組1着 48.62 PB

予 選		決 勝	
1 K.Walcott	88m68 SB	1 T.Rohler	90m30
2 J.Vetter	85m96	2 L.Yego	88m24 SB
3 J.Weber	84m64	3 K.Walcott	85m38
4 新井涼平	84m16	4 J.Vetter	85m32
5 P.Frydrich	83m60	5 D.Kosynskyy	83m96 PB
6 J.Yego	83m55	6 A.Ruuskanen	83m06
7 J.Vadlejch	83m27	7 V.Vesely	82m61
8 D.Kosynskyy	83m23 SB	8 J.Vadlejch	82m42
9 T.Rohler	83m01	9 J.Weber	81m36
10 V.Vesely	82m85	10 B.Toledo	78m91
11 A.Ruuskanen	82m20	11 新井涼平	79m47
12 B.Toledo	81m96 SB	12 P.Frydrich	79m12

図4 リオ・オリンピック男子やり投予選および決勝

通常の力が発揮できていれば、トップ8進出は容易いことであり、銅メダル（85m38）も十分に狙えたと言える。狙ったところで、自分の力が発揮できるということが、ポテンシャルを高めることと同様に重要なことである。そのためには、高いレベルの国際競技会経験を積むなどの対策を考えていかなければならない。

3. 最高の競技運営

日本の競技会運営は世界に誇れるものである。世界のアスリートたちが気持ちよく競技ができ、最高のパフォーマンスが発揮できるような競技運営を目指し、オールジャパン体制で取り組んでいる。公平、アスリートファースト、日本らしさ、ホスピタリティなどを多くのことを考慮した運営を実現しなければならないが、そのためにJTO（Japan Technical Official）に加え、都道府県から選出された100名を超える精鋭に国際競技大会の運営に必要とされる能力を育成していただくことになる。これは、2020年後のレガシーの創出につながってくる重要な案件である。2018年には、岐阜市でアジアジュニア選手権大会（U20 アジア選手権大会）を開催する予定であり、この場を審判研修の場としても活用していく。

4. レガシーの創出

2020年での成功を目指しつつ、同時にレガシーを創出する活動が続けることが、東京オリンピック以降の陸上界の隆盛につながると考えている。そこで、本連盟では、若手競技者の育成、指導者の育成、ウエルネス陸上の発展をオリンピック以降のレガシーにつなげるべく、それぞれの事業を推進していく。

1) 若手競技者の育成

東京マラソン財団レガシー事業および安藤スポーツ食文化振興財団の協賛を得て展開をしている「ダイヤモンドアスリート認定制度」および「グローバルチャレンジプロジェクト」を通して、2020年以降も陸上界のリーダーとなれる若手アスリートの育成を図っている。これらの取り組みでは、多くの国際経験を積み国際的アスリートになることに加え、わが国陸上界のリーダーとして相応しい人間力を高めていくことも目指している。ダイヤモンドアスリートの発掘のために、タレントを見極めることができるタレントマネジャーを各地域に配置し、情報が収集できるシステムを構築した。

これに加えて、タレントトランスファーの推進に取り組んでいる。これは、「一人でも多くの競技者に、少しでも長く陸上競技を続けてもらいたい」をスローガンにし、ジュニアからシニアへの移行をスムーズにし、そして日本の陸上競技のレベルを引き上げることを目指している。

2) 指導者の育成

日体協の資格を有している指導者数は、サッカーや水泳と比較して極めて少なく、加盟団体では12番目の位置にある（表4）。アスリートの健全な育成には、優れたコーチの存在が不可欠であるため、陸上競技ジュニアコーチ（体協指導員）の有資格者を2020年には5000名に増やすことを目指している。これを実現するために、各地で資格取得のための講習会を開催している。今年度も19会場で講習会を開催することができた。講習会の講師を務める人材の育成も並行して進めているところである。

普及事業にも積極的に取り組んでいる。子どもたちが陸上競技に接する機会が多くなるように、そして陸上競技の面白さにふれることができるようなイベントを開催している。大型ショッピングモールで「かけっこチャレンジ」を、日本選手権大会およびセイコーゴールデンランプリの前に「キッズデカスロンチャレンジ」を開催したが、このようなイベントをさらに拡げていきたい。

3) ウエルネス陸上の発展

競技陸上だけでなく、健康や楽しみを求めて行うウエルネス陸上についても振興を図っていく。2011年施行のスポーツ基本法において、スポーツを通じて「国民が生涯にわたり心身ともに健康で文化的な生活を営む」ことが謳われている。そして、スポーツを行う者の「権利利益の保護」「心身の保持増進」「安全確保への配慮」は、スポーツ団体の努力であるとされている。すなわち、本連盟も競技陸上だけではなく、ウエルネス陸上の振興に寄与することが求められていると言える。

現在の愛好者数や取り組みやすさという点から、市民マラソンの健全な普及をテーマにすることとした。具体的な課題としては、大会同士の情報の交換、安心安全な大会づくり、正しいランニングの普及、ランナーサービスの検討、をあげている。市民マラソンに関わる関係者の皆さんと連携をしながら、スポーツ庁が掲げる「成人の週1回以上のスポーツ実施率を2/3以上に増やすこと」に取り組んでいきたい。これらの取り組みを新設したロードレースコミッションを中心に進めていっている。

5. その他に取り組むべき課題

2020年にこだわらず解決を目指し、地道に活動が続けなければならない課題が二つある。それは、「鉄剤注射の抑制」と「競技力が著しく低下している種目の復活」である。

1) 鉄剤注射を抑制する

パフォーマンス向上のための鉄剤の注射が高校のみならず中学の段階で行われているという話を聞く。「女子ランナーは減量さえすれば速く走れる」という誤った考えがはびこっており、無理な減量を進めた結果、貧血になることがある。そこで、医療目的を超えた鉄剤注射に

表4 日本体育協会公認スポーツ指導者登録状況：登録者数上位20団体

2015年10月現在

順位	競技団体	コーチ&公認コーチ	指導者&上級指導者	合計
1	サッカー	28,279	5,975	34,254
2	バレーボール	14,061	967	15,028
3	水泳	11,647	3,171	14,818
4	ソフトボール	12,080	258	12,338
5	バスケットボール	7,277	726	8,003
6	弓道	5,529	83	4,724
7	テニス	3,728	526	4,254
8	空手道	2,890	903	3,793
9	スキー	3,479	106	3,585
10	卓球	2,519	630	3,129
11	ソフトテニス	2,808	281	3,089
12	陸上競技	1,865	1,038	2,903
13	バドミントン	2,519	371	2,890
14	山岳	2,232	146	2,378
15	軟式野球	1,732	167	1,899
16	ラグビー	1,008	789	1,794
17	体操	819	946	1,767
18	剣道	1,679	0	1,679
19	ハンドボール	1,050	523	1,573
20	なぎなた	1,016	157	1,173

単位：名

頼ってしまうのである。また、貧血でもないのに、パフォーマンスを高めるために鉄剤注射を打つケースもあると言う。注射で採った鉄は体内に貯蔵鉄(フェリチン)として過剰に残り、内臓の機能を著しく低下させる。これが、肝機能障害、肝硬変、糖尿病、加えて骨軟化症を招くのである。あるコーチによると、フェリチンの値を正常なレベルに下げるのには2,3年はかかり、その間は

十分なトレーニングを積むことはできないということである。

図5は、2004年、2014年の中学1500m、高校3000m、大学10000m、一般10000m、一般マラソンの平均タイムを平均スピードに換算したものである。このグラフからわかることは、中学、高校のパフォーマンスは高まり、一般のパフォーマンスは低下していること

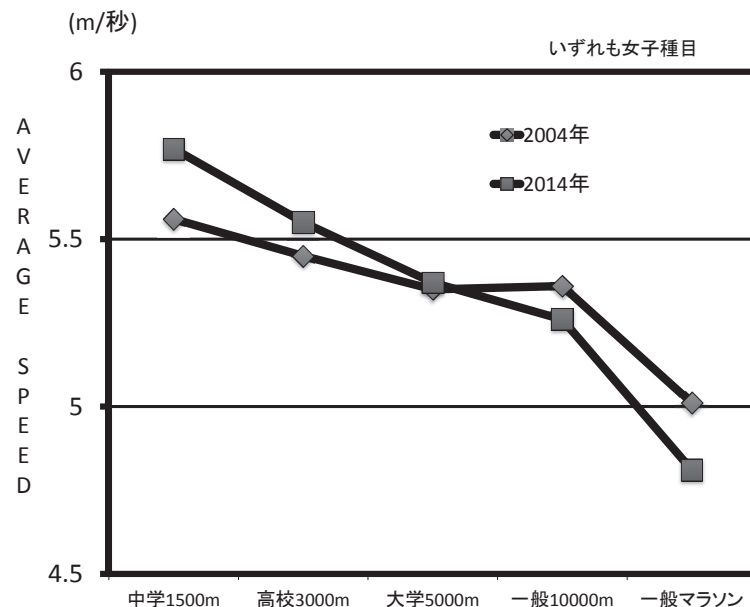


図5 2004年と2014年のパフォーマンスの比較

である。これにはいろいろな原因や背景があると考えられるが、その一つには、中学校、高校といった早期からパフォーマンスを高めるためには鉄剤注射も厭わないという風潮があることがあげられる。そこで、陸連では昨年から医事委員会と強化委員会を中心に貧血対策について取り組んでいる。第一弾として、表5の「アスリートの貧血対処7か条」を提唱した。

2) 競技力が著しく低下している種目を復活させる

表6は、2010年の100m走と走高跳の競技レベルを、30年前の1980年と比較したものである。100mは、中学、高校、一般の全ての段階で確実にレベルが上がっている

ことが分かる。一方の走高跳では、中学ランキング10位以外は全てレベルが下がっている。30年前の中学のレベルが2010年の高校、高校のレベルが一般のレベルに相当することには驚かされる。

女子の走高跳だけではない。同じような傾向を示す種目は男女ともに存在する。その原因を研究ベースにおいても検証し、その強化対策を考えなければならない。

これらの取り組みを陸上競技の研究者とともに進めていき、2020年東京オリンピックを成功に導きたい。皆様にご協力をいただくことを切に願う。

表5 日本陸連「アスリートの貧血対処7か条」

1. 食事で適切に鉄分を摂取
2. 鉄分の摂りすぎに注意
3. 定期的な血液検査で状態を確認
4. 疲れやすい、動けないなどの症状は医師に相談
5. 貧血の治療は医師と共に
6. 治療とともに原因を検索
7. 安易な鉄剤注射は体調悪化の元

表6 2010年と1990年の間での記録水準の比較：女子100mと走高跳の場合

段階	ランク	100m (秒)		走高跳 (m)	
		2010	1990	2010	1990
一般	1位	11.21	11.86	1.82	1.96
	10位	11.72	11.99	1.74	1.76
高校	1位	11.78	11.86	1.75	1.81
	10位	11.99	12.02	1.70	1.76
中学	1位	11.61	12.01	1.73	1.76
	10位	12.20	12.39	1.66	1.65

《パネリストプロフィール》

尾縣 貢（おがた みつぎ）

1959年生まれ

筑波大学 教授

日本陸上競技連盟専務理事

学 位：博士（体育科学）

専門分野：トレーニング科学，コーチング学

略 歴：日本オリンピック委員会理事

今後のスポーツ政策のあり方検討とスポーツ庁創設に向けたプロジェクト有識者会議
委員

JOC ナショナルコーチ ほか

主 著：ぐんぐん強くなる！陸上競技（ベースボール・マガジン社）

すべての子どもが必ずできる体育の基本（学研教育みらい）

競技力向上のトレーニング戦略（大修館書店）

ほか

キーノートレクチャー

【ニッポン長距離・トラックでの挑戦に向けて】

長距離走者が“速く”なるための体力的要素

～日本トップレベル長距離走者の筋横断面積及びスプリント力の観点から～

山中 亮 (国立スポーツ科学センター スポーツ科学部)

陸上競技男子 10,000m 走の現世界記録はエチオピアのケネニサ・ベケレ選手が 2005 年に樹立した 26 分 17 秒 53 であり、現日本記録は 2015 年に村山紘太選手が樹立した 27 分 29 秒 69 である。世界記録及び日本記録の間には、現時点において 1 分以上の差があり、1km の平均ペースでは約 7 秒、400m の平均ペースでは約 3 秒も差がある。この長距離走における記録の差を生み出す要因はどこにあるのだろうか。

長距離走者が高いパフォーマンスを発揮するためには、最大酸素摂取量、乳酸性作業閾値、及びランニングエコノミーが重要な要因となると考えられている (Saltin et al. 1995, Larsen et al. 2003, 山地ら 1990)。一方、長距離走者のパフォーマンスを異なる観点から捉えている研究もある。そこでは、男子 10,000m 走及び 5,000m 走における世界記録更新時の走速度変化が検討されている (Tucker et al. 2006)。10,000m 走において、ラストの 1km のラップタイムは 1-9km までのラップタイムよりも有意に短くなったことが報告されている。また、5,000m 走においては、最初の 1km と共に最後の 1km で、2-4km までのラップタイムよりも有意に短い時間で推移したことが報告されておる。このように、長距離走者において良い記録を出すためには、高いスピードを維持するとともにラストスパートも重要であると考えられる。この研究と同様の結果が報告されている。そこでは、2008 年北京オリンピック時の男子 10,000m 走における走速度の変化が検討されている (de Koning et al. 2011)。オリンピックのような国際競技会では、レース中において駆け引きが多く行われるため走速度に大きな増減が認められる。特に、ラストの約 1km においては、急激な走速度の変化が認められる。このことから、長距離種目において、勝負で勝つために高いスピードを発揮する力も必要であると考えられる。

高いスピードを発揮するためには、短距離走者において、最大疾走速度が競技力つまりパフォーマンスに影響を及ぼすと考えられている。また、この最大疾走速度の発揮に大きく貢献する要素として、大腰筋が考えられている (星川ら 2006)。大腰筋はその両端が腰椎と大腿骨に付着しているため、股関節の屈曲動作に大きく関与し

ているとされている (Bogduk et al. 1992)。国立スポーツ科学センターでは、パフォーマンスレベルが異なる短距離走者における大腰筋の筋横断面積の測定を実施してきた。その結果、日本代表ジュニア選手よりもパフォーマンスが高い日本代表シニア選手の方が、日本代表シニア選手よりもパフォーマンスが高い世界トップレベル選手の方が、大腰筋の筋横断面積が大きいことが明らかとなった。従って、短距離走のパフォーマンスが高いほど、大腰筋の筋横断面積が大きいことが考えられる。長距離走者においても、大腰筋の大きさがパフォーマンスに影響を及ぼしている可能性が考えられる。先行研究では、日本人一般ジュニア選手よりもパフォーマンスが高い日本人エリートシニア選手の方が大腰筋の筋横断面積が大きく、さらに、日本人エリートシニア選手よりもパフォーマンスが高いケニア人走者の方が、筋横断面積が大きいことが明らかとなっている (星川ら 2006, 吉岡ら 2012)。しかしながら、これらの先行研究では、大腰筋と長距離走のパフォーマンスとの関係性は検討されていない。そこで本発表では、長距離走者のパフォーマンスに対する大腰筋の筋横断面積及びスプリント力にも焦点を当てて検討を行う。

本発表で提示するデータは、一つ目として、日本トップレベル男子ジュニア長距離走者を対象にした研究、二つ目として、日本トップレベル男子シニア長距離走者を対象にした研究である。

一つ目は、日本トップレベル男子ジュニア選手を対象にした研究である (山中ら 2016)。対象者は 37 名 (年齢: 18.2 ± 0.5 歳, 身長: 170.4 ± 5.1 cm, 体重: 55.3 ± 3.7 kg) であった。競技会における 5,000m の最高タイム (personal best: 5,000m-PB) は、14 分 04 秒 11 ± 7 秒 25 であった。複数回測定している選手は、自己最高タイムを出した年のデータを用いた。測定項目は、トレッドミルを用いた有酸素性能力、及び磁気共鳴画像 (Magnetic resonance imaging: MRI) 装置を用いた大腰筋の筋横断面積とした。有酸素性能力の測定は、4 分運動 1 分休息を 1 ステージとする一定負荷運動を 5 ステージ実施する乳酸カーブランニングテストを実施した。各ステージにおける走速度は、270, 300, 330, 360, 390m/min

であった。血中乳酸濃度を各ステージ終了直後に指先から採取した血液を用いて分析した。また、酸素摂取量を測定開始時から測定終了時まで連続測定し、そのデータを30秒間隔で平均化した。乳酸カーブランニングテスト時の最高値を最高酸素摂取量とした。筋横断面積の測定は、仰臥位姿勢においてMRI装置内で行い、骨盤上端レベルにおける筋横断面積の評価を行った。各ステージにおける血中乳酸濃度から血中乳酸濃度が2,4,6mmol/l時の走速度を算出した。その結果、血中乳酸濃度が2,4,6mmol/l時の走速度と5,000m-PBとの間には有意な相関関係が認められなかった。また、5,000m-PBは、最高酸素摂取量及びランニングエコノミーの指標(270ml/min時の酸素摂取量)とは有意な相関関係を示さなかった。一方、5,000m-PBは、大腰筋の筋横断面積と有意な相関関係を示した。従って、ジュニア期における日本トップレベルの長距離走者は、大腰筋の筋横断面積で評価されるようなスプリント力が高いことが明らかとなった。

二つ目は、日本トップレベル男子シニア長距離走者を対象にした研究である(JISS所有データ)。対象者は、7名の国内トップレベルの男子シニア長距離走者(年齢:24.1 ± 2.7歳, 身長:169.7 ± 5.6cm, 体重:56.2 ± 4.0kg)であった。5,000m-PBは、13分33秒68 ± 10秒80であった。測定項目は、トレッドミルを用いた有酸素性能力、MRI装置を用いた大腰筋の筋横断面積、及び100m全力走時の最大疾走速度であった。有酸素性能力の測定は、3分運動1分休息を1ステージとする一定負荷運動を5ステージ実施する乳酸カーブランニングテストであった。各ステージにおける走速度は、ジュニア選手の測定と同様であった。乳酸カーブランニングテストの最終ステージが終了して1分後に390m/minから毎分10m/minずつ漸増させ疲労困憊まで実施する運動を連続で行った。血中乳酸濃度を各ステージ終了直後に指先から採取した血液を用いて分析した。また、酸素摂取量は測定開始時から測定終了時まで連続測定し、そのデータを30秒間隔で平均化した。測定時の酸素摂取量の最大値を最大酸素摂取量とした。筋横断面積の測定は、ジュニアの測定と同様であった。スプリント力の測定には、100mの全力走を実施し、レーザー式速度計測器を用いてスタートから10m毎に区間の走速度を算出した。100m区間における区間走速度の最大値を最大疾走速度とした。その結果、血中乳酸濃度が2,4,6mmol/l時の走速度と5,000m-PBとの間には有意な相関関係が認められなかった。また、5,000m-PBは、最大酸素摂取量及びランニングエコノミーの指標(300m/min時の酸素摂取量)とは有意な相関関係を示さなかった。一方、5,000m-PBと100mスプリント時の最大疾走速度との間に、有意な相関関係が認められた。しかし、シニア期におけるトップレベル長距離走者では、5,000m-PBと大腰筋の筋横断面積との間に有意な相関関係が認められな

かった。従って、長距離走のパフォーマンスはスプリント力と有意な相関関係を示したため、スプリント力も長距離走のパフォーマンスに対して重要な要因の一つであると考えられる。

最後に、シニア長距離走者とジュニア長距離走者のデータの比較を行った。その結果、血中乳酸濃度が2,4,6mmol/l時の走速度は、シニアの方がジュニアに比べて有意に高い値を示した。一方、大腰筋の筋横断面積には、両者の間に有意な差異が認められなかった。従って、ジュニア選手とシニア選手におけるパフォーマンスの違いは、乳酸代謝能が一つの要因であると考えられる。しかし、日本人シニア選手及び日本人ジュニア選手の大腰筋の筋横断面積は同一だが、先行研究(吉岡ら 2012)で紹介されている世界トップレベルのケニア人長距離走者の値と比較すると、日本人選手は大腰筋の筋横断面積が小さいことが明らかとなった。このことから、日本人が更なるパフォーマンス向上を目指す際、筋横断面積(スプリント力)を高めることができるようなトレーニングも実施する必要があるのではないかと考えられる。

