

目 次

◆原著論文

- 芝とアスファルトにおける長距離走トレーニングが生理学的変数とパフォーマンスに及ぼす影響…………… 1
清野純一, 仲村 明, 野坂和則, 鯉川なつえ
- 短距離走の初期加速における腕振りが疾走動態に及ぼす影響 …………… 11
豊嶋陵司
- 外的負荷とステップ距離がステップクリーンエクササイズ中の下肢の負荷特性に与える影響…………… 21
林 陵平, 吉田拓矢, 荻山 靖

◆研究資料

- 陸上競技男子 5000m 走における記録更新を目的としたレース分析
—国際レベルと国内レベルのレースを対象に—…………… 31
黒崎渥矢, 山手勇一, 関星汰朗, 小林哲郎, 黄 仁官
- 走幅跳の踏切における鉛直地面反力および位置座標から算出した鉛直速度の比較…………… 39
福地修也, 杉浦澄美, 石川稜将, 植松倫理, 木越清信

◆事例報告

- 棒高跳初心者のためのトレーニング手順の考案
—男子大学生を対象として—…………… 47
石川稜将, 木越清信
- U20 男子砲丸投日本トップレベル競技者における投法変更による短期間での成功事例について…………… 55
小林志郎
- 短期間反復型高地トレーニングに対する酸化ストレス指標を用いたコンディション評価に関する事例研究
—日本人一流長距離走選手 2 名を対象として—…………… 65
谷口耕輔, 橋本 峻, 杉田正明

◆日本陸上競技学会第 23 回大会

- 基調講演…………… 75
森丘保典
- 傍聴記（大会 1 日目）…………… 84
佐藤淳哉
- 傍聴記（大会 2 日目）…………… 88
郷内 翔

◆日本陸上競技学会会則	90
◆陸上競技学会誌 投稿規程	91
◆陸上競技学会誌 執筆要項	92
◆日本陸上競技学会 学会賞・優秀発表賞規程	95

芝とアスファルトにおける長距離走トレーニングが 生理学的変数とパフォーマンスに及ぼす影響

清野純一¹⁾, 仲村 明²⁾, 野坂和則³⁾, 鯉川なつえ²⁾

Effects of long-distance running training
on grass and versus asphalt on physiological and performance variables

Junichi SEINO¹⁾, Akira NAKAMURA²⁾, Kazunori NOSAKA³⁾, Natsue KOIKAWA²⁾

Abstract

Long-distance running training is performed on various surfaces such as track, grass, and asphalt. It is possible that the burden on the body is different among the running surfaces. Therefore, this study compared the effects of grass versus asphalt surface on physiological and performance variables in long-distance running training.

Fourteen male student long-distance runners ran 20 km on grass and asphalt (0 to 15 km at sub-maximal pace and 15 to 20 km at maximum pace) on a different day. The time, heart rate, subjective exercise intensity and running motion were recorded during the 20-km run, and blood lactate concentration and other blood parameters, concentric knee extension-flexion muscle strength, and muscle pain were measured before and after the run. The results showed that haptoglobin decreased ($P<0.05$) after one hour and 24 hours of 20 km running on both grass and asphalt similarly. The 20 km run times were significantly faster on asphalt than grass fields. However, the mean and maximum heart rates from 0 km to 15 km in a submaximal pace were significantly higher for grass field (174.50 ± 7.12 beats/min, 182.93 ± 6.33 beats/min) than for asphalt field (168.60 ± 7.99 beats/min, 177.93 ± 8.95 beats/min). At 15 to 20 km at maximum pace, the stride and pitch on grass fields were significantly lower than those on asphalt fields, and ground contact time and dwell time were significantly longer. Concentric knee extension-flexion muscle strength was significantly lower on the asphalt field after the 20-km run, but blood lactate concentration, subjective exercise intensity, and muscle soreness did not differ due to the running surface.

These findings suggest that long-distance running on a grass field reduces lower limb muscle weakness, increases the cardiorespiratory load at a submaximal pace, and influences maximum pace running.

キーワード：長距離走トレーニング, アスファルト, 芝, 血液性状, 心拍数

1. 緒 言

長距離走のトレーニングはトラック、芝およびアスファルト等のさまざまな走行面において行われている。仮に同じ距離を走ったとしても、走行面のタイプによって生体にかかる負担は異なると考えられる。

運動による負荷は、血管内容血を引き起こすことが報告されている (Davidson et al.,1987; Lijen et al.,1987; Miller et al.,1988) が、その血管内容血に影響を及ぼしているものは、筋肉内で産出される乳酸 (弘, 1982; 伊藤ほか, 1986), 脾臓から出されるリゾレシチン (白木, 1968) などの化学的要因と、赤血球の毛細血管壁との摩擦の増加 (Broun,1922; Broun,1923), 地面に着地した時に身体、特に足底にかかる衝撃 (Miller et al.,1988; 吉見ほか, 1991), および筋収縮による赤血球の圧縮 (George et al.,1986) などの物理的要因が考えられると報告されている (塚中ほか, 1997)。

ランニングによって生じる血管内容血に関しては、重要なメカニズムは足への強い衝撃によるものとされ (Miller et al.,1988; Telford et al.,2003), トレーニング量の増加 (Deitrick, 1991) や、柔らかいソールのシューズと比較して硬いソールのシューズでは血管内容血が顕著に発生する (Dressendorfer et al.,1992) といわれている。Janakiraman et al. (2011) は芝とアスファルトにおける約 7 分 /km ペースでの 1 時間のランニング後の血液サンプルから、芝でのランニングのほうがアスファルトよりも多くの血管内容血の可能性あることを報告している。一方で, Peeling et al. (2009) は芝とアスファルト間での血管内容血の違いは、約 4 分 20 秒 /km ペー

1) 帝京科学大学 Teikyo University of Science

〒120-0045 東京都足立区千住桜木 2-2-1

2) 順天堂大学スポーツ健康科学部 Juntendo University Faculty of Health and Sports Science

〒270-1695 千葉県印西市平賀学園台 1-1

3) School of Medical and Health Sciences Edith Cowan University School of Medical and Health Sciences Edith Cowan University
270 Joondalup Drive, Joondalup WA 6027. AUSTRALIA

スで 10km 走った場合には差がなかったが、芝で 1km を 3 分 35 秒で 10 回繰り返すインターバル走後では、より多くの血管内容血が生じることを示し、走行面のタイプよりも走速度が血管内容血に影響を与えると報告している。

Pinnington and Dawson (2001a, b) は砂浜のランニングコストは芝に比べ約 40% 高かったと報告し、ランニングコストの違いは走行面の衝撃吸収性が筋肉や腱に影響を与えているためだと推測している。また Tessutti et al. (2010) は、芝とアスファルトで足底にかかる圧力を比較し、芝に比べてアスファルトでのランニングでは接地時の足底の接触面積が後中足部で 14% 小さくなり、接地時間が足底の 5 つのエリアで 2 ~ 14% 短かったと報告している。さらに、Tessutti et al. (2012) は 47 人のレクリエーションランナーの芝とアスファルトの異なる走行面でのランニング中の足底にかかる圧力分布を測定し、芝ではアスファルトよりも足底圧が前足部で 7 ~ 14%、後足部で 10 ~ 19% 低いことを示した。これらのことから、芝でのランニングは骨格筋へのストレスを軽減できるため、長距離走のトレーニングに適していると思われる。

走行面の硬さによって接地時間、接地時の足関節の底背屈角度、および角速度が異なることは、他の研究でも示されている (Dixon et al., 2000 ; Hardin et al., 2004)。Freris et al. (1999) は 6 人のレクリエーションランナーのランニング中の脚のスティフネスは、柔らかいラバー上と比較して硬いラバー上で 29% 低く、骨格筋に対する負担は硬いラバー上でのランニングがより大きいことを報告している。また、ランニングにおける筋力へのダメージについて Chevrolet et al. (1993) は、フルマラソンとハーフマラソンでのレース後に下肢の筋力パワーが低下することを報告している。さらに Chen et al. (2009) は、日頃から運動を実施している男性に下りのトレッドミルでランニングをさせた実験において、数日間アイソメトリック伸展筋筋力が低下し、CK が増加し続けたことを報告し、筋力の長期間の低下は、CK の増加および筋損傷に関連性があるとしている。

しかしながら、芝とアスファルトの異なる走行面における影響に関する研究の見解は一致しておらず (Dixon et al., 2000 ; Tessutti et al., 2012)、ランニングを繰り返すことによる累積的な筋損傷のリスクについてはさらなる調査が必要 (Peeling et al., 2009) とされている。

競技レベルの高いランナーは日頃からさまざまな走路でトレーニングを行っており、週間あるいは月間走距離は一般のレクリエーションランナーとは比較にならないほど多い。それにもかかわらず、これまでの走路の違いに着目した多くのランニング研究では、実際のランナーのトレーニング強度よりも低く設定されている。そのため、競技レベルの高いランナーが、日常的なトレーニング

を異なる走路面で実施したとき、生理学的変数やランニングパフォーマンスにどのような違いがあるかは明らかにされていない。これらを明らかにすることは、長距離ランナーの怪我の予防やトレーニングの立案に意義があると思われる。日頃から激しいトレーニングを実施しているランナーであっても、芝とアスファルトでのランニングでは生理学的変数が異なり、パフォーマンスに影響すると仮説をたてた。

そこで本研究の目的は、よくトレーニングを積んだ男子学生長距離ランナーを対象に、芝とアスファルトの両走行面で長距離走トレーニングをした際の、生理学的変数およびパフォーマンスに与える影響について比較、検討することであった。

2. 方 法

2.1 被験者

被験者は、週 6 日、1 日 2 回の頻度でトレーニングを実施し、少なくとも週 150km 以上のランニングを実施している男子学生長距離ランナー 14 名であった。被験者の 5000m のベスト記録は 14 分 15 秒 87 から 15 分 39 秒 99 であり、その平均は 14 分 46 秒 77 $\pm$ 24 秒 02 であった。平均年齢は 20.4 $\pm$ 0.8 歳、平均身長は 170.5 $\pm$ 5.9cm、平均体重は 56.8 $\pm$ 5.5kg であった。被験者にはあらかじめ本実験の目的、方法ならびに危険性を説明し参加の同意を得た。なお、本研究は順天堂大学スポーツ健康科学部研究等倫理委員会の承認を得て実施した (順大院ス倫第 24-139 号)。

2.2 実験デザイン

全ての被験者は、日をあけて芝の走行面 (以下、芝) とアスファルトの走行面 (以下、アスファルト) の両方で 20km 走を実施した。被験者を 5000m 走のベストタイムが同等になるよう 7 名ずつの 2 グループに分け、芝またはアスファルトで同一日時にランニングさせ、1 週間あけて走行面を変えるクロスオーバー実験とした。20km 走のコースは、両走行面に差が出ないよう平坦な周回 (1 周 666m) とした。Peeling et al. (2009) は、走行面を比較した研究においてランニングパフォーマンスに差異が出にくい最大酸素摂取量の 75% から 80% 強度にしていたことから、本研究においてもスタートから 15km までを被験者の 5000m のベストタイムから 80% 相当の走速度である 3 分 40 秒 /km で規定 (以下、最大下ベース) した。15km から 20km までは被験者の全力 (以下、全力ペース) とし、スポーツ現場で実施されているトレーニング強度になるよう設定した。

被験者には、2 回の実験においてそれぞれが日頃から履き慣れたシューズを使用させたため、被験者間のシューズは統一しなかった。なお、被験者のシューズは全員カーボンプレートが搭載されていない軽量の薄底

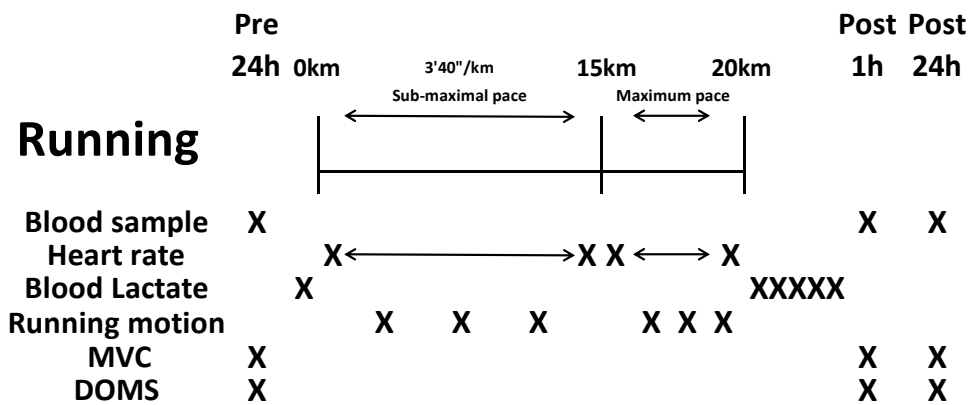


Figure 1. Measurements protocol
MVC: maximal voluntary contraction
DOMS: delayed onset muscle soreness

シューズであった。クロスオーバー試験のため、同一被験者は同じシューズを着用しており、データ取得上の問題はなかった。

測定項目は血液、20km 走のタイム、心拍数、血中乳酸濃度、走動作、膝伸筋群と屈筋群の最大筋力（ピークトルク）および主観的運動強度と筋肉痛に関する調査であった（Fig 1）。

2.3 測定方法

(1) 血液分析

20km 走の24時間前（以下、事前値）、1時間後、24時間後に血液検査をおこなった。測定項目は、血管内容血の指標としてハプトグロビン、筋損傷マーカーとしてクレアチンキナーゼ（CK）、運動性貧血マーカーとしてヘモグロビン、ヘマトクリット、鉄、フェリチンとした。血液分析はSRL株式会社に委託した。なお、各検査項目の基準値はCK 50～250U/L、ハプトグロビン 19～170mg/dL、ヘモグロビン 13.5～17.6g/dL、ヘマトクリット 39.8～51.8%、鉄 45～200μg/dL、フェリチン 13～277ng/mLであった。

(2) 20km 走中のランニングパフォーマンスの測定

20km 走中の心拍数はハートレートモニター（RS400, POLAR）を用いて、5秒間隔で記録した。記録された心拍数は、最大下ペースの0kmから15kmおよび全力ペースの15kmから20kmの2つに分類し、各最高心拍数と平均心拍数を算出した。

血中乳酸濃度は簡易血中乳酸測定器（Lactate Pro, ARKRAY）を用いて20km 走直前（以下、事前値）と、20km 走後2分、5分、10分、15分、20分に測定した。

走行面における走動作を比較するために、側方からハイスピードカメラ（EXILIM EX-F1, CASIO）を用いて毎秒300コマで撮影した。撮影地点の走路上に8m間隔でマーカーを設置し、その区間の走動作の撮影を行った。その映像をもとに、Quick Time Pro（Apple 社製）を使用し

てフレーム数をカウントすることにより、マーカー間に要した時間を算出した。ピッチは1歩時間の逆数であることから、1歩に要する時間を同様に算出することにより、ピッチを算出した。ストライドは走速度をピッチで除すことにより求めた。足部が地面と接した瞬間を接地時、地面から離れる瞬間を離地時とし、接地時から離地時を接地期とした。離地時から逆脚が接地するまでを滞空期とした。そして、それぞれに要した時間を接地時間、滞空時間と定義した。

