

目 次

◆原著論文

日本トップレベルの十種競技選手における各種ジャンプ能力の特徴：

国内トップレベルの跳躍選手との比較から…………… 1

吉本隆哉, 大沼勇人, 岩山海渡, 松林武生

女子学生砲丸投競技者における投てき記録と体格および体力との関係…………… 7

前田 奎, 吉岡奈津希, 中野美沙, 水島 淳, 岡室憲明, 景行崇文, 佐藤高嶺, 大山下圭悟

棒高跳における身体重心の最大鉛直速度へ影響を及ぼす力学的要因…………… 17

景行崇文, 松林武生, 浅井 武, 大山下圭悟, 木越清信

疾走の加速能力を決定する動作的要因の解明

—加速指数による加速能力の定量化— …………… 27

眞鍋芳明, 稲葉礼史, 荒川裕志

◆研究資料

リバウンドジャンプテストからみた走幅跳選手と走高跳選手の下肢筋力・パワー発揮特性…………… 37

図子あまね, 荻山 靖, 吉田拓矢, 図子浩太佑, 木越清信, 尾縣 貢

陸上競技経験のない小学校教諭における短距離動作を評価する能力の検討

—陸上競技経験者と比較して— …………… 45

中野美沙, 山元康平, 木越清信

◆事例報告

走高跳における踏切動作の接地時間と跳躍高をフィードバックする

Reactive High Jump test の即時的なトレーニング効果 …………… 51

藤林献明, 田中雅貴

◆Round-up

神戸マラソンのメディカル体制におけるトレーナーの役割…………… 63

松尾信之介

◆日本陸上競技学会第 18 回大会

基調講演 1 …………… 69

基調講演 2 …………… 72

石塚 浩, 室伏由佳, 安井年文

シンポジウム①…………… 75

小倉幸雄, 天野達郎, 近藤徳彦

シンポジウム②…………… 78

佐久間和彦, 山崎一彦, 熊野陽人, 木越清信

キーノートレクチャー…………… 82

森長正樹, 小林史明, 青木和浩

◆日本陸上競技学会会則

日本トップレベルの十種競技選手における各種ジャンプ能力の特徴：国内トップレベルの跳躍選手との比較から

吉本隆哉^{1),2)}, 大沼勇人^{1),3)}, 岩山海渡⁴⁾, 松林武生¹⁾

Characteristics of various jump performances in Japanese elite decathletes:
comparison with Japanese elite jumpers

Takaya Yoshimoto^{1),2)}, Hayato Ohnuma^{1),3)}, Kaito Iwayama⁴⁾, Takeo Matsubayashi¹⁾

Abstract

This study compared various jump performance of Japanese elite male decathletes and jumpers. Japanese elite male decathletes (N = 10; personal record: decathlon, 7,655 ± 348 points; long jump, 7.39 ± 2.05 m; high jump, 1.97 ± 0.09 m; pole vault, 4.63 ± 0.33 m) and jumpers (N = 44; personal record, long jump, 7.88 ± 0.14 m, n=14; triple jump, 16.37 ± 0.24 m, n=12; high jump, 2.24 ± 0.04 m, n=10; pole vault, 5.55 ± 0.18 m, n=8) participated in this study. The squat jump (SJ), counter-movement jump (CMJ) and rebound jump (RJ) were performed on a matswitch system. The standing long jump (SLJ) and standing five-step jump (SFJ) were measured with a measuring tape. As the results, there was no significant difference between the decathletes and jumpers in SJ, CMJ, RJ-index, height of RJ, SLJ and SFJ. On the other hands, the decathletes showed significantly longer contact time in RJ than the jumpers (decathlete; 161 ± 14 ms, jumper; 150 ± 15 ms, $P < 0.05$). Therefore, it was implied that the decathletes has different characteristics on lower extremity force exertion compared with the jumpers.

キーワード：stretch-shortening cycle, stiffness, ballistic movement, rebound jump, contact time

1. 緒言

十種競技は、100 m, 走幅跳 (Long jump, LJ), 砲丸投, 走高跳 (High jump, HJ), 400 m, 110 m ハードル, 円盤投, 棒高跳 (Pole vault, PV), やり投, 1500 m を2日間で実施し, International Association of Athletics Federations (IAAF) が定める各種目の得点表を用いて10種目の総合得点を競う競技である。十種競技の現世界記録保持者であるケビン・マイヤー選手は、総合得点が9,126点 (IAAF, 2019) であることから、日本記録の8,308点 (日本陸上競技連盟, 2018) よりも800点以上高い得点を獲得している。十種競技における世界記録

(World record, WR) と日本記録 (National record, NR) における各種目記録の差について概観すると、両者の大きな差の一つとして、跳躍種目が挙げられ (WR vs. NR, LJ: 7.88 m vs. 7.15 m, HJ: 2.01 m vs. 2.03 m, PV: 5.20 m vs 4.80 m), 特に走幅跳 (180 points) および棒高跳 (123 points) の差が顕著であることが窺える。

これまで、跳躍競技の競技パフォーマンスを定量するフィールドテストとして、垂直跳, リバウンドジャンプ, 立幅跳, 立五段跳といった各種ジャンプ能力が行われており (稲岡ら, 1993), 競技スポーツ現場ではパフォーマンス評価としてそれらの測定が実施されている (図子, 2016)。垂直跳および立幅跳は、直立姿勢から反動動作を使い、下肢3関節を屈曲・伸展することで跳躍を遂行する運動となる。この跳躍では比較的長い運動遂行時間内に低強度の伸張 - 短縮サイクル運動によって発揮できる力積の大きさを求めている (図子ら, 1993)。垂直跳と立幅跳を比較すると、前者では膝および足関節の伸展速度が、後者では股関節の伸展速度がパフォーマンスに大きく貢献している (Eckert, 1968)。リバウンドジャンプおよび立五段跳は、バリスティックな伸張 - 短縮サイクル運動の遂行能力を測る指標として用いられており、極めて短時間に筋 - 腱複合体を伸張させ、その後短縮することで発揮される単位時間当たりの爆発的な力の大きさを評価している (Bobbert et al., 1978a, 1978b; Bobbert, 1990; 岩竹ら, 2002; 図子・高松, 1995, 1996)。垂直跳と立幅跳の力発揮特性の違いとして、垂直跳が鉛直方向のみの直線運動であるのに対し、立幅跳

1) 国立スポーツ科学センター Japan Institute of Sports Sciences
〒115-0056 東京都北区西が丘 3-15-1

2) 皇學館大学 Kogakkan University
〒516-8555 三重県伊勢市神田久志本町 1704

3) 関西福祉大学 Kansai University of Social Welfare
〒678-0255 兵庫県赤穂市新田 380-3

4) 天理大学 Tenri University
〒632-8510 奈良県天理市柚之内町 1050

は、水平方向も含むことから放物運動となり、力発揮を遂行する方向が斜めとなることで、垂直跳と比較してより難易度の高い跳躍運動であるといえる。また、リバウンドジャンプと立五段跳のようなバウンディング運動との違いとして、リバウンドジャンプはパフォーマンスに足関節の底屈トルクおよび負のトルクパワー（荏山ら、2012；荏山・図子、2014）が、バウンディング運動はそれらの要因に加えて股関節および膝関節で発揮するパワーの貢献度が高い（荏山ら、2013）。これらのことから、フィールドテストで行われている各種ジャンプ能力は、必要となる能力がそれぞれで異なるといえる。

走幅跳、走高跳および棒高跳選手と十種競技選手は、専門とする競技の違いから、トレーニング手段や身体サイズが異なり、一概にフィールドテストで行われているジャンプ能力のみを比較することで、各跳躍種目の選手と十種競技選手のパフォーマンスの差について包括的に明らかにすることは難しい。しかしながら、競技パフォーマンスとの関連が強いジャンプ能力について、世界トップレベルの十種競技選手に、それぞれの種目で勝る日本トップレベルの跳躍（走幅跳、走高跳および棒高跳）選手と十種競技選手を比較することができれば、十種競技選手が高めるべきパワー発揮能力を究明できる可能性がある。もし、いずれかのジャンプ能力に十種競技選手が日本トップレベルの跳躍選手に劣る項目があるとするならば、上記で示した各ジャンプの特徴から、高めるべき身体機能を示唆することが可能となり、今後のトレーニング・コーチング活動に役立つ有用な知見を提供できるといえる。

そこで本研究では、日本トップレベルの十種競技選手と走幅跳、走高跳および棒高跳選手の各種ジャンプ能力の違いを明らかにし、そのうえで十種競技選手の競技パフォーマンス向上に役立つ基礎資料を得ることを目的とした。

2. 方法

2.1 被検者

被検者は、陸上競技十種競技選手10名（自己記録、7,656 ± 348 点；走幅跳 7.30 ± 0.25 m；走高跳 1.97 ± 0.09 m；棒高跳 4.63 ± 0.33 m）、走幅跳選手 14 名（自己記録、7.90 ± 0.12 m）、走高跳選手 10 名（自己記録、2.25 ± 0.04 m）、および棒高跳選手 8 名（自己記録、5.55 ± 0.18 m）であった。いずれの被検者も上肢あるいは下肢に障害を有しておらず、筋機能に影響を与えるような薬を服用していなかった。本実験は、事前に国立スポーツ科学センター倫理委員会の承認を得たうえで行った（承認番号：021 号）。測定の実施に先立ち、被検者には、本研究の目的および実験への参加に伴う危険性について十分な説明を行い、実験参加の同意を書面で得た。

なお、本研究で使用されるデータは、日本陸上競技連

盟に対して実施した医科学サポートの一貫で得られたものであり、その使用については、日本陸上競技連盟から承認を得た。

2.2 測定項目

(1) 形態および身体組成

身長および体重は、全自動身長体重計（AD-6228A, エー・アンド・デイ）を用いて 0.1 cm および 0.1 kg 単位で計測した。また、体重を身長で除することによって Body mass index（BMI）を算出した：体重（kg）／身長（m）²。

(2) スクワットジャンプ、垂直跳およびリバウンドジャンプ

スクワットジャンプ、垂直跳および連続 5 回のリバウンドジャンプは先行研究（図子ら、1993；Bosco et al., 1983；岩竹ら、2008）の方法にならい、マットスイッチ（マルチジャンプテスト, DKH）を用いて行った。垂直跳の跳躍高は、滞空時間を計測し、次式により算出した：跳躍高 = $1 / 8 \times \text{重力加速度 (g)} \times \text{滞空時間 (t)}^2$ 。リバウンドジャンプ指数は、跳躍高と接地時間から、次式より算出した：リバウンドジャンプ指数（m / s）= 跳躍高（m）／接地時間（s）。スクワットジャンプは膝関節角度を 90 度にした状態から反動動作を用いずに、垂直跳動作は立位姿勢から手を腰に当てた状態で反動動作を用いて鉛直方向への跳躍を全力で行うよう指示した。リバウンドジャンプ動作についても手を腰に当てた状態で実施し、できる限り踏切（接地）時間を短くし、できる限り高く鉛直方向への跳躍を 6 回連続で行うよう指示した。試行回数はいずれのジャンプにおいても 2 回とし、最高値を採用した。

(3) 立幅跳および立五段跳

立幅跳および立五段跳は、スタート離地時のつま先から着地時の踵までの跳躍距離をメジャーにより測定した。立幅跳動作では、被検者に立位姿勢から反動動作を用いて水平方向への跳躍を全力で行うよう指示した。立五段跳動作では、立位姿勢から反動動作を用いて水平方向への跳躍を全力で行い、1 歩目から 4 歩目は片脚交互で、5 歩目は両脚で着地するよう指示した。試行回数はいずれのジャンプにおいても 2 回とし、最高値を採用した。試行間の休息時間は 3 分間以上設け、被検者が違和感なく全力で行えることを確認した後に、次の試行を行った。両跳躍の測定はスパイクを履かずランニングシューズで実施した。

2.3 統計処理

測定値は、平均値（標準偏差）で表した。十種競技選手、走幅跳、走高跳および棒高跳選手について 1 要因の分散分析（Dunnett 法）を行い（競技記録については種目毎に対応のない t 検定）、主効果を確認した。加えて、

十種競技選手と3つの跳躍種目全体との差についても検討を実施するため、両群において対応のないt検定を実施した。対応のない1要因の分散分析として、Dunnett法を選択した理由として、本研究では十種競技選手と走幅跳、走高跳および棒高跳選手との比較が求められ、各跳躍選手間の比較は必要ないと判断された。このことから、1つの群とその他の群の比較を行うDunnett法を選択した(Dunnett, 1964)。

すべての統計処理は、統計処理ソフト(IBM SPSS Statistics 20, IBM Japan製)を用いて行った。いずれの場合も危険率5%未満をもって統計的に有意とした。

3. 結果

十種競技選手と走幅跳、走高跳、棒高跳選手および跳

躍選手の身体特性および各種ジャンプ能力を表1および2に示す。

身長、体重およびBMIにおいて、走幅跳、走高跳および棒高跳選手および跳躍選手と比較して十種競技選手の方が有意に高値を示した(F value = 4.06 ~ 7.45, $P < 0.05$)。

すべてのジャンプ能力で十種競技選手と走幅跳および走高跳選手との間には有意な差が認められなかったが、スクワットジャンプ、垂直跳、立五段跳では十種競技選手の方が棒高跳選手より有意に高い値を示した(F value = 2.82 ~ 6.38, $P < 0.05$)。

リバウンドジャンプの接地時間では、跳躍選手の方が十種競技選手より有意に小さい値を示した(F value = 6.04, $P < 0.05$)。

Table 1. Physical characteristics in decathletes and jumpers

Variable	Decathlete		Long Jumper		High Jumper		Pole Vaulter		Jumper			
Age, years	23.6	(3.2)	22.6	(3.0)	22.7	(2.8)	22.5	(1.8)	22.6	(2.6)		
Body height, m	1.836	(0.059)	1.776*	(0.033)	1.817	(0.058)	1.793	(0.044)	1.793	(0.047)		
Body mass, kg	78.7	(5.9)	69.7*	(5.6)	67.7*	(4.5)	67.6*	(5.3)	69.1*	(5.1)		
Body mass index, kg/m ²	23.3	(0.9)	22.1	(1.6)	20.5*	(1.4)	21.7*	(0.9)	21.5*	(1.6)		
Squat jump, m	0.519	(0.031)	0.504	(0.034)	0.501	(0.030)	0.461*	(0.026)	0.492	(0.035)		
Countermovement jump, m	0.562	(0.041)	0.544	(0.043)	0.536	(0.045)	0.485*	(0.037)	0.527	(0.048)		
Rebound jump index, m/s	2.95	(0.37)	3.13	(0.40)	3.18	(0.32)	2.87	(0.28)	3.08	(0.36)		
Contact time of rebound jump, ms	161	(14)	146	(13)	147	(12)	145	(9)	146*	(12)		
Height of rebound jump, m	0.470	(0.031)	0.455	(0.045)	0.504	(0.055)	0.457	(0.030)	0.445	(0.048)		
Standing long jump, m	2.93	(0.11)	2.87	(0.13)	2.88	(0.11)	2.79	(0.14)	2.85	(0.13)		
Standing five-step jump, m	15.46	(0.44)	15.45	(0.54)	15.34	(0.74)	14.46*	(0.88)	15.17	(0.80)		
Long Jump, m	7.30	(0.25)	7.88*	(0.14)								
High Jump, m	1.97	(0.09)									2.24*	(0.18)
Pole Vault, m	4.63	(0.33)										
Decathlon point	7656	(348)										

* $P < 0.05$ vs. Decathlete

Table 2. Minimum and maximum value of physical characteristics in decathletes and jumpers

Variable	Decathlete		Long Jumper		High Jumper		Pole Vaulter		Jumper					
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max				
Age, years	19	28	19	27	19	28	20	25	19	28				
Body height, m	1.748	1.955	1.716	1.838	1.706	1.934	1.740	1.858	1.706	19.34				
Body mass, kg	72.1	92.3	62.5	80.2	59.8	72.0	61.8	79.7	59.8	80.2				
Body mass index, kg/m ²	22.3	24.5	19.6	24.2	17.7	22.7	20.2	23.1	17.7	24.2				
Squat jump, m	0.479	0.565	0.453	0.571	0.456	0.552	0.427	0.516	0.427	0.571				
Countermovement jump, m	0.497	0.623	0.464	0.614	0.482	0.612	0.457	0.573	0.457	0.614				
Rebound jump index, m/s	2.09	3.36	2.49	3.77	2.71	3.61	2.63	3.51	2.49	3.77				
Contact time of rebound jump, ms	196	156	154	126	159	154	163	136	154	126				
Height of rebound jump, m	0.409	0.524	0.383	0.475	0.431	0.556	0.429	0.477	0.383	0.475				
Standing long jump, m	2.78	3.20	2.65	3.10	2.77	3.14	2.58	3.03	2.58	3.14				
Standing five-step jump, m	14.75	16.30	14.60	16.26	14.26	16.47	13.03	15.69	13.03	16.47				
Long Jump, m	6.74	7.65	7.71	8.11										
High Jump, m	1.75	2.05									2.19	2.33		
Pole Vault, m	4.00	5.00											5.40	5.83
Decathlon point	7234	8308												

The contact time and height of rebound jump were taken as the value at each rebound jump index

4. 考察

本研究は、国内トップレベルの十種競技選手と走幅跳、走高跳および棒高跳選手について、下肢のパワー発揮能力の代表的な指標とされるジャンプ能力の違いについて明らかにした。本研究で対象とした十種競技選手のシーズンベストは、7,655 ± 348 点であり、跳躍選手のシーズンベストは走幅跳で 7.88 ± 0.14 m、走高跳で 2.24 ± 0.04 m、棒高跳で 5.55 ± 0.18 m であった。これらの記録は 2017 年日本選手権において 1 位～3 位（十種競技、7873 ～ 7579 点；走幅跳、8.05 ～ 7.75m；三段跳、16.29 ～ 16.20m；走高跳、2.25 ～ 2.20m；棒高跳、5.60 ～ 5.50m、日本陸上競技連盟、2018）に相当することから、本研究では日本トップレベルにある十種競技選手および跳躍選手を対象としたといえる。

これまで、立幅跳は走幅跳、走高跳および棒高跳の競技パフォーマンスと有意な相関関係がみられない一方、三段跳を含む跳躍選手全体のパフォーマンスでみた場合には有意な相関関係が認められたことが報告されている（稲岡ら、1993）。一方で、本研究において走幅跳、走高跳、棒高跳選手と十種競技選手の立幅跳について比較した結果、両者の間には有意な差が認められず、跳躍選手全体で比較した場合でも同様であった。立幅跳の踏切時間は 0.5 秒～0.6 秒程度であり、これらの跳躍運動は比較的長い運動遂行時間内に低強度の伸張 - 短縮サイクル運動によって発揮できる力積の大きさを評価しており、垂直跳においても類似した運動特性を有している（図子ら、1993）。一方で、陸上競技の跳躍種目における走幅跳や走高跳は、踏切時間が 0.1 秒～0.2 秒と極めて短い（Hay, 1973；Karayannis, 1978）ことから、運動遂行時間としては垂直跳および立幅跳の方が長く、身体が発揮できる力の大きさが強く影響すると考えられる。本研究で対象とした十種競技選手の体重および BMI は、跳躍選手と比較して有意に高い値を示し、競技スポーツ選手の体重は、身体が有する力発揮能力の指標となる除脂肪体重を強く反映する（金久ら、2002）。十種競技選手は、その種目特性上、投擲種目の競技パフォーマンスも必要となることから、体重が有意に高値を示したものと考えられ、跳躍選手と比較して身体の各関節で発揮できる力が優れている可能性がある。一方で、身体質量が大きいことは、垂直跳の跳躍高の減少につながり（Nilolaidis et al., 2017）、下肢筋群のパワー発揮に対して負の影響を与えることが示唆される。立幅跳についても鉛直方向への力発揮が必要となることから同様の影響を及ぼすことが予想される。垂直跳は、膝および足関節の伸展速度が、立幅跳では股関節の伸展速度がパフォーマンスに大きく貢献することから（Eckert, 1968）、十種競技選手では下肢三関節を伸展させるパワーが跳躍選手

より高いものの、身体質量が大きいことで体重移動に負の影響を与え、それらの要因が相互に作用し、結果的に走幅跳、走高跳選手および跳躍選手全体と十種競技選手との間で垂直跳および立幅跳に有意な差がみられなかったものと推察される。一方で、本研究では棒高跳選手が十種競技選手と比較して垂直跳において有意に低値を示した。棒高跳は、下肢の発揮パワーが必要となる一方（稲岡ら、1993）、ボールの湾曲や踏切の際にボールの下端に力を発揮するなど、技術的な要因がパフォーマンスの大きな割合を占める（高松ら、1998）。このことから、比較的下肢の発揮パワーが低くとも、棒高跳の技術的要因が高いことによって優れたパフォーマンスを発揮できる可能性があり、走幅跳および走高跳選手と十種競技選手の比較と異なる結果になったものと推察される。

リバウンドジャンプ指数は、跳躍高を接地時間で除することで算出され、単位時間あたりに発揮できる下肢のパワーを示している。このことから、跳躍高の増大もしくは接地時間の短縮のどちらか、もしくはその両方の改善が必要となる（岩竹ら、2002）。リバウンドジャンプ能力において、十種競技選手と走幅跳、走高跳および棒高跳選手を比較した結果、それぞれの跳躍種目毎における跳躍選手と十種競技選手の間にはすべての群間で有意な差が認められなかったが、跳躍選手全体で見た場合にはリバウンドジャンプの接地時間において十種競技選手より有意に低値を示した。このことは、リバウンドジャンプというパフォーマンスが同等レベルであっても、そのパフォーマンスを発揮するためのアプローチが十種競技選手と跳躍選手では異なることが示唆される。リバウンドジャンプは、Spring-mass model (McMahon and Cheng, 1990) を用いることで、圧縮 - 伸長運動（圧縮速度、伸長速度、Stiffness）として捉えることができ、Stiffness は Spring-mass model の圧縮量とモデルに作用した地面反力の大きさからばねの硬さを評価している（荻山・図子、2013, 2014）。リバウンドジャンプにおける跳躍高は、伸長速度と有意な相関関係が、踏切（接地）時間は Stiffness と有意な相関関係があり、伸長速度が大きい者ほど跳躍高が高く、Stiffness が高い者ほど踏切時間が短い（荻山・図子、2013, 2014）。このことから、十種競技選手より跳躍選手の方がリバウンドジャンプの接地時間が短かったことは、跳躍選手の方が高い Stiffness を獲得しているものと推察され、Stiffness は、足関節の底屈トルクおよび負のトルクパワーとの間に有意な相関関係が認められている（荻山・図子、2015）。前述したように、十種競技選手は体重というマイナス要因があるにも関わらず、跳躍選手と同等の垂直跳および立幅跳のパフォーマンスを発揮していたことから、それらのジャンプに求められるパワーは跳躍選手より高い可能性がある。しかしながら、リバウンドジャンプの接地時間から求められる能力に関しては体重という要因を補

うほどの能力を有していないことが示唆され、このことが結果的に跳躍選手と同等の Stiffness を獲得できない要因となる可能性がある。したがって、十種競技選手は、跳躍選手と同程度の接地時間に関する能力を有していたとしても、接地時間をより短くし、Stiffness を高める取り組みを必要とすることが示唆される。一方で、跳躍競技のパフォーマンスには踏切に必要な技術的要因（志賀・尾縣，2004）や助走スピード（小山ら，2011）などの影響が大きく、本研究で示されたリバウンドジャンプの接地時間において十種競技選手と跳躍選手の間に差がみられたことは、競技パフォーマンスの差となる一要因を示唆するに留められるだろう。

立五段跳のようなバウンディング運動は、リバウンドジャンプと同様に、短時間で爆発的な力発揮が要求されるバリスティックな伸張 - 短縮運動であるが、リバウンドジャンプとは異なり、立五段跳では十種競技選手と走幅跳および走高跳選手との間に有意な差は認められなかった。前述した Stiffness は、リバウンドジャンプにおいて、足関節の底屈トルクおよび負のトルクパワーとの間に有意な相関関係が認められており、足関節を中心とする“硬いばね”が両者における踏切時間に強く影響している（荻山・図子，2015）。バウンディングはその要因が貢献する一方で、支持期前半において股および膝関節が大きな伸展トルクまたはトルクパワーを発揮する（荻山・図子，2014）。これまでの結果から、走幅跳および走高跳選手は足関節を中心とする高い Stiffness が立五段跳の遂行能力に貢献している可能性が高いが、十種競技選手はその点や前述した体重によるマイナスの影響があるものの、股および膝関節を中心とする大きな伸展トルクまたはトルクパワーを発揮することで、結果的に走幅跳および走高跳選手と同等の跳躍距離を獲得しているものと考えられる。

5. 結論

本研究では、十種競技選手と跳躍選手との各種ジャンプ能力の違いについて明らかにし、競技スポーツ現場に役立つ有用な知見を得ることを目的とした。その結果、垂直跳、立幅跳、リバウンドジャンプ指数、リバウンドジャンプ高には両者の間に有意な差はみられなかったが、リバウンドジャンプの接地時間において、跳躍選手が十種競技選手よりも有意に短い値を示した。以上のことから、十種競技選手は跳躍選手と比較して、足関節を中心とする力発揮特性が異なる可能性がある。

引用文献

- Bobbert, M. F., Huijting, P. A. and Van Ingen Schenau, G. J. (1987a) Drop Jumping I: The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 19: 332-338.
- Bobbert, M. F., Huijting, P. A. and Van Ingen Schenau, G. J. (1987b) Drop Jumping II: The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med Sci Sports Exerc*, 19: 339-346, 1987.
- Bobbert, M. F. (1990) Drop jumping as a training method for jumping ability. *Sports. Med.*, 9: 7-22.
- Bosco, C., Luhtanen, P., and Komi, P.V. (1983) A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 50: 273-282.
- Dunnett CW (1964) New tables for multiple comparisons with a control. *Biometrics*. 20: 482- 491.
- Eckert HM. (1968) Angular velocity and range of motion in the vertical and standing broad jump. *Res Quart* 39: 937-942.
- Hay JG. (1973) The Hay technique ultimate in jump style. *Athletic. Journal* 53: 113-115.
- 稲岡純史, 村木征人, 国土将平 (1993) コントロールテストからみた跳躍競技の種目特性および競技パフォーマンスとの関係, *スポーツ方法学研究*, 6 : 41-48.
- International Association of Athletics Federations. World record. <https://www.iaaf.org/records/by-category/world-records>, (accessed 2019-01-22)
- 岩竹 淳, 鈴木朋美, 中村夏実, 小田宏行, 永澤 健, 岩壁達男 (2002) 陸上競技選手のリバウンドジャンプにおける発揮パワーとスプリントパフォーマンスとの関係, *体育学研究*, 47 : 253-261.
- 岩竹 淳, 山本正嘉, 西園秀嗣, 川原繁樹, 北田耕司, 図子浩二 (2008) 思春期後期の生徒における加速および全力疾走能力と各種ジャンプ力および脚筋力との関係, *体育学研究*, 53 : 1-10.
- 金久博昭, 秋間 広, 川上泰雄, 神崎素樹, 久保啓太郎, 豊岡 史, 深代千之, 政二 慶 (2002) 身体の高さへの興味, 福永哲夫教授退官記念誌編集委員会, 初版, 福永哲夫教授退官記念誌, 壮光舎印刷. pp. 89-139.
- Karayannis M. (1978) A Cinematographical analysis of long jump take off: The best nine long jumpers at the 1974 NCAA championship. *Track and Field Quart Review* 78: 17-24.
- 荻山 靖, 遠藤俊典, 藤井宏明, 森 健一, 尾縣 貢, 図子浩二 (2012) 片脚踏切を用いたリバウンド型ジャンプの動作および力発揮特性：両脚踏切を用いたリバウンド型ジャンプと比較して. *体育学研究*, 57 : 143-158.
- 荻山 靖, 藤井宏明, 森 健一, 図子浩二 (2013) 片脚および両脚リバウンドジャンプにおける3次元的な力発揮特性の相違, *体育学研究*, 58 : 91-109.
- 荻山 靖, 図子浩二 (2013) 陸上競技跳躍種目のパフォーマンス向上に対するバウンディングとリバウンドジャンプの用い方に関するトレーニング学的研究, *トレー*

- ニング科学, 25 : 41-53.
- 荻山 靖, 図子浩二 (2014) 跳躍方向の異なるバウンディングにおける踏切脚の力発揮特性, 体育学研究, 59 : 397-411.
- 荻山 靖, 図子浩二 (2015) バウンディングにおける Stiffness 特性へ影響する踏切脚の力およびパワー発揮, 体育学研究, 60 : 137-150.
- 小山宏之, 阿江通良, 藤井範久, 宮下 憲 (2011) 競技レベル別に見た走幅跳の助走スピードの定量化ートレーニングで簡便に利用できる指標の提案ー, 筑波大学体育科学系紀要, 34 : 169-173.
- McMahon TA and Cheng GC. (1990) The mechanics of running: how does stiffness couple with speed? *J Biomech* 23: 65-78.
- 日本記録. <http://www.jaaf.or.jp/record/japan/?segment=1>, (参照日 2018 年 3 月 27 日)
- Nikolaidis PT, Gkoudas K, Afonso J, Clemente-Suarez VJ, Knechtle B, Kasabalis S, Kasabalis A, Douda H, Tokmakidis S and Torres-Luque G. (2017) Who jumps the highest? Anthropometric and physiological correlations of vertical jump in youth elite female volleyball players. *J Sports Med Phys Fitness* 57: 802-810.
- 志賀 充, 尾縣 貢 (2004) 走幅跳競技者の下肢筋力と踏切中のキネマティクス及びキネティクスの関係: 膝関節と股関節に着目して, 体力科学, 53 : 157-166.
- 高松潤二, 阿江通良, 藤井範久 (1998) 棒高跳に関するバイオメカニクスの研究: ボールの弦反力から見た最大重心高増大のための技術的要因, 体育学研究, 42 : 446-460.
- 図子浩二 (2016) 特集: パフォーマンスを評価する, パフォーマンス構造を理解しトレーニングサイクルを循環させる, 初版, コーチングクリニック, 共同印刷株式会社. pp. 4-7.
- 図子浩二, 高松 薫, 古藤高良 (1993) 各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性, 体育学研究, 38 : 265-278.
- 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, 体育学研究, 40 : 29-39.
- 図子浩二, 高松 薫 (1996) リバウンドドロップジャンプにおける着地動作の違いが踏切中のパワーに及ぼす影響 - 膝関節角度に着目して -, 体力科学, 45 : 209-218.
-

女子学生砲丸投競技者における投てき記録と 体格および体力との関係

前田 奎¹⁾, 吉岡奈津希²⁾, 中野美沙³⁾, 水島 淳⁴⁾, 岡室憲明⁵⁾, 景行崇文⁴⁾,
佐藤高嶺⁴⁾, 大山卞圭悟³⁾

Relationships between throwing performance and physical fitness parameters
in Japanese female collegiate shot putters

Kei MAEDA¹⁾, Natsuki YOSHIOKA²⁾, Misa NAKANO³⁾, Jun MIZUSHIMA⁴⁾, Noriaki OKAMURO⁵⁾,
Takafumi KAGEYUKI⁴⁾, Takane SATO⁴⁾, Keigo OHYAMA-Byun³⁾

Abstract

The purpose of this study was to clarify the relationships between throwing performance and physical fitness parameters and also the relationships between each parameter in female collegiate shot putters. Covering 37 female collegiate shot putters, a paper-based questionnaire method was adopted to investigate throwing performance and physical fitness parameters. As a result, parameters which significantly correlated to throwing performance were only four items: height, forward under-head shot throw, backward over-head shot throw and standing shot put. There were no significant correlations between throwing performance and physical fitness parameters about strength training and jumping. These results suggest that most closely correlated parameter to throwing performance are physical fitness parameters about throwing and physical fitness parameters that are similar to shot put in power output ability are critical in female collegiate shot putters.

キーワード: Athletics, Throwing events, Shot put, Physical constitution, Physical strength

1. 緒言

砲丸投は、陸上競技における投てき種目の一つであり、直径 2.135m のサークルから規定の重量の砲丸（一般男子：7.260kg 以上，一般女子：4.0kg 以上）を投げ、その投てき記録を競う競技である。砲丸投を含む投てき種目には、男女とも身長が高く体重の多い競技者が適しており、除脂肪量が多いことが条件になるとされている（尾縣，1990）。また、投てき種目は、物体をより遠くに投げる必要があり、競技能力の向上に関しては技術面のみ

ならず筋形態および機能的要素の関与が非常に大きく影響することが報告されている（青山ほか，2003）。さらに、投てき種目には爆発的なパワー発揮能力が重要であること（高梨ほか，2009a，2009b；田内ほか，2003），形態や筋力のみならず全身スピードの要素も高いことが重要であること（西藤，1969）が示されている。したがって、砲丸投において、高い投てき記録を達成するためには、前述したような体力要因を高めることは重要な課題であると考えられる。

これまでの砲丸投競技者の体力要因に関する先行研究には、形態、身体能力および運動能力に関する調査および測定を行った報告（山科，1989）や、ジュニア競技者を対象にコントロールテストを行った報告（木南，2010）などがある。これらの先行研究から、砲丸投では身長、フルスクワット、50m 走および垂直跳が競技力に関係する因子として考慮され、投てき記録に貢献している要素であったこと（山科，1989）、砲丸投競技者は他の全種目と比較して男女ともにメディシンボール投げ Front および Back（全身的なパワー発揮能力）が有意に高い値を示したこと（木南，2010）が明らかとなっている。しかしながら、これらの先行研究は、高校ランキング上位の男子競技者やジュニア競技者を対象としたものであるため、扱う投てき物の重量や形態的特徴が異なる女子砲丸投競技者に、得られた結果を全ては適用できない可能性があるだろう。女子投てき競技者を対象とした

1) 筑波大学スポーツ R&D コア Sports Research and Development Core, University of Tsukuba
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1

2) 宮崎大宮高等学校 Miyazaki Omiya High School
〒880-0056 宮崎県宮崎市神宮東 1-3-10

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

4) 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

5) 青山学院大学教育人間科学部 Aoyama Gakuin University
〒252-0206 神奈川県相模原市中央区淵野辺 5-10-1

先行研究としては、中野ほか（2007）や高梨ほか（2009a, 2009b）の報告などが挙げられる。中野ほか（2007）は、競技力の高い競技者ほど、スクワットジャンプ、垂直跳、30cmからのドロップジャンプおよび5回連続リバウンドジャンプにおいて、高い能力を有していたことを報告している。また、高梨ほか（2009a, 2009b）の報告においては、競技力の高い競技者ほど立幅跳、立三段跳および砲丸バック投げの記録が高いことが示されている。これらの研究では、砲丸投競技者のみではなく、すべての投てき競技（砲丸投、円盤投、やり投およびハンマー投）の競技者あるいはサークル系種目（砲丸投、円盤投およびハンマー投）の競技者を対象として、競技力と各体力要因との関係について検討がなされている。砲丸投は、ハンマー投と並んで、投てき種目の中でも最も重量の大きな投てき物を扱うこと、また砲丸投はハンマー投よりも動作時間が短いこと（広瀬ほか、2016；田内ほか、2005）を考慮すると、中野ほか（2007）や高梨ほか（2009a, 2009b）の結果は、女子砲丸投競技者の体力の特徴を十分に抽出できていない可能性があると考えられる。このように、男子砲丸投競技者を対象に、あるいは砲丸投を含む投てき種目の女子競技者を対象に、投てき記録と体力要因との関係について検討した研究は多くなされてきているものの、女子砲丸投競技者の投てき記録に影響を及ぼす体力要因について検討を行った研究は見当たらない。上述したように、砲丸投における競技力の向上には体力要因の向上による関与が大きい可能性があり、女子砲丸投競技者に要求される体力要因を明らかにすることで、女子砲丸投競技者を対象としたトレーニング計画の立案およびコーチングを実施する上で、有用な知見を得ることができると思われる。

また、近年跳躍種目において、トレーニングの「階層構造モデル」が示されており（荏山、2017；図子、2016）、各種体力間の関係を考慮することの重要性が提唱されている。荏山（2017）は、Young（2006）、Zatsiorsky and Kraemer（2006）および図子（2012）の見解を援用し、各トレーニング手段の関係を階層構造的に把握する必要があると述べている。しかし、先述したいずれの先行研究においても投てき記録との直接的な相関関係のみが検討されているのが現状である。各種体力間の関係を理解しておくことは、より良いトレーニング計画立案のために必要であると考えられる。

そこで本研究は、女子砲丸投競技者の投てき記録と体力との関係および各体力間の関係を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1 対象者

2017年関東学生陸上競技対校選手権大会あるいは2017年日本学生陸上競技個人選手権に出場した女子学

生砲丸投競技者を対象に、後に示す項目について質問紙法による調査を行った。質問紙は、郵送によって配布および回収した。本研究では、質問紙を合計45部配布し、そのうち37部（22校）を回収した（回収率82.2%）。質問紙には、研究の目的や内容などを記載し、研究参加は対象者の自由意志によるものであること、一旦同意した場合でも不利益を受けずに同意を撤回できること、得られたデータの取扱いといった倫理的な配慮について明記し、それらの説明事項への理解を得た上で、文書によって研究参加の同意を得た。

2.2 調査項目

先行研究およびトレーニング上の実用性を考慮して（前田ほか、2018）、フィールドテストやトレーニングで実施されている種目について調査を行った。本研究では、それらの中から、以下に示す競技歴（ウエイトトレーニング歴を含む）、体格および体力要因について扱った。体力に関する項目は、ウエイトトレーニング種目（以下、「WT種目」と略す）、走種目、跳躍種目および投種目の4つの種目カテゴリの中から調査項目を選択した。

競技歴として、1. 陸上競技の競技歴、2. 砲丸投の競技歴、3. ウエイトトレーニング歴（以下、「WT歴」と略す）、体格に関する項目として、4. 身長、5. 体重、体力に関する項目のWT種目として、6. フルスクワット、7. ベンチプレス、8. スナッチ、9. クリーン、10. デッドリフト、走種目として、11. 30m走、12. 50m走、跳躍種目として、13. 立幅跳、14. 立三段跳、15. 立五段跳、投種目として、16. 砲丸フロント投、17. 砲丸バック投、18. 砲丸の立ち投（以下、「立ち投」と略す）、19. 砲丸投公認最高記録（以下、「投てき記録」と略す）を調査した。

6-10のWT種目に含まれる項目は、1回を挙上可能な最大の重量を、11-19の項目は最高記録について回答を得た。なお、いずれも砲丸投公認最高記録を出した時期のものについて、回答を要求した。16-17の砲丸フロント投および砲丸バック投については、足留め材の上からの投てきとした。

2.3 統計処理

全ての項目は、平均値と標準偏差で示した。各項目間の相関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。なお、有意水準は5%未満に設定した。本研究では、信頼性を担保するため、標本数がおおよそ全体の半分である19名以下ものは、女子学生砲丸投競技者を対象としたフィールドテストあるいはトレーニングとして実施数が少なく、それらの項目で得られた結果を一般化するべきでないと判断し、分析から除外した。

3. 結 果

3.1 投てき記録と各調査項目との関係

各調査項目の標本数, 平均値, 標準偏差, 最大値, 最小値, および投てき記録との相関係数を表1に, 散布図を図1, 2, 3および4に示した. 投てき記録と身長

($r=0.466$, $p<0.01$), 砲丸フロント投 ($r=0.387$, $p<0.05$), 砲丸バック投 ($r=0.416$, $p<0.05$), 立ち投 ($r=0.773$, $p<0.01$) の項目において, 有意な相関関係が認められた. なお, 標本数が19名以下であった30m走, 50m走および立三段跳は, これ以降の分析および考察の対象から除外した.

表1 各調査項目の平均値, 標準偏差, 最大値, 最小値

項目	標本数	平均値	標準偏差	最大値	最小値
投てき記録(m)	37	13.95	.95	16.57	12.01
陸上競技の競技歴(年)	37	7.6	2.4	15.0	3.0
砲丸歴の競技歴(年)	35	6.9	1.9	11.0	3.0
ウェイトトレーニング歴(年)	37	5.6	1.9	12.0	2.0
身長(m)	37	1.61	.05	1.78	1.56
体重(kg)	37	74.4	10.8	110.0	58.0
フルスクワット(kg)	31	107.7	26.2	170.0	70.0
ベンチプレス(kg)	36	88.3	14.8	115.0	60.0
スナッチ(kg)	31	58.8	8.0	75.0	45.0
クリーン(kg)	33	83.6	12.6	110.0	55.0
デッドリフト(kg)	30	137.9	22.4	200.0	100.0
30m走(秒)	13	4.41	.31	5.36	4.30
50m走(秒)	19	7.11	.43	8.26	6.80
立幅跳(m)	31	2.20	.12	2.52	2.10
立三段跳(m)	14	6.27	.73	8.00	5.00
立五段跳(m)	28	11.03	.80	12.90	10.00
砲丸フロント投(m)	35	12.73	1.12	15.30	10.00
砲丸バック投(m)	34	14.38	1.14	17.20	12.69
立ち投(m)	33	12.10	.95	15.00	10.80

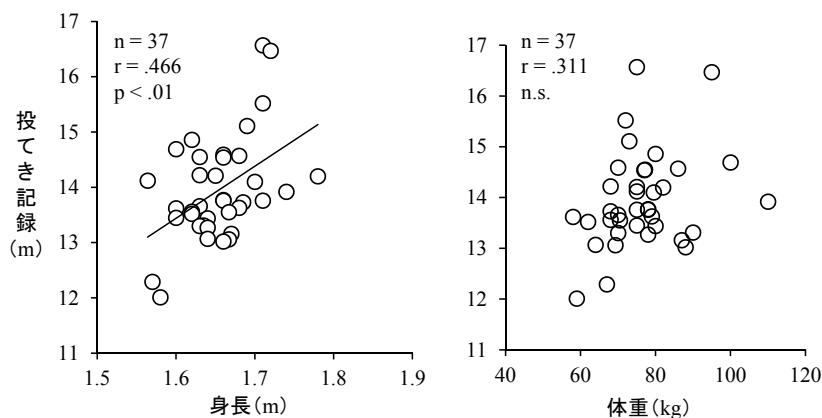


図1 投てき種目と体格に関する項目との相関関係

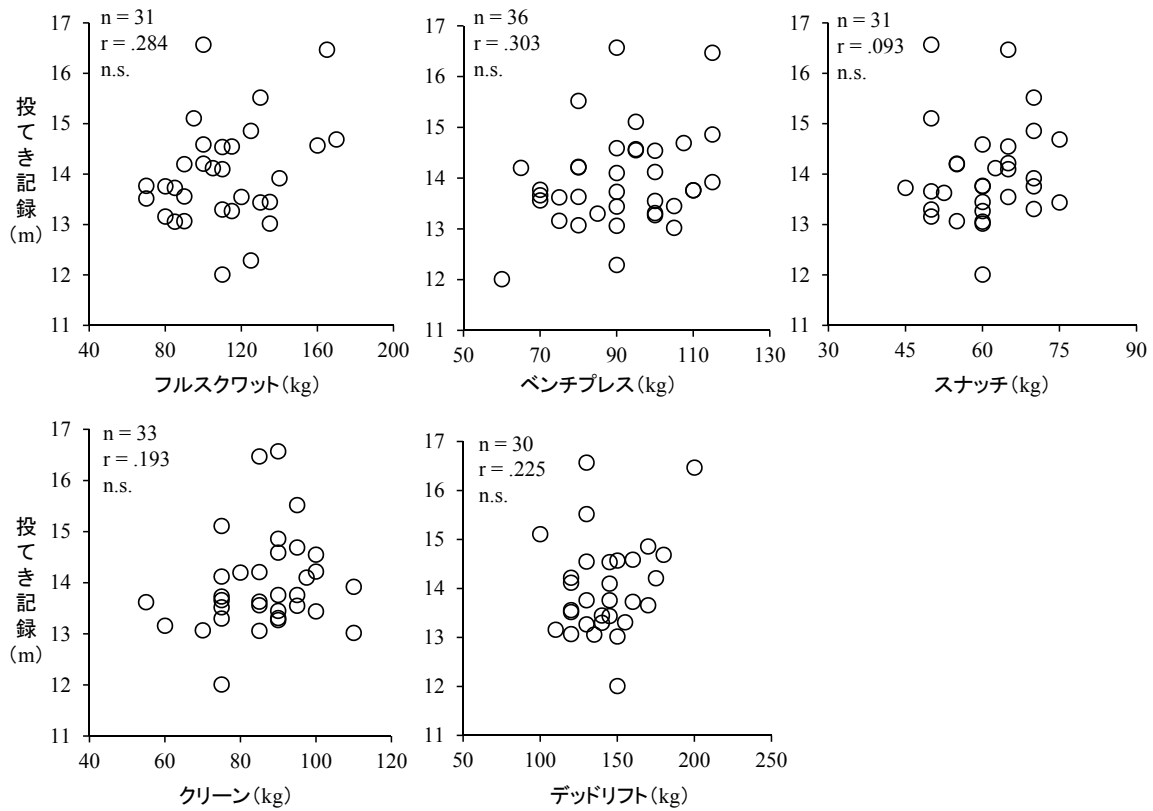


図2 投てき記録とWT種目の記録との相関関係

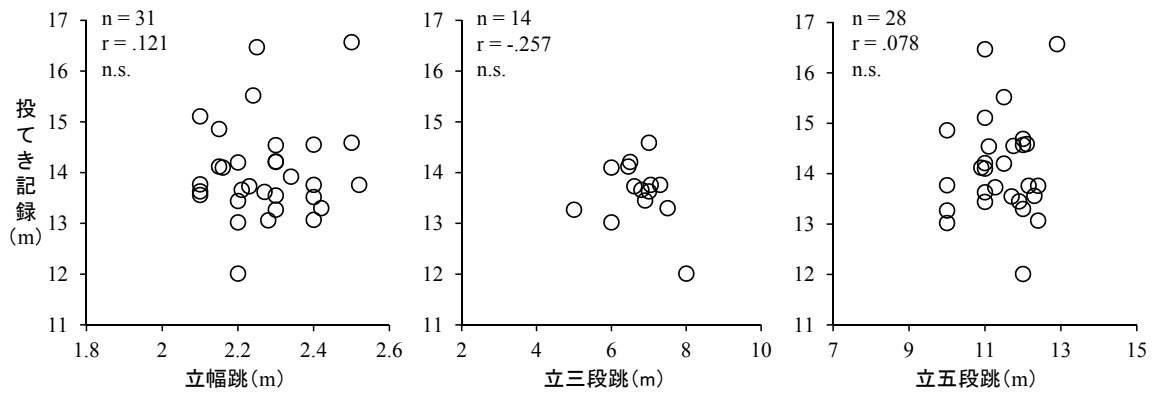


図3 投てき記録と跳躍種目の記録との相関関係

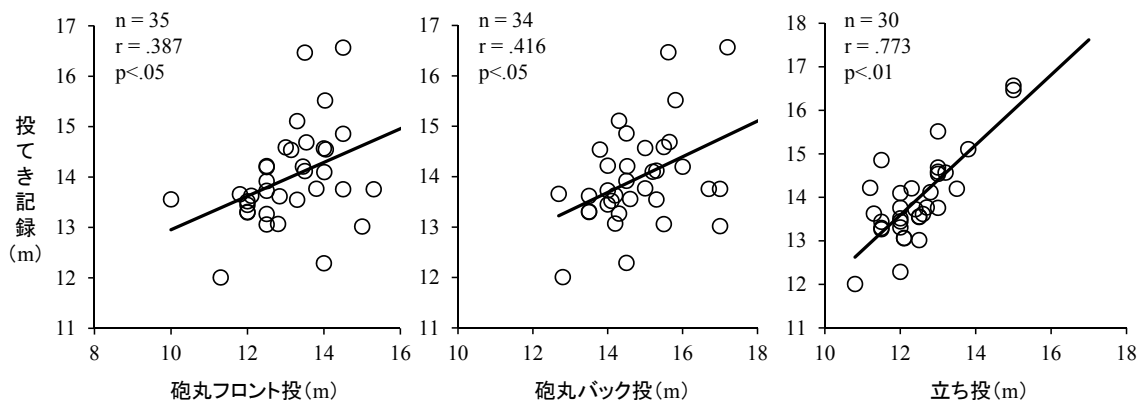


図4 投てき記録と投種目の記録との相関関係

3.2 各調査項目間の関係

各調査項目間の相関係数を表2に示した。身長との間に有意な相関関係が認められた項目は、体重 ($r=0.421$, $p<0.01$)、砲丸バック投 ($r=0.476$, $p<0.01$)、立ち投 ($r=0.544$, $p<0.01$) であった。また、体重との間に有意な相関関係が認められた項目は、フルスクワット ($r=0.585$, $p<0.01$)、ベンチプレス ($r=0.562$, $p<0.01$)、スナッチ ($r=0.429$, $P<0.05$)、クリーン ($r=0.511$, $p<0.01$)、デッドリフト ($r=0.450$, $p<0.05$) の全てのWT種目、立ち投 ($r=0.361$, $p<0.05$) であった。フルスクワットとの間に有意な相関関係が認められた項目は、ベンチプレス ($r=0.561$, $p<0.01$)、スナッチ ($r=0.674$, $p<0.01$)、クリーン ($r=0.593$, $p<0.01$)、デッドリフト ($r=0.589$, $p<0.01$) であった。また、ベンチプレスとの間に有意な相関関係が認められた項目は、スナッチ ($r=0.483$, $p<0.01$)、クリーン ($r=0.529$, $p<0.01$)、砲丸フロント投 ($r=0.504$, $p<0.01$)、砲丸バック投 ($r=0.380$, $p<0.05$) であった。スナッチとの間に有意な相関関係が認められた項目は、クリーン ($r=0.677$, $p<0.01$) であった。また、クリーンとの間に有意な相関関係が認められた項目は、砲丸フロント投 ($r=0.394$, $p<0.05$)、砲丸バック投 ($r=0.499$, $p<0.01$) であった。立幅跳との間に有意な相関関係が認められた項目は、立五段跳 ($r=0.628$, $p<0.01$) であった。また、砲丸フロント投との間に有意な相関関係が認められた項目は、砲丸バック投 ($r=0.698$, $p<0.01$) および立ち投 ($r=0.377$, $p<0.05$) であった。砲丸バック投との間に有意な相関関係が認め