以上のことから、長距離走者のパフォーマンスに影響を及ぼす要因として、以前から提唱されている最大酸素摂取量、乳酸性作業閾値、ランニングエコノミーに加えて、スプリント力も重要な要因になると考えられる。2015年において、従来の日本記録を更新した3選手(大迫傑選手、村山紘太選手、鎧坂哲哉選手)は、有酸素性代謝を刺激するトレーニングに加えて、高いスピードで走行するトレーニングを実施していたことを公言している。本発表で用いた結果は、このような現場レベルにおける結果を支持する知見と成りうると考えられる。

参考文献

- Bogduk N, Pearcy M, Hadfield G (1992) Anatomy and biomechanics of psoas major. *Clin Biomech* 7: 109-115
- de Koning JJ, Foster C, Bakkum A, Kloppenburg S, Thiel C, Joseph T, Cohen J, Porcari JP (2011) Regulation of pacing strategy during athletic competition. *PLoS ONE* 6: e15863
- 星川佳広, 飯田朝美, 村松正隆, 内山亜希子, 中嶋由晴 (2006) 高校生スポーツ選手の競技種目別の大腰筋断面積. *体力科学* 56: 217-228
- Larsen HB (2003) Kenyan dominance in distance running. *Comp Biochem Physiol* 136: 161-170
- Tucker R, Lambert MI, Noakes TD (2006) An analysis of pacing strategies during men's world-record performances in track athletics. *International Journal of Sports Physiology and Performance* 1:233-245
- Saltn B, Larsen H, Terrados N, Bangsbo J, Bak T, Kim CK, Svedenahg J, Rolf CJ (1995) Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior

runners compared with Scandinavian runners. Scand J Med Sci Sports 5: 209-221

山地啓司, 池田岳子, 横山泰行, 松井秀治 (1990) 最大酸素摂取量から陸上中長距離走, マラソンレースの競技記録を占うことが可能か. ランニング学研究 1: 7-14

山中 亮, 松林武生, 佐伯徹郎, 榎本靖士, 山崎一彦, 杉田正明 (2016) 高校トップレベル男子長距離走者のパフォーマンスと大腰筋の筋横断面積および最高酸素摂取量の関係. 体力科学 65: 307-313

吉岡利貢, 中垣浩平, 中村和照, 向井直樹, 鍋島賢治 (2012) 世界トップレベルで活躍するケニア人長距離ランナーの体力・形態特性. 体育学研究 57: 237-248

《パネリストプロフィール》

山中 亮 (やまなか りょう)

1985 年鹿児島市生まれ、

国立スポーツ科学センター スポーツ科学部

学 位: 博士 (教育学)

最終学歴: 北海道大学大学院教育学院教育学専攻

専門分野: トレーニング科学

研究テーマ: 長距離走者のパフォーマンス向上に関する
研究、トレーニングによる運動パフォーマンス
向上に対する中枢性機能の関与

キーノートレクチャー

【ニッポン長距離・トラックでの挑戦に向けて】

腱組織の機能向上に向けた電気刺激を用いたジャンプトレーニングの可能性

小木曾 一之 (皇学館大学)

身体運動のパフォーマンス向上に関する運動生理学やバイオメカニクス等の研究は、パフォーマンスレベルの高い競技者やトレーニング現場で効果の上昇した方法の分析など、パフォーマンスレベルを向上させた要因を明らかにし、より高いパフォーマンスレベルを目指すための取り組みに還元しようとするものが多い。高地トレーニングやインターバルトレーニングあるいは世界トップランナーの形態や動作など、長距離走のトレーニングに対する研究もまた同様である。しかし、それら多くの知見をもとにトレーニングが組み立てられているにも関わらず、ここ最近の日本長距離陣の手詰まり感は否めない。新たな才能を持った競技者の登場を期待しているような現在の状況は決して望ましいものではないだろう。

そこで、本稿では、現在までに得られた様々な生理学的、力学的知見をもとに、長距離走のパフォーマンスを向上させる新たなトレーニング方法の可能性について提示したい。それゆえ、本稿で示す方法が本当に長距離走のパフォーマンスに寄与するののかどうかについては、今後の研究を待たなければならないことをお許し願いたい。

1. 足関節の果たす役割

疾走中の四肢の動きを主にコントロールするのは、肩関節や腰関節周りの筋群である。脚では、遊脚期において、腰関節周りの筋群が膝関節や足関節を振り回すことによってその動作の多くが生み出され、支持期では、足部を支点として、身体重心を前方へと押し出す主要な役割を腰関節周りの筋群が担う。事実、1980 年代には既に、離地後の膝関節の屈曲や接地前の膝関節の伸展などが腰関節周りの筋群の活動によって受動的に生み出されていることがシミュレーションによって明らかにされ (Phillips et al., 1983)、支持期においても、大殿筋やハムストリングスなどの活動が身体重心の前方への推進に貢献していることが明らかにされている。人間よりもはるかに大きな疾走速度をもつチータやダチョウ、カンガルーなどが、脚の中枢部に発達した筋を、末端部に細く振り回しやすい下腿や足を持っていることは、誰の目からも明らかである。

このような中枢部で発生した力は、二関節筋を通じて足部に運ばれ、それが地面に作用することで地面からの推進力が得られる (Van Ingen Schenau, 1989)。すなわち、接地時に外部からの力を最初に受け止めるのも足部であれば、中枢部の力を最終的に地面に伝えるのも足部ということになる。実際、足部が支持期にしっかりと身体を支え、外部からの力をしっかり受け止めないと、スプリントスピードは向上しない (小木曾, 1998)。また、高齢者の歩行能力の低下は足部を統制する足関節の機能低下にあること (岡田, 2001) も報告されている。これらのことは、長距離走にとっても、足部を統制する足関節の機能が非常に重要な役割をもつことを示している。

2. 最大酸素摂取量の限界

持久性能力の最も基本的な指標は最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) あるいは最大下酸素摂取量である。しかし、 $\dot{V}O_{2max}$ は無限に大きくなるわけではなく、現在までに報告されているエリート長距離ランナーの $\dot{V}O_{2max}$ の最大値は、男子で約 85 mL/kg/min、女子で約 80 mL/kg/min で頭打ちになる。当然ではあるが、 $\dot{V}O_{2max}$ が大きければ大きいほど、長距離走のパフォーマンスは向上する傾向にあるが、同時に、同じ $\dot{V}O_{2max}$ を持っても、個々のパフォーマンスには大きな差がみられる (山地ら, 1990)。これらのことは、持久性能力が最大酸素摂取量だけで決まるわけでないことを明確に示している。

そのため、現在では、持久性能力を左右する大きな要因として、走のエネルギー効率が重視され、最近では、「走時間や走距離を大きく」といった従来のトレーニング方法ではなく、高強度インターバルやスプリントインターバルトレーニングなど、短時間、高強度運動による効果が注目され、実践されている (Gibala et al., 2012; Bishop et al., 2014; Granata et al., 2015; Milanovic et al., 2015)。また、短距離や跳躍の競技者が行っているプライオメトリックトレーニング (Spurrs et al. 2003) やスプリント走やジャンプなどの爆発的なトレーニング (Paavolainen et al. 1999) も持久性能力の向上に効果をもつことが報告され、呼吸循環器系機能もまた、トレーニング量よりもトレーニング強度によってその向上が大き

く左右されるのではないかといった議論が生じている。長距離走のパフォーマンスが悪かった時、「もっと走り込みをしなければ」という声を未だに聞くが、そのような持久能力の一部を見ただけの考えは再考する必要があるだろう。

3. 走のエネルギー効率を高める腱組織の機能

我々人間が記録した走運動の最大スピードは、ウサイン・ボルト選手が100mを9秒58で駆け抜けた時の時速約38km（瞬間的には約45km）である。しかし、驚くことに、同じ2足で駆け抜けるカンガルーやダチョウは、その約2倍の速さ、時速70km程で走ることができる。中でも、アカカンガルーは、時速約70kmのスピードで約2kmも継続して走る（ジャンプし続ける）ことができ、速く跳ぶほど省エネルギーで移動できる。さらに、アカカンガルーが1日に移動する距離は200kmにも達するといわれ、まさに卓越した長距離ランナーである。そのような長距離移動を可能にするのは、アキレス腱のバネと尻尾の反動を使い、脚の筋をあまり使わず跳ぶという超省エネジャンプ術にあるとされる。事実、カンガルーにみられる腱組織のエネルギーの貯蔵と放出は、筋の短縮により全ての筋力を生み出した場合より、その消費エネルギーを約30%も小さくできることが推測されている（Mogan, 1977; Mogan et al., 1978）。

我々人間においても、運動時には、関与する筋腱複合体の伸張-短縮サイクル（SSC）活動が繰り返される（Cavagna et al. 1968; Komi 2000）、その活動はランニング効率や長距離走パフォーマンスに影響を及ぼす（Conley & Krahenbuhl 1980; Paavolainen et al. 1999; Creer et al. 2004; Nummela et al. 2006）。実際、リバウンドジャンプのパワーが高い日ほど長距離走の記録が良いことも報告されている（図子と平田 1999）。黒人エリートランナーに見られる長距離走の高いパフォーマンスは、最大酸素摂取量の大きさだけではなく、より高い酸素摂取量レベルで効率よく走り続けられることによる（Larsen, 2003; Lucia et al., 2006）とされるが、その大きな要因の一つは間違いなくこのSSC運動、特にカンガルーにみられるような腱組織の働きによるものであると考えられる。

4. 長距離ランナーに対するプライオメトリックトレーニング

我々は、走のエネルギー効率を高めるため、長距離ランナーに対してプライオメトリックトレーニングを通常の練習と並行して行った（未発表資料）。その方法は、縦に並べたミニハードルを連続して2分間、往復しながら両脚でジャンプしていくというものである。トレーニング後、被験者の多くは自己記録を更新したが、以下に示すいくつかの点で考慮すべき問題がみられた。

①筋痛がまず体幹の筋群に現れたこと

ジャンプトレーニングによって最初に現れた筋痛は体幹の筋群であった。長距離ランナーに腹部圧迫ベルトを装着すると、SSC能力やランニング効率が向上するという報告（宮脇ら, 2012）にもみられるように、この結果は長距離ランナーの体幹の筋群の弱さ、すなわち体軸のブレによるものと考えられる。したがって、長距離ランナーは、ジャンプ系の高強度トレーニングを行う前提として、より強い体幹を作り、体軸をしっかりとさせることが、その効果を得る上で重要であると考えられる。

②腱組織の弾性を利用したランニングを日常的に行っていないと考えられること

長距離ランナーは、ジャンプトレーニングを苦手としている傾向がある。また、ランニング中、できるだけ弾まない（躍動感のない）走りをする傾向にある（図1）。10000mレース中の足関節の動きを見ても、日本人トップランナーは、ケニア人ランナーと比較して、より小さな足関節角度（背屈位）で踵から着地し、接地期前半に生じる足関節の屈曲よりも接地期後半により大きく足関節を伸展して走る、すなわちより大きく蹴り出して走る傾向にあった（小木曾ら, 2013）。これは、足部の中盤から前方で着地し、接地前半の屈曲量と後半の伸展量の差が小さいSSC的な動きのケニア人ランナーとは大きく異なる（図2）。豚を用いた実験では、持続的なランニングが伸筋群の腱組織の大きさやコラーゲン量を増加させる一方、屈筋群の腱組織にはそのような変化を引き起こさなかったことが観察されている（Woo et al., 1980）。したがって、日本人ランナーがもつこのような足関節の動きの特徴も、地面を強く蹴り出して走っている日々の練習の結果である可能性が高いと考えられる。

実際、我々が簡易的に行った腱組織の柔軟性（コンプライアンス）の調査でも、子どもは腱組織が非常に柔らかく、その後、成人に向けてその柔軟性が小さくなっていくものの、競技を行っている長距離ランナーはそれにより顕著になることが示された（図3）。これは、骨格成熟前の腱は粘性が高く、柔らかい（Frank, 1996）といった報告や長距離走者の筋腱複合体の柔軟性は低く、弾性エネルギーの貯蔵能力も低い（Kubo et al., 2000）といった報告と一致する。しかし、子ども達が自由にのびのびと走り回っていることや若齢マウスではランニングがアキレス腱の乾質量を増加させる（Kiiskinen, 1977）こと、そして自分自身でランニングを行っている市民ランナーは、同年齢の人に比べ、逆にその腱組織の柔軟性が高いことなどから、競技を行っているランナーは、そのトレーニングによって、彼らのもつ腱組織の柔軟性が奪われている可能性が高い。柔軟性のない腱は、その筋腱複合体（MTC）全体の力発揮を大きくすることにはつながらない（Loren and Lieber, 1995）。したがって、いかに柔軟性のある腱組織をトレーニングの中で手に入れていくか

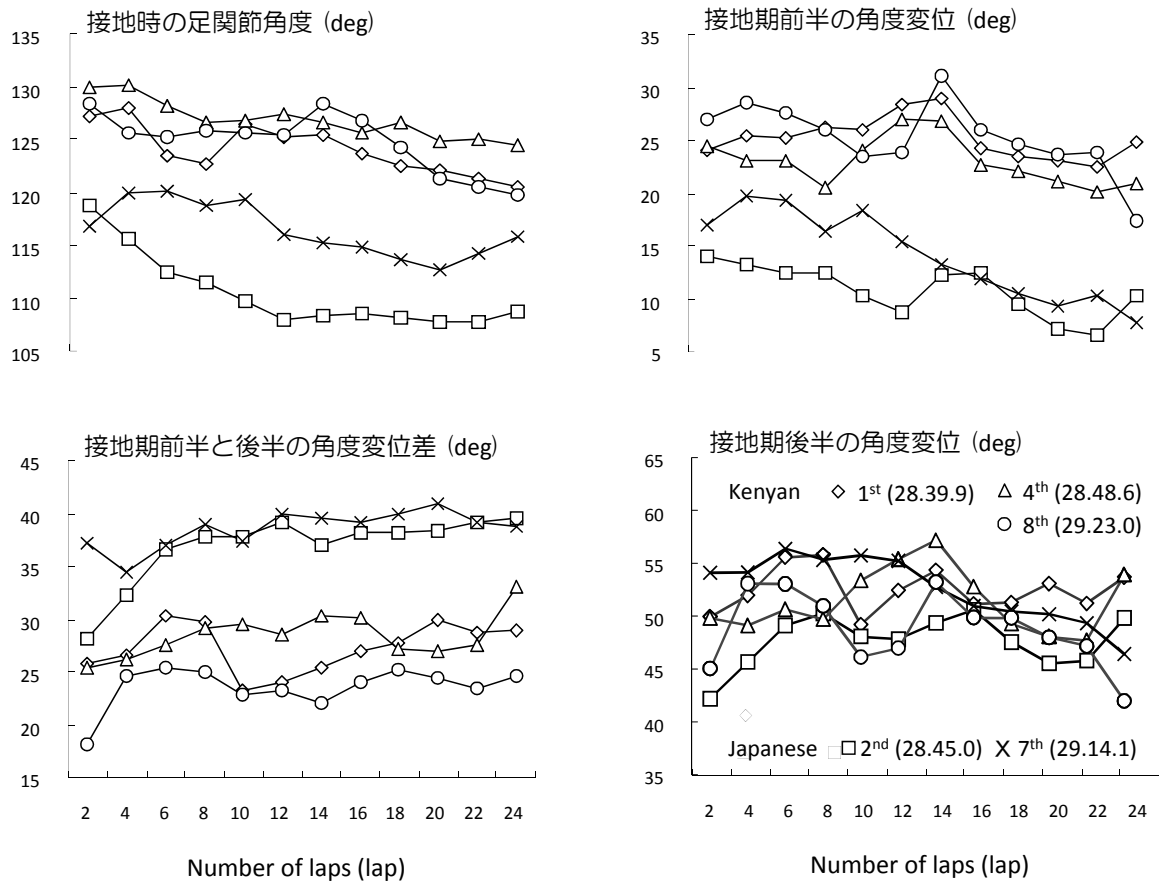


図1. 10000 mレース中の接地時における足関節角度の変化 (小木曾ら, 2013)

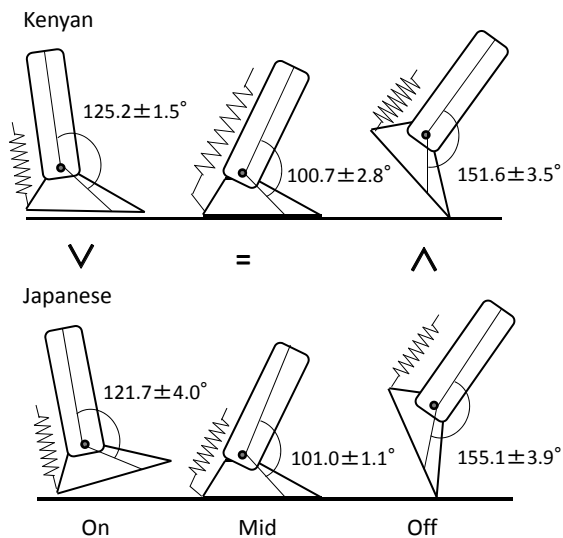


図2. 10000 mレース中の接地時における足関節動作 (小木曾ら, 2013)

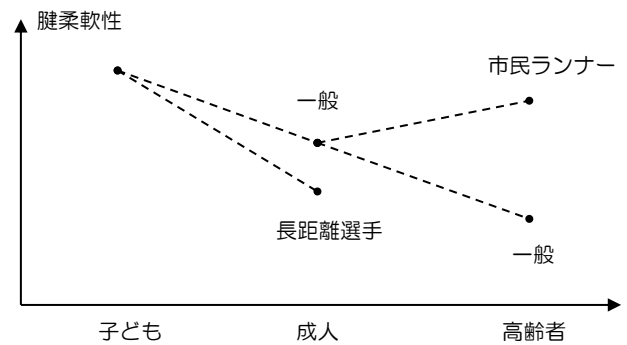


図3. 加齢に伴うアキレス腱の柔軟性の変化 (概略図)

は、長距離ランナーにとって重要な課題になる。

③腱組織のトレーニング効果が加齢とともに低下する可能性があること

MTC 伸張の個人差は、筋伸長の個人差よりも腱伸長の個人差に大きく影響される (川上ら, 2007)。したがっ

て、MTC の柔軟性や SSC 運動のパフォーマンスは、腱組織の機能に大きく左右されられると考えられる。しかし、腱組織は、加齢とともに、コラーゲンのクロスリンクが強固となり、硬くかつその張力が低下して裂けやすくなる (中嶋, 1993) とともに、腱組織の伸展性が低下し、ヒステリシスが増加することで、SSC 運動における弾性エネルギーの再利用機能も低下してしまう (久保, 2002)。老齢マウスでは、ランニングや随意運動が結合組織を中心に存在するグリコサミノグリカン (水を捉える力が強いタンパク質と結合した形で存在する多糖類) の加齢に伴う減少をスローダウンさせる (Vailas et al,

1985; Viidik 1979) ことが報告されているが、腱組織と加齢に関する多くの知見は、腱組織の機能向上を効率よく果たすためには、若いうちから腱組織を用いた動きやトレーニングを行う必要性を示唆している。

④筋と腱組織が同時に伸張され、弾性要素を効果的に使えないこと

歩行運動では、筋長をある程度一定に保ち、腱組織の伸縮による反動を利用することで、効率の良い動作が可能となる (Fukunaga et al., 2001)。特に、最も大きな力を発揮できる至適長付近で等尺性収縮をしながら、腱組織の弾性を使うことができれば、非常に大きな力を効率よく発揮することができる (図4)。しかし、ランニングやジャンプなど、MTC に作用する力は、非常に大きいため、筋と腱組織が同時に引き伸ばされてしまい、大きな力を発揮することが難しくなってしまうことも多い (Ikegawa et al., 1999)。経験的に、長距離ランナーは、腱組織の弾性を生かすような MTC の使い方が得意ではなく、筋と腱組織が同時に伸ばされる「つぶれた」着地をし、その後、一生懸命、筋を短縮させて跳ぼうとすることが多い (小木曽ら, 2013)。

これらのことから、至適長付近で等尺性収縮をし、腱組織の弾性を使う走りをするためには、早い段階から体幹を鍛えるとともに、適度な強度でプライオメトリックスなどのジャンプ系のトレーニングを取り入れ、腱組織を有効に使う身体の使い方を練習することが重要となる。しかし、腱組織を有効に使うには、それ相応の技術が必要となることは言うまでもない。

5. 電気刺激を用いたジャンプ

「至適長付近で等尺性収縮をしながら、腱組織の伸縮による弾性を使う」動きを習得し、大きな力を効率よく生み出すためにはどうすべきか、という課題に対し、「電気刺激を与えられながらのジャンプ」はその有効な1つの解決法となり得るかもしれない。