下肢筋力の変化を評価するために等速性筋力測定装置（Biodex system3, BiodexMedical, USA）を用いて、膝伸筋群と屈筋群の最大筋力（ピークトルク）を測定した。本研究においては各測定（血液、心拍数ほか）の項目が多かったこと、また20km 走後の被験者の疲労および負担を考慮して、膝関節のみの測定とした。アイソメトリック（等尺性）トルクならびコンセントリック（求心性）トルクを、20km 走の24時間前（以下、事前値）、1時間後、および24時間後の3回測定した。アイソメトリック伸展、屈曲筋力は膝関節の角度を60度とし、右足の伸展、屈曲ともに5秒間全力でおこなわせた。測定は1分間の休息をはさんで各2回実施し、記録のよい試技を最大トルク値として採用した。コンセントリック伸展、屈曲筋力の角速度は被験者の疲労および負担を考慮して180度/秒のみの測定とし、右足の一連の往復動作を全力で3回おこない、記録の最もよい試技を最大トルク値として採用した。

20km 走による主観的運動強度と筋肉痛の判定には、数学的あるいは技術的な専門用語に精通していないアスリートが評価しやすいCategory-Ratio scale (CR-10)を用いた（Borg, 1982）。被験者は20km 走直後に0（何も感じない）から10（非常にきつい）まで記載されたボードを用いて、最も当てはまるものに印をつけた。また自作のアンケート用紙を用いて、運動後に大腿前面、大腿後面および下腿後面における筋肉痛と筋疲労の程度を0（全くない）から4（非常にある）までの5段階で評価させた。

2.4 統計処理

血液、走動作、血中乳酸濃度、膝伸展筋群と屈筋群の最大筋力および主観的運動強度と筋肉痛の調査における走行面と時間による差の比較には、二元配置の分散分析および多重比較検定（Bonferroni 法）を用いた。20km 走中のタイム、心拍数および主観的運動強度の 2 つの条件間の比較は対応のある t-test を用いた。これらの危険率は 5%とし、すべての値は Mean $\pm$ SD で示した。

3. 結 果

3.1 血液

芝およびアスファルトにおける事前値の CK に差はなかった。また CK は、事前値と比較して 20km 走 1 時間後に芝 ($p<0.001$) とアスファルト ($p<0.01$) とともに有意に上昇したが、走行面による差はみられなかった (Table1)。

ハプトグロビンは事前値と比較して、芝で 20km 走 1 時間後 ($P<0.001$) と 24 時間後 ($p<0.05$) に有意に低下した。アスファルトにおいても同様に、1 時間後と 24 時間後に有意 ($p<0.001$) に低下したが、走行面の違いによる差はみられなかった。

なお、ヘモグロビン、ヘマトクリット、Fe およびフェリチンは事前値に比べ 20km 走後に有意な変動がみられたが、両走行面ともに同様の傾向を示し、走行面による違いはみられなかった (Table1)。

3.2 20km 走行中のランニングパフォーマンス

実験当日の気温と湿度は、1 回目は芝 19.1℃、43%、アスファルト 20.0℃、46%であり、2 回目は、芝 18.3℃、60%、アスファルト 23.0℃、40%であった。

最大下ペースの 15km までのタイムは、芝が 56 分 01 秒 $\pm$ 42 秒、アスファルトが 54 分 48 秒 $\pm$ 01 秒で有意 ($p<0.001$) にアスファルトが速かった。全力ペースの 15km から 20km までのタイムも、芝が 18 分 38 秒 $\pm$ 1 分 15 秒、アスファルトが 17 分 00 秒 $\pm$ 1 分 02 秒であり有意 ($p<0.001$) な差がみられた。

平均心拍数は、最大下ペースの 0km $\sim$ 15km において芝が 174.50 $\pm$ 7.12 拍/分、アスファルトが 168.60 $\pm$ 7.99 拍/分であり、芝の方が有意 ($p<0.001$) に高かった。全力ペースの 15km $\sim$ 20km では芝 (181.71 $\pm$ 9.91 拍/分) とアスファルト (183.79 $\pm$ 10.64 拍/分) に差はみられなかった。最高心拍数は、最大下ペースの 0km $\sim$ 15km において芝が 182.93 $\pm$ 6.33 拍/分、アスファルトが 177.93 $\pm$ 8.95 拍/分であり芝の方が有意 ($p<0.001$) に高かった。全力ペースの 15km $\sim$ 20km では芝 (186.36 $\pm$ 10.37 拍/分) とアスファルト (189.36 $\pm$ 10.26 拍/分) に有意な差はみられなかった (Fig 2)。

血中乳酸濃度は、20km 走 2 分後が最も高く (芝 9.99 $\pm$ 5.37mmol/L, アスファルト 8.92 $\pm$ 3.11mmol/L), 5 分後 (芝 7.66 $\pm$ 4.11mmol/L, アスファルト 7.91 $\pm$ 3.81mmol/L), 10 分後 (芝 6.23 $\pm$ 2.36mmol/L, アスファルト 6.26 $\pm$ 2.84mmol/L), 15 分後 (芝 5.15 $\pm$ 3.11mmol/L, アスファルト 5.41 $\pm$ 2.37mmol/L), および 20 分後 (芝 4.51 $\pm$ 1.59mmol/L, アスファルト 4.93 $\pm$ 2.01mmol/L) であり、時間とともに低下した。走行面による差はみられなかった (Fig 3)。

20km 走中の走速度、ストライド、接地時間および滞空時間は、最大下ペースの 0km $\sim$ 15km の各地点において芝とアスファルトに差はみられなかった。しかし、ピッチは 12km 地点でアスファルトに比べ芝が有意

Table 1. Hematological states

		Pre	1h-Post	24h-Post
CK	Grass	276.1 $\pm$ 123.0	382.1 $\pm$ 169.7	624.6 $\pm$ 468.1 ***
	(U/L) Asphalt	270.4 $\pm$ 111.4	392.9 $\pm$ 212.2	578.6 $\pm$ 455.5 **
Haptoglobin	Grass	37.6 $\pm$ 29.1	23.4 $\pm$ 27.4 ***	33.1 $\pm$ 26.2 *
	(mg/dL) Asphalt	38.3 $\pm$ 26.4	19.1 $\pm$ 20.1 ***	27.6 $\pm$ 18.0 ***
Hemoglobin	Grass	15.1 $\pm$ 1.0	15.5 $\pm$ 0.8 **	15.0 $\pm$ 0.7
	(g/dL) Asphalt	15.2 $\pm$ 0.7	15.6 $\pm$ 0.8 **	15.0 $\pm$ 0.8
Hct	Grass	46.5 $\pm$ 2.9	46.9 $\pm$ 2.1	45.6 $\pm$ 1.9 *
	(%) Asphalt	46.6 $\pm$ 2.0	47.4 $\pm$ 2.5	45.7 $\pm$ 2.3 *
Fe	Grass	176.0 $\pm$ 63.3	164.1 $\pm$ 41.8	131.9 $\pm$ 56.6 **
	(μ g/dL) Asphalt	162.6 $\pm$ 38.2	170.2 $\pm$ 32.4	115.6 $\pm$ 36.0 ***
Ferritin	Grass	41.2 $\pm$ 14.9	54.2 $\pm$ 19.7 ***	45.3 $\pm$ 17.6 *
	(ng/mL) Asphalt	40.4 $\pm$ 13.9	51.1 $\pm$ 17.2 ***	41.1 $\pm$ 16.2

* : $P<0.05$, ** : $P<0.01$, *** $P<0.001$ vs. pre24h .

NS: no significant for Grass vs. Asphalt.

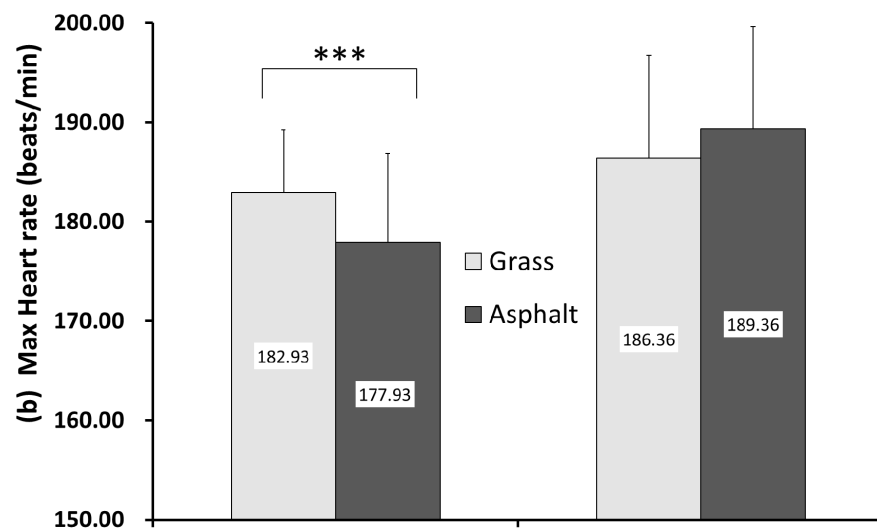
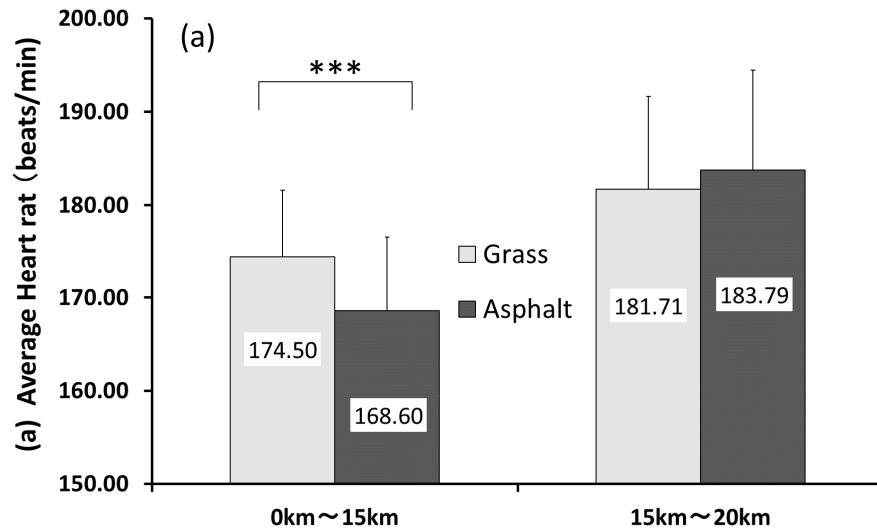


Figure 2. Heart rate data of (a) average , and (b) max .
***: $P < 0.001$ for grass vs. asphalt .

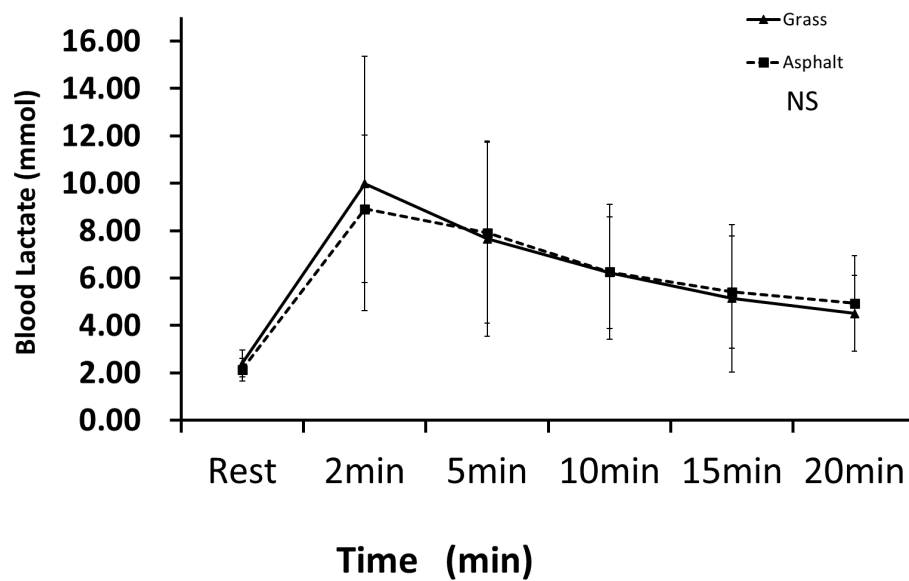


Figure 3. Blood Lactate data
NS: no significant for Grass vs. Asphalt.

($p<0.01$) に低下した。走速度は、全力ペースの 15km ~ 20km において、16km ($p<0.001$) と 19.3km ($p<0.05$) 地点でアスファルトに比べ芝が有意に遅かった。また、ストライドは 16km 地点でアスファルトに比べ芝が有意 ($p<0.001$) に短縮し、ピッチも芝は 19.3km 地点で有意 ($p<0.05$) に低値を示した。接地時間は、16km ($p<0.001$)、18km ($p<0.01$)、19.3km ($p<0.05$) 地点においてアスファルトに比べ芝が有意に延長し、滞空時間も 16km ($p<0.001$)、18km ($p<0.05$) 地点において芝は有意に短縮した (Fig4)。

アイソメトリック膝伸展筋力と屈曲筋力およびコンセントリック膝伸展筋力と屈曲筋力の事前値は、走行面による差はなかった。また、アイソメトリック膝伸展筋力は、事前値と比較して 20km 走 1 時間後に芝 ($167.9 \pm 25.3\text{Nm}$) とアスファルト ($162.9 \pm 20.7\text{Nm}$) とともに有意 ($p<0.05$) に低下したが、走行面による差はみられなかった。アイソメトリック屈曲筋力は事前値と比較して時間および走行面による有意な差はみられなかった。コンセントリック膝伸展筋力は事前値と比較して 20km 走 1 時間後にアスファルト ($107.2 \pm 13.2\text{Nm}$) で有意 ($p<0.05$) に低下した。コンセントリック膝屈曲筋力も、事前値と比較して 20km 走 1 時間後にアスファルト ($68.1 \pm 11.6\text{Nm}$) で有意 ($p<0.05$) に低下した (Fig5)。

20km 走直後の主観的運動強度 (CR10) は芝が 8.57 ± 1.28 、アスファルトが 8.36 ± 1.08 であり、両走行面ともに「かなりきつい」から「非常にきつい」の間に該当し、差はなかった。また筋肉痛と筋疲労に関するアンケートは、芝とアスファルトともに事前値と比較して、20km 走 1 時間後と 24 時間後において大腿前面、大腿後面および下腿後面で有意な増加を示したが、いずれも走行面による差はなかった (Table2)。