られた項目は、立ち投 ($r=0.563$, $p<0.01$) であった。

4. 考 察

4.1 投てき記録と体格に関する項目との関係

体格に関する項目に関して、身長と投てき記録との間に有意な相関関係が認められた (図1)。この結果は、砲丸投では投てき記録に対する身長および50m走の重相関係数が有意であったという報告 (山科, 1989) を支持しており、女子砲丸投競技者にも身長の高さが要求されることを示唆するものである。砲丸投において、遠くへ投げるための条件として初速度、投射角および投射高が重要な要因であり、特に初速度は投てき記録に与える影響が大きいことが示されている (Hay, 1985; 加藤, 1960; Ohyama et al., 2008)。投射高について、Hay (1985) は、初速度ほど投てき記録に影響を与えないが、リリース時における競技者の身体の姿勢によって決まると述べている。この投射高に大きな影響を与える体格に関する要因として身長が挙げられる。また、指導書 (金子, 1988) では、投てき種目の中でも投てき物が重く、限られた狭いサークル内 (2.135m) から投てきする砲丸投にとって、身体的資質に恵まれていることは有利な条件とされている。身長が高い競技者ほど、四肢も長くなると考えられるため、身長が高い競技者は、砲丸を加速可能な距離が長くなると推察される。このような背景からも、投てき記録と身長との間に有意な正の相関関係が認められたことが説明できる。

本研究において、投てき記録と体重との間に有意な相

表2 各調査項目間の相関係数

	体重	フルスクワット	ベンチプレス	スナッチ	クリーン	デッドリフト	立幅跳	立五段跳	砲丸フロント投	砲丸バック投	立ち投
身長	.421**	-.061	.083	-.163	.244	.072	.111	.039	.244	.476**	.544**
体重		.585**	.562**	.429*	.511**	.450*	-.078	-.305	.274	.331	.361*
フルスクワット			.561**	.674**	.593**	.589**	-.105	-.056	.224	.085	.143
ベンチプレス				.483**	.529**	.296	.285	-.147	.504**	.380*	.219
スナッチ					.677**	.231	-.027	-.128	.289	.230	-.174
クリーン						.221	.098	-.220	.394*	.499**	-.051
デッドリフト							-.023	-.198	.136	-.009	.169
立幅跳								.628**	.260	.290	.166
立五段跳									-.174	.145	.221
砲丸フロント投										.698**	.377*
砲丸バック投											.563**

**: $p<.01$, *: $p<.05$

関関係は認められなかった(表4)。森木ほか(2016)は、男子熟練競技者、男子未熟練者および女子未熟練者を対象として投てき記録と体格との関係について検討した結果、いずれの群においても有意な正の相関関係が認められたことを報告している。また、西藤(1969)は、体重は筋量と深く関係することを示唆しており、植屋(1988)は、投てき動作によって獲得できる運動量を大きくするために、砲丸投競技者には体重が必要であると述べている。本研究において、先行研究と異なる結果が得られたことは、性別および投てき物の重量の違いによる影響を受けていることが推察される。一般に、運動量は質量と速度の積として定義されるため、どちらを大きくしても獲得する運動量を増加させることができる。砲丸の質量は、女子が4.0kgであるのに対し、男子では7.26kgであり、男女間で投てき物の質量差が大きいことがわかる。また、女子競技者にとっての4.0kgという質量は、相対的に男子と比べて軽いことが示唆されており(橋本ほか, 2004)、女子競技者は比較的動作速度を高めやすいことが推察される。実際に、2017年の世界陸上競技選手権大会での決勝進出者の体重(Dinsdale et al., 2018a, 2018b)について確認すると、男子では $126.33 \pm 7.16\text{kg}$ 、女子では $95.50 \pm 17.33\text{kg}$ であり、平均値に対する砲丸の質量比は男子で5.75%、女子で4.19%である。すなわち、体重を増加させずとも、動作速度を高めることによって運動量を獲得し、初速度を高めることができる可能性が高いため、女子砲丸投競技者の投てき記録と体重との間には相関関係は認められなかったと考えられる。しかしながら、世界レベルの競技者(2017年世界選手権ロンドン大会の女子砲丸投決勝においてグライド投法を用いた競技者)は、身長が $1.79 \pm 0.04\text{m}$ 、体重が $94.25 \pm 19.72\text{kg}$ であり(Dinsdale et al., 2018b)、本研究の対象者(身長: $1.61 \pm 0.05\text{m}$ 、体重: $74.4 \pm 10.8\text{kg}$)よりも形態的に大きいことがわかる。また、アメリカの女子砲丸投競技者29名(投てき記録の平均値: $15.24 \pm 2.84\text{m}$)を対象に、WT種目(ベンチプレス、スクワットおよびパワークリーンの1RM)と投てき記録との相関関係を検討した先行研究(Judge et al., 2013)では、身長が $1.76 \pm 0.08\text{m}$ 、体重が $95.5 \pm 16.3\text{kg}$ であることが示されている。このように、海外の競技者と日本人競技者との間で、身長では0.15-0.18m、体重では20kg程の差があるため、海外の競技者と日本人競技者の両方を対象として、同様の分析を行った場合、投てき記録と体重との間に有意な正の相関関係が認められる可能性がある。したがって、日本人競技者が、今後世界レベルを目指すためには、形態的に大きいことも要求されるだろう。また、本研究において、体重と全てのWT種目との間に有意な正の相関関係が認められており(表2)、このことは筋力を高める上で、筋量と関連の深い体重が重要な要因であることを示唆するものである。したがって、日本国内レベ

ルでは体重は記録にさほど影響を与えていないものの、大きな力発揮能力を高めるといった観点からも、体重が要求されることが推察される。

4.2 投てき記録とWT種目との関係

本研究において調査したWT種目と、投てき記録との関係を検討した結果、全てのWT種目との間に相関関係は認められなかった(図2)。これらの結果は、前述した先行研究(Judge et al., 2013)とは異なるものであった。Judge et al. (2013)の報告では、パワークリーンの1RMと投てき記録との間に直線的および2次関数的な関係が認められたことが示されている。Judge et al. (2013)が対象とした競技者の投てき記録の範囲はおおよそ6mから19mまでの範囲であり、これは本研究よりも幅広い記録水準である。本研究において、パワークリーンの1RMと有意な正の相関関係が認められた体重(表2)については、先述したように、Judge et al. (2013)の対象者が本研究の対象者よりも20kgほど多かった。このように対象者の記録水準、体格および体力が異なっていたことが、本研究と先行研究(Judge et al., 2013)で異なる結果が得られた要因の一つとして考えられる。

本研究では、日本人女子学生砲丸投競技者を対象としており、砲丸投競技歴の平均が約6年、WT歴の平均が約5年であった。村木(1989)は、競技者の一般的なトレーニング水準が高度化されている場合、高いパフォーマンスの達成に寄与する一般的体力については、最低限到達すべき基準を見極めることが重要であると指摘している。実際に、ベンチプレスをみてみると、90kgを挙上する競技者には12mから16mまでの投てき記録の競技者が存在している。また、スナッチにおいて13m後半から14m前半を投げる競技者の値をみてみると、45kgから75kgまで幅広い値となっている。つまり、ある水準のパフォーマンスを達成するための各種体力の基準がある可能性が高く、専門的なトレーニングを継続して実施していた本研究の対象者はその基準を満たしていたと考えられる。

4.3 投てき記録と跳躍種目との関係

本研究において調査した跳躍種目と、投てき記録との関係を検討した結果、全ての跳躍種目との間に相関関係は認められなかった(図3)。散布図(図3)を見てみると、立幅跳において、投てき記録が14m付近の競技者でも2.1から2.5mまでの幅広い記録範囲であることがわかる。また、立五段跳においても、同様の状況が確認できる。高梨(2010)は、女子投てき競技者14名を対象にコントロールテストを行い、投てき記録をIAAFのSCORING TABLESで得点化したものと立幅跳および立三段跳との間に有意な相関関係が認められたことを報告している。高梨(2010)の対象者14名は、円盤投競技

者4名、砲丸投競技者3名、やり投競技者7名であり、この結果は砲丸投競技者の特性を十分に反映していないと考えられる。立幅跳や立五段跳といった種目は、地面への力の伝達やその反発を水平および鉛直方向に変換することが重要であるという点で、砲丸投を含む投てき競技の動作特性と類似していると考えられる。また、コントロールテストにおいて跳躍種目は、下肢のパワー発揮を主に評価する項目であり、砲丸投においても下肢のパワー発揮は重要である。このような背景があるにもかかわらず、本研究において相関関係が認められなかった原因としては、動きの違いが考えられる。立幅跳や立五段跳は、正面を向いて両脚で動作を始めるのに対し、本研究の対象者が採用していたグライド投法による投てき動作では、投てき方向に背を向けた状態で後ろ向きに、あるいは推進の方向を変えながら片脚で出力するといった様式である。すなわち、パワー発揮の様式自体は、投てき動作と跳躍種目との間で共通点があるものの、動きの違いから跳躍種目とは相関関係が認められなかった可能性が高いと考えられる。

一方、表3に示したように、本研究の対象者の中で、16 m以上の自己記録を持つ2名の跳躍種目についてみると、競技者Aは立幅跳、立五段跳は平均値と同程度であるが、競技者Bは平均値を大きく上回っていた。このことから、同一記録水準においても、跳躍種目が得意な競技者、不得意な競技者が存在している可能性が高いと考えられる。また、両競技者のWT種目について確認すると、競技者BはそれぞれのWT種目は平均値と同程度であるが、競技者AはWT種目、とりわけ速度が低く大きな力発揮が要求される項目において、平均

値を大きく上回っていた（表3）。このことから、競技者Aは低速での力発揮能力が優れており、競技者Bは高速での力発揮能力が優れていると捉えることができる。つまり、同程度の投てき記録を達成していたとしても、競技者Aは大きな力発揮を生かした投てき動作、競技者Bはスピードを生かした投てき動作を行っていると推察される。

本研究において、跳躍種目と投てき記録との直接的な相関関係は認められなかったものの、同程度の投てき記録でも体力的特性が異なっていたことから、競技者の特性を把握するという視点で、跳躍種目を実施し、評価を行うことは有効であると推察される。

4.4 投てき記録と投種目との関係

本研究において調査した投種目と、投てき記録との関係を検討した結果、全ての投種目との間に有意な正の相関関係が認められた（図4）。砲丸フロント投および砲丸バック投は、スピード、パワー、筋力系の種目のコントロールテスト（Borgstrom, 1989；Jones, 1987）に含まれており、砲丸投の競技現場でも重要なテスト運動として取り組まれている。前田ほか（2018）は、砲丸フロント投および砲丸バック投では股関節伸展筋群が大きく関与していると推察しており、股関節伸展筋群は円盤投の投てき動作の主働筋でもあると述べている。砲丸投においても、股関節の伸展と下半身から上半身への力の伝達が重要であり、砲丸フロント投および砲丸バック投での主働筋および動作特性は、砲丸投と類似している。クリーンおよびスナッチにおいても、働く筋群や動作特性が類似しているが、砲丸フロント投および砲丸バック投のよ

表3 16m以上の競技者2名の各種体力

項目	競技者A	競技者B
投てき記録(m)	16.47	16.57
身長(m)	1.72	1.71
体重(kg)	95	75
フルスクワット(kg)	165	100
ベンチプレス(kg)	115	90
スナッチ(kg)	65	50
クリーン(kg)	85	90
デッドリフト(kg)	200	130
立幅跳(m)	2.25	2.50
立五段跳(m)	11.00	12.90
砲丸フロント投(m)	13.5	14.50
砲丸バック投(m)	15.62	17.20
立ち投(m)	15	15

うに最後に物体を投射しない、扱う用具の重量が比較的大きいという違いがある。本研究における砲丸フロント投および砲丸バック投で扱う砲丸の重量は4kgであり、これは砲丸投の一般女子が使用する砲丸と同じ重量である。つまり、砲丸フロント投および砲丸バック投では、実際の砲丸投動作と同程度の速度および力発揮が要求されることが推察される。一方で、クリーンおよびスナッチは挙上するバーベルの重量が砲丸よりも大きいため、実際の砲丸投動作よりも速度が遅く、大きな力を発揮する必要があると考えられる。このような理由から、砲丸フロント投および砲丸バック投では、投てき記録との相関関係は認められたが、クリーンやスナッチでは相関関係が認められなかった可能性がある。さらに、立ち投について、砲丸投では投げ動作によって初速の80%が生み出されることが報告されている（西藤, 1969）。この投げ動作は、立ち投の動作と極めて類似しており、立ち投は予備動作のない砲丸投の主動作そのものである。そのため、グライド投法を用いる競技者が、立ち投の投てき距離を伸ばすことは、投げ局面で砲丸を加速する能力を養うことと同等と考えられる。

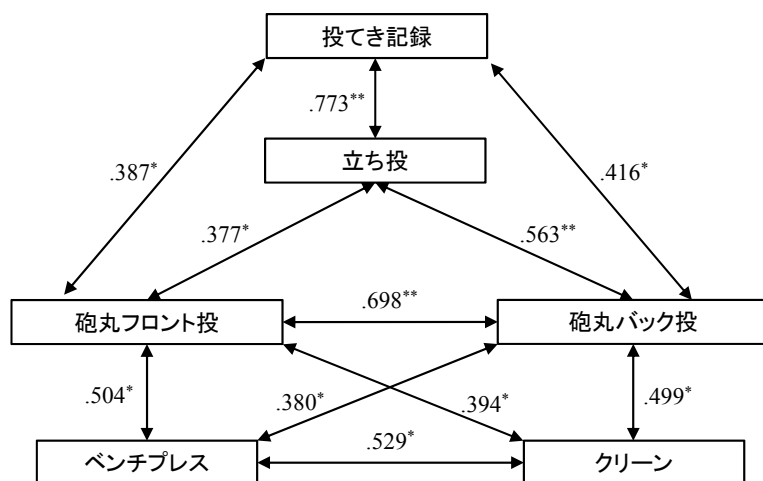
4.5 現場への示唆

本研究の結果から、投てき記録と関係が認められる体力要因は、砲丸フロント投、砲丸バック投および立ち投のみであった。この結果からは、女子砲丸投において投てき記録を向上させるためには、砲丸フロント投、砲丸バック投および立ち投の記録を向上させれば良いと解釈できる。ここで、表2に示された項目間の相関関係について確認すると、砲丸フロント投および砲丸バック投は、それぞれベンチプレスおよびクリーンとの間に有意な正の相関関係が認められている。この結果は、投てき記録の向上には、投種目の記録を向上させるだけではなく、

ベンチプレスやクリーンの記録を向上させる必要もあることを示唆するものである。図子（2016）は、跳躍種目の競技力を評価するための各種テスト運動の階層構造性を示している。この階層構造において、ウエイトトレーニングといった筋力系エクササイズは実際の跳躍種目からは離れた位置にあり、筋力系エクササイズの上の階層にジャンプエクササイズやスプリントエクササイズといった実際の跳躍種目に近い運動が位置づけられている（図子, 2016）。砲丸投においても、ベンチプレスやクリーンといったウエイトトレーニング種目といった筋力系エクササイズの上に、実際の砲丸投に近い投種目が位置づけられる可能性が高いと考えられる。本研究の結果および図子（2016）の報告をもとに、投てき記録を規定する体力要因のモデルを作成し、図5に示した。本研究では、各調査項目間の相関関係のみを検討しており、縦のつながりを示す根拠に乏しいため、種目間は相関関係を示す両矢印で示した。このような各項目間の関係性を把握した上で、本研究の結果をコーチング実践の現場で応用する必要があるだろう。

4.6 本研究の制限因子と今後の課題

最後に、本研究の制限因子と今後の課題について確認する。本研究では、日本国内の女子学生砲丸投競技者を対象に、質問紙による調査を採用したため、得られたデータの正確性や信頼性について劣るといった制限因子が存在する。また、本研究で得られた結果は、異なる特性（競技レベル、発達段階、性差、種目特性など）を有する対象者には適用できない可能性がある。これらのことを踏まえ、今後は、実験的な条件下で各種体力を測定することで、より正確性および信頼性の高いデータを得るとともに、学生のみならず、一般レベルから世界トップレベルまでの競技者を対象に、競技レベル、発達段階、性差



**: $p < .01$, *: $p < .05$

図5 投てき記録を規定する体力要因

および種目特性などを考慮した調査を行うことで、多様な競技者に適用可能な知見を得ることが必要であると考えられる。

5. 要 約

本研究の目的は、女子砲丸投競技者の投てき記録と体力との関係および各体力間関係を明らかにすることであった。2017年関東学生陸上競技対校選手権大会あるいは2017年日本学生陸上競技個人選手権に出場した女子学生砲丸投競技者37名を対象に、体力に関する項目について質問紙法による調査を行った。

その結果、投てき記録と有意な相関関係の認められた項目は、身長、砲丸フロント投、砲丸バック投、立ち投の4項目のみであった。ウエイトトレーニング種目、走種目、跳躍種目との間には有意な相関関係は認められなかった。また、各項目間関係から、砲丸フロント投および砲丸バック投と相関関係が認められた項目は、ベンチプレスおよびクリーンであった。

これらの結果から、砲丸投の投てき記録に最も影響を及ぼしている項目は投種目であり、砲丸投の投てき動作と出力形態が類似している種目におけるパワー発揮能力が重要であることが示唆された。また、砲丸フロント投および砲丸バック投には、ベンチプレスおよびクリーンが関係していることが明らかとなった。

文献

- 青山慎一郎・青山利春・岡田雅次・角田直也 (2003) 女子投てき競技者における競技能力と下肢筋力の関係, 陸上競技研究, 54 : 35-40.
- Borgstrom, A. (1989) Javelin throwing in Sweden-training and methods of evaluation. *Thrower*. 46: 56-59.
- Dinsdale, A., Thomas, A. and Bissas, A. (2018a) Biomechanical Report for the IAAF World Championships LONDON 2017 Shot Put Men's. 2017 IAAF World Championships Biomechanics Study, <https://www.iaaf.org/about-iaaf/documents/research>.
- Dinsdale, A., Thomas, A. and Bissas, A. (2018b) Biomechanical Report for the IAAF World Championships LONDON 2017 Shot Put Women's. 2017 IAAF World Championships Biomechanics Study, <https://www.iaaf.org/about-iaaf/documents/research>.
- 橋本 勲・大北英紀・阪本孝男・斉藤良太・安藤好郎・佐野真也・池上康男 (2004) 大学女子砲丸投げ選手のエネルギー発揮に関する研究—脚部および体幹の役割について—. 中京大学研究紀要, 38 : 21-29.
- Hay, J. G. (1985) *Track and Field: Throwing, The Biomechanics of Sports Techniques* (3rd Edition). Prentice-Hall, New Jersey: pp.487-502.
- 広瀬健一・大山卞圭悟・前田 奎・梶谷亮輔・山元康平・

- 中野美沙・木越清信・尾縣 貢 (2016) ハンマー投のターン時間と投てき記録との関係. 陸上競技研究, 105 : 24-29.
- Jones, M. (1987) *Throwing*. The Crowood Press, Wiltshire: pp.91-95.
- Judge, L. W., Bellar, D., Thrasher, A. B., Simon, L., Hindawi, O.S. and Wanless, E. (2013) A pilot study exploring the quadratic nature of the relationship of strength to performance among shot putters. *International Journal of Exercise Science*, 6 (2): 171-179.
- 加藤博夫 (1960) 連続写真による砲丸投の分析研究. 体育の科学, 10 : 277-279.
- 荻山 靖 (2017) 各種跳躍能力におけるリバウンドジャンプ能力の位置づけ. 体育の科学, 67 : 226-231.
- 木南洋子 (2010) 陸上競技ジュニア競技者におけるコントロールテストを用いた種目特性の検討. 愛知教育大学保健体育講座研究紀要, 35 : 114-116.
- 前田 奎・大山卞圭悟・広瀬健一・尾縣 貢 (2018) 男子円盤投における記録と形態および体力要因との関係—記録に応じた体力基準の推定—. *コーチング学研究*, 31 : 175-184.
- 森木五郎・古市裕磨・福田倫大・足立達也・上田 毅 (2016) グライド投法による砲丸投の投距離に及ぼす筋力の影響. 広島体育学研究, 42 : 31-40, 2016.
- 村木征人 (1989) 専門的トレーニングの理論と実践的応用. 体育の科学, 39 : 292-299.
- 中野美沙・大山卞圭悟・尾縣 貢 (2007) 国内女子やり投競技者の体力特性—各種跳躍運動の遂行能力と体幹能力に着目して—. 陸上競技研究, 71 : 37-44.
- 金子今朝秋 (1988) 砲丸投. 陸上競技指導教本. 大修館書店, 東京, pp. 201-220.
- 尾縣 貢 (1990) 砲丸投. スポーツ Q&A シリーズ 実践陸上競技—フィールド編—. 大修館書店, 東京 : pp. 140-172, 1990.
- Ohyama, B. 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 (2): 53-62, 2008.
- 西藤宏司 (1969) 砲丸投の投てき技術に関する研究：グライド動作について. 中京大学体育学論叢, 11 (1・2) : 309-325.
- Stan, M. C. (1996) 円盤投げ—競技動作のメカニクスと年間トレーニングの考え方—. *NSCA Japan Journal*, 3 (1) : 6-9.
- 高梨雄太・青木和浩・河野剛光・與名本稔・金子今朝秋 (2009) 女子学生投てき競技者の競技パフォーマンスと4種目テストおよび無酸素パワー能力との関連性. 陸上競技研究, 76 : 39-44.

- 高梨雄太・青木和浩・河野剛光・與名本稔・金子今朝秋
(2009) 女子学生投てき競技者を対象としたフィールド
テストによる運動能力評価の有効性. 陸上競技研究,
79 : 30-38.
- 高梨雄太 (2010) 陸上競技投てき競技者におけるコント
ロールテストに関する研究. 東京女子体育大学・東京
女子体育短期大学紀要, 45 : 79-86.
- 田内健二・真鍋芳明・宇戸田実也・大山卞圭悟 (2003)
各種跳躍運動におけるパワー発揮能力からみた投てき
競技者の体力特性. 陸上競技研究, 52 : 22-29.
- 田内健二・持田 尚・榎本靖士・阿江通良 (2005) 女子
砲丸投げのグライド投法における世界レベル競技者と
日本国内レベル競技者との相違. 陸上競技研究紀要, 1:
36-44.
- 植屋清見 (1988) 砲丸投げの動作学とその指導. 体育の
科学, 38 : 112-118.
- 山科忠彦 (1989) 陸上競技 投てき種目における記録の
因子－砲丸投・円盤投について－. 第40回日本体育
学会大会号 : 577.
- Young, W. B. (2006) Transfer of strength and power training
to sports performance. International Journal of Sports
Physiology and Performance, 1: 74-83.
- Zatsiorsky, V. M. and Kraemer, W. J. (2006) Science and
Practice of Strength Training (2nd edition). Human
Kinetics: pp.6-9.
- 関子浩二 (2012) プライオメトリクス. 体育の科学,
62 : 44-50.
- 関子浩二 (2016) パフォーマンスの構造を理解しトレ
ニングサイクルを循環させる－特集：パフォーマンス
を評価する－. コーチングクリニック, 30 (6) : 4-7.
-

棒高跳における身体重心の最大鉛直速度へ 影響を及ぼす力学的要因

景行崇文¹⁾, 松林武生²⁾, 浅井 武³⁾, 大山卞圭悟³⁾, 木越清信³⁾

Mechanical factors influencing maximal vertical velocity of body's center of gravity in pole vault

Takafumi KAGEYUKI¹⁾, Takeo MATSUBAYASHI²⁾, Takeshi ASAI³⁾, Keigo OHYAMA-Byun³⁾, Kiyonobu KIGOSHI³⁾

Abstract

The purposes of this study were to analyze the relationship between the duration time and the maximal vertical velocity of the vaulter's center of gravity (CGv), and to clarify the mechanical factors that influence the CGv. Eight male vaulters (4m60-5m77; personal best record) participated in this study. Three-dimensional coordinates of reflective markers attached on their bodies were collected by a motion capture system (250Hz). The box reaction force that acted on the lower tip of the pole were measured with a force plate (1000Hz). Based on the motion of vaulters and the behavior of poles, three main phases and four sub phases that included the instants of take-off and pole release were defined during vaulting. The results were summarized as follows:

- (1) The higher the maximal vertical velocity of the CGv was, the higher the maximal height of the CGv ($r=0.92$).
- (2) The larger the vertical velocity change of the CGv in recoiling phase was, the higher the maximal vertical velocity of the CGv was ($r=0.72$).
- (3) The larger the angular displacement of trunk segment in pole bending phase was, the larger the vertical velocity change of the CGv in pole recoiling phase was ($r=0.78$).

These results suggest that the increase in the amount of the vertical velocity change of the CGv in pole recoiling phase, and the angular displacement of trunk segment in pole bending phase is good indicators of improvement for vaulter's performance.

キーワード：時間分析, 力積, 身体の抱え込み

1. 緒 言

棒高跳はポールを用いて、跳び越えたバーの高さを競う種目である。これを力学的に言い換えると、助走で獲得した身体とポールの力学的エネルギーを、ポールを介して身体的位置エネルギーへと変換する種目であると言える (Arampatzis et al., 2004; Schade et al., 2004; Schade

et al., 2006; Schade and Brüggemann, 2006; Sheehan, 2002; 高松, 2012)。そのため、先行研究では競技者－ポール間で行われるエネルギーのやり取り (Arampatzis et al., 2004; Schade et al., 2006) や競技者の動作 (Angulo-Kinzler et al., 1994; Schade et al., 2004; 高松, 1998)、ポールの挙動 (武田ほか, 2005; 2006; 吉原ほか, 2006) などが明らかにされ、ポールと競技者の相互関係の理解がなされてきた。

その一方で、これらの知見を指導において活用する際、コーチは競技者に与えるオノマトペをはじめとした様々な口語指導を用いる場合があり、これは棒高跳の指導においても例外ではない。例えば、踏切足離地後の動作 (ペネトレーション) の指導である。ペネトレーションは、踏切足離地直後に意図せぬタイミングで身体がグリップ周りに回転してしまう (振られる) ことを防ぐほか、続くスウィング動作のタイミングを調整し、ポールの起こしやポールの湾曲に役立つと考えられている (村木, 1982; 武田ほか, 2007)。そこで指導者は、踏切姿勢の維持 (山崎, 1976) やぶら下がり (広田, 1989)、上体の残し (関岡, 1980; 1996)、踏切脚の「ため」や後方への残し (村木, 1982; 安田および渋谷, 1989) などの表現を適切な身体のコントロールを導くために用いてきた。そして、現場ではペネトレーションの指導に「待て」という表現を用いることがあり、安田および渋谷 (1989) も指導書の中で当該局面において「待ち」という言葉を使用している。「待て」という言葉には、「ある局面の時間を長くする」ような意味合いが含まれており、動作と合わせて時間を意識させることが競技者の理解を促すも

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) 国立スポーツ科学センタースポーツ科学部 Department of Sports Science, Japan Institute of Sports Sciences
〒115-0056 東京都北区西が丘 3-15-1

3) 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

のと考えられる。しかしながら、「待て」という表現が用いられる局面に要した時間の長短については明らかにされていない。

また、跳躍中の時間に関する研究はこれまでにいくつか報告されているものの、その多くは突っ込み（以下、PP と表記）と踏切足離地（以下、TO と表記）の時間差に着目したものである（Anglo-Knizler et al., 1994 ; McGinnis, 2000 ; Morlier and Mesnard, 2007 ; Schade and Arampatzis, 2012）。その一方、PP と TO との時間差は長くとも 0.1s 程度（Schade and Arampatzis, 2012）であり、跳躍全体に要する時間に対しては 5% 程度でしかない（有川ほか, 2016）。それにも関わらず、主要な局面となる TO 後の局面に要した時間に着目した研究はほとんど見当たらない。棒高跳は TO 後でも、ポールを介して地面に力を加えることができる。そのため、ある特定の局面に要した時間の長短が、地面からポールを介して競技者へ伝わる力や力積に影響を及ぼす結果、最大鉛直速度が向上し、競技力のさらなる向上に役立つ可能性がある。

以上のことより、本研究では、棒高跳の跳躍に要する時間と身体重心の最大鉛直速度との関係を検討し、身体重心の最大鉛直速度に影響を及ぼす力学的要因を明らかにすることを目的とした。

2. 方 法

2.1 研究対象者

研究対象者は、世界大会で入賞を果たす世界一流レベルからインターカレッジに出場する学生レベルまでの棒

高跳を専門とする日本人男性競技者 8 名（身長 = 1.78 ± 0.04 m, 体重 = 69.6 ± 4.53 kg, シーズンベスト = 5.32 ± 0.36 m）であった。そのうち 1 名のみ、左手が上グリップであり、その他の対象者は右手が上グリップであった。なお、本測定は国立スポーツ科学センタースポーツ医・科学研究事業（競技研究・陸上競技）のプロジェクトの一部、および日本陸上競技連盟の強化施策の一部として実施し、国立スポーツ科学センタースポーツ倫理委員会の承認を受けた。

2.2 測定およびデータ処理

測定は国立スポーツ科学センターの室内実験場で行った。実験試技は、試合と同程度の助走歩数とポールを用いて行った。バーの高さは各対象者の申告をもとに設定し、可能な限り高く跳ぶように指示をした。安全のために、バーはゴムバーを使用した。各対象者について、最も高い最大重心高を記録した試技を分析するとともに、分析範囲は PP から最大重心高出現時（HP）までとした（Figure 1）。

実験には光学式三次元自動動作分析装置（Vicon Motion System 社製：MX-Giganet 3 台、T40 カメラ 4 台、T20 カメラ 16 台、T10 カメラ 4 台、250Hz）を用いて、身体分析点（37 点）の 3 次元座標値を測定した。また、ボックスの下にはフォースプラットフォーム（Kistler 社製：9287C, 1000Hz）（以下、FP と略す）が埋設されており、ポール下端に作用するボックス反力を測定した。なお、FP の信号は 8ch チャージアンプ（Kistler 社製：9865E1Y28）を経由して、光学式三次元自動動作分析装

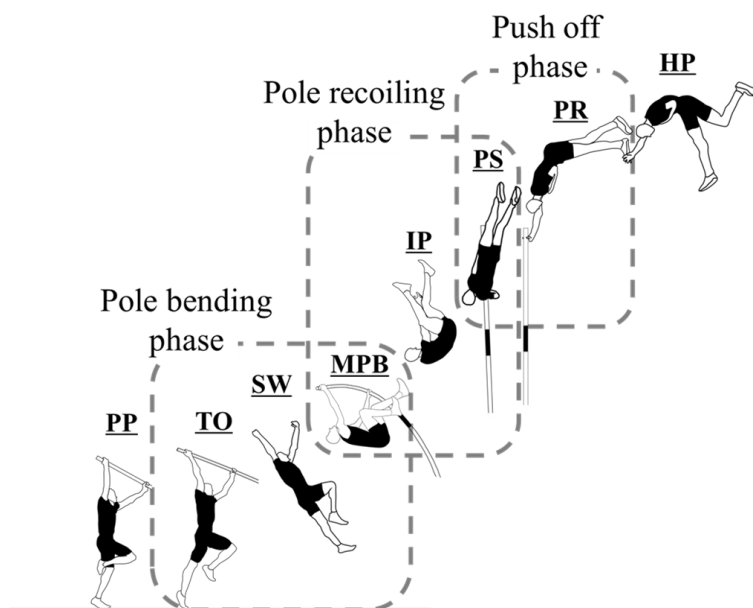


Figure 1 Each event and main phase in pole vault

PP : pole plant TO : take-off SW : swing MPB : maximal pole bending
IP : inverted position PS : pole straight PR : pole release HP : highest point

置に接続し、同期した。

絶対座標系は、助走と反対方向をY軸の正方向、鉛直上向きをZ軸の正方向、Y軸とZ軸の外積をX軸の正方向とした。計測した身体分析点の3次元座標値に対し、残差分析法 (Wells and Winter, 1980) を用いて最適遮断周波数 (15-20Hz) を決定し、位相ずれのない4次の Butterworth digital filter を用いて平滑化処理を行った。また、測定したボックス反力についても同様に、4次の Butterworth digital filter を用いて平滑化処理 (20Hz) を行った。得られた身体分析点を用いて、Winter (1990) が提案した体幹を胸郭と骨盤に分けた15セグメントからなるセグメントリンクモデルによって身体をモデル化した。

2.3 イベントおよび局面の定義

ボール下端がボックス奥面に接触した瞬間をPPと定義し、踏切足が離地した瞬間をTOと定義した。さらに、ボールが最大に湾曲した瞬間をボール最大湾曲時 (以下、MPBと表記) と定義し、ボールがPP時まで回復した瞬間をボールストレート時 (以下、PSと表記) と定義した。加えて、上側の握り手がボールから離れた瞬間をボールリリース時 (以下、PRと表記) と定義し、最大重心高が出現した瞬間をHPと定義した。なお、先行研究 (Frère et al., 2010; Frère et al., 2012a) を参考にして、TOからMPBまでをボール湾曲局面、MPBからPSまでをボール伸展局面、PSからPRをプッシュオフ局面と定義し、跳躍を3つの主要局面に大別した。

続いて、指導書 (広田, 1989; 村木, 1982; 関岡, 1980; 1996; 田中, 2014; 山崎, 1976; 安田および渋谷, 1989) では、スウィングや下半身の振り込み、抱え込みやロックバック (タック)、倒立や身体の伸展が指導における共通の着眼点として紹介されている。そこで、下半身の振り込みを定量化するため、X軸周りにおける股関節を回転中心とした下肢の角運動量を算出し、角運動量が負のPeak値を迎えた瞬間をスウィング時 (以下、SWと表記) と定義した (Figure 1)。さらに、身体の伸

展を定量化するために股関節の屈曲-伸展角度を算出し、両股関節がともに屈曲から伸展へと切り替わった瞬間を身体の伸展開始時 (以下、IPと表記) と定義した (Figure 1)。加えて、TOからSWをドライブ局面、SWからMPBをスウィング局面、MPBからIPをロックバック局面、IPからPSを倒立局面と定義し、ボール湾曲局面とボール伸展局面をそれぞれ2つの小局面に分割した。

2.4 変数の定義

身体重心 (CGv) は、測定したキネマティクスデータと Winter (1990) が提案した身体部分慣性係数を用いて算出した。算出した身体重心の位置座標を時間で微分することによって身体重心速度を算出した。

ボックス反力の力積は、Simpson 則によって測定したボックス反力を時間で数値積分することから算出した。なお、本研究では身体重心高や身体重心の鉛直速度 (以下、鉛直速度と表記) に直接的な影響を及ぼすボックス反力のZ成分の力積 (以下、ボックス反力の力積と表記) のみ検討した。

体幹セグメント角度は、両肩関節中心を結ぶ線分の中点と両股関節中心を結ぶ線分の中点同士を結んだ線分がZ軸となす角度として定義した (Figure 2a)。

骨盤セグメントの移動座標系について、左上前腸骨棘から右上前腸骨棘に向かう単位ベクトルを y_{pel} とし、右上後腸骨棘から右上前腸骨棘へ向かう単位ベクトルを s_{pel} と定義した。続いて、 y_{pel} と s_{pel} を外積することで z_{pel} を決定し、 z_{pel} と y_{pel} を外積することで x_{pel} を算出した。股関節角度は、股関節中心から膝関節中心へ向かう大腿ベクトル s_{pel} を $x_{pel}z_{pel}$ で規定される平面に投影したベクトルと $-z_{pel}$ とがなす角度として定義した。なお、直立姿勢から屈曲を正、伸展を負とした (Figure 2b)。

2.5 統計処理

各変数の平均値および標準偏差 (SD) を算出した。変数間の関係は Pearson の積率相関係数を用いて検討

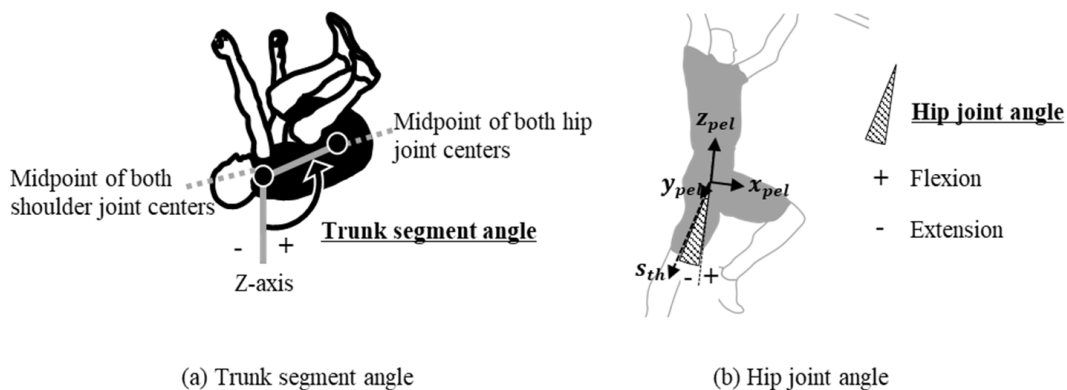


Figure 2 Definition of trunk segment angle and hip joint angle

し、全ての相関係数 r について 90%信頼区間 (90% CI) を算出した。ただし、本研究における研究対象者は 8 名と少数であったため、相関関係の大きさは Hopkins et al. (2009) を参考にし、以下のように定義した：< 0.1, trivial；0.1 - 0.3, small；0.3 - 0.5, moderate；0.5 - 0.7, large；0.7 - 0.9, very large；0.9 ≤, extremely large。本研究では、最大鉛直速度と各局面における変数との間の相関係数 r が 0.7 以上を示した変数を最大鉛直速度に大きく影響する力学的要因として検討した。

3. 結果

3.1 最大重心高と最大鉛直速度との関係

全対象者の最大重心高は 5.03 ± 0.29 m であり、各対象者が記録した最大重心高および用いたボールの特性を Table 1 に示した。

TO から HP における身体重心高および鉛直速度の経時変化を Figure 3 に示した。身体重心高は、全ての対象

者において TO から HP にかけて増加し続ける様子が確認された。最大鉛直速度は、PS 付近で出現する様子が確認された。

最大重心高と最大鉛直速度との関係を Figure 4 に示した。最大重心高と最大鉛直速度との間には有意な正の相関関係 ($r = 0.92$) が認められた。

3.2 最大鉛直速度と各主要局面の各変数との関係

最大鉛直速度と各主要局面における鉛直速度変化量との関係を Table 2 に示した。なお、最大鉛直速度とボール伸展局面における鉛直速度変化量との間でのみ有意な正の相関関係 ($r = 0.72$) が認められた。

最大鉛直速度と各主要局面に要した時間との関係を Table 2 に示した。ただし、最大鉛直速度と全主要局面に要した時間との間に有意な相関関係は認められなかった。

TO から PR におけるボックス反力 Z 成分の経時変化

Table 1 Maximal height of CGv and characteristics of the pole on each participant

Participant	Maximal height of CGv (m)	Mass (kg - lbs)	Length (ft) - Pound (lbs) - Flex
A	5.39	70 - 154	16.9 - 190 - 16.1
B	5.26	80 - 176	16.5 - 190 - 15.4
C	5.17	72 - 159	16.0 - 180 - 19.0
D	5.14	65 - 143	15.7 - 175 - 20.7
E	5.11	70 - 154	16.0 - 175 - 19.4
F	4.94	64 - 141	15.7 - 165 - 23.0
G	4.81	70 - 154	15.7 - 175 - 20.7
H	4.46	68 - 150	15.0 - 165 - 18.6

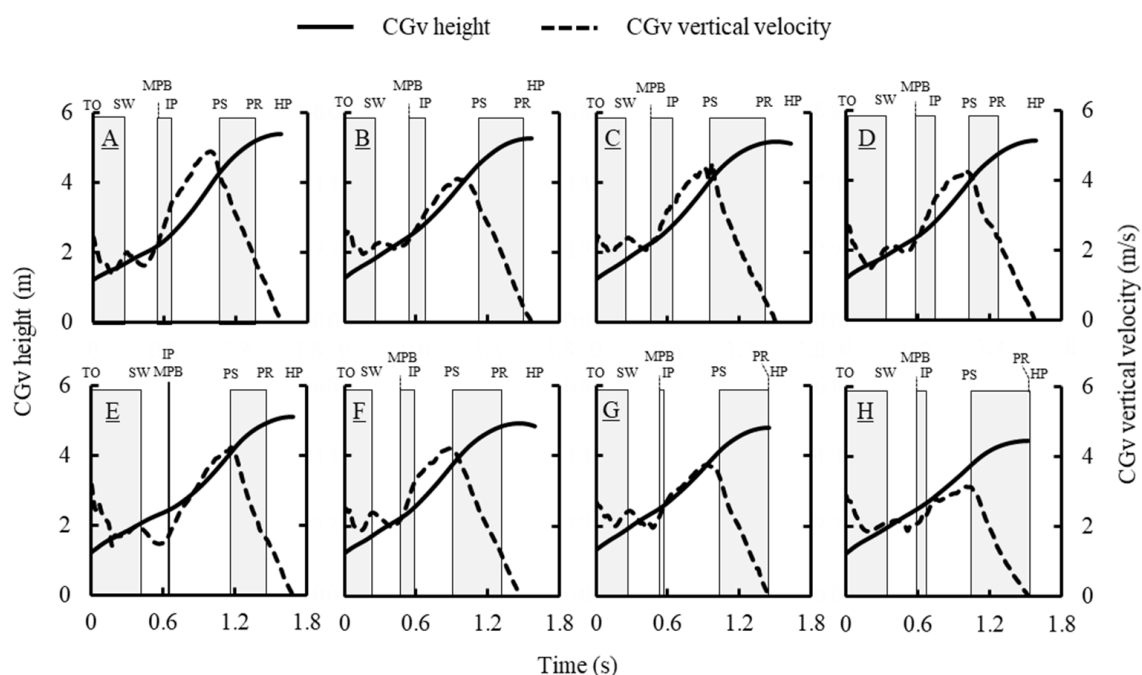


Figure 3 Time course of CGv height and CGv vertical velocity

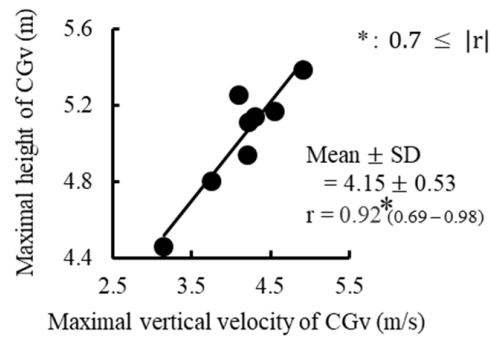


Figure 4 Relationship between maximal height of CGv and maximal vertical velocity of CGv

を Figure 5 に示した。ボックス反力の Z 成分は、TO から MPB まで緩やかに増加した後、減少に転じ、PS 付近で急激に減少する様子が確認された。

TO から PR におけるボックス反力の力積を Figure 5 に示した。TO から PS にかけて全ての対象者でボックス反力の力積は増加し続ける様子が確認された。

最大鉛直速度と各主要局面におけるボックス反力の力積との関係を Table 2 に示した。最大鉛直速度とプッシュオフ局面におけるボックス反力の力積との間でのみ有意な負の相関関係が認められた ($r = -0.78$)。

Table 2 Relationships between maximal vertical velocity of CGv and CGv vertical velocity change, duration time and impulse of box reaction force on each main phase

Phase	Vertical velocity change (m/s)	Correlation coefficients (90% CI)	Duration time (s)	Correlation coefficients (90% CI)	Impulse of box reaction force (Ns/kg)	Correlation coefficients (90% CI)
TO – PR	-1.57 ± 0.94	0.79 (0.32 – 0.98)	1.40 ± 0.09	-0.58 (-0.88 – 0.07)	12.93 ± 0.90	-0.30 (-0.78 – 0.40)
TO – MPB	-0.53 ± 0.47	0.35 (-0.35 – 0.80)	0.54 ± 0.06	-0.35 (-0.80 – 0.35)	5.20 ± 0.41	-0.11 (-0.69 – 0.55)
MPB – PS	1.73 ± 0.60	0.72* (0.17 – 0.93)	0.50 ± 0.06	0.15 (-0.53 – 0.71)	7.11 ± 0.86	0.65 (0.04 – 0.91)
PS – PR	-2.78 ± 0.48	0.31 (-0.39 – 0.78)	0.37 ± 0.08	-0.51 (-0.86 – 0.17)	0.61 ± 0.30	-0.78* (-0.94 – 0.30)

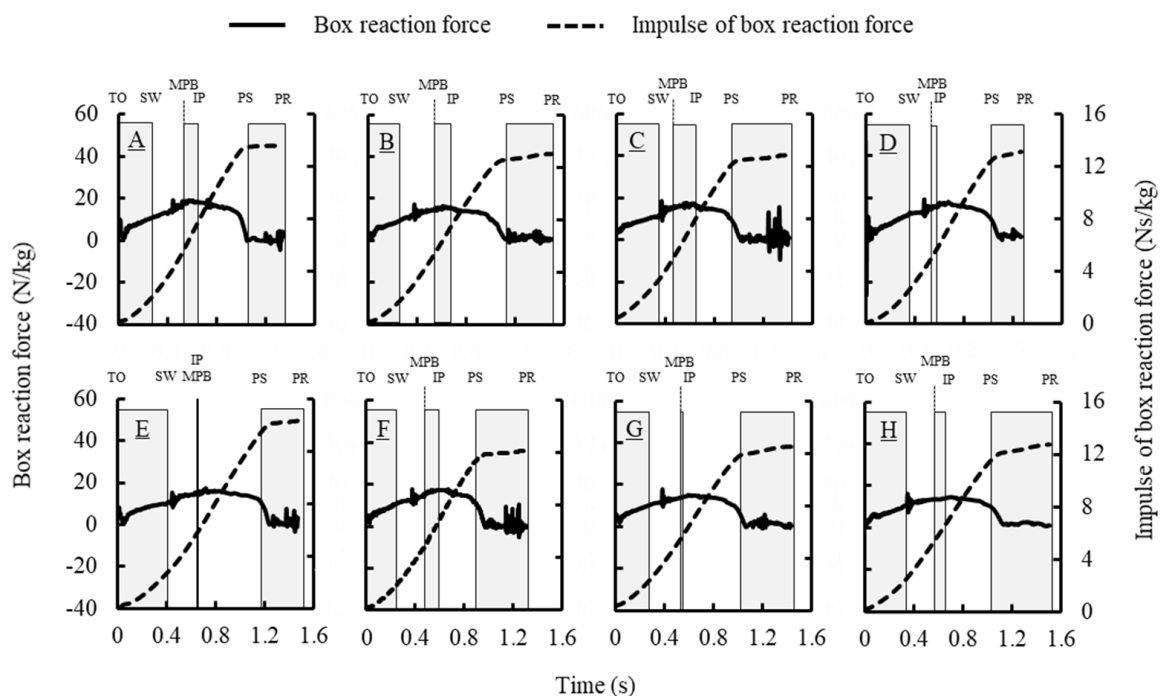
*: $0.7 \leq |r|$ 

Figure 5 Time course of box reaction force and impulse of box reaction force

3.3 最大鉛直速度と各小局面の各変数との関係

最大鉛直速度と各小局面における鉛直速度変化量、各小局面に要した時間および各小局面におけるボックス反力の力積との関係を Table 3 に示した。なお、最大鉛直速度と全ての変数との間に有意な相関関係は認められなかった。