電気刺激による筋活動は、随意収縮時に見られる「サイズの原理」とは異なり、大きな力を素早く発揮できる速筋線維が低強度から動員される (Kubiak et al., 1987) もしくは筋線維タイプに依存せず動員される (Gregory and Bickel, 2005) ことがわかっている。このことは、跳躍時に作用する大きな外力に対して、筋が等尺性状態を維持しやすいことを示唆する。実際、電気刺激時には、筋が収縮し、その筋腱移行部が中枢側に移動する、すなわち腱組織が伸張されることが確認されている (川上, 2003, 2006; 瀧下ら, 2015)。

そこで、我々は、跳躍時に重要な役割を果たす下腿三頭筋に経皮的電気刺激を与えながらその場で両脚ジャンプを行う実験を行った (長岡ら, 2016)。下腿三頭筋に与えた電気刺激は、足関節 90 度での最大随意等尺性足底屈力 (MVIC) の 20% とし、その周波数は 20Hz もしくは 60Hz に設定した。その結果、跳躍高は、電気刺激なしの場合と 20Hz の電気刺激時には差が見られなかったものの、60Hz 時には有意に低下するという結果を得た。また、被験者からは、20Hz の電気刺激時に、電気刺激なしの場合よりジャンプを「軽く」感じ、同じ場所でジャンプする難しさも電気刺激なしの場合と変わらないという評価を得た。一方、60Hz の場合には、ジャン

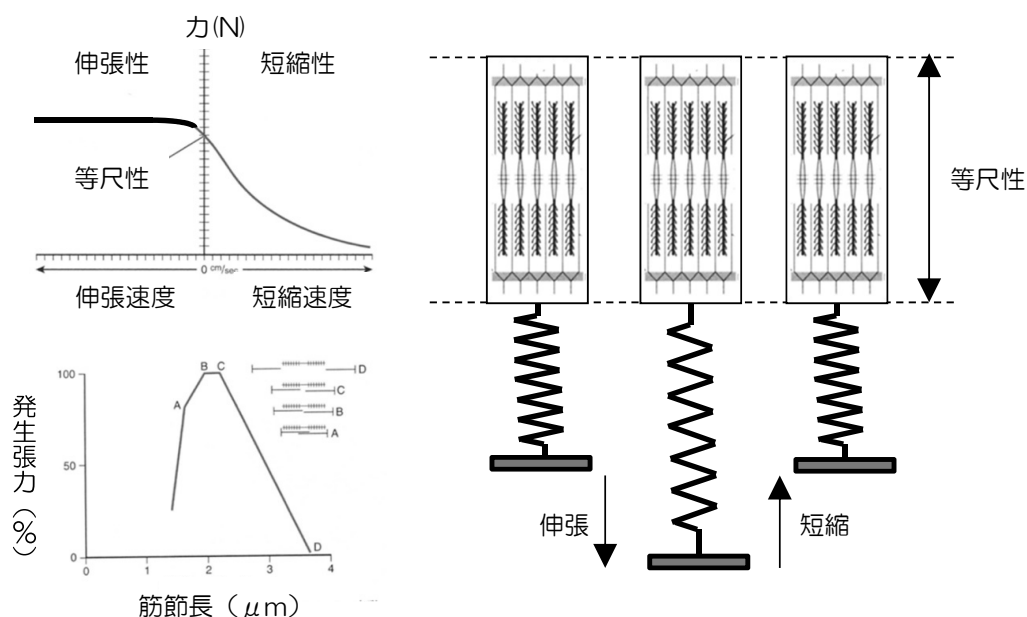


図4. 至適長付近での筋の等尺性収縮と腱組織の伸縮の模式図

プを「軽く」感じることはなく、逆にそのコントロールが難しく感じるという評価になった。

Moritani et al. (1985) は、50Hz 以上になるような高い刺激頻度では、high frequency fatigue と言われる筋膜電位の伝達欠損による筋収縮力の急速な低下が生じることを報告している。我々の行った研究でも、60Hz ではその刺激頻度が高すぎ、筋収縮をうまくコントロールできなかったため、ジャンプが安定せず、跳躍高も低下し、ジャンプを「軽く」感じることもなかったと考えられる。逆に 20Hz での電気刺激では、適度な筋収縮を生み出し、腱組織の十分な伸張と短縮を導いたため、ジャンプを「軽く」感じたと推測された。

下腿三頭筋に 20Hz もしくは 60Hz の経皮的電気刺激を付加したこのようなジャンプは、その腓腹筋遠位部の筋腱移行部に強い筋痛を生じさせた。ジャンプは、100%の努力度合いでのジャンプとその 50%の跳躍高を

発揮するジャンプ、電気刺激の有無、そして 20Hz と 60Hz の刺激頻度という計 6 種類の条件で、十分な間隔においてそれぞれ 10 回連続で行っただけである。それにもかかわらず、実験後、ダッシュや急な方向転換などで肉離れが好発する筋腱移行部で強い筋痛が生じたことは、この部分が筋腱複合体の弾性に関して、何かしらの重要な役割を果たしていることを示唆するだろう。

6. 電気刺激を用いたジャンプトレーニング

電気刺激を付加したジャンプの特徴から、我々は週 3 回、3 週間にわたる 20Hz の経皮的電気刺激を用いた 10 回連続両脚ジャンプのトレーニングを行った（未発表資料）。電気刺激を付加したグループは、トレーニング後、生じることが予想される筋痛を抑えるため、最初は軽い負荷（10% MVIC）から始め、3 週目に 20% MVIC までその負荷を増加させた。

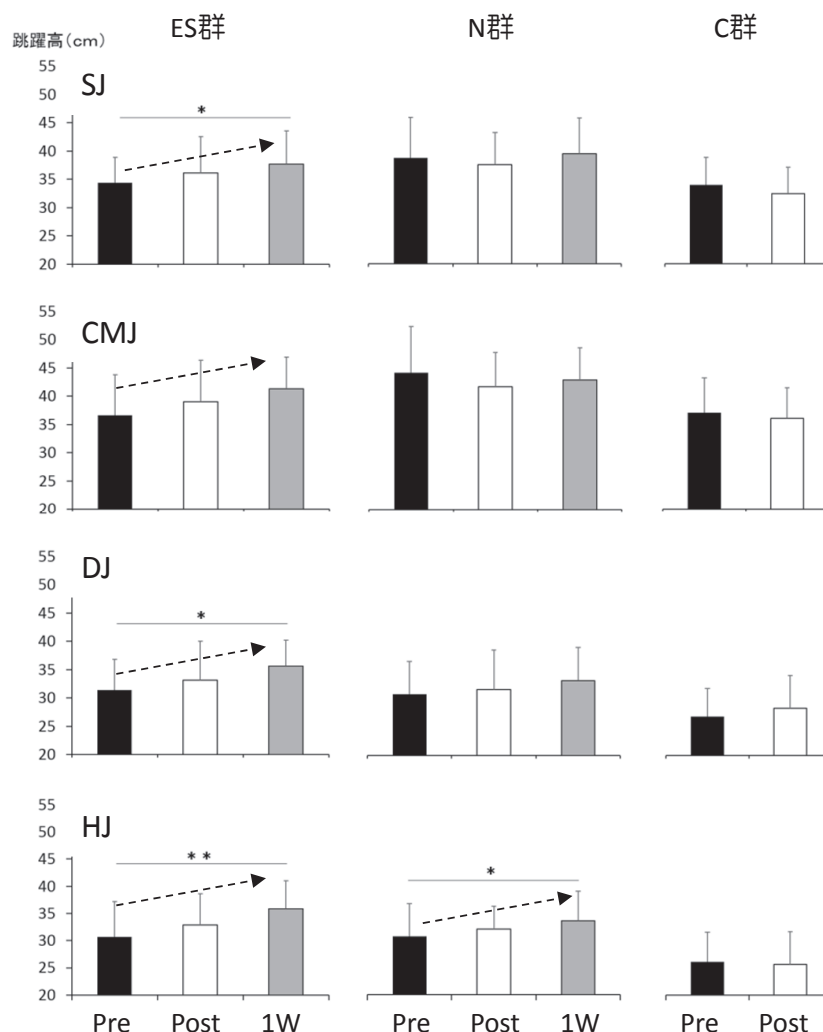


図 5. ジャンプトレーニング後の各種ジャンプの跳躍高の変化。
ES 群：電気刺激を 下腿三頭筋に付加した群、N 群：電気刺激を付加しない群、C 群：コントロール群。
Pre：トレーニング前、Post：トレーニング終了後、1W：トレーニング終了 1 週間後。

その結果、電気刺激を付加しなかったグループでは、トレーニングと同様な様式の連続両脚ジャンプでのみ、その跳躍高が有意に向上したが、電気刺激を付加したグループでは、トレーニングと同じ連続両脚ジャンプに加え、スクワットジャンプ、カウンタームーブメントジャンプ、ドロップジャンプなど、トレーニングとは異なる様式のジャンプにおいてもその跳躍高が有意に向上することが示された。また、トレーニング期間終了1週間後には、電気刺激を付加したグループでのみ、ジャンプを有意に「軽く」感じることも示された。

このようなジャンプの「軽さ」は、トレーニングによるアキレス腱硬度の変化によって引き起こされると予想していたが、アキレス腱硬度は増加する傾向は示したものの、有意な変化は示さなかった。一方、腓腹筋遠位部の筋腱移行部には、やはり強い筋痛が生じることとなった。腱組織は、他の組織に比べ、トレーニングに適應する時間がより長く必要とされるため (Barfred, 1971), 3週間のトレーニングでは腱組織を変化させるまでには至らなかったことが考えられる。しかし、適度な筋のダメージが筋の機能を向上させること (Engler et al., 2004) を考え合わせると、トレーニング初期には、まず筋腱移行部に変化が生じ、筋線維と腱組織の融合が強固になった後、腱組織の変化が生じてくることも考えられるかもしれない。したがって、より長い期間にわたるトレーニングを今後は追跡していく必要があるだろう。

7. 長距離走のパフォーマンスに電気刺激を用いたジャンプトレーニングは貢献できるか

長距離走では、カンガルーのように筋収縮によるエネルギーをできる限り使わず、受動的に引き出される腱組織の反動を利用した走りが理想的である。そのため、接地時には、筋を至適長付近で等尺性収縮させ、腱組織の伸縮が効果的に利用できるよう MTC を機能させることが必要となる。しかし、ランニング中、接地による衝撃等を受け止め、その後利用することは非常に難しい。電気刺激を利用したジャンプトレーニングは、それらを解決する一つの有効な方法となるかもしれない。しかし、トレーニング時にみられる筋腱移行部の強い筋痛など、考慮しなければならない点もいくつかみられる。今後は、長距離ランナーにこのようなトレーニングを実際に行わせることで、ランニング効率が向上するかなどを確かめるとともに、電気刺激の強度やジャンプの努力度合いなど、効果的なトレーニング条件を調べていく必要があるだろう。

参考文献

Barfred T. (1971) Experimental rupture of the Achilles tendon. Comparison of various types of experimental

- rupture in rats. *Acta Orthop. Scand.* 42: 528-543.
- Bishop, D.J., Granata, C., Eynon, N. (2014) Can we optimise the exercise training prescription to maximise improvements in mitochondria function and content? *Biochim. Biophys. Acta* 1840(4): 1266-1275.
- Cavagna, G.A., Dusman, B., and R Margaria, R. (1968) Positive work done by a previously stretched muscle. *J. Appl. Physiol.* 24(1): 21-32.
- Conley, D.L., and Krahenbuhl, G.S. (1980) Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 12(5): 357-360.
- Creer, A.R., Ricard, M.D., Conlee, R.K., Hoyt, G.L., Parcell, A.C. (2004) Neural, metabolic, and performance adaptations to four weeks of high intensity sprint-interval training in trained cyclists. *Int. J. Sports Med.* 25: 92-98.
- Engler, A.J., Griffin, M.A., Sen, S., Bönnemann, C.G., Sweeney, H.L., Discher, D.E. (2004) Myotubes differentiate optimally on substrates with tissue-like stiffness: pathological implications for soft or stiff microenvironments. *J. Cell. Biol.* 166: 877-887.
- Frank, C.B. (1996) Ligament injuries: pathophysiology and healing. In: Zachazewski, J.E., Magee, D.J., Quillen, W.S. (Eds) *Athletic injuries and rehabilitation*. WB Saunders: Philadelphia, pp.9-26.
- Fukunaga, T., Kubo, K., Kawakami, Y., Fukashiro, S., Kanehisa, H., and Magnaris, N. (2001) In vivo behavior of human muscle tendon during walking. *Proc. R. Soc. Lond. B* 268: 229-233.
- Gibala, M.J., Little, J.P., MacDonald, M.J., Hawley, J.A. (2012) Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *J. Physiol.* 590(5): 1077-1084.
- Gregory, C.M., and Bickel, C.S. (2005) Recruitment patterns in human skeletal muscle during electrical stimulation. *Phys. Ther.* 85 (4): 358-364.
- Ikegawa, S., Taija, F., and Komi P.V. (1999) Measurement of fascicle length and angle changes with ultrasound. In: Kyröläinen, H., Avela, J., Takala, T. (Eds.) *Limiting Factors of Human Neuromuscular Performance*. University of Jyväskylä: Jyväskylä, pp.63-64.
- Kubiak, R.J., Whitman, K.M., and Johnston, R.M. (1987) Changes in quadriceps femoris muscle strength using isometric exercise versus electrical stimulation. *J. Orthop. Sport. Phys. Ther.* 8: 537-541.
- 久保啓太郎・神崎素樹・金久博昭・福永哲夫 (2002) レジスタンストレーニングが中高齢女性の腱組織の粘弾性に及ぼす影響. 第 53 回日本体育学会大会号 : 303.
- 川上泰雄 (2003) 運動中の筋線維収縮動態. *バイオメカニズム学会誌*, 27(2) : 67-71.

- 川上泰雄 (2006) 筋活動における筋腱複合体のふるまい。学術の動向, 11(10): 28-31.
- 川上泰雄・加藤えみか・福永哲夫 (2007) 人間の筋腱特性の性差および加齢変化。人間科学研究, 20: 201.
- Komi, P.V. (2000) Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *J. Biomech.* 33: 1197-1206.
- Kubo, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y., Fukunaga, T. (2000) Elastic properties of muscle-tendon complex in long-distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.* 81(3): 181-187.
- Larsen, H.B. (2003) Kenyan dominance in distance running. *Comp. Biochem. Physiol. A Mol. Integr. Physiol.* 136: 161-170.
- Loren, G.J., Lieber, R.L. (1995) Tendon biomechanical properties enhance human wrist muscle specialization. *J. Biomech.* 28(7): 791-799.
- Lucia, A., Esteve-Lanao, J., Oliva'n, J., Gomez-Gallego, F., SanJuan, A.F., Santiago, C., Perez, M., Chamorro, C., Foster C. (2006) Physiological characteristics of the best Eritrean runners—exceptional running economy. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 31: 1-11.
- Milanovic, Z. (2015) Effectiveness of High-Intensity Interval Training (HIT) and Continuous Endurance Training for VO₂max Improvements: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Trials. *Sports Med.* 45(10): 1469-1481.
- 宮脇悠伍・山本正嘉 (2012) 腹部圧迫ベルトの装着が陸上競技長距離走選手の stretch shortening cycle (SSC) 能力および running economy (RE) に及ぼす効果。スポーツパフォーマンス研究, 4: 93-104.
- Morgan, D.L. (1977) Separation of active and passive components of short-range stiffness of muscle. *Am. J. Physiol.* 232(1): 45-49.
- Morgan, D.L., Proske, U., Warren, D. (1978) Measurements of muscle stiffness and the mechanism of elastic storage of energy in hopping kangaroos. *J. Physiol.* 282: 253-261.
- 長岡大地・竹中 睦・瀧下 渡・小木曾一之 (2016) 跳躍中の下腿三頭筋への電気刺激がそのパフォーマンスに及ぼす影響。トレーニング科学, 27(1): 47-54.
- 中嶋寛之 (1993) 過労性スポーツ障害。体力科学, 42: 93-97.
- Nummela, A.T., Paavolainen, L.M., Sharwood, K.A., Lambert, M.I., Noakes, T.D., Rusko, H.K. (2006) Neuromuscular factors determining 5 km running performance and running economy in well-trained athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 97: 1-8.
- 小木曾一之・尾縣貢・安井年文・青山清英・大山圭吾 (2013) ケニア人長距離ランナーに見られる筋腱複合体の特性。日本陸上競技学会第12回大会。24.
- 小木曾一之・安井年文・青山清英・渡辺健二 (1998) 全力疾走時の速度変化に伴う支持脚各部の機能の変化。体力科学, 47(1): 143-154.
- 岡田英孝 (2001) 動作の特徴—バイオメカニクスの視点から (特集 高齢者の健康を考える)。保健の科学, 43(6): 438-444.
- Paavolainen, L., Häkkinen, K., Härmäläinen, I., Nummela, A., and Rusko, H. (1999) Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J. Appl. Physiol.* 86(5): 127-1533.
- Phillips, S.J., Roberts, E.M., and Huang, T.C. (1983) Quantification of intersegmental reactions during rapid swing motion. *J. Biomech.* 16(6): 411-417.
- Spurrs, R.W., Murphy, A.J., and Watsford, M.L. (2003) The effect of plyometric training on distance running performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 89(1): 1-7.
- 瀧下 渡・小木曾一之 (2015) 収縮時の筋動態からみた関節角度—トルク関係。理学療法科学, 30(6): 803-809.
- 山地啓司・池田岳子・横山泰行・松井秀治 (1990) 最大酸素摂取量から陸上中長距離走, マラソンレースの競技記録を占うことは可能か。ランニング学研究, 1(1): 7-14.
- Vailas, A.C., Pedrini, V.A., Pedrini-Mille, A., Holloszy, J.O. (1985) Patellar tendon matrix changes associated with aging and voluntary exercise. *J. Appl. Physiol.* 58(5): 1572-1576.
- Van Ingen Schenau, G.J. (1989) From rotation to translation: Constraints on multi-joint movements and the unique action of bi-articular muscles. *Hum. Mov. Sci.* 8(4): 301-337.
- Viidik, A. (1979) Connective tissues—possible implications of the temporal changes for the aging process. *Mech. Aging Dev.* 9: 267-285.
- Woo, S. L.-Y., Ritter, M. A., Amiel, D., Sanders, T. M., Gomez, M. A., Kuei, S. C., Garfin S. R., Akeson, W.H. (1981) The Biomechanical and Biochemical Properties of Swine Tendons — Long Term Effects of Exercise on the Digital Extensors. *Connect. Tissue Res.* 7: 177-183.
- 図子浩二・平田文夫 (1999) 下腿の神経・筋・腱系の状態が長距離走者の競技成績に及ぼす影響。第14回日本バイオメカニクス学会大会論文集。バイオメカニクス研究概論: 172-176.