4. 考 察

4.1 血液性状

ランニング中に足が地面に接地する際に加わる力と血管内容血の量には関連性があると考えられており、血管内容血の指標とされるハプトグロビンは、接地の衝撃によって低下する (Miller et al., 1988; Telford et al., 2003)。そして、運動強度が増大すれば接地時の地面反力が高まり、より多くの血管内容血が生じる可能性が示唆されている。また、O'toole et al., (1988) は 2 つの異なる距離のトライアスロンで血管内容血に関する研究を行ったところ、ハプトグロビンの減少率は短い距離のレースでは 20% だったのに対し長い距離のレースでは 32% であり、血管内容血はレースの距離の長さに関連すると報告している。本研究は日々のトレーニングに近い運動強度と走距離で実験をおこなったが、芝とアスファルトともにハプトグロビンが有意に低下した。このことから、長距離走トレーニングは、走行面に関係なく日常的に血管内

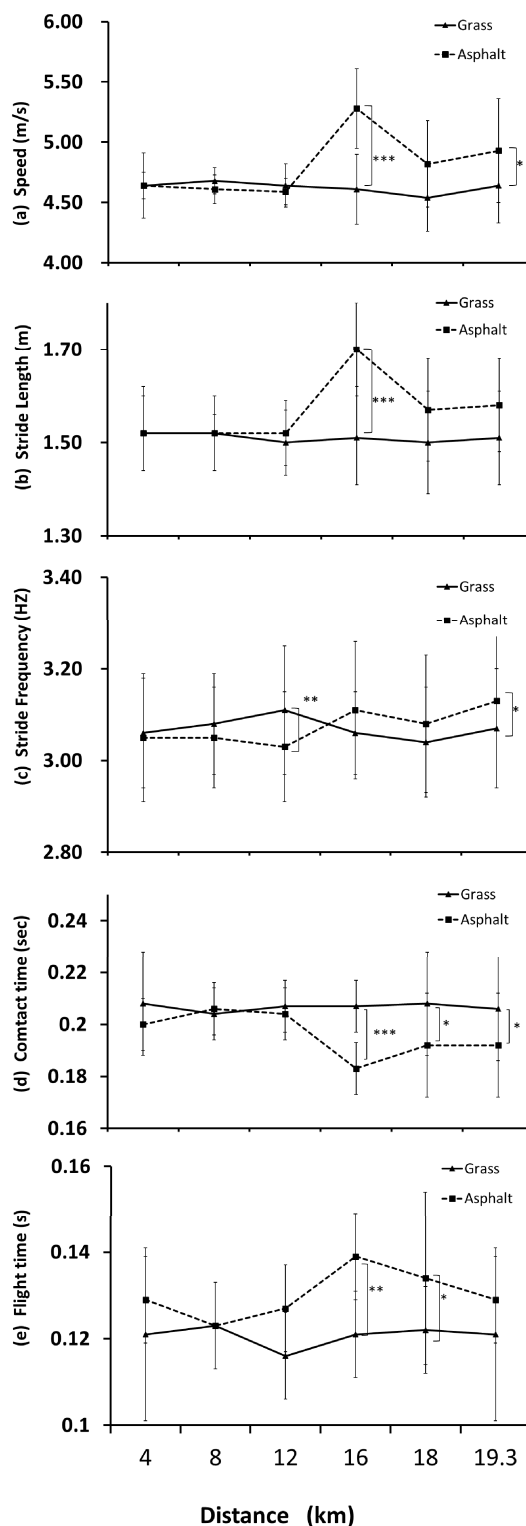


Figure 4. Running motion data (a) Speed , (b) Stride Length , (c) Stride Frequency , (d) Contact time , (e) Flight time. *: $P<0.05$, **: $P<0.01$, ***: $P<0.001$ for Grass vs. Asphalt.

溶血が発生することが示唆された。また、硬いソールのシューズは柔らかいソールのシューズに比べ、ランニング後のハプトグロビンの変化が顕著であると報告されている (Dressendorfer et al., 1992; Falsetti et al., 1983)。本

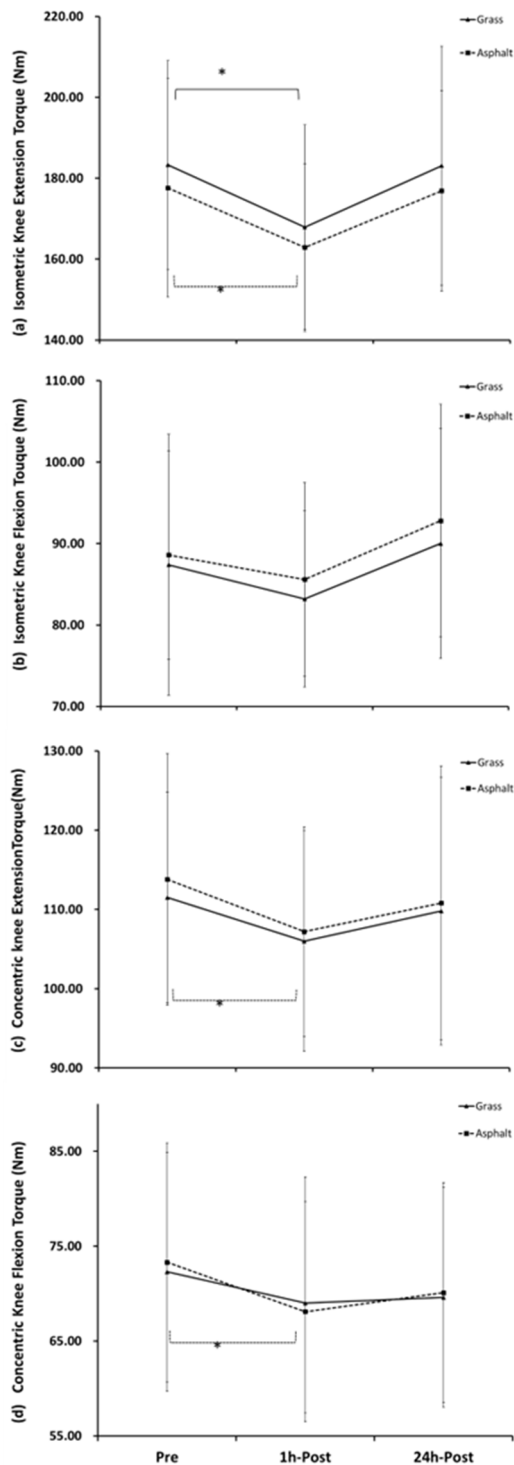


Figure 5. Perk torque of (a)Isometric knee extension, (b)Isometric knee flexion, (c)Concentric knee extension, (d)Concentric knee flexion. *:P<0.05 , for Grass vs. Asphalt.

研究の被験者は、芝とアスファルトの両方で、カーボンプレートが搭載されていない薄いソールの軽量シューズを使用した。昨今、多くのランナーが使用している厚底シューズは、高いクッション性と反発性を備えているため、血管内容血の予防に寄与すると思われるが、膝関節周辺および股関節障害のリスクを増加させることが懸念

されており（丹治ほか，2023；植山ほか，2022），改めて検討する必要があるだろう。

4.2 ランニングパフォーマンス

芝とアスファルトの異なる走行面において20km走を実施した結果、最大下ペースと全力ペースともに芝よりもアスファルトの方がより走速度が速かった。特に最大下ペースの15kmまではペースを規定していたにも関わらず、主観的運動強度は同等であったがパフォーマンスに有意な差がみられ、芝はアスファルトに比べ平均心拍数と最高心拍数が有意に高かった。これらのことから、芝での長距離走トレーニングはアスファルトに比べ主観的努力度を高める必要があり、それにより心肺機能への負荷がより高くなることが示された。

全力走とした15km～20kmにおいても、芝では走速度は有意に遅くなり、ストライドは有意に短く、ピッチは有意に減少した。また、芝では接地時間と滞空時間が有意に長かった。榎本（2004）は、長距離走者に一定ペースでの4000m走を最大努力でおこなわせ、疲労による走速度低下に関係するバイオメカニクスの要因を明らかにしている。その結果、疲労時には下肢三関節のステイフネスは減少し、接地時の衝撃力を膝関節トルクで緩衝できなくなることにより、走動作の変容が生じていたことを報告している。また、レース後半の疲労局面で走速度を維持するうえでは股関節伸展・屈曲トルクを大きくすることも重要だと示唆している。本研究では、一般的に地面反力が小さい芝での長距離走において、15kmまでの最大下ペースで、すでに疲労が蓄積していたことから、そこからの全力走ペースで下肢三関節のステイフネスがアスファルトよりも低かったと推察される。それにより、15km～20kmの芝でのストライドおよびピッチが減少し、アスファルトよりも走速度が上がらなかった一要因であると考えられる。

Daniel（2004）は、心拍数は運動強度をコントロールするための指標であり、心拍数が上昇すれば、酸素摂取量および血中乳酸濃度も比例して上昇するため、これらは互いに重要な関わりを持っていると述べている。そのため、スポーツ現場で簡単に測定できる生理学的な指標として、心拍数は運動強度を推定するうえで重要な指標となる。Sassi et al.（2011）は8人のアマチュアサッカー選手を対象に、硬い走路と芝の走路で3つのスピードのパターンでランニングを実施したところ、スピードが上がるにつれて芝の方がランニングコスト、心拍数および酸素摂取量が増大し、ランニングエコノミーが低下してより大きなエネルギーが必要となることを報告している。本研究では、鍛えられた長距離ランナーであっても、芝はアスファルトに比べ最大下ペースにおける平均および最大心拍数が有意に高かったことから、今後は芝におけるランニングエコノミーの低下や、それに伴う疲労

Table 2. Survey of muscle soreness and muscle fatigue

		Pre	1h-Post		24h-Post	
Knee Extensors	Grass	1.3±0.8	2.4±0.9	***	2.1±0.7	**
	Asphalt	1.6±0.9	2.1±0.8	*	2.5±0.8	***
Knee Flexors	Grass	1.4±0.9	2.6±0.7	***	2.3±0.7	***
	Asphalt	1.6±0.9	2.1±1.0	*	2.2±1.1	**
Plantar Flexors	Grass	1.1±1.0	2.3±1.1	***	1.8±1.2	*
	Asphalt	1.4±1.1	2.4±1.3	***	1.9±1.3	*

Scale: 0 (Nothing at all) ~ 4 (Extremely strong)

* :P<0.05 , ** :P<0.01 , ***P<0.001 vs. pre24h .

NS: no significant for Grass vs. Asphalt.

の蓄積について研究する必要がある。

Sherman et al. (1984) は日頃から訓練を受けた男性ランナーのマラソンレース前後に、脚伸展パワーの測定を実施したところ、脚伸展ピークトルクに著しい低下を記録し、その低下は7日間たっても回復しなかったと報告している。さらにChen et al. (2009) はランニング後の筋力の長期間の低下は、CKの増加および筋損傷に関連性があるとしている。

しかしながら本研究において、CKは事前値と比較して20km走24時間後に芝とアスファルトのどちらも有意な上昇を示したが、走行面による差は認められなかった。また、アイソメトリック膝進展屈曲筋力は20km走1時間後に両走行面ともに低下する傾向があったが走行面の違いによる有意な差はなく、20km走24時間後にはほぼベースラインまで回復していた。しかしコンセントリック膝伸展屈曲筋力はアスファルトにおいて20km走1時間後に有意に低下したことから、アスファルトでは全力ペースで膝に負担がかかり、一時的に筋疲労があらわれたのではないかと考えられる。本研究における各筋力測定は、測定誤差をなくすため実験の2ヶ月前から被験者に定期的に測定練習を実施しており、得られたデータは十分に信頼できるものである。そのため、芝とアスファルトの異なる走行面でのランニングでは、アスファルトで一時的に筋力低下がみられたが、筋損傷には差はないと考えられた。その要因として、本研究に参加した被験者は日頃から高強度のトレーニングを実施している現役の長距離ランナーであったことが考えられる。これまでの先行研究の被験者は、一般のレクリエーションランナーや、球技の競技者であり、専門的で高強度のランニング経験がなかった。本研究の被験者は日頃から芝やアスファルトの走行面でトレーニングを積んでおり、疲労困憊の状態まで走ることに慣れていたため、トレーニングレベルの20km走では差がみられなかったと考えられる。しかし、マラソンランナーになると1回のトレーニングでの連続走行距離が30kmや40kmになる

ことも少なくない。Peeling et al. (2009) は、長距離競技者は激しいトレーニングの繰り返しによって起こる累積的なリスクについて、今後更に検討する必要があるとしており、本研究よりもランニングの距離が増加したり、走速度が上がったりした場合、走行面による違いがあらわれる可能性は否定できない。Milner et al. (2006) とPohl et al. (2009) は脛骨疲労骨折と足底筋膜炎の障害と接地時の衝撃に関係性を示し、その障害の増加は硬い走行面が影響する(Derrick et al., 2002)と報告している。実際に、Wang et al. (2012) は本研究と同様に、芝でのランニングはアスファルトに比較して接地時間が長いことを示している。また、アスファルトでは芝に比べて足底にかかる圧力が大きく衝撃が高いことから、骨格筋への障害リスクの増大につながるため、トレーニング強度を制御する場合には芝でのランニングが好ましいとされている(Tessutti et al., 2010 ; Tessutti et al., 2012)。本研究では、アスファルトにおいて一時的に下肢筋力の低下がみられたことから、トレーニングの質と量の増加に伴い、路面の硬さによる筋肉への影響とそれらから起こる傷害へのリスクを軽視することはできないだろう。

4.3 トレーニング現場への示唆

本研究において、芝とアスファルトでの長距離走トレーニングは、血液や筋肉に与える影響は同じであったが、芝はアスファルトに比べ走速度が上がりやすく、心肺機能への負荷が高くなることが明らかとなった。長距離走トレーニングは、環境の違いによって一定速度のランニングに必要なエネルギー量、すなわちランニングエコノミーに影響が出るため、走路の状況によっては同等のスピードが必要であるとは限らず、例えば悪路の場合にペースが遅くなっても生理学的な条件を満たすことができる(Daniels, 2004)。つまり、芝はアスファルトよりも少ない走行距離で心肺機能に対するトレーニング効果が得られ、トレーニング量の軽減やトレーニング時間の短縮に役立つと考えられる。また、日々の累積的な血

管内溶血や下肢筋力の低下を考慮すると、芝での長距離走トレーニングは、筋肉へのダメージを抑え、怪我や障害および運動性貧血といったトレーニングの継続を妨げる要因を軽減し、効率的に高い運動強度でトレーニングを行うことができる可能性がある。したがって、トレーニング現場において走路面の選択は、長距離ランナーがよりよい成績を収めるために重要な要素であることが示唆された。

今後は、人工芝や砂走路などの比較や、厚底シューズと走行面の違いによる生理学的な応答についても検討する必要があるだろう。

5. 結 論

日頃から鍛えられた長距離ランナーは、芝とアスファルトで長距離走トレーニングをした際、両走行面ともに有意な血管内容血がみられ、走行面の違いによる差はみられなかった。また、アスファルトでは下肢筋力の低下がみられ、芝では最大下ペースで心肺機能への負荷が高まり、全力ペースのパフォーマンスに影響を与えることが示唆された。