3.4 ポール伸展局面における鉛直速度変化量と体幹セグメントおよび股関節角変位との関係

TO から PR における体幹セグメント角度および両股関節角度の経時変化を Figure 6 に示した。

ポール伸展局面における鉛直速度変化量とポール湾曲局面およびポール伸展局面における体幹セグメント角変位と両股関節角変位との関係を Figure 7 に示した。ポール伸展局面における鉛直速度変化量とポール湾曲局面における体幹セグメント角変位との間でのみ有意な正の相関関係が認められた ($r = 0.78$)。

ポール伸展局面における鉛直速度変化量と各小局面に

おける体幹セグメント角変位および両股関節角変位との関係を Table 4 に示した。ポール伸展局面における鉛直速度変化量とスウィング局面における踏切足側の股関節角変位との間でのみ有意な負の相関関係が認められた ($r = -0.72$)。

4. 考 察

本研究において、最大鉛直速度は PS 付近で出現し (Figure 3)、最大鉛直速度と最大重心高との間に有意な正の相関関係が認められた (Figure 4)。これらの結果は、Anglo-Kinzler et al. (1994) や高松 (1998) の報告と同様の結果であった。

そこでまず、最大重心高と大きく関係する最大鉛直速度に影響を及ぼす要因について検討する。

4.1 最大鉛直速度に影響を及ぼす力学的要因

本研究において、ボックス反力の Z 成分は PS 付近で急激に減少し (Figure 5)、最大鉛直速度とプッシュオフ

Table 3 Relationships between maximal velocity of CGv and vertical velocity change of CGv, duration time and impulse of box reaction force on each sub phase

Phase	Vertical velocity change (m/s)	Correlation coefficients (90% CI)	Duration time (s)	Correlation coefficients (90% CI)	Impulse of box reaction force (Ns/kg)	Correlation coefficients (90% CI)
TO - SW	-0.46 ± 0.42	-0.30 (-0.78 - 0.40)	0.29 ± 0.06	-0.20 (-0.73 - 0.49)	2.04 ± 0.39	-0.04 (-0.65 - 0.60)
SW - MPB	-0.07 ± 0.18	0.22 (-0.47 - 0.74)	0.25 ± 0.02	-0.52 (-0.86 - 0.16)	3.08 ± 0.36	-0.14 (-0.70 - 0.53)
MPB - IP	0.71 ± 0.49	0.69 (0.11 - 0.92)	0.10 ± 0.06	0.45 (-0.25 - 0.84)	1.76 ± 1.00	0.36 (-0.34 - 0.80)
IP - PS	1.02 ± 0.68	0.14 (-0.53 - 0.70)	0.40 ± 0.10	-0.20 (-0.73 - 0.49)	5.47 ± 1.41	-0.01 (-0.63 - 0.62)

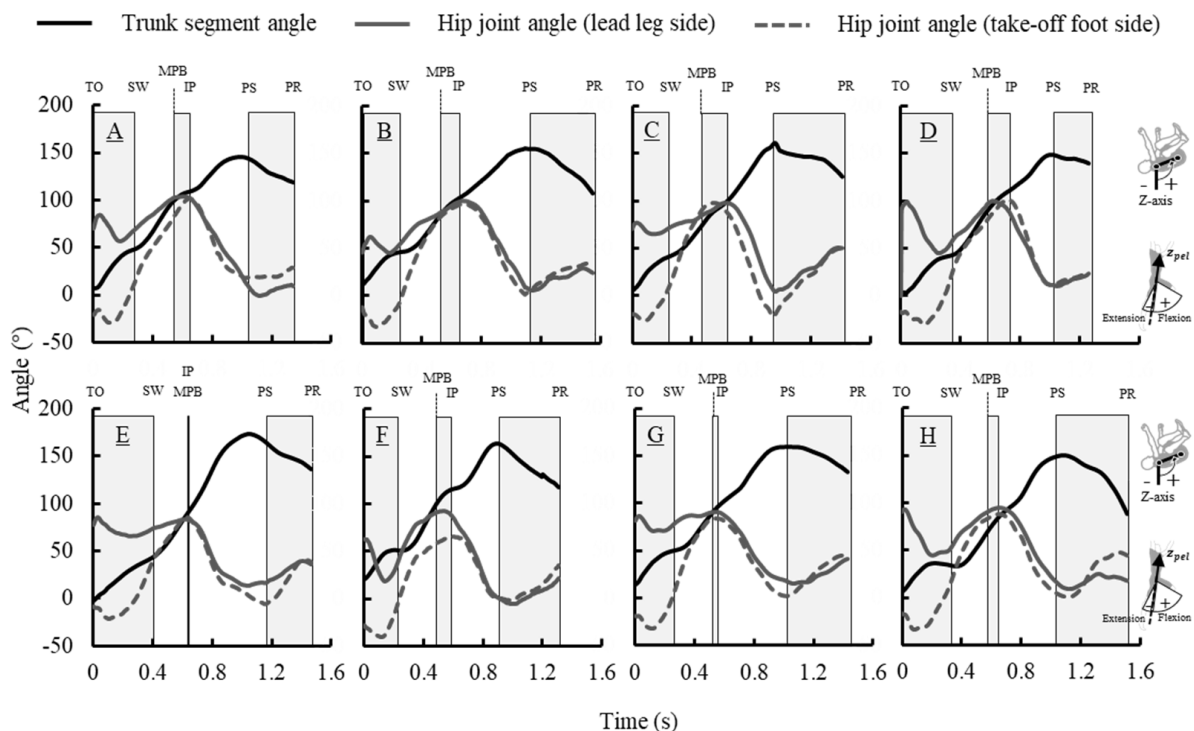


Figure 6 Time course of trunk segment angle and hip joint angles

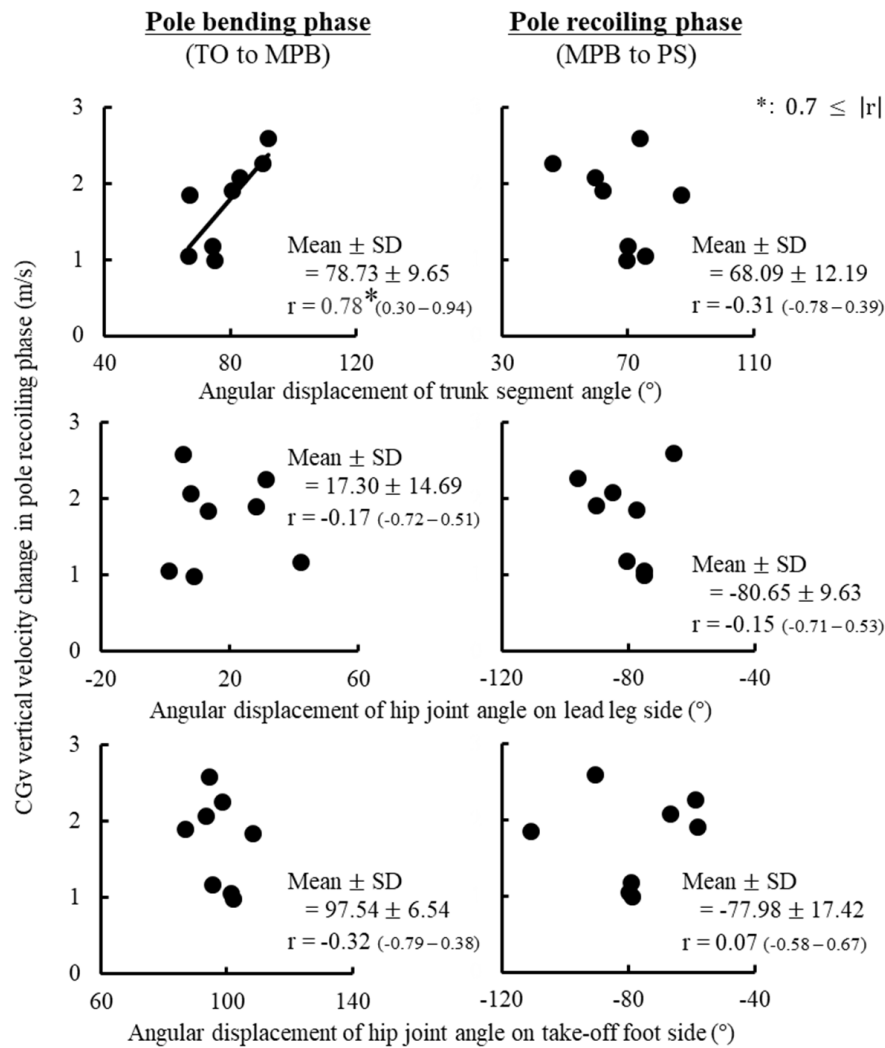


Figure 7 Relationships between vertical velocity change of CGv in pole recoiling phase and angular displacement of trunk segment and hip joints on each main phase

Table 4 Relationships between vertical velocity change of CGv in pole recoiling phase and angular displacement of trunk segment and hip joints on each sub phase

Phase	Trunk segment angle ($^{\circ}$)	Correlation coefficients (90% CI)	Hip joint angle on lead leg side ($^{\circ}$)	Correlation coefficients (90% CI)	Hip joint angle on take-off foot side ($^{\circ}$)	Correlation coefficients (90% CI)
TO - SW	36.38 ± 5.77	0.69 (0.11 - 0.92)	-11.08 ± 17.76	0.05 (-0.60 - 0.66)	30.18 ± 11.16	0.62 (-0.01 - 0.90)
SW - MPB	42.35 ± 6.31	0.55 (-0.12 - 0.87)	28.39 ± 15.66	-0.07 (-0.67 - 0.58)	67.36 ± 12.67	-0.72* (-0.93 - -0.17)
MPB - IP	14.31 ± 8.81	-0.16 (-0.71 - 0.52)	2.15 ± 7.81	-0.35 (-0.80 - 0.35)	8.76 ± 9.71	0.26 (-0.44 - 0.76)
IP - PS	53.78 ± 14.02	-0.17 (-0.72 - 0.51)	-82.79 ± 10.67	0.12 (-0.55 - 0.69)	-86.74 ± 13.26	-0.09 (-0.68 - 0.57)

*: $0.7 \leq |r|$

局面におけるボックス反力の力積との間に有意な負の相関関係が認められた (Table 2)。これらの結果より、PS 以前に地面へと大きな力積を加えることが高い最大鉛直速度の獲得に貢献するものと考えられる。加えて、Frère et al. (2012a) は、PS 後に身体を高く引き上げようとするプッシュオフ動作は PR 後の鉛直速度に影響しないことを示唆していることを踏まえると、PS 以前の力学的要因が最大鉛直速度に関係するものと考えられる。

そこで、PS 以前において最大鉛直速度に影響を及ぼす力学的要因を検討する。棒高跳では、踏切足が離地した後もポールを介して競技者は地面に力を加えることが可能である。そのため、ボックス反力の力積は最大鉛直速度に影響すると考えられる。しかしながら、最大鉛直速度とポール湾曲局面およびポール伸展局面におけるボックス反力の力積との間に有意な相関関係は認められなかった (Table 2 および 3)。その一方、最大鉛直速度とポール伸展局面における鉛直速度変化量との間で有意

な相関関係が認められた (Table 2 および 3). ポール伸展局面において、ポール - 競技者系全体のエネルギー量増加や肩甲帯筋群の筋活動が高まることが報告されており (Arampatzis et al., 2004 ; Frère et al., 2012b), これらの現象は身体をより垂直に近い倒立姿勢に移行するための身体のコントロールに由来すると考えられる. したがって、適切な身体のコントロールによりポールを介して作用するボックス反力の力積を身体重心の鉛直方向の並進運動に繋げることが最大鉛直速度の向上に有効だと考えられる.

その一方、棒高跳の技術指導において「待ち」と呼ばれる言葉が用いられるドライブ局面およびロックバック局面に要した時間と最大鉛直速度との間には有意な相関関係は認められなかった (Table 3). Schade et al. (2006) は成功試技において、踏切足接地直前から MPB および HP までに要した時間が高い級内相関係数を示したことを報告している. 加えて Schade et al. (2006) は、MPB および HP において競技者が持つ力学的エネルギー、MPB においてポールに蓄えられる弾性エネルギーも高い級内相関係数を示したことを報告している. これらのことより、クリアランスまで遂行することができた試技における競技者の動きやポールの挙動は再現性が高く、局面に要した時間の長短は競技者の特性であると考えられる. さらに、本研究において各小局面に要した時間は 0.1s から 0.4s と短かった (Table 3). したがって、特定の局面のみに焦点を当て、当該局面に要する時間を変化させることは、その前後の局面における競技者の動きおよびポールの挙動に影響を及ぼし、それらの再現性を低下させ、失敗試技を誘発する可能性があるため、指導の際には注意が必要であると考えられる.

以上のことから、跳躍に要する時間およびボックス反力の力積は最大鉛直速度に大きく影響する要因ではなく、適切な身体のコントロールが最大鉛直速度の向上に有効であることが示唆された.

4.2 ポール伸展局面における鉛直速度変化量に影響を及ぼす身体のコントロール

続いて、ポール伸展局面における鉛直速度変化量に影響を及ぼす力学的要因について検討する.

前述の通り、適切に身体をコントロールし、ボックス反力の力積を身体重心の鉛直方向の並進運動に繋げることが最大鉛直速度の向上に有効だと考えられる. そこで本研究では、身体のコントロールを明らかにするために体幹セグメント角度を算出した結果、Figure 1 でみられるように、跳躍中に身体が倒立姿勢になる様子が確認された (Figure 6). 加えて、股関節角度を算出した結果、TO から IP にかけて踏切足側の股関節が大きく屈曲していた (Figure 6). ロックバック局面における主要課題は身体の伸展力をため込むこと、および身体の伸展速度

のコントロールとされており (村木, 1982), ポール伸展局面における体幹部の回転や股関節の屈曲のような身体のコントロールが、ポール伸展局面における鉛直速度増加に関係すると考えられる. しかしながら、ポール伸展局面における鉛直速度変化量とポール伸展局面における体幹セグメント角変位および股関節角変位との間に有意な相関関係は認められなかった (Figure 7 および Table 4). MPB を迎えるとポールは伸展し始め、ポール伸展局面におけるボックス反力の Z 成分はグリップを介して身体へ作用し、身体重心の鉛直速度を増加させる. 他方、身体重心とグリップの Y 座標に差があると偏心力が生じ、ボックス反力の Z 成分は Y-Z 平面内でグリップを中心として X 軸周りに身体重心を正の方向へ回転させる. そうなると、偏心力によって生じるグリップ周りの身体重心の回転運動は、鉛直上向きへの身体重心の並進運動を相殺してしまう. そのため、ポール湾曲局面において質量の大きな体幹部を肩関節周りに回転させ、MPB の時点で既にグリップと身体重心の Y 座標の差を小さくしておくことが、MPB 以降に身体重心へ作用する偏心力を小さくし、伸展局面における鉛直速度変化量の増加に繋がると考えられる. そのため本研究では、ポール湾曲局面における体幹部の回転とポール伸展局面における鉛直速度変化量との関係を検討したところ、ポール伸展局面における鉛直速度変化量とポール湾曲局面における体幹セグメント角変位との間に有意な相関関係が認められた (Figure 7). したがって、ポール湾曲局面において体幹部を大きく回転させることが、ポール伸展局面における偏心力を小さくすることに繋がり、鉛直速度変化量を増加させることができたと考えられる.

以上のことから、ポールが伸展を始める以前に体幹部を回転させ、身体を抱え込むことがポール伸展局面における鉛直速度変化量の増加には有効であると考えられる.

5. 結 論

本研究では、棒高跳の跳躍に要する時間と身体重心の最大鉛直速度との関係を検討し、身体重心の最大鉛直速度に影響を及ぼす力学的要因を明らかにすることを目的とした. 対象者は棒高跳を専門とする競技者 8 名であり、試合と同程度の助走歩数およびポールを用いて行った試技を分析した. その結果、ポール伸展局面における身体重心の鉛直速度変化量が大きければ大きいほど、身体重心の最大鉛直速度は高くなった ($r = 0.72$). 加えて、ポール湾曲局面における体幹セグメント角変位が大きければ大きいほど、ポール伸展局面における身体重心の鉛直速度変化量が大きくなった ($r = 0.78$). これらの結果より、ポール伸展局面において身体重心の鉛直速度を高めることが、最大鉛直速度の向上に繋がると考えられる. 加えて、ポール湾曲局面における身体をポールに引きつける

体幹部の回転が、ボールの反発力によって生じる偏心力を小さくし、ボール伸展局面における身体重心の鉛直速度変化量の増加に繋がると考えられる。

謝辞

本研究の測定および分析において、多大なご理解とご協力を頂いた日本体育大学小林史明准教授および日本体育大学山本智貴研究員に感謝申し上げます。

文献

- Angulo-Kinzler, R. M., Kinzler, S. B., Balias, X., Turro, C., Caubet, J. M., Escoda, J., and Prat, J. A. (1994) Biomechanical analysis of the pole vault event. *Journal of Applied Biomechanics*, 10 (2): 147-165.
- Arampatzis, A., Schade, F., and Brüggemann, G.-P. (2004) Effect of the pole-human body interaction on pole vaulting performance. *Journal of Biomechanics*, 37 (9): 1353-1360.
- 有川星女・遠藤俊典・塚田卓巳・豊嶋陵司・小山宏之・田内健二 (2016) 棒高跳の跳躍動作における女子世界トップレベル選手の特徴：同記録の男子選手と比較して. *体育学研究*, 61 (2) : 651-662.
- Frère, J., Göpfert, B., Hug, H., Slawinski, J., and Tourny-Chollet, C. (2012a) Catapult effect in pole vaulting: Is muscle coordination determinant?. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22 (1): 145-152.
- Frère, J., Göpfert, B., Slawinski, J., and Tourny-Chollet, C. (2012b) Effect of the upper limbs muscles activity on the mechanical energy gain in pole vaulting. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22 (2): 207-214.
- Frère, J., L'Hermette, M., Slawinski, J., and Tourny-Chollet, C. (2010) Mechanics of pole vaulting: a review. *Sports Biomechanics*, 9 (2): 123-138.
- 広田哲夫 (1989) 棒高跳. ベースボール・マガジン社：東京, pp. 9-39.
- Hopkins, W., Marshall, S. W., Batterham, A. M., and Hanin, J. (2009) Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41 (1): 3-12.
- McGinnis, P. M. (2000) Eight elements of an effective takeoff. U.S.A. Track & Field Scientific Services Program: Nevada, pp. 1-4.
- Morlier, J. and Mesnard, M. (2007) Influence of the moment exerted by the athlete on the pole in pole-vaulting performance. *Journal of Biomechanics*, 40 (10): 2261-2267.
- 村木征人 (1982) 棒高跳. 大石三四郎および浅田隆夫 編著 現代スポーツコーチ実践講座2 陸上競技 (フィールド). ぎょうせい：東京, pp. 380-443.
- Schade, F. and Arampatzis, A. (2012) Influence of pole plant time on the performance of a special jump and plant exercise in the pole vault. *Journal of Biomechanics*, 45 (9): 1625-1631.
- Schade, F., Arampatzis, A., and Brüggemann, G.-P. (2006) Reproducibility of energy parameters in the pole vault. *Journal of Biomechanics*, 39 (8): 1464-1471.
- Schade, F., Arampatzis, A., Brüggemann, G.-P., and Komi, P. V. (2004) Comparison of the men's and the women's pole vault at the 2000 Sydney Olympic Games. *Journal of Sports Sciences*, 22 (9): 835-842.
- 関岡康雄 (1980) スポーツ新シリーズ 陸上競技 跳躍. 不昧堂出版：東京, pp. 100-109.
- 関岡康雄 (1996) 陸上競技入門 (第5版). ベースボール・マガジン社：東京, pp. 122-131.
- Sheehan, D. P. (2002) Beyond the pole vault: catapult - the fourth jump. *Sports Engineering*, 5 (4): 201-205.
- 高松潤二 (1998) 棒高跳のポール支持局面の跳躍動作に関するバイオメカニクス的研究：最大重心高増大のための技術的要因. 筑波大学博士 (体育科学) 学位論文
- 高松潤二 (2012) 棒高跳のバイオメカニクス. *体育の科学*, 62 (4) : 293-298.
- 武田 理・村木有也・小山宏之・阿江通良 (2005) 身体重心速度およびポール湾曲度からみた男子棒高跳選手のバイオメカニクスの分析. *陸上競技研究紀要*, 1 : 30-35.
- 武田 理・村木有也・小山宏之・阿江通良 (2006) 男子棒高跳における重心水平速度変化およびポール湾曲度. *陸上競技研究紀要*, 2 : 144-146.
- 武田 理・小山宏之・吉原 礼・阿江通良 (2007) エネルギー変換率からみた男子棒高跳選手の跳躍技術に関するバイオメカニクスの分析. *陸上競技研究紀要*, 3 : 16-24.
- 田中 光 (2014) 棒高跳. 日本陸上競技連盟 編著 陸上競技指導教本アンダー 16・19 [上級編] レベルアップの陸上競技 (第2版). 大修館書店：東京, pp. 65-69.
- Wells, R.P. and Winter, D.A. (1980) Assessment of signal noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. *Human Locomotion*, 1: 92-93.
- Winter, D. A. (1990) *Biomechanics and Motor Control of Human Movement* (2nd Edition). New York: Wiley-Interscience.
- 山崎国昭 (1976) 棒高跳. ベースボール・マガジン社：東京, pp. 63-70.
- 安田矩明・渋谷貞夫 (1989) 棒高跳. 金原 勇 編著 現代スポーツコーチ全集陸上競技のコーチング (II) フィールド編 (第7版). 大修館書店：東京, pp. 59-127.

吉原 礼，武田 理，小山宏之，阿江道良（2006）女子
棒高跳選手の跳躍動作のバイオメカニクスの分析．陸

上競技研究紀要，2：58-64.

疾走の加速能力を決定する動作的要因の解明

—加速指数による加速能力の定量化—

眞鍋芳明¹⁾, 稲葉礼史²⁾, 荒川裕志³⁾

Kinematic factors for determining faster sprint acceleration in male collage athletes
: The quantification of the acceleration capability by acceleration index

Yoshiaki MANABE¹⁾, Reiji INABA²⁾, Hiroshi ARAKAWA³⁾

Abstract

The aim of this study was to create an acceleration index as an acceleration indicator in sprinting and to investigate the kinematic factors for determining faster sprint acceleration using biomechanical methods. The subjects were 26 students (age: 19.9 ± 1.2 years, height: 1.73 ± 0.05 m, weight: 67.4 ± 7.1 kg, % fat: $10.6\% \pm 2.3\%$) who belonged to a university sports club (Athletics sprinting: $n = 4$, Athletics jumping: $n = 4$, baseball: $n = 3$, soccer: $n = 3$, basketball: $n = 3$, rugby: $n = 4$, softball: $n = 2$, and beach flags: $n = 1$). The velocity curve at a 60m run was obtained using a laser velocimeter. A velocity curve model was created using the least square method for the obtained velocity curve, and the coefficient was used as the acceleration index. The sprinting motion during acceleration was filmed in an indoor laboratory. The trial was a 20m sprint, and the filming range was from the second to the third step touchdown after starting. Kinematic data were calculated from the obtained images using biomechanical method. The results showed a particularly high correlation between the acceleration index and the contact time, center-of-gravity angle, and angular displacement of hip joint extension during the contact period. These results suggest that subjects with better acceleration at the highest speed grounded their feet in front of their body and kicked the ground for a longer period. In addition, the subjects with better acceleration had a higher workload in hip extension. This suggests the importance of hip extension movement during the contact period.

キーワード：加速能力，加速指数，疾走

1. 緒言

ヒトの疾走能力は，停止もしくは低速状態からの疾走速度の立ち上がりの速さ（低速からの加速能力）と，その後の局面で最高疾走速度をいかに高められるか（高速疾走能力）に大別される．低速からの加速能力は，陸上競技だけではなくサッカーやラグビーなど多くの球技系種目などにおいても試合中に求められる局面が多い．一方，高速疾走能力は陸上競技短距離種目においては競技

能力を左右する最も主要な要因とされる（阿江ら，1994; Delecluse et al., 1995；杉田，2003; Mackala, 2007；松尾ら，2008）ものの，最高速度に達するケースが少ない多くの競技においては，その重要性は低速からの加速能力よりも低いと言える．よって，低速からの加速能力を高めるためのメカニズムを解明することは，様々なスポーツの競技能力の底上げにつながる重要な課題であるといえよう．

これまで，低速からの加速能力とキネマティクスとの関係について着目した研究は数多く，その中でも加速疾走時におけるストライド長が低速からの加速能力を決定する要因であることが多くの研究によって示唆されている（Murphy et al., 2003; Lockie et al., 2013a; Lockie et al., 2014; Callaghan et al., 2015; Maćkala et al., 2015; Standing et al., 2017）．さらに，球技選手を対象に10m スプリントを行わせた Standing et al. (2017) の研究によると，10m スプリントタイムが速い群ほど，1 サイクル中における滞空時間が短かった．この結果は1 サイクル中の接地時間が長かったことを意味している．また，スプリンターのスタート動作を検討した Slawinski et al. (2010) は，低速からの加速能力が高い競技者は身体重心の鉛直方向の移動距離が小さいことを明らかにし，接地点に対し身体重心位置をより前方に置く重要性も同研究で示している．さらに Lockie et al. (2013a), Lockie et al. (2013b) および Willwacher et al. (2016) らは加速動作時の体幹の角度に着目し，体幹の前傾の重要性を示唆している．接地時における体幹の前傾は，前述で示した身体重心をより前方に傾ける他，鉛直方向への移動の抑制に関与し

1) 中京大学スポーツ科学部 Chukyo University School of Health and Sport Science

〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立 101

2) 千葉県立船橋高等学校 Chiba Prefectural Funabashi High School

〒273-0002 千葉県船橋市東船橋 6-1-1

3) 国際武道大学体育学科 International Budo University Faculty of Physical Education

〒299-5295 千葉県勝浦市新官 841

ていることが考えられる。

低速からの加速能力を決定する要因として、下肢の関節運動に着目している研究も多い。球技競技者を対象にした近年の研究 (Lockie and Vickery, 2013b; Lockie et al., 2014; Callaghan et al., 2015) は、低速からの加速能力が高い競技者は離地時における支持脚の股関節角度がより伸展していたことを報告している。さらに、Lockie et al. (2003) によると低速からの加速能力が高いものは接地期における膝関節の伸展角変位および離地時における伸展角度が大きかったことを明らかにしている。これらは、低速からの加速動作では股関節および膝をより伸展させ、地面をキックすることが重要であることを示唆している。また、Callaghan et al. (2015) は、スタート後 2 歩目の三次元関節キネマティクスの影響を検討している。その結果、低速からの加速能力が高いものは離地時において支持脚と反対側である遊脚側の股関節がより内転していたことを示している。この結果は、低速からの加速能力が高いものは離地時における支持脚をより外側に蹴っている可能性を示唆するものであり、下肢関節の側方運動は加速に影響する要因であることを示している。

このように多くのキネマティクスの分析により低速からの加速能力を決定する要因は解明されてきたが、上述の研究における低速からの加速能力は、いずれもスプリント速度やタイムといった絶対値から評価をしたものである。これらは、そのヒトが持つ最高疾走速度に影響をうける値であり、低速からの加速能力が相対的に優れているかどうかを抽出して検討した研究であるとはいえない。よって疾走動作の序盤における低速からの加速能力と、その後の高速疾走局面における最高速度の大きさを分けて検討することが重要であり、それにより球技競技者などに求められる低速からの疾走能力を決定する要因を明らかにすることができる。

そこで本研究では最高疾走速度に達するまでの速度曲線の変容のパターンから加速指数を導き出した。これにより低速からの加速能力を定量化することができ、最高疾走速度に対して相対的にどれだけ優れているかを評価することができる。そして、その加速指数をもとに多様なスポーツ競技者の中から加速がより優れている者の疾走動作を、バイオメカニクスの手法を用いて検討した。

2. 方法

2. 1 被験者

大学運動部に所属する男子学生 (陸上競技短距離: 4 名, 陸上競技跳躍: 4 名, 野球: 3 名, サッカー: 5 名, バスケットボール: 3 名, ラグビー: 4 名, ソフトボール: 2 名, ビーチフラッグ: 1 名) 26 名 (年齢: 19.9 ± 1.2 歳, 身長: 1.73 ± 0.05 m, 体重: 67.4 ± 7.1 kg, 体脂肪率: 10.6 ± 2.3 %) とした。被験者の選出については各所属

の指導者が疾走能力が高いとする者を該当者とみなした。被験者には国際武道大学「研究倫理指針」に基づいて本研究の目的、実施方法、および安全性について十分に説明を行い、参加への同意を得た。また、本研究は国際武道大学「ヒトを対象とする研究」倫理規定に基づき研究計画書および被験者への同意文を事前に国際武道大学研究倫理委員会に提出し、承認を得た (審査番号 17004)。

2. 2 加速指数の算出

本研究では、疾走における低速からの加速の速さと最高速度の大きさの相対的な能力差を評価するための指標として、各被験者の加速指数 (Acceleration Index: AI) を算出した。加速指数の算出には、先行研究 (渋川, 1969) によって示されている疾走速度変化のモデル式と、被験者ごとに実測した疾走速度の時系列変化データを使用した。すなわち、疾走速度変化のモデル式と実測データが最小二乗法によって最も近似される定数を数値的に求めた。算出方法の手順は以下の通りである。

2. 2. 1 疾走速度変化の実測

各被験者にウレタンサーフェスである全天候型公認陸上競技場にて全力による 60m 走を行わせた。スタート方法については、片足を正面に出したスタンディングスタートを用い、シューズはランニングシューズで統一した。60m という距離は、静止時からの全力疾走において、最高速度は 40m ~ 60m において出現するという先行研究 (阿江ら, 1994; Delecluse et al., 1995; 杉田, 2003; Mackala, 2007; 松尾ら, 2008) に基づき決定した。スタート方法は片足を前に出したスタンディングスタートとし、シューズはランニングシューズを装着させた。スタートの合図からの反応時間は本研究の評価対象には含まれないため、スタートのタイミングは自由とした。

2. 2. 2 疾走速度変化の実測値の測定・算出方法

疾走速度変化の測定にはレーザー式速度測定器 (Trusense S210, Laser Technology 社製) を用いた。レーザー式速度測定器は、レーザー光を対象物に照射することにより各時刻における対象物までの距離を計測する機器である。サンプリング周波数については 16.7Hz とした。

60m のスタートからゴールまでにおける被験者とレーザー式速度測定器の間の距離を計測した。その後、行列計算シミュレーションソフト (以下、MATLAB®, MathWorks 社製) を用いて距離データを時間微分することで速度を算出した。その後、位相ずれのない 4 次元の Butterworth low-pass digital filter (Winter, 2009) を用いて、遮断周波数 0.5Hz (金高ら, 1999) で平滑化を行い速度データとした。さらに、速度データのピーク値

($V_{\max}$) を被験者ごとに算出した。

2.2.3 疾走速度変化のモデル式

渋川 (1969) によると、疾走速度の時系列変化は指数関数を用いた次式によってモデル化される。

$$V_a(t) = V_{\max}(1 - e^{-AIt}) \quad \dots \text{式①}$$

式①において $V_{\max}$ は最高速度の大きさを、 e はネイピア数を表す。また、この式において AI (加速指数) は最高速度に対する疾走動作開始直後の相対的な速さを表す定数であり、AI の値が大きいほど低速からの加速が相対的に速く、AI の値が小さいほど低速からの加速が相対的に遅くなる (Figure. 1)。

2.2.4 最小二乗法によるモデル式と実測データの近似

次に、最小二乗法を用いて、疾走速度変化のモデル式と実測値が最も近似される AI を被験者ごとに算出した。最小二乗法の数値計算には MATLAB を用いた。Figure. 2 に、疾走速度曲線の実測データおよび最小二乗法によるモデル式の近似曲線の典型例を示した。

2.3 疾走におけるキネマティクスデータの算出

2.3.1 疾走動作の撮影

試技は床面がゴム製の屋内における 20m の全力疾走とした。屋外 60m 走における 4m 付近の速度と屋内 20m 走における 3 歩目接地時の Y 軸方向身体重心速度との有意な正の相関関係が認められ (Figure. 3)、屋外 60m 走の動作を室内 20m 走の動作として考えることは妥当であると判断した。なお、屋外 60m 走において測定したデータはサンプリング周波数が 16.7Hz であり、

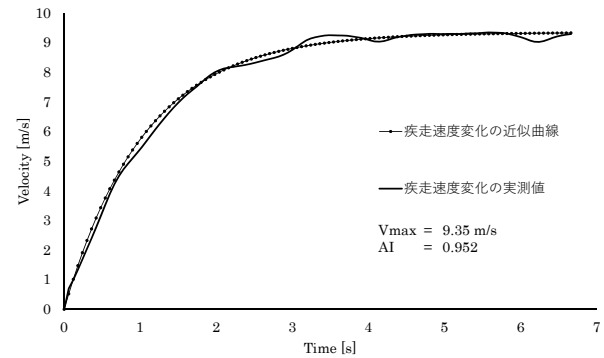


Figure.2 最小二乗法によるモデル式における近似曲線の典型例

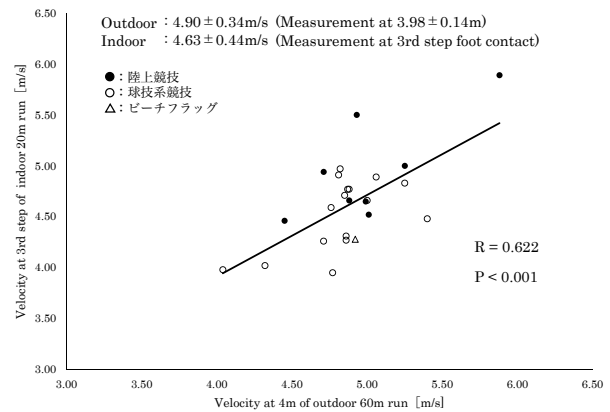


Figure.3 屋内 60 m 走と屋内 20 m 走における走速度

4m 地点における速度評価位置が最大で 0.3m 程度前後するため、本研究では 4m 地点に最も近い位置での速度データを採用した。スタート方法については片足を正面に出したスタンディングスタートを用い、シューズはランニングシューズで統一した。本研究では加速区間の動作の分析を行うため、スタート後 2 歩目接地から 3 歩目離地を撮影範囲とした。なお、2 歩目接地から 3 歩目離地を撮影範囲としたのは、実験室内において全被験者が確実に撮影範囲内に納まる範囲であること、およびスタート直後は身体重心の加速度が大きく本研究の目的に合致することが理由である。

疾走動作の撮影には、光学式三次元モーションキャプチャシステム VICON MX (Oxford Metrics 社製) T20 カメラ 8 台、T40 カメラ 4 台を用いて、サンプリング周波数 250Hz で分析区間内の撮影を行った。絶対座標系は疾走方向を Y 軸、鉛直上向きを Z 軸、Y 軸と Z 軸の外積を X 軸とした。撮影をするにあたって直径 12mm の反射マーカーを被験者に貼付した。反射マーカーの貼付位置については Figure. 4 に示した。

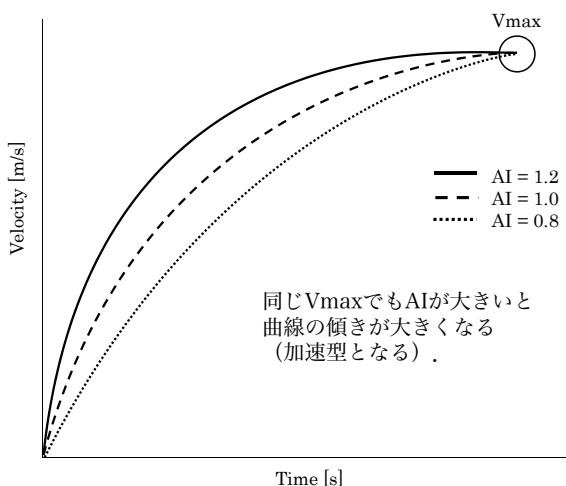


Figure.1 加速指数の例

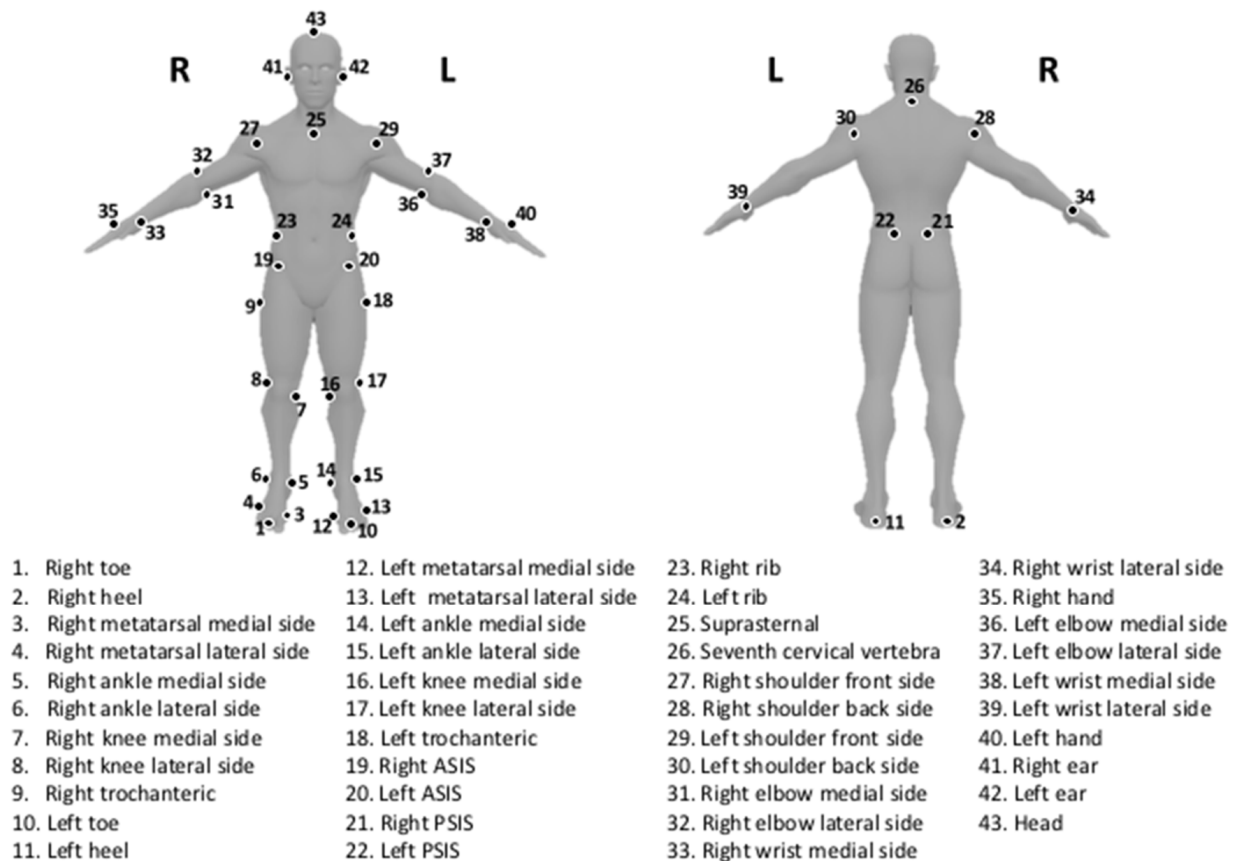


Figure.4 マーカー貼付位置

2. 3. 2 座標および角度定義

剛体リンクモデルの7セグメントについて、長軸方向に對し互いに直交する座標系を設定した (Figure. 5)。また、ランドマークの数字は Figure. 4 とリンクさせた。各セグメントにおいて進行方向を Y 軸ベクトル、鉛直方向を Z 軸ベクトル、Y 軸ベクトルと Z 軸ベクトルの外積からなる右手向き方向を X 軸ベクトルとし、各セグメントの座標系とした。なお、体幹部については股関節中心から胸骨上縁と第7頸椎の midpoint からなる仮想ベクトルを用いて体幹座標系とした。また、角度の定義については Table.1 に示した。

2. 3. 3 算出項目

データの解析には MATLAB[®] を用いた。計測した身体分析点の三次元座標に對し、位相ずれのない4次元の Butterworth low-pass digital filter (Winter, 2009) を用いて、遮断周波数 8Hz (Arampatizis et al., 1999) で平滑化を行った。全身に貼付したマーカーの三次元データに基づき、頭部、体幹上部、体幹下部、左右上腕部、左右前腕部、左右手部、左右大腿部、左右下腿部、左右足部の15の剛体セグメントのモデルによって全身をモデル化した。各関節の中心は、それぞれの関節の内側と外側に貼付したマーカーの midpoint とし、肩関節の中心は関節に前後したマーカーの midpoint とした。また、左右の股関節中心は大転

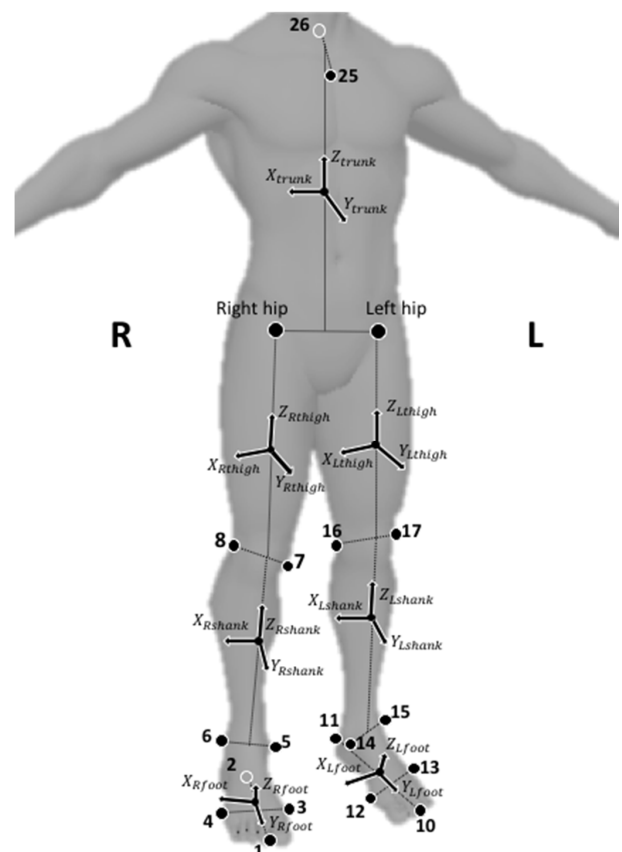


Figure.5 セグメントの三次元座標系

Table. 1 角度定義

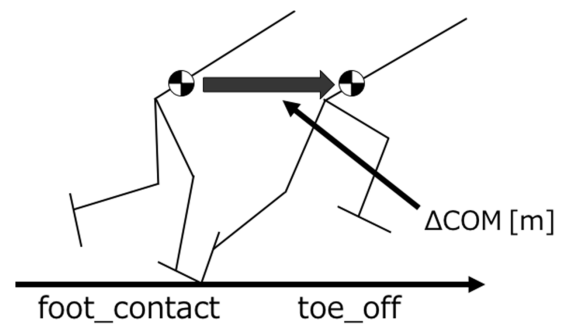
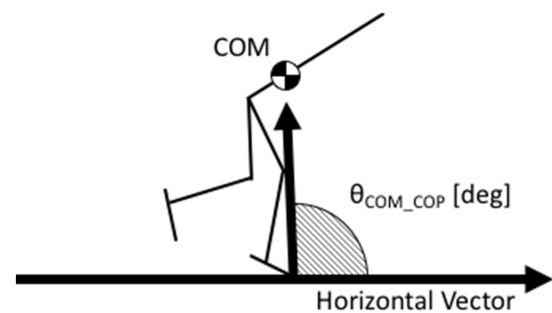
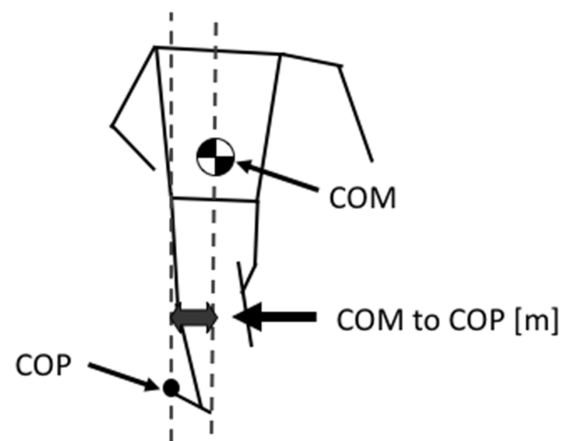
Numeric	Sagittal plane (Y-Z plane)	Frontal plane (X-Z plane)	Horizontal plane (X-Y plane)
Ankle			
Positive	Dorsal flex.	Inversion	Adduction
Negative	Planter flex.	Eversion	Abduction
Knee			
Positive	Extension	Adduction	Internal Rotat.
Negative	Flexion	Abduction	External Rotat.
Hip			
Positive	Extension	Adduction	Internal Rotat.
Negative	Flexion	Abduction	External Rotat.