《パネリストプロフィール》

小木曾 一之（おぎそ かずゆき）

1966 年愛知県生まれ

皇學館大学教育学部

学 位：Ph.D (Sport Sciences)

最終学歴：ユバスキュラ大学大学院

研究テーマ：神経筋システムの適応

社会的活動：日本スプリント学会理事ほか

指導歴：2016 日本学生個人選手権・男子走高跳 7 位

2016 日本インカレ・男子十種競技 8 位

2016 日本ジュニア・男子砲丸投 3 位 ほか

シンポジウム①

「リオオリンピックでの医科学サポートの実際」

パネリスト 蒲原 一之（国立スポーツ科学センター）
小林 海（日本スポーツ振興センター）
三浦 康二（成蹊大学）
コーディネーター 木越 清信（筑波大学）

ハイパフォーマンスサポート・センター～ベストパフォーマンス発揮のために～

蒲原一之（国立スポーツ科学センター）

1. はじめに

オリンピックなどの大規模な国際総合競技大会においては、選手村が設営され、各国の選手団は選手、スタッフも含め、大会期間中はこの選手村に入村し、生活することが多い。選手村内には居室はもちろん、食堂、売店（スーパーマーケットやコンビニエンスストア）、理髪店、ランドリー、トレーニング設備なども設営され、日常生活に不自由しないよう考慮される。また、リラックス目的のためにゲームコーナーなどが設けられることも多く、食堂ではさまざまな種類の料理が提供されるよう配慮されていることが多い。

しかしながら、居室は通常相部屋で、風呂にはシャワーのみで浴槽がないことも多く、食堂での食事にも口に合わないなど、日本での通常の生活様式とは大きく異なる環境に身を置かねばならないことになる。ストレスが多いこのような環境の中でも、選手はベストパフォーマンスを発揮することを求められる。

そこで、選手村外に日本選手団としての拠点を設け、選手がベストパフォーマンスを発揮できるようにスポーツ医・科学、心理学、生理学、栄養学、情報戦略などのさまざまな支援を行うことを目的とした文部科学省の『チーム「ニッポン」マルチサポート事業』が 2008 年度から始まった¹⁾。

2016 年のリオデジャネイロ五輪においてもこの流れを受け、スポーツ庁委託事業『ハイパフォーマンスサポート事業』を日本スポーツ振興センターが受託し、選手村外に日本選手団の支援拠点となる「ハイパフォーマンスサポート・センター（旧マルチサポートハウス）」を設置した（図 1）。

今回のハイパフォーマンスサポート・センター（以下 HPSC）は、リオデジャネイロにある会員制スポーツクラブ「オアシスクラブ」の施設を借りて、利用しやすいように必要に応じて改修工事を行って使用した。選手村

- ・ オリンピック競技・パラリンピック競技を対象に、我が国のトップアスリートが世界の強豪国に競り勝ち、確実にメダルを獲得することができるよう、メダル獲得が期待される競技をターゲットとして、アスリート支援や研究開発について、多方面から専門的かつ高度な支援を戦略的・包括的に実施する。
- ・ 2016年リオデジャネイロオリンピック・パラリンピック競技大会において、競技直前の準備のためにアスリート、コーチ、サポートスタッフが必要とする機能（リカバリーやコンディショニング機能に重点化）を選択できる拠点（ハイパフォーマンスサポート・センター）を設置する。

図 1. ハイパフォーマンスサポート事業の概要（スポーツ庁委託事業）

からはやや離れており、車で 30 分程度かかる場所に位置していたため、シャトルバスを 30 分間隔で運行した。HPSC においては、日本から管理栄養士や調理師が帯同して、食堂（写真 1）で日本食を提供したり、医師、看護師、理学療法士なども帯同して診療、ケア、心理サポートやリラクゼーションスペース（写真 2）の提供などを行ったりした。このように HPSC は日本代表選手（陸上競技選手団に限らず、他の競技の代表選手も対象）に対して、可能な限り日本において受けられるサービスと同様のサービスを提供し、選手がベストパフォーマンス



写真 1. HPSC・食堂内部



写真2. HPSC・リラックススペース

を発揮できるようにサポートしようとするものである。

2016年のリオデジャネイロ五輪においては、日本との時差が12時間あり、季節も逆であるという問題があった。そこで、陸上競技選手団としては、時差調整を主目的とした事前合宿を、医師、トレーナー帯同の上でアメリカ合衆国ニュージャージー州プリンストンにて行った。また、リオでは選手村外に設けられた日本選手団としての拠点（ハイパフォーマンスサポート・センター）も活用し、選手がベストパフォーマンスを発揮できるようにさまざまなサポートを行った。リオデジャネイロオリンピックにおいて、選手がベストパフォーマンスを発揮するための障壁とその対策について図2に示す。

2. 陸上競技選手団としての事前メディカルサポート

陸上競技選手団では、オリンピック代表選手が決まる前の代表候補選手の合宿の段階から、医師およびトレーナーが合宿に帯同し、アスリートの体調や外傷・障害の把握に努め、コンディションが向上するようにサポートを行った。2016年2月から3月にかけての合宿では、合宿中に発生した障害や、インフルエンザ、ノロウイルス感染症に対して対応した。

リオデジャネイロ五輪直前の8月初旬には、時差調整を主目的として事前合宿をアメリカ合衆国ニュージャージー

州プリンストンにて行い、医師2名と代表トレーナー3名がメディカルスタッフとして選手団に帯同した。

プリンストンはリオデジャネイロとの時差が1.5時間である。北半球にあるため、南半球にあるリオデジャネイロとは季節は逆であるが、8月上旬の気温などは似かよっている。その一方で、リオデジャネイロとは異なり治安が比較的良好で、ロードも含めたトレーニング環境、宿泊環境も整っていたようである（写真3、写真4）。

選手はこのような素晴らしい環境のもとでメディカルスタッフのサポートを受けながらトレーニング、調整を行ってから、リオデジャネイロに乗り込んだ。

3. HPSCにおけるメディカルサポート

さまざまなサポートを行うHPSCの中にあって、メディカルサポートとしては以下のサービスを提供した。

①選手のコンディション相談、診療

選手が体調を崩した場合には、基本的には選手村内で日本選手団帯同ドクターの診療を受けることになり、HPSCではコンディションに関する相談が中心となるが、都合により選手村内での受診ができない場合などはHPSCにて診療を行った（写真5）。

②スタッフに対する診療

選手をサポートするコーチやトレーナー等のスタッフも、過密なスケジュールや慣れない環境によって体調を

プリンストン大学トレーニングエリア①

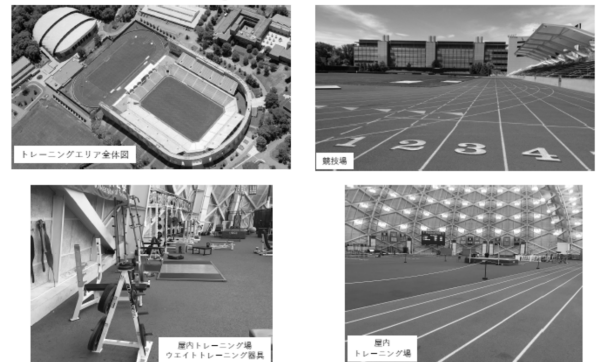


写真3. 練習場ープリンストン大学ー



写真4. 宿泊地

障壁	対策
・時差が12時間(昼夜が真逆) ・季節が逆 ・治安が悪い ・医療サービスを受けにくい ・選手村での生活	- 時差調整が必要 - インフルエンザ対策 - 練習環境の整備 - ドクター、トレーナー帯同
↓ ・食事が口に合わない ・風呂に浴槽がない ・リラックスできない ・洗濯が心配	- 日本食の提供 - 浴槽の提供 - リラックスできる空間の提供 - ランドリーの提供

図2. リオ五輪において選手がベストパフォーマンスを発揮するための障壁とその対策



写真5. HPSC・仮設の診察室

崩す場合も多く、これらスタッフに対する診療も行うことがHPSCにおけるメディカルサポートの大きな役割の一つである。HPSCでは主として村外スタッフに対する診療を行った。

③リハビリテーション・コンディショニングケアの実施

HPSC内に日本から持ち込んだマッサージベッドや理学療法機器を配置し、各競技団体に対して場所と機材の提供を行った(写真6)。必要に応じてHPSC内のトレーナーも施術を行った。また、施設内に元々あったジャグジーを利用して炭酸泉を、日本から持ち込んだ簡易プールを用いてアイスバスを作り、交替浴ができるようにした(写真7)。

④選手村メディカルへの人員サポート

選手村内の日本選手団本部医務室には、日本から医師が4名とアスレティックトレーナーが2名帯同していたが、試合が始まると各競技会場にサポートに出かけることが多かったため、HPSCから医師やアスレティックトレーナーが本部医務室にサポートに入り、選手の診療やケアを行った。

⑤居場所情報更新のための場所の提供

選手が居場所情報の変更や更新ができるよう、パソコンを設置したスペースを提供し、入力サポートを行った。

また今回の開催地であるリオデジャネイロは、日本からみて地球のほぼ裏側に当たるため、次のことが懸念さ



写真6. HPSC・マッサージベッドと理学療法機器



写真7. HPSC・炭酸泉とアイスバス

れた。すなわち、(A) 季節が日本とは逆の冬であり、インフルエンザ等の感染症に罹患するリスクが高まる (B) 日本との時差が12時間であり、昼夜が真逆になるため、睡眠障害や時差ぼけに悩まされる可能性がある (C) 大会前に問題になっていた、ジカ熱等の蚊媒介感染症に感染するリスクがある、といった点である。

これらに対する対策として、(A) に対してはHPSCのスタッフのほぼ全員が6月頃にインフルエンザの予防接種を受けてから渡航した。(B) に対しては睡眠導入剤を多めに持参した。(C) に対してはスタッフ各人に事前に虫よけ剤を配布し、現地に持参して使用してもらった。また現地では、HPSC敷地内に週3回殺虫剤を散布し、できるだけ肌の露出が少ない格好をするよう促した。

4. HPSCにおける診療報告

HPSCはオリンピックの選手村開村日の7月24日から閉会式当日の8月21日まで開設した。日ごとの受診者数を図3に示す。開会式より前は受診者が少なく、開会式前後と閉会式前後で比較受診者が多かった。

次に診療内容に関して、選手、スタッフそれぞれの受診者数の割合と、それぞれの受診について内科系疾患と外科系疾患に分けた場合の受診件数を図4に示す。受診者数の割合は選手が27%であり、スタッフの中でも各競技団体(NF)のスタッフよりもHPSCのスタッフの受診が多かった。選手の受診内容は内科系、外科系がほぼ半々であったのに対し、スタッフの受診内容は内科系の方が多かった。

また診療内容に関して、内科系、外科系それぞれの診療件数を表1に示す。内科系では風邪症状が12件と多く、次いで皮膚症状であり、皮膚症状は虫刺されを含めると8件であった。外科系の受診者を部位別にみると、手指が5件と最も多かったが、これはスタッフが作業中に切創や擦過創を負うといった軽微なものが多かった。

虫刺されによる受診者3名のうち、2名は蚊に刺されたというものであったが、幸いジカ熱等の蚊媒介感染症

29日間で49件(≒1.7件/日)

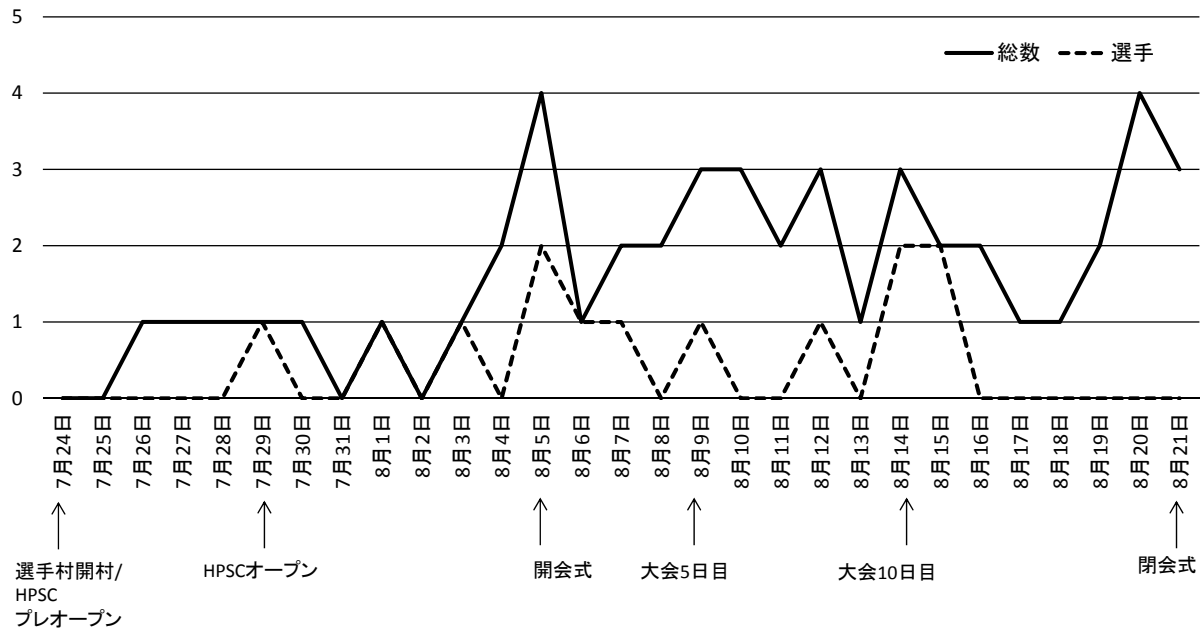
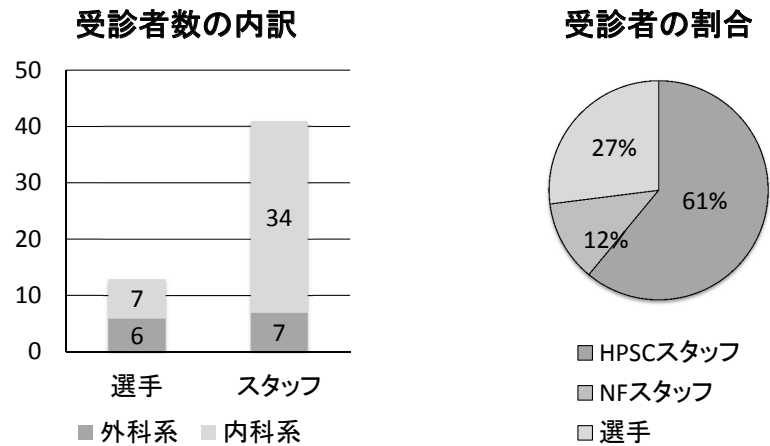


図 3. HPSC・診察室の受診者数



* 代表選手の練習パートナーは、選手に含めた

図 4. 受診者の内訳

表 1. 診療内容の内訳 (件数)

内科系		外科系	
風邪症状	12	手指	5
皮膚症状(虫刺症以外)	5	眼	2
扁桃炎	4	足部、足趾	2
虫刺症	3	下顎	1
アレルギー性鼻炎、咳	3	外耳	1
消化器症状	3	上肢	1
気管支喘息	2	胸部	1
頭痛	2	外科系合計	13
中耳炎	1		
尿管結石	1		
内科系合計	36		

を発症した者はいなかった。また、インフルエンザに関しても、HPSC利用者およびスタッフには発症者はいなかった。不眠や時差ぼけに関しても、各自対策を立てたものとみえて、受診者はいなかった。

5. 2020 東京オリンピックに向けて

2020 東京オリンピックは、今回のリオデジャネイロのように時差調整の必要もないし、季節が逆ということもない。その分、地の利をいかすべく十分な対策を練る必要があろう。今回のリオデジャネイロオリンピックでのサポート経験を踏まえて、2020 東京オリンピックに向けての課題を考えてみる。

陸上競技選手団として重要となるのは、パフォーマンス発揮に障害となる外傷・障害や内科的問題の予防および早期発見と介入であるが、これには普段からサポートしているパーソナルコーチやパーソナルトレーナーと、代表スタッフとのより密な連携が望まれる（図5）。

HPSC の課題としては、HPSC を東京でも開設するのか、開設するとしたら既存の施設を利用するのか、臨時の施設を新たに開設するのか。新たに開設するとしたら場所はどこにするのか。選手やスタッフの輸送はどうするのか。スタッフの人員配置をどうするのか、つまり誰を何の担当にするのかについて、早めに決めて準備していく必要があろう（図6）。



図 5. 2020 年に向けてのメディカルサポートの課題 (1)



図 6. 2020 年に向けてのメディカルサポートの課題 (2)

6. 所感

リオデジャネイロオリンピックにおける HPSC に関して、選手村から遠く、シャトルバスで片道 30 分程度かかるアクセスの悪さが最大の難点であった。また、日本と異なり停電になることがしばしばあり、一旦停電になるとなかなか復旧しないといった問題もあった。そのような問題はあったものの、利用者の評判は上々であり、多くの選手やスタッフに利用してもらった。

選手がベストパフォーマンスを発揮するための手助けが少しはできたのではないかと考えているが、振り返ってみると、選手団本部メディカルスタッフや JOC、NF、HPSC 内の他の部署のスタッフと協力して円滑に業務を遂行することが重要であることは言うまでもないが、それに加えてスタッフにインフルエンザの予防接種を行っていたことや、ジカ熱対策に関して熟考して実施したことなど、準備が大切であったと改めて感じた。

7. おわりに

リオデジャネイロオリンピックにおいて、選手がベストパフォーマンスを発揮できるように、日本にいる時と同様にあらゆる方面からサポートすることを目的としたハイパフォーマンスサポート・センターのメディカルスタッフの一員として参加させていただいた。

共に選手のサポートに関わった多くのスタッフと、日本陸上競技連盟のスタッフとして事前合宿に帯同された順天堂大学整形外科の金子晴香先生、今回発表の機会を与えていただいた環太平洋大学教授の前村公彦先生はじめ、日本陸上競技学会関係者の皆様に深謝いたします。

【注】

- 1) 公益財団法人日本オリンピック委員会 (2013) : 第 30 回オリンピック競技大会 (2012 / ロンドン) 日本代表選手団報告書。公益財団法人日本オリンピック委員会 : 東京, pp.142-146.

4 × 100m リレーにおける科学サポートの実際

小林 海（日本スポーツ振興センター）

今夏のリオデジャネイロオリンピックにおいて、男子 4 × 100m リレーでは同種目史上最高位となる銀メダルを獲得することができ、決勝での記録（37.60 秒）はこれまでのアジア記録（37.92 秒 [2015 年当時]）を 0.32 秒上回るものだった。過去 10 年の世界大会（オリンピック、世界選手権）においても、日本は 2008 年に銅メダルを獲得しただけでなく、4 度の入賞を果たしており、これまでの取り組みが今オリンピックでのメダル獲得につながったといえる。

4 × 100m リレーは、4 人の個人タイムが勝敗を決める主な要因であり、近年では上位入賞国の選手の多くが 100m を 9 秒台で走ることができる走力を有している。今回のオリンピックにおける男子短距離の日本代表選手は、これまでの代表選手と比較しても高い走力を有しており、そのことが銀メダル獲得に大きく寄与したことに議論の余地はない。しかし、日本代表選手に 100m のベストタイムが 9 秒台の選手はおらず、個人タイムから判断すると、他国が日本を上回るタイムでゴールする可能性は十分にあり得た。8 月時点での 4 人のシーズンベストタイムの平均値（表 1）では、日本は 4 番目に位置しており、最もタイムの平均値が短かったアメリカとは 0.64 秒の差があった。これらの絶対的な走力差を補うために、バトンの受け渡し区間での円滑なバトンパスが必要であり、そのための技術が 1 つでも順位を上げるための必須条件であった。

2014 年のアジア大会において、中国に当時のアジア記録（37.99 秒）を更新されたことを契機に、日本の 4

表 1

ランキング	国	平均タイム [秒]
1	アメリカ	39.58
2	ジャマイカ	39.60
3	カナダ	40.15
4	トリニダード・トバゴ	40.22
4	日本	40.22
6	イギリス	40.24
7	中国	40.70

× 100m リレーチームはこれまでに取り組んできたアンダーハンドパスを更に改良する試みを行ってきた。特に、利得距離（バトンパス時の 2 選手間の距離）に着目し、アンダーハンドパスの利点である走る動作に近く、精度の高いバトンパスワークに加えて、利得距離を延伸させることで、バトンパスタイムの短縮を意図した練習に取り組んできた。バトンパスの際、これまでは渡し手の選手は受け手の選手と並走し、バトンを渡す練習を行ってきた（図 1 - 左）。それに対して、現在では、渡し手の選手が受け手の選手と並走する前にバトンを渡すことで利得距離の延伸を図っている（図 1 - 右）。加えて、受け手の選手も、身体の真横でバトンを受けるのではなく、身体に対してやや後方でバトンを受けることで利得距離を伸ばす練習を実施した。それらの試みについて、合宿時にはバトン練習時に国立スポーツ科学センターの協力を得て、ハイスピードカメラによりバトンパスの練習映像を撮影し、渡し手と受け手それぞれの走速度を 5m 間隔で算出するとともに、バトンの受け渡し位置の算出や

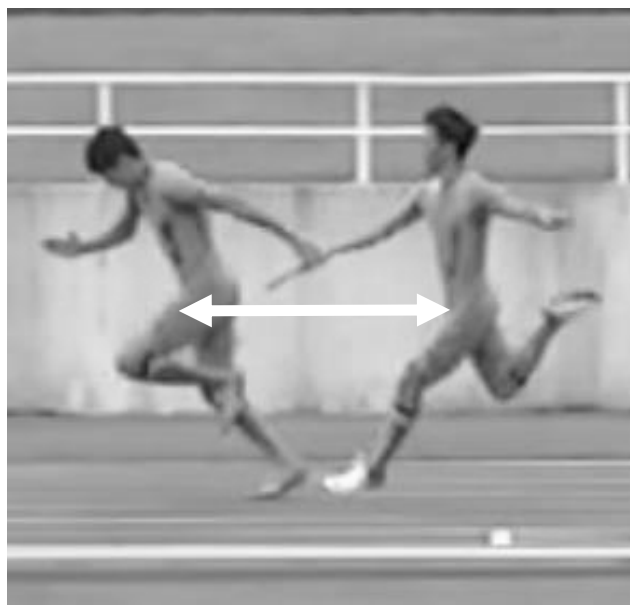


図 1

受け渡し時の静止画を撮影した映像から切り出した。取得したそれらのデータを練習当日のミーティング時にフィードバックし、選手間でお互いの情報を共有することで、バトンパスの精度を高めてきた。