文献

- Borg, G.A.V. (1982) Psychophysical base of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5) : 377-381.
- Broun, G. O. (1922) Blood destruction during exercise. I : Blood changes occurring in the course of a single day of exercise. *Journal of Experimental Medicine*, 36 : 96-108
- Broun, G. O. (1923) Blood destruction during exercise. II : Demonstration of blood destruction in animals exercised after prolonged confinement. *Journal of Experimental Medicine*, 37 : 113-130
- Chen, T. C., Nosaka, K., Lin, M. J., Chen, H. L., and Wu C. J. (2009) Changes in running economy at different intensities following downhill running. *Journal of Sports Science*, 27(11): 1137-1144.
- Chevrolet, J. C., Tschopp, J. M., Blanc, Y., Rochat T, and Junod, A.F. (1993) Alterations in inspiratory and leg muscle force and recovery pattern after a marathon. *Medicine Science Sports Exercise*, 25(4) : 501-507.
- Daniels, J. (2004) *Daniels' Running Formula*. New York: Human Kinetics.
- Davidson, R. J. L., Robertson, J. D., Galea. G., and Maughan, R.J. (1987) Hematological changes associated with marathon running. *International Journal of Sports Medicine*, 9(1): 56-60.
- Deitrick, R. W. (1991) Intravascular haemolysis in the recreational runner. *British Journal of Sports Medicine*, 25(4): 183-187.
- Derrick, T. R., Dereu, D., and McLean, S. P. (2002) Impacts and kinematic adjustments during an exhaustive run. *Medicine & Science in Sports*, 34(6):998-1002.
- Dixon, S. J., Collop, A. C., and Batt, M. E. (2000) Surfaces effect on ground reaction forces and lower extremity kinematics in running. *Medicine Science Sports Exercise*, 32(11): 1919-26.
- Dressendorfer, R. H., Wade, C. E., and Frederick, E. C. (1992) Effect of shoe cushioning on the development of reticulocytosis in distance runners. *American Journal of Sports Medicine*, 20(2): 212-216.
- 榎本靖士 (2004) 長距離走動作のバイオメカニクスの評価法に関する研究. 平成 15 年度筑波大学博士論文.
- 遠藤俊典・宮下 憲・尾縣 貢 (2008) 100m 走後半の速度低下に対する下肢関節のキネティクスの影響. *体育学研究*, 53 : 477-490.
- Falsetti, H. L., Burke, E. R., Feld, R. D., Frederick, E. C., and Ratering, C. (1983) Hematological variations after endurance running with hard and soft-soled running shoes. *Physician Sports Medicine*, 11(8): 118-124.
- Ferris, D.P., Liang, K., and Farley, C.T. (1999) Runners adjust leg stiffness for their first step on a new running surface. *Journal of Biomechanics*, 32(8): 989-994.
- George, B. S., and Edward R. E. (1986) Endurance swimming, intravascular hemolysis, anemia, and iron depletion: New perspective on athlete's anemia. *The American Journal of Medicine*, 81 : 791-794
- Hardin, E. C., Van Den Bogert, A. J., and Hamill J. (2004) Kinematic adaptations during running: effects of footwear, surface, and duration. *Medicine Science Sports Exercise*, 36(5): 838-844.
- 弘 卓三 (1982) 代謝性 acidosis による赤血球浸透圧脆弱性の研究. *体力科学*, 31 : 279-290.
- 伊藤 朗・栗林 徹・丹 伸介・福家理映子・堀 太平・石瀬まゆみ・金高仁美・井川幸雄 (1986) 運動性貧血に関する研究 物理的衝撃, 温度, 乳酸が赤血球膜浸透圧脆弱性に及ぼす影響. *筑波大学体育科学紀要*, 9: 181-193.
- Janakiraman, K., Shenoy, K., and Sandhu J.S. (2011) Intravascular haemolysis during prolonged running on asphalt and natural grass in long and middle distance runners. *Journal of Sports Sciences*, 29(12): 1287-1292.
- Lijen, P., Hespel, P., Fagard, R., Lysen, R., Eynde, E. V., Goris, M., Goossens, W., Liseens, W., and Amery, A. (1987) Indicators of cell breakdown in plasma of men during and after a marathon Race. *International Journal of Sports Medicine*, 9(2): 108-113.
- Miller, B. J., Pate, R. R., and Burgess, W. (1988) Foot impact

- force and intravascular hemolysis during distance running. *Journal of Sports Medicine*, 9(1): 56-60.
- Milner, C. E., Ferber R., Pollard C. D., Hamill, J., and Davis, I. S. (2006) Biomechanical factors associated with tibial stress fracture in female runners. *Medicine Science in Sports Exercise*, 38(2):323-8.
- O'Toole, M. L., Hiller, W. D., Roalstad, M. S., and Douglas, P. S. (1988) Hemolysis during triathlon races: Its relation to race distance. *Medicine Science in Sports Exercise*, 20(3): 272-275.
- Peeling, P., Dawson, B., Goodman, C., Landers, G., Wiegerinck, E. T., Swinkels, D. W., and Trinder, D. (2009) Training surface and intensity: Inflammation, haemolysis, and hepcidin expression. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(5): 1138-1145.
- Pinnington, H. C., and Dawson, B. (2001a) Running economy of elite surf iron men and male runners, on soft dry beach sand and grass. *European Journal Applied Physiology*, 86(1): 62-70.
- Pinnington, H. C., and Dawson, B. (2001b) The energy cost of running on grass compared to soft dry beach sand. *Journal of Science and Medicine in Sports*, 4(4): 416-430.
- Pohl, M. B., Hamill, J., and Davis, I. S. (2009) Biomechanical and anatomic factors associated with a history of plantar fasciitis in female runners. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 19: 372-376.
- Sassi, A., Stefanescu, A., Menaspa, P., Bosio, A., Riggio, M., and Rampinini, E. (2011) The cost of running on natural grass and artificial turf surfaces. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(3): 606-611.
- Sherman, W., Armstrong, L. E., Murray, T. M., Hagerman, F. C., Costill, D. L., Staron R. C., and Ivy, J. L. (1984) Effect of a 42.2km foot race and subsequent rest or exercise on muscular strength and work capacity. *Journal Applied Physiology*, 57: 1668-1673.
- 白木恵三 (1968) 運動性貧血に対する脾臓の役割. *日本生理誌*, 30 : 96-108.
- 丹治史弥・栗原 俊・西出仁明・両角 速・山田 洋・宮崎誠司 (2023) カーボンファイバープレート内臓厚底ランニングシューズによるランニングエコノミーへの影響. *ランニング学研究*, 34(1・2) : 1-12.
- Telford, R. D., Sly, G. J., Hahn, A. G., Cunningham, R. B., Bryant, C., and Smith, J. A. (2003) Foot strike is the major cause of haemolysis during running. *Journal of Applied Physiology*, 94(1): 38-42.
- Tessutti, V., Trombini-Souza, F., Ribeiro, A. P., Nunes, A. L., and Sacco, I. C. (2010) In-shoe plantar pressure distribution during running on natural grass and asphalt in recreational runners. *Journal of Science and Medicine in Sports*, 13(1): 151-155.
- Tessutti, V., Ribeiro, A. P., Trombini-Souza, F., and Sacco, I. C. (2012) Attenuation of foot pressure during running on four different surfaces: asphalt, concrete, rubber, and natural grass. *Journal of Sports Sciences*, 30(14): 1545-1550.
- 塚中敦子・松井信夫・梅村義久・石河利寛 (1997) 血漿乳酸濃度の上昇が血管内溶血に及ぼす影響. *体力科学*, 46 : 399-404.
- 植山健裕・筒井俊春・上久保利直・後藤晴彦・鳥居 俊 (2022) 男性長距離走選手の厚底シューズの着用がランニング障害に及ぼす影響. *日本臨床スポーツ医学誌*, 30(3) : 758-763.
- Wang, L., Hong, Y., Li, J. X., and Zhon, J. H. (2012) Comparison of plantar loads during running on different overground surfaces. *Research in sports Medicine*, 20(2): 75-85.
- 吉見浩二, 春日井淳夫, 清野哲也, 田崎洋佑, 伊藤 朗 (1991) 運動時の物理的衝撃が赤血球膜浸透圧脆弱性に及ぼす影響. *臨床スポーツ医学*, 8(2) : 185-191.

短距離走の初期加速における腕振りが疾走動態に及ぼす影響

豊嶋陵司¹⁾

The influence of arm swing on kinematics during the initial acceleration phase in sprint running

Ryoji TOYOSHIMA¹⁾

要旨

本研究は、短距離走の初期加速における腕振りの役割を検討するために、腕振りが1歩ごとの疾走動態に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。14名の女子大学生（年齢 20.2 ± 1.1 歳、身長 1.58 ± 0.06 m、体重 52.5 ± 3.5 kg）を対象に、10mの全力疾走を、通常条件（Arm）および腕振り動作を制限した条件（Non-arm）で行わせた。その際の1歩目から4歩目までの疾走速度、ピッチ、ストライド等のステップパラメータに対して、二要因分散分析（歩数×条件）を行った。結果として、10mタイムはArmの方が有意に短く、疾走速度は1歩目から4歩目までの全てにおいて、Armの方が有意に高値であった。ピッチは、1歩目のみArmの方が有意に低値であった。ストライドは、1, 3, 4歩目においてArmが有意に高値であった。離地距離および離地時の重心角度は、交互作用はみられなかったが条件間の主効果が有意であり、ArmがNon-armよりも離地距離は高値、離地時の重心角度は低値であった。以上の結果から、初期加速における腕振り動作は、1歩目から疾走速度を高め、離地時には、身体の前傾を維持させて離地距離を長くすることでストライドを大きくする役割があることが示唆された。

キーワード：スプリント走、上肢、疾走速度、ピッチ、ストライド

1. 緒言

短距離走は、様々なスポーツにおいて基本となる運動の1つである。疾走する速度そのものを競う陸上競技の短距離種目だけでなく、サッカー、野球、ハンドボールなど、多くの球技スポーツにおいても、短距離走能力が高いことは競技を有利に進める要素となり得る。このことから、短距離走能力を高める要因を明らかにするために様々な研究が行われてきた。その多くは、下肢の動作や力発揮に関するものである。一方で、疾走に関するトレーニング場面においては、腕振り動作に着目されることもある。陸上競技指導教本の短距離走に関する内容（小池, 2013）では、腕振り動作のポイントとして、リズム感を大切にすることや、力まずに肩甲骨あたりから振るイメージで行うことが挙げられている。つまり、スポー

ツの実践において、短距離走能力向上のために腕振り動作は無視できるものではないといえる。

疾走における腕振り動作の役割は、これまでの研究によって検証されてきた。Hinrichs et al. (1987a) や Hinrichs (1987b) は、最大下の速度における腕振り動作の役割として、身体重心の上向きの運動量に貢献することや、下肢の角運動量を相殺することを示している。短距離走においては、通常の疾走と上肢を固定して腕振り動作を行わない疾走を比較することで、腕振り動作の役割が検討されてきた。腕振り動作を行わなかった場合、笠井（1982）は50m付近のストライドが低下したことを報告している。辻本ほか（2009）も同様に、腕振り動作を行わなかった場合は40 – 50m付近のストライドが低下し、疾走動作としては股関節の伸展角度および角速度が減少したことを報告している。前田・三木（2010）は、腕振り動作を行わなかった場合は30m付近のピッチおよびストライドがともに低下し、離地距離が減少したことを報告している。さらに、豊嶋・桜井（2019）は、腕振り動作を行う通常疾走の力学的な分析から、40 – 50m付近における腕振り動作は、身体を鉛直方向に加速させることで、短い接地時間で長い滞空時間を獲得し、ストライドを大きくする役割があることを示唆している。以上のことから、短距離走の30m以降という比較的速度が高まった局面においては、腕振り動作は下肢動作を変化させたり上方への力発揮に貢献したりすることにより、ストライドを増大する役割があることが、これまでの研究で明らかにされてきたといえる。

ここまで示したような、速度が高まった局面における研究以外に、動き出し直後の加速局面（以下、初期加速とする）における腕振り動作について分析した研究も散見される。Slawinski et al. (2010) は、競技レベルの異なる短距離選手を比較した結果から、クラウチングス

1) 愛知淑徳大学 Aichi Shukutoku University
〒480-1197 愛知県長久手市片平2丁目9

タートからの初期加速においては、腕振り動作が身体重心を前方へ移動させることに貢献していると述べている。Lockie et al. (2014) は、初期加速の腕振り動作における肩関節の可動域が歩幅の大きさと関係していることを示している。しかし、これらの研究は個人間の比較および相関関係の分析であることから、腕振り動作が疾走速度やストライドに及ぼす影響の因果関係を立証するには不十分である。一方で、Brooks et al. (2022) は、初期加速において腕振り動作を行わない疾走と通常の疾走を比較している。その結果として、陸上競技専門の対象者およびチームスポーツ専門の対象者ともに、腕振り動作を行わなかった場合は 10m の時点で疾走タイムが通常の疾走よりも遅くなったことを示している。また、Otsuka et al. (2016) は、肩甲骨をテーピングによって固定して疾走した場合、歩幅の減少によって 2m のスプリントタイムが遅くなったことを報告している。これらの研究から、短距離走においては、動き出し直後から腕振り動作が疾走速度を高めるために重要であるといえる。

初期加速は 1 歩ごとに疾走動態が大きく変化する (Nagahara et al., 2014b) ことから、腕振り動作の役割も 1 歩ごとに変化する可能性がある。しかしながら、そのようなことを検証した研究はあまりみられない。初期加速における腕振り動作の役割を 1 歩ごとに検討することにより、動き出し時に高い速度が求められる様々なスポーツの実践場面において、腕振り動作を行う意義が明確になると考えられる。以上のことから本研究では、短距離走の初期加速における腕振り動作の役割を検討するために、腕振りが 1 歩ごとの疾走動態に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

2. 方 法

2.1. 対象者

対象は、女子大学生 14 名 (年齢 20.2 ± 1.1 歳, 身長 1.58 ± 0.06 m, 体重 52.5 ± 3.5 kg) とした。各対象者が最も長く経験した専門競技を調査したところ、ソフトボールが 5 名, テニスおよび陸上競技がそれぞれ 2 名, バスケットボール, バトン, 卓球, 水泳, 剣道がそれぞれ 1 名であり、それらの競技歴は 3 年以上であった。実験時に運動部に所属していた対象者は 11 名であったが、陸上競技部に所属している者はいなかった。本研究は、愛知淑徳大学健康医療科学部倫理委員会の承認 (2023-8 号) を得たうえで実施した。対象者には、研究の目的、実験手順、リスク等を書面および口頭で事前に説明し、書面で実験参加の同意を得た。

2.2. 実験試技および測定方法

データ収集のための実験は、屋外の全天候型走路で実施した。スタート時の腕振り動作について言及している先行研究 (Slawinski et al., 2010) では、10m 走の 3 歩目