子と上前腸骨棘を結ぶ線上にあり、大転子から1/3の点。さらに、左右のその点を結んだ線上の18%内側の位置を股関節中心位置と定義した(倉林ら, 2003)。さらに阿江(1992)の方法をもとに各セグメントにおける質量中心から身体の質量中心位置を算出した。疾走動作の接地と離地の定義については、接地は第五中足骨を、離地にはつま先の座標データから決定し、接地をFoot Contact (FC)、離地をToe Off (TO)と定義した。算出項目は下記の通りである。

- ・ストライド長 (SL) [m] : 接地から次足の離地までの水平距離。
- ・ストライド頻度 (SF) [Hz] : $1 / (CT + FT)$ 。
- ・接地時間 (CT) [s] : 接地からその足の離地までの時間。
- ・滞空時間 (FT) [s] : 離地直後から次足の接地直前までの時間。
- ・滞空比 (FTR) [%] : $FT / (CT + FT)$ 。
- ・体幹傾斜角度 (θ_{trunk}) [deg] : 股関節中心から胸骨上縁と第七頸椎の midpoint に向かうベクトル (trunk_vector) と、水平方向に向かうベクトル (horizontal_vector) のなす角度。
- ・身体重心移動距離 (ΔCOM) [m] : 2歩目および3歩目の接地から離地までにおける質量中心位置の進行方向における移動距離 (Figure. 6)。
- ・身体重心角度 ($\theta_{\text{COM_COP}}$) [deg] : 接地点または離地点から質量中心位置に向かうベクトルと水平方向に向かうベクトルとがなす角度 (Figure. 7)。
- ・左右方向接地距離 (Lateral distance from COP to COM) [m] : 前額面上から見た、質量中心位置と2歩目および3歩目の接地点および離地点との水平距離 (Figure. 8)。

2. 4 統計処理

統計処理には Microsoft® Excel を用いた。加速能力の

Figure.6 身体重心移動距離 (ΔCOM)Figure.7 身体重心角度 ($\theta_{\text{COM_COP}}$)Figure.8 左右方向接地距離
(Lateral distance from COM to COP)

指標である加速指数と各キネマティクスデータに対し Pearson の相関分析を行った。なお、有意水準は5%とし、10%未満を有意傾向とした。

3. 結果

Table.2 に 60m 疾走時における最高速度と加速指数の最大値、最小値および平均値を示した。Table. 3 はキネマティクスデータと加速指数との関係である。2 および

Table. 2 最高速度と加速指数

Values	Average	S.D.	Max	Min
V _{max} [m/s]	9.98	0.71	11.55	8.76
AI [a.u.]	0.95	0.12	1.23	0.75

3 歩目の接地時間と加速指数との間に有意な正の相関関係, 2 から 3 歩目における滞空比と加速指数との間に有意な負の相関関係, 3 歩目接地時における体幹傾斜角度と加速指数との間に有意な正の相関関係, 2 および 3 歩目接地時における身体重心角度と加速指数との間に有意な正の相関関係, 2 歩目における身体重心角変位と加速指数との間に有意な負の相関関係がそれぞれ認められた。

Table. 4 は 2 歩目における関節キネマティクスデータと加速指数との関係である。足関節における離地時の内外がえし角度において加速指数との間に有意な負の相関関係, 股関節における屈伸の角変位において加速指数との間に有意な正の相関関係, 接地時における内外旋角度において加速指数との間に有意な正の相関関係がそれぞれ認められた。Table. 5 は 3 歩目における関節キネマティクスデータと加速指数との関係である。足関節における接地時および離地時の内外がえし角度において加速指数との間に有意な負の相関関係が認められた。

さらに, 加速指数との間に有意な相関関係が認められた値のうち, Figure. 9 に身体重心角度, Figure. 10 に膝関節角度, Figure. 11 に股関節内外旋角度についての散布図を示した。

4. 考察

本研究では, 停止または低速状態からの疾走速度の立ち上がりの速さ (低速からの疾走能力) が最高疾走速度の大きさに対して相対的に優れている被験者の疾走動作を検討するためにモーションキャプチャシステムから得られた三次元座標データに基づきキネマティクスの分析を用いた。これまで, 低速からの加速能力を決定するキネマティクス要因としてはストライド長 (Murphy et al., 2003; Lockie et al., 2013a; Lockie et al., 2014; Callaghan et al., 2015; Maćkała et al., 2015) やストライド頻度 (Lockie et al., 2011; Standing and Maulder, 2017), 滞空時間 (Standing and Maulder, 2017) など多くの変数を用いて検討されている。また, 関節キネマティクスの要因も数多くの論文 (Lockie and Vickery, 2013b; Lockie et al., 2014; Callaghan et al., 2015) で検討されている。しかし, これらの研究は低速からの加速能力の指標としてスプリント速度およびスプリントタイムを用いている。こうした値は最高疾走速度の影響を受けることから, 低速からの加速能力が高い者が有する特徴を純粋に反映するとは言い難い。そこで, 本研究では低速からの加速能力を決定する要因として最高疾走速度に達するまでの速度曲線の変

Table. 3 キネマティクスデータと加速指数との関係

Values	Phase	Average	S.D.	R value	P value	
SL [m]	2nd → 3rd step	1.38	0.07	0.058	0.779	
SF [Hz]	2nd → 3rd step	4.21	0.25	-0.125	0.543	
CT [s]	2nd step	0.17	0.01	0.365	0.067 [†]	
	3rd step	0.15	0.01	0.453	0.020	
FT [s]	2nd → 3rd step	0.07	0.01	-0.270	0.182	
FTR [%]	2nd → 3rd step	30.73	4.80	-0.338	0.091 [†]	
θtrunk [deg]	2nd step	FC	48.86	0.16	0.162	0.440
		TO	51.52	0.30	0.297	0.150
		Δ	2.66	2.35	0.300	0.145
	3rd step	FC	52.65	0.36	0.363	0.074 [†]
		TO	55.53	0.23	0.234	0.260
		Δ	2.88	2.33	-0.321	0.118
ΔCOM [m]	2nd step	0.81	0.08	0.244	0.240	
	3rd step	0.76	0.08	0.242	0.243	
θCOM_COP [deg]	2nd step	FC	92.97	4.35	0.438	0.029*
		TO	47.94	2.32	0.136	0.518
		Δ	-45.03	4.54	-0.350	0.086 [†]
	3rd step	FC	95.83	4.23	0.516	0.008**
		TO	52.22	2.79	0.210	0.315
		Δ	-43.61	4.87	-0.329	0.109
Lateral distance from COM to COP [m]	2nd step	FC	0.12	0.05	0.018	0.931
		TO	0.09	0.05	0.022	0.917
	3rd step	FC	0.09	0.05	-0.250	0.229
		TO	0.09	0.05	-0.158	0.449

† : 0.05<P<0.1 * : 0.01<P<0.05 ** : P<0.01

Table. 4 関節キネマティクスデータと加速指数との関係（2歩目）

Joint	Movement	Phase	Average	S.D.	R value	P value
Ankle [deg]	Dorsal flex./ Planter flex.	FC	-21.52	4.76	0.206	0.312
		TO	24.98	5.83	-0.074	0.720
		Δ	46.50	7.77	-0.182	0.374
	Inversion/ Eversion	FC	-8.60	4.78	-0.100	0.626
		TO	-5.69	3.99	-0.412	0.037*
		Δ	2.91	4.84	-0.241	0.236
	Adduction/ Abduction	FC	-6.36	4.90	-0.045	0.827
		TO	-13.73	5.36	0.129	0.529
		Δ	-7.37	4.11	0.222	0.275
Knee [deg]	Extension/ Flexion	FC	129.09	4.57	-0.160	0.436
		TO	159.16	4.97	-0.062	0.762
		Δ	30.07	4.79	0.087	0.671
	Adduction/ Abduction	FC	9.84	4.87	-0.157	0.443
		TO	0.98	3.58	-0.251	0.217
		Δ	-8.86	4.66	-0.028	0.890
	Internal rotat./ External rotat.	FC	-15.99	8.27	0.058	0.777
		TO	-20.11	8.60	0.046	0.824
		Δ	-4.11	5.34	-0.017	0.935
Hip [deg]	Extension/ Flexion	FC	-64.30	8.00	-0.146	0.478
		TO	-1.20	5.47	0.318	0.114
		Δ	63.10	5.67	0.511	0.008**
	Adduction/ Abduction	FC	-4.57	3.24	-0.245	0.228
		TO	4.56	2.10	0.058	0.780
		Δ	9.13	4.04	0.226	0.267
	Internal rotat./ External rotat.	FC	-10.87	9.11	0.399	0.044**
		TO	-8.56	7.14	0.200	0.328
		Δ	2.31	9.38	-0.235	0.248

† : 0.05<P<0.1 * : 0.01<P<0.05 ** : P<0.01

Table. 5 関節キネマティクスデータと加速指数との関係（3歩目）

Joint	Movement	Phase	Average	S.D.	R value	P value
Ankle [deg]	Dorsal flex./ Planter flex.	FC	-18.61	3.43	0.043	0.835
		TO	16.26	7.98	-0.213	0.295
		Δ	34.87	7.75	-0.239	0.240
	Inversion/ Eversion	FC	-9.46	4.16	-0.443	0.023*
		TO	-6.32	4.70	-0.393	0.047*
		Δ	3.14	3.40	0.000	0.999
	Adduction/ Abduction	FC	-5.88	4.05	0.069	0.739
		TO	-10.57	5.77	0.063	0.759
		Δ	-4.69	4.12	0.021	0.919
Knee [deg]	Extension/ Flexion	FC	133.68	5.06	-0.124	0.547
		TO	164.62	4.71	0.153	0.456
		Δ	30.94	5.32	0.253	0.212
	Adduction/ Abduction	FC	8.22	4.99	0.034	0.871
		TO	-0.09	3.40	-0.133	0.517
		Δ	-8.31	5.43	-0.114	0.579
	Internal rotat./ External rotat.	FC	-14.00	6.50	0.060	0.769
		TO	-17.77	8.09	-0.054	0.794
		Δ	-3.77	3.61	-0.229	0.260
Hip [deg]	Extension/ Flexion	FC	-60.70	7.21	0.031	0.882
		TO	1.77	5.83	0.267	0.187
		Δ	62.48	4.64	0.288	0.153
	Adduction/ Abduction	FC	-2.69	2.14	-0.090	0.663
		TO	3.29	3.02	0.100	0.626
		Δ	5.98	3.43	0.144	0.482
	Internal rotat./ External rotat.	FC	-9.71	6.91	0.022	0.916
		TO	8.39	7.31	0.137	0.505
		Δ	18.10	11.83	0.072	0.727

† : 0.05<P<0.1 * : 0.01<P<0.05 ** : P<0.01

容のパターンから加速指数を導き出した。これにより、低速からの加速能力を定量化することができ、最高疾走速度に対して低速からの加速能力がどれだけ優れているかを評価することができる（Figure. 1）。

加速指数と接地時間の関係性を検討したところ、2歩

目および3歩目のどちらも正の相関関係を示した（Table. 3）。これは低速からの加速が優れているほど接地時間が長かったことを示している。また接地時間と滞空時間の2つの変数から滞空比を検証したところ、低速からの加速が優れているほど滞空比が短い傾向にあることが明ら

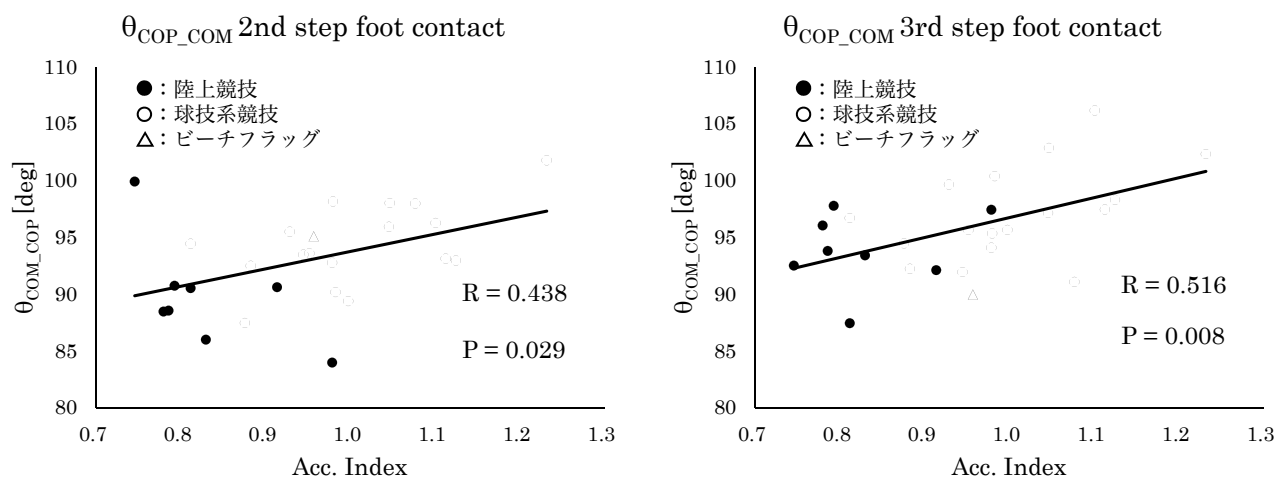


Figure.9 加速指数と接地時における身体重心角度との関係

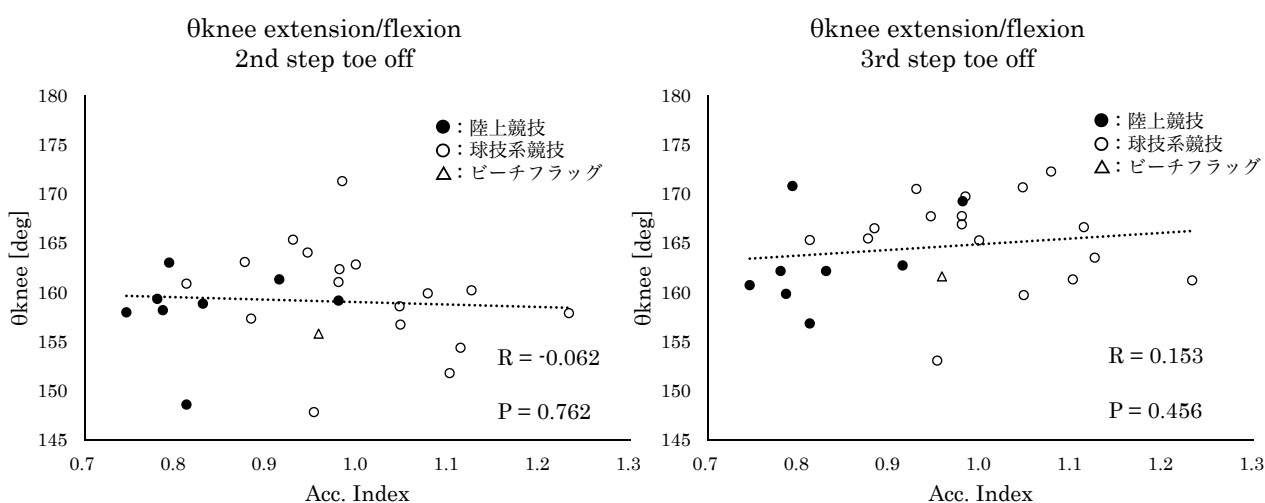


Figure.10 加速指数と離地時における膝関節角度との関係

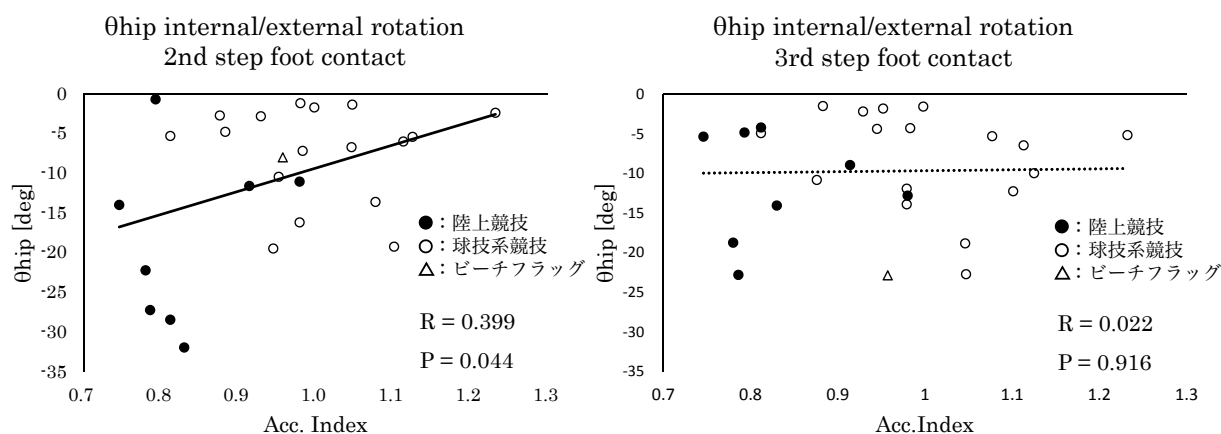


Figure.11 加速指数と接地時における股関節内外旋角度との関係

かになった (Table. 3). これは、低速からの加速が優れている被験者ほど接地時間に対する滞空時間が短いことを意味している. Brughelli et al. (2008) は、低速からの加速がより求められる球技スポーツではプレー中にお

ける方向転換動作が競技力を左右する因子の一つであることを示唆している. そのため球技競技者は突然の方向転換動作を可能とするために、最高疾走速度向上を目的とした短距離競技者らの疾走と比較して、接地時間が長

く、滞空比の短い疾走を行っている可能性が考えられる。本研究で得られた加速が優れているほど滞空比が短い傾向という結果は、加速が重要で、かつ方向転換も求められる球技競技者の疾走を反映した可能性が考えられる。このことは Figure. 9 から 11 において陸上競技者は加速指数が低く、球技系競技者は加速指数が高い傾向にあることから見て取れる。しかしながら、本研究の目的は低速からの加速に優れた者の疾走動作を明らかにすることであるため、疾走における各種目特性についてはさらなる検討が必要である。

スプリンターを対象にスタート動作を検討した Slawinski et al. (2010) は加速疾走中の身体重心位置が接地点に対しより前方にあることの重要性を示唆した。そこで接地時における身体重心角度を検討したところ、2 および 3 歩目とも加速指数との間に有意な正の相関関係が認められた (Table.4, Table.5 および Figure. 9)。身体重心角度は接地点から質量中心位置に向かうベクトルと水平方向に向かうベクトルとがなす角度であるため、この値が大きいと接地点に対して身体重心が相対的に後方に位置、つまり身体重心よりもより前方へ接地していることを示す。さらに接地期における身体重心位置の変位をみると 2 歩目は負の相関傾向 (Table. 4)、3 歩目は有意ではないが負の関係が認められた (Table. 5)。これらの結果および前段落で示した接地時間と滞空比の結果 (Table. 3) から、加速疾走時に脚を身体のより前方に接地して長い時間をかけて地面を押すことが、低速からの高い加速能力を獲得するうえで重要な因子の一つであると示唆される。またこれらの結果は、長い接地時間からの力積の重要性を示唆した Hunter et al. (2005) および Kawamori et al. (2013) の結果を支持するものとなった。

伊藤ら (1998) は、スプリンターの中間疾走局面を対象にした研究から、効率の良いキック動作には離地時における膝関節角度がより屈曲位にあることが重要であると示唆した。これは最高疾走速度の高いスプリンターは接地期において地面を蹴り切らないことを示唆している。一方、加速動作のキネマティクスの分析を行った Lockie et al. (2003) によると、低速からの加速能力の高いものは接地期における膝関節の伸展角変位および離地時における伸展角度が大きかったことを明らかにしている。これらの知見から低速からの加速局面と中間疾走局面では、疾走能力が高いアスリートにみられるキック脚の動作パターンが異なっているといえよう。そこで本研究において離地時における膝関節角度と加速指数の関係を検証したところ、有意な相関は認められなかった (Table. 4, Table. 5 および Figure. 10)。同じく接地期における膝関節の角変位と加速指数の関係についても有意な相関は認められなかった (Table. 4 および 5)。これらの結果から加速の優劣と膝関節の動作パターンには目立った関係が認められなかったといえる。一方、2 歩目

の股関節伸展の角変位には有意な正の相関関係が認められた (Table. 4)。これは加速が優れている被験者ほど 2 歩目接地から離地にかけて股関節伸展の角度の変容が大きかったことを意味している。低速からの加速がより優れている者の特徴として身体のより前方に接地をし、長い時間をかけて地面を押すことが重要であると推察したが、低速からの加速が優れている者は股関節の伸展の角変位が有意に大きかったことから、接地期における股関節の伸展動作も重要であることが示唆される。

また、加速指数と 2 歩目離地における股関節の内旋角度には有意な正の相関関係が認められた (Table. 4 および Figure. 11)。これは、低速からの加速が優れているほど股関節の外旋が小さかったことを意味している。つまり、加速が優れている被験者は股関節の外旋角度を小さくすることで側方運動を抑えていると推察できる。

5. まとめ

本研究は、最高疾走速度の影響を取り除いた低速からの加速能力を定量的に評価するために算出した加速指数をもとに、加速がより優れている者の動作の特徴を明らかにすることを目的とした。その結果、加速指数が高いほど接地時間が有意に長く、接地点に対し重心がより後方に位置していた。さらに接地期における下肢関節角度を検証したところ、加速指数が高いほど股関節伸展の角変位が大きかった。以上の結果から、低速からの加速能力が高速疾走能力に対してより優れているほど身体のより前方で接地をし、長い時間をかけて地面をキックしていることが示唆された。

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 100 m 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 :14-28.
- 阿江通良, 湯海鵬, 横井孝志 (1992) 日本人アスリートの身体部分慣性特性の推定. バイオメカニズム, 11 : 23-33.
- Arampatzis, A., Brüggemann, G. P., & Metzler, V. (1999) The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. *Journal of biomechanics*, 32, 12 : 1349-1353.
- Brughelli, M., Cronin, J., Levin, G., Chaouachi, A. (2008) Understanding change of direction ability in sport. *Sports medicine*, 38, 12 : 1045-1063.
- Callaghan, S. J., Lockie, R. G., Jeffriess, M. D., Nimphius, S. (2015) Kinematics of faster acceleration performance of the quick single in experienced cricketers. *The Journal of*

- Strength & Conditioning Research, 29, 9 : 2623-2634.
- Delecluse, C. H., Coppenolle, H. V., Willems, E., Diels, R., Goris, M., Leemputte, M. V., Vuylsteke, M. (1995) Analysis of 100 meter sprint performance as a multi-dimensional skill. *Journal of human movement studies*, 28, 2 : 87.
- Hunter, J. P., Marshall, R. N., McNair, P. J. (2005) Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *Journal of applied biomechanics*, 21, 1 : 31-43.
- 伊藤 章, 市川博啓, 斉藤昌久, 佐川和則, 伊藤道郎, 小林寛道 (1998) 100m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. *体育学研究*, 43, 5-6 : 260-273.
- Kawamori, N., Nosaka, K., Newton, R. U. (2013) Relationships between ground reaction impulse and sprint acceleration performance in team sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27, 3 : 568-573.
- 金高宏文 (1999) レーザー速度測定器を用いた疾走速度測定におけるデータ処理の検討. *学術研究紀要 / 鹿屋体育大学*, 22 : 99-108.
- 倉林 準, 持丸正明, 河内まき子 (2003) 股関節中心推定方法の比較・検討. *バイオメカニズム学会誌*, 27, 1 : 29-36.
- Lockie, R. G., Callaghan, S. J., Jeffriess, M. D. (2014) Acceleration kinematics in cricketers: implications for performance in the field. *Journal of sports science & medicine*, 13, 1 : 128.
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., Knight, T. J., de Jonge, X. A. J. (2011) Factors that differentiate acceleration ability in field sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25, 10 : 2704-2714.
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., Spinks, C. D. (2003) Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 17, 4 : 760-767.
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., Schultz, A. B., Jeffriess, M. D., Callaghan, S. J. (2013a) Influence of sprint acceleration stance kinetics on velocity and step kinematics in field sport athletes. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27, 9 : 2494-2503.
- Lockie, R. G., Vickery, W. M. (2013b) Kinematics that differentiate the beach flags start between elite and non-elite sprinters. *Biology of sport*, 30, 4 : 255.
- Mackala, K. (2007) Optimisation of performance through kinematic analysis of the different phases of the 100 metres. *New Studies in Athletics*, 22, 2 : 7.
- Mackała, K., Fostiak, M., Kowalski, K. (2015) Selected determinants of acceleration in the 100m sprint. *Journal of human kinetics*, 45, 1 : 135-148.
- 松尾彰文, 広川龍太郎, 柳谷登志雄 (2008) 男女 100m レースのスピード変化 (特集 世界陸上アスリートのパフォーマンス—東京大会から 16 年後の大阪大会). *バイオメカニクス研究*, 12, 2 : 74-83.
- Murphy, A. J., Lockie, R. G., Coutts, A. J. (2003) Kinematic determinants of early acceleration in field sport athletes. *Journal of sports science & medicine*, 2, 4 : 144.
- 渋川侃二 (1969) 運動力学, 現代保健体育学大系 大修館書店.
- Slawinski, J., Bonnefoy, A., Levêque, J. M., Ontanon, G., Riquet, A., Dumas, R., Chêze, L. (2010) Kinematic and kinetic comparisons of elite and well-trained sprinters during sprint start. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24, 4 : 896-905.
- Standing, R. J., Maulder, P. S. (2017) The biomechanics of standing start and initial acceleration: Reliability of the key determining kinematics. *Journal of sports science & medicine*, 16, 1 : 154.
- 杉田正明 (2003) 陸上競技・トラックレースの分析について (特集 ゲームとレースの分析). *バイオメカニクス研究*, 7, 1 : 82-88.
- Willwacher, S., Heinrich, K., Goldmann, J., Braunstein, B., Sanno, M., Brüggemann, G. P. (2016) Determinants of acceleration performance in elite female sprinters. In *ISBS-Conference Proceedings Archive*, 34, 1.
- Winter, D. A. (2009) *Biomechanics and motor control of human movement*. John Wiley & Sons.

リバウンドジャンプテストからみた走幅跳選手と走高跳選手の 下肢筋力・パワー発揮特性

図子あまね^{1),4)}, 荻山 靖²⁾, 吉田拓矢³⁾, 図子浩太佑¹⁾, 木越清信³⁾, 尾縣 貢³⁾

Characteristics of lower limb muscle strength and power about high jumper
and long jumper using rebound jump test

Amane ZUSHI^{1),4)}, Yasushi KARIYAMA²⁾, Takuya YOSHIDA³⁾, Kodayu ZUSHI¹⁾, Kiyonobu KIGOSHI³⁾, Mitsugi OGATA³⁾

Abstract

We aimed to investigate the strength and power of the lower limbs about the high jumper (HJ) group and long jumper (LJ) group by performance variables and the lower limb joint kinetics in the rebound jump (RJ) test. Twenty-five male jumpers (13 HJs and 12 LJs) performed the RJ test. The performance (RJ index, contact time, and jump height) and joint kinetics (joint power, joint work, and relative joint work) in the RJ were calculated. IAAF Scoring Tables of Athletics were used to calculate jump event performance (IAAF score). An unpaired t-test was used to determine significant differences ($p < 0.05$). The IAAF score was positively correlated with the RJ index, jump height, and joint work at the ankle and hip joints. The IAAF score and RJ index were not significantly different between the HJ and LJ groups. These results indicate that HJ and LJ groups had similar IAAF scores and RJ abilities. In addition, the contact time of RJ in the HJ group was significantly longer than that in the LJ group. Moreover, the negative and positive work of the knee joint and negative work of the hip joint in the HJ group were significantly higher than those in the LJ group. In contrast, relative work of the ankle joint was significantly higher in the LJ group than that in the HJ group. Therefore, the characteristics of contact time in the RJ and lower limb joints were different depending on the event, even if the IAAF score and RJ index were the same.

キーワード：SSC 運動, リバウンドジャンプ指数, 評価診断

1. 緒 言

陸上競技における跳躍種目の踏切は、下肢の筋腱複合体が伸張された後、コンセントリックな筋収縮が行われる Stretch-Shortening Cycle (以下、SSC と略す) 運動であり (Norman and Komi, 1979; Komi, 2003), 休息状態やアイソメトリックな収縮状態からの短縮よりも大きな筋

張力を発揮できる運動である (Cavagna et al., 1974). また、跳躍種目の踏切は、約 0.1 秒の接地時間に鉛直最大力は 800kg にも達する (図子, 2005) 高強度の SSC 運動であり、この能力の優劣が跳躍種目のパフォーマンスに大きく影響していると考えられる。

陸上競技の跳躍種目には、高さを目指す走高跳と距離を目指す走幅跳が存在し、両種目ともに下肢の SSC 運動遂行能力が競技力に重要になるという共通点がある一方で、高く跳ぶことと遠く跳ぶことという課題に対して、用いられる助走の速度や踏切時間に相違がある。Isolehto et al. (2007) は、2005 年世界陸上競技選手権大会における男子走高跳の助走速度は、踏切足が接地した瞬間において 7.78 ± 0.34 m/s (最小値: 7.28 m/s, 最大値: 8.29 m/s), 踏切時間は 0.175 ± 0.019 s (最小値: 0.135 s, 最大値: 0.200 s)であることを、Dapena (2000, p.299) は、競技記録が 2.35 ± 0.02 m の一流走高跳選手の助走速度は、踏切一歩前において踏切足が接地した瞬間に 7.4 ± 0.4 m/s (最小値: 6.6 m/s, 最大値: 8.0 m/s), 踏切時間は 0.182 ± 0.024 s (最小値: 0.150 s, 最大値: 0.230 s)であることを示している。一方、小山ほか (2008) は、2007 年の世界陸上競技選手権大会男子走幅跳のファイナリストの助走速度は、踏切一歩前において支持脚の足が接地した瞬間に 10.36 ± 0.30 m/s (最小値: 9.97 m/s, 最大値: 10.87 m/s), 踏切時間は 0.131 ± 0.010 s (最小値: 0.112 s, 最大値: 0.144 s)であることを示している。このように両種目を比較すると、跳躍する方向や助走速度、踏切時

- 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
〒305-8577 茨城県つくば市天王台 1-1-1
- 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) 筑波大学体育系 Faculty of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba
〒305-8577 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 Research fellow of the Japan society for the promotion of sciences
〒102-8471 東京都千代田区麹町 5-3-1 麹町ビジネスセンター

間が異なることから、同じ跳躍種目でも下肢の SSC 運動遂行能力の特徴は異なる可能性が考えられる。

リバウンドジャンプテストは陸上競技跳躍選手の下肢の SSC 運動遂行能力を評価できるテストのひとつであり、リバウンドジャンプの跳躍高を接地時間で除したリバウンドジャンプ指数によって評価することができる(図子ほか, 2017)。この指数は、短い接地時間で踏切を遂行する能力と高い跳躍高を獲得する能力の 2 つから構成されており、接地時間の短縮には足関節底屈筋群の働きが(図子・高松, 1995a)、跳躍高の獲得には最大脚伸展力や垂直跳の跳躍力などの要因が影響している(図子・高松, 1995b)。したがって、これらの 2 つの変数は互いに独立した関係にあり(図子・高松, 1995b)、リバウンドジャンプ指数が同じ値であっても跳躍高依存型のタイプ、あるいは接地時間依存型のタイプが存在する可能性がある。図子ほか(2017)は、跳躍 4 種目の選手を対象にリバウンドジャンプのパフォーマンス変数および下肢関節力学量と IAAF score で示した競技成績との関係について検討し、リバウンドジャンプ指数、跳躍高、足関節および股関節の仕事と競技成績の間にはそれぞれ有意な相関関係が認められることを示している。さらに、リバウンドジャンプにおける接地時間が短く跳躍高が高いタイプが高い競技力を示すという仮説から、リバウンドジャンプにおける接地時間と跳躍高の 2 要因に基づいて選手のタイプ分けを行い、当初の想定に反して、タイプ間で被験者の競技力に有意な差は認められなかったこと、さらに、対象者の中でも日本のトップレベルの跳躍選手 4 名のうち、3 名の走高跳選手が長い接地時間で高く跳ぶタイプに、1 名の走幅跳選手が短い接地時間で低く跳ぶタイプに分類されたことから、リバウンドジャンプの接地時間と跳躍高の 2 要因に基づくタイプには種目特性が反映される可能性を示し、今後、改めて検討する必要があることを示唆している。

さらに、跳躍高と接地時間、リバウンドジャンプ指数は下肢の 3 関節(足関節、膝関節、股関節)に関与する筋群の働きが相互に関連し合って生み出される結果である。したがって、パフォーマンス変数とともに、それらを生み出す下肢 3 関節の筋群の働きを定量化した、下肢関節の力学量の特徴を明らかにすることで、跳躍選手の下肢 SSC 運動遂行能力の特徴をより詳細に示すことが可能になると考えられる。

そこで本研究では、リバウンドジャンプテストのパフォーマンス変数と下肢 3 関節の力学量からみた、走高跳選手と走幅跳選手の下肢筋力・パワー発揮特性を明らかにすることを目的とした。

2. 方 法

2.1 対象者

対象者は、日本トップレベルを含む男子陸上競技跳躍

選手であり、走高跳または走幅跳を専門とする 25 名(年齢; 20.6 ± 1.4 歳, 身長; 176.8 ± 6.4 cm, 体重; 67.7 ± 4.8 kg)とした。内訳は、走高跳 13 名(年齢; 20.6 ± 1.9 歳, 身長; 178.1 ± 8.2 cm, 体重; 66.9 ± 4.3 kg, IAAF score; 1036.7 ± 100.9)、走幅跳 12 名(年齢; 20.5 ± 0.8 歳, 身長; 175.3 ± 3.4 cm, 体重; 68.7 ± 5.4 kg, IAAF score; 992.5 ± 92.4)であった。また、本研究の対象者における IAAF score を実際の記録で示すと、走高跳は 2.14 ± 0.11 m (最高; 2.35m, 最低; 1.95m)、走幅跳は 7.28 ± 0.45 m (最高; 7.94m, 最低; 6.45m)であった。全ての対象者に本研究の目的と方法および実験に伴う安全性について説明し、実験参加のための同意を得た。本研究は、筑波大学体育系倫理委員会によって承諾された(承認番号: 体 30-142)。

2.2 実験試技

対象者には立位姿勢からその場での両脚踏切を用いた 5 回連続跳躍運動であるリバウンドジャンプ(図子ほか, 2017)を 2 枚のフォースプレート(Kistler 社製, 9287C)を踏み分けた状態で行わせた。その際、できるだけ接地時間を短くして高く跳ぶことを口頭で指示し、跳躍の接地がフォースプレート外に出た場合は失敗試技とし、失敗試技を除外して最低 3 回の試技を行わせた。成功試技の中からリバウンドジャンプ指数が最も高い試技のデータを分析に用いた。また、対象者が最大パフォーマンスを発揮できるようにするために、本研究では腕の振込みに制限を加えなかった。本研究の対象者は普段から腕の振込みを用いたトレーニングを実施しているため、腕の振込み動作に習熟していると考えられる。加えて、リバウンドジャンプは両脚で実施し、分析する際には、跳躍種目の踏切脚のデータを用いた(荻山ほか, 2013; 図子ほか, 2017)。試技間には十分な休息をとらせた。なお、対象者には、定期的なコントロールテストとして年に数回リバウンドジャンプテストを実施していたため、実験運動に慣れていた。さらに、対象者に本番の試技前に実験運動を練習させた。

2.3 測定方法および測定項目

身体座標を測定するために赤外線カメラ 10 台(Vicon Motion Systems 社製, Vicon MX+)、地面反力を測定するためにフォースプレート 2 台を使用した。フォースプレートのサンプリング周波数は 1000Hz とし、各 X, Y, Z 方向の力を A/D 変換ボードによってパーソナルコンピュータに取り込んだ。反射マーカーを添付した身体計測点 13 点(ダミーマーカー 1 点を含む)の 3 次元座標データを 250Hz のサンプリング周波数で収集した。静止座標系は、試技開始時の対象者前方を X 軸、対象者前方に直行する方向を Y 軸、鉛直上向きを Z 軸と定義した。フォースプレートデータと Vicon システムからのマー

カー位置情報データは Quick Motion Analysis System (DKH 社製) に送られ、リバウンドジャンプの接地時間、跳躍高、地面反力に加えて、下肢3関節のキネティクスを算出し外部出力させた。

2.4 算出項目

パフォーマンス変数について、鉛直地面反力が 10N 以上となった時点を接地、10N 以下となった時点を離地とし、接地時間と滞空時間を算出した。跳躍高 (Jump height, m) は滞空時間 (Tair, sec) と重量加速度 ($g, m/s^2$) を用いて、自由落下に基づいた公式を用いて算出した。

$$\text{Jump height} = (g \cdot \text{Tair}^2) \cdot 8^{-1}$$

また、前述した跳躍高を接地時間で除することでリバウンドジャンプ指数を算出した (図子ほか, 1993)。

身体部分慣性係数 (阿江, 1996) を用いて身体重心を算出した。また、分析対象脚は跳躍種目における踏切脚とし、足関節、膝関節、股関節の3関節から成る2次元セグメントモデルとした。次いで、Free Body diagram に準じて、各部分の近位端に作用する関節トルクを、運動方程式を用いて算出した。次に上記の関節トルクと関節角速度の内積から負のトルクパワーの平均値 (以下、負の平均パワーと略す)、正のトルクパワーの平均値 (以下、正の平均パワーと略す) をそれぞれ算出した。さらに、負および正のトルクパワーを時間積分してそれぞれ負の仕事と正の仕事とした。そして、下肢3関節の総仕事量に対する各関節の負および正の仕事の割合を貢献度として算出した。また、本研究では、走高跳と走幅跳の記録を標準化するために、IAAF Scoring Tables of Athletics (2017 年度版) を用いて、各対象者の公式競技会における競技記録を得点化した値 (IAAF score) を使用した。また、競技記録は、対象者が最も高いリバウンドジャンプ指数を示した測定日から、前後1カ月以内の公式競技会で最も高い公認記録とした。

2.5 統計処理

全対象者および走高跳群と走幅跳群の各算出項目は平均値±標準偏差で示した。走高跳群と走幅跳群の各変数の比較には対応のない t 検定を用いて P 値を示した。また、2 種目における変数間の関係については、相関係数を Pearson の方法を用いて算出した。有意水準は全ての項目において危険率 5% 未満で判定した。

3. 結果

本研究における全対象者のリバウンドジャンプ指数、接地時間、跳躍高、そして IAAF score の平均値±標準偏差はそれぞれ 3.52 ± 0.35 , $0.15 \pm 0.01s$, $0.54 \pm 0.05m$, 1015.5 ± 97.5 であった。グループ別に見ると、走高跳群ではリバウンドジャンプ指数、接地時間、跳躍高、IAAF score の平均値±標準偏差は 3.50 ± 0.38 , $0.16 \pm$

$0.01s$, $0.55 \pm 0.06m$, 1036.7 ± 100.9 , 走幅跳群ではリバウンドジャンプ指数、接地時間、跳躍高、IAAF score の平均値±標準偏差は 3.53 ± 0.34 , $0.15 \pm 0.01s$, $0.52 \pm 0.04m$, 983.3 ± 96.5 であった。

表1には、全対象者、走高跳群、走幅跳群におけるリバウンドジャンプの下肢関節力学量を、負および正の平均パワー、負および正の関節仕事、負および正の貢献度について、それぞれ平均値±標準偏差で示した。

図1には IAAF score で示した競技成績、リバウンドジャンプ指数、接地時間、跳躍高について走高跳群と走幅跳群で比較したものを示した。走高跳群の接地時間が走幅跳群よりも有意に長かった。

図2に、リバウンドジャンプにおける足関節、膝関節、股関節の負の平均パワーと正の平均パワー、負の仕事と正の仕事、負の貢献度と正の貢献度について走高跳群と走幅跳群で比較したものを示した。まず、走高跳群は走幅跳群よりも膝関節の負の平均パワーおよび正の平均パワーが有意に大きい値を示した。次に、走高跳群は走幅跳群よりも膝関節の負の仕事と正の仕事、股関節の負の仕事が有意に大きい値を示した。そして、走幅跳群は走高跳群よりも足関節の負および正の貢献度が有意に大きく、走幅跳群は走高跳群よりも膝関節および股関節の負の貢献度が有意に小さい値を示した。

表2に、走高跳群および走幅跳群ごとに、IAAF score で示した競技成績とパフォーマンス変数および下肢3関節の力学量の間の相関係数をそれぞれ示した。走高跳群および走幅跳群ともに、競技成績とリバウンドジャンプ指数 (走高跳群: $r = 0.604$, $p < 0.05$; 走幅跳群: $r = 0.663$, $p < 0.05$) および跳躍高 (走高跳群: $r = 0.735$, $p < 0.05$; 走幅跳群: $r = 0.683$, $p < 0.05$) との間に有意な正の相関関係が認められた。また、走高跳群は競技成績と膝関節の負の平均パワー ($r = -0.693$, $p < 0.05$) および正の仕事 ($r = 0.624$, $p < 0.05$) との間にそれぞれ有意な相関関係が認められた。一方、走幅跳群は足関節の正の平均パワー ($r = 0.653$, $p < 0.05$) との間にのみ有意な正の相関関係が認められた。

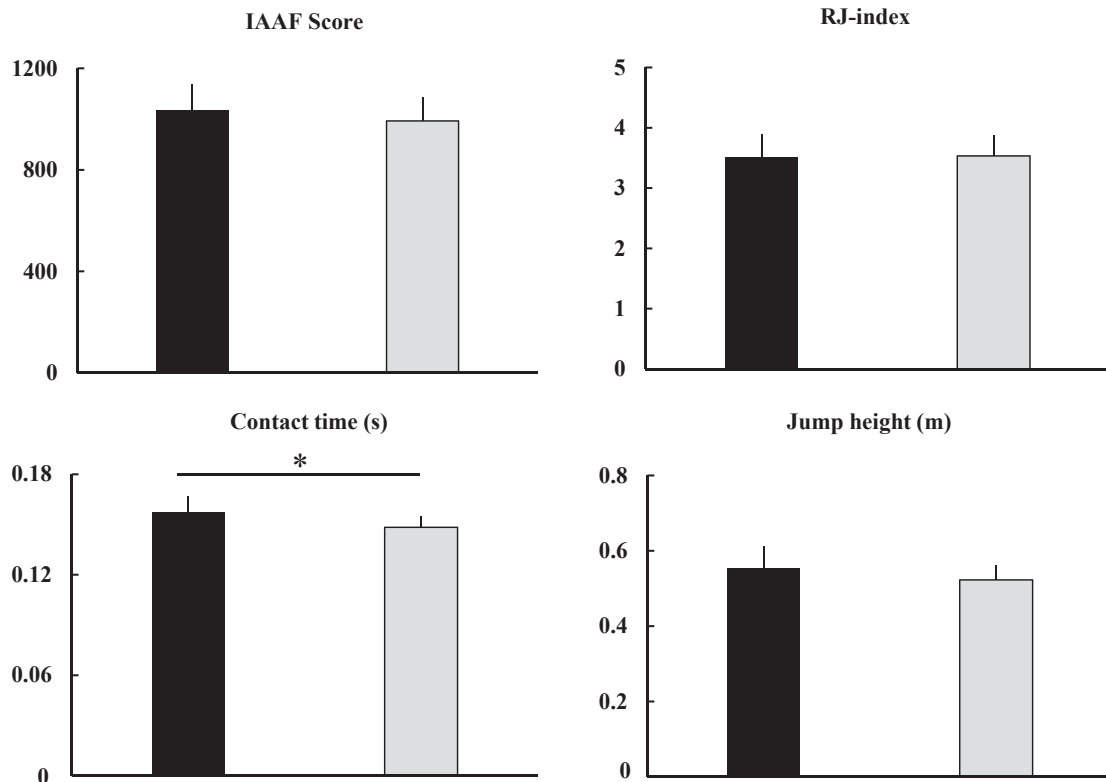
4. 考察

本研究では、リバウンドジャンプテストのパフォーマンス変数と下肢3関節の力学量からみた、走高跳選手と走幅跳選手の下肢筋力・パワー発揮特性を明らかにするために、国内トップレベルを含む走高跳選手および走幅跳選手を対象に、リバウンドジャンプテストのパフォーマンス変数 (リバウンドジャンプ指数、跳躍高、接地時間) と下肢3関節の力学量 (平均パワー、仕事、貢献度) を走高跳群と走幅跳群の間で比較した。

Table 1 Rebound jump results for performance variables and kinetics variables (mean $\pm$ SD).

	All (n=25)			HJ Group (n=13)			LJ Group (n=12)		
Performance variables									
RJ index	3.52	±	0.35	3.50	±	0.38	3.53	±	0.34
Jump height (m)	0.54	±	0.05	0.55	±	0.06	0.52	±	0.04
Contact time (s)	0.153	±	0.01	0.157	±	0.01	0.148	±	0.01
Negative power (W/kg)									
Hip	-3.4	±	2.0	-3.9	±	2.4	-2.8	±	1.3
Knee	-11.1	±	3.9	-13.1	±	3.9	-9.0	±	2.9
Ankle	-28.6	±	5.2	-27.8	±	4.9	-29.5	±	5.7
Positive power (W/kg)									
Hip	4.0	±	1.6	4.1	±	1.7	3.9	±	1.5
Knee	15.6	±	3.9	17.3	±	3.6	13.7	±	3.5
Ankle	19.9	±	3.1	18.9	±	3.4	21.0	±	2.4
Negative work (J/kg)									
Hip	-0.15	±	0.11	-0.21	±	0.11	-0.09	±	0.06
Knee	-0.67	±	0.21	-0.76	±	0.20	-0.57	±	0.18
Ankle	-1.59	±	0.41	-1.49	±	0.29	-1.70	±	0.49
Positive work (J/kg)									
Hip	0.34	±	0.16	0.36	±	0.18	0.31	±	0.14
Knee	0.95	±	0.23	1.05	±	0.26	0.84	±	0.14
Ankle	1.89	±	0.23	1.87	±	0.25	1.91	±	0.23
Negative relative work (%)									
Hip	6.5	±	3.9	8.8	±	3.4	4.0	±	2.7
Knee	27.9	±	6.6	31.2	±	6.2	24.3	±	5.2
Ankle	65.6	±	9.4	60.0	±	8.5	71.6	±	6.2
Positive relative work (%)									
Hip	10.9	±	5.2	11.7	±	6.1	10.0	±	4.1
Knee	29.8	±	5.4	31.8	±	5.5	27.8	±	4.6
Ankle	59.3	±	5.2	56.6	±	4.7	62.3	±	4.1

HJ: High jumper group (n = 13), LJ: Long jumper group (n = 12), All: All subjects (n =25)



* Significant difference between HJ and LJ ($p < 0.05$).

■ : HJ group □ : LJ group

Fig. 1. Comparison of International Association of Athletics Federations (IAAF) score and RJ performance (RJ index, Contact time, Jump height) for HJ group and LJ group.

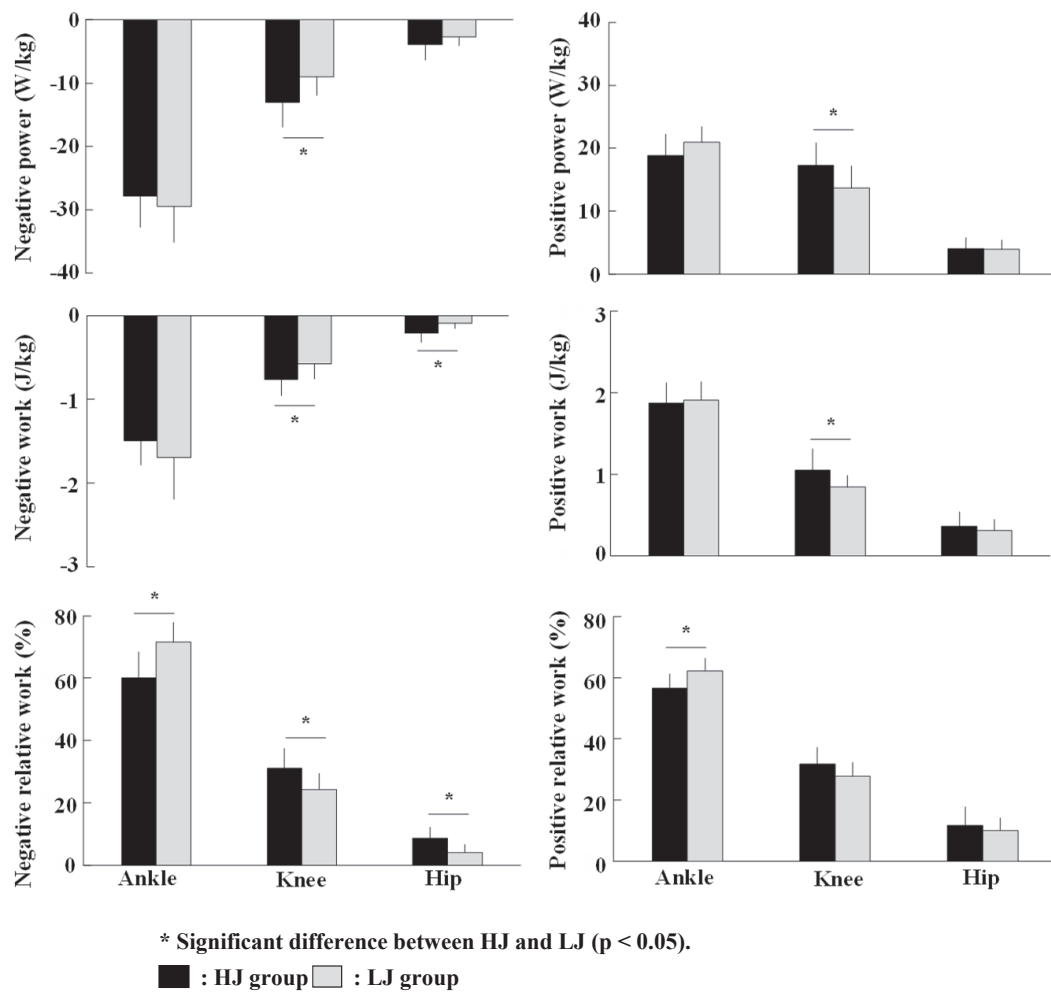


Fig. 2. Comparison of joint kinetics at each joint (Ankle, Knee Hip) for HJ and LJ group.

Table 2 Correlation coefficients between competition performance of each of HJ group and LJ group and each variable in rebound jump.