バトンパスは一般的にバトンゾーンの20m区間のタイムで評価されるが、仮にバトンゾーンの入口付近でバトンパスが行われた場合、20m区間タイムは受け手の走速度に、バトンゾーンの出口付近でバトンパスが行われた場合は渡し手の走速度が大きく影響することになる。そこで、男子4×100mリレーチームはバトンパスタイムをバトンゾーンの20m区間ではなく、バトンゾーン入口手前の10m（ブルーライン）からバトンゾーン出口+10mを加えた40mのバトン区間のタイムを計測することで、バトンパス全体の成否について評価してきた。37秒台で4×100mリレーを走るためのバトンパスタイムの目標を3.75秒に設定し、合宿時には、選手に先述した走速度などのデータだけでなく、40m区間のバトンパスタイムをフィードバックすることでコーチや選手間での情報共有を図ってきた。

今オリンピックでは、ハイスピードデジタルビデオカメラを用い（LUMIX DMC-FZ300, 119.88Hz）、1-2走と2-3走の分析映像をメインスタンド中央の最上部より（図2、カメラI）、3-4走の分析映像をバックスタンド2コーナ最上部より、それぞれパンニング方式で取得した（図2、カメラII）。2台のカメラはスタートのピストルの閃光を撮影することで、時間を同期した。また、競技場内でのキャリブレーション測定ができなかったため、1-2走と3-4走のバトンゾーン出口+10m地点については、バトンゾーンのセンターラインとバトンゾーン出口との距離から位置情報を推定し、2-3走については400mハードル6台目のグラウンドマークから位置情報を取得した。分析にはQuick Time Pro7を用い、分析地点の通過フレームをそれぞれ求めた。分析はこれまでに4×100mリレーの分析に携わった経験のある2名がそれぞれ行い、それぞれのデータを照合して、2人の分析者の誤差が0.5フレーム（0.004秒）以内になるまで分析を繰り返した。

日本の40mバトン区間タイム（3区間の平均タイム）は、日本よりもシーズンベストタイムが短いジャマイカ（金メダル）やカナダ（銅メダル）、シーズンベストが最も短かったアメリカよりも短かった（表2）。特に、銅

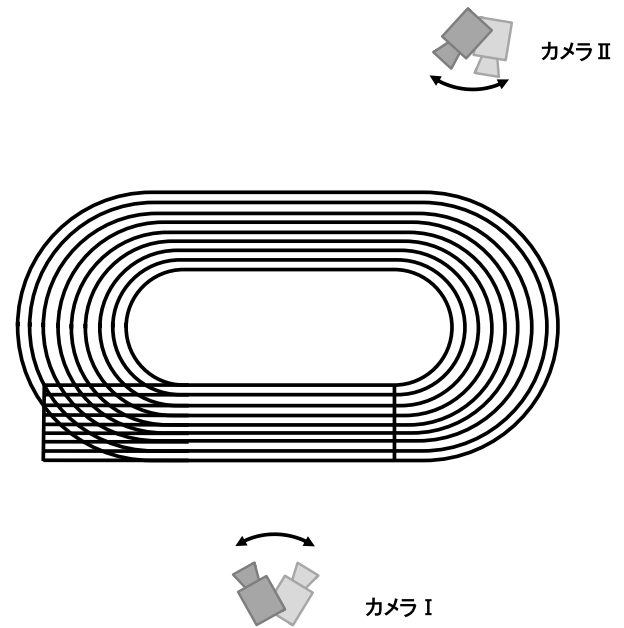


図2

メダルを獲得したカナダとの4×100mリレーのタイム差は0.04秒であったことを考慮すると、バトンパス区間でカナダを0.06秒上回れたことが順位に影響を及ぼしていた一因であると考えられ、これまでの取り組みが銀メダルの獲得に少なからず寄与したといえる。一方、中国の40mバトン区間タイムは日本のそれよりも0.05秒短かった（表2）。中国は、2008年に日本が北京オリンピックで銅メダルを獲得したときと同様、ここ数年、ほぼ同一メンバーで4×100mリレーに臨んでおり、このことが短い40mバトン区間タイムでバトンパスが行えていた要因の1つであると考えられる。

今回の中国の結果は、日本もこれまで以上に40mバトン区間タイムの短縮が可能であることを示唆するものであり、今後、より高い精度でのバトンパスが記録の更新に寄与する可能性を示すものである。一方、4×100mリレーのタイムの更新には個人タイムの短縮が不可欠であり、今後、国際大会で4×100mリレーで日本代表が活躍するためには、100mと200mで現日本記録の更新が必要であり、それに応じた更なるバトンパス技術の向上が求められる。そのために、コーチや選手の主観的な内省に加えて、科学的な分析結果を活用することが重要であろう。

表2

順位	国	4x100mリレータイム [秒]	40mバトン区間平均(合計)タイム [秒]
1	ジャマイカ	37.35	3.80 (11.41)
2	日本	37.60	3.76 (11.27)
3	カナダ	37.64	3.78 (11.33)
4	中国	37.90	3.74 (11.22)
DQ	アメリカ	—	3.82 (11.47)

「チーム競歩」における科学サポートの実際

三浦康二（成蹊大学）

1. はじめに

2016年リオデジャネイロオリンピック（以下、五輪）では男子50kmWで荒井広宙選手が3位に入り、競歩種目における日本選手初のメダリストとなった他、男子20kmWでは松永大介選手が7位となって同種目で日本選手初の入賞者となった。また、1992年バルセロナ五輪から6大会24年ぶりに日本選手全員が失格・途中棄権することなくフィニッシュし、「チーム競歩」全体としても成果を挙げることができ、記念すべき年となった。

その2016年は1991年東京世界陸上から25年にあたり、現在の日本競歩を統括する今村文男コーチが男子50kmWで7位入賞して日本選手として競歩種目で初めて世界トップ8に入った年から四半世紀を経た節目の年でもある。リオデジャネイロ五輪のパフォーマンスを振り返ると、普及・育成・強化の側面からはもちろんのこと、競技運営・審判制度の側面、医事及び科学サポートの側面など、どの側面から見てもこの25年の間の様々

な施策を反映したものと考えることができる。今回は科学サポートを含めたバックアップの側面からリオデジャネイロ五輪の成果とそこに至るまでの過程を振り返り、1991年から足掛け30年となる2020年の東京五輪に向けた新たな取り組みを考える機会としたい。

2. 背景：日本競歩の25年と科学サポート

2.1 パフォーマンスの変化

1991年東京世界陸上から2016年リオデジャネイロ五輪までの世界大会競歩種目（オリンピック、世界選手権、世界競歩チーム選手権（旧ワールドカップ競歩））では11名の日本選手が8位以内に入っている（表1）が、これら大会に派遣された日本選手の最高順位、平均順位の変動について図1に示した（ただし、世界チーム選手権は2002年以降の五輪中間年開催のもののみ）。

日本選手の最高順位に注目すると、1991年東京世界陸上では地元開催として強化のための様々な施策のベク

表1. 1991－2016年の競歩種目世界大会（オリンピック、世界選手権、世界競歩チーム選手権（旧ワールドカップ競歩））8位以内日本選手

開催年	大会名	開催地	種目	順位	氏名	所属
1991	世界選手権	東京	男子 50kmW	7 位	今村 文男	富士通
1997	世界選手権	アテネ	男子 50kmW	6 位	今村 文男	富士通
2001	世界選手権	エドモントン	男子 20kmW	7 位	柳澤 哲	総合警備保障
2005	世界選手権	ヘルシンキ	男子 50kmW	8 位	山崎 勇喜	順天堂大学
2008	オリンピック	北京	男子 50kmW	7 位	山崎 勇喜	長谷川体育施設
2009	世界選手権	ベルリン	女子 20kmW	6 位	瀧瀬真寿美	龍谷大学
2010	ワールドカップ競歩	メキシコ・チリ	男子 50kmW	6 位	山崎 勇喜	長谷川体育施設
2010	ワールドカップ競歩	メキシコ・チリ	女子 20kmW	7 位	川崎 真裕美	富士通
2011	世界選手権	テグ	男子 20kmW	6 位	鈴木 雄介	富士通
2011	世界選手権	テグ	男子 50kmW	5 位	森岡紘一郎	富士通
2011	世界選手権	テグ	男子 50kmW	8 位	谷井 孝行	佐川急便
2012	オリンピック	ロンドン	男子 50kmW	7 位	森岡紘一郎	富士通
2013	世界選手権	モスクワ	男子 20kmW	6 位	西塔 拓己	東洋大学
2014	ワールドカップ競歩	中国・太倉	男子 20kmW	4 位	鈴木 雄介	富士通
2015	世界選手権	北京	男子 50kmW	3 位	谷井 孝行	自衛隊
2015	世界選手権	北京	男子 50kmW	4 位	荒井 広宙	自衛隊
2016	オリンピック	リオデジャネイロ	男子 20kmW	7 位	松永 大介	東洋大学
2016	オリンピック	リオデジャネイロ	男子 50kmW	3 位	荒井 広宙	自衛隊

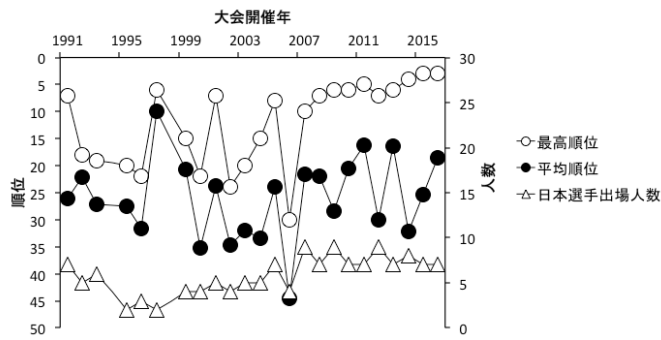


図1. 1991 - 2016年の競歩種目世界大会（オリンピック、世界選手権、世界競歩チーム選手権（旧ワールドカップ競歩））における日本選手最高順位、平均順位、出場人数（ただし、世界競歩チーム選手権は五輪中間年開催のもののみ）

トルが全て一方向にまとまって今村選手が1991年に7位入賞を果たし、その6年後の1997年アテネ世界陸上で再び今村選手が男子50kmWで6位入賞すると、その4年後の2001年エドモントン世界陸上男子20kmWで柳澤哲選手が7位入賞、4年後の2005年ヘルシンキ世界陸上男子50kmWで山崎勇喜選手が8位、3年後の2008年北京五輪で同じく山崎選手が7位入賞といったように、入賞者を出す間隔が短くなって、2009年からは安定して8位以内の成績が残るようになっていく。平均順位については1990年代中盤以降、派遣人数が徐々に増えていったこともあって、大きな波の上下を繰り返しているものの、わずかな基線の上昇も見られる。

2.2 科学サポートと指導者研修

競歩種目の日本代表を主に対象として現在行われている日本陸連の科学サポートは、暑熱対策、低酸素トレーニング、歩型判定対策、測定研修合宿の4つを柱としている。このうち、暑熱対策へのサポートは東京世界陸上に向けた持久系種目全体への対策として1989年に始まり（小林, 1992）、現在の低酸素トレーニングサポートは高所トレーニング対策として1991年末から始まっている（小林ほか, 1993）。また、国際競技会における歩型判定対策のサポートは、日本陸連によるものではなく、1994年広島アジア大会に向けた動作分析（清水ほか, 1994）から始まっている。さらに、2004年のアテネ五輪前から測定と研修を同時に行う合宿が開始され、その翌年から国立スポーツ科学センターを会場として現在に至っている。

これらサポートの成果は、各分野の開始当初の1990年代から2000年代初頭にかけての期間こそ強化との連携を含めて試行錯誤的な部分が多かったが、この期間の現役競技者が指導者などに転身して数年を経た時期から、ほぼ毎年のように世界大会で日本選手が8位以内の成績をおさめるようになった。その背景には、現役選手として試行錯誤を含んだサポートを受けた中で得た様々な課題が、指導者として、強化及び、強化と科学の連携とに

生かされるようになった点があるが、主な指導者が派遣された在外研修も強化と科学の連携を高める大きな契機となっている。

今村文男氏が2005-6年にイタリア北部サルツォに、柳澤哲氏が2011-12年にオーストラリア南東部キャンベラに、それぞれJOC在外研修制度によって派遣されている。今村氏が派遣されたサルツォは、2000年シドニー五輪までイタリア競歩チームのナショナルコーチを務めたサンドロ・ダミラノ氏の拠点であり、シドニー五輪後もイタリア競歩ナショナルチームの強化拠点となっていた。当時のイタリア競歩は、オリンピックでは1980年モスクワ五輪から2004年アテネ五輪までシドニー大会を除く6大会でメダルを獲得していたほか、世界選手権でもほぼ毎回のようにメダルを獲得していた。この期間、ミラノ大学アントニオ・ラ・トーレ教授をはじめとする運動生理学者などと連携を進めており、競歩種目では世界でもっともスポーツ科学の実践的活用が進んでいた国の一つであった。ダミラノ氏自身、簡便な測定であればトレーニング管理のための測定は自力行い、また、ラ・トーレ教授についても、自身がコーチとして女子選手を中心に指導して多くの世界王者を育成しており、強化と科学の実践的連携を学ぶこれ以上ない場所とタイミングであったといえる。

また、柳澤氏が派遣されたキャンベラは、現地のオーストラリアスポーツ研究所（AIS）を競歩ナショナルチームが拠点とし、オーストラリアチームは派遣当時オリンピック2大会連続でメダルを獲得していた。ここでも研究者とコーチが連携し、イタリア同様にスポーツ科学の実践的活用が進んでいたが、柳澤氏の派遣期間はそのまま2012年ロンドン五輪に向けた準備期間に相当し、ジャレド・タレント（北京五輪男子20kmW：銅、男子50kmW：銀、ロンドン五輪男子50kmW：金）をはじめ、オーストラリアのトップ競技者のトレーニング・コンディショニングにおける科学との連携とその体制づくりについて通年で情報を得ることとなった。

このように、現役を退いてすぐの指導者がスポーツ科学の実践的活用の先進地での研修に派遣された意義は大きい。先進地からの継続的に情報を収集するためのチャネルが開拓されただけでなく、日本チームとしての強化と科学の連携体制を構築・確立するにあたり、情報の双方向のやり取りを円滑にし、現場の課題に応じたサポート体制を構築していくための重要な契機となったといえる。

3. リオデジャネイロでのサポート

3.1 サポートの概要と流れ

リオデジャネイロ五輪での科学サポートは、コンディショニングのピーキング・暑熱対策と歩型判定対策を主だったゴールとし、そのための体制、スケジュールを作るという形を取った。

競歩3種目の代表選手選考競技会は、2015年8月の北京世界陸上に始まり2016年4月の日本選手権男子50kmWで終わる日程で5回開催されたが、これら各選考競技会の結果に基づき、2016年4月に代表選手が内定した。しかし、この日程ではオリンピック本番まで4ヶ月しかなく、本番でのピーキングに向けた情報を十分に収集するには機会が不足することから、前年の北京世界陸上に向けた準備期間から翌年のオリンピックを想定したコンディションデータを収集することで方向性を定め、かつ、歩型対策については同じく前年からの国際大会の判定などの情報収集から方向性を定める体制をとった(図2)。

3.2 サポートの組織体制

リオデジャネイロ五輪に限らず、代表選手の強化及び目標とする大会での目標達成には、強化組織としての動き、科学サポート組織としての動き、また、歩型判定のための審判組織としての動き、さらに、メディカルケアとしての組織の動きなど、それぞれのセクションがそれぞれの機能を発揮するだけでなく、相互に連携して全体として有効に機能することが必要となる。

図3にリオデジャネイロ五輪に向けた組織体制を示したが、2015年までは、強化を主導として、強化、科学、審判の各組織の情報共有・協議によって進められてきた。しかし、スポーツ庁ハイパフォーマンスサポート事業のターゲット種目として2015年に男子競歩が選定されたことから、新たに組織横断的な担当者の配置が可能となり、図に示したような体制で各組織の連携をすすめられるようになった。

3.3 実際のサポートの概要

実際に行われたサポートの概要を以下に示す。

①コンディションのピーキング

リオデジャネイロ五輪は現地で冬季に当たる時期の開催であったが、事前調査で競歩種目は暑熱環境下で実施されることが分かっていたことや、オリンピック、世界選手権のほとんどは夏季に相当する時期での開催が続くことから、コンディションのピーキングに向けて、暑熱環境下でのトレーニング・競技に資するコンディション指標の継続的調査と、それにもとづくフィードバックが行われた。

調査は準備合宿期間から競技出場当日までの各日ごとに科学サポートスタッフによって行われた。調査したコンディション指標は、主に疲労とその回復度の把握を目的とした睡眠に関するものと、主に脱水とその回復度の把握を目的とした尿成分に関するもので、睡眠に関するものは、あらかじめ配布されたコンディション記録用紙(図4)によって行われ、各調査対象者自身が起床時に記入したものをスタッフが回収し、記録・集計する形で行った。また、尿成分については、各調査対象者自身が起床時に採尿したものを合宿地の所定の場所・時間までに対象者が提出し、スタッフが測定、記録、集計する形で行った(写真1)。ただし、リオデジャネイロではスタッフが入村できなかったため、各選手に尿比重計を配布し、各自で計測したデータをスタッフに送付し、集計した。

さらに、尿成分調査は、脱水によるコンディション変動のコントロールのために行なったことから、脱水量が多いと予想されたトレーニングの後にも脱水からの回復を把握するために行われ、事後の尿成分分析に先立つトレーニングでは、トレーニング前後の体重変動調査及び給水料の調査によって正味の脱水量の調査が行われた。

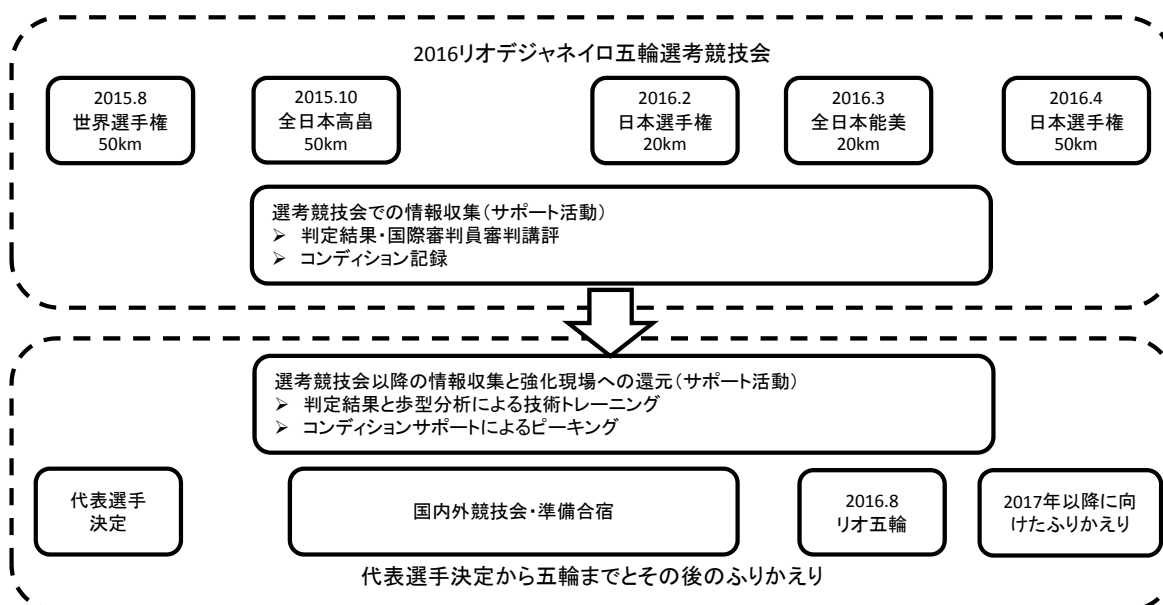


図2. リオデジャネイロオリンピックに向けたサポートの流れ

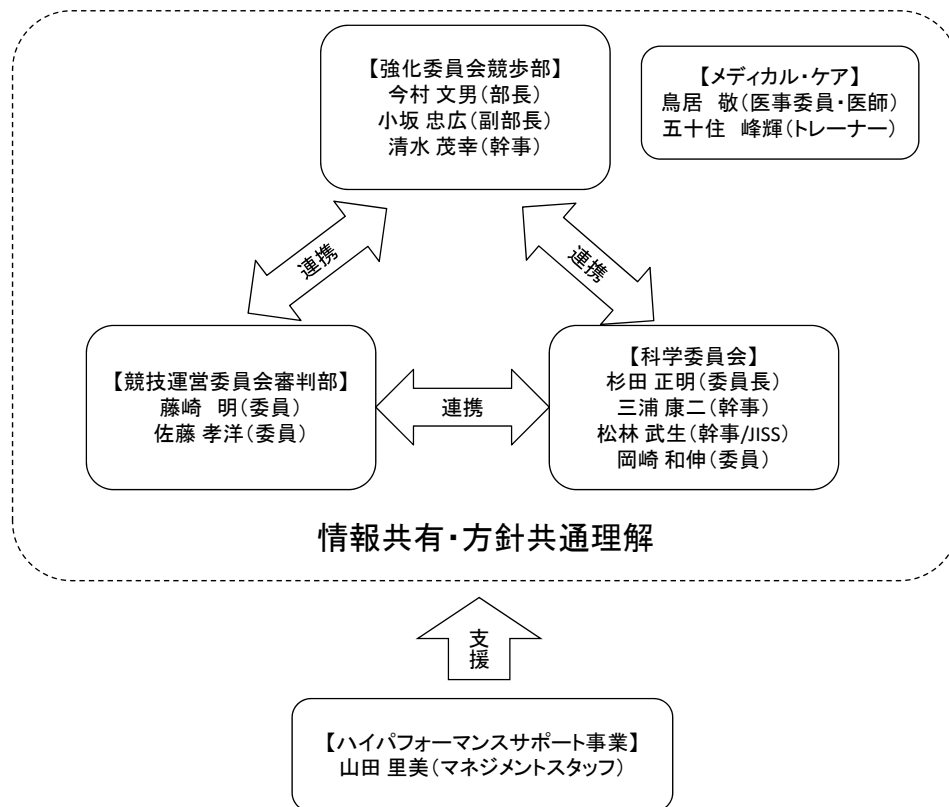


図3. リオデジャネイロ五輪に向けた強化及び科学サポート、バックアップの組織

コンディション記録用紙		名前	日付 /
以下について、当てはまるものを○で囲んでください。			
1 寝つき	悪い 1 2 3 4 5 良い		
2 睡眠の深さ	浅い 1 2 3 4 5 深い		
3 睡眠の状況	夢を見た 何回も目が覚めた 何回もトイレに行った 寝汗をかいだ 軽く頭痛がした 特になし		
4 寝起き	悪い 1 2 3 4 5 良い		
5 疲労感	強い 1 2 3 4 5 無い		
6 体の火照り	強い 1 2 3 4 5 無い		
起床時に計測した値を以下に記入してください。			
1 SpO2	(%)	2 脈拍数	(拍/分)
3 体温	(度)	4 尿比重	

図4. コンディション個人別記録用紙

(写真2, 3).