までを分析対象としていたことを参考に、本研究の実験試技は 10m 全力疾走とし、通常の疾走条件 (以下, “Arm” とする) および腕振り動作を制限した条件 (以下, “Non-arm” とする) を各 2 試技行わせた。Non-arm は、Brooks et al. (2022) の方法と同様に、両腕を胴体の前で交差させて手を逆側の肩付近に置くこととし、物理的な固定は行わなかった (図 1)。スタート姿勢は、両条件とも左右の足を前後に開いたスタンディング姿勢とし、静止状態から電子音 (NT7502, NISHI 社製) の合図でスタートさせた。なお、実験試技の前には十分なウォーミングアップおよび試技の練習を行わせた。特に、Non-arm については不慣れな動作であるため、最大努力での疾走ができることを練習で確認できてから試技を行わせた。4 試技の順序は、Arm と Non-arm が交互になるようにし、どちらの条件を先に行うかは対象者ごとにランダムとした。試技間には十分な休憩をとらせた。

実験試技を行う際、上述したスタート合図の電子音と接続した光電管 (NT7503, NISHI 社製) を 10m 地点に設置した。また、走路の左側方にハイスピードカメラ (スポーツコーチングカム, JVC ケンウッド社製) を設置し、対象者のスタート姿勢から 5m 地点までが映るように毎秒 240 コマで撮影した。

2.3. 分析局面の定義

分析局面の定義は図 2 に示した。本研究では、足部が接地した瞬間から次に逆側の足が接地するまでを 1 歩と定義し、4 歩目までを分析局面とした。ただし、1 歩目の開始は、スタート姿勢から後側の足 (以下, 「後足」とする) が離地した瞬間とした。つまり、2 歩目以降の開始と同様に、1 歩目の開始も「片足のみが接地した状態になった瞬間」で統一されるように定義した。さらに、1 歩目から 4 歩目までのそれぞれにおいて、片足が地面と接している局面を支持期、両足とも地面と接していない局面を滞空期とした。

2.4. 座標データの収集および座標系の定義

各対象者の同一条件の 2 試技のうち、光電管で計測した 10 m の疾走タイムが短かった方の試技を分析試技とした。分析試技を撮影した映像データを画像解析ソフト

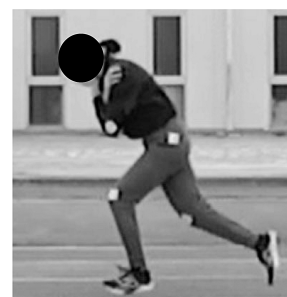


図 1 Non-arm の姿勢

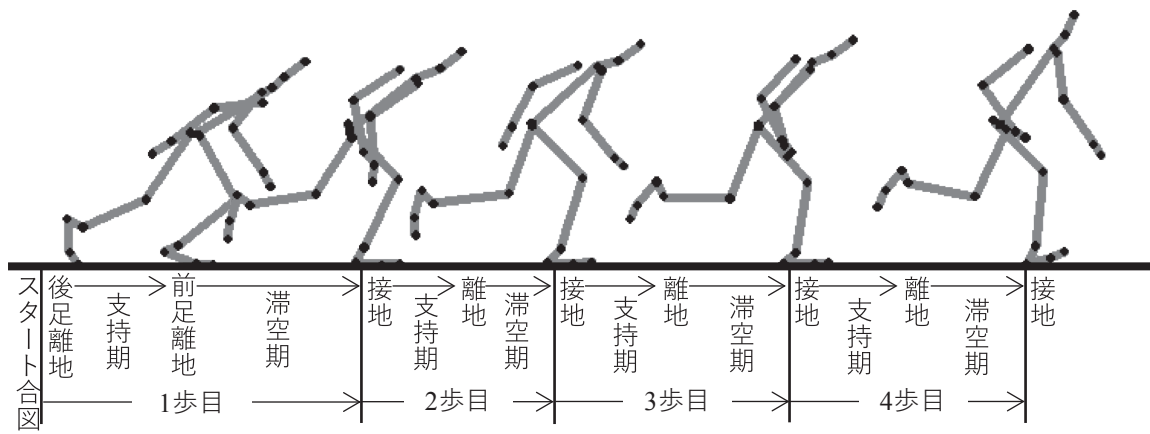


図2 分析局面の定義

(Frame-DIAS V, DKH 社製) に取り込み, 1 - 4 歩目それぞれの接地時 (1 歩目は後足離地時) および離地時における身体特徴点 23 点 (頭頂, 耳珠点, 胸骨上縁, 左右の肩, 肘, 手首, 手先, 大転子, 膝, 足首, 踵, 母指球, 足先) をデジタイズし, 2 次元 DLT 法によって実座標値を得た. その際, 走路上の 0m 地点を原点とし, 進行方向を X 軸, 鉛直上方向を Y 軸とした. さらに, 阿江ほか (1992) の身体部分慣性係数を用い, 身体重心座標を算出した.

Arm と Non-arm では上肢の位置が大きく異なっており, Non-arm では上肢の関節位置が映像上で明確に認識できない場合があった. この影響により, デジタイズ位置の誤差が条件間で異なる可能性が考えられる. そこで, 上肢を除いた身体部分の合成重心も算出し, 上肢のデジタイズ誤差が結果に及ぼす影響を検証することとした. 検証方法については, 2.6. 統計処理にて後述する.

2.5. 分析項目

以下に示す項目を分析した. なお, (3) から (8) の項目は, 座標データから 1 歩ごとに算出した.

(1) 10m タイム [s]

光電管で計測した, スタート合図から 10m の通過までに要した時間を 10m タイムとした.

(2) 動作タイム [s]

10m タイムから, スタート合図に対する反応に要する時間を除いたタイムを評価するため, スタート合図から後足が離地するまでの時間を 10m タイムから減じた値を動作タイムとして算出した.

(3) ピッチ [Hz]

1 秒間あたりの歩数を示す値であり, 1 歩の所要時間の逆数をピッチとして算出した.

(4) ストライド [m]

1 歩における身体重心の X 軸方向への移動距離をストライドとして算出した.

(5) 疾走速度 [m/s]

(3) ピッチと (4) ストライドとの積を疾走速度として算出した.

(6) 支持時間および滞空時間 [s]

支持期および滞空期それぞれの所要時間を, 支持時間および滞空時間として算出した.

(7) 接地距離, 離地距離, 滞空距離 [m] (図 3)

接地時 (1 歩目は後足離地時) において, 身体重心から接地した足先に向かうベクトルの X 座標成分を接地距離とした. つまり, 身体重心より後方に接地点がある場合は負の値をとるように算出した. さらに, 離地時における離地した足先から身体重心に向かうベクトルの X 座標成分を離地距離, 滞空期において身体重心が X 軸方向に移動した距離を滞空距離とした.

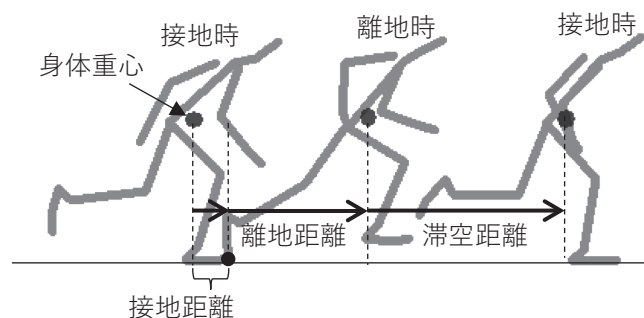


図3 接地距離、離地距離、滞空距離の定義

(8) 重心角度 [deg]

接地時 (1 歩目は後足離地時) および離地時において、接地した足先から身体重心に向かうベクトルが X 軸と成す角を重心角度として算出した。

(9) 各項目の増加率 [%]

(3) から (8) までの各項目について、各対象者の条件ごとに 1 歩目から 4 歩目までの値を平均化し、Non-arm の値を基準として Arm の値がどの程度増加したかを、以下の式によって算出し、増加率とした。

$$\frac{(\text{Arm の値} - \text{Non-arm の値})}{\text{Non-arm の値}} \times 100[\%]$$

2.6. 統計処理

条件間における上肢のデジタイズ誤差の違いが結果におよぼす影響を検証するため、左右の上肢を除いた身体部分の合成重心を用いたストライドも算出した。身体重心から算出したストライドと、上肢以外の合成重心から算出したストライドについて級内相関係数を算出し、データの信頼性を検証した。

各分析項目については、Arm および Non-arm それぞれにおける 10m タイム、動作タイム、および各分析項目の 1 歩ごとの平均値 ± 標準偏差を算出した。10m タイムおよび動作タイムは、対応のある t 検定によって Arm と Non-arm の差の有無を検証した。これら以外の項目については、二要因分散分析 (条件 × 歩数) を行った。交互作用が有意であった場合には、単純主効果検定を行い、1 歩ごとに条件間の差の有無を検証した。その場合には、Cohen の効果量も算出した。その評価基準は、Cohen (1988) を参考に、0.2 未満を「極小」、0.2 以上 0.5 未満を「小さい」、0.5 以上 0.8 未満を「中程度」、0.8 以上を「大きい」とした。交互作用が有意ではなかった場合は、条件による主効果によって、条件間の差を検証した。

さらに、腕振り動作を行うことによる疾走速度の変化に対して関連が強い項目を明らかにするため、疾走速度の増加率と他の項目の増加率との関係を、Pearson の積率相関係数を用いて検証した。全ての統計処理について、有意水準は 5% 未満とした。

3. 結 果

3.1. 上肢デジタイズ精度の検証

各条件において分析対象とした 56 歩 (= 4 歩 × 14 名) について、身体重心から算出したストライドと、上肢以外の合成重心から算出したストライドの級内相関係数を算出した。その結果、Arm および Non-arm とともに、ICC (1, 1) = 1.000 であった。つまり、ストライドの算出において、上肢を用いる場合と用いない場合の値はほぼ一致していた。したがって、上肢のデジタイズ誤差が結果に及ぼす影響は極めて小さいものと捉え、上肢を含む身体

重心を用いて分析項目を算出することに問題がないものとして分析を進めた。

3.2. Arm と Non-arm の比較

10m タイムは、Arm が 2.52 ± 0.16 s, Non-arm が 2.63 ± 0.17 s であり、Arm の方が有意に低値を示した。動作タイムは、Arm が 2.14 ± 0.12 s, Non-arm が 2.23 ± 0.13 s であり、Arm の方が有意に低値を示した。条件間の値の差 (Arm - Non-arm) を対象者ごとに算出すると、10m タイムは -0.11 ± 0.06 s, 動作タイムは -0.09 ± 0.04 s であった。

表 1 には、疾走速度と、その構成要素であるピッチおよびストライドの結果を示した。疾走速度は、交互作用が有意であり、1 歩目から 4 歩目までの全てにおいて、Arm の方が Non-arm よりも有意に高値を示した。効果量は、1 歩目は小さく、2 歩目以降は中程度であった。ピッチは、交互作用が有意であり、1 歩目のみ Arm が Non-arm よりも有意に低値を示し、その効果量は小さかった。2 歩目から 4 歩目においては、Arm と Non-arm との間に有意な差は認められなかった。ストライドは、交互作用が有意であり、2 歩目以外において Arm の方が Non-arm よりも有意に高値を示し、それらの効果量は中程度であった。2 歩目には有意な差は認められなかった。

表 2 には、支持時間および滞空時間の結果を示した。支持時間は、交互作用が認められず、条件による主効果も認められなかった。滞空時間は、交互作用が有意であり、1 歩目のみ Arm の方が Non-arm よりも有意に高値を示した。その効果量は中程度であった。2 歩目から 4 歩目までにおいては、Arm と Non-arm との間に有意な差は認められなかった。

表 3 には、接地距離、離地距離、滞空距離の結果を示した。接地距離は交互作用が有意であり、3 歩目のみ Arm の方が Non-arm よりも有意に高値を示した。その効果量は中程度であった。3 歩目以外では Arm と Non-arm との間に有意な差は認められなかった。離地距離は交互作用が認められず、条件による主効果が認められ、1 - 4 歩目の全てにおいて Arm の方が高値であった。滞空距離は交互作用が有意であり、1 歩目および 4 歩目において、Arm の方が有意に高値を示した。それらの効果量は、1 歩目が小さく、4 歩目が中程度であった。2 歩目および 3 歩目においては、Arm と Non-arm との間に有意な差は認められなかった。

表 4 には、接地時および離地時の重心角度の結果を示した。接地時は、交互作用が有意であり、3 歩目のみ Arm が Non-arm よりも有意に高値を示した。その効果量は中程度であった。1, 2, 4 歩目においては、Arm と Non-arm との間に有意な差は認められなかった。離地時は、交互作用が認められず、条件による主効果が有意であり、1 - 4 歩目の全てにおいて Arm の方が低値であった。

表1 Arm および Non-arm の疾走速度、ピッチ、ストライド

分析項目	条件	1歩目	2歩目	3歩目	4歩目
疾走速度 [m/s]	Arm	2.50 ± 0.18	3.49 ± 0.21	4.21 ± 0.26	4.72 ± 0.32
	Non-arm	2.44 ± 0.18	3.36 ± 0.22	4.00 ± 0.27	4.47 ± 0.32
	交互作用	F (3, 13) = 35.154*, partial η^2 = 0.730			
	ES (d)	0.354*	0.601*	0.784*	0.782*
ピッチ [Hz]	Arm	3.49 ± 0.39	3.77 ± 0.40	3.89 ± 0.36	4.03 ± 0.29
	Non-arm	3.67 ± 0.36	3.68 ± 0.38	3.97 ± 0.19	4.13 ± 0.40
	交互作用	F (3, 13) = 3.680*, partial η^2 = 0.221			
	ES (d)	-0.487*	0.243(N. S.)	-0.220(N. S.)	-0.252(N. S.)
ストライド [m]	Arm	0.73 ± 0.10	0.93 ± 0.10	1.09 ± 0.12	1.18 ± 0.13
	Non-arm	0.67 ± 0.09	0.92 ± 0.11	1.01 ± 0.08	1.09 ± 0.13
	交互作用	F (3, 13) = 4.149*, partial η^2 = 0.242			
	ES (d)	0.597*	0.097(N. S.)	0.726*	0.645*

*: $p < 0.05$, ES: Effect size, N. S.: Non-significant

表2 Arm および Non-arm の支持時間および滞空時間

分析項目	条件	1歩目	2歩目	3歩目	4歩目
支持時間 [s]	Arm	0.256 ± 0.020	0.224 ± 0.021	0.200 ± 0.017	0.185 ± 0.015
	Non-arm	0.251 ± 0.020	0.226 ± 0.020	0.195 ± 0.015	0.186 ± 0.018
	交互作用	F (3, 13) = 1.765 (N. S.), partial η^2 = 0.120			
	条件の主効果	F (1, 13) = 0.775 (N. S.), partial η^2 = 0.056			
滞空時間 [s]	Arm	0.035 ± 0.020	0.044 ± 0.018	0.059 ± 0.013	0.064 ± 0.014
	Non-arm	0.024 ± 0.014	0.048 ± 0.018	0.057 ± 0.012	0.058 ± 0.017
	交互作用	F (3, 13) = 3.763*, partial η^2 = 0.224			
	ES (d)	0.539*	-0.234(N. S.)	0.119(N. S.)	0.348(N. S.)