Performance variables	RJ index	Jump height (m)	Contact time (s)				
	HJ	0.604 *	0.735 *	0.315			
	LJ	0.663 *	0.683 *	-0.309			
Kinetics variables	Negative			Positive			
	Ankle	Knee	Hip	Ankle	Knee	Hip	
Power (W/kg)							
	HJ	-0.494	-0.693 *	-0.266	0.113	0.453	-0.019
	LJ	-0.298	-0.021	0.077	0.488	-0.014	0.073
Work (J/kg)							
	HJ	-0.344	-0.432	-0.121	0.410	0.624 *	-0.243
	LJ	-0.415	-0.389	0.231	0.653 *	0.250	-0.133
Relative work (%)							
	HJ	-0.092	0.185	-0.110	-0.114	0.536	-0.389
	LJ	0.027	0.096	-0.257	0.385	-0.065	-0.312

HJ: High jumper group (n = 13), LJ: Long jumper group (n = 12)

*: $p < 0.05$

4.1 パフォーマンス変数からみた走高跳選手と走幅跳選手の相違

走高跳群と走幅跳群における競技成績とリバウンドジャンプのパフォーマンス変数をそれぞれ比較した結

果、走高跳群と走幅跳群の競技成績およびリバウンドジャンプ指数は同水準であった (図 1)。次に、リバウンドジャンプ指数の構成要素である接地時間と跳躍高について、走高跳群と走幅跳群の値を比較した結果、走高

跳群が走幅跳群よりも有意に接地時間が長かった (Fig.1). これらの結果は、本研究におけるリバウンドジャンプが最大努力で短く高く跳ぶジャンプ運動であるにも関わらず、走高跳群と走幅跳群は競技成績およびリバウンドジャンプ指数が同水準であっても、走高跳群は走幅跳群よりも長い接地時間でリバウンドジャンプを行っていることを示している。走高跳の実際の試技における踏切時間は $0.175 \pm 0.019\text{s}$ (Isolehto et al., 2007) や $0.182 \pm 0.024\text{s}$ (Dapena, 2000, p. 299) であることに對して、走幅跳の踏切時間は $0.131 \pm 0.010\text{s}$ (小山ほか, 2008)であることが報告されている。さらに、日本のトップレベルの走高跳選手 3 名が長い接地時間で高く跳ぶタイプに、走幅跳選手 1 名が短い接地時間で低く跳ぶタイプに分類されたことも報告されている (図子ほか, 2017)。これらのことから、できるだけ短く高く跳ぶ最大努力でのリバウンドジャンプを用いて下肢筋力・パワー発揮特性を見た場合、走高跳および走幅跳それぞれの種目特性が反映される可能性が推察される。また、走高跳群と走幅跳群それぞれにおいて、IAAF score で示した競技成績とリバウンドジャンプ指数、跳躍高との間に有意な正の相関関係が認められたことに對して、接地時間との間に有意な関係は認められなかった (表 2)。これらのことは、図子ほか (2017) の報告と同様に、優れた走高跳選手および走幅跳選手ほど、リバウンドジャンプテストにおいて跳躍高を獲得する能力が高いことを示唆するものである。したがって、リバウンドジャンプの接地時間は、単に短いことが競技成績に繋がるものではなく、跳躍高の獲得と両立するとともに、走高跳と走幅跳それぞれにおいて適した長さが存在する可能性が考えられる。

4.2 下肢関節力学量からみた走高跳選手と走幅跳選手の相違

リバウンドジャンプの下肢 3 関節 (足関節、膝関節、股関節) の負および正の平均パワーと負および正の仕事について、走高跳群は走幅跳群よりも膝関節の負および正の平均パワーと仕事、股関節の負の平均パワーが有意に高い値を示した (図 2)。股関節は周辺に大殿筋などの横断面積の大きな筋群が関与しているため、跳躍高の獲得に有利な大きなパワーを発揮できる解剖学的な特徴を持っている (図子ほか, 1998)。一方で、股関節周辺筋群は質量や構成部位の慣性モーメントが大きい部位であるため (阿江, 1996)、その動員が増大することで運動遂行時間が増加する可能性がある。したがって、走高跳群は走幅跳群よりも、跳躍高の獲得に有利な股関節伸展筋群の動員を増大させた、接地時間が比較的長いリバウンドジャンプを行う特徴があると考えられる。

一方、本研究の走高跳群において、IAAF score で示した競技成績と膝関節の負のパワー、正の仕事の間にそれ

ぞれ有意な相関関係が認められた (表 2)。図子ほか (2017) では、跳躍 4 種目の跳躍選手における競技成績とリバウンドジャンプの足関節および股関節の仕事 (負および正の総和) の間にのみ、有意な相関関係が認められたことを報告している。したがって、本研究の走高跳群における競技成績とリバウンドジャンプ中の下肢関節力学量の結果は、図子ほか (2017) と異なるものであった。これまで、膝関節については、連続ジャンプ運動 (Hobara et al., 2009) やリバウンドドロップジャンプにおける接地時の膝関節角度に着目した研究が存在するが (図子・高松, 1996)、膝関節の役割が接地時間の短縮や跳躍高の獲得にどのように影響するかについて示されていない。したがって、トルクやパワー、仕事などの力学あるいは筋電図などの生理学的データから、今後の検討が必要である。

一方、走幅跳群は走高跳群と比較して足関節の負および正の貢献度が有意に高い値を示した (図 2)。さらに、走幅跳群において、IAAF score で示した競技成績と足関節の正の仕事の間に有意な相関関係が認められた (表 2)。足関節に関与する筋やアキレス腱は素早く伸張されると、弾性エネルギーを貯蔵し続く短縮中に再利用することで強靱な弾性体となり、接地時間の短縮に有利であることが示されている (図子・高松, 1995a)。また、走幅跳の実際の競技における踏切時間である $0.131 \pm 0.010\text{s}$ (小山ほか, 2008) や本研究における走幅跳群のリバウンドジャンプの接地時間である $0.150 \pm 0.010\text{s}$ は、ともに走高跳群のものよりも短い。したがって、走幅跳群は短い接地時間で力発揮に有利な足関節の仕事を膝関節や股関節よりも相対的に大きくすることによって、走高跳群よりも接地時間が比較的短いリバウンドジャンプを行う特徴があると考えられる。

5. 本研究の限界と今後の課題

ここまで、走高跳選手と走幅跳選手のリバウンドジャンプにおけるパフォーマンス変数と下肢関節力学量からみた種目特性を明らかにしてきた。しかしながら、これまで、走高跳における課題達成の仕方に関わる自由度の高さに起因する、技術的多様性が明らかにされてきた (渡辺ほか, 2009)。したがって、同じ走高跳選手であっても用いる技術の違いによって、トレーニングの目標や内容が変化することから (Reid, 1989)、同種目内でもリバウンドジャンプに現れる特徴が異なる可能性が考えられる。よって、今後は、各種目の実際の試技における踏切中の下肢関節力学量の特徴が、リバウンドジャンプに對してどの程度現れるかについて検討する必要がある。

6. 要 約

本研究では、リバウンドジャンプテストのパフォーマンス変数と下肢 3 関節の力学量からみた、走高跳選手と

走幅跳選手の下肢筋力・パワー発揮特性を明らかにすることを目的とした。

(1) 走高跳群と走幅跳群はIAAF scoreで示した競技成績とリバウンドジャンプ指数が同水準であったが、走高跳群はよりリバウンドジャンプ実施時の接地時間が長いことが明らかとなった。

(2) 走高跳群は走幅跳群よりも、リバウンドジャンプにおける膝関節や股関節のパワー、仕事、貢献度において有意に大きいことが示された。

(3) 走幅跳群は走高跳よりも、リバウンドジャンプにおける足関節の仕事の貢献度が有意に大きいことが示された。

以上のことから、走高跳選手と走幅跳選手におけるリバウンドジャンプのパフォーマンス変数と下肢3関節の力学量からみた下肢筋力・パワー発揮特性は、異なることが示唆された。

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. *J J Sports Sci*, 15 (3): 155-162.

Asmussen, E. and Bonde-Petersen, F. (1974) Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol Scand*, 91 (3): 385-392.

Cavagna, G. A. Citterio, G. (1974) Effect of stretching on the elastic characteristics and the contractile component of frog striated muscle. *J Physiol*, 239 (1): 1-14.

Dapena, J. (2000) The high jump. In: Zatsiorsky, V. M. (Ed.), *Biomechanics in sport: performance enhancement and injury prevention*. Blackwell Sci: 284-311.

Hobara, H., Muraoka, T., Omuro, K., Gomi, K., Sakamoto, M., Inoue, K., and Kanosue, K. (2009) Knee stiffness is a major determinant of leg stiffness during maximal hopping. *J Biomech*, 42 (11): 1768-1771.

International Association of Athletics Federations (2017) IAAF Scoring Tables of Athletics-Outdoor – 2017 Edition. http://www.ekjl.Ee/content/editor/files/Kasulik_info/Varia/IAAFScoringOutdoor2017.Pdf

Isolehto, J., Virmaavirta, M., Kyröläinen, H., and Komi, P. V. (2007) Biomechanical analysis of the high jump at the 2005 IAAF World Championships in Athletics. *New Stud Athlet*, 22 (2): 17-27.

荻山 靖・藤井宏明・森 健一・図子浩二 (2013) 片脚および両脚リバウンドジャンプにおける3次元的な力発揮特性の相違. *体育学研究*, 58 (1): 91-109.

Komi, P. V. (1986) Training of muscle strength and power: interaction of neuromotoric, hypertrophic, and mechanical factors. *Int J Sports Med*, 7 (Suppl. 1): 10-15.

Komi, P. V. (2003) *Stretch-shortening cycle. Strength and power in sport*, Oxford Blackwell Science, 2: 184-202.

小山宏之・村木有也・阿江通良 (2008) 大阪世界陸上大会男子走幅跳選手の踏切動作のバイオメカニクス. *バイオメカニクス研究*, 12 (2): 127-133.

Norman, R. W. and Komi, P. V. (1979) Electromechanical delay in skeletal muscle under normal movement conditions. *Acta Physiol Scand*, 106 (3): 241-248.

Reid, P. (1989) *Plyometrics and the high jump*. *New Stud Athlet*, 4 (1): 67-74.

渡辺輝也・朝岡正雄・宮下 憲・佐野 淳 (2009) 走高跳におけるスピードフロップの類型化に関する運動学的考察. *体育学研究*, 54 (2): 327-342.

図子あまね・荻山 靖・図子浩二 (2017) リバウンドジャンプテストを用いた跳躍選手の専門的な下肢筋力・パワーに関する評価. *体力科学*, 66 (1): 79-86.

図子浩二 (2005) スポーツアスリートにおけるばねに関する理論とその可能性. *陸上競技研究*, 60: 2-17.

図子浩二・高松 薫 (1995a) 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注目して. *体育学研究*, 40 (1): 29-39.

図子浩二・高松 薫 (1995b) バリステックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力を決定する要因: 筋力および瞬発力に着目して. *体力科学*, 44(1): 147-154.

図子浩二・高松 薫 (1996) リバウンドドロップジャンプにおける着地動作の違いが踏切中のパワーに及ぼす影響. *体力科学*, 45 (1): 209-217.

図子浩二・高松 薫・古藤高良 (1993) 各種スポーツ選手における下肢の筋力およびパワー発揮に関する特性. *体育学研究*, 38 (4): 265-278.

図子浩二・西園秀嗣・平田文夫 (1998) 筋収縮の違いからみた下肢三関節のトルク発揮特性. *体力科学*, 47 (5): 593-600.

陸上競技経験のない小学校教諭における短距離動作を評価する能力の検討 ー陸上競技経験者と比較してー

中野美沙¹⁾, 山元康平²⁾, 木越清信¹⁾

Examination of ability to evaluate sprinting motion in elementary school teachers who do not have athletics experience: Comparison of experienced athletics

Misa NAKANO¹⁾, Kohei YAMAMOTO²⁾, Kiyonobu KIGOSHI¹⁾

Abstract

The purpose of this study was to consider the ability to evaluate sprint movement by taking minimum knee joint angle of the free leg as an evaluation viewpoint of sprinting between elementary school teachers who do not have athletics experience and experienced athletics. The subjects observed taken running motion and answered minimum knee angle of free leg from five different options. The main results were follows: 1) There was no difference between experienced and non-experienced in the examination score, 2) The deviation from the correct answer in the examination was significantly lower for the experienced, 3) Both the experienced and non-experienced, the patterns of answers were similar. These results showed that elementary school teachers was smaller amount of error than experienced.

キーワード：小学校教諭，観察的動作評価，正答からのズレ

1. 緒言

小学校学習指導要領（文部科学省，2017）では，低学年は「走の運動遊び」として，中学年では走・跳の運動として，高学年では陸上運動として，短距離走が取り上げられており，「動きを身に付けること」，「技能を身に付けること」が目標として示されている。すなわち，ただ走るだけでなく，疾走の技能を身に付けることが必要とされている。しかし，これが容易でなく，このことは体育授業における技能を身に付けるための教材の適正実施時期や指導のポイントが不明瞭であることに起因しているとされている（三輪・本間，2010）。中でも陸上競技は様々な動作の技術指導が困難であるとされており，宮口（1983）は，小学生の陸上競技の指導に関して，「どの点に重点を置いて指導したら良いのかということに関してあまりにも漠然としている」としている。これ

らのことをまとめると，著書や指導書などが多く出版されていて多くの情報が提供されているものの，それらが整理された情報ではないことが，小学生の陸上競技の技術指導を困難にしている要因であると言える。加えて，小学校は教科担任制ではなく学級担任制であり，体育専科ではない教諭が体育の授業を行うことも多いことを考慮すると，小学校教諭にとって陸上競技は，指導が困難な種目である可能性もある。

小学生を対象として疾走速度と疾走動作との関係について検討したいいくつかの研究を概観してみると，遊脚の最小膝関節角度や遊脚の最大腿上げ角度と疾走速度との間に有意な相関関係を認めている研究が多い（加藤ほか，2001；末松ほか，2008；木越ほか，2012）。また，幼少年期に身につけるべき動作について，阿江（2008）は項目別に提示しており，走動作に関しては4項目を示している。このように，疾走速度に影響を及ぼす要因が明確になっているにもかかわらず，前述のように，指導のポイントが不明瞭という指摘があることや，小学校ではどの点に重点を置いて指導したらよいか漠然としているとの批判が寄せられている（宮口，1983）ことを考えると，研究の成果が指導現場で生かされていない可能性がある。一方で，研究の成果から得られた疾走速度に影響を及ぼす要因について，知識として提供されていたとしても，その動きができていないのか否かを評価する能力が教諭に備わっていない可能性も考えられる。教員（指導者）には学習者の現在の運動能力を見抜く眼が求められるとの指摘もあり（水島，2004），小学校教諭が児童の動作を適切に評価する能力を身につけることも重要であ

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

2) 福井工業大学スポーツ健康科学部 Fukui University of Technology, Department of Sports and Health Sciences
〒910-8505 福井県福井市学園3丁目6-1

るといえよう。その動作を評価する方法の一つとして、高本ほか（2003）の用いた観察的動作評価法が挙げられる。この方法は、バイオメカニクスの動作評価とは異なり、主観的・観察的に動作の良し悪しを評価する方法である。しかし、この研究においても、観察者の観察的動作評価能力の精度については詳しく言及されておらず、陸上競技の競技歴や指導歴がある程度長い者を観察者とする事で、観察的動作評価法の方法としての精度を担保しているにすぎない。体育科が専門でない小学校教諭、中でも陸上競技経験のない小学校教諭と、陸上競技経験者とは疾走動作を評価する能力の精度が変わることは推察されるものの、実際に検討した研究は見当たらない。

そこで、本研究の目的は、短距離走動作の評価観点として遊脚最小膝関節角度を取り上げ、陸上競技未経験者である小学校教諭を対象に、短距離走動作を評価する能力を検討することとした。

2. 方 法

2.1 対象者

対象は、陸上競技を専門として研究している大学院生、現在陸上競技を専門としている競技者および以前陸上競技を専門としていた元競技者 24 名（競技歴 10.4 ± 2.3 年、以下「経験者」と略す）、陸上競技を競技として経験していない、つまり課外活動において陸上競技部や陸上競技クラブに所属したことのない小学校教諭 35 名（教諭歴 23.2 ± 6.6 年、以下「小学校教諭」と略す）とした。

2.2 検査用動画の作成

(1) 検査用動画の作成

検査に使用する動画（以下「検査用動画」と略す）において被験者に観察させる小学生の疾走は、あらかじめデジタルカメラ（カシオ計算機社製、EX-F1、カメラスピード 30fps、露出時間 1/1000 秒）で撮影して収集しておいた小学生 5 および 6 年生 10 名（男子 4 名、女子 6 名）のものとした。10 名は上半身および下半身に、伸縮性がある黒い衣服を着用していた。動画の作成には、動画処理ソフトである Adobe Premiere Pro CC 2014（アドビシステムズ株式会社製）を用いた。1 名の疾走動画は 50m 走のスタートからゴールまでを再生後に 7 秒間の考察時間を設け、再度同じ疾走動画を再生し、その後 10 秒の回答時間を設けた。疾走動画は実際のスピードで再生した。検査用動画に加えて、検査の回答方法（練習問題）、検査内容、注意事項について記した説明動画を作成した。説明動画の作成は、Adobe PhotoShop CC 2014 および Adobe Illustrator CC 2014（共にアドビシステムズ株式会社製）を用いた。その後、Adobe Encoder CS6（アドビシステムズ株式会社製）を使用し、説明動画と検査用動画を 1 枚の DVD にまとめた。

(2) 正解とする膝関節角度の算出

検査用動画に用いた小学生の疾走は、その映像をもとに、30m から 40m 地点における右足接地から次の右足接地までの 1 サイクル（2 歩）の疾走動作について、身体 23 点と校正マーク 4 点を動作分析システム Frame-DIAS IV（株式会社 DKH 製）を用いてデジタル化し、MATLAB（MathWorks Japan 社製）を用いて実長換算した。実長換算した座標値は、分析点の座標成分ごとに最適遮断周波数を Wells and Winter（1990）の方法を基に決定し、4 次のバターワースデジタルフィルタを用いて平滑化した。算出項目は小学生の疾走速度と有意な相関関係が認められており（末松ほか，2008）、逆足の接地前後に出現する遊脚における最小膝関節角度（以下、「膝関節角度」とする）とし、Fig.1 に定義を示した。膝関節角度は、大腿部と下腿部がなす角度とした（加藤ほか，2001；末松ほか，2008）。本研究における膝関節角度は 30m から 40m 地点における膝関節の最小角度を対象としたため、最小角度が観察された脚は左右どちらかに決まっていなかった。また、検査用動画における疾走のピッチ、ストライドおよび疾走速度を算出した。ピッチは 1 歩に要した時間の逆数とし、ストライドは接地時点のつま先の座標値と次の接地におけるつま先の座標値との差とし、ピッチおよびストライドは 2 歩の平均値とした。また、疾走速度は、ピッチとストライドとの積とした。算出した各項目の値（平均値 $\pm$ 標準偏差）は、ピッチが $3.39 \pm 0.28\text{Hz}$ 、ストライドが $1.22 \pm 0.07\text{m}$ 、疾走速度が $4.13 \pm 0.38\text{m/s}$ であった。

2.3 検査用動画の観察

対象者に作成した説明動画と検査用動画を観察させ、膝関節角度を回答させた。なお、Fig.2 に検査に使用した回答用紙を示した。検査用動画に用いた疾走動作における膝関節角度が $54.4 \pm 9.1^\circ$ (41.10° から 69.90°) であったため、回答の選択肢は、 30° から 40° 、 40° から 50° 、



Fig. 1 膝関節角度の定義

陸上競技経験者と非経験者間の観察的動作評価能力に関する研究

回答用紙 膝

膝関節角度 (θ) が最も屈曲したときの角度を○で囲んでください

練習問題 <静止画>				
() °				
練習問題 <動画>				
() 30-40°	() 40-50°	() 50-60°	() 60-70°	() 70-80°
走者 1				
() 30-40°	() 40-50°	() 50-60°	() 60-70°	() 70-80°
走者 2				
() 30-40°	() 40-50°	() 50-60°	() 60-70°	() 70-80°
走者 3				
() 30-40°	() 40-50°	() 50-60°	() 60-70°	() 70-80°
走者 4				
() 30-40°	() 40-50°	() 50-60°	() 60-70°	() 70-80°
走者 5				
() 30-40°	() 40-50°	() 50-60°	() 60-70°	() 70-80°
走者 6				
() 30-40°	() 40-50°	() 50-60°	() 60-70°	() 70-80°
走者 7				
() 30-40°	() 40-50°	() 50-60°	() 60-70°	() 70-80°
走者 8				
() 30-40°	() 40-50°	() 50-60°	() 60-70°	() 70-80°
走者 9				
() 30-40°	() 40-50°	() 50-60°	() 60-70°	() 70-80°
走者 10				
() 30-40°	() 40-50°	() 50-60°	() 60-70°	() 70-80°

Fig. 2 観察的動作評価能力検査に用いた回答用紙

50°から60°, 60°から70°, 70°から80°の5種類に設定した。対象者が走動作をより正しく評価できるように、各動画を2回ずつ観察させ、5種類の選択肢から適切であると判断した選択肢を選択させた。問題は全10問であった。なお、検査用動画を観察する前に、本研究の検査の回答方法に慣れるために練習動画を観察させた。練習動画では見た目の角度と具体的な数値をすり合わせるために、小学生の疾走動作の動画を再生した後に、再生した疾走動作における膝関節角度の数値の範囲を正答として示した。

2.4 算出項目および算出方法

デジタイズによって得られた実際の膝関節角度を含む選択肢を選んで正答した数を、観察的動作評価能力の検査得点とした。また、正答と回答との絶対偏差(以下、「ズレ」とする)を検討するため、正答よりも選択肢1つ分ずれて回答した場合を1、選択肢2つ分ずれて回答した場合を2としてズレを算出し、絶対値で評価した。また、1人当たり10問分の絶対偏差の和を、正答からのズレの大きさとした。さらに、正答を含む選択肢より大きい

関節角度を回答した場合を+、正答より小さい関節角度を回答した場合を-とし(例:1つ分大きくずれて回答した場合は+1)、経験者と小学校教諭とで問題ごとのズレを比較した。

2.5 統計処理

検査得点およびズレの各値については、平均値±標準偏差で示した。統計処理は、統計解析ソフトウェアIBM SPSS statistics 22 (IBM社製)を用いて、検査得点および正答からのズレの大きさについて経験者と小学校教諭とで比較するために、Mann-WhitneyのU検定を行った。なお、統計学的有意水準は危険率5%未満とした。

3. 結果

Fig.3に、観察的動作評価能力の検査得点を示した。経験者の得点は 3.3 ± 1.9 点、小学校教諭の得点は 2.6 ± 1.3 点であり、両者の間に有意な差は認められなかった($p=0.088$)。Fig.4に観察的動作評価能力の検査にお

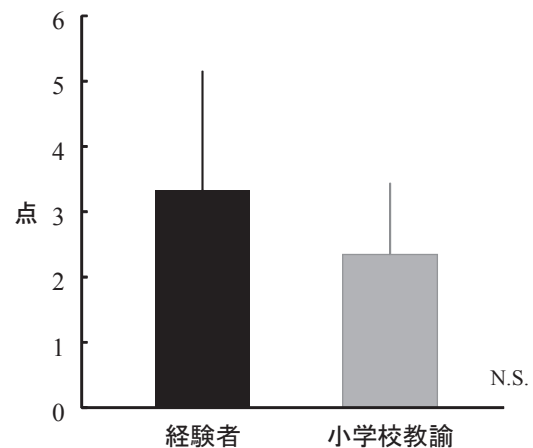


Fig. 3 観察的動作評価能力の検査得点

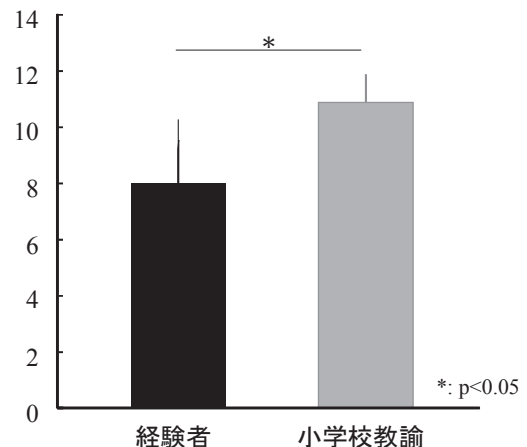


Fig. 4 観察的動作評価能力の検査における正答からのズレの和

ける正答からの10問分のズレの和を示した。ズレの和は、経験者が 8.0 ± 2.3 、小学校教諭が 10.9 ± 2.1 であり、統計処理の結果、経験者と比較して小学校教諭が有意に高値を示した ($p=0.000$)。さらに、Fig.5に問題ごとのズレの推移を示した。回答の絶対値は違うものの、問題2および10以外で経験者と小学校教諭は類似した回答パターンを示した。

4. 考 察

本研究の目的は、遊脚最小膝関節角度を取り上げ、小学校教諭を対象に、短距離走動作を評価する能力を検討することであった。なお、本研究において評価の対象とする動作は、先行研究（末松ほか，2008）において疾走速度との間に有意な相関関係が認められている動作として、遊脚の膝関節角度とした。そして、本研究においては、遊脚の膝関節角度を評価する能力は、疾走動作を撮影した映像を観察し、提示された選択肢の中から角度を推量する能力とした。

4.1 検査得点

本研究では、事前に疾走速度との相関関係が報告されている遊脚の膝関節角度を評価の観点として指定し、動画を観察して関節角度を評価する検査を、陸上競技経験者と陸上競技を競技としては経験していない小学校教諭を対象に行った。その結果、経験者と小学校教諭とで、検査得点においては有意な差は認められなかった (Fig.3)。塗木ほか (2011) は、画像解析による視線検出システムを利用して、投球動作と打撃動作を対象に運動熟練者と未経験者の視線を検出し、視線推移、視線総移動距離、注視時間、各注視点間における視線移動距離、視線速度を算出した。その結果、運動熟練者は一定の狭い範囲を集中して観察している傾向が見られた一方、未経験者は全体的に広い範囲を観察している傾向が見られ、運動熟練者は運動のポイントを重点的に効率よく観察していることを明らかにしている。本研究においては、観察対象を遊脚の膝関節角度と指定したことにより、運動未経験者である小学校教諭においても一定の場所を集中して観察する視線特徴、すなわち運動熟練者と類似した視線特徴になり、小学校教諭においても陸上競技経験者と同程度の検査得点を示したものと考えられる。したがって、他の動作項目についても、あらかじめ観点を提示しておくことによって、小学校教諭においてもその観点を経験者と同程度に評価することができる可能性がある。

4.2 正答からのズレ

本研究では、正答数に差は認められなかったものの (Fig.3)、小学校教諭が経験者と比較して正答からのズレの和が大きいことが明らかとなった (Fig.4)。このこ

とは、小学校教諭が正答に対して、角度をより大きく、またはより小さく評価する傾向にあることを示している。任と厚東 (2013) は、水泳未経験の教諭やクラブのコーチを対象に、映像を用いた「目利き」力のトレーニングを検討し、トレーニング後に「目利き」力は向上したことを示した。その理由として、それまで見る機会のなかった運動の見る機会を与えたことを挙げている。また、阿江 (2008) は、質的評価の精度は評価者の習熟度に大きく依存すると述べている。本研究においても、経験者が小学校教諭と比較して間違いの程度が小さかった理由として、短距離走を見る機会をこれまでに多く経験していたことが挙げられる。その中でも、疾走速度が高い者から低い者まで、様々な疾走動作を有する対象を観察してきたことが推察され、経験者には疾走動作を評価することに関して大きなデータベースが備わっていると考えられる。また、膝関節角度は、下腿と大腿のなす角度である。疾走動作においては、下腿および大腿が動き続けるため、膝関節角度は変化し続ける。動かない地面に対して大腿が何度上がっているかという腿上げ角度などの場合、大腿の動きのみに着目すれば角度の変化を観察することが可能である。しかし、膝関節角度の変化を観察する場合、下腿および大腿の両方を同時に着目する必要がある。したがって、疾走動作に関するデータベースが小さいことが考えられる小学校教諭にとっては、評価がさらに難しかったことも推察される。これらのことから、小学校教諭は経験者と比較して正答からのズレの和が大きくなったことが考えられる。

4.3 経験者と小学校教諭における間違い方の比較

問題ごとのズレを比較してみると (Fig.5)、問題2および10を除いては、正答からのズレが経験者と小学校教諭とで同様の傾向を示していることが伺える。つまり、問題6のように、経験者が関節角度を小さく見誤る傾向にある問題では、小学校教諭も関節角度を小さく見誤っている傾向にあり、問題7のように、経験者が関節角度を大きく見誤る傾向にある問題では、小学校教諭も大き

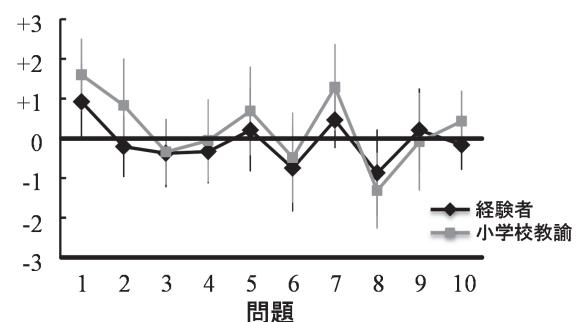


Fig. 5 観察的動作評価能力の検査における問題ごとのズレの推移

く見誤る傾向にあった。このことは、問題の難易度が回答に表れている可能性を示していると考えられる。

検査用動画で、膝関節角度が一番大きかったのは問題8の69.90°であり、経験者も小学校教諭も小さく見誤っていたが、経験者と比較して小学校教諭のズレが大きかった。また膝関節角度が一番小さかった問題7では、経験者も小学校教諭も大きく見誤っていたが、経験者と比較して小学校教諭のズレが大きかった。加えて、膝関節角度が小さかった問題（問題2, 4, 7, 10）において、問題4以外で経験者と比較して小学校教諭が膝関節角度を大きく回答していた。小学校の指導現場では、発育段階の違い、性差などが大きいと、多様な疾走動作を正しく評価することが必要であると考えられる。そのため、この能力を高めることは、小学校教諭にとって必要不可欠であるといえる。阿部（1995）は、球技および陸上競技における全国高校大会出場校のコーチを対象に運動観察の能力についてアンケートを行い、運動観察の能力は種目の技術などの知識や指導意欲、経験などの努力によって身につけられると考えられていると報告している。したがって、小学校教諭においても、疾走能力向上のための体系的な知識を提供することや、動きの観察を繰り返す行うことで、動作を評価する能力を改善する効果が期待できると考えられる。

さらに、小学校教諭が定量的に関節の角度を評価することができれば、その角度を先行研究（末松ほか、2008）の角度と照らし合わせることで、その角度が相対的に大きいのか、小さいのかを判断することができる。このことにより、小学校教諭が疾走動作をより適切に評価することができ、さらには指導につなげることができると考えられる。

なお、本研究では膝関節角度のみを検査の対象としたが、小学生の疾走速度と関係のある疾走動作として示されている腿上げ角度など他の項目を検討することも今後必要であると考えられる。さらに、本研究で用いた検査法の信頼性、客観性も検討する必要がある。

5. 結 論

本研究の目的は、短距離走動作の評価観点として遊脚最小膝関節角度を取り上げ、陸上競技を競技として経験していない小学校教諭を対象に、短距離走動作を評価する能力を検討することであった。本研究における主な結果は、1) 観察的動作評価能力の検査得点において、経験者および小学校教諭の間に差が認められなかったこと、2) 観察的動作評価能力の検査における正答からのズレは、有意に経験者が低値を示したこと、3) 経験者および小学校教諭の回答パターンは類似のパターンを示したこと、であった。

これらのことから、小学校教諭においては、事前に評

価の観点を提示することで疾走動作をより適切に評価することが可能になることが示唆された。一方で、小学校教諭においては、経験者と比較して角度を大きく、また小さく見誤る傾向にあることも示唆された。

文献

- 阿江通良（2008）幼少年期に身につけておくべき基礎的動きの選択および評価観点の決定。日本体育協会スポーツ医・科学研究報告，2008（4），5-19。
- 阿部征次（1995）高校全国大会出場コーチの運動観察のとりえ方。東京女子体育大学紀要，30：27-35。
- 加藤謙一（2009）小学生の走・跳・投における運動能力とそれらの動きの観察的評価との関係。日本体育協会スポーツ医・科学研究報告，2009（3），43-48。
- 木越清信・加藤彰浩・筒井清次郎（2012）小学生における合理的な疾走動作習得のための補助具の開発。体育学研究，57：215-224。
- 宮口尚義（1983）陸上競技の効果的指導論－陸上競技の興味づけ指導論－。スポーツ教育学研究，2：21-31。
- 三輪千子・本間三和子（2010）小学校低学年に身につけておくべき水中での基本動作の達成度と陸上での運動遊びとの関係。体育科教育学研究，26：1-13。
- 水島宏一（2004）器械運動の指導に関する研究。東京学芸大学紀要第5部門 芸術・健康・スポーツ科学，56：103-119。
- 文部科学省（2017）小学校学習指導要領（平成29年告示）。
http://www.mext.go.jp/component/a_menu/education/micro_detail/_icsFiles/afieldfile/2019/03/18/1413522_001.pdf，（参照日2019年3月9日）。
- 任飛銘・厚東芳樹（2013）水泳指導における目利き力の向上を支援するソフトの開発に関する基礎的研究。北海道大学大学院教育科学研究院紀要，118：195-206。
- 塗木淳夫・下園朋幸・川畑匠朗・山田正文・湯ノ口万友・丸山敦夫（2011）運動観察学習中の運動熟練度による視線特徴の検討。電気学会論文誌C（電子・情報・システム部門誌），131：182-189。
- 末松大喜・西嶋尚彦・尾縣 貢（2008）男子小学生における疾走能力の指数と疾走中の接地時点の動作と因果構造。体育学研究，53：363-373。
- 高本恵美・出井雄二・尾縣 貢（2003）小学校児童における走、跳および投動作の発達：全学年を対象として。スポーツ教育学研究，23：1-15。
- Wells, R.P. and Winter, D. A. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. Proceedings of the special conference of the Canadian society for Biomechanics-Human Locomotion I: 92-93.

走高跳における踏切動作の接地時間と跳躍高をフィードバックする Reactive High Jump test の即時的なトレーニング効果

藤林献明¹⁾, 田中雅貴¹⁾

Training method and immediate effect of high jump via feedback of jumping height and contact time by Reactive High Jump test

Nobuaki FUJIBAYASHI¹⁾, Masataka TANAKA¹⁾

Abstract

The purpose of the present study was to clarify differences of 2 feedback methods of high jump training. One method is feedback only jumping height of high jump takeoff (1-FB), and another method is feedback jumping height, contact time and RHJ index (Jumping height (m) / Contact time (s)) of high jump takeoff (3-FB) by Reactive High Jump test (RHJ test). In 3-FB jump, contact time was minimized and jumping height was maximized. A male high jumper performed the 22 times RHJ test with five steps approach at 2 different days (11 jumps / day) under the different feedback of 1-FB or 3-FB. The kinematics and kinetics data of two-type feedbacks were calculated using motion-capture and these data were compared. The takeoff motion of 3-FB had a significant shorter contact time, significant larger RHJ index and same jumping height compared to 1-FB. These jumping motions were associated with larger joint-extension torques of knee joint of stance-leg and hip abduction torque of stance leg and faster joint-flexion velocity of hip joint of swing-leg. These motions were analogous to the motions of high-level jumpers. Therefore, 3-FB method of RHJ test would help the practice of high jump to enhance the jumping performance.

キーワード：ジャンプパワー，踏切技術，トレーニング法，Reactive High Jump

1. 緒 言

陸上競技における走高跳は、直線と曲線で構成された助走の後に実施される踏切で可能な限り高く跳び上がり、クリアしたバーの高さを競う種目である。パフォーマンスに直結する身体重心の跳躍高は、助走で獲得した水平方向の運動エネルギーを踏切動作により垂直方向の運動エネルギーに変換することで決定される。走高跳において優れた成績を獲得していた選手は、踏切2歩前の水平速度が高いことに加えて (Blažević et al., 2006)、身体が踏切時に持つ運動エネルギーの大きさは助走速度の影響を受けることを考慮すると、高い助走速度は高い跳躍高を獲得するための一要因となることが推察される。

この高い助走速度に基づく大きな運動エネルギーに対応して踏切動作を遂行するためには、下肢筋群の伸張性収縮筋力が高いことが求められる (後藤ほか, 2004)。下肢が助走速度に対応するために必要な能力を有していなければ、踏切時に運動エネルギーは消失して“つぶれ”と呼ばれる適切でない踏切動作が誘発される (Dapena et al., 1990; 深代, 1990; 田中・平井; 2015)。そのため、走高跳において優れたパフォーマンスを発揮するための戦略として、適切な助走速度を選択するか、高い助走速度に対応するための踏切技能を強化することのどちらかを選択的に、もしくは両者を同時に実施することが求められる。

高い助走速度に対応するための踏切技能に関して、各種跳躍種目における助走速度の増加は、踏切中の接地時間を短縮させることがいくつかの研究によって示されている (Bridgett and Linthorne, 2006; 藤林ほか, 2013; 木野村ほか, 2012; Schexnayder, 1994)。この要因については、踏切における運動量の増減が一定であると仮定した条件において、高い助走速度が身体を進行方向へと高速で移動させることで離地のタイミングが早まり、必然的に接地時間が短縮するものと考えられる。言い換えると、助走速度の増加は、踏切中に地面反力の力積を獲得する時間を減少させる条件となる。したがって、走高跳において高い助走速度に対応するためには、大きな運動エネルギーを受け止め得る下肢の筋力や振る舞いに加えて、限られた短い接地時間で力発揮を行い、踏切を完遂する能力が要求されることが考えられる。

走高跳のパフォーマンスは獲得した跳躍高であることから、接地時間の長短はパフォーマンスを決定する直接的な要因とはなり得ない (小林, 1979)。しかし、接地

1) びわこ成蹊スポーツ大学 Biwako Seikei Sport College
〒520-0503 滋賀県大津市北比良 1204

時間を助走速度の増加に対応するための踏切技能の1つとして捉えた際には、パフォーマンスを構成する間接的な要因になると考えられる。例えば、走高跳の踏切動作には様々なタイプが存在するが、大別すると、相対的に高い助走速度と短い踏切時間で跳躍高を獲得する「スピードフロップ」と、相対的に低い助走速度と長い接地時間で高い跳躍高を獲得する「パワーフロップ」に分類できる (Schiffer, 2009; 渡辺, 2007)。この踏切タイプの選択については、選手の身体的・技術的特性を考慮することが不可欠になるが (渡辺, 2007; 渡辺・守田, 2012)、その判断基準の1つとして、踏切接地時間が挙げられている (Ritzdorf, 2009; 渡邊・守田, 2012)。したがって、走高跳の踏切における接地時間を評価することは、選手の踏切動作の良否や選択すべき踏切技術タイプについて判断する評価観点を増加させることに繋がると言える。

また、1980年代以降における国際レベルの競技者は、比較的接地時間が短くなるスピードフロップを主流として用いている (Benda, 1988; 渡辺, 2007)。さらに、近年ではスピードフロップを、パワーフロップに近い特徴を有した「踏みしめ型」と、よりスピードに特化した「突っ張り型へ」と分類する試みが実施されており (渡辺ほか, 2009)、走高跳の実践過程において、「踏みしめ型」の踏切を実施した選手が「突っ張り型」の踏切へと変化させたことによって記録を向上させた取り組みも報告されている (渡邊・守田, 2012)。この「突っ張り型」の踏切動作の特徴の1つとして、接地時間の短さが報告されている (渡辺ほか, 2009)。すなわち、走高跳において接地時間の短縮を目指すことは、スピードフロップの選手が助走速度を増加させていく際や、パワーフロップの選手がスピードフロップへと移行する際のトレーニングを助ける手がかりとしても利用できる可能性がある。しかし、走高跳の踏切動作に関する先行研究では、直接的に跳躍高を増加させることを課題としたものが多く (阿江ほか, 1973; 2004; 阿江, 1996; Blažević et al., 2006)、間接的な要因である接地時間の短縮を目指すトレーニングがパフォーマンスに与える影響について検討したものは見当たらない。

さらに、トレーニング現場で多く用いられるトレーニング手段の1つとして、助走速度 (歩数) を低下させることで、踏切動作の修正や改善にフォーカスするトレーニングが実施されている (Schexnayder, 1994; 関岡ほか, 1979)。これは、試合と同じ歩数での跳躍トレーニングでは、技術の修正が難しいことに加えて (Schexnayder, 1994)、下肢に大きな負担が加わることによるスポーツ障害発生のリスクを防ぐ目的などが挙げられる。しかし、短い助走の跳躍トレーニングは、全力での跳躍動作とは踏切時の速度や接地時間が異なるために、実施時にはこのような専門性の乖離に十分配慮することが必要となる

(関岡ほか, 1979)。踏切時の接地時間の短縮が、踏切の専門性を決定する構成要因の1つであると仮定した際には、短い助走条件において跳躍高を獲得することのみを目指すのではなく、全助走条件と同程度の接地時間という制約下における跳躍高の獲得を目指すことによって、全助走に応用できる踏切動作改善につながる専門的な分習トレーニングとしての効果が期待できる。

そこで本研究では、走高跳の跳躍練習において踏切動作にのみ焦点をあて、助走の後に片脚で可能な限り高く跳び上がって着地するトレーニング時に跳躍高と接地時間を計測して踏切パフォーマンスを評価するトレーニング (Reactive High Jump test; 以下, RHJ test) を実施した。そして、跳躍後に跳躍高の1項目だけをフィードバックする条件と、接地時間と跳躍高およびこの2指標から算出するテスト成績をフィードバックして、接地時間短縮と跳躍高獲得の両立を目指す条件を実施し、2条件間に内在するトレーニング効果の相違について検討した。このことによって、走高跳の踏切動作トレーニングにおいて、接地時間の短縮を課題とする効果を事例的に検討することを目的とした。なお、走高跳の踏切動作には前記の通り様々なタイプが混在する。そして、走高跳では個人間で共有可能な技術の抽出が困難であることも主張されている (戸邊ほか, 2018; 渡辺・守田, 2012)。そこで、本研究ではタイプの相違が与える影響を除外するために1人の選手を対象者として、上記した2種のフィードバック条件の試技を複数回実施した際の相違について検討した。さらに、走高跳の記録は踏切離地時の重心高やクリアランス技術の影響を受けることから、本研究では踏切後のクリアランスは実施せずに、踏切において獲得した跳躍高のみを比較することで、踏切技能のみを評価の対象に用いることとした。

2. 方 法

2.1 対象者

大学陸上競技部に所属する男子走高跳選手1名を対象とした。対象者の年齢は21歳、身長は1.83m、体重は66.1kg、走高跳の最高記録は2.00m、走高跳の競技経験年数は3年であった。本研究は所属大学の倫理審査委員会の承認のもとに実施された。実施時にはヘルシンキ宣言を遵守するとともに、対象者には本研究の目的や危険性、危険を感じた場合や身体に違和感を覚えた場合は、いつでも測定を中止できることを説明した上で、研究参加への同意を得た。

2.2 対象者のトレーニング課題の設定 (事例の概要)

対象者は走高跳の記録を1年間更新できておらず、トレーニング現場において、踏切時に膝関節の屈曲-伸展動作が過度に大きく、接地時間が長いことを問題点として専任コーチから指摘されていた。選手自身の内省にお

いても、膝関節の屈曲－伸展の抑制や接地時間の短縮を意図したトレーニングを実施しているものの、十分な解決に至っていないという現状にあった。そこで、本研究のケースでは、接地時間を数値として即時フィードバックすることで、トレーニング課題解決に生じていた停滞を打破するトレーニング法の発案に至った。なお、走高跳における最終目的は、跳躍高の獲得であることから、接地時間のみのフィードバックではなく、跳躍高と接地時間および両者を統合した値として算出する成績（詳細は後記）をフィードバックすることで、跳躍高の獲得に加えて接地時間の短縮を意図することとした。そして、トレーニング実践の効果検証を通して、発案したトレーニングの妥当性について事例的に検証する。

2.3 トレーニング方法

本研究の目的を達成するためのトレーニング方法として、助走の後に、片脚で鉛直方向にできる限り高く跳び上がり、両脚で地面に着地する跳躍運動において、獲得した仕事量（跳躍高）と仕事の獲得に要した時間（接地時間）の2指標を用いて評価する RHJ test を用いた。走高跳における助走歩数と跳躍動作の関係を調査した報告では（関岡ほか、1979）、7歩助走において全力での助走条件とほぼ同程度の助走速度や踏切動作が実施され、3歩では大きく異なり、5歩では全力助走と共通する部分と3歩および7歩の中間的な特性を有することが示されている。本研究では、対象者が10回以上の試技を実施することに加えて、トレーニング現場に知見を還元した際にはそれ以上の回数の実施が予測されることから、全力での助走条件よりは身体的な負担を低減できる5歩の助走を用いた RHJ test を用いることとした。なお、本研究の対象者とは異なる9名の走高跳選手を対象とした予備実験の結果、5歩助走を用いた RHJ test における成績である Reactive High Jump index（以下、RHJ index；算出方法は測定および算出項目に記載）は、実際の走高跳の競技成績との間に有意な相関関係が認められた（付録1を参照）。また、5歩の助走に必要な距離は、予備実験の結果を考慮して10m四方のエリア内で実施することし、軌跡（直線か曲線かなど）については制限を与えず、対象者が最も跳躍高を獲得できるものを任意に実施させた。なお、結果として対象者は全ての試技において曲線を描く助走を選択した。

RHJ test の踏切はフォースプレート上で行い、着地は両足で実施させた。踏切の方向を前方や左右ではなく、可能な限り上方へと制約するために、踏切と着地を実施する範囲を、横幅および奥行き4m以内で行うことを条件とした。試技の実施時には、跳躍高の1項目をフィードバックする条件（1-FB条件）と、接地時間と跳躍高および RHJ index の3項目をフィードバックして跳躍高を獲得しながらも接地時間の短縮を意図する条件（3-FB

条件）の2条件を設定して、各条件を11回実施した。1-FB条件と3-FB条件は相互に影響を与えないように、前日がトレーニングの休養日に設定された異なる日に、1日11回（同日中には、同じフィードバック条件のみを実施）ずつ実施した。

測定前には通常の大会時と同様のウォーミングアップを行い、試技の間は対象者が疲労を感じなくなるまで任意に確保させた。分析には、2条件における2回目から11回目までの試技を用いた。フィードバックは1回の跳躍が終了するごとに即時実施して、データの解釈については対象者に一任した。

2.4 測定および算出項目

8台の光学式モーションキャプチャシステム（Miquis, Qualisys 社製、240Hz）を踏切位置に対して8方向に配置して撮影した。対象者には解剖学的位置に基づき、直径0.01mの反射マーカーを45ヶ所に貼付してその3次元変位データを収集した。得られた反射マーカーの3次元座標値は、4次のバターワース型ローパスフィルターを用いて遮断周波数10Hzで平滑化した。同時に、踏切中の地面反力（鉛直、水平、左右方向）を1枚のフォースプレート（AMTI 社製、1000Hz）によって計測し、A/D変換ポートを通してコンピューターに取り込んだ。

これらのデータから、3次元動作解析ソフト（Visual 3D, C-Motion 社製）を用いて、頭部・体幹部・左右上腕部・左右前腕部・左右手部・骨盤部・左右大腿部・左右下腿部・左右足部の15セグメントからなる胴体リンクモデルを作成し、身体重心を算出した。このリンクモデルにおける各セグメントの質量中心位置および関節中心位置は Hanavan（1964）の数学モデル、各セグメントの質量比は Dempster and Gaughran（1967）の値を用いた。

左右の股関節中心を結ぶ線分の中点と胸部中心を結ぶベクトルを体幹部、左右の股関節中心と膝関節中心それぞれを結ぶベクトルを大腿部、膝関節中心と足関節中心を結ぶベクトルを下腿部、足関節中心と足部中心を結ぶベクトルを足部として定義した。そして、体幹部と大腿部のなす角度を股関節、大腿部と下腿部のなす角度を膝関節、下腿部と足部のなす角度を足関節として、その関節角度を算出した。関節角度の変位を時間微分することで、それぞれの関節角速度を算出した。なお、関節角度の屈曲－伸展角度については、股関節では立位姿勢、膝および足関節では最大伸展（底屈）位を180度として、伸展（底屈）動作によって角度が増加、屈曲（背屈）動作によって角度が減少するように定義した。内転－外転および内旋－外旋角度については、立位姿勢を0度として内転もしくは内旋動作が正の値、外転もしくは外旋動作が負の値を示すように定義した。振上脚については股関節では屈曲と内転、内旋動作が正の値、伸展と外転、外旋動作が負の値を示すように定義した。振上脚の膝関