また、競技者に対する調査と並行して、競技者のコンディションに影響を与える要因として、環境(WBGT)調査も行われた(写真4)。環境調査は二つの目的で行われたが、一つはトレーニングによるコンディション変動の要因把握を目的としたもので、トレーニングごとに行われた。もう一つの目的は、競技場面での環境を予測し、レース当日の対応の検討を目的としたもので、リオデジャネイロでは現地入り後、快晴、曇りとなった各日においてレースと同じ時間帯での調査が行われた。

これらのデータ収集は2013年モスクワ世界陸上の準備期間から行われてきたものであるが、天候・トレーニングの状況や、シーズンごとのコンディションの波など、



写真1. 尿成分測定

様々な状況に依存して変動するため、個々の対象者内であっても法則性のようなものを見出すことは困難であった。しかし、個々の競技者のコンディション変動を示す



写真 2. トレーニング前後の体重計測



写真 3. 給水量の計測



写真 4. 環境調査

指標であったことから、トレーニング・レースの方針を検討するための情報として、トレーニングでのパフォーマンスの変動とともに科学スタッフと強化スタッフの意見交換に用いられた。さらに、大会後の競技者への聞き取り調査などによって競技者ごとの方針・対応の検討が行われた。

②メディカルケア

メディカルケアについては、二本立てで行われた。一つは陸連医事委員（医師）の強化事業への定期派遣による疾病・傷害の調査であった。国際大会派遣に際しての医事委員の帯同はこれまでも行われ、また、強化事業への派遣も行われていたが、疾病・傷害の早期発見及び予防を目的として 2015 年後半より頻回に行われることとなった。

もう一つはトレーナーによる統一的な方針による複合的なケアであった。リオデジャネイロでは、選手村に隣接するコンドミニウムの一世帯区画をハイパフォーマンスサポート事業の費用によって借り上げ、ケア・サポートのための場所が確保された(写真 5)。ここでのケアは、マッサージ、ストレッチ及び物療機器、温浴による通常のケアに加え、傷害予防的な対応として始まったトレーニングも行われた。これら一連のケアは、2011 年以降の現在の強化体制下で実施される強化事業の中で年間を通して行われてきた。世界大会ではトレーニング機器の輸送、場所の確保などの制約の中で、大会ごとの条件に合わせて実施されてきたが、リオデジャネイロではハイパフォーマンスサポート事業により比較的制約の少ない条件下でのケア・サポートが行われた。

以上のメディカルケアは、前述した 6 大会 24 年ぶりの日本選手全員のフィニッシュになくはならなかったものであり、リオデジャネイロ五輪に限らず、代表選手が安定してトレーニングを継続し、大会においてパフォーマンスを達成するための基礎となるサポートであったといえる。



写真 5. サポート拠点

③現地での情報共有と意思決定

リオデジャネイロ五輪に向けては、国内での準備合宿では複数のコンディションサポートスタッフが合宿地を交代で出入りしながらのサポートとなったほか、強化スタッフについても同様な状況があった。また、米国での時差調整合宿はほぼ全てのスタッフが顔を合わせられる環境にあったものの、リオデジャネイロ現地では、選手村内外にスタッフが別れて活動する状況にあったことから、情報共有と意思決定の方法が重要な課題となった。

情報共有については近年の電子情報技術の発展の恩恵を受け、各スタッフの持つ携帯端末においてLINEアプリケーションが活用された。米国での時差調整合宿以降、スタッフグループを作成することで各日の選手コンディション情報のほか環境情報の共有が行われた。

また、意思決定については選手団コーチである今村コーチが一元的に行い、陸上競技選手団全体の方針に準じて意思決定が行われ、競歩種目コーチ、選手村内外スタッフへの伝達がスムーズに行われた。

④判定対策

判定対策については、各大会とも現地で収集した判定情報に基づき、翌年以降の判定対策を検討するといったサイクルで動くため、上記①から③の対策とは趣を異にする。リオデジャネイロ大会に向けては、前年の北京世界陸上までの世界大会で収集された判定情報（動画、審判記録）がベースとなったが、これに基づく審判研修及び競技者に向けた情報提供として対策を行った。国際競歩審判員についても必ずしも統一性の高い判定傾向があるわけではなく、委嘱を受ける審判員の構成によって微細かつ、予測に反する判定傾向の変動が生じるのは事実である。そのため、継続した調査・検討が欠かせず、リオデジャネイロにおいても調査が行われ、その後、国内大会での審判研修会資料として活用された。

4. サポートの基盤

競歩種目における科学サポート及び強化へのバックアップは、初期における試行錯誤を含んだ段階から比較し、リオデジャネイロ五輪では各分野の連携を取りつつ効果的な体制で行われるようになった。その要因は、各分野間の連携、また、指導者の在外研修での経験を踏まえた連携の高度化などを背景として科学スタッフとの意思疎通が密に行われるようになったことがあるが、測定の継続した実践によって競技者側のリテラシーが向上したこともその基盤となったと捉えることができる。

前述のように、2004年のアテネ五輪前から測定と研修を同時に行う合宿が開始され、その翌年から現在に至るまで国立スポーツ科学センターにおいて年1回の測定合宿が実施されている。開始当初の参加者の一部は現在でも強化対象競技者として測定合宿への参加を継続しているほか、近年のコンディションサポートでの測定を含

めて、通年で自分自身のパフォーマンス、コンディションを数値化して評価し、トレーニング方針の判断に活用するというサイクルを経験していることから、様々な測定指標への理解度が向上し、また、若手競技者に対してその理解した一般的情報が伝えられるといった大きなサイクルが近年形成されてきている。

さらに、このような測定への理解度の変化は、日々のトレーニング及び競技中に競技者が察知する微細なコンディションの変化への感度にも影響を及ぼしたものである。計測が困難な要素の変化であっても、微細な変化への感度が向上することで、コンディション維持のための行動を早めにとることができると思われるが、このような感度の変化、行動の変化には、競技者自身のコンディションなどと競技（及びトレーニングの）パフォーマンスの対応関係などを測定、評価するサイクルを長年にわたって繰り返したことが影響していたものと思われる。

5. 2020年東京五輪に向けて

本報では、1991年から2016年に至る日本競歩の歩みを踏まえ、2016年リオデジャネイロ五輪に向けた取り組みを、科学サポートを中心としたバックアップの側面から振り返った。2016年リオデジャネイロ五輪に向けて、そこに至る数年間で収集されたデータ、情報を踏まえてサポートが行われたのと同様に、2020年東京五輪に向けても事前に蓄積されたものから対策が検討されることになるであろう。そのため、過去からの流れとは全く異なる形でのサポートとはならないものと思われるが、リオデジャネイロ五輪では出場選手個々への個別的なサポートが課題となったことから、次の東京五輪に向けては、個別対応が可能な体制の構築及び拡大と、拡大した体制での情報共有と組織内外での方針の共通理解の形成が課題となるであろう。

【文献】

- 小林寛道（1992）マラソンの競技成績に影響を及ぼす因子～暑さ対策～. バイオメカニズム学会誌, 16（2）：69-76.
- 小林寛道ほか（1993）財）日本陸上競技連盟における高所トレーニングの医・科学サポート. 青木純一郎ほか編 平成4年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No.IV JOC 高所トレーニング医・科学サポート第2報. 日本体育協会：東京, pp.2-33.
- 清水茂幸ほか（1994）20km 競歩競技中におけるピッチ及びストライドに関する研究. 陸上競技研究, 16：2-7.

《パネリストプロフィール》

蒲原 一之（かまはら かずゆき）

1965 年広島県生まれ

医学博士

所属 国立スポーツ科学センター メディカルセンター

経歴 広島学院高等学校卒業
筑波大学医学専門学群卒業
筑波大学大学院医学研究科博士課程修了
茨城西南医療センター病院内科
つくばヘルスケアクリニック
霞ヶ浦医療センター呼吸器内科
国立スポーツ科学センター メディカルセンター 内科

研究テーマ アスリートの内科的障害

主な論文 Kamahara K., T. Homma, A. Naito, T. Matsumura, M. Nakayama, K. Kadono, S. Kai, M. Inoue, H. Satoh, K. Sekizawa : Circuit training for elderly patients with chronic obstructive pulmonary disease : a preliminary study. Archives of Gerontology and Geriatrics, 39 : 103-110, 2004

社会的活動

公益社団法人日本学生陸上競技連合医事委員会委員長
日本オリンピック委員会 情報・医・科学専門部会医学サポート部門員
ユニバーシアード夏季大会陸上競技帯同ドクター
2012 年アジアジュニア陸上競技選手権大会帯同ドクター
2014 年ソチオリンピック、マルチサポートハウス医務班ドクター
2014 年世界大学クロスカントリー選手権大会帯同ドクター
2014 年アジア競技大会本部帯同ドクター
2016 年リオオリンピック、ハイパフォーマンスサポート・センター医務班ドクター

《パネリストプロフィール》

小林 海（こばやし かい）

1979 年神奈川県生まれ

博士（スポーツ科学）

所属 日本スポーツ振興センター

経歴 藤嶺学園藤沢高校 卒業
早稲田大学人間科学部スポーツ科学科 卒業
早稲田大学人間科学研究科修士課程 修了
早稲田大学スポーツ科学研究科博士後期課程 修了
早稲田大学スポーツ科学学術院 研究助手
目白大学人間学部 専任講師
日本スポーツ振興センターハイパフォーマンスサポート事業職員

研究テーマ 競技レベルの高い陸上短距離選手における走速度の決定因子

主な論文 短距離走の加速局面における走速度の決定因子に関する研究. 陸上競技研究, 105(2): 2-12, 2016.
Kinematic Differences Between Faster And Slower Sprinters During The Acceleration Phase Of Sprint Running. Gazzetta Medica Italiana, 174(4): 163-72, 2015.

社会的活動

日本陸上競技連盟強化委員会男子短距離ブロック科学スタッフ
日本オリンピック委員会強化コーチ
日本陸上競技連盟科学委員会協力研究員
日本バレーボール学会理事

《パネリストプロフィール》

三浦 康二（みうら こうじ）

1969年宮崎生まれ

博士（体育科学）

所属 成蹊大学経済学部

経歴 宮崎県立妻高等学校

京都大学文学部

旭化成工業株式会社 社員

筑波大学大学院（単位取得満期退学、2007年学位取得）

青森県スポーツ科学センター スポーツ科学専門員

JOC専任情報・科学スタッフ（陸上競技）

茨城県立医療大学 嘱託助手

成蹊大学経済学部 准教授

研究テーマ

ヒト二足移動運動全般のバイオメカニクス

主な論文

Hoga-Miura, K., Ae, M., Fujii, N. and Yokozawa, T. (2016) A three-dimensional kinematic analysis of men's 20-km walking races using an inverted pendulum model. *Gazzetta Medica Italiana Archivio per le Scienze Mediche*, 175(7-8): 297-307.

社会的活動

日本陸連科学委員会委員

日本陸連強化委員会委員

国際陸連アジアエリア国際競歩審判員（2008-2011）

日本学連競技委員会委員

シンポジウム②

陸上競技の「みるスポーツ」としての可能性

—日本陸上競技学会第 15 回大会シンポジウムⅡ—

司 会 田原 陽介（環太平洋大学）
シンポジスト 吉田 政幸（びわこ成蹊スポーツ大学）
片上 千恵（帝京大学）
椎野 茂（TBS テレビ）

I. はじめに

2016 年 12 月 17 日（土）、18 日（日）に環太平洋大学で開催された日本陸上競技学会第 15 回大会において、「陸上競技の『みるスポーツ』としての可能性」をテーマに実施されたシンポジウムⅡについて報告する。

東京 2020 が決まって以降、我が国のスポーツに対する注目度は確実に高まっている。それに加え、先日のリオオリンピックの日本人選手団の活躍がさらなる加速をつけた。そのオリンピックの盛り上がりは、オリンピック後の国内大会にも波及し、国体や各種大会等でオリンピックが登壇し、メディアに多く取り上げられたことは記憶に新しいところである。陸上競技界にとっても、国民のスポーツの関心と比例するように注目度があがっている。2016 年 6 月に名古屋市で開催された第 100 回日本選手権の入場者数は、土曜日には 26,800 人（主催者発表）にのぼった。

では、この「みるスポーツ」の人気の高まりを受けて、陸上競技界では「みるスポーツ」としての価値を高めるためどのようなことが検討されるべきなのか。本報告では、観戦者、アスリート、メディアの 3 つの視点から議論を深めていきたい。

II. 陸上競技とみるスポーツ

みるスポーツは、するスポーツとは違い、娯楽としてスポーツと関わり運動の代理経験をすることにより価値を得ている。日本の陸上競技においては、マラソン・駅伝が直接的な観戦、テレビ等の間接観戦のともに高い人気を誇っている。

では、そのような陸上競技のみるスポーツは社会においてどのような位置づけなのか。オリンピックや世界選手権などのトップレベルの競技を多くの国民がみることにより、そのスペクタクル体験などを通じ、実際にそのスポーツを行うようになる競技の普及や地域活性化などの大衆化に影響を与えている。そのような国民の関心が高まる、さらに国民の競技に対する好成績への期待を集め、さらに競技力向上などの高度化がおきるという社会的機能を有している。その中でみるスポーツの重要な要

素であるスペクタクルについては、単なる競争をみるということとは異なり、選手によるファンサービスや運営による演出等が作られることにより、観戦者の気晴らしや交流といった価値を提供することが可能となる。

III. 陸上観戦者から陸上ファンへ

スペクタクル要素を兼ね備えたみるスポーツであるが、どのように産み出されているのか。まず、陸上競技の生産者としては、アスリートやコーチ、審判といった直接的生産者と、それを支える役員、ボランティア、メディアといった間接的生産者が試合を提供している。その試合を消費する者は、陸上競技などのオリンピック種目の場合、ファンは家族や友人、会社関係者といった競技者の関係者で構成されていることが多い。一方で、Jリーグやプロ野球といった国民的なみるスポーツは、一般客としてライト層が多く存在し、そのような観戦者を受け入れるためには、生産者側にマネジメントスタッフを備える必要がある。ここで重要なのは、このライト層をいかにミディアム層、ヘビー層へ高めていくかということである。つまり、陸上競技のイベントを知っている認知の段階や、陸上競技に魅力を感じられる段階を一時的な観戦者（ライト層）とすると、陸上観戦によって自分の価値を実現できる愛着の段階や、陸上観戦は人生の一部で陸上界を支援したいといった忠誠の段階といった持続的な陸上ファン（ミディアム層、ヘビー層）へなってもらえるかという課題である。このライト層からミディアム層に引き上げるためには、陸上に対してアイデンティティを形成することが必要であると考えられる。【図 1】

このように関係者だけではなく、多様な観戦者が来場することは、間接観戦の人気へ発展していく。多様な観戦者が来場することは、当然なことながら観戦チケットが売れることを意味し、彼らが来場することにより会場でのグッズや飲食の売り上げにも貢献できることが予想される。さらには、会場が満員になるとテレビ中継がされるようになり、そのような露出度の高いイベントには企業が大会へ協賛するようになることが考えられる。こ

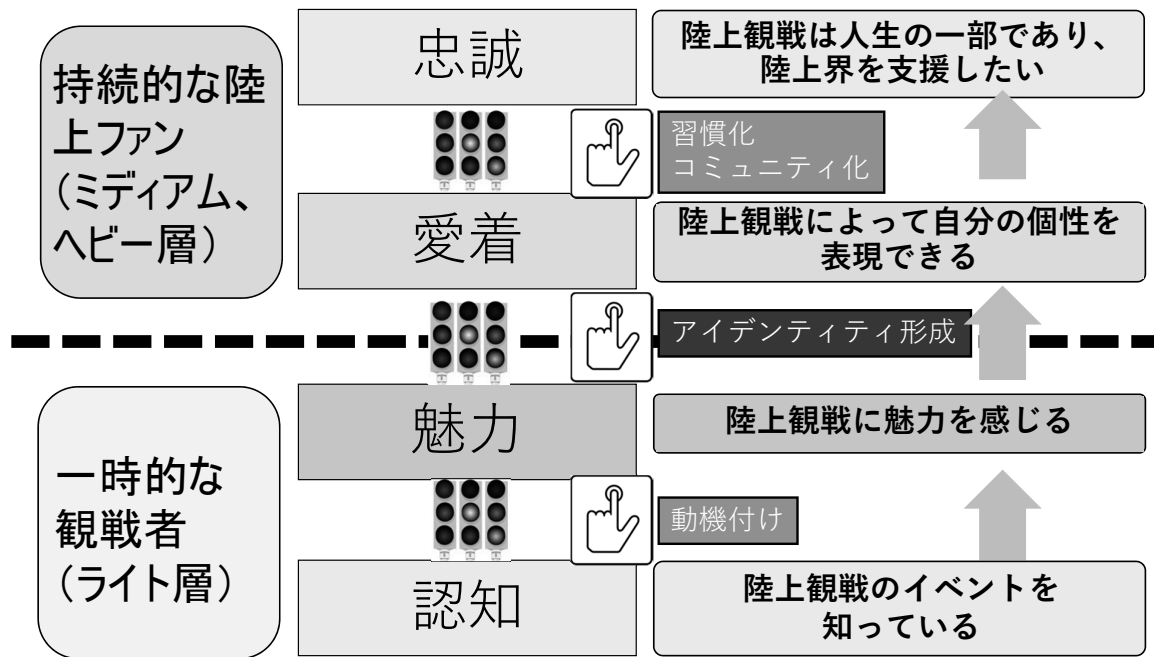


図1 陸上競技ファンの階層 Funk and James (2001) 参照

のことは、スタジアムが単なる競技を行う場所からプロフィットセンターとして位置付ける重要性を示している。【図2】

多くの観戦者を集客に成功した場合、どのような影響が考えられるのか。先に説明したチケット収入やグッズ収入、さらにはテレビ中継されスポンサーシップがされることに加え、競技への影響が考えられる。会場の応援や熱気は、ホームアドバンテージとしてとらえることができるが、観客動員数が増加することにより、会場に熱