*: $p < 0.05$, ES: Effect size, N. S.: Non-significant

表3 Arm および Non-arm の接地距離、離地距離、滞空距離

分析項目	条件	1歩目	2歩目	3歩目	4歩目
接地距離 [m]	Arm	-0.07 ± 0.06	0.08 ± 0.06	0.17 ± 0.05	0.22 ± 0.05
	Non-arm	-0.08 ± 0.06	0.10 ± 0.06	0.15 ± 0.04	0.20 ± 0.06
	交互作用	F (3, 13) = 3.539*, partial η^2 = 0.214			
	ES (d)	0.177(N. S.)	-0.326(N. S.)	0.516*	0.264(N. S.)
離地距離 [m]	Arm	0.71 ± 0.05	0.70 ± 0.04	0.66 ± 0.04	0.66 ± 0.05
	Non-arm	0.70 ± 0.05	0.67 ± 0.05	0.64 ± 0.04	0.63 ± 0.04
	交互作用	F (3, 13) = 1.333 (N. S.), partial η^2 = 0.093			
	条件の主効果	F (1, 13) = 27.445*, partial η^2 = 0.679			
滞空距離 [m]	Arm	0.11 ± 0.06	0.17 ± 0.08	0.27 ± 0.07	0.32 ± 0.09
	Non-arm	0.07 ± 0.04	0.18 ± 0.07	0.25 ± 0.06	0.27 ± 0.09
	交互作用	F (3, 13) = 3.155*, partial η^2 = 0.195			
	ES (d)	0.492*	-0.135(N. S.)	0.281(N. S.)	0.504*

*: $p < 0.05$, ES: Effect size, N. S.: Non-significant

表 4 Arm および Non-arm の重心角度

分析項目	条件	1歩目	2歩目	3歩目	4歩目
接地時 重心角度 [deg]	Arm	84.7 ± 4.7	96.5 ± 4.7	102.8 ± 4.2	105.6 ± 3.8
	Non-arm	83.8 ± 4.6	97.8 ± 4.3	100.6 ± 3.0	104.3 ± 4.2
	交互作用	F (3, 13) = 3.505*, partial η^2 = 0.212			
	ES (d)	0.181(N. S.)	-0.291(N. S.)	0.581*	0.317(N. S.)
離地時 重心角度 [deg]	Arm	47.6 ± 2.8	48.5 ± 2.3	50.7 ± 2.6	51.5 ± 1.8
	Non-arm	47.8 ± 2.2	50.3 ± 2.5	52.3 ± 2.1	52.7 ± 2.4
	交互作用	F (3, 13) = 2.448 (N. S.), partial η^2 = 0.158			
	条件の 主効果	F (1, 13) = 19.302*, partial η^2 = 0.598			

*: $p < 0.05$, ES: Effect size, N. S.: Non-significant

3.3. 増加率

図 4 には、疾走速度の増加率と他の項目の増加率との関係を示した。疾走速度の増加率は、離地距離の増加率

との間に有意な正の相関関係が認められ、離地時の重心角度の増加率との間には有意な負の相関関係が認められた。他の項目の増加率との間には、有意な相関関係は認

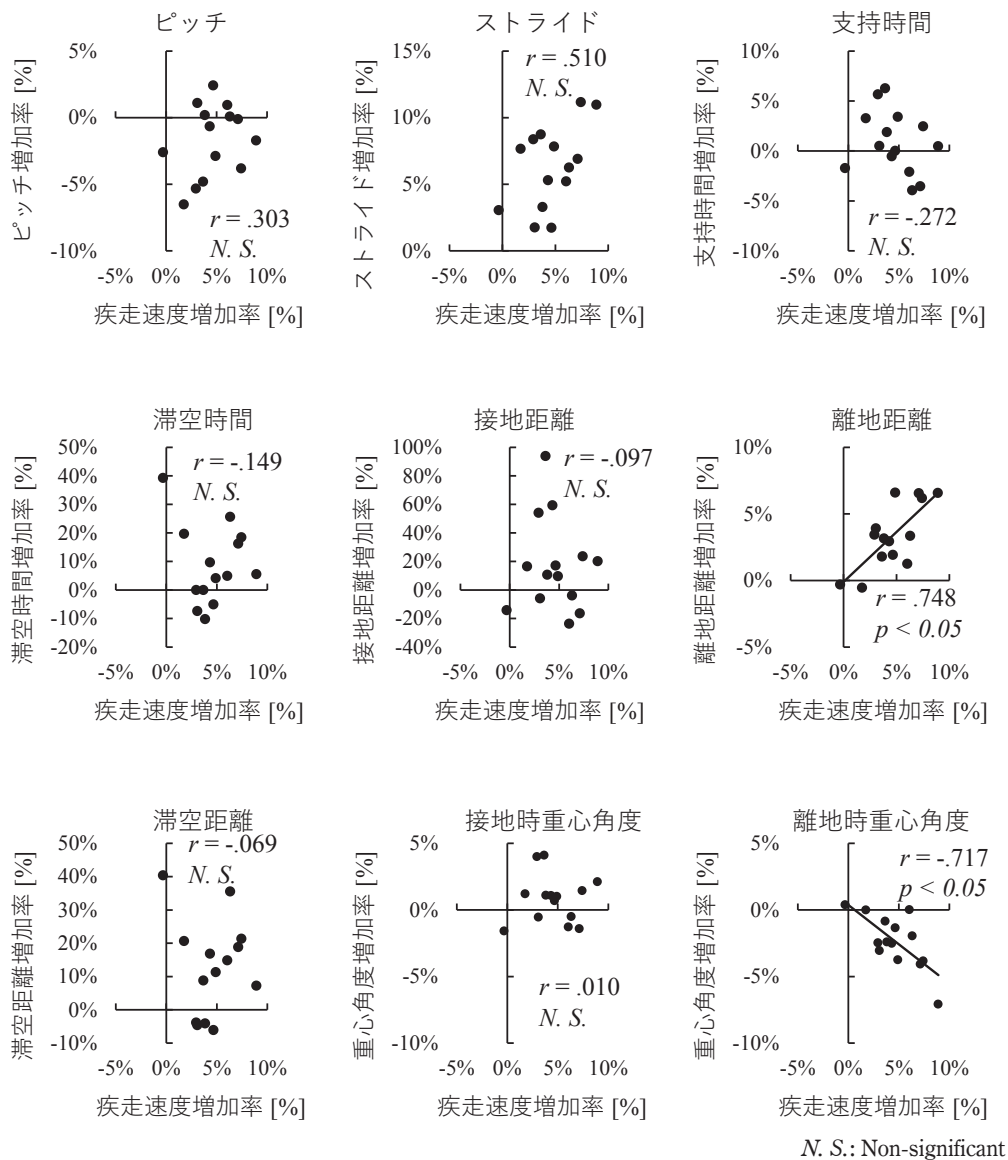


図 4 疾走速度の増加率と各項目の増加率との関係

められなかった。

4. 考 察

4.1. 腕振り動作が10mの疾走タイムに及ぼす影響

10m タイムは、Arm の方が 0.11 ± 0.06 s 速かった。さらに、10m タイムからスタート合図への反応に要する時間の要素を除いた動作タイムは、Arm の方が 0.09 ± 0.04 s 速かった。このことから、10m という比較的短い距離の全力疾走においても腕振り動作は重要であることが確認された。Brooks et al. (2022) は、チームスポーツの競技者の場合、腕振り動作を行うことによって10mのタイムが0.02s短縮されたことを報告している。この値と比較して、本研究のArmとNon-armの差は大きい。Brooks et al. (2022) は、対象者に男性が含まれていることや、サッカー、ラグビー、フィールドホッケーを専門とする者が含まれている点で、本研究とは対象者の特性が異なっている。このような対象者の特性が、ArmとNon-armの10mタイムの差に影響した可能性がある。

4.2. 腕振り動作が1歩ごとの疾走動態に及ぼす影響

初期加速における腕振りが疾走動態に及ぼす影響を詳細に検討するため、ArmとNon-armの値を1歩ごとに比較した。

(1) 疾走速度、ピッチ、ストライドに及ぼす影響

1歩目は、腕振り動作によってストライドが増大する一方でピッチが低下するという負の相互作用 (Hunter et al., 2004) がみられた。しかし、ストライドの効果量が中程度であったのに対してピッチの効果量は小さかった。つまり、ピッチの低下はストライドの増大を完全に相殺するものではなかったために、Armの疾走速度がNon-armよりも有意に高値となった。通常の疾走と腕振り動作を制限した疾走を比較した先行研究では、様々な局面において疾走速度に差がみられたことが報告されている (笠井, 1982; 辻本ほか, 2009; 前田・三木, 2010; Brooks et al., 2022)。本研究の結果から、それらの差は1歩目から生じていることが示唆され、疾走速度を向上させる上では、動き出し直後から腕振り動作が重要であると考えられる。

2歩目は、疾走速度はArmの方がNon-armよりも有意に高く、その効果量は、1歩目が小さかったのに対して中程度であった。疾走速度が高くなる時、ピッチまたはストライドの少なくとも一方は必ず高くなるが、2歩目においてピッチおよびストライドはともに有意な差がみられなかった。このことから、腕振り動作によって1歩目と同様に2歩目も高い疾走速度を発揮できるが、それがピッチの向上によるものかストライドの増大によるものであるかは一貫した傾向がなかったといえる。

3歩目および4歩目は、ピッチはArmとNon-armの間に有意な差は認められなかった一方で、ストライドは

Armの方が有意に高値を示した。腕振り動作によってストライドが大きくなったという点は1歩目と共通した結果であったが、ピッチが低下しなかったという点は1歩目と異なる傾向であった。最高速度局面における研究では、腕振り動作はピッチの高さよりもストライドの大きさに影響することが示されてきている (田村・久保田, 2004; 辻本ほか, 2009)。このような最高速度局面でみられる腕振り動作の役割は、3歩目という初期加速の途中段階から表れている可能性が、本研究によって示された。Uthoff et al. (2020) は、前腕に体重の2%の重りを付けて疾走した場合、スタートから4歩における推進方向の力積が増大し、ストライドが通常よりも増大した一方で、ピッチに有意な差はみられなかったことを報告している。このことから、初期加速における腕振り動作の力発揮は、推進方向の地面反力を介してストライドの増大に影響していることが考えられる。

(2) ピッチとストライドの下位要素に対する影響

ピッチは、支持時間と滞空時間の和の逆数である。また、ストライドは、主に接地距離、離地距離、滞空距離によって構成される。これらの要因が腕振り動作によってどのような影響を受けることで、上述したようなピッチとストライドの変化が生じているかを検討した。

支持時間は、交互作用および条件による主効果がともに認められなかった。ピッチに条件間の差がみられた1歩目において、滞空時間はArmの方がNon-armよりも有意に高値であった。長い滞空時間は、長い滞空距離の獲得を介してストライドを増大させる一方で、ピッチが低下するという負の相互作用の要因となり、その長い滞空時間は大きい鉛直方向の力積に起因するとされている (Hunter et al., 2004; 豊嶋ほか, 2015)。本研究のArmも、1歩目は滞空距離が長くピッチが低いという負の相互作用がみられた。地面反力および力積は測定していないが、腕振り動作は、上向きの運動量や鉛直方向の力発揮の増大によって大きいストライドに貢献するという知見 (Hinrichs et al., 1987a; 豊嶋・桜井, 2019) を踏まえると、1歩目においても腕振り動作が鉛直方向の力積を増大させ、結果としてストライドが増大したと推察される。

1歩目で有意な差がみられた滞空距離および滞空時間は、2および3歩目ではArmとNon-armとの間に有意な差は認められなかった。このことから、初期加速においては、歩数によって腕振りの影響が異なると考えられる。ストライドを構成する要素である離地距離は、交互作用は認められなかったが、条件の主効果が有意であり、Armの方が高値を示した。また、離地距離と同様に、離地時の重心角度も交互作用が認められず、条件による主効果が有意であり、Armの方が低値を示した。このことは、腕振り動作を行うことにより、接地点から身体重心を結ぶベクトルが、腕振り動作を行わない場合より

も前傾した状態で離地することを示している。Kugler and Janshen (2010) は、スタート直後の加速において、離地時における足部を身体重心に対してより後方に位置させることで、接地点から身体重心を結ぶベクトルをより前傾させることが可能となり、その前傾が地面反力ベクトルを前方に向けることに貢献することを示している。つまり、離地時の重心角度を小さくすることと離地距離の増大は関連性が強いと推察される。Wild et al. (2018) は、スタートから3歩目までを分析し、短距離選手およびラグビー選手ともに、離地距離が長いことが加速において重要であることを示唆している。このことを踏まえて永原 (2023) は、特に球技選手においては離地距離を1つの評価指標として加速技術を身につけていくことが必要と述べている。さらに、男性を対象としたOtsuka et al. (2016) は、5m走を通常の方法で行った場合と肩甲骨のみを固定して行った場合を比較し、初期加速における肩甲骨は、身体の前傾を保つ役割があることを示唆している。腕振り動作自体を行わせなかった本研究とは条件が同じとはいえないが、上肢の動作に何らかの制限を加えることが初期加速における重心角度に影響する点で、本研究の結果はOtsuka et al. (2016) の知見を支持するものといえる。以上のことから、初期加速において離地距離を増大させて身体全体を前傾させておくことは重要であり、このことに対して腕振り動作は大きな役割を担っていると考えられる。

腕振り動作が離地距離を増大させる理由として、腕振り動作が下肢の動作に影響することが考えられる。Hinrichs (1987b) は、疾走における腕振り動作は下半身の角運動量を相殺する役割があることを示している。したがって、腕振り動作を制限した場合、水平面における上半身の角運動量が減少し、バランスをとるために下半身の角運動量も減少し、腰の回転が抑制される(前田・三木, 2010) ことや、股関節の伸展が小さくなる(辻本ほか, 2009) ことが報告されている。これらの研究は、30m や 40m 付近などを分析したものであるが、初期加速においても同様に、腕振り動作によって下肢動作が変化したことが、離地距離を増大させた要因である可能性が考えられる。

腕振り動作が下肢の角運動量を増大させる場合、その影響は支持脚のみではなく、前方にスイングする遊脚の動作にも及ぶと考えられる。Nagahara et al. (2014a) は、重力によって生じる前方への回転を打ち消すための推進方向への地面反力は、加速に伴って小さくなるため、転倒しないようにするためには、離地した脚を素早く前方に運ぶか、身体を直立に近づける必要があると述べている。本研究のArmはNon-armよりも身体が前傾していたため、脚を素早く前方に運ぶ必要性がNon-armよりも高いと考えられ、このことに対しても腕振り動作が貢献していたと推察される。

一方で、木越 (2015) が指摘しているように、腕振り動作そのものが地面反力に影響する可能性もある。Hinrichs et al. (1987a) や Bhowmick & Bhattacharyya (1988) は、腕振り動作によって生じる前後方向の加速度や運動量は、左右の上肢で相殺されると述べている。しかし、Otsuka et al. (2016) や Macadam et al. (2018) が述べているように、初期加速においては、身体が前傾しているため、前後方向の運動量が左右の上肢で完全に相殺されるとはいえない。腕振り動作が推進方向への地面反力増大に貢献した結果、接地点に対して身体重心がより前方へ移動し、離地距離が増大した可能性も考えられる。これらのメカニズムについて、本研究の結果から明らかにすることはできず、詳細に検討していくことは今後の課題である。

4.3. 腕振り動作による疾走速度の増加率に関係する要因

腕振り動作による疾走速度の増加率は、対象者間で-0.3%から8.9%の幅があり、その高さは全対象者で同等とはいえなかった。この増加率の高さに関係する要因を明らかにするため、疾走速度とその他の項目の増加率の関係を分析した。

ピッチ増加率およびストライド増加率ともに、疾走速度の増加率との間に有意な相関関係はみられなかった。上述したように、1歩ごとの分析から、腕振りによる疾走速度の増加は、2歩目以外は主にストライドの増加によるものと示唆された。しかし、必ずしもストライドの増加のみが疾走速度の増加に影響しているわけではなく、ピッチ増加率との相互作用によって腕振り動作による疾走速度の増加率が決定しているといえる。

ピッチおよびストライド以外では、腕振り動作による疾走速度の増加率が高かった対象者ほど、腕振り動作によって離地距離がより増加し、離地時の重心角度がより低下していた(図4)。離地距離および離地時の重心角度は、ArmとNon-armの平均値の比較でも同様の結果が示されており(表3, 4)、腕振り動作によって疾走速度を向上させることを目指す際に、重要な評価指標であるといえる。

以上のことを踏まえると、離地距離をより増大させ、重心角度を前傾させることに貢献する腕振りはどのような動作であるかを検討していくことは、疾走速度向上に対して重要な研究課題であると考えられる。

5. 結 論

本研究では、初期加速における腕振り動作の役割を検討するために、通常の疾走と腕振り動作を行わない疾走の1歩目から4歩目を運動学的観点から比較した。その結果から、4歩目までの腕振り動作の役割は以下のよう

- ・1歩目から疾走速度を高める。

- ・1, 3, 4歩目のストライドを増大させる.
- ・離地時において, 接地点から身体重心へのベクトルを, 腕振りを行わない場合よりも前傾させることで離地距離を長くする.