節については踏切中の平均角度のみを算出し、足関節については評価対象とはしなかった。また、各部分の近位端に作用するトルクを運動方程式により求めた。得られたトルクは、Desroches et al. (2010) の方法により関節軸座標系に斜交投影することで、解剖学的な各関節軸まわりの関節トルクとして算出した。下肢3関節における関節トルクから、伸展（背屈）、外転、外旋トルクの最大値を算出した。

接地時間および分析局面は、踏切脚の着地から離地までとして、その時間を算出した。着地と離地は鉛直方向の地面反力が10Nを上回るもしくは下回る時点と定義した。また、着地から身体重心の最下降地点までを踏切前半局面、身体重心の最下降地点から離地までを踏切後半局面と定義して、前半接地時間と後半接地時間を算出した。

関節角度、関節角速度、関節トルクのデータについては、接地から離地に要した時間を100%として規格化した。

跳躍高（Jumping height）については、立位の重心と跳躍時の最大重心高の差分として算出した。

測定した跳躍高（Jumping height）と接地時間（Contact time）および以下の式を用いて、単位時間あたりに獲得した跳躍高を意味するRHJ indexをRHJ testの成績として算出した。

$$\text{RHJ index (m/s)} = \text{Jumping height (m)} / \text{Contact time (s)}$$

なお、RHJの跳躍動作は放物運動となることから、接地においてなした仕事は鉛直方向だけでなく水平および左右方向に分散される。このことに対応するために、踏切から着地までのエリアを4m四方に収める条件において算出したRHJ indexを用いることで、試技の遂行可能性と安全性に配慮しながら、踏切時の鉛直方向へのパワー（Simplified power）と類似した値を評価できることが確認された（付録2を参照）。なお、Simplified powerは接地から離地までの鉛直方向の力積を鉛直方向の仕事量とみなし、接地時間で除すことで算出した（深代, 1992）。

2.5 統計処理

1-FB条件と、3-FB条件における試技間の比較には、対応のあるT検定を用いた。踏切動作に関する比較には、接地から離地までの時系列を20%ごとに平均した値の差を検定した（Fujibayashi et al., 2018 ; Huang et al., 2013）。また、相関関係の検定にはPearsonの積率相関係数を用いた。これらの統計処理にはSPSS Statistics ver.24.0（SPSS社製）を使用し、有意水準は5%とした。

3. 結果

Fig. 1には、1-FB条件と3-FB条件におけるRHJ index、接地時間、跳躍高を示した。両条件間における跳躍高には有意差が認められなかったが（1-FB条件：0.757 ± 0.02m, 3-FB条件：0.756 ± 0.03m）、接地時間は3-FB条件が有意に短く（1-FB条件：0.163 ± 0.009s, 3-FB条件：0.155 ± 0.004s）、RHJ indexは3-FB条件が有意に高い値を示した（1-FB条件：4.66 ± 0.27m/s, 3-FB条件：4.89 ± 0.15m/s）。なお、両条件の前半および後半接地時間には有意差が認められなかった（1-FB条件：前半0.090 ± 0.008s；後半0.073 ± 0.011, 3-FB条件：前半0.085 ± 0.005s, 後半0.070 ± 0.005s）。

Fig. 2には、1-FB条件と3-FB条件における踏切中の踏切脚股関節、膝関節、足関節の屈曲－伸展（底屈－背屈）に関する関節角度、関節角速度、関節トルクを示した。関節角度では、膝関節における接地から40%までの局面において3-FB条件が有意に低い値を示した。関節角速度では膝関節において両条件に有意差が認めら

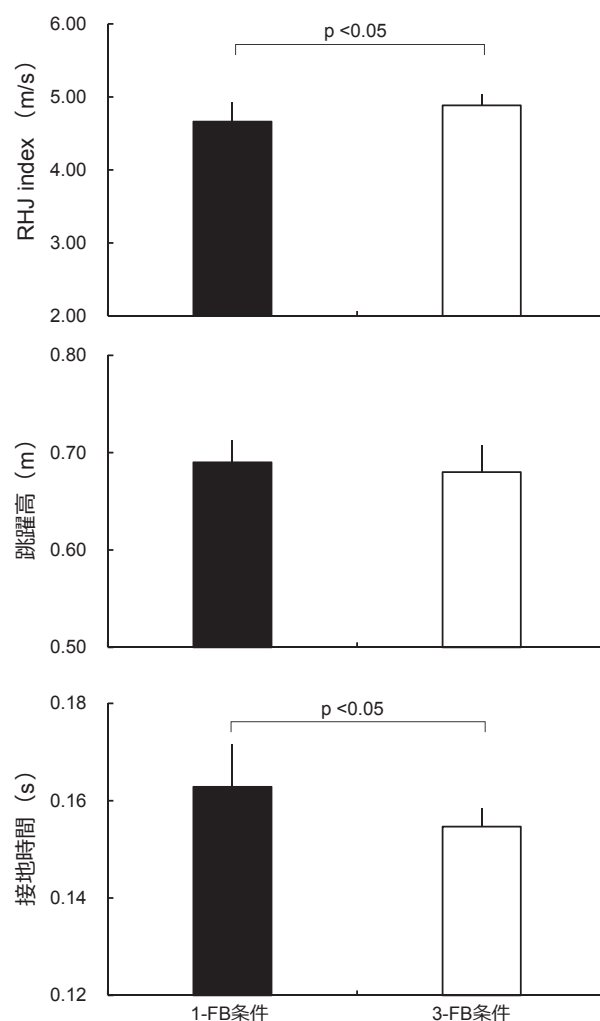


Fig. 1 1-FB条件と3-FB条件におけるRHJ index、跳躍高、接地時間

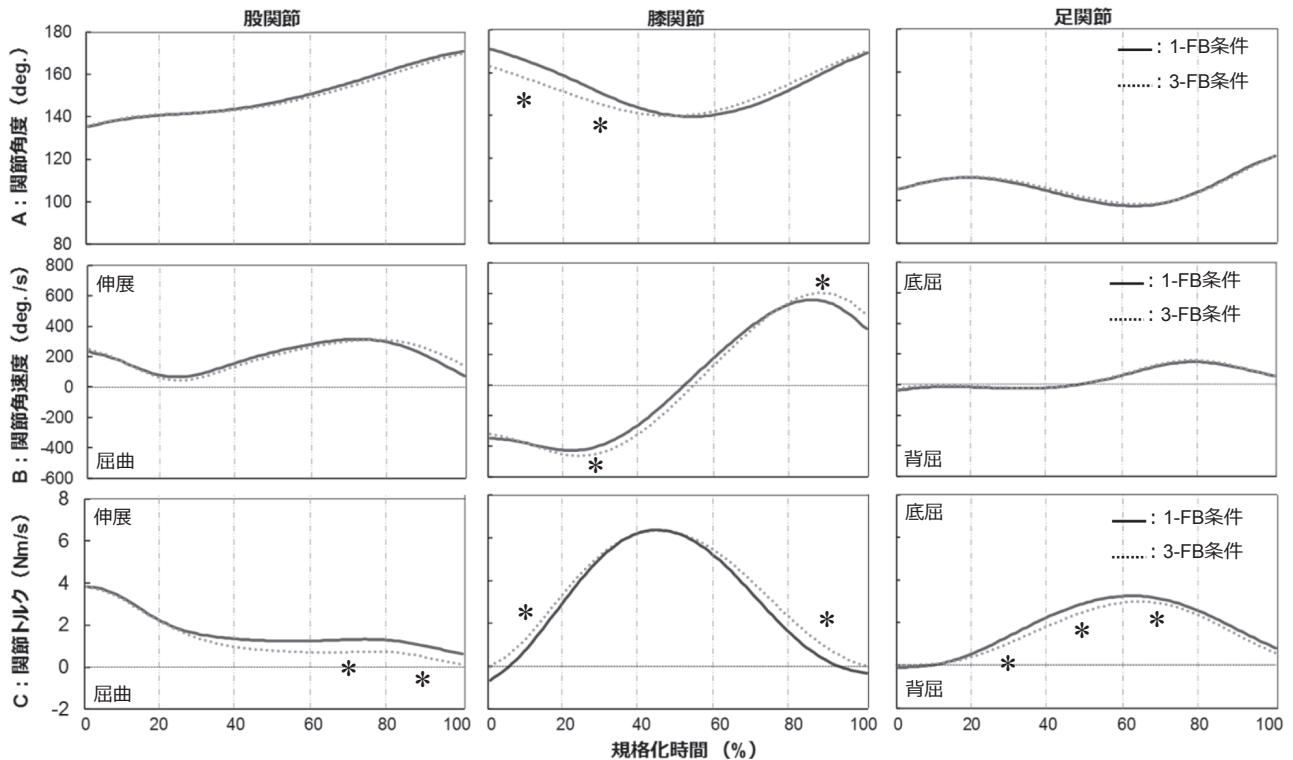


Fig. 2 踏切中の踏切脚股、膝、足関節の屈曲－伸展（底屈－背屈）角度、関節角速度、関節トルク。

*: 1-FB と 3FB 条件間の有意差 ($p < 0.05$)

れ、3-FB 条件が 1-FB 条件よりも 20 – 40% の局面では負の方向に大きく、80% から離地までの局面では正の方向に有意に高い値を示した。関節トルクでは、股関節では 60% から離地までの局面、足関節では 20 – 80% までの局面において 3-FB 条件が有意に低い値、膝関節では接地から 20% までと 80% から離地までの局面において 3-FB 条件が有意に高い値を示した。

Fig. 3 には、1-FB 条件と 3-FB 条件における踏切中の踏切脚股関節、膝関節、足関節の内転－外転に関する関節角度、関節角速度、関節トルクを示した。関節角度および角速度には条件間に有意差は認められなかった。関節トルクでは、股関節にのみ有意差が認められ、20 – 80% の局面において 3-FB 条件が外転方向に有意に大きい値を示した。

Fig. 4 には、1-FB 条件と 3-FB 条件における踏切中の踏切脚股関節、膝関節、足関節の内旋－外旋に関する関節角度、関節角速度、関節トルクを示した。関節角度では膝関節にのみ有意差が認められ、20 – 80% の局面において 3-FB 条件が内旋方向に有意に大きい値を示した。関節角速度では足関節にのみ有意差が認められ、20 – 40% の局面において 3-FB 条件が外旋方向に有意に大きい値を示した。関節トルクでは、股関節では 20 – 60% の局面において 3-FB 条件が外旋方向に有意に大きい値を示し、80% から離地までは内旋方向に有意に大きい値を示した。膝関節トルクでは、接地から 40% の局面において 3-FB 条件が内旋方向に有意に大きい値を示した。

足関節トルクでは、40 – 80% の局面において 3-FB 条件が外旋方向に有意に小さい値を示した。

Fig. 5 には、1-FB 条件と 3-FB 条件における踏切中の振上脚股関節の屈曲－伸展、内転－外転、内旋－外旋に関する関節角度、関節角速度、関節トルクを示した。屈曲－伸展動作については、3-FB 条件が 20 – 60% の局面において有意に小さい関節角度、20 – 40% では有意に高く、40 – 60% では有意に低い屈曲方向の関節角速度を示し、接地から 20% までの局面における屈曲トルクが有意に高い値を示した。内旋－外旋動作については、20 – 60% までの局面における関節角度が 3-FB 条件が外旋方向に有意に大きい値を示し、関節トルクでは 80% から離地までの局面において 3-FB 条件が内旋方向に有意に小さい値を示した。なお、内転－外転動作については、全ての局面において両条件間に有意差が認められなかった。

Fig. 6 には、1-FB 条件と 3-FB 条件における踏切中の振上脚膝関節関節角度の平均値を示した。3-FB 条件 ($86.49 \pm 1.92^\circ$) が 1-FB 条件 ($93.74 \pm 2.51^\circ$) よりも有意に低い値を示した。

Table 1 には、1-FB 条件と 3-FB 条件を含めた 20 回の跳躍における下肢 3 関節の伸展（背屈）、外転、外旋トルクの最大値と接地時間の相関係数を示した。股関節外転および外旋、足関節外転トルクと接地時間の間には有意な正の相関関係、膝関節回旋トルクと接地時間間には有意な負の相関関係が認められた。

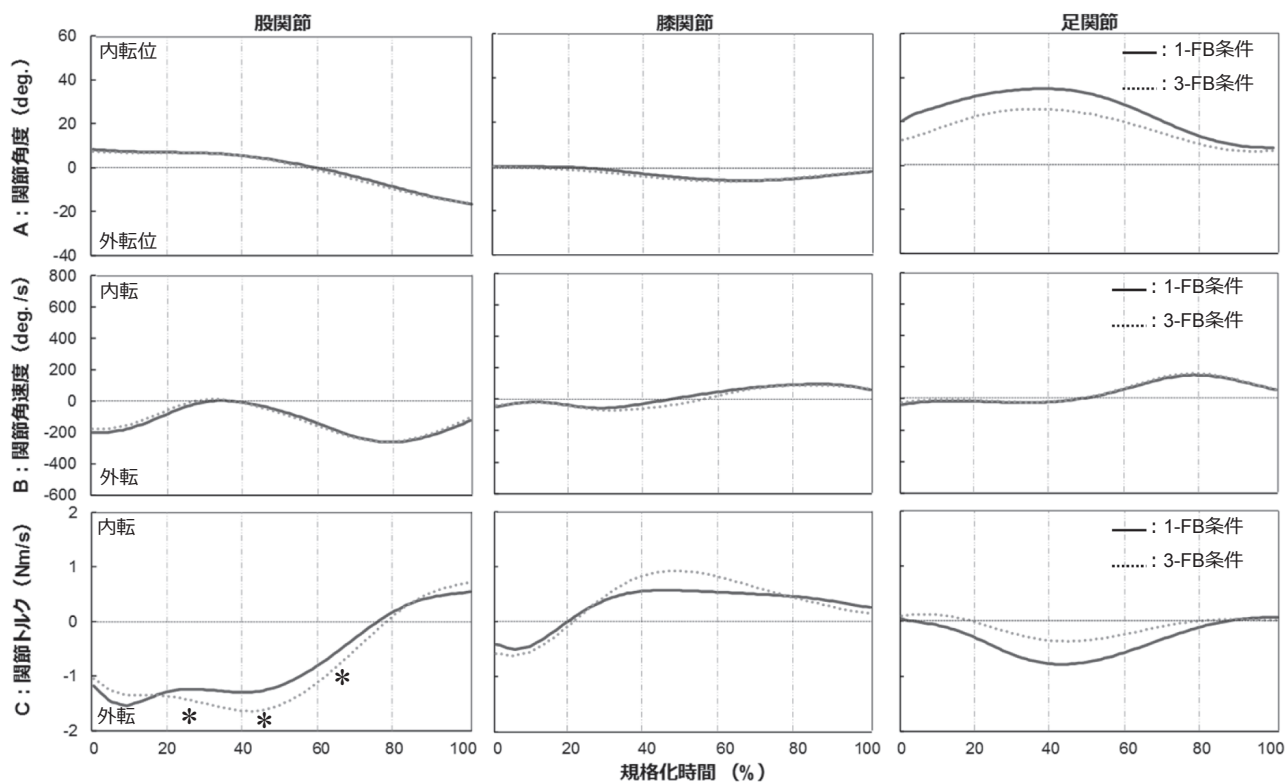


Fig. 3 踏切中の踏切脚股, 膝, 足関節の内転-外転 角度, 関節角速度, 関節トルク.
*: 1-FB と 3FB 条件間の有意差 ($p < 0.05$)

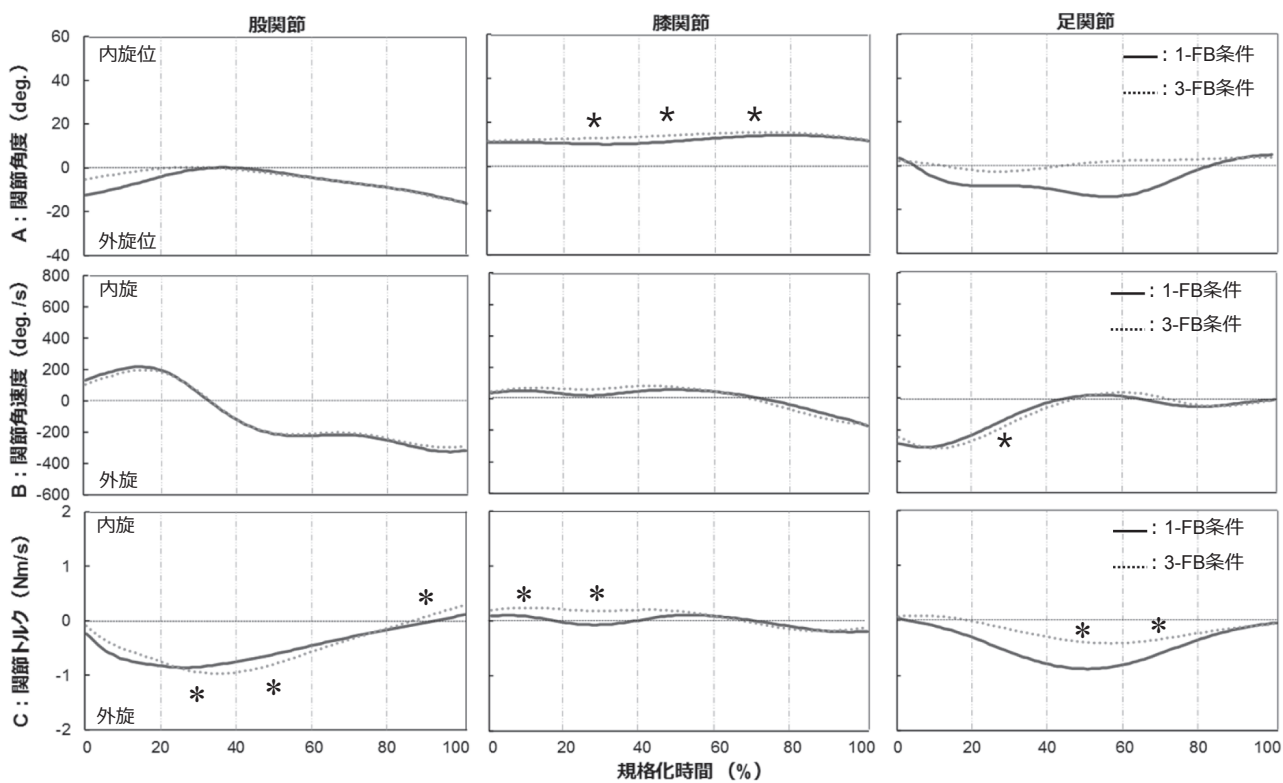


Fig. 4 踏切中の踏切脚股, 膝, 足関節の内旋-外旋角度, 関節角速度, 関節トルク.
*: 1-FB と 3FB 条件間の有意差 ($p < 0.05$)

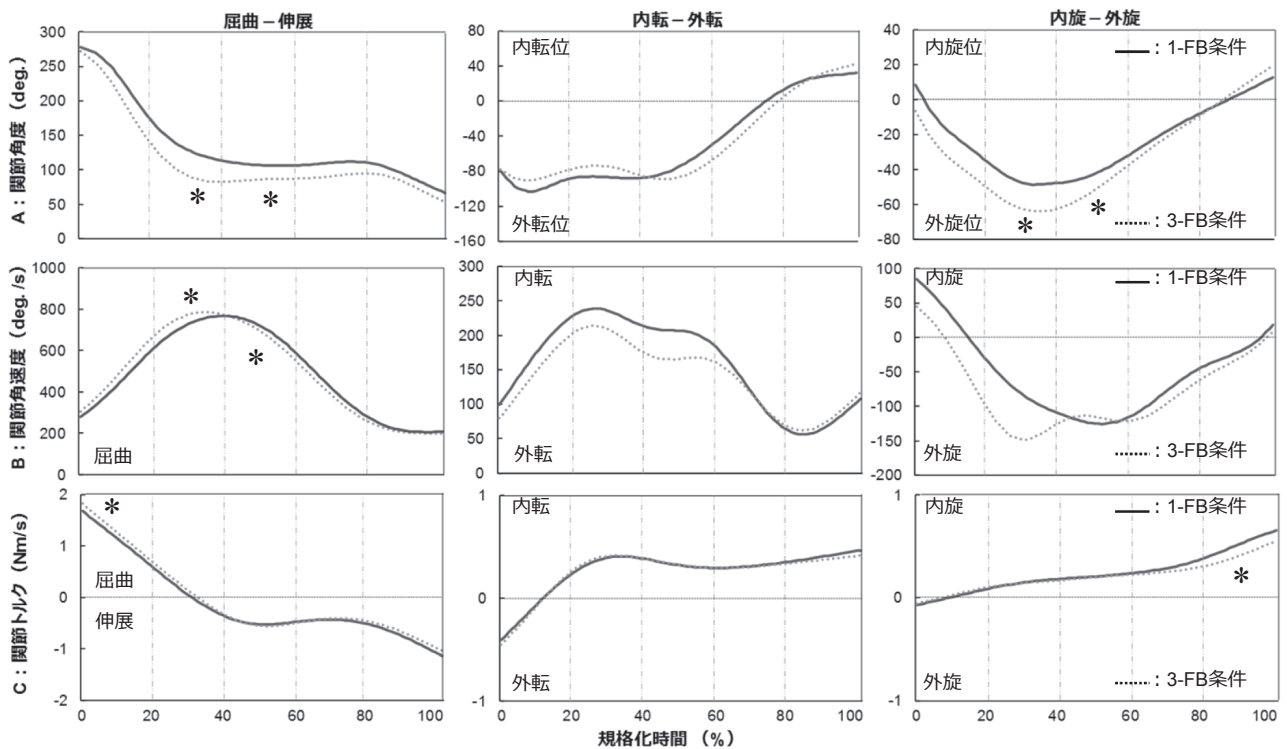


Fig. 5 踏切中の振上脚股関節における屈曲－伸展，内転－外転，内旋－外旋角度，関節角速度，関節トルク。

* : 1-FB と 3FB 条件間の有意差 ($p < 0.05$)

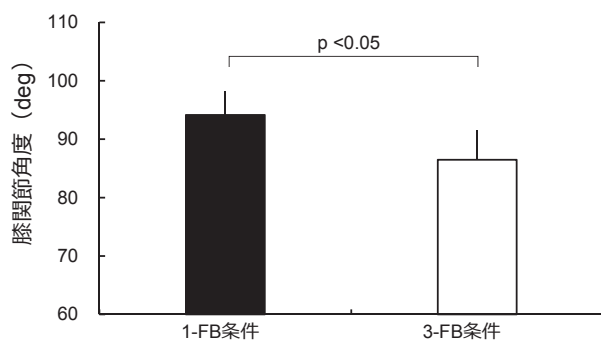


Fig. 6 踏切中の振上脚膝関節角度の平均値

4. 考 察

4.1 トレーニングの実践過程

本研究では、踏切時に膝関節が過度に屈曲してしまい、接地時間が長いことを課題とした走高跳選手が、踏切動作のトレーニング時に接地時の短縮を課題とすることの効果について事例的に検証した。具体的なトレーニング法には、5歩助走を用いた走高跳の模倣運動である RHJ test を用いた。そして、跳躍後に接地時間と跳躍高および2指標から算出する成績である RHJ index の3項目をフィードバックして、跳躍高の獲得と接地時間の短縮を意図する条件 (3-FB 条件) と、跳躍後に跳躍高の1項目のみをフィードバックして跳躍高の獲得を意図する条件 (1-FB 条件) を別日に実施した過程と結果を比較することで、3-FB 条件のトレーニング効果について検討した。

1-FB 条件において対象者は、跳躍高を確認することで、「次は、もう少し踏切脚を突っ張る」もしくは「今は振上脚のタイミングが遅かったことから、次はもう少し

Table 1 股，膝，足関節トルクの最大値と接地時間の相関関係

股関節トルク vs. 接地時間			膝関節 vs. 接地時間			足関節 vs. 接地時間		
伸展	外転	外旋	伸展	外転	外旋	背屈	外転	外旋
0.109	0.611*	0.677*	0.056	0.080	-0.727*	0.058	0.861*	-0.265

* : $p < 0.05$

し早く振り上げる」などのように、毎回の跳躍において日常のトレーニングで意識したことのある運動イメージや、直前の動作における問題点を解決するための運動イメージを代わる代わる実施することで、取り入れた運動イメージが適切であったか否かの判断基準としてフィードバックされた跳躍高の情報を利用していた。一方、3-FB 条件では、普段のトレーニングでは用いていない“接地時間の短縮”が課題として提供されていたことから、1 回目の跳躍（フィードバックされる前の通常通りの跳躍）に対して2 回目の跳躍では「接地時間を短縮してみる」ことに試験的に取り組んだ。3 回目以降は1-FB 条件と同様に、様々な運動イメージを取り入れた跳躍後にフィードバックされる3 つの値の変化を、運動イメージの適切・不適切の判断に利用していた。なお、3-FB 条件では1-FB 条件では認められないケースとして、接地時間を短縮させたつもりが短縮しないケースや、接地時間の過度な短縮が跳躍高を低下させるケースが生じていた。この時には、「踏切脚が地面に着いた瞬間にすぐ離地するようなイメージでは接地時間が短すぎたので、次は地面を一瞬で強く踏みつけるイメージをもつ」などのように、適切な接地時間とその接地時間での踏切動作が遂行可能となる運動イメージを模索するような取り組みを実施していた。これらの実践課程を考慮すると、フィードバックする項目やその数に関わらず、客観的なデータを照らし合わせながらトレーニングを実施することで、運動イメージの変化がパフォーマンスに与える影響を明確にできることから、実施した運動イメージや動作の良否の確認が明確にできることが示唆された。その上で、3-FB 条件では跳躍高に変化を与えるための評価・判断基準に接地時間が加わることから、踏切動作の良否や実施した運動イメージの変化が踏切動作やパフォーマンスに与える影響に対する評価観点が“深化”していた様子が伺えた。さらに、走高跳では素早い力発揮能力を意味する Reactive strength に応じて踏切技術を選択することが推奨されていることを考慮すると (Ritzdorf, 2009), 最大の跳躍高を獲得するために最適な接地時間とその動作について客観的な数値に基づきながら模索できる3-FB 条件は、最適な踏切技術を選手が認識・理解するための手段として応用できる可能性がある。

そこで次節以降では、両条件において実施した RHJ test の成績および踏切動作に関する客観的データの相違について検討した。

4.2 フィードバック方法の相違が跳躍パフォーマンスに与える影響

1-FB 条件と3-FB 条件では、跳躍高には有意差が認められなかったが、3-FB 条件において接地時間が有意に低い値を示したことによって、RHJ index が有意に高い値を示した。このことから、接地時間、跳躍高、RHJ

index をフィードバックして接地時間短縮を意図するトレーニング法では跳躍高を高める直接的なトレーニング効果は得られなかったが、同程度の跳躍高を短時間で獲得するトレーニング効果が得られたことが理解できる。RHJ test のような短い助走でのトレーニングは、長い接地時間を誘発して、実際の走高跳とは専門性が異なるリスクが指摘されている (関岡ほか, 1979)。したがって、跳躍高だけではなく接地時間を即時フィードバックすることで、負担の少ない短い歩数であっても、助走歩数と助走速度が増加した全助走条件の専門性を損なわない接地時間を確保できているかについて、随時確認しながらトレーニングすることができると考えられる。一方では、跳躍高に変化が生じないことは、3-FB 条件は走高跳のトレーニング手段としては適切でない可能性もある。

そこで次には、2 つのフィードバック条件における下肢に関する踏切動作の相違に着目した検討を加えた。このことによって、短時間で跳躍高獲得を目指すトレーニングの効果を踏切動作の観点から検証した。

4.3 フィードバック方法の相違が踏切脚の動作に与える影響

3-FB 条件における踏切脚の動作は1-FB 条件と比較して、膝関節が有意に屈曲した状態で踏切接地を迎えており、その後の屈曲が小さく留まっていた (Fig. 2-A)。この時、膝関節は大きな伸展トルクを発揮しながら高速で屈曲した後、高速で伸展して離地していることから (Fig. 2-B,C), 接地時間の短縮を意図することで、下肢を“硬いばね”の様に振舞わせるような変化が生じていたことが理解できる。跳躍において大きな鉛直方向の力積を獲得して、動作の観点から力学的仕事を大きくするための戦略の1 つとして、膝関節の屈曲-伸展を大きくして身体重心の鉛直方向への移動距離を大きくする方法がある (阿江, 1996)。1-FB において実施された踏切動作は3-FB よりもこの方法に近い形を用いて跳躍高を獲得していたと考えられる。短い助走条件でのトレーニングにおいては、踏切脚が受けと止める運動エネルギーは必然的に小さいことから、踏切脚の屈曲-伸展動作を大きくして跳躍高を獲得することが可能であると考えられる。しかし、助走を用いる跳躍では膝関節の屈曲が過度に大きくなると、踏切脚膝関節が出し得る力が著しく低下することから (阿江, 1996), このような動作を強調したトレーニングを継続することによって、本来の (高い) 助走速度に対応できなくなる可能性がある。したがって、対象者の1-FB 条件における踏切脚の振る舞いが、対象者のパフォーマンス停滞を誘発していた可能性がある。一方、3-FB 条件の動作は、スピードフロップの中でもよりスピードに特化した「突っ張り型」の判断基準となる踏切脚の振る舞いと類似していた (渡辺ほか, 2009)。すなわち、1-FB 条件と比較して全助走での専門性を損

なわない踏切動作へと変化していたと考えられる。さらに、この膝関節の屈曲を抑制した踏切動作は、対象者が課題と認識していたにも関わらず、動作をイメージするだけの反復練習では達成されなかったものであった。これらのことを考慮すると、踏切時に膝関節が過度に屈曲してしまい、接地時間が長いことを課題とした走高跳選手に対して、短時間で跳躍高獲得を課題としながら、踏切動作の接地時間を即時フィードバックするトレーニングは、踏切動作改善の手段として応用できることが示唆された。

一方、股関節および足関節の伸展（底屈）に作用する関節トルクは、3-FB 条件において有意に小さい値を示した（Fig. 2-C）。この伸展（底屈）トルクの減少が、3-FB 条件において跳躍高が増加しなかった要因であると考えられる。踏切脚を短時間で力強く振る舞わせるためには、選手が所有している下肢の Reactive strength や下肢の曲がりにくさを意味する Stiffness などを事前に高めておく必要がある（荻山・図子, 2015; McEwen, 2007）。したがって、即時的なトレーニング効果を目指す RHJ test では、既に形成されていた選手の個人特性に適合した最適な接地時間での踏切動作遂行に、マイナスの影響を与えるリスクを考慮しておく必要があると言える。一方では、運動における技術の向上課程においては、これまでに形成されて自動化された運動プログラムを一度崩壊させて再構成することによって、より高度な技術が習得されることを考慮すると（図子, 2006）、中・長期的な下肢の伸展能力の向上と 3-FB 条件での RHJ test を組み合わせるトレーニングの継続が有効になるかもしれない。

対照的に、3-FB 条件では股関節と足関節の外転および股関節の外旋に作用する関節トルクが負の方向に有意に大きい値を示した（Fig. 3, 4-C）。これらの関節トルクと接地時間には有意な正の相関関係が認められたことから（Table1）、接地時間の短縮を意図することによって踏切脚筋群の貢献が変化することが示唆された。股関節の外旋筋群は、股関節の屈曲範囲に制限を与えることが報告されており（佐藤ほか, 2008）、3-FB 条件における股関節伸展トルクが小さいにも関わらず、股関節屈曲角度や角速度に有意差が認められなかったこと（Fig. 2-A, B）を説明する要因ともなるかもしれない。また、3-FB 条件において大きな値を示した股関節の外転トルクは、片脚跳躍運動における踏切時の姿勢の安定に寄与するとともに、逆脚側の骨盤の踏切前半局面における下降を抑制して後半局面における挙上動作を助長するために、跳躍高の獲得にも貢献することが報告されている（荻山ほか, 2013; 佐渡, 2018）。そして、踏切脚の股関節外転トルクが大きい動作は、走高跳の記録に優れる選手の特徴とも一致する（阿江, 2004; 戸邊ほか, 2019）。したがって、踏切脚伸展筋群の動員が低下してしまう条件下にお

いて跳躍高の獲得を模索したトレーニングによって、これまでには十分に動員されていなかった筋群を利用した踏切動作が引き出され、1-FB 条件とは異なる筋群の貢献によって跳躍高を獲得していたことが示唆された。

本研究は、1 名の対象者のみの事例であることから明言はできないが、3-FB 条件における短時間で跳躍高を獲得するトレーニングは、踏切脚の外転および外旋に関する振る舞いを競技力の優れる選手の動作に近づけるトレーニングの選択肢になり得る。そして、このような動作を、股関節の外転動作の動員に加えて、股関節の伸展と足関節の背屈動作を素早く行うことをイメージして行う。もしくは、股関節と足関節の Reactive strength や Stiffness など高めるトレーニングを同時進行するなどのように、股関節および足関節の伸展トルク発揮の低下を抑制するプログラムと同時に遂行することで、跳躍高の増大にも貢献する可能性がある。

4.4 フィードバック方法の相違が振上脚の動作に与える影響

3-FB 条件における振上脚の動作は 1-FB 条件と比較して、0 - 20% の局面において股関節の屈曲方向への関節トルクが有意に高く、引き続く 20 - 40% の局面における股関節屈曲速度が有意に高い値を示した（Fig5-B）。さらに、40 - 60% の局面では有意に低い股関節屈曲速度を示した。陸上競技の跳躍種目における振上脚の高い速度は、踏切前半局面に生じる身体の起こし回転動作を助長することで、鉛直速度獲得に貢献することが報告されている（志賀ほか, 2002; 阿江ほか, 2004）。そして振上動作は、高速で振りあげられた振上脚が急激に静止することで、振上の反作用の力が付着部を通して身体重心を上方へと加速させる（阿江, 1973）。これらのことから、3-FB 条件における振上脚の動作は、鉛直速度獲得に有利とされる動作へと変化していたことが示唆された。さらに、振上脚の膝関節角度に着目すると 3-FB 条件が 1-FB 条件よりも有意に低い値を示した（Fig. 6）。これは、振上脚のモーメントアームを短くして振上速度を助長する動作であると推察できることから、より短い接地時間に対応した動きになることが考えられる。したがって、3-FB 条件のように接地時間をフィードバックしてその短縮を目指すトレーニングは、踏切脚だけでなく、振上脚を素早く振る舞わせる動作を習得するトレーニングの 1 つとなる可能性がある。

5. まとめと実践への示唆、本研究の限界

本研究の結果から、走高跳の踏切時に跳躍高だけではなく、接地時間と跳躍高およびこれら 2 項目から算出する RHJ index をフィードバックして短時間で高い跳躍高を獲得するように意図したトレーニングを実施することによって、踏切脚が“硬いばね”の様に振る舞うとともに

に、股関節と足関節の外転筋群、股関節の外旋筋群の動員が増加し、振上脚は素早く振り上げられた後に急激に静止させられる動作に変化することが明らかになった。したがって、本研究で実施したトレーニングは、上記のような動作習得や改善を課題としている走高跳選手のパフォーマンス改善のための1手段となる可能性がある。本研究では、トレーニングの特徴を運動力学的な観点からも検証するために、実験室内において高額な機材を用いて実施したが、RHJ testに必要なデータである接地時間と滞空時間は、スマートフォンに搭載されたハイスピードカメラの利用（撮影速度×コマ数）や、安価もしくは無料で利用できるアプリケーションなど（参考アプリ：Field Coach Assessor, JumpEye など）を用いることで、いつでも、どこでも、だれでも、容易に計測することが可能な方法である。

なお、本研究で用いたトレーニングでは、跳躍高を向上させる直接的な効果を確認することが出来なかった。この要因として、踏切脚が短時間で大きな力を発揮するために必要な下肢の Reactive strength や Stiffness を即時的なトレーニングでは変化させられなかったことが挙げられる。したがって、中・長期的な下肢の伸展能力の向上と、3-FB 条件での RHJ test を組み合わせるプログラムを実施することで、跳躍高にもトレーニング成果が得られる可能性がある。一方、分析に用いた2条件の20回の跳躍のうち、跳躍高が1番高い試技（跳躍高：0.80m、接地時間：0.157s）と2番目に高い試技（跳躍高：0.79m、接地時間：0.156s）は3-FB 条件において出現した。しかし、最も跳躍高の低い試技も3-FB 条件（跳躍高：0.69m、接地時間：0.148s）に出現しており、他の試技と比較して極端に接地時間が短いものであったことから、接地時間は過度に短くなり過ぎないように、適切な範囲内で実施することにも留意する必要がある。このような“不慣れ”や“試行錯誤”も本研究の結果に影響を与えていた可能性もある。

なお、本研究は、走高跳の競技特性である踏切タイプの多様性や個人差を除外するために、1人の対象者における複数の試技を用いた分析を用いた。そのために、得られた知見の応用には限界があり、本研究の対象者と類似した課題や身体特性を有した選手に対する応用を前提とする必要がある。さらに、跳躍高を獲得する際に接地時間の短縮を意図することの客観的成果を獲得するために、実験的な条件下でのトレーニングを実施した。トレーニング動作には走高跳のクリアランス動作も含まれていないことから、選手がもつ能力を限定的にしか評価できていない可能性がある。今後は、実際の走高跳動作の競技場面において接地時間の長短を意図することで、実際の競技パフォーマンスに与える実践的な価値についても検証していく必要がある。

6. 要 約

本研究では、踏切時に膝関節が過度に屈曲してしまい、接地時間が長いことを課題とした走高跳選手が、踏切動作トレーニング時に接地時の短縮を課題とすることの効果について事例的に検証した。この課題を解決するために、接地時間と跳躍高および2指標から算出される Reactive High Jump index を踏切動作の評価指標に用いる Reactive High Jump test (RHJ test) をトレーニング手段に用いた。そして、トレーニングにおいて跳躍高の獲得のみを目的とした踏切動作を実施して、跳躍後に跳躍高の1項目みをフィードバックする条件（1-FB 条件）と、接地時間を短縮させながら跳躍高の獲得を目指した踏切動作において、跳躍高と接地時間および RHJ index の3項目をフィードバックする条件（3-FB 条件）におけるテストの成績および踏切動作を比較した。

得られた主な結果は以下の3点である。

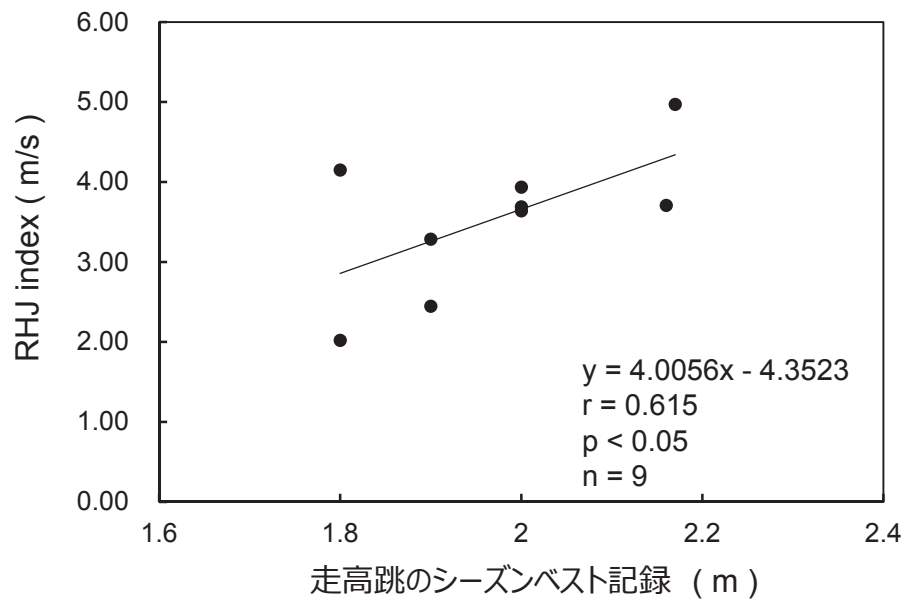
- 1) 3-FB 条件では、1-FB 条件よりも短い接地時間において同程度の跳躍高を獲得する踏切動作が遂行されることが示唆された。
- 2) 3-FB 条件の様に短時間で大きな跳躍高を獲得する踏切動作において踏切脚は、大きな股関節の外旋トルクと膝関節の伸展トルクを発揮することで下肢を“硬いばね”の様に振舞わせることから、踏切脚の過度の屈曲が抑制されることが示唆された。さらに、踏切股関節外転筋群を動員することで、限られた時間内に身体重心を高く上昇させていたことが示唆された。
- 3) 3-FB 条件の様に短時間で大きな跳躍高を獲得する踏切動作において振上脚は、膝関節を屈曲させた状態において高速で振り上げた後に素早く静止させることで、鉛直速度獲得に貢献していたことが示唆された。

これらの結果から、走高跳のトレーニングにおいて接地時間を即時フィードバックしながら、接地時間短縮と跳躍高獲得の両立を目指す RHJ test を用いたトレーニングは、踏切時に膝関節が過度に屈曲してしまい、接地時間が長いことを課題とした走高跳選手の課題解決手段として有効となることが示唆された。特に、踏切脚を“硬いばね”の様に振舞わせながら股関節外転、外旋筋群を動員する動作、踏上脚を素早く振り上げて静止させる動作に変化させることから、これらの動作習得を課題とした選手にも応用できる可能性がある。一方では、RHJ test において変化した踏切動作において走高跳のパフォーマンスを向上させるためには、踏切脚が短時間で大きな力を発揮するために必要な下肢の Reactive strength や Stiffness を向上させる中・長期的なトレーニングを組み合わせることの必要性も示唆された。

文献

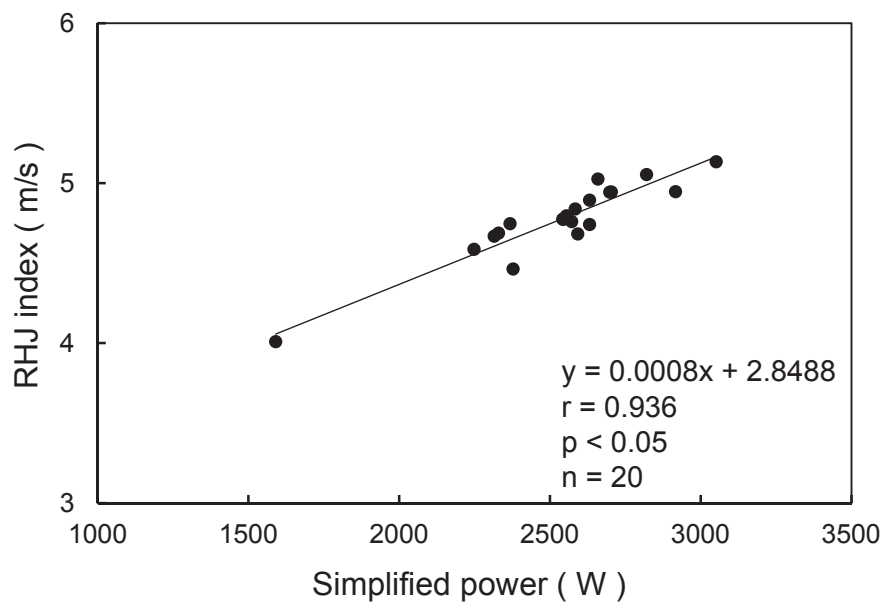
- 阿江通良 (1996) 陸上競技の高く跳ぶ動作と遠く跳ぶ動作. バイオメカニズム学会誌, 20 : 57-62.
- 阿江通良, 金原 勇・高松 薫 (1973) 走高跳における脚および腕の振込動作について: 振下・振上動作がキック力に及ぼす効果. 日本体育学会大会号, 24 : 168.
- 阿江通良, 奥山良樹・小山宏之 (2004) 最近の走高跳および走幅跳に関するバイオメカニクス的研究から. 陸上競技学会誌, 2 : 32-33.
- Benda, F. (1988) Die Entwicklung der Flop-Technik. Marathon, 6: 24-25, 30.
- Blažević, I., Antekolović, L., and Mejovšek, M. (2006) Variability of high jump kinematic parameters in longitudinal follow-up. Kinesiology, 38(1): 63-71.
- Bridgett, L. A., Linthorne, N. P. (2006) Changes in long jump take-off technique with increasing run up speed. Journal of Sports Sciences, 24, 889-897.
- Dapena, J., McDonald, C., and Cappaert, J. (1990) A Regression Analysis of High Jumping Technique. International Journal of Sport Biomechanics, 6 (3): 246-261.
- Dempster, W. T., and Gaughran, G. R.: Properties of body segments based on size and weight. American Journal of Anatomy, 120(1). 33-54, 1967.
- Desroches, G., ChÅŁze, L., and Dumas, R. (2010). Expression of joint moment in the joint coordinate system. Journal of biomechanical engineering, 132(11), 114503.
- 藤林献明, 荻山 靖, 木野村嘉則, 関子浩二 (2013) 水平片脚跳躍を用いたバリスティックな伸張-短縮サイクル運動の遂行能力と各種跳躍パフォーマンスとの関係. 体育学研究, 58 : 61-76.
- Fujibayashi, N., Otsuka, M., Yoshioka, S., and Isaka, T. (2018) Technical strategy of triple jump: differences of inverted pendulum model between hop-dominated and balance techniques. The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine, 58 (12): 1741-1751.
- 深代千之 (1990) 跳ぶ科学. 大修館書店, 東京.
- 深代千之 (1992) 垂直跳における発揮パワー: パワー評価に関する簡便法の検討. スポーツ医・科学, 6(2): : 5-9.
- 後藤幸弘, 貴田大輔, 本多弘子, 辻 延浩 (2004) 走り高跳び学習における適時性に関する研究: レディネス要因としての筋力と踏切能力の関係の加齢ならびに練習による変化. 兵庫教育大学研究紀要, 25 : 131-140.
- Hanavan, E., P., Jr. (1964) A mathematical model of the human body. Amrl-Tr-64-102. AMRL TR, 1-149.
- Hang, L., Liu, Y., Li, L., Fu, W., Sun, Y., and Feng, Y. (2013) Segment-interaction and its relevance to the control of movement during sprinting. Journal of Biomechanics, 46(12), 2018-2023.
- 荻山 靖, 藤井宏明, 森 健一, 関子浩二 (2013) 片脚および両脚リバウンドジャンプにおける3次元的な力発揮特性の相違. 体育学研究, 58 : 91-109.
- 荻山 靖, 関子浩二 (2015) バウンディングにおけるStiffness特性へ影響する踏切脚の力およびパワー発揮: リバウンドジャンプとの比較から. 体育学研究 : 60 : 137-150.
- 木野村嘉則, 村木正人, 関子浩二 (2012) 走幅跳における助走歩数を増やして踏切のための踏切動作: 短助走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.
- 小林一畝 (1979) 走高跳の踏切についての力学的研究. 体育学研究, 24 (1) : 79-86.
- Ritzdorf, W. (2009) Approaches to technique and technical training in the high jump. New Studies in Athletics, 24 (3) : 31-34.
- 佐渡夏紀 (2018) ヒトの全力移動運動における腰椎・骨盤・股関節複合体のバイオメカニクス. 平成30年度東京大学大学院総合文化研究科博士論文.
- 佐藤香緒理, 吉尾雅春, 宮本重範, 乗安整需 (2008) 健康人における股関節外旋筋群が股関節屈曲に及ぼす影響. 理学療法学, 23 (2) : 323-328.
- Schexnayder, I. (1994) Special considerations for the high jump approach. Track Coach, 126, 4029-4031.
- Schiffer, J. (2009) The high jump. Biomechanics in sport, 9-22.
- 関岡康雄, 栗原崇志, 円城寺賢一 (1979) 走高跳における中助走跳躍に関する研究. 筑波大学体育科学系紀要, 2 : 61-68.
- 志賀 充, 永井 純, 尾縣 貢 (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 : 9-17.
- 田中秀一, 平井大鵬 (2015) 小学生競技者が走り高跳びの踏切り脚を接地した角度について. 福井大学教育実践研究, 40 : 87-92.
- 戸邊直人, 林 陵平, 荻山 靖, 木越清信, 尾縣 貢 (2018) 一流走高跳選手のパフォーマンス向上過程における事例研究. コーチング学研究, 31 (2) : 239-251.
- 渡辺輝也 (2007) 背面跳びの技術分類に関する運動学的考察. 陸上競技学会誌, 5 (1) : 1-11.
- 渡辺輝也, 朝岡正雄, 宮下 憲, 佐野 淳 (2009) 走高跳におけるスピードフロップの類型化に関する運動学的考察. 体育学研究, 54 (2) : 327-342.
- 渡辺輝也, 守田俊啓 (2012) 走高跳の技術トレーニングに関する運動学的一考察: 男子大学生選手における技術修正プロセスの1例を対象として. 体育学研究, 57 (2) : 683-698.