気が競技レベルにプラスに影響し、結果として選手の競技パフォーマンスが向上すると捉えることができる。

IV. アスリートとメディアトレーニング

陸上競技の本質は、いうまでもなくアスリートの能力が最大限に発揮されることである。その身体的能力を最大限に発揮する迫力、臨場感のみるものを魅了し、世界中に多くのファンを持つ。また、アスリートとしての生き方を世の中に発信することで子ども達に夢を与え、多

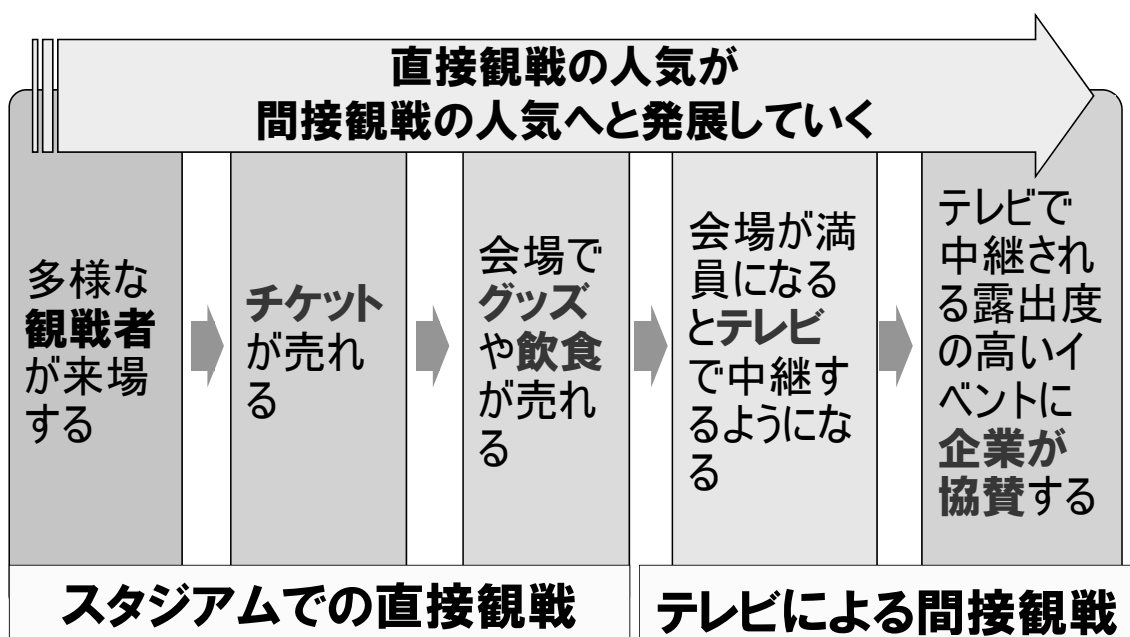


図2 直接観戦から間接観戦への発展 中澤・吉田 (2015) より引用

くの人を感動させ、ひいては陸上競技を通じて社会に活力を生み出すことが目的である。

今日、陸上競技のトップアスリートは社会的価値を有しているが、プロフェッショナルな活動として職業にするということは、単なる陸上活動のみの対価として報酬をえることではない。真のプロ活動とは、陸上競技の卓越した能力、競技力、専門性に加え、人間性を公に宣言し活動することである。それは、アスリートの社会的価値が創出される場面は競技場面だけではなく、競技終了後のインタビューの競技場内での活動に加え、雑誌取材をはじめ、テレビ出演やスポーツ教室、講演会、チャリティーイベントなどの競技場外での活動、さらには個人のブログやツイッターなどの情報発信活動も含まれる。そのような様々なメディアと日々関係性を保ちながらプロ活動を行うアスリートは、時に軽率な発言や行動により社会的な信用を失うことも少なくない。トップアスリートをより社会的に活躍させるためには、メディアの前でどのように振る舞い行動すべきか、また自分の考えをいかにメディアに正確に伝えるかといったメディアトレーニングが個人単位で必要である。錦織圭やイチローが盛んにメディアにとりあげられ多くのスポンサーを受けているのには、彼らの卓越した競技能力に加え、彼らの行動や発言が的確にコントロールされているからである。

アメリカのスポーツ界に目を向けると、NFL、NBA、MLB、NHL、MSL といったメジャースポーツは例外なく選手のメディアトレーニングを義務化している。さらには、米国オリンピック委員会 (USOC) に加え、全米大学体育連合 (NCAA) も積極的にアスリートのメディア

トレーニングに取り組んでいる。

近年は日本の各競技団体もメディアトレーニングに取り組むところもでてきている。陸上、水泳などはメディアトレーニングを行った実績があり、先駆的な役割を果たしている一方、全体的な割合でみると実施の確認がとれているのは、JOC 加盟団体のうち 36% にしか過ぎない。半数以上の団体は多くのメディアと接触し、ブログ・ツイッターなどをアスリートが発信しているが、メディアトレーニングがなされていない。アスリートが問題行動をおこした後に対応する団体や、アスリートがメディアに出演し自らの真意が伝わらないケースも散見される。

では、メディアトレーニングは実際にどのような活動をするのであろうか。図 3 で示したのはセミナー形式でのメディアトレーニングの一例である。メディアトレーニングの必要性を認識した後に、インタビューを受ける際の基本や必要条件を実際のインタビュー映像等を交えて学習する。後半は、学修した知識を実践に生かすために、ロールプレイングでインタビューを行い、メディアに正しく対応できる力を養う。

このようなメディアトレーニングは、ただメディアやひいては社会に対して軽率な発言行動をしないための防止策であるだけではない。テレビ等で陸上競技をみている人たちは、アスリートのもつ自己の限界への挑戦や、ライバルとの心理戦、世界への挑戦といった、代理経験をしている。自らはそのレベルには達しないが、彼らの気持ち、考えを理解しそれに喜び、興奮、時には自らの日常生活に照らし合わせ活力に替えることもある。そういった意味では、自らの言葉で競技を振り返り、考えを伝え、競技にいたる周辺の思想を語ることは、陸上競技

メディアトレーニング例 ＜セミナー形式＞プログラムの場合

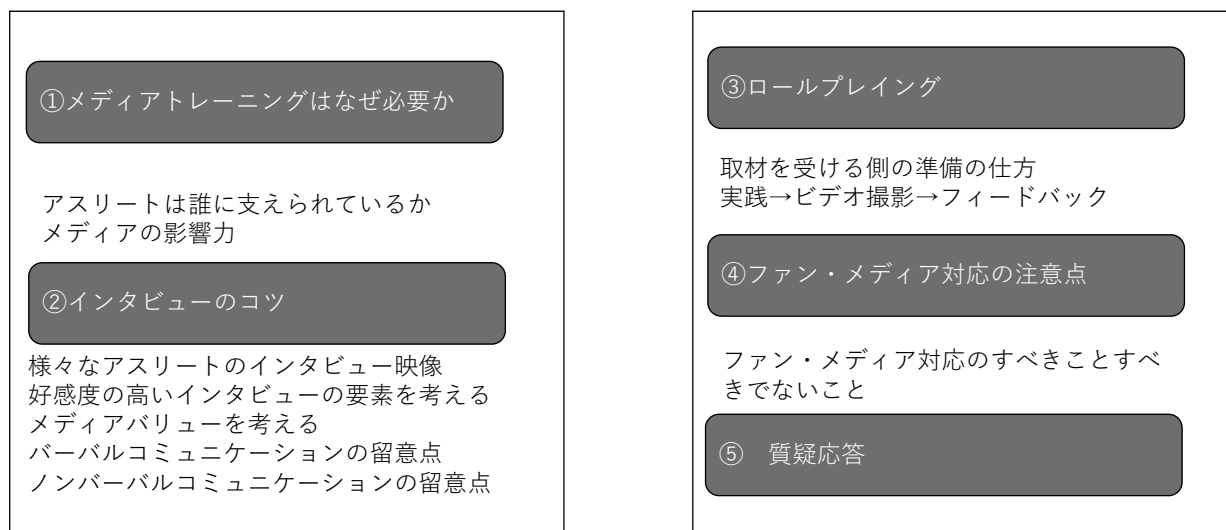


図 3 セミナー形式のメディアトレーニング例

のアスリートにこそ重要であり、ひいてはそれが社会的に認められれば、自らの存在価値をさらに高めることができると考えられる。今後の課題としては、多くのアスリートが継続的にトレーニングを受ける体制を整えることと、トップアスリートになる前のジュニア世代から段階的な育成ができるようなプログラムを提供していくことであるとする。

V. 陸上競技とテレビ

陸上競技をあまり知らない人、興味を持っていない人からいかに身近に感じてもらうか。この課題は、マスメディアとしての地上波テレビが陸上ファンだけでなく、多くの視聴者を対象に陸上競技の魅力や価値、面白さ、奥深さを伝えなくてはならず、その意味では番組制作側は視聴者に多様な目線で番組を届ける必要がある。

陸上競技のコンテンツは、視聴者にとって「より速く」「より高く」「より遠く」といった視点が明確に示されており、単純明快で一目瞭然な番組作りが基本となっている。さらには、生身の肉体で自己の限界へ挑戦し、世界記録といったわかりやすい記録への挑戦も視聴者に伝わりやすいコンテンツであると理解される。このようなわかりやすいコンテンツであることをサポートするために、どのレーンに誰が走るといった基本的な情報を視聴者につたえると同時に、同時進行で行われる競技を整理し、トラック、フィールドともにリアルタイムで伝えることで、録画で伝えることのできない緊迫感、臨場感、真の迫力を画面から伝えることを可能としている。

TBSは1997年のギリシャ・アテネ大会から世界陸上の放送権を獲得した。それまで、同社の陸上中継は大半がマラソン・駅伝であり、陸上競技のトラック中継は五輪のときの100mなどスプリント種目に限られていたが、放送権を獲得してからは全種目の中継に乗り出した。その際、番組のメインキャスターに織田裕二氏とフリーアナウンサーの中井美穂氏を起用した。陸上競技の専門家にとっては当然見過ごすような点も、芸能人のメインキャスターにとっては新鮮なことが多く、特に織田裕二氏が視聴者と同じ目線で解説するスタイルは好評で、多くの視聴者を魅了した。また、世界陸上をPRする方法として、一般人になじみのある場所(例:電話ボックス)とアスリートの競技映像(例:走高跳の世界記録保持者のソトマイヨル)を合成したテレビコマーシャルを作成し、「公衆電話ボックスを、一つとび」といったキャッチコピーで陸上ファンでないたちにもアスリートの超人的なパフォーマンスのすごさが伝わるように大会前のプ

ロモーションを行っていった。これらは、陸上競技に詳しい関係者、選手、放送局、一般視聴者との溝を埋めるための工夫であった。

2007年に大阪で世界陸上が開催されることになったことを契機に、TBS社内で世界陸上へ位置づけが変わり、それまでのスポーツ局だけではなく、全社の取り組みへと変容していった。中継体制については、メインキャスターの二人を現場のスタジアムから中継したことに加え、フィールド競技をアクティブに切り替え、より生中継の臨場感を伝えることに成功した。また、同社のポータルサイトに専門ページを立ち上げ、そこに競技映像の動画を配信することに加え、モバイルサイトと連携し競技結果の速報も取り入れた。これにより、番組を見逃した視聴者がフォローアップされ、次の地上波中継を見るきっかけづくりとなった。

この2007年大会を契機に、ポータルサイトの運営を含めた地上波以外へのコンテンツが拡大していく。その後の大会では、1試技、1レースごとに管理し競技動画を配信したこと、スマートフォンに最適化したデザインを作成したこと、世界陸上の公式ツイッターアカウントと連動など様々なコンテンツを社会へ供給し、2015年大会では1530万ページビューを記録し、2007年大会の64万ページビューを大きく上回った。この結果は、質の高い番組制作を続けてきた同局が単なる地上波の配信だけではなく、個人のニーズに多用する情報技術の発展の時代に対応し、陸上競技に詳しい視聴者とそうではない一般視聴者へ陸上競技の価値をわかりやすく説明し、その価値を感じてもらうコンテンツ作りをした努力の成果であると考えられる。今後の課題としては、ネット配信が本格化してきた社会において、既存の地上波とどのように連動するか検討する必要があることと、世界陸上に加え陸上競技の大会と連携し一般視聴者へ陸上競技の価値を届けていくことであろう。

VI. おわりに

シンポジウムⅡは、観戦者の視点、競技者のメディアトレーニングの視点、テレビ局の視点からそれぞれを代表するパネリストを招き、それぞれの視点から陸上競技のみるスポーツとしての発展の視点を紹介してもらった。フロアの出席者からは、産学連携にむけて、研究者の持っている科学的データを大会運営、アスリート教育に役立ててほしいとの提案があり、本シンポジウムが大学の研究グループとアスリート教育、テレビ局の協力体制構築の足掛かりになることを期待したい。

陸上競技の「みるスポーツ」としての可能性

司会：田原 陽介（環太平洋大学）

「満員の観客の前で試合がしたい。」これは、アスリートの総意であろう。

東京 2020 が決まって以降、我が国のスポーツに対する注目度は確実に高まっている。それに加え、先日のリオオリンピックの日本人選手団の活躍がさらなる加速をつけた。そのオリンピックの盛り上がりは、オリンピック後の国内大会にも波及し、国体や各種大会等でオリンピックが登壇し、メディアに多く取り上げられたことは記憶に新しいところである。

陸上競技界にとっても、国民のスポーツの関心と比例するように注目度があがっている。2016 年 6 月に名古屋市で開催された第 100 回日本選手権の入場者数は、土曜日には 26,800 人（主催者発表）にのぼった。

では、この「みるスポーツ」の人気の高まりを受けて、陸上競技界では「みるスポーツ」としての価値を高めるためどのようなことが検討されるべきなのか。本シンポジウムでは、観戦者、競技者、メディアの 3 つの視点から議論を深めていきたい。まず、スタジアムで観戦者の立場からその可能性を検討する。どのような視点から楽しんでいるのか。また、どのような試合であれば観戦者の満足は高いのか。そのような情報を運営者はどのように理解し、観客のマネジメントを行っていくことが必要なのかを検討する。次に、競技者の立場から検討する。

現在の競技者のイメージはメディア露出によって形成されるといっても過言ではない。また、競技者の発言は想像以上に注目度が高く、社会に対しても強い影響力を持っている。ファンを増やすこと、観戦者を満足させることにもメディアを通じた社会とのコミュニケーションによるものが大きいと考えられている。では、競技者は何を語り、どのようなふるまいをするべきなのか、競技者のマネジメントの視点から検討する。最後に、メディアの視点であるが、みるスポーツを語るうえでメディアの存在は欠かせない。メディアの発信は、コアな陸上競技ファンはもちろんのこと、今後陸上競技に興味を持つファンへの影響力も大きい。スポーツメディアの代表であるスポーツのテレビ中継は、当初実際に観戦にいけない人のための補完的なものであったが、解説者のわかりやすい競技の説明に加え、スロー再生など今ではスタジアム観戦を凌駕している。では、陸上競技の魅力をメディアはどのように発信するべきなのであろう。メディアと「みるスポーツ」としての陸上競技のより良き関係性を検討する。

本シンポジウムでは、以上の視点から観戦型スポーツとしての陸上競技のあり方について議論するとともに、陸上競技の「みるスポーツ」としての可能性を探る。

《シンポジストプロフィール》

吉田 政幸（よしだ まさゆき）

1979年新潟県生まれ

博士（スポーツマネジメント）

所属 びわこ成蹊スポーツ大学

経歴 新潟県立柏崎高等学校卒業

筑波大学体育専門学群卒業

筑波大学体育研究科修了

フロリダ州立大学スポーツマネジメント学
科博士課程修了

びわこ成蹊スポーツ大学講師を経て准教授

研究テーマ

スポーツイベントにおける集客およびコ
ミュニティ形成

主な論文

Yoshida, M., Heere, B., & Gordon, B. (2015).
Predicting behavioral loyalty through
community: Why other fans are more
important than our own intentions, our
satisfaction, and the team itself. *Journal
of Sport Management*, 29 (3), 318-333.Yoshida, M., Gordon, B., Nakazawa, M.,
& Biscaia, R. (2014). Conceptualization
and measurement of fan engagement:
Empirical evidence from a professional
sport context. *Journal of Sport
Management*, 28, 399-417.

社会的活動

Sport Management Review, 編集委員

スポーツマネジメント研究, 編集委員

日本プロサッカーリーグ・スタジアム観戦者
調査第79回国民体育大会滋賀県開催準備委員会
「わたしのまちのスポーツ」調査：調査事業
に係る委託業務

《シンポジストプロフィール》

片上 千恵（かたかみ ちえ）

1967年愛媛県生まれ

修士（体育学）

所属 帝京大学

経歴 NHK 松山放送局

筑波大学体育研究科修了

びわこ成蹊スポーツ大学スポーツ学部ス
ポーツ競技学科 専任講師帝京大学経済学部経営学科スポーツ経営
コース 専任講師

主な論文

「スポーツ・アスリートを対象としたメディ
ア・トレーニングの必要性」スポーツ産業学
研究 22(1), 29-46, 2012

社会的活動

Jリーグやプロ野球、ラグビートップリーグ
等のチームの他、様々な競技の日本代表チ
ームや選手へのメディア・トレーニングを実施
している。今年発足したBリーグの全体研
修も担当。日本サッカー協会や日本バスケットボール
協会のS級コーチ講習講師を担当するなど、
指導者を対象としたメディア対応やプレゼ
ンテーション指導も行っている。

《シンポジストプロフィール》

椎野 茂（しいの しげる）

1959年福岡県生まれ

所属 TBS テレビ

経歴 東京都富士高校卒業

東京大学教育学部卒業

株式会社 TBS テレビ 入社

社会的活動

スポーツアナウンサーとして、野球、ラグ
ビー、テニス、陸上競技などの中継に出演
1991年には、大学ラグビー・早明戦のラジ
オ実況で、第17回アノンシスト賞・ラジオ
部門最優秀賞を受賞。世界陸上(97、99、01、03、05、07)の中継
や2004年アテネ五輪の女子マラソンの実況
を経験したほか、後年は「全日本実業団女子
駅伝」のセンター実況を数年にわたって担当
した。

日本陸上競技学会会則

平成14年10月26日制定

平成16年8月8日改正

平成20年8月31日改正

第1章 総則

- 第1条** 本会を日本陸上競技学会と称する。
(英文名: Japan Society of Athletics).
- 第2条** 本会は、陸上競技に関する理論的・実践的研究の発展をはかり、会員相互の交流を促し、これによって実践に資することを目的とする。

第2章 事業

- 第3条** 本会は、第2条の目的を達成するために、次の事業を行う。
- (1) 学会大会の開催
 - (2) 学会誌「陸上競技学会誌」(英文名: Japan Journal of Studies in Athletics) 及び会員名簿の刊行
 - (3) 研究会、講演会、講習会の開催
 - (4) 研究の国際的交流
 - (5) その他本会の目的に資する事業
- 第4条** 学会大会は、毎年1回以上開催する。

第3章 会員

- 第5条** 会員の種別は次の通りとする。
- (1) 正会員: 陸上競技、あるいはこれに関連する諸科学の研究者、指導者で正会員が推薦し、理事会で承認された者
 - (2) 名誉会員: 本会に多大な貢献のあった個人で、理事会が推薦し、総会で承認された者
 - (3) 賛助会員: 本会の目的に賛同する個人あるいは団体で、理事会で承認を受けた者
- 第6条** 会員は会費を納入しなければならない。
- (1) 正会員: 年額 5,000 円
 - (2) 名誉会員: 徴収しない
 - (3) 賛助会員: 年額 10 万円以上
- 第7条** 会に入会を希望するものは、所定の手続きを経て、入会申込書、会費を添えて本会事務局に申し込むものとする。
- 第8条** 会員は、本会の学会誌「陸上競技学会誌」その他研究情報に関する刊行物の配布を受けることができる。
- 第9条** 原則として2年間会費を滞納したものは退会したものとみなす。なお退会に際しては、滞納分の会費を支払うものとする。