さらに, 腕振り動作による離地距離の増加率がより高く, 離地時の重心角度の増加率が小さかった対象者ほど, 腕振り動作による疾走速度の増加率が高かった. このような変化を生み出すのはどのような腕振り動作であるかを検討することが, 今後の研究課題であると考えられる. さらに, 性別や競技歴が異なる場合に, 本研究と同様の結果が得られるかは不明であり, この点についても今後の課題である.

文献

- 阿江通良・湯 海鵬・横井孝志 (1992) 日本人アスリーートの身体部分慣性特性の推定 (1部 形態と運動の計測). *バイオメカニズム*, 11: 23-33.
- Bhowmick, S. and Bhattacharyya, A. K. (1988) Kinematic analysis of arm movements in sprint start. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 28: 315-323.
- Brooks, L. C., Weyand, P. G. and Clark, K. P. (2022) Does restricting arm motion compromise short sprint running performance? *Gait & Posture*, 94: 114-118.
- Cohen, J. (1988) Statistical power analysis for the behavioral sciences (2nd Edition). Lawrence Erlbaum Associates: New Jersey.
- Hinrichs, R. N., Cavanagh, P. R. and Williams, K. R. (1987a) Upper extremity function in running. I: center of mass and propulsion considerations. *J. Appl. Biomech.*, 3: 222-241.
- Hinrichs, R. N. (1987b). Upper extremity function in running. II: Angular momentum considerations. *J. Appl. Biomech.*, 3: 242-263.
- Hunter, J. P., Marshall, R. N., and McNair, P. J. (2004) Interaction of step length and step rate during sprint running. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 36: 261-271.
- 笠井達哉 (1982) 走における腕振り動作の効果. 国土舘大学体育研究所報, 2: 61-66.
- 木越清信 (2015) 短距離走における腕振り動作の反動効果が疾走速度に及ぼす影響. 筑波大学体育系紀要, 38: 133-138.
- 小池弘文 (2013) 短距離. 日本陸上競技連盟編, 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. 大修館書店, pp. 2-9.
- Kugler, F. and Janshen, L. (2010) Body position determines propulsive forces in accelerated running. *J. Biomech.*, 43, 343-348.
- Lockie, R. G., Callaghan, S. J. and Jeffriess, M. D. (2014) Acceleration kinematics in cricketers: implications for performance in the field. *J. Sport. Sci. Med.*, 13: 128-136.
- Macadam, P., Cronin, J. B., Uthoff, A. M., Johnston, M. and Knicker, A. J. (2018) Role of arm mechanics during sprint running: A review of the literature and practical applications. *Strength Cond. J.*, 40: 14-23.
- 前田正登・三木健嗣 (2010) スプリント走における腕振りの役割. *陸上競技研究*, 80: 13-19.
- 永原 隆 (2023) スプリント走研究の最新知見から考えるパフォーマンス向上戦略. *トレーニング科学*, 35: 247-252.
- Nagahara, R., Naito, H., Morin, J. B. and Zushi, K. (2014a). Association of acceleration with spatiotemporal variables in maximal sprinting. *International J. Sports Med.*, 35: 755-761.
- Nagahara, R., Matsubayashi, T., Matsuo, A. and Zushi, K. (2014b). Kinematics of transition during human accelerated sprinting. *Biol. Open*, 3: 689-699.
- Otsuka, M., Ito, T., Honjo, T. and Isaka, T. (2016) Scapula behavior associates with fast sprinting in first accelerated running. *Springerplus*, 5: 1-9.
- Slawinski, J., Bonnefoy, A., Levêque, J. M., Ontanon, G., Riquet, A., Dumas, R. and Chêze, L. (2010) Kinematic and kinetic comparisons of elite and well-trained sprinters during sprint start. *J. Strength Cond. Res.*, 24: 896-905.
- 田村孝洋・久保田康毅 (2004) 100m 走の最高速度局面における腕動作機能. *陸上競技研究*, 59: 13-19.
- 豊嶋陵司・田内健二・遠藤俊典・磯 繁雄・桜井伸二 (2015) スプリント走におけるピッチおよびストライドの個人内変動に影響を与えるバイオメカニクスの要因. *体育学研究*, 60: 197-208.
- 豊嶋陵司・桜井伸二 (2019) 短距離走の最大速度局面における滞空比と上肢および回復脚の相対鉛直加速力との関係. *体育学研究*, 64: 89-99.
- 辻本典央・水藤弘吏・新海宏成・布目寛幸・池上康男 (2009) 腕振りの制約が走動作に及ぼす影響. *バイオメカニクス研究*, 13: 38-50.
- Uthoff, A. M., Nagahara, R., Macadam, P., Neville, J., Tinwala, F., Graham, S. P., and Cronin, J. B. (2020) Effects of forearm wearable resistance on acceleration mechanics in collegiate track sprinters. *J. Sport Sci.*, 20: 1346-1354.
- Wild, J. J., Bezodis, I. N., North, J. S., and Bezodis, N. E. (2018) Differences in step characteristics and linear kinematics between rugby players and sprinters during initial sprint acceleration. *Eur. J. Sport Sci.*, 18, 1327-1337.

外的負荷とステップ距離がステップクリーンエクササイズ中の 下肢の負荷特性に与える影響

林 陵平¹⁾, 吉田拓矢²⁾, 荻山 靖³⁾

Effects of external load and step distance on lower-limb load characteristics
during step clean exercise

Ryohei Hayashi¹⁾, Takuya Yoshida²⁾, Yasushi Kariyama³⁾

Abstract

This study aimed to investigate the effects of external load and step distance on lower extremity loading characteristics during the step clean exercise by focusing on pelvic elevation. Ten male college athletes performed a step clean exercise under three step distance conditions (20 %, 40 %, and 60 % of their height) using external loads of 30 %, 60 %, and 90 % of one repetition maximum (1RM). Motion capturing (250 Hz) and a force platform (1,000 Hz) were used to record the raw data and calculate lower-extremity kinetics and kinematics data. Two-way analysis of variance was used to examine data for each joint. The lower-limb kinetics were load-dependent in the hip flexion-extension axis and the ankle joint but not in the hip abduction-extension axis and the knee joint. In the step clean exercise, the hip joint kinetics increased with increasing step distance ($p < 0.05$). Furthermore, the kinetics of the step clean exercise emphasizing pelvic elevation at a load of 60 % of 1RM (at 40 % of their height) revealed greater joint moments and power in the hip flexion-extension axis and knee joints than in the normal step clean exercise ($p < 0.05$). These results provide useful information that will aid athletes and coaches incorporate step clean exercises into their weight training plans.

キーワード：跳躍, ウェイトトレーニング, レジスタンストレーニング, キネティクス, キネマティクス

1. 緒 言

ハングパワークリーン (HPC) は、下肢の筋群による爆発的な力やパワーを発揮する能力を改善するために用いられるレジスタンストレーニングの一つであり (Garhammer, 1993; Kawamori et al., 2005), Weightlifting derivatives として多くのスポーツ選手に用いられるポピュラーなエクササイズである (図 1A)。

これまでの HPC に関する国内外の研究は、両脚およ

び片脚で実施する HPC の下肢のキネティクスに関する研究が多く存在している。両脚 HPC に関する研究では、身体重心にバーベル重心を加味したシステム重心レベルの力・パワー発揮特性 (Kawamori et al., 2005; Kilduff et al., 2007; Suchomel et al., 2014; Takei et al., 2021) や、関節レベルの力・パワー発揮特性 (Kipp et al., 2018, 2019) が明らかとなっている。また、片脚 HPC に関する研究においても、両脚 HPC との比較から身体レベルおよび関節レベルのキネティクス特性が明らかとなっている (Hayashi et al., 2021, 2023)。これらに加えて、林ほか (2018) は、下肢のプライオメトリックトレーニングの理論を応用したクリーンであるドロップクリーンを開発し、力学的エネルギーの大きさに着目しながらドロップクリーンの負荷特性について報告している。HPC ではバーベルに付加する重量が外的な負荷となるために、これまでの HPC に関する先行研究では共通して、軽重量から高重量の付加重量を使用した際の下肢のキネティクスが明らかとなっている。以上のことから、これまでの HPC に関する研究では、トレーニング現場でよく使用される両脚 HPC だけでなく、片脚 HPC やドロップクリーンなどの負荷特性についても調査されてきた。

陸上競技の走高跳、走幅跳、三段跳の踏切時には、身体が約 0.1 ~ 0.2 秒と極めて短時間に、体重の約 7 ~ 12 倍もの鉛直方向の力を発揮することが示されている (Muraki et al., 2008; Perttunen et al., 2000; 戸邊ほか, 2019)。このことから、陸上競技の跳躍種目では、跳躍種目のパフォーマンスを高めるために爆発的な力やパワーを発揮することが重要視されている。また、こうし

1) 岐阜大学教育学部 Faculty of Education, Gifu University

〒 501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1

2) 国立スポーツ科学センター Department of Sport Science and Research, Japan Institute of Sports Science

〒 115-0056 東京都北区西が丘 3-15-1

3) 山梨学院大学スポーツ科学部 Faculty of Sport Sciences, Yamanashi Gakuin University

〒 400-8575 山梨県甲府市酒折 2-4-5

た踏切動作は進行方向への移動を伴うものであり、片脚で遂行される。トレーニング手段には、パフォーマンス構造に直結した要素を取り出した手段が存在しており(図子, 2013), ストレングストレーニングを実施する際には、競技の特異性を考慮してパフォーマンスの改善を目指す必要がある(Bosh, 2015)。こうした跳躍運動の踏切動作のキネティクスやキネマティクスの特性を考慮すると、両脚 HPC と同様に、バーベルを大腿部の位置で保持した状態からどちらか一方の片脚を前方に送り出すことで前方方向に移動を伴い、前方に出した足が地面に接地した後に反動動作を伴いながらバーベルを一気に上方に挙上するといったクリーンエクササイズの手段(ステップクリーンエクササイズ, SC)を考案することができる(図 1B)。SC では、前方への移動を伴う運動であることから、地面反力のブレーキ成分を受け止めながらバーベルの挙上動作を行うために、下肢全体の負荷は増大する可能性があると考えられる。SC のように新たなトレーニング手段を現場で用いる際には、用いるエクササイズの動作中のキネマティクスやキネティクスに関する情報が極めて重要となる。したがって、SC 中の下肢の負荷特性を明らかにすることができれば、トレーニング現場で活用する際に役立つ情報になると考えられる。

近年、荻山ほか(2018)は、各種スポーツ動作における前額面上の骨盤の挙上運動に着目し、片脚で実施するスクワットと骨盤の挙上動作を強調したスクワット中の下肢の負荷特性について検討している。その結果、鉛直地面反力、力の立ち上がり率、骨盤の挙上速度、股関節外転キネティクスは、骨盤の挙上動作を強調した片脚スクワットの方が大きかったことを報告している。このことを考慮すると、SC についてもスクワットエクササイズと同様に、バーベルを鉛直方向に挙上する動作を伴う

ことから、骨盤の挙上動作を強調することによって、下肢のキネティクスは大きくなる可能性がある。

以上のことを踏まえて、陸上競技の跳躍種目における踏切動作の特性の中から特徴的な要素を取り出し、それらをウェイトトレーニング手段として用いられる HPC に応用した SC を考案した。本研究では、外的負荷と移動する距離(ステップ距離)の変化が SC 中の下肢の負荷特性に与える影響を調査することを目的とした。また、先行研究の報告(荻山ほか, 2018)を考慮して、骨盤の挙上動作を強調した動作も考慮しながら、SC の下肢の負荷特性を調査した。

2. 方法

2.1 対象者

陸上競技を専門とする男子大学生 10 名(年齢: 21.9 ± 1.5 years, 身長: 1.77 ± 0.08 m, 体重: 69.3 ± 3.1 kg, 片脚 HPC における体重あたりの最大挙上重量: $1.0 \pm 0.3 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$)を対象とした。対象者は、パワークリーン、HPC などの Weightlifting Derivatives に関連するエクササイズを日常的に行っている者であり、週に 1 回から 2 回のウェイトトレーニングを行っていた。実験試技については、実験開始の 2 週間前から十分に練習を行わせた。全ての対象者に対して、実験を開始する前に研究目的、方法および実験の安全性を説明するとともに、実験への参加の同意を得た。なお、本研究は筑波大学体育系研究倫理委員会の承認を得て行った(承認番号: t28-122)。