付録 1



5 歩助走を用いた RHJ testにおける RHJ indexと走高跳のシーズンベスト記録との相関関係を示した。両者には有意な相関関係が認められたことから、5 歩助走を用いた RHJ testと RHJ indexは実際の走高跳の記録を反映したテストであることが示唆された。

付録 2



RHJ indexと踏切時のパワーを簡易的に計算する Simplified Power(深代, 1992)の間には有意に高い相関関係が認められた(鉛直方向)。したがって、RHJ indexは踏切において獲得した鉛直方向のパワーに近い値をより簡便に評価する指標と考えることができる。

神戸マラソンのメディカル体制におけるトレーナーの役割

松尾 信之介 (大阪学院大学)

1. はじめに

近年、健康や運動に対する盛り上がりを反映し、一般市民が参加するロードレースが数多く開催されている。5000人以上の参加者がいる市民マラソン大会だけでも、全国で年間160大会ほどあり(計測工房, 2019)、参加型のスポーツイベントとして非常に人気なコンテンツとなっている。この一般市民参加型のロードレースは、日頃からある程度のトレーニングを積んだ「記録追求型」ランナーだけでなく、大会直前の短期の準備だけ、もしくは準備は全くなく参加する「観光参加型」のランナーも多く存在している。このことは決してネガティブなことだけではなく、ランニングや運動への入り口として多く機能しているだけでなく、開催都市のインバウンドを含めた観光資源ともなっている重要なイベントである。

ところが一般参加のランナーが増えれば増えるほど、心肺停止事例への対応をはじめとした種々のメディカル体制の構築も重要な要素となる。東京マラソンや神戸マラソンをはじめとする公益財団法人日本陸上競技連盟(以下日本陸連)の公認コースで行われる大会では、ルールによってもメディカル体制の構築が定められている。ルールブック(日本陸上競技連盟, 2019)には、大会主催者は、あらかじめ緊急時に備えた医療体制(医師・医療スタッフの適切な配置、救急搬送手順)や連絡体制(連絡用機器、連絡網)等を整備し、関係者(競技者、チーム関係者、審判員、大会医療スタッフ等)に対して、緊急時対応について事前説明を行ったり競技注意事項等に明記したりして、周知徹底しなければならない(第240条7.v)とされている。

心肺停止事例だけをとりても、アメリカでの報告(Kim et al., 2012)ではフルマラソンとハーフマラソン(2000~2010年)において、心停止発生率は185,185人に1人と報告されており、日本では45,948人に1人との報告(Shirakawa et al., 2017)がある。当然医師を初めとした人的資源と、AED(自動体外式除細動器)を初めとする物的資源の準備は、必要不可欠な要素である。マラソンを始めとするロードレース大会における救護・医療体制を整備する目的は「ランナー、スタッフ、観客の健康リスクの管理・軽減」「発生した傷病者への救護・医療の提供」「集団災害への対応」「開催地域における救急医療体制への負担軽減」の4点である(一柳ら(2019)によって指摘されている。今回はこれらの目的に沿った

体制作りについて、アスレティックトレーナーとして神戸マラソンのメディカル協議会に第2回大会から関わってきた観点から考えてみる。

2. 神戸マラソンのメディカル体制

2.1 大会の概要

神戸マラソンは2011年に第1回大会が行われ、これまで9回開催されている。当初はフルマラソン(42.195km)の部に加えてクォーターマラソン(10.6km)の部も併催していたが、2016年からはフルマラソンのみとなっている。参加定員は20000人で、日本陸連登録者と一般参加者ともに6時間30分以内に完走できる者に参加資格が与えられ、当日の制限時間は7時間となっている。コースは図1(神戸マラソン実行委員会, 2019a)の通りで、神戸市中央区の神戸市役所前をスタートし、19.0km地点を折り返した後、37.37kmから40.91kmまでの神戸大橋(最高地点約25m)を経た後に、人工島であるポートアイランド内でゴールを迎えるコースである。

年間数回のメディカル協議会において医事・救護マニュアルが作成され、以下の5点を基本方針(神戸マラソン実行委員会, 2019b)としている。①救命体制の構築 ②健康観察体制の構築 ③応急処置の実施と医療機関との連携 ④地域救急医療への配慮 ⑤迅速な搬送体制の構築

2.2 人員配置

配置は表1の通りである(神戸マラソン実行委員会, 2019b)。この表とは別に救護本部には警察および消防の本部が設置されている。救護所は18ヶ所、巡回を含めた観察エリアが3ヶ所、レース隊列の前後と各関門に医務車および収容バスが用意されている。人員は全体で医師が47名、看護師が136名、トレーナーが93名であり、搬送やその他の補助として消防団員や一般ボランティアが活動されている。

AEDはコース上に固定箇所として59台、救護所内の設置として32台、対応範囲の広い箇所は自転車での巡回を行い6台が準備されている。またコース周辺の商店や公共施設に協力を仰ぎ、まちかど救急ステーションとして約50台の協力施設を設定している。それぞれの役職は医師の指示のもと対応を行うことを原則とし、多く



図1 第9回神戸マラソンのコース

表1 第9回神戸マラソンの人員配置
(医事・救護体制活動報告書を参考に改変)

活動場所	医師	看護師	トレーナー	市職員	消防職員	搬送係他	合計
スタートエリア救護 (0km)	1						1
第1救護所 (0km)		1		1	2	3	7
第2救護所 (0km)		1		1	2	3	7
第3救護所 (3.8km)	1	1		2	2	3	9
第4救護所 (9.0km)	1	1		2	2	3	9
第5救護所 (11.3km・26.2km)	2	7	3	3	2	11	28
第6救護所 (16.0km)	1	3	2	1	2	12	21
第7救護所 (17.6km)	1	2	2	2	2	9	18
第8救護所 (19.0km)	1	2	2	1	2	9	17
第9救護所 (20.3km)	2	4	3	2	2	13	26
第10救護所 (23.4km)	2	6	4	2	2	13	29
第11救護所 (24.7km)	2	5	5	2	2	13	29
第12救護所 (29.1km)	3	6	6	2	2	14	33
第13救護所 (31.8km)	3	6	6	2	2	18	37
第14救護所 (34.1km)	2	5	5	2	2	12	28
第15救護所 (36.9km)	2	5	4	2	2	13	28
第16救護所 (41.0km)	2	3	2	2	2	11	22
第17救護所 (42.195km)	3	10	5	2	3	14	37
第18救護所 (ゴール後)	7	17	10	4	4	23	65
神戸大橋エリア救護 (6ヶ所) (37.3~40.9km)	2	7	12	1	2	15	39
フィニッシュエリア救護 (8ヶ所) (手荷物・ランナー導線・更衣室)	4	10	21	1		14	50
医務車・収容バス (複数台) (隊列前後・各関門)	2	34		13			49
救護本部	3		1	31	6		41
合計	47	136	93	81	47	226	630

の軽症事例にスムーズに対応を行いつつも、人命を救うことを最大の目的として活動を行っている。傷病者発生時の対応フローは図2の通りである。

人員や備品の配置、対応マニュアルを考える際には、配置箇所ごとの役割を大きく2つに分けて考えている。1つ目は一般的な途中の救護所、2つ目はフィニッシュ後の対応である。両箇所に通することは、重症事例を見極め、命を救うことであるが、それ以外の対応は少し目的が異なってくる。スタート地点や途中の救護所は、重症化すると判断される場合を除いて、基本的にはレースを継続することを念頭に対応にあたる。ストレッチやテーピングなど、少しサービスの的になる部分も含まれ、いわゆるコンディショニングも行う。過剰にならないよ

うに気をつけながらも、レース継続の一助となるよう活動を行う。フィニッシュ後の救護所や更衣室等の巡回エリアは、コンディショニング対応は少なく、重症事例の早期発見とフィニッシュ後の選手を帰宅できる状態に最小限の対応で送り出すことが目的となる。巡回しているトレーナーは、テーピングを巻いたり疲労を取り除いたりといったいわゆるトレーナー的な対応よりも、重症化しそうな方をランナー導線上で発見し救護所へ搬送したり、軽症事例をその場で素早く対応したりすることで、重篤な状態に陥る可能性のある選手に医師や看護師の対応が十分にいきわたるように協力し合うことが大きな目的となる。図3は救護所における受付からの対応フローを示している。

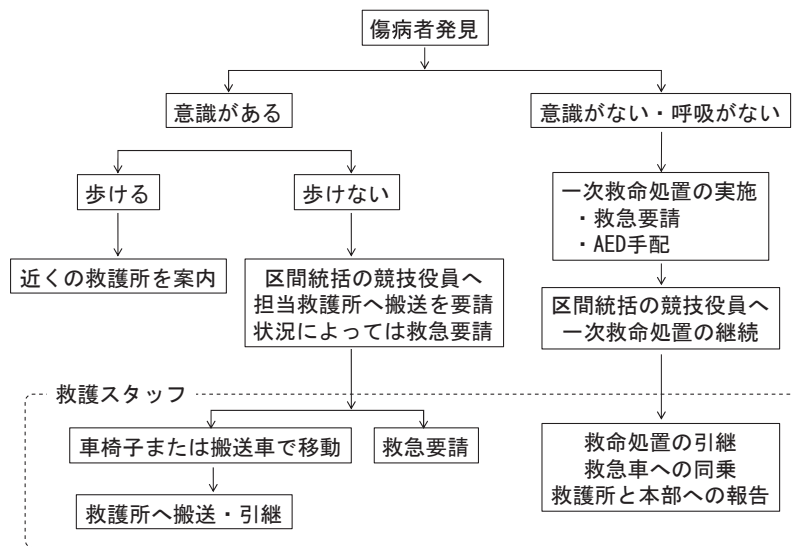


図2 神戸マラソンにおける傷病者発見時の対応フロー（救護所共通マニュアルを参考に改変）

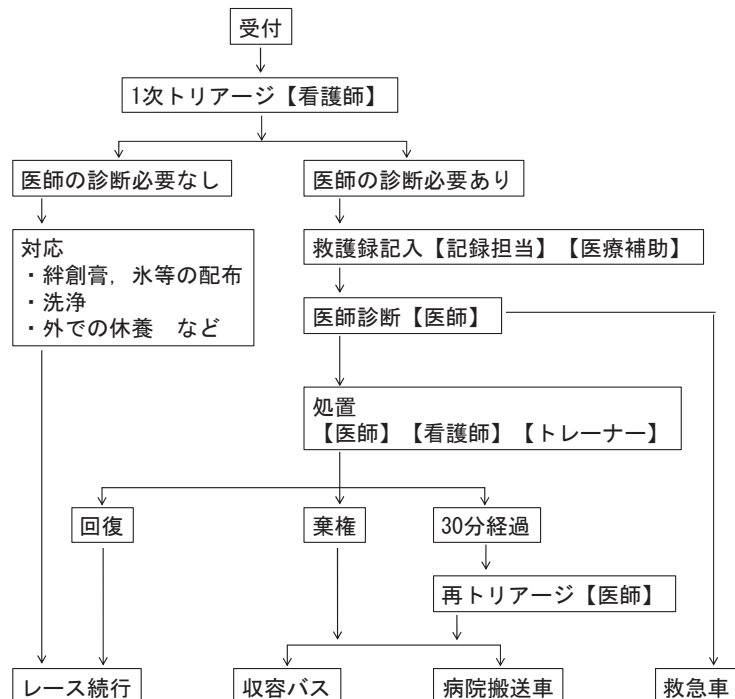


図3 神戸マラソンにおける救護所での対応フロー（救護所共通マニュアルを参考に改変）

3. 神戸マラソンでの傷病者発生状況

表2には過去の神戸マラソンにおける救護所利用状況として、完走率や救護所利用者数、利用率、外科的対応と内科的対応の割合などを示した（神戸マラソン実行委員会，2019c）。救急搬送数は救急車を要請した数、病院搬送数は主催者が準備した車両での病院への搬送である。

3.1 外科的対応

第9回大会（2019年）の挫創や打撲等に対する外科的処置は救護所利用全体の5%であった。またアイシングやテーピング、ストレッチ等の対応は31%であった。これら比較的軽症の整形外科的な対応をスムーズに行うことが、後述する内科的対応や、心肺停止のような重症事例を見落とさない重要な要素となる。特にフィニッシュ後の導線や更衣室などでは、ランナーからの要望の大半は下肢の痙攣である。部分的な痙攣であれば局所的なストレッチや、把握するように圧迫することで症状が軽減することが多い。しかし下腿や大腿、体幹部など複数箇所が同時に痙攣している場合には、熱中症や脱水症、水中毒である場合があるため、ストレッチ等で時間をかけすぎるよりも、迅速に救護所へ搬送し、医師の判断を早期に仰ぐことが重要と考えている。

3.2 内科的対応

第9回大会の内科的な対応は救護所利用のうち31%であった。内科的対応のうち、推定診断名としては脱水症が62.8%、低体温が14.1%、熱中症が3.2%、低血圧が3.2%、呼吸器が5.8%、消化器が10.9%であった。こ

れら診断名が推定できるもの以外にも、嘔気、嘔吐、気分不良や、疲労による休養や水分補給などが多く存在している。

3.3 救護所利用率と気温

実際にマラソンや競歩といったロードレースの救護活動をしていると、大会当日の気温と救護対応数には関係があるように感じる。気温が高いと脱水症や熱中症の対応が多く、雨天で気温が低いと低体温の症状が多い印象がある。天候が快晴だと気温は上がりやすいが、夕方の気温の低下も大きく、寒暖差が大きくなり、レース終了後に低体温が増える。曇天だと日中の気温はさほど上がらず、夕方の気温低下も少ない。ただ、これらは印象的なものでしかないため、神戸マラソンをもとに過去大会の気温と対応数を振り返ってみる。

表2には救護所利用状況と合わせて、過去の気温も示している。スタート時刻である9時と日中の最高気温、フィニッシュエリアの屋外からおおよそ選手がいなくなる関門閉鎖後1時間後の17時の気温を記載した。なお9大会全てにおいて降雨はなく、天候に恵まれた大会であった。全体を通じて比較的気温の高い年が多い印象なので、さほど寒暖差については確定的なことが言い難いが、気温の低い第7回大会は救護所利用率も低く、最高気温が20度を超えた第5回、第6回大会は利用率も高いようにみえる。内科的な対応数の割合には大きな差はみられないことから、推定診断名のついていない嘔気や嘔吐、気分不良などが増えている可能性も考えられる。主催者準備の病院搬送車だけでなく、救急搬送数も同様の傾向にみえる。最終的な天候や気温は終了後に振り返ってみてのこととはなるが、週間予報や前日の予報を

表2 過去の神戸マラソンにおける救護所利用状況と気温
（医事・救護体制活動報告書を参考に改変）

開催回	開催日	完走率	救護所 利用者数	救護所 利用率	外科的 対応	内科的 対応	救急 搬送数	病院 搬送数	気温 (9時)	気温 (最高)	気温 (17時)
第1回	2011 11/20	97.4%	993	4.3%			24	—	17.7	19.4	14.6
第2回	2012 11/25	97.7%	738	3.9%			5	6	9.7	14.5	12.8
第3回	2013 11/17	97.5%	857	4.2%			14	8	12.8	18.0	16.0
第4回	2014 11/23	97.8%	749	3.9%	51.9%	15.5%	10	14	13.9	19.2	16.3
第5回	2015 11/15	97.0%	977	5.0%	52.5%	30.1%	20	15	18.6	21.1	18.7
第6回	2016 11/20	96.1%	786	4.0%	34.5%	31.2%	19	12	17.9	21.2	20.0
第7回	2017 11/19	96.1%	461	2.3%	51.0%	39.7%	9	6	9.3	12.1	9.4
第8回	2018 11/18	95.9%	635	3.1%	32.8%	35.6%	17	22	14.2	18.4	17.4
第9回	2019 11/17	95.7%	657	3.2%	36.4%	31.1%	14	14	15.7	18.3	17.2

もとに、救護活動者やランナーに大まかな傾向をアナウンスするだけでも、少しは体調不良への対策や備品の準備数の対応ができるかもしれない。

4. ロードレースのメディカル体制におけるトレーナーの役割

神戸マラソンではトレーナーと役職名がつくスタッフを大きく2つの募集により活動を行なっている。1つは兵庫県理学療法士会での募集（約30名）であり、日頃スポーツに関わることがある理学療法士の方々が活動をされている。2つ目は日本陸連の医事委員会トレーナー部に登録されている方への案内により、希望された約60名の方々である。この登録の方々の資格的背景は様々で、医療系国家資格保有者や日本スポーツ協会のアスレティックトレーナー保有者、その他陸上競技の現場でトレーナー活動されている方々が登録されている。BLSの知識、技術を持っていることを基礎条件とし、一定の講習を修了され陸上競技のトレーナー活動に対する知識、技術だけでなく、ルールや種目特性の理解をある程度担保された方々である。資格的背景や日頃の職種は様々ではあるが、神戸マラソンにおいては両団体からの参加者ともにトレーナーとしての役割を担い活動をお願いしている。全国規模の大会では、ほかに東京マラソンの救護活動において、日本陸連トレーナー部の部員が大人数活動を行っている（眞鍋, 2010）。

トレーナーの大きな役割は重症例の発見と対応、軽症者（ストレッチやテーピングなど）へのスムーズな対応、医師や看護師などとの円滑な協力体制である。ではなぜマラソン大会の救護活動でトレーナーなのか。神戸マラソンも第1回大会はトレーナーがメディカルスタッフとして配置されておらず、救護所等は医師と看護師、ボランティアで構成されていた。そのため、救護所が軽症者の来訪で非常に多忙になり、マンパワーの不足と役職の整理が必要になった経緯がある。トレーナーが救護活動に参加するメリットは、まずスポーツ選手への対応に日頃から長けているという点があげられる。資格的背景は様々ではあるが、それぞれの専門分野を生かしつつ、競技特性を理解し、マラソン特有の傷病の対応にあたることができるということである。2つ目は、医師や看護師の方の担う職域負荷の軽減にある。先述している通り、市民マラソン大会におけるメディカル対応において最も重要なことは、命を失わないことである。ところが、救護所に訪れる方のうち重症事例が大半かと言えば決してそのようなことはなく、実際には疲労や軽度の痙攣が多数である。これらの対応に医師や看護師の方のみで対応にあたると、医師の占有率が長くなり、重症者を見逃す、あるいは救護所が混雑しすぎて対応に混乱が生じる可能性が高まる。そこで安全管理もできるトレーナーが入ることにより、メディカル体制をより強化することができ

ていると感じている。

5. 最後に

トレーナーという役割がただマッサージをする、テーピングをする、治療もできるという認識だけでは、マラソン大会のような場でのメディカルスタッフとしては必要とされない。各資格背景による治療行為は国家資格の違いにより特色があって良い部分ではあるが、根幹には種目特性やルールの理解とBLSを含めた安全管理、スポーツ医学の知識・技術の高度な習得、選手やスタッフとの連携がトレーナーに求められる大切な要素であり、そのような人材が市民マラソン大会のような大規模イベントにおけるメディカルスタッフとして活動することが重要である。大規模なロードレースのメディカル体制は一朝一夕に構築できるものではなく、大会主催者や医師などとの信頼関係が礎となり試行錯誤の末に改良されていくものである。トレーナーというとコンディショニングや治療をする役割という認識が強いものではあるが、選手、コーチ、医師、運営スタッフなどと共通言語を持ち、知識・技術ともに十分な準備が整ったトレーナーを養成し続けることが、選手の強化だけでなく、安全管理というスポーツイベントにおける信頼を支えるものになると感じている。

文献

- ・一柳 保・田邊晴山・喜熨斗智也・北小屋裕・大迫幹生・加百正人・野口 宏（2019）マラソン・ロードレースにおける救護・医療体制整備指針案について。日本臨床救急医学会雑誌, 22(4): 613-620.
- ・計測工房（2019）市民マラソン参加人数ランキング。（参照用HP：<http://www.keisoku-kobo.co.jp/category/28901.html>）
- ・Kim, J. H., Malhotra, R., Chiampas, G., d'Hemecourt, P., Troyanos, C., Cianca, J., and Baggish, A. L. (2012) Cardiac arrest during long-distance running races. *New England Journal of Medicine*, 366(2): 130-140.
- ・神戸マラソン実行委員会（2019a）第9回神戸マラソンコース情報。神戸マラソン実行委員会。（参照用HP：<http://kobe-marathon.net/2019/schema/course.html>）
- ・神戸マラソン実行委員会（2019b）第9回神戸マラソン救護所共通マニュアル。神戸マラソン実行委員会。
- ・神戸マラソン実行委員会（2019c）第9回神戸マラソン医事・救護体制活動報告書。神戸マラソン実行委員会。
- ・眞鍋芳明（2012）陸上競技 Round-up 東京マラソンにおけるトレーナー活動。陸上競技学会誌, 10: 30-35.
- ・日本陸上競技連盟（2019）陸上競技ルールブック 2019年度版。ベースボール・マガジン社, 東京:

pp.356-357. (参照用HP : <https://www.jaaf.or.jp/pdf/about/rule/1916.pdf>)

• Shirakawa, T., Tanaka, H., Kinoshi, T., Tanaka, S., and

Takyu, H. (2017) Analysis of sudden cardiac arrest during marathon races in Japan. *International Journal of Clinical Medicine*, 8(07): 472.

[日本陸上競技学会第 18 回大会]

共催：公益社団法人日本学生陸上競技連合・関東学生陸上競技連盟

基調講演 1

ドーハ世界陸上から東京オリンピック

演 者 石塚 浩 (日本女子体育大学)
室伏 由佳 (順天堂大学)
司 会 安井 年文 (青山学院大学)

【要旨】〈石塚 浩 (日本女子体育大学)〉

ドーハの世界陸上から東京オリンピックということで、まず 2009 年ベルリン世界選手権から今回のドーハの世界選手権まで、途中オリンピックも入っていますが、日本インカレなどの大会でおこなわれる得点方式を国別にまとめました (表 1)。注目して頂きたいのが、2001 年エドモントン世界選手権の開催国であったカナダです。開催国でありながら 0 点という結果から脱却して、今回は 55 点で 9 位でした。25 位に入るのに 10 年、常連国となり 9 年という背景には、長期的な強化策が存在しているからこそと言えるでしょう。次に中国をみると、2009 年ベルリン世界陸上では 50 点で 10 位となり、それ以後、ほぼ一桁台の順位を維持し、基本右肩上がりの成績を収め続けています。2008 年の北京オリンピック、2015 年の北京世界選手権でも好成績を収め、国家予算を上手く強化へとつなげてきたことが伺えます。一方、フランスを見てみると、今回の世界陸上で大きくランキングを落としています。これは棒高跳の L・ラビレニ、十種競技の K・マイヤーという二本柱が失敗してしまったことが大きく影響していると言えるでしょう。次に、U・ボルトを中心にスプリント種目で大量得点を稼ぎ出していたジャマイカは、ドーハでは 115 点を獲得し、

これまで最高だったランキン 3 位を同じように達成しています。得点の詳細は、これまでスプリント種目に頼っていたのが、男子走幅跳 (金メダル)、男子円盤投 (銀メダル)、女子三段跳 (銀メダル) など、他の種目、特にフィールド種目でも好成績を収めて点数を稼ぎ出しています。

そして、日本をみると 33 点での 11 位という成績です。この得点の 72.7% は競歩が占めているという状態であり、競歩という種目が日本人という民族的な特性に合致した種目であることが伺えます。しかし、突然、競歩種目にタレント性を持った選手が生まれた訳では無く、地道で持続的な強化が実った結果であることを忘れてはいけなでしょう。競歩以外の種目に目を向けると、男子短距離のサニブラウン・ハキーム、男子走幅跳の橋岡優輝、女子競歩の藤井菜々子といった 20 歳前後という若い「ダイヤモンドアスリート」選出者も入賞を果たしています。この「ダイヤモンドアスリート」という制度は、簡単に説明すると「陸上競技を通じて、競技的にはもちろん、豊かな人間性を持つ国際人となり、今後の日本および国際社会の発展に寄与する人材として期待される競技者」を選出し人材育成を展開するシステムです。このような方向性からすると、2020 年東京オリンピック

表 1 2009 ～ 2015 年の世界選手権・オリンピックにおけるレーシングテーブルの変化

09ベルリンWCH	11大邱WCH	12ロンドン五輪	13モスクワWCH	15北京WCH	16リオ五輪	17ロンドンWCH	19ドーハWCH
順位 国名 得点	順位 国名 得点	順位 国名 得点	順位 国名 得点	順位 国名 得点	順位 国名 得点	順位 国名 得点	順位 国名 得点
1 米国 231	1 米国 251	1 米国 304	1 米国 282	1 米国 214	1 米国 310	1 米国 272	1 米国 310
2 ロシア 154	2 ロシア 202	2 ロシア 179	2 ロシア 183	2 ケニア 173	2 ケニア 131	2 ケニア 124	2 ケニア 122
3 ジャマイカ 136	3 ケニア 174	3 ケニア 112	3 ケニア 139	3 ジャマイカ 132	3 ジャマイカ 106	3 イギリス 105	3 ジャマイカ 115
4 ケニア 120	4 ジャマイカ 101	4 ジャマイカ 102	4 ドイツ 102	4 ドイツ 113	4 イギリス 93	4 ホーランド 86	4 中国 90
5 ドイツ 104	5 ドイツ 83	5 ドイツ 95	5 ジャマイカ 100	5 イギリス 94	5 中国 81	5 エリオビア 83	5 エリオビア 83
6 エチオピア 88	6 イギリス 70	6 エチオピア 90	6 エチオピア 97	6 中国 84	6 ドイツ 73	6 ドイツ 78	6 イギリス 82
7 イギリス 81	7 エチオピア 66	7 イギリス 85	7 イギリス 79	7 エチオピア 83	7 エチオピア 72	7 エチオピア 70	7 ドイツ 69
8 ホーランド 73	8 中国 61	8 中国 79	8 ウクライナ 51	8 ホーランド 68	8 カナダ 65	8 フランス 68	8 ホーランド 56
9 キューバ 51	9 キューバ 48	9 ウクライナ 47	9 フランス 50	9 カナダ 65	9 フランス 57	9 ジャマイカ 68	9 カナダ 55
10 中国 50	10 フランス 48	10 フランス 39	10 ホーランド 44	10 ロシア 60	10 ホーランド 45	10 ANA (中立) 56	10 ウクライナ 44
11 オーストラリア 45	11 ホーランド 44	11 トニ・ハコ 35	11 中国 42	11 フランス 42	11 南アフリカ 34	11 南アフリカ 52	11 日本 33
12 フランス 41	12 オーストラリア 34	12 チェコ 30	12 カナダ 41	12 キューバ 30	12 オーストラリア 33	12 オランダ 40	12 キューバ 30
13 トニ・ハコ 32	13 南アフリカ 34	13 オーストラリア 27	13 チェコ 38	13 ウクライナ 29	13 中国 25	13 チェコ 37	13 オランダ 30
14 スペイン 29	14 ウクライナ 29	14 キューバ 25	14 キューバ 32	14 オランダ 28	14 ウクライナ 24	14 キューバ 35	14 バレーン 28
15 ウクライナ 29	15 ベラルーシ 26	15 カナダ 22	15 日本 31	15 南アフリカ 22	15 トニ・ハコ 23	15 カナダ 30	15 ベラルーシ 25
16 ハバマ 27	16 チェコ 25	16 ホーランド 21	16 オーストラリア 27	16 トニ・ハコ 22	16 フラジラ 23	16 バレーン 26	15 フランス 25
17 日本 27	17 モロッコ 23	17 トルコ 20	17 スペイン 24	17 ベラルーシ 20	17 クロアチア 22	17 日本 25	15 スウェーデン 25
18 南アフリカ 23	18 日本 18	18 ベルギー 19	17 オランダ 24	18 オーストラリア 19	18 バレーン 21	18 オーストラリア 23	15 ウガンダ 25
19 バレーン 22	19 イタリア 17	18 ハバマ 19	19 ナイジェリア 19	19 ハバマ 16	18 チェコ 21	18 トニ・ハコ 23	20 コロンビア 22
20 イタリア 22	20 ノルウェー 15	20 南アフリカ 17	19 イタリア 19	20 モロッコ 15	20 ベラルーシ 20	20 ブラジル 21	20 南アフリカ 22
21 ホルトガル 19	21 フラジラ 14	21 イタリア 15	19 フラジラ 19	21 チェコ 14	20 オランダ 20	20 トルコ 21	22 ベルギー 20
22 ノルウェー 17	22 ベルギー 14	21 ドミニカ 15	22 南アフリカ 18	21 クロアチア 14	22 ハバマ 19	22 ハバマ 19	22 ノルウェー 20
23 アイルランド 15	23 ホルトガル 13	23 オランダ 13	23 コジメワールド 14	21 スウェーデン 14	23 アルジェリア 18	23 コロンビア 19	23 スペイン 19
24 チェコ 14	24 エストニア 12	25 セルビア 12	24 トニ・ハコ 13	24 ハンガリー 13	23 スペイン 18	23 クロアチア 19	24 エストニア 17
25 ルマニア 14	25 カナダ 12	25 ポツワナ 12	25 スウェーデン 12	24 フランス 13	25 日本 17	25 コントホワール 19	25 エストニア 17
				25 フラジラ 13	25 キューバ 17	25 ホルトガル 17	26 ハバマ 16
49 キリヤ 5	36 キリヤ 8	55 キリヤ 4	— キリヤ 0	49 キリヤ 6	35 キリヤ 11	36 キリヤ 11	48 キリヤ 6
※WCH: 世界選手権	※トニ・ハコ: トニ・ハコ				※ロシアは2016年のリオ五輪からドーピング問題により出場停止となっている		
※五輪: オリンピック							29 オーストラリア 14

ク、その次のパリやロスのオリンピックがゴールではありません。今後の日本社会や国際社会の発展に寄与する人材育成であり、結果的には選手強化にも繋がっていくものです。

次に、ドーハ世界選手権での環境状況ですが、日本では経験することがない暑さへの対処が大変でした。市内は常に40度を超え、湿度も80%という環境です。そのため、外を歩いている人は皆無です。一方で室内に入ると、エアコンの温度設定は常に22度となっており、いわゆる日本でいう「クールビズ」のような概念は無い状況でした。こうした灼熱の環境の中、屋外で働いているのは全て外国人という状況であり、カタールという国の労働に対する考え方を感じ取ることができました。2020年東京五輪でも暑さ対策は避けて通れないものですから、1991年東京、2007年大阪といった、世界選手権の経験を生かすことが必要でしょう。

その一方、大会会場となったハリーファ国際スタジアムは空調設備が整っており、概ね気温24度、湿度60%程度に整えられており、特に空調ダクトの風が吹き込む走幅跳ピット付近では、多くの選手がウィンドブレーカーを着用するなど、冷房対策をしているのが印象的でした。このような環境下で、女子走幅跳で優勝したM・ミハンボ選手の例をあげてみたいと思います(表2)。ミハンボは、1回目の試技では6m52、2回目はファール、そして追い込まれた3回目に優勝記録となる7m30を跳躍し、この記録が優勝記録となりました。実は、私は、この選手に長い間注目していました。彼女は世界的に評価の高いマンハイム大学に所属している非常に優秀な学生でもあり、早い時期から高い自己記録を有していました。しかし、なかなか大きな大会では結果が残せません

でしたが、2014年のヨーロッパ・チーム選手権あたりから、徐々に結果を残しはじめ、ついに世界の頂点に立ったということになります。今大会も2本目までに良い記録を残せず、Top8に残れるかどうかという状態で、また悪いパターンになってしまうのか思いましたが、3回目に素晴らしいジャンプを見せてくれました。あとで聞くと、大きな大会で失敗を続けたことから、瞑想やメンタルコーチの指導を受けるなど、メンタル・精神面の強化も図ってきたとのことでした(写真1)。言い換えれば、多くのトップ選手が様々な失敗を繰り返しながら、自己の持つ弱点を、様々な手段を用いて克服し、やっと頂点に立っているということを示していると思います。

今後、日本が活躍するためには、暑さ対策も重要ですが、こうしたメンタル面についてのサポートも重要であると感じた次第です。特に、こういった面を研究されて



写真1 仏教国であるタイへ旅行し瞑想するミハンボ (mali.mihambo のInstagram より)
注：競技中も試技間にピットの横で瞑想を行っている

表2 Malaika Mihambo (GER)の主要大会成績

年	SB	大会名	開催国	順位・結果	記録(m)	備考	実力発揮
2011	640(+0.8)	World Youth Championships	リール (FRA)	9th	5.81		×
2012	632(+1.9)	World Junior Championships	バルセロナ (ESP)	14th(q)	6.15		×
2013	670(+0.9)	European Junior Championships	リエティ (ITA)	1st	6.70		
		World Championships	モスクワ (RUS)	18th(q)	6.49		×
2014	690(+1.5)	European Team Championships	ブラウンシュワイグ (GER)	1st	6.90	CR	◎
		European Championships	チューリッヒ (SUI)	4th	6.65		
2015	684(+0.2)	European U23 Championships	タリン (EST)	1st	6.73		
		World Championships	北京 (CHN)	6th	6.79		×
2016	695(+0.6)	European Championships	アムステルダム (NED)	3rd	6.65		
		Olympic Games	リオ (BRA)	4th	6.95		◎
2018	699(+0.6)	World Indoor Championships	バーミンガム (GBR)	5th	6.64		
		European Championships	ベルリン (GER)	1st	6.75		
2019	730(-0.8)	European Indoor Championships	グラスゴー (GBR)	4th	6.83		
		European Team Championships	ビドゴシチ (POL)	1st	7.11w		◎
		World Championships	ドーハ (QAT)	1st	7.30	WL	◎

× 実力を十分に発揮できなかったと見られる大会

◎ 実力を十分に発揮できたと見られる大会

SB: シーズンベスト

Q: 予選

CR: 大会記録

WL: 今季世界最高

w: 追い風参考

いる方は、「マインドフルネス」という用語を使い、「心が穏やかでありながら、集中力が継続している状態」としています。東京五輪が迫るなかで、代表選手たちが持

てる力を最大限に発揮できる様態を、いかに創り出せるかにかかっていると思います。

《司会プロフィール》

安井 年文（やすい としふみ）

1967年生まれ

現 職：青山学院大学コミュニティ人間科学部 教授・学科主任

陸上競技部・短距離総監督

学 位：修士（体育学）

専門（研究）分野：コーチング学，スポーツバイオメカニクス

社会的活動：日本陸上競技連盟強化委員

日本学生陸上競技連合副強化委員長

関東学生陸上競技連盟強化委員長

日本スプリント学会理事長

競技歴：400mH 1989年アジア選手権6位

指導歴：藤光謙司（ゼンリン）リオ五輪出場

藤森安奈（青学大）仁川アジア大会出場

鳥原早貴（青学大）東アジア大会出場

《演者プロフィール》

石塚 浩（いしづか ひろし）

1955年生まれ

現 職：日本女子体育大学・大学院 教授

日本女子体育大学陸上競技部コーチ

学 位：修士（体育学）

専門（研究）分野：スポーツ運動学，スポーツトレーニング学，陸上競技指導方法論

社会的活動：公益財団法人日本陸上競技連盟強化委員会特別プロジェクト部長

〈前〉公益財団法人日本オリンピック委員会

ゴールドプラン委員会委員

〈前〉公益財団法人日本オリンピック委員会強化スタッフコーチ

指導歴：女子三段跳 日本記録樹立

アジア選手権 女子100mH優勝

日本選手権 女子三段跳，女子100mH優勝

日本学生陸上競技対校選手権大会 女子走

幅跳，女子三段跳，女子100mH優勝

基調講演 2

ドーハ世界陸上から東京オリンピック

演 者 石塚 浩（日本女子体育大学）

室伏 由佳（順天堂大学）

司 会 安井 年文（青山学院大学）

室伏先生：

私からは、女性とスポーツという切り口で、特に月経周期によるコンディションについて、特に私自身の競技人生を振り返りながら、オリンピックレガシーとその先の若い世代の方に向けて、男性指導者にとって対処や対応の一助となることを願いお話しさせていただきます。私の競技活動は、中学部活動から始まり、社会人アスリートとして 35 歳まで、約 24 年間続きました。その間に様々な怪我や病気と闘いながら、競技成績を残してきました。まず、最初に挙げられるのが貧血の症例です。減量などが求められない投擲選手には比較的珍しいのですが、私自身は重度の貧血に苦しみました。そして 2004 年アテネオリンピックの翌年から、原因不明の急性腰痛症を多い時では月に 2 回ほど繰り返し、天井を見つめながらベッドから降りられないという生活が続くことも何度もありました。前者の貧血に関しては、結論から申し上げますと、月経困難症によるものでした。今でもそうかもしれませんが、当時は女性の疾患について指導者や他人に切り出すのが難しい、情報が不足しており、対処方法について情報が行き届いていない時代だったと思います。

アスリートのパフォーマンスを支える要因には様々なものがありますが、そのほとんどをアスリート自身で対応するということが非常に多いと思います。それに加え、女性の場合は女性としての身体の変化というものをコントロールする必要があります。そうしたなかで様々な問題をアスリート一人で解決するのは困難です。だからこそ、特に医学的な面はスポーツドクターとともに解決するべきです。そのなかでも女性アスリートがスポーツをする上での健康問題は、三主徴（利用可能エネルギー不足、運動性無月経、骨粗鬆症）や貧血、摂食障害、成長期の身体変化、機能性・器質性の月経困難症など、女性医学的諸問題への対応が求められます。女性アスリート自身、自分の身体のことを熟知していないケースもあり、更にスポーツ現場では一般的に男性指導者が多いことから、女性の健康問題について知識が豊富とは言えない現状があります。こうした点からも、女性アスリートが安

心して競技を行える環境はまだまだ整っていないと感じられます。

●婦人科疾患に起因する貧血の体験

こうした女性特有の健康諸問題において、私自身現役時代に苦しんだものが婦人科疾患とそれに関連する貧血症状でした。まず、貧血症状が判明したのは大学 1 年生（18 才時）の健康診断で、採血の結果、酸素を運ぶ役割であるヘモグロビンの数値が 8.5g/dL（成人女性では 12g/dL 未満が貧血）7）、血清鉄においては 4 μ g/dL（同 160 μ g/dL $\sim$ ）と低値を示しました。後年になり、検査項目に含まれたフェリチンも 1.6ng/mL（同 5 $\sim$ 120ng/mL）と低値であることが判明しました。その時点で、過多月経や月経量の異常の疑う問診はなく、婦人科受診を勧められることもなかったため、食生活の見直しや、鉄剤の服用での対症療法に留まりました。

●婦人科疾患と月経前症候群（PMS）

2003 年以降、婦人科関係の問題に多々直面しました。2003-2004 年は子宮内膜ポリープに罹患します。子宮内膜ポリープは、子宮内膜細胞が増殖して子宮腔内に突出した腫瘍で、多くは良性です。月経血量増加や月経痛、不正出血や過長月経の原因となり、場合によっては妊娠を妨げる要因となります。ポリープ切除に至ったのは、2004 年アテネオリンピック代表選考会の 3 か月前で、以降は強い月経痛から解放されました。

しかし、時期を同じくして PMS 症状（月経前症候群）が出現し、コンディショニングに苦戦を強いられることとなりました。PMS は、月経の 3 $\sim$ 10 日前から乳腫、乳房の張り、便秘、体重増加、イライラなど様々な身体的・精神的症状が出現し、月経開始後に症状が改善または消失すると定義されています。特に、PMS の症状が増悪した 2004 年には、月経前になると中殿筋から下肢にかけての諸動作に鈍さを感じ、複雑で巧みな運動学習に苦戦しました。日頃のトレーニングの疲労との区別が付かず、月経直前のコンディション不良期が PMS 症状

によるものであることを正確に捉えられずにいました。

●月経周期の調整の試み

月経周期によるコンディションの変化は、トレーニング計画や競技会でのパフォーマンスに著しく影響を与えたことから、同年4月より大会スケジュールに応じて月経周期の調節を試みることにしました。現在、女性アスリートのヘルスケアや競技会に向けたコンディショニングの一環として、低用量ピル等を用いた月経周期の調節の経験が蓄積されつつあります。月経困難症やPMSなどの辛さを軽減するばかりでなく、長期に使用すれば子宮内膜症の治療にも効果があります。日本で低用量ピルが認可されたのは1999年で、1970年代から使用されていた諸外国に大きく遅れを取った状態でした。しかも当初は避妊薬として認可されたためか、将来妊娠ができなくなるという誤解や、太るなど副作用が強い薬というイメージが根強く残るものでした。そのため、子宮内膜ポリプと診断された2003年当時のスポーツ界では、ピルを用いた月経周期調整を行った事例はほとんど見当たりませんでした。2008年には同じ成分の薬剤が月経困難症治療薬として認可され、さらにホルモン量をさらに低く抑えた超低用量ピルも使用できるようになり、副作用の発生率も低くなっています。

PMS症状について主治医に相談をしたところ、当時は低用量ピルを用いた月経周期調節は一般的でなかったためか、主治医からの提案もなく、知識も無いまま、中用量ピルを用いた月経周期移動を試みることとなりました。中用量ピル服用中は、吐き気やむかつき、頭痛、悪心などの副作用、下肢の浮腫みが生じるなど体調不良に陥り、トレーニングやコンディション調整に苦戦を強いられました。トレーニング時に整形外科の問題が悪化しないよう注意を払う必要もありました。

2004年アテネオリンピック出場が決まった際に、競技日程が月経予定日に重なることが判明します。内服中の体調不良を避けるため、大会の1か月前に中用量ピルを用いた月経周期移動を行いました。内服中はコンディションが乱れたものの、オリンピック当日の月経を避けることができ、更に、オリンピック出場の3週間前にはハンマー投の日本記録を更新しました。オリンピック本番でも最適なパフォーマンス発揮と好記録を残すことができました。不調が大会の成績に影響しなかったようにも見えますが、コンディショニングに重要な時期である1か月前の内服が不要であれば、より高い記録を狙うことが出来た可能性があったとも捉えられます。

●子宮内膜症とその治療

その後、月経痛やPMSの症状が生じなかったことや、腰痛症への対処に迫られたことで、定期的な婦人科受診を怠るようになりました。すると、2009年3月(33才時)

に激しい月経痛に襲われて婦人科を受診することになり、子宮内膜症が発症し、右卵巢チョコレート嚢胞が破綻していると判断されました。大きな試合も控えていたことから、まずは保存的に低用量ピルを用いて病巣を縮小させ、月経痛を抑えることを試みました。しかし、6か月間の服用を行いました、腫瘍の縮小はわずかにとどまりました。

更に、当時服用していた低用量ピルの副作用と思われるコンディション不良が継続したため、ホルモン療法を中止し、同年11月下旬に手術を受けることを選択しました。術前検査では左にも嚢胞が認められ、腹腔鏡下チョコレート嚢胞摘出術を受けました。

ただし、低用量ピル服用中は月経血量が抑えられ、徐々にヘモグロビン、血清鉄が正常値へ好転しました。その結果、これまで悩まされてきた貧血は、婦人科疾患による過多月経に起因していたことが明らかになりました。

●女性にしか起こらない問題

競技現役時代、月経随伴症状や婦人科の器質性疾患に直面するまでは、女性の身体の仕組みについての知識は極めて低い状態でした。教育機関やスポーツ現場において、女性アスリートの健康問題についての明確な教示がなく、女性の身体の仕組みや疾病等の知識を得る機会はありませんでした。それでも、かかりつけの医師がいることで、万が一の不調に対応できるという点は幸いでした。しかし、当時のような症状が悪化した際だけの診察に留まらず、定期的な検診を心がけることは、今後の女性アスリートと指導者にとって必須の課題であると考えます。

現在では月経痛を放置せず早期に診断を受け、適切なホルモン治療を受ける事により子宮内膜症など器質性疾患への進行を予防できる可能性が注目されています。生活に支障が出る強い月経痛を月経困難症と呼びますが、子宮内膜症や子宮筋腫などによる器質性月経困難症と、器質性疾患が存在しない機能性月経困難症とに分類されます。若年者には機能性が多く、年齢を経るごとに器質性へ進展し、若年時に強い月経困難症があった人が子宮内膜症を発症するリスクは、月経痛がなかった人に比べるとオッズ比で2.6倍にも上るというデータもあります。また、器質性疾患の有無を自身で把握することはできません。

婦人科疾患で医療機関を受診することに抵抗を感じる人は多く、現在は疾患に関する情報をネット検索での収集をする人も多いですが、引用元が不明で根拠に乏しい内容も存在します。女性競技者として活動するということは、様々な婦人科疾患に悩まされることは当然です。そのため、女性競技者は安心してスポーツができる環境を整えてくれる専門家、そうした駆け込み寺のようところを作っておくのは非常に重要だと思います。こうし

た問題から、初めて自分の病気と本格的に向き合おうと決心しました。今でも、多くの女性アスリートが身体に問題を抱えつつも、病院に行かずに我慢していることは珍しくないと思います。そういう選手達には「お医者さんとお話しにいくだけでいいんだよ」と啓発しています。アスリートとしての活躍をする前に、女性の身体や機能性について十分に対話出来るかかりつけの医師の環境を確保することは必須であると考えます。正しい情報と、定期的な検診は、スポーツのトレーニングをすることと同じように重要なことです。アスリートだけでなく、アントラージュ（選手と取り巻く関係者）が共に正確な知識を得て、不調や疾患を未然に防ぐことがもとめられます。教育機関や各競技連盟等が婦人科医、更にはスポーツ整形外科などの専門医らと連携し、一貫した情報発信が必要であると考えています。

これからのスポーツを取り巻く社会でも、現役生活を引退した先のことまで考えたサポートが整うことを期待していますし、私自身もそうしたサポートにつながれたらよいと思います。

*本文の一部は、許諾を得て、次の文献から引用・転載、改変をしています。

室伏由佳，倉持梨恵子，西良浩一．女性トップアスリートの整形外科的及び女性医学的問題点—婦人科疾患と整形外科的疾患を併発した女性トップアスリートの一例—．日本整形外科スポーツ医学会雑誌，39（2），2-9，2019．

《演者プロフィール》

室伏 由佳（むろふし ゆか）

1977年生まれ

現 職：順天堂大学スポーツ健康科学部 講師

順天堂大学大学院スポーツ健康科学研究科
講師

株式会社 attainment 代表取締役

学 位：博士（スポーツ健康科学）

専門（研究）分野：アンチ・ドーピング、スポーツ医学、
スポーツ心理学

社会的活動：公益財団法人日本サッカー協会 スポーツ
こころのプロジェクト、スポーツ笑顔の教室

一般社団法人キッズアスレティックス協
会 陸上教室講師（小学生対象）

国際陸上競技連盟（IAAF）準拠キッズア
スレティックス・ジャパン講師活動

競 技 歴：陸上競技女子ハンマー投の日本記録保持者
（＊2020年3月現在）

女子円盤投の元日本記録保持者

2004年アテネオリンピック 陸上競技 女子
ハンマー投 日本代表

世界陸上選手権大会

2005年 ヘルシンキ大会 女子ハンマー投日
本代表

2007年 大阪大会 女子円盤投日本代表

指 導 歴：2002～2014年 ミズノビクトリークリニッ
ク（ミズノ株式会社主催社会貢献事業の陸上
教室）

2013～2019年 日本女子体育大学主催陸上
競技会 人見絹江杯 陸上教室講師

2014年～現在 公益財団法人日本陸上競技連
盟 指導者養成委員 U13/U15 陸上クリニック
講師

シンポジウム①

「暑熱環境下におけるパフォーマンスとコンディショニング」

シンポジスト 小倉 幸雄（大阪国際大学）
天野 達郎（新潟大学）
コーディネーター 近藤 徳彦（神戸大学）
小倉 幸雄（大阪国際大学）

〈概要〉 近年のオリンピック・世界大会の陸上競技は環境条件が厳しい、暑熱下で実施されることが多い。また、陸上競技の種目は 100m からマラソン、跳躍、投擲など種目が多岐にわたり、ハイパワー、ミドルパワーおよびローパワーといったパワーが全て関係する競技となり、暑熱環境下での運動パフォーマンスについて多方面から検討する必要がある。これまでの研究や実際の競技において、暑熱環境下ではマラソンなどの持久性の運動パフォーマンスは顕著に低下するが、100m 走のような運動パフォーマンスは暑熱環境下ではむしろ向上することもあることが知られている。しかし、この暑い環境下で短時間の運動を繰り返して行った場合には、運動パフォーマンスが低下する。このように運動種目により暑熱環境の影響は異なり、いずれの種目においてもその影響は運動時における体温上昇程度と関係する。したがって、暑熱環境下での運動パフォーマンス低下防止のためには、運動時の過度の体温上昇を抑えることが重要となる。