第4章 役員

- 第10条** 本会に次の役員をおく。
- | | |
|-----|------|
| 会 長 | 1 名 |
| 副会長 | 若干名 |
| 理事長 | 1 名 |
| 理 事 | 15 名 |
| 監 事 | 2 名 |

- 第11条** 役員は次の各項により選任される。
- (1) 会長、副会長、理事長は理事の互選により選出し、総会において決定する。
 - (2) 理事は正会員の投票により決定する。
 - (3) 理事につきさらに若干名は会長が推薦することができる。
 - (4) 監事は会長が委嘱する。
- 第12条** 役員の職務は次の通りとする。
- (1) 会長は本会を代表し、会務を総括する。
 - (2) 副会長は、会長を補佐し、会長事故ある時はこれを代行する。
 - (3) 理事長は理事会を招集し、会務を統括する。
 - (4) 理事は理事会を構成し、会務を処理して本会運営の任にあたる。
 - (5) 監事は本会の会務を監査する。
- 第13条** 役員の任期は次の通りである。
- (1) 会長・副会長・理事長・理事・監事は1期3年とし、再任を妨げない。

第5章 会議

- 第14条** 本会の会議は、総会及び理事会とする。
- 第15条** 総会は本会の最高議決機関であり、会長が招集し、次の事項を審議決定する。
- (1) 役員の選定
 - (2) 事業報告及び収支決算
 - (3) 事業計画及び収支予算
 - (4) 会則及び諸規定の改正
 - (5) その他の重要事項
- 第16条** 理事会は、理事長が招集し、会務を処理し、本会運営の任にあたる。
- (1) 会長及び副会長の推薦
 - (2) 総会に対する提案事項の審議
 - (3) 総会から委任された事項の審議・処理
 - (4) 運営の効率化を図るために専門委員会を置くことができる。
 - (5) その他本会の目的に資する事業の運営

第6章 会計

- 第17条** 本会の経費は次の収入による。
- (1) 会員の会費
 - (2) 事業収入
 - (3) 助成金及び寄付金
- 第18条** 本会の会計年度は毎年4月より翌年3月までとする。

第7章 顧問

- 第19条** 本会に顧問及び参与をおくことができる。

第8章 付則

- 第20条** 事務局は当分の間、順天堂大学に置く。
- 第21条** 本会則は平成20年8月31日より施行する。

陸上競技学会誌 投稿規程

〈投稿資格〉

- ・本誌に投稿できるのは、原則として日本陸上競技学会会員とする。
- ・大学院生の投稿に際しては、投稿の前後いずれかにおいて本学会での発表を原則とする。
- ・編集委員会が認めた場合には、会員以外へ投稿を依頼する場合がある。

〈著作権〉

- ・会員の権利保護のため、掲載された原稿の著作権は本会に属するものとする。
- ・投稿論文において他者の著作権に帰属する資料等を引用するときは、著者がその許可申請手続きを行う。

〈原稿の送付〉

- ・提出する原稿は、原稿の種類が「原著論文」、「事例報告（ケース・レポート）」、「研究資料」の場合はオリジナル原稿1部とコピー2部を、それ以外の原稿についてはオリジナル原稿1部とコピー1部とし、簡易書留として付則に記された送付先へ送付する。
- ・原稿受付日は、送付先に到着した日とする。著しく執筆要項を逸脱した原稿は事務的に返却し、形式が整った原稿の到着日を受付日とする。
- ・掲載が採択された原稿については、原則として返却しない。

〈原稿の種類と内容〉

- ・原稿の内容は、陸上競技の理論と実践に関するものとする。
- ・本会誌の読者は陸上競技に関する広い分野にわたるので、高度な専門的知識のない読者にも理解できるよう配慮する。
- ・原稿の種類は、「原著論文」、「事例報告（ケース・レポート）」、「研究資料」、「解説」、「陸上競技 Round-up」、「キーノートレクチャー」、「その他」とし、それぞれ以下のようなものである。

①「原著論文」

陸上競技およびこれに関連する分野の学術上および指導・実践上価値のある新しい研究成果を記述した原著論文。

②「事例報告（ケース・レポート）」

陸上競技の実践において、現場で実際に行った事実（コーチングやトレーニングの活動）を事例として正確に記述し報告したレポートであり、指導者や選手の活動実践に直接役立つもの。

③「研究資料」

陸上競技に関連する理論的、実践的、事例的な問題に

ついて、原著論文としての体裁になるほどまとまっていないが、新規性があり早く発表する価値のある論文。または、コーチング実践への示唆の無い基礎的な研究論文。

④「解説」

陸上競技に関連する新知見、他の競技種目やトレーニング法など、多数の学会員にとって未知であり、これを知らせることの意義のある記事。論文紹介や指導法の提示などもこれに含まれる。

⑤「陸上競技 Round-up」

陸上競技に関連する国内外の情報、学会員相互の問題提起や話題の提供、対談など。

⑥「キーノートレクチャー」

陸上競技の指導者、選手として身につけておきたいスポーツ科学における各専門領域に知見を分かりやすくまとめた依頼原稿。

⑦「その他」

学会大会における研究発表抄録、学会および学会誌の運営や内容などに関する自由な意見、希望など。

〈倫理規定〉

- ・ヒトを対象とする医学的・生物学的研究はヘルシンキ宣言の趣旨に則り、また、動物実験は各所属機関の規定に従い、適切に対応する。

〈掲載の採否〉

- ・原稿の掲載の採否は、本会誌編集委員会が決定する。
- ・原稿の選択、校正、追加・短縮、掲載順序などは、編集委員会が決定する。
- ・著者に承認を求めた上で、原稿の種類を変更する場合がある。

〈その他〉

- ・原稿執筆にあたっては、「執筆要項」にしたがって作成する。
- ・投稿についての問い合わせは、付則に記した問い合わせ先まで連絡する。

〈付則〉

原稿の送付先、問い合わせ先は、下記のとおりである。

〒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
日本陸上競技学会編集委員会事務局
TEL：03-5317-9717
FAX：03-5317-9426
E-mail：kaoyama@chs.nihon-u.ac.jp

1. 原稿用紙および原稿の長さ

原稿は、ワードプロセッサで作成するものとし、A4版縦置き白紙に横書きで、1ページにつき全角40字30行で（英文綴りおよび数値は半角）、上下左右に約3cmの余白をとり、フォントは10.5ポイントとする。本文は現代かなづかいとし、外国語をかな書きする場合は、カタカナで表記すること。本文および文献表には、ページ下部中央に通し番号をつけること。また、審査員が要修正事項や照会事項を指摘しやすくし、また著者が修正対応表（回答コメント）で修正・対応箇所を明示するために、本文および文献表の左側に行番号（ページごとに振り直し）を付加すること。

原稿の長さは、刷り上り8ページを超過しないように配慮すること。原稿4枚が刷り上り約1ページに相当する。なお、このページ数には、表紙や要旨、図表など一切を含むものとする。

2. 原稿の構成

2.1 表紙

原稿の1枚目に、下記のを記入する。

- ①原稿の種類（原著論文、事例報告（ケース・レポート）、研究資料、解説、陸上競技 Round-up、キーノートレクチャー、その他）
- ②題目
- ③著者名
- ④所属機関
- ⑤所在地
- ⑥連絡先電話番号（および E-mail）
- ⑥キーワード（5 個程度）

上記のうち、題目、著者名、所属機関については、日本語と英語の両方を書くこと。

2.2 要旨

「原著論文」、「事例報告（ケース・レポート）」、「研究資料」には、和文もしくは英文の要旨を付す。英文原稿の場合には、和文および英文の要旨を付す。

2.3 本文

本文は理解しやすいように章立てする。本文には、表題、著者氏名、所属、および所在地は記入しない。

2.4 図表

- (1) 図表は1つずつA4用紙または原稿用紙に配置し、それぞれに通し番号を付して図1、表1などと記す。また、これにタイトルや説明文をつける

- (2) 図表は提出された原図をそのままオフセット印刷するので、図表の大きさは刷り上り寸法の2倍程度で印刷するのが望ましい。

- (3) 写真は図に含めるものとし、濃淡のはっきりしたものとする。

- (4) 図表を原稿に挿入する個所は、本文の右側余白に図表番号によって明示する。

- (5) 図表の数は、刷り上り2ページ以内を目安とする。

2.5 文献

見出し語は「文献」とする。本文中での文献引用時の記載は、原則として著者・出版年方式（author-date method）とする。文献一覧はファースト・オーサーのアルファベット順とし、下記の形式で本文の末尾にまとめて記載する。

(1) 定期刊行物（雑誌）

原則として、次に示す形式で記載する。

著者名（発行年）論文名、誌名、巻（号）：始ページ～終ページ。

共著の論文について、著者名が漢字の場合には中黒（・）でつなぎ、英字の場合には and で続ける。ただし、英字で3人以上の場合にはカンマ（,）でつなぎ、最後の著者の前のみに and を入れる。発行年は西暦で記入するものとし、同一著者で同じ発行年の複数の論文を記載する場合には年号の後に a, b, c, . . . を付ける。雑誌名の省略方法は、原則として和文は「日本医学雑誌略名表」、欧文は「Index Medicus」に従う。

－例－

陸上太郎・跳躍二郎（2001）100km ランニング中のβエンドルフィン濃度変化. 日本陸上競技学会誌, 12 (2) : 56-61.

Lewis, C., Johnson, B., and Johnson, M. (1999) Problems of traditional sprint techniques. New Studies in Track and Field, 35(3) : 135-142.

(2) 書籍

原則として、次に示す3つのいずれか当てはまる形式で記載する。書籍では、引用個所が特定できない場合には引用ページの部分を省略する。

①単行本の場合

著者名（発行年）書名（版数）。発行所：発行地、引用ページ。

－例－

小野勝次（1963）陸上競技の力学（第7版）。同文書院：東京, pp.76-78.

O'Brien, D. (1998) Dan O'Brien's Ultimate Workout.
Hyperion : New York, pp.3-11.

日本陸上競技連盟編 (1992) 陸上競技指導教本 (基礎理論編). 大修館書店 : 東京, pp.22-26.

②編著の一部の場合

著者名 (発行年) 表題. 編集者名 (編) 書名 (版数).

発行所 : 発行地, 引用ページ

英文の場合には, "In:" をつけたあと編集 (監修) 者名と " (ed.)" もしくは " (eds.)" をつける.

ー例ー

尾縣貢 (1990) 混成競技の学習指導. 関岡康雄 編著 陸上競技の方法. 同和書院 : 東京, pp.167-176.

Lundberg, A. (1997) Functional Anatomy. In: Allard, P., Cappozzo, A., Lundberg, A., and Vaughan, C.L. (Eds.) Three-dimensional analysis of human locomotion. John Wiley & Sons : New York, pp.27-48.

③翻訳書の場合

著者名 (発行年) 書名 (版数). 発行所 : 発行地, 引用ページ. 〈英文書誌データ〉

原著者の姓をカタカナ表記し, その後にコロロン (:) をつけて訳者の姓名を記入する. 訳者が3人以上の場合, 筆頭訳者のみ記入して「・・・ほか訳」と略記する. 原著の書誌データは執筆者が必要性を判断して〈 〉内に付記する.

ー例ー

エッカー : 澤村博監訳 (1999) 基礎からの陸上競技バイオメカニクス. ベースボール・マガジン社 : 東京. < Ecker, T. (1985) Basic track & field biomechanics. Tafnews Press : Los Altos. >

3. 原稿の書き方

原稿は, 十分推敲し, 簡潔かつわかりやすいように重点を強調して記述する. 謝辞, 付記などは原稿の採択決定後に書き加えること. なお, 英文の場合には, ダブルスペースで原稿を作成する.

(1) 原稿の言語

原稿は日本語を用いることを原則とするが, 英語を用いてもよい. 以下, 日本語を用いる場合の規定であるが, 英語を用いる場合はこれに順ずるものとする.

(2) 用語・単位・記号

文章は「である調」の現代文表記とし, 原則として当用漢字・新かなづかいを用いる. 文章中の外国語は原語表記またはカタカナを用いる.

単位は国際単位系 (SI) に従うものとする. 量および単位をあらわす記号は, なるべく JIS 規格で制定されたものを用い, 必要があれば記号一覧表をつける.

(3) 章立てと見出し

本文は, 章, 節, 項に区切る. 章の見出し番号は, 1., 2., ..., 節の見出しは, 1.1, 1.2, ..., 項の見出しは (1), (2), ... とし, 行の左端から書く. 本文はこれと行を変えて書く.

(4) こまどり

本文は, 書き出しおよび改行後の書き出し部分を1こまあける. また, 見出し番号の次も1こまあける. 句点は「.」, 読点は「,」とし, 1こまを占める.

(5) 脚注

脚注は, 文末に一覧表としてまとめる. 本文では, 右側に (注 1) などとつける.

(6) 文字指定

本文, 数式, 図, 表などに記入される文字は, 字体が明確にわかるように書く. 紛らわしい文字は, 赤字で字体を指定する.

大文字, 小文字で紛らわしいもの (例えば, C と c, K と k, O と o), 混同の恐れがあるもの (例えば, r と γ, k と κ, w と ω), その他, O (オー) と 0 (ゼロ), 1 (エル) と 1 (イチ) などは, その区別を赤字で添書きする. 上付き文字, 下付き文字などの文字飾りについても赤字で添書きして指示する.

英字の変数は, 原則としてイタリックとし, 「イタ」を○で囲んだ赤字で添書きする. その他の英字, すなわち単位 (k g など), 演算子 (sin など), 一般用語, 固有名詞はローマンとする.

(7) 数式

数式は改行して2行取りとし, 上付き, 下付きなどを赤字で添書きする. 分数式は, 原則として, $\frac{a}{b}$ のように書くが, 簡単な数式などを本文中に入れる場合には, $(a - 1) / (b + 2)$ のようにして1行に書く.

4. 掲載料と別刷り

掲載料は当分の間無料とするが, 特殊な印刷を必要としたり, ページ数の超過などがある場合には, 別途著者負担額を申し受けることがある.

別刷りが必要な場合は, 著者校正の際に必要な部数を申し出る. これに要する費用は著者負担とする.

日本陸上競技学会 学会賞・優秀発表賞規程

本規程は、日本陸上競技学会（以下「本学会」という）が、本学会会員（以下「会員」という）のより一層の研究・実践活動を奨励し、本学会の質的向上をはかるため、会員の顕著な研究・実践活動等の業績に対し顕彰をおこなうための事項を取り決めたものである。

第1条（名称）本賞は、優れた論文・著書等に対して授与する「学会賞」および学会大会における優れた一般発表に授与する「優秀発表賞」とする。

第2条（学会賞の選考）本会に「学会賞」に関する選考委員会（以下「学会賞委員会」という）を設ける。

- 1.（学会賞委員会の設置）学会賞委員会は、会長が委嘱する編集委員長および副委員長を含む本会理事若干名をもって構成される（委員の任期は3年とし、再選は妨げない）。委員会は、互選により委員長を選出する。
- 2.（学会賞の選考基準）学会賞は、筆頭著者が会員で、原則としてその前年度に刊行された「陸上競技学会誌」に掲載された論文および学術・啓蒙的著書等を対象として、最も優れた論文・著書等に対して授与する。
- 3.（受賞対象者）受賞対象者は、筆頭著者及びその共著者すべてとする。なお、筆頭著者以外は、会員、非会員を問わない。
4. 本学会賞制定後、数年は創立年度まで遡った業績も対象とする。
- 5.（学会賞候補の推薦）会長、副会長および理事は、学会賞の候補となりうる論文・著書等一篇を推薦することができる。また、会員は、2名以上の連名により、学会賞の候補になりうる論文・著書等一篇を推薦することができる。候補論文・著書等の推薦は、毎年度第1回の理事会より大会前1ヶ月までの期間とし、会長宛に文書で提出する。

第3条（優秀発表賞の選考）本会に「優秀発表賞」に関する選考委員会（以下「発表賞委員会」という）を設ける。

- 1.（発表賞委員会の設置）発表賞委員会は、当該大会に出席している、大会会長から委嘱された理事若干名をもって構成する。なお、委員長は大会会長とする。
- 2.（優秀発表賞候補の選考基準と推薦）発表賞委員会は、当該大会における一般発表（口頭およびポ

スター発表）において優れた発表一件を、所定の様式にしたがって記名式での推薦を行うよう会員に依頼する。

- 3.（受賞対象者）受賞対象者は、満35歳未満（当該年度4月1日現在）の会員（筆頭著者）で、受賞は1人に対して原則1回とする。

第4条（受賞候補者の決定）各委員会は、推薦された論文等・著書および一般発表を参考にしながら、「学会賞」候補論文・著書等を各一篇および「優秀発表賞」候補一件を決定し、理事会に報告する（ただし「該当なし」も可）。

第5条（受賞者の決定と表彰）受賞者の最終決定は、理事会において行う。なお、表彰は、筆頭著者へのみとし、「学会賞」については総会時、「優秀発表賞」については当該大会の閉会宣言時に授与する。

第6条（受賞者の貢献）受賞者は、次のいくつかの方法により、本学会会員の相互啓発に協力することとする。

- 1) 論文等の寄稿（本学会誌に未掲載の場合）
- 2) 本学会での講演等

第7条（規程改廃）本規程の改廃は、理事会において決定する。

附則

- 1 本規定は、平成21年11月14日から施行する。

陸上競技学会誌 投稿申込用紙（表紙）

① 投稿原稿の種類	原著論文 ・ 事例報告 ・ 研究資料 解説 ・ 陸上競技 Round-up ・ キーノートレクチャー その他
② 題 目 ・ (English)	
③ 著 者 名 ・ (English)	
④ 所 属 機 関 名 ・ (English)	
⑤ 所 在 地	〒
⑥ 連絡先電話番号	
⑦ E-mail アドレス	
⑧ K e y w o r d (5 個程度)	
※投稿の際は、上記情報を記載した著者作成表紙を添付してください。 原稿は原則電子データとして下記に E メールにて送付してください。 kaoyama@chs.nihon-u.ac.jp	

陸上競技学会誌編集委員会 委員名簿

委員長 青山 清英 日本大学
副委員長 眞鍋 芳明 国際武道大学
委員 加藤 基 帝京大学
委員 木越 清信 筑波大学
委員 近藤 克之 日本大学
委員 佐伯 徹郎 日本女子体育大学

委員 櫻井 健一 国際武道大学
委員 柴山 一仁 仙台大学
委員 田原 陽介 環太平洋大学
委員 前村 公彦 環太平洋大学
委員 吉田 孝久 日本女子体育大学

※ 50 音順、敬称略

編集後記

リオデジャネイロオリンピックにおける男子4×100mRの銀メダル獲得は私たちに大きな感動と、世界に対する衝撃を与えました。100m走のパフォーマンスにおいて9秒台が1人もいないにもかかわらず、世界のトップと対等に戦えた秘訣には、選手とそれを支える人たちの努力はもちろんのこと、バトンパス技術に対して積み上げてきたデータとその活用がありました。ここに本学会が掲げる理論と現場、科学と経験の融合の一つの答えがあるといえるのではないのでしょうか。

次はいよいよ東京オリンピックがやってきます。そのために第15回日本陸上競技学会大会が「東京オリンピックの成功に向けて」というテーマで公益社団法人日本学生陸上競技連合ならびに関東学生陸上競技連盟との共同開催のもと、環太平洋大学において開催されました。その基調講演において日本陸上競技連盟専務理事である尾縣貢先生にお話し頂きましたが、そのな

かで「アスリートの活躍」「オールジャパン体制で最高の競技運営を行う」「2020年以降に脈々と引き継がれるレガシーを残す」という3つの目標が東京オリンピックの成功に必要であると述べられました。本学会誌から発せられる知見は、アスリートのパフォーマンス向上と競技運営を支え、さらに様々な分野に向けた知的財産になり得なければならず、それはまさに東京オリンピックの成功へむけた一助になるものと確信しています。

会員の皆様には、引き続き多くのご投稿ならびに情報提供を頂きますようお願いするとともに、次なるロンドンでの世界選手権ならびに台湾でのユニバーシアードにおいてTeam Japanが活躍できることを願って編集後記とさせていただきます。

(編集副委員長 眞鍋芳明)

陸上競技学会誌 第15巻 (Vol.15, 2017)

2017年3月31日発行

発行人 澤村 博

編集人 青山清英

発行所 日本陸上競技学会

〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

筑波大学体育系

日本陸上競技学会事務局

TEL: 029-853-6321

E-Mail: info@jsa-web.com

製作 株式会社 文成印刷

印刷 株式会社 文成印刷