暑熱環境下での運動パフォーマンス低下を防止する方法として、運動中あるいはその前に行うものと、身体機能そのものを改善するものがあり、これらはコンディショニングの一つと考えられる。運動のパフォーマンスは、Body, Skill, Mental のバランスが整うことで 100% の発揮ができるが、暑い環境の中で、これらの 3 つの要素のバランスを崩すことなく整えることは、実際にはかなり難しいことである。そこで日頃の練習の成果を 100% 発揮するためには、日常的なコンディショニングの戦略がとても重要になる。シンポジウム 1 では暑熱環境下でのパフォーマンスとコンディショニングがどのような関係にあるのかについて、水分補給の点から飲水温・飲水量及び、脱水とパフォーマンスの関係について（小倉）、そして暑さに慣れるための方法の点から暑熱順化・馴化及び、環境温・深部体温と長距離走のパフォーマンスとの関係について（天野）、暑熱環境下での運動パフォーマンス低下を抑える方法が紹介された。

〈水分補給〉 ヒトは、高温環境下で運動すると深部体温が上昇し、過度な深部体温の上昇を抑えるために、発汗量や皮膚血流量を増加させ、熱を逃がす。しかし、運動を継続すると大量の発汗により体液が奪われ脱水が引き起こされ、過度の脱水により発汗量と皮膚血流量の増加が抑制され、深部体温がさらに上昇する。その結果、運動パフォーマンスの低下や熱中症が引き起こされる（Fig.1）。このことから水分補給がとても大切になる。これらのことから、①飲水温、飲水量の点から、②脱水とパフォーマンスの影響を環境制御室における実験とグラウンドにおけるフィールド実験にて検討した。環境温と水分補給時の飲水温が深部体温や運動パフォーマンスに与える影響についての先行研究がある（Table 1）。そこで、1) 高温下運動時における摂取水分の温度と量が体温・循環調節反応に及ぼす影響を、(1) 4 水温（5℃、15℃、25℃、35℃）と無飲水条件にて総発汗量の 80% を 4 等分して飲水させ、摂取水温の相違を、(2) 夏季スポーツ活動時の飲水量と飲みやすさ、(3) 摂取水温の相違と飲水量、から検討した。その結果、摂取水温の相違は、飲水量が等しい場合には無飲水に比し、低水温ほど運動の早期から物理的な冷却効果により直腸温を抑制し（Fig.2：小倉ほか、2016）、自由飲水の場合には低水温の冷却効

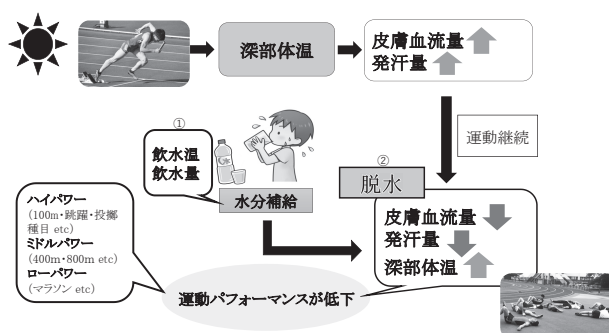


Fig. 1 暑熱環境下における深部体温上昇と運動パフォーマンスの関係

Table 1 Results of previous studies on the fluid temperatures

	references	environment temperature (°C)	range of drink temperature (°C)							rise in body temperature	exercise performance	intake of water
A	Yamada et al., 1982	36.2	c	2					36	T_{re} $2^{\circ}\text{C} < 36^{\circ}\text{C} < c$	—	250ml (every 30-min)
B	Mundel et al., 2006	34			4		19			T_{re} $4^{\circ}\text{C} < 19^{\circ}\text{C}$	exercise time 4°C (62-min) > 19°C (55-min)	300ml (every 15-min)
C	Lee et al., 2008b	35			4				37	T_{re} $4^{\circ}\text{C} < 37^{\circ}\text{C}$	exercise time 23% ↑ 4°C (63-min) > 37°C (52-min)	300ml x 3 (-30, -20, -10-min) 100ml (every 10-min)
D	Byrne et al., 2011	32		2					37	T_{re} $2^{\circ}\text{C} < 37^{\circ}\text{C}$	distance cycled 2.8% ↑ 2°C (19.26km) > 37°C (18.72km)	300ml x 3 (-35, -25, -10-min)
E	Lee et al., 2013	32			4			28		T_{re} $4^{\circ}\text{C} < 28^{\circ}\text{C}$	—	400ml x 2 (48, 53-min) 400ml x 2 (108, 113-min)
F	Wimer et al., 1997	26	c	0.5			19		38	$T_{re} \cdot T_{es}$ $0.5^{\circ}\text{C} < 19^{\circ}\text{C} < 38^{\circ}\text{C} < c$	—	10ml x kg^{-1} (62-min) 4ml x kg^{-1} (80, 100-min)
G	Lee et al., 2006	25			4				50	T_{re} $4^{\circ}\text{C} < 50^{\circ}\text{C}$	—	300ml x 4 (15, 30, 45, 60-min)
H	Lee et al., 2007	25.4				10			37	T_{re} $10^{\circ}\text{C} < 37^{\circ}\text{C} < 50^{\circ}\text{C}$	No difference	1000ml (30-40-min)
I	Lee et al., 2008a	25.3				10			37	T_{re} $10^{\circ}\text{C} = 37^{\circ}\text{C} = 50^{\circ}\text{C}$	No difference	400ml (30, 45, 60, 75-min)
J	Bain et al., 2012	23.6		1.5		10			37	$T_{re} \cdot T_{es}$ $1.5^{\circ}\text{C} \cdot 10^{\circ}\text{C} < 50^{\circ}\text{C}$, $1.5^{\circ}\text{C} \cdot 10^{\circ}\text{C} \approx 37^{\circ}\text{C}$	—	weight x 3.2ml (5, 15, 30, 45-min)

range of drink temperature c : No drink

 T_{re} : rectal temperature, T_b : mean body temperature, T_{es} : esophageal temperature

果と飲水量の調節による影響が推察された。さらに、実際のフィールド運動時においても5°C水温では物理的冷却効果による体温上昇の抑制、発汗量の抑制、脱水率の軽減を導くことが窺え、5°C程度の水分補給が生体負担度を軽減し、ひいては熱中症予防に有効であることが示唆された（小倉ほか，2014）。

2) 高温環境下のスポーツ活動時における脱水や体

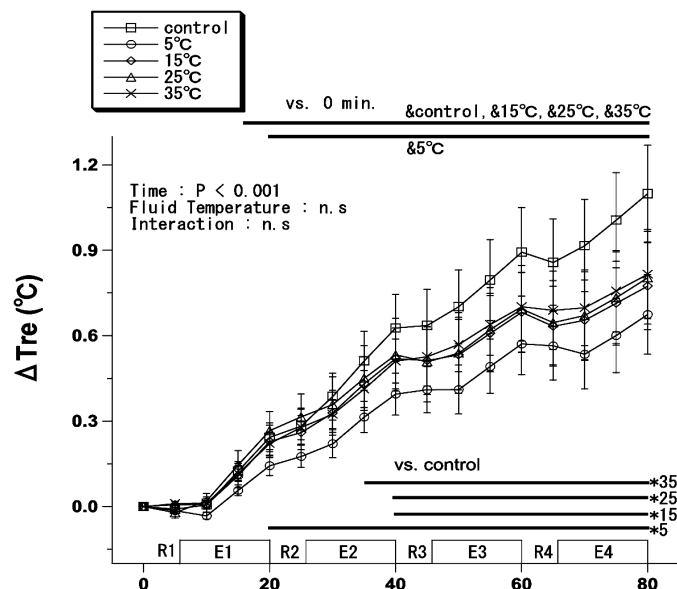
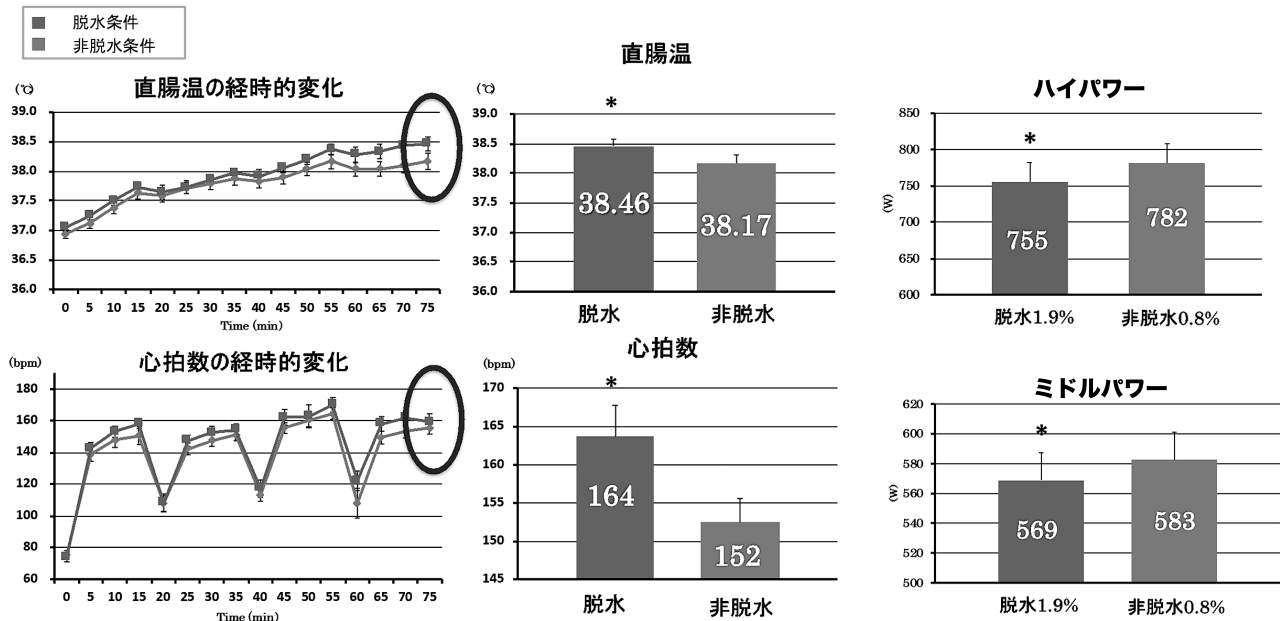


Fig. 2 The time courses of rectal temperature (ΔT_{re}), ($\square$: control, $\circ$: 5°C, $\diamond$: 15°C, $\triangle$: 25°C, $\times$: 35°C). Values are expressed as mean $\pm$ SE. E1,2,3,4 indicates 15-min cycling exercise. R1,2,3,4 indicates 5-min rest period. *5,15,25,35 indicates significant difference vs. control ($p < 0.05$). & 5,15,25,35 indicates significant difference vs. baseline ($p < 0.05$).

温上昇が運動パフォーマンスと密接に関連するミドルパワー・ハイパワーに及ぼす影響について、(1) 夏季陸上競技練習時の飲水量を調整し、2種類の脱水状態（非脱水条件：およそ0.8%，脱水条件：2.0%）を設定（陸上競技練習中（80分間）にそれぞれ異なる飲水量（水温10°C）を摂取させ（20分ごとの4回の休息時に50ml以下あるいは300ml以上に制限）した後に、グラウンドにおけるパフォーマンステストを実施し、脱水がハイパワー・ミドルパワー発揮能力に及ぼす影響の検討を。また、(2) 32°C・60% RHに設定した環境制御室内で、15分間トレッドミル走・15分間自転車運動を交互に4セット（各15分運動間には5分休息を挟む）の総計75分間において各休息時の飲水量を原則的に脱水条件では約50ml、非脱水条件では約300mlにし、暑熱環境下運動時に2種類の脱水状態を設定し、ハイパワー・ミドルパワー発揮能力に及ぼす影響を検討した。その結果、(1) 実際の夏季陸上練習時において脱水がパフォーマンスに影響し、その影響の程度は発揮能力ごとに異なることが示唆された。すなわち、0.8%程度の脱水と比較し、2.0%程度の脱水はハイパワーに影響しなかったものの、ミドルパワーは低下することが示唆された。また、(2) 高温環境下長時間運動後におけるミドルパワー・ハイパワー発揮能力は、直腸温と心拍数の上昇により、脱水レベルに影響され、体重の約1.9%の脱水率が0.8%の脱水率より、両パワーの発揮能力を顕著に低下することが示唆された（Table 2）。以上のことから、低い脱水率であってもローパワーだけでなく、ハイパワー・ミドルパワーの低下に影響することが示唆された（小倉ほか，2019）。

Table 2 脱水が発揮パワーに及ぼす影響



文献

小倉幸雄, 井上芳光, 近藤徳彦 (2014) 摂取水分の温度と量が体温・循環調節反応に及ぼす影響. 2011～2013年度科学研究費補助金(基盤研究(C))研究成果報告書.

小倉幸雄, 井上芳光, 内之宮愛子, 北村優佳, 大森隆裕, 大上安奈, Jason Kai Wei Lee, 近藤徳彦 (2016) 高温下における長時間運動時の体温調節反応は5～35℃の摂取水温に影響されない. 体育学研究, 61(2): 607-619.

小倉幸雄, 井上芳光, 近藤徳彦 (2019) 脱水と体温上昇の相違が陸上競技のパフォーマンスと各種パワー発揮能力に及ぼす影響. 2016～2018年度科学研究費補助金(基盤研究(C))研究成果報告書.

《コーディネーター・シンポジストプロフィール》

小倉 幸雄 (おぐら ゆきお)

1967年生まれ

現職: 大阪国際大学人間科学部 教授

学位: 修士(体育学)

専門(研究)分野: コーチング, コンディショニング

社会的活動: 日本スプリント学会常任理事・編集委員長
スポーツ言語学会 理事

指導歴: 大阪国際大学陸上競技部(AC) 監督

日本選手権 女子100m 7位(2005), 200m 8位(2004), 走高跳 6位(2002), 4位(2005), 7位(2013), 5位(2014)

日本ジュニア・U20日本選手権 女子走高跳 7位(2002), 8位(2015), 男子走高跳 4位(2017), 男子棒高跳 8位(2019)

南部忠平記念 男子100m 8位(2019)

《コーディネータープロフィール》

近藤 徳彦 (こんどう なりひこ)

1961年生まれ

現職: 神戸大学大学院人間発達環境学研究科 教授

学位: 教育学博士

専門(研究)分野: 環境生理学, 応用生理学

社会的活動: Section editor in European Journal of Applied Physiology, Review editor in Frontiers, International Advisory in Movement, Health and Exercise

競技歴: 第3回全日本中学校陸上競技選手権大会(1976年) 100mH(第1位)

第34回全国高等学校総合体育大会(1979年) 400mH(第2位)

《シンポジストプロフィール》

天野 達郎 (あまの たつろう)

1985年生まれ

現職: 新潟大学人文社会科学系 准教授

学位: 博士(学術)

専門(研究)分野: 環境生理学

主な論文: Amano T et al. (2019) Effects of isomaltulose ingestion on postexercise hydration state and heat loss responses in young men. Exp Physiol 104: 1494-1504
Amano T et al. (2018) Cutaneous adrenergic nerve blockade attenuates sweating during incremental exercise in habitually trained men. J Appl Physiol, 125: 1041-1050

〔日本陸上競技学会第 18 回大会〕

共催：公益社団法人日本学生陸上競技連合・関東学生陸上競技連盟

シンポジウム②

「日本の陸上競技の国際化に向けて」

シンポジスト 佐久間 和彦（大韓陸上競技連盟）

山崎 一彦（順天堂大学）

熊野 陽人（大阪成蹊大学）

コーディネーター 木越 清信（筑波大学）

木越先生：このシンポジウムのテーマは日本の陸上競技の国際化です。私自身、国際化の方向性は2つあると思っています。まず一つは、ワールドランキング制度が始まりましたので、国内競技会のカテゴリーをどんどん上げる必要があるということです。二つ目は日本のコーチングの輸出です。様々なコーチが積極的に海外に出て指導することが国際化に繋がると考えています。そこで、今回は特に後者について議論を進めたいと思います。シンポジストは大韓陸上競技連盟の佐久間和彦先生、順天堂大学の山崎一彦先生、そして大阪成蹊大学の熊野陽人先生です。早速ですが、各先生方から自己紹介をお願いしたいと思います。

佐久間先生：アニョハセヨ。大韓陸上競技連盟国家代表コーチの佐久間和彦です。海外におけるコーチング経験ですが、私は1999年にアメリカのカリフォルニア州にあるサンアントニオカレッジで短距離の指導を1年間行いました。そして、2018年から現在の大韓陸上競技連盟に3年契約という形で関わっています。今、韓国と日本は大変な関係になってはいますが政治とスポーツは違う考えのもと、非常に恵まれた環境で指導させて頂いています。

山崎先生：私は2008年から1年間、JOCの海外研修指導者研修制度を利用しまして、1年間イギリスのラババラ大学にいき、400mにて北京オリンピックで入賞している選手や、44秒台の選手が複数いるなかで、セカンドコーチという立場で関わっていました。ここでは、日本人が得意な部分だと思いますが、技術系のトレーニング指導を中心に行っていました。

熊野先生：私は、現在日本陸連の強化委員会の横浜国立大学の女子跳躍7種のカテゴリの中で、女子走幅跳のコーチをしております。その活動の一環といたしまして、2018年の2月にこれまで交流があったタイ陸連から指導者講習に来ないかということで5日間、タイ陸連の上級コーチ資格の講師としてハイレベルセミナー・ジャンピングイベントにお招き頂きました。

木越先生：それでは早速ですが海外に対して、コーチン

グについて売り物になるだろうという点がありましたら是非お聞かせいただきたいと思いますがいかがでしょうか？

佐久間先生：現在、日本の短距離界は世界で大活躍をしています。海外の様々なコーチと話をしても、常に高い評価を受けています。そうした中で、我々が大切にするべきなのは日本流の指導法、そして技術だと思っています。それを韓国の選手に対して指導するなかで発揮し、素晴らしい実績を残すことが一番重要ではないかと考えています。

木越先生：海外のコーチを日本に招待してそこで話を聞く試みも今は特に多いと思います。その際、私が感じるのとは良くも悪くもわかりやすいというか、細くないざっくりとした技術論が多いという点です。例えば韓国でのコーチングで先方に喜んで頂けたことは何でしょうか？

佐久間先生：やはり具体的でわかりやすいということが一番喜ばれていると思います。韓国における短距離の技術というのは、私見ではありますが30年程度遅れています。これはメディアの問題、つまり情報源が少ないことが原因だと思います。しかし、体力的資質は日本人以上だと思っています。今、私が指導している男子ナショナルチームの6名は全員180cm以上ありますので、そうした特性を活かしてオリンピックを目指したいと思っています。

山崎先生：私がイギリスにいったのは、もう10年も前の話になりますが、やはり私たちの一番の強みは技術系の指導だと思います。例えばスプリントドリルなどは、イギリス人はほとんど出来ませんでした。ただ、トラックではない芝生などでは、イギリス人は速かったですね。なぜそれが活かせないのだろうと感じたことはあります。

熊野先生：私が伺ったタイでは、強化コーチ、ナショナルコーチがいるのですけれども、日本ほど研究活動を行っているコーチは少ないのが実情です。これは日本のいいところといえますか、注目していただいている

要因だとおもいます。先程の山崎先生の話に関連するのですが、細かくミクロな視点で技術などを正確に捉えるのは得意だと思います。一方で、ドリルなどで出来た技術を実際の競技へと結びつけること、トレーニングの計画論のように長期的にパフォーマンスを変化させる、作り上げるという視点が日本は苦手なのかなと感じました。その一方で、佐久間先生がおっしゃるようにアジア諸国には日本人よりも体格に優れた競技者が数多くいます。そうした選手に対して技術指導をすることが日本にとっての売りになるかなと思います。

木越先生：ありがとうございます。先日、アジア選手権で感じたのですが、様々な国が諸外国のコーチを雇っている印象を受けました。そうした際の依頼や契約について佐久間先生に伺いたいと思います。

佐久間先生：おそらく私を招聘した理由は、私の指導実績に加え、リレーにおけるアンダーハンドパスを普及させたという点が大きいと思っています。実際の契約にあっても、短距離とリレーについて、その技術をしっかりと浸透させて欲しいということでした。そして実際に東京オリンピックに出場できればインセンティブとして日本円で100万円、入賞したら300万円という契約がありました。そして困ったのが、やはり指導するのがナショナルチームだという点です。選手達は普段の練習は基本的に自分のチームで行い、特定の合宿や試合にならないと全員集まらない。そこでしか指導ができないという点が難しいですね。

木越先生：ありがとうございます。次に、山崎さんにお聞きしたいのですが、海外のコーチというのは、現役競技者時代の実績が重視されるのか、それともこれまでの指導実績が重視されるのか、どのような状態なのでしょう。

山崎先生：それはもう両方で、混在していると思います。海外と日本で異なるのは、日本はコーチ教育制度が進んでいない代わりに、それぞれが独自に勉強していることがほとんど。その一方で海外ではコーチ制度、コーチ資格がしっかりしているというのがあると思います。もちろん、現役時代の競技力が高いだけで指導力が無いコーチもいますが、その一方で、高い競技力を有していた方が、その経験を活かせることも多いので、どちらが良いとは言いきれません。日本の場合は選手がコーチを選ぶ機会は少ないかと思いますが、海外の場合、大きな組織と同じ種目でも複数のコーチがいて、そういった点でコーチ間での競争があるように感じます。

木越先生：日本に比べると、海外ではコーチングの能力を適正に評価しているように感じますね。熊野先生、例えばタイにおけるコーチ資格などはどうなっているのでしょうか？

熊野先生：タイ陸連では独自のコーチ資格を有しており、初球・中級・上級というように分かれており、そのレベルによって担当できる選手が異なると伺ったことがあります。タイナショナルチームの種目別コーチは国外から招聘するようですが、そのアシスタントやとりまとめはタイの方がやられているというシステムのようなのです。

木越先生：今後、日本のコーチングを輸出する際、例えば芸能界でいうところタレント名鑑みたいに、コーチ名鑑みたいなものが出来て、各コーチの顔写真、専門、実績などが一目でわかるようなシステムがあったら良いと思うのですが、そのような点について先生方はどう思われますか？

山崎先生：アジア諸国に限らず、欧米のコーチと話をすると、やはり「誰々のコーチ」と呼ばれることが多いですね。なので、コーチ名鑑というよりは選手名鑑があって、そのプロフィール欄に指導者が記載されているようなことがあっても良いかもしれません。現在はSNSで情報がすぐにわかりますけど、この選手とこのコーチはセットだということが解るだけでも、日本のコーチにもっとアプローチがかかってくると思います。

木越先生：そこに指導者の指導実績などもわかる資料があれば面白いと思います。そうすることを考えた際、佐久間先生のように海外でフルタイムコーチとして生きていくのに障壁となるのは何があるのでしょうか？

佐久間先生：これは過去の話になりますが、やはり世界からみた日本陸上界の地位です。国際競争力を高めなければ、声がかかることはありません。現在は種目によってですが、世界的に高い評価を受けている部分がありますから、今後は大きなチャンスが増えると思います。

山崎先生：私も同感です。それに加え、やはりコーチ自身が海外へとアピールすること、持論を伝えることも重要です。自分自身もそういう状況に置かれた時があったので、イギリスでスプリントドリルのDVDを作ったりしてアピールしました。あとは逆に海外のコーチに来日して頂き、様々な交流を進めることも重要だと思います。もちろん、言葉の壁など様々な問題はありますが、技術や動きというものは見て感じて貰うことができると思うので、やはりそうした機会をつくるべきですね。

木越先生：山崎先生と陸連で一緒に競技者育成関係の仕事をしていただいたときに、アメリカやカナダ、ドイツは独自モデルを持っていることが解りました。そういう事を考えると、日本もその国から遅れながら作ったんですけど、他の国では日本はこんな事をしている事を知らないんですよね。それをその山崎さんは教科書を作っておいたり、DVDをつくったり、やっぱりやっている

事をアピールしていくというそんな場が必要ですね。

熊野先生：私もタイにいった際には英語で指導をしました。ネイティブの方からすれば、酷い英語だったと思いますが、それでもある程度の努力をすれば5日間、合計15時間の講義は成立しましたし、やればできると肌で感じました。日本のコーチは言語面でももっと自信を持ってよいと思います。海外のコーチで優れているのは「押しの強さ」ですね。「こうだ!」というのが明確にあって、その点が日本人は苦手なのかなと感じます。そうしたことを学ぶためにも、もっともっと海外のコーチに来日してもらって交流するべきです。来て貰うことが増えれば、出て行くチャンスもできると思います。それこそ、勝手に「海外は凄い」という思い込みもあると思います。交流が増えれば、自分の強みは何なのか、海外は何が優れているのかが明確にできるという意味で、やはり貿易は重要です。

木越先生：私の知人である投擲のコーチがフィンランドに行かれていたのですが、知識や技術などは日本の方が優れているが、技術に対する言葉の使い方などは彼らの方が優れていると伺ったことがあります。熊野先生の経験から海外のコーチは何が優れていると思いますか？

熊野先生：跳躍のコーチとしか話をしたことが無いのですが、海外の跳躍コーチはフィジカル面の強化を徹底している方が多く、その点が日本と差がついている部分かなと感じます。木越先生がおっしゃっていた動きを引き出す言葉がけというのは、一定基準のフィジカルがあってこそ意味があると思いまして、まずは土台を大きくする、エンジンを大きくすることが重要だと考えています。関連して、日本の跳躍コーチと異なるのは、一つの課題や練習にじっくりと取り組む傾向にあると思います。北京体育大学での指導を見た際、一つのドリルで、この動きを習得すると決めたら、1ヶ月、2ヶ月はそれだけを反復していました。ある程度、長期的にパフォーマンスを変化させるという視点からじっくり取り組むという点が日本には欠けているのかもしれない。

木越先生：確かに、日本人は短期的な効果を求めてしまうという問題があるかもしれません。そろそろまとめたいと思うのですが、佐久間先生、海外でコーチをすることの難しさ、ポイントなどを教えてくださいませんか。

佐久間先生：やはりその国の制度をよく知るということです。例えば、私が指導している韓国では徴兵制度があります。28歳の誕生日までに必ず兵役につかなければならない。現在、100mと200mで韓国記録を有

している選手がいますが、つい先日、12月5日まで1週間ほど兵役期間がありました。大事な冬季練習に1週間抜けてしまうのは正直難しい点があります。日本では考えられないことですよね。さらにいえば、韓国はオリンピックでさえもドクターは帯同せず、メディカルスタッフとしてはトレーナーがわずか1名帯同するのみです。先日のユニバーシアードでもドクター、トレーナーが不在でした。男子200m準決勝で私の指導する選手が脱水症状となってしまったのですが、その対応も私自身が一人で行わなければなりません。なんとか決勝に進出し6位に入賞しましたが、日本のようにメディカルスタッフの手厚いサポートを受けることができません。他にも様々な点において日本の指導者は恵まれていると感じます。そうした違いをしっかりと理解して、問題を解決していく能力が求められます。

木越先生：最後に若手の熊野先生から、今後の日本陸上競技の輸出という点で、陸連全体の施策など、要望したい点について教えてください。

熊野先生：やはり一回外に出てつながりを持ち、そして得たつながりを離さずにコンタクトをとり続けることが重要だと思っています。今回、私がタイに行かせて頂いたのも、アジアグランプリでたった1回、レセプションパーティーで仲良くなったことがキッカケでした。また、ドイツにいったコーチ研修を受けて、そのコーチの方々とつながりをもっているから試合に組み込んでもらったということもあります。そうした努力を続け、ネットワークを構築していくことが重要です。今はSNSですぐに海外と繋がれますので、常に情報を交換するという地道な作業を皆さんが実施していくだけでも、徐々に変わっていくと思います。

木越先生：続きまして、山崎先生いかがでしょう。山崎先生はベテランですから若い人たちに対してコメントをお願いします。

山崎先生：例えば、日本サッカー協会などはアジア戦略として、コーチが海外にどんどんでて、アジア全体で日本人が活躍していこうとしています。そうした努力を日本陸連もするべきです。さらに日本ではコーチの流動性が低いですから、流動性を高める努力も必要ですね。

木越先生：私たちの世代で、主となる仕事をなげうってまで海外でコーチをするというのは、かなり難しいと思います。なので、是非ともフットワークの軽い若手の先生方、コーチにどんどん海外へとチャレンジして欲しいですし、するべきですね。ありがとうございました。

《コーディネータープロフィール》

木越 清信（きごし きよのぶ）

1976年生まれ

現職：筑波大学体育系 助教

学位：博士（体育科学）

専門（研究）分野：陸上競技コーチング論

社会的活動：筑波大学陸上競技部跳躍・混成担当コーチ
公益財団法人日本陸上競技連盟強化委員
コーディネーター

《シンポジストプロフィール》

佐久間 和彦（さくま かずひこ）

1951年生まれ

現職：大韓陸上連盟（2018年1月～）

学位：博士（体育学）

専門（研究）分野：スプリント、コーチング、陸上競技

社会的活動：順天堂大学陸上競技部前部長

関東学生陸上競技連盟前評議員

指導歴：簡優好（バルセロナオリンピック 4×400m リレー出場）

高平慎士（北京オリンピック 4×100m リレー出場）

高瀬慧（ロンドンオリンピック 200m 出場）

金 國栄（世界選手権ドーハ大会 100m 出場）

日本陸上競技連盟短距離強化委員

順天堂大学陸上競技部短距離コーチ

《シンポジストプロフィール》

山崎 一彦（やまざき かずひこ）

1971年生まれ

現職：順天堂大学スポーツ健康科学部 教授

学位：修士（体育学）

専門（研究）分野：陸上競技コーチング論

社会的活動：順天堂大学陸上競技部監督

公益財団法人日本陸上競技連盟強化委員会
ディレクター

《シンポジストプロフィール》

熊野 陽人（くまの はると）

1988年生まれ

現職：大阪成蹊大学教育学部 専任講師

学位：博士（体育学）

専門（研究）分野：コーチング学、バイオメカニクス

社会的活動：公益財団法人日本陸上競技連盟強化委員会

女子走幅跳オリンピック強化スタッフ

女子跳躍・七種競技コーディネーター

指導歴：山本凌雅（JAL, 三段跳 PB: 16 m 87）
専任コーチ

清水珠夏（城北信用金庫, 走幅跳 PB: 6 m 48）専任コーチ

奥田啓祐（ウィザス, 十種競技 PB: 7472 点）
専任コーチ

〔日本陸上競技学会第 18 回大会〕

共催：公益社団法人日本学生陸上競技連合・関東学生陸上競技連盟

キーノートレクチャー

「跳躍競技のトップコンディション」

演 者 森長 正樹（日本大学）
小林 史明（日本体育大学）
司 会 青木 和浩（順天堂大学）

青木先生：

この学会の最終のキーノートレクチャーである跳躍競技のトップコンディションというところを開催させていただきたいとおもいます。司会の方は順天堂大学青木の方で担当させていただきます。そして演者は日本を代表する指導者である森長先生、小林先生のお二人です。森長先生については、地元の高校のご出身なので皆さんご存じかと思いますが、元日本記録保持者であり、現在は橋岡優輝選手のパーソナルコーチを務めていらっしゃいます。そして小林先生も元日本記録保持者であり、山本聖途選手のパーソナルコーチでもあります。お二人とも前回のドーハで戦い終えて、いよいよ 2020 年に向けてどのような形でやっていくかところをご講演いただけたと思います。それでは、早速森長先生からお願いしたいと思います。

森長先生：

今紹介していただきました森長です。まず 2020 年に向けて、私が走幅跳の日本代表チームの強化として行っている計画と重要な大会に向けてのコンディションについて話をさせていただきたいと思います。我々は 2020 年に向けて、2017 年を迎える年から強化に携わってきました。

その時の最初の目標としては 2020 年のオリンピックで入賞者を出すこと、そのために、まずは出場者を確保するというものでした。皆さんご存じのとおり、跳躍種目における参加標準記録は非常に高い水準となっています。走幅跳においては 8m22 であり、本番でその記録を出せばメダル争いに加われるという記録になっています。そして、もう一つの目標として中国のレベルに追いついていくことが重要と考えました。実は、この強化を始めるにあたり、私と広川龍太郎先生（東海大北海道）と小山宏之先生（京都教育大学）、そして日本陸連の科学委員会をお願いして様々なデータを集めて頂きました。そのデータを見てみると、例えば 2017 年の日本ランキングを見ると、8m20 以上は 0 名、中国は 4 名、8m 以上となると日本は 4 名で、中国は 7 名、そして 7m90 以

上にまで下げても日本は 6 名、中国は 9 名となります。どのレベルにおいても、明確に中国の方が強いことが解ります。そこで、2018 年は 8m10 を越える選手を複数名出すことを目的とし、基礎体力の向上と跳躍技術の習得を課題に取り組んできました。その結果 8m20 以上は 0 名、8m 以上は 3 名と、大きな成果は得られることは出来ませんでした。実は追い風参考記録であれば 8m10、さらに 30 を越える記録が見られるようになりました。さらに、記録以外での競技成績としては、橋岡選手が U20 の世界選手権において金メダルを獲得、城山選手のアジア大会入賞という成果を出すことができました。

そして、2019 年度、今年においては世界選手権の代表を出すこと、そして 8m10 以上の選手を複数名出すことを目標に掲げました。特に技術的課題として、踏み切り前 4 歩のストライドコントロールにチャレンジしました。その結果、8m20 以上が 3 名、8m 以上が 6 名と、中国に匹敵するレベルにまで到達できました。ここで少々技術的な話をさせて頂くと、これまでの日本人トップジャンパーの多くは、4 歩前の足を 8m 台の距離に接地しているというのが一般的でした。しかし、私の現役時代、4 歩前は 9m40、さらにカールルイス選手などは 10m を越えていました。つまり、最後の 4 歩でもしっかりと身体を前に進めているということです。細かい技術以上に、そうした助走におけるスピード、ストライドが足りない結論づけたわけです。実は、これは中国のナショナルチームを指導しているランディ氏（世界記録保持者であるマイクパウエル氏のコーチ）の指導内容と同様のものです。一番のポイントは踏み切り直前でも身体が前方に進んでいる推進力を殺さないという点です。特にこれまでの日本人ジャンパーは、踏み切り前最後の三歩を「タッ・タ・タッ」と早く駆け抜けることに重点を置いていたように感じます。確かに早くする必要はあるのですが、単にリズムが早いだけなのと、身体が速く移動しながらの「タッ・タ・タッ」では全く内容が異なります。つまり、できるだけ前に速く進みながらも、さらにリズムも早めるという意識を選手に持たせるように

しました。

そして、それを可能にするために最後の二歩における技術的改革を行いました。最後の二歩で素早く移動しようとする、足先でパッとさばくような動作になりますが、それを足の裏全体で、強く乗り込むように踏んでいくようにしました。従来のイメージとのギャップに苦しみましたが、バスケットボールのレイアップにおける足の使い方に着目するなど、様々なイメージを使って修正をしていきました。しっかりとストライドを出しながらも、早いリズムで足を動かすわけですから、身体に非常に大きな負担がかかります。なので、十分に基礎体力も向上させる必要があるわけです。特に大殿筋、ハムストリングス、大腿四頭筋、そしてそれらの出力を受け止める体幹をバウンディングやメディシンボール、そして固定式自転車を使って徹底的に強化しました。もちろんウェイトトレーニングも重要ですが、より短い時間で大きな力を出すトレーニングはもっと重要です。たとえば上空に投げ出したメディシンボールを地面に落とさずにキャッチするトレーニングなどです。最近ではスマートフォンやタブレットなどで世界一流選手の技術を簡単に見ることができますが、それを単純にまねるのではなく、それを出来るようにするだけの体力を身につけなければならないことを理解するべきです。

それでは、引き続き主要大会へ向けてのコンディショニングについてです。ジャンパーにとってのコンディショニングとは、疲労を抜き、単純に身体が良く動く状態を作り出すだけではありません。疲労を抜きつつ、感覚的なもの、例えば全身で感じる加速感や、地面を捉えている時のグリップ感といったものを研ぎ澄ましていく必要があります。同時に、同じような動きでも出来るだけ出力の大きな筋を使えるようにしていきます。大きな大会でプレッシャーがかかった場面では、敏感な手先や足先は上手く動かせなくなります。そうした点からも、出力の大きな身体中心部分の筋を意識することは意味があります。大きな筋を使えているかどうかは、各種コントロールテストを実施することで確認しますが、あまり数値にこだわり過ぎるのもストレスに繋がるので、そうした部分は指導者が上手くコントロールするべきだと思います。次は技術面の微修正です。自分自身の技術に自信が持てていないと、いざ勝負となった場面にやはり思い切った跳躍ができません。大きな大会ほど、自分の技術に迷いが無いように仕上げるのが重要です。

そして最後はメンタル面です。これは指導者側の問題ですが、声かけによって選手の不安を解消させてあげることが重要だと思っています。このあたりは普段からどれだけ選手とよく接しているかが鍵になります。選手がどういう状態になると、どういう思考や動きになるのか、そのあたりを認識しておくことが大切です。試合二週間前くらいになると、身体感覚が鋭敏になり、様々なこと

が気になりますが、基本的にはここで何かを変えるようなことはしません。出来ることに優先順位をつけて、最低限必要なことだけに取り組むようにします。

加えて重要なのは試合会場の状況です。例えば宿泊先から試合会場までの移動手段や待機場所の状態、ウォーミングアップエリアの状態、さらに試合会場のサーフェスなども重要な情報です。特に走幅跳選手はサーフェスによって助走距離が1m以上変化します。選手は助走距離とその日の調子をリンクさせますから、助走距離が伸びている分には良いのですが、短くなっていると自分の調子が悪いのではないかと思ひ込んでしまいます。こうした時に、事前にサーフェスの情報があれば、それは決して調子が悪いのではなく、サーフェスが原因であると認識することができます。さらに風向風速についての情報も重要です。風というものは、瞬時にコロコロ変化するものではありません。強く吹くタイミングと弱く吹くタイミングがどのように入れ替わるのか、そうした点を把握しておくべきです。

このように、事前情報をしっかりと入手しておかなければ、本当の意味でのコンディショニングはできません。そういう意味では、2019年度における選手達の活躍は、まさに狙い通りといった結果になります。2020年度は、当初の目標であった入賞ではなく、複数入賞とメダル獲得に目標を切り替えて東京を迎えたいと思っています。

小林先生：

日本体育大学の小林です。棒高跳の強化についてですが、今回はパーソナルコーチを務めています山本聖途選手の話をして頂きます。まず、山本選手の各シーズンベストですが、2013年は5m75、2014年は5m62、2015年は5m70を跳躍しています。また、2015年以降は室内競技会と屋外競技会の2シーズン制を重視しています。室内の場合はボード上で踏み切るため、脚への負担が少ないというメリットがあることと、冬期の間も技術力を落とさない事が理由です。そして2016年は5m77という室内日本記録を樹立しました。その一方、2013年からは腰椎分離症を発症してしまい、腰痛を騙しながらの試合というのが実情でした。そして2016年にはオリンピックで痛恨の記録なしとなってしまう、それがキッカケで練習拠点を中京大学から日本体育大学へ移し、本格的にマンツーマンで指導することになりました。そこでは、まずはボールの持ち方や構え方など基本動作の確認を徹底的に行い、さら週1回は必ず跳躍練習をすることにしました。そして2018年には練習の質を向上させ、日本選手権とアジア大会に焦点を合わせてきました。その結果、両大会で優勝することができました。そして2019年にはポイントランキング制度が導入された為、積極的に海外での大会に出場し、ポイントを稼ぐという戦略をとりました。前年に開催されたアジア大会で

優勝できたため、様々な国際大会に出場できるメリットを活かす意味もあります。

この直近2年間の動向について説明させていただきます。まず2018年前半では出場試合を絞り、織田記念、ゴールデングランプリを経ての日本選手権という流れをとりました。そして、その後はパリ、日中韓三カ国対抗、全日本実業団と、毎週のように試合に出場し、8月末のアジア大会に合せるスケジュールを組み、5m70の大会新記録で優勝しました。なお、冬期のフィジカル面の合宿はアメリカのエクソスというトレーニング施設で行っています。これは毎年11月に実施していたのですが、今回はアジア大会に合わせて3月、4月に実施しました。さらにアジア大会の1週間前には御殿場で合宿して調整を行いました。実は、その際に実測6mの高さをクリアしており、その時点で優勝は確信していました。

このように全てが上手くいった2018年シーズンとは対照的に、2019年は失敗をした年だと考えています。2019年の前半は、4～6月の間、それぞれの月で3試合を組み1～2週間間隔で遠征を続けました。ダイヤモンドリーグなどの世界トップレベルの大会にも出場できたのは大きな収穫です。しかし、現在ではやり過ぎてしまった印象があります。実は1月、2月の室内大会時期に腸脛靭帯と足関節を痛めました。また世界選手権の前に腓腹筋を痛めてしまいました。これは実は7月にも同様の箇所を痛めています。世界選手権まで3週間という時期に痛めてしまい、ほぼ練習ができない状態で世界選手権を迎えた次第です。この時点で、私は棄権させようと思っ

ていましたが、前日練習でなんとかスパイクが履け、結果としては5m60というそれなりの記録は残せました。しかし、年間全体を通して疲労感があった年だと判断しています。

こうした結果を踏まえ、2020年の計画は、2018年にならない再度基本的な動作をしっかりと確認し、試合プランを明確にしていきたいと思います。さらに専門的な技術について再度、突っ込み動作およびその後のスイング動作について、より技術を改善させようと思います。スイング時において、両手でボールをしっかりと前へと押し込み、いわゆる懐が大きな状態を作り、そこに足を入れていくという技術が重要だと考えています。そうすると、ボール上部がしっかりと曲がってくれて、最後の最後まで反発をもらえるようになります。2019年に失敗したのは、こうした技術練習が少なくなってしまう、その場しのぎの跳躍が多かったことが挙げられます。そうして東京オリンピックでは最高の成績を残すことを願っています。

青木先生：

両先生、ありがとうございました。お二人のお話を伺い、改めて気づいたのは非常に細やかに準備をされているという点、さらに諸外国のライバルを見つけ、その技術を日本へと導入されている点です。このような取り組みが日本の走幅跳、棒高跳を強くしているのだと感じました。本日は本当にありがとうございました。

《司会プロフィール》

青木 和浩（あおき かずひろ）

1969年生まれ

現 職：順天堂大学大学院 スポーツ健康科学研究科
教授

学 位：博士（スポーツ健康科学）

専門（研究）分野：コーチング，体力学

社会的活動：日本陸上競技学会 副理事長

日本コーチング学会 理事長

日本陸上競技連盟 強化委員会 強化・情報戦略委員

日本オリンピック委員会強化スタッフ
（コーチング，マネジメント，情報・戦略スタッフ）

日本学生陸上競技連合 強化委員・調査研究員

指導歴：順天堂大学陸上競技部ヘッドコーチ（跳躍
コーチ）

《演者プロフィール》

小林 史明（こばやし ふみあき）

1974年生まれ

現 職：日本体育大学体育学部准教授
日本体育大学陸上競技部監督

学 位：修士（体育科学）

専門（研究）分野：コーチング

社会的活動：日本陸上競技連盟オリンピック強化コーチ

競技歴：1997年 日本記録樹立 5m61

1999年 日本記録樹立 5m62

2002年 日本記録樹立 5m71

指導歴：2016 室内日本記録 (5m77) 山本聖途

2018 アジア大会優勝 (5m70/ 大会新) 山本聖途

《演者プロフィール》

森長 正樹（もりなが まさき）

1972年生まれ

現 職：日本大学スポーツ科学部教授

日本大学陸上競技部跳躍コーチ

学 位：修士（教育学）

専門（研究）分野：運動学

社会的活動：関東学生陸上競技連盟強化副委員長

日本陸上競技連盟強化委員（男子走幅跳担当）

競技歴：1989年 高校記録樹立 7m96cm

1992年 日本記録樹立 8m25cm

1999年 日本室内記録樹立 8m07cm

1992年 パルセロナオリンピック代表

1993年 シュツットガルト世界選手権大会
代表1997年 アテネ世界選手権大会 9位
東アジア大会 優勝

1999年 室内世界選手権大会 7位

アジア選手権大会 優勝

アジア大会 優勝

2000年 シドニーオリンピック代表

指導歴：走幅跳 橋岡優輝選手 8m32cm

山川夏輝選手 8m09cm

小田大樹選手 8m04cm

2017年 日本選手権 優勝

2018年 日本選手権 優勝

U20 世界選手権 優勝

アジア大会 4位

2019年 アジア選手権 優勝

日本選手権 優勝

ドーハ世界選手権 8位

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〉

- ・原稿は付則に記された日本陸上競技学会編集委員会事務局宛に電子メールに原稿ファイルを添付して投稿する。受諾決定後には電子メールにて完成原稿電子媒体を提出する。

〈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。

〈著作権〉

本誌に掲載された論文の著作権の一切（著作権法第27条及び第28条の権利を含む）は、本学会誌に帰属又は譲渡されるものとする。ただし、論文の内容に関する責任は当該論文の著者が負う。

〈利益相反について〉

筆頭著者は当該論文にかかる著者全員の COI 状態に関して、所定の書式（様式1）にて論文投稿時に自己申告し、記載内容について責任を負う。

〈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、下記の通りである。

〒470-0393 愛知県豊田市貝津町床立101
中京大学
スポーツ科学部 競技スポーツ科学科
眞鍋芳明
TEL：0565-46-1211（代表）
E-mail：manabe@sass.chukyo-u.ac.jp

1. 原稿の作成

原稿はワードプロセッサで作成するものとし、A4版縦置き横書きとし、全角40字30行（英文綴りおよび数値は半角）で、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、刷り上がり8ページを超過しないように配慮すること。原稿2枚が刷り上がり約1ページに相当する。なお、このページ数には、表紙や要旨、図表など一切含むものとする。

また、原稿ファイルはファイル展開の不具合を防ぐために下記の拡張子を持つファイル形式とする。

- （1）表紙、要旨、英文抄録、本文、文献：doc, docx および pdf
- （2）図表：ppt, pptx, xls, xlsx, jpg, tiff, gif および pdf

いずれも原稿ファイルと pdf 形式のファイルの2種類を送付すること。

2. 原稿の構成

2.1 表紙

原稿の1枚目に、下記のものを記入する。

- 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．

－例－

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（：）
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．

－例－

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）などをつける．

（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（kg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。

陸上競技学会誌編集委員会 委員名簿

委員長 眞鍋 芳明 中京大学
副委員長 伊藤 信之 横浜国立大学
委員 鯉川なつえ 順天堂大学

※敬称略

編集後記

新型コロナウイルスが猛威を振るい、日本各国で大会、イベントが中止となっています。直近の2月においては、東京オリンピックに向けて世界ランキング向上を狙う試合とされた杭州アジア室内競技大会が中止、さらに南京世界室内競技大会も相次いで中止となり、各国の代表選考にも大きな影響をあたえています。こうしたイベント、大会の中止に伴う経済的損失、教育的損失を考えると、教育・研究機関で働く我々は胸を痛めるばかりです。

そのような自粛ムードが続くまただ中の3月1日、マラソングランドチャンピオンシップ第2戦の東京マラソンにおいて、大迫傑（ナイキ）選手が自身の持つ日本記録を上回る2時間05分29秒という記録で日本人トップを獲得し、東京オリンピック日本代表選手の座を大きく引き寄せました。また、同大会は大迫選手

に続く日本人選手達においても、2時間6分台が2人、7分台が7人という空前の記録ラッシュを演じ、暗い雰囲気吹き飛ばしてくれました。

本学会誌におきましても原著論文が4編、研究資料が2編、事例報告が1編、そしてラウンドアップが1編と過去最大のボリュームとなった昨年号に匹敵するものとなり、若手研究者を中心にますます盛況をみせている次第です。2020年には東京オリンピック・パラリンピックがありますが、さらにその翌月には横浜スポーツ学術大会も控えており、競技現場も、研究現場も空前絶後の活況が期待されています。学会員の皆様におかれましても、さらなるご投稿をお待ちしております。

（編集委員長 眞鍋芳明）

陸上競技学会誌 第18巻（Vol.18, 2020）

2020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