2.2 予備実験

本研究では、SC で使用する外的負荷と移動する距離(ステップ距離)の変化が下肢の負荷特性に与える影響を調査することが目的であった。このために、片脚

A) ハングパワークリーン



B) ステップクリーン

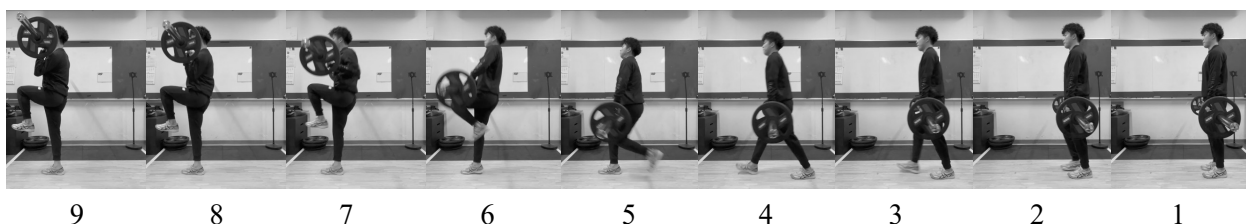


図 1 ハングパワークリーンおよびステップクリーンの動作

HPCの1RMに対する30%, 60%, 90%の外的負荷を使用し、ステップ距離については各対象者の身長に対する20%, 40%, 60%の幅を使用した。予備実験の段階において、全ての対象者が無理なく全力で試技を行える幅を決定するために、1RMに対する30%, 60%, 90%の外的負荷を用い、身長に対する10%のステップ距離から10%刻み徐々に増加させていくという試技を行った。その結果、全対象者が無理なく試技を行えるステップ距離が身長に対する60%であったために、本研究で使用するステップ距離の上限を身長に対する60%と設定した。また、骨盤の挙上動作を強調したSCについても事前に予備実験を実施し、骨盤の挙上動作を強調しながら無理なく全力で動作を行うことのできる重量とステップ距離について検討した。その結果、1RMに対する30%および90%の付加重量の場合には、骨盤の挙上動作を強調することができない対象者がそれぞれで複数名存在していた。また、荏山ほか(2018)のスクワットを対象とした研究では、1RMに対する60%の付加重量の方が90%よりも骨盤の挙上動作が強調できることを報告されている。これらの理由から、骨盤の挙上動作を強調したSCでは1RMに対する60%の付加重量を採用した。また、1RMに対する60%の付加重量を使用し、身長に対する20%, 40%, 60%の3条件の試技を1軸のフォースプラットフォーム(PH-6210A, DKH社製)上で実施させた結果、後述する系重心から算出された最大パワーは身長に対する40%のステップ距離の条件で最も大きな値を示した。このために、骨盤の挙上動作を強調したSCでは身長比に対する40%の重量を採用した。

2.3 測定手順

全ての対象者は、実験に先立って片脚HPCの1RMを測定した。10分間のストレッチを行った後に、エルゴメーター(Power MAX V III, コナミスポーツ社製)を用いて5分間のウォーミングアップを実施した。その後、片脚でのHPCを以前測定した1RMに対する30%, 50%, 70%, 90%を実施させ、90%以降の重量では、2.5 kgから5.0 kgの範囲の重量を徐々に増加していき、2回失敗する重量まで付加重量を増加させていった。1RMは、2回失敗する以前の重量において、バーベルをキャッチすることができた最も重い重量と定義した。

片脚HPCの1RMを測定した3日から5日後、対象者はSCを実験試技とした測定を行った。SCの動作は、はじめに両脚でHPCを行う際と同様に、バーベルを大腿部の位置で保持した状態で立位姿勢となる。その後、どちらか一方の片脚を前方に送り出すことで前方方向に移動を伴い、前方に出した足が地面に接地した後に反動動作を伴いながらバーベルを一気に上方に挙上し、バーベルをキャッチする一連の動作である(図1B)。

1RMの測定時と同様のウォーミングを行った後、対象者はSCの各試技をランダムに2試技ずつ実施した。その後、骨盤の挙上動作を強調したSCを2試技実施させた。骨盤の挙上動作を強調したSCの試技をランダムに配置しなかったのは、骨盤の挙上動作を強調した試技が、後のSCの試技の動作に影響を及ぼさないようにするためである。全ての試技は、リストストラップを着用し、シューズを履いた状態により全力で行わせた。全ての試技開始時における姿勢を統一するために、2軸ゴニオメータ(DKH社製, SG150)を使用して膝関節角度をモニタリングし、膝関節角度が全ての試技で同様になるようにした。試技を実施する際には、できるだけ正確なステップ距離で試技を実施させるために、試技を開始する位置から身長に対する20%, 40%, 60%のステップ距離の位置(フォースプラットフォーム上)に幅5cmのテープを貼付し、その位置に足を接地させて試技を行わせた。試技中は、このテープの幅内に対象者のつま先が収まっているかどうか検者2名が確認し、テープ内からはみ出た試技については失敗試技とした。なお、疲労の影響を無くすために、試技間の休息は十分に確保した。

2.4 データ収集

地面反力データを収集するために、左右それぞれの脚において測定するためにフォースプラットフォーム(Kistler社製, 9287C)を用いて計測し、1,000Hzのサンプリング周波数でA/D変換した後、パーソナルコンピュータに取り込んだ。

光学式自動動作分析装置(Vicon Motion Systems社製)を用いて、各試技の身体各部位47箇所およびバーベルの左右側面2点箇所反射マーカーを貼付し、3次元座標データを、250Hzで収集した。静止座標系は、試技開始時の対象者前方に直交する方向をX軸、試技開始時の対象者前方をY軸、鉛直上向きをZ軸とする右手座標系と定義した。得られた身体各部の座標値は、座標成分ごとに最適遮断周波数(12.5 - 15.0 Hz)をWells and Winter(1980)の方法にもとづいて決定し、Butterworth Low-Pass Digital Filterを用いて平滑化した。

2.5 算出項目

本研究では、対象者がSCの動作を開始し、左右どちらか一方の足部がフォースプラットフォームに接地した後、後述する系重心の速度が負の値から正の値に移行した地点を分析局面の開始地点と定義した。その後、プル動作を行い、足部がフォースプラットフォームから離れた地点、すなわち地面反力の鉛直成分の値が10N以下になった地点を分析局面の最終地点と定義した(図2)。データ分析の過程では、プル動作からキャッチ動作以降する際に、全ての対象者の地面反力の鉛直成分が0を示す局面が存在していることを確認した。

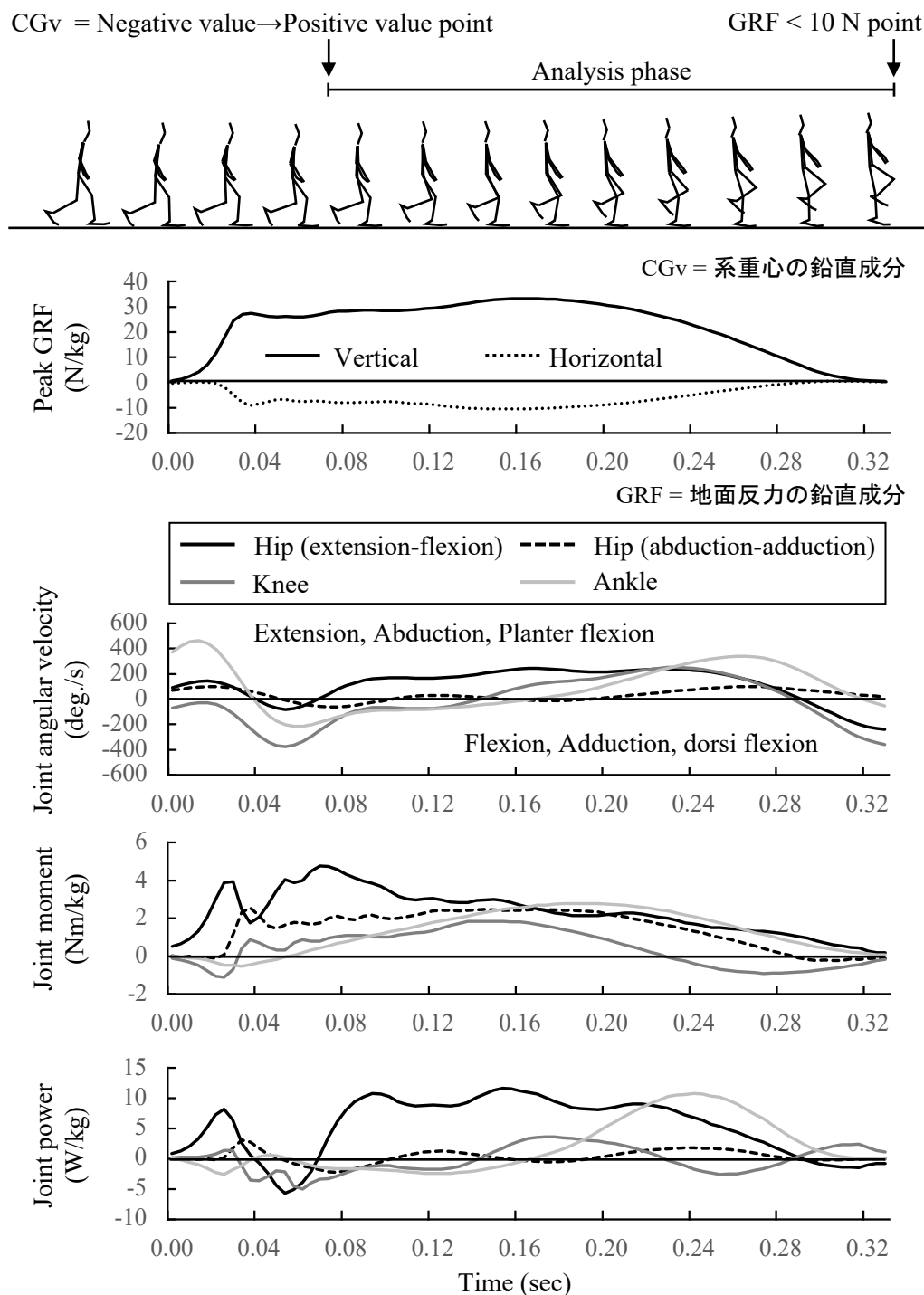


図2 ステップクリア中のキネティクスおよびキネマティクスの典型例

各関節角度および角速度を算出するために、下肢3関節における関節中心を算出した。足関節および膝関節については、それぞれの関節における内顆および外顆の中点、股関節については、臨床歩行分析研究会の提唱する推定法（倉林ほか、2003）を用いて関節中心を算出した。関節角度については、分析局面における最大角度から最小角度を差し引くことで、角度変化量を算出した。関節角速度については、下肢の関節角度の変位を時間微分す

ることによって算出した。このとき、関節角速度の正の値を伸展、負の値を屈曲と定義した。股関節内外転軸については、正の値を外転、負の値を内転と定義した。なお、座標系は、Kariyama et al. (2017) を使用した。試技中の下肢3関節の関節モーメントを算出するために、下肢を足関節、膝関節、股関節で分割した3次元リンクセグメントモデルを構築した。また、Free Body Diagram にもとづき、各部分の近位端に作用する関節

モーメントを運動方程式により算出するとともに、関節モーメントと関節角速度の内積により関節パワーを算出した。阿江（1996）の身体部分慣性係数を用いて、各セグメントの重心や慣性モーメントおよび全身の合成重心を算出した。

身体とバーベルを合わせた重心を系重心として算出した。系重心を微分することで系重心速度を算出し、系重心速度と地面反力の鉛直成分と積から系重心のパワーを算出し、各試技の条件で算出したパワーの最大値が最も大きかった試技を分析の対象とした。

2.6 統計処理

各変数の正規性について、Shapiro-Wilk テストによって確認した。Shapiro-Wilk テストの結果、全データの約9割以上に正規性が認められたために、本研究ではパラメトリック検定を採用した。条件間における地面反力の鉛直成分および前後成分の最大値、下肢3関節のキネティクスの差を検定するために、2要因分散分析を用いた（重量×ステップ距離）。交互作用の有無を確認し、交互作用が認められた場合には単純主効果の検定を行い、交互作用が認められなかった場合には主効果の検定を行った。事後検定を行うは、Bonferroniの方法を用いた。また、通常のSCと骨盤の挙上動作を強調したSCの各変数を比較するために、対応のある t 検定を行った。2つのデータ間における差の大きさを比較するために、Hedge's g を算出し、これを効果量とした。効果量は、0.2

以下を trivial, 0.2 から 0.5 までを small, 0.5 から 0.8 を medium, 0.8 から 1.3 を large, 1.3 以上を very large と定義した（Cohen, 1988）。危険率は全て5%未満で判定した。統計処理は、SPSS ver. 25.0（SPSS社製）を用いて行われた。各変数は平均値±標準偏差で示した。

3. 結果

図2には、1RMに対する60%の付加重量と身長に対する40%のステップ距離を使用し、地面反力が10N以上の値を示した地点からの地面反力および関節キネティクスのデータ1例を示した。足部がフォースプラットフォームに接地した直後に接地の衝撃によるピークが出現し、その後は、挙動動作に伴って各変数が増大する傾向がみられた。

表1, 2, 3には、地面反力の鉛直および前後成分、関節モーメント、関節パワーの各変数について、1RMに対する30%（表1）、60%（表2）、90%（表3）の付加重量ごとに分けて示した。

はじめに、地面反力の鉛直成分についてみると、有意な交互作用は認められなかったものの（ $F = 0.04, p = 0.966$ ）、重量の要因には有意な主効果が認められ（ $F = 24.69, p = 0.000$ ）、ステップ距離の要因（ $F = 0.37, p = 0.694$ ）には有意な主効果が認められなかった。地面反力の前後成分については、有意な交互作用は認められなかったものの（ $F = 0.98, p = 0.432$ ）、重量の要因（ $F = 11.87, p = 0.001$ ）およびステップ距離の要因（ $F =$

表1 1RMに対する30%の付加重量を使用した際のキネティクスおよびキネマティクスの各変数

		30% 1RM			ES (20% vs. 40%)	ES (20% vs. 60%)	ES (40% vs. 60%)
	Width	20% Height	40% Height	60% Height			
Peak GRF (N/kg)	Vertical	31.92 ± 1.48	32.11 ± 1.77	32.67 ± 2.13	0.11	0.39	0.27
	ES (vs. 60% 1RM)	1.33	1.33	0.60			
	ES (vs. 90% 1RM)	2.11	2.21	1.50			
	Horizontal	-5.01 ± 0.35	-7.82 ± 0.81	-10.04 ± 0.82	4.31	7.64	2.61
	ES (vs. 60% 1RM)	0.57	0.49	0.13			
	ES (vs. 90% 1RM)	2.06	1.33	0.47			
Joint moment (Nm/kg)	Hip extension-flexion	2.43 ± 0.68	3.00 ± 1.08	4.45 ± 1.49	0.60	1.67	1.07
	ES (vs. 60% 1RM)	0.63	0.75	0.03			
	ES (vs. 90% 1RM)	1.43	1.00	0.17			
	Hip abduction-adduction	2.31 ± 0.50	2.44 ± 0.61	2.34 ± 0.62	0.22	0.05	0.16
	ES (vs. 60% 1RM)	0.09	0.37	0.00			
	ES (vs. 90% 1RM)	0.21	0.45	0.18			
	Knee extension-flexion	2.46 ± 0.50	2.91 ± 0.67	2.82 ± 0.61	0.73	0.62	0.13
	ES (vs. 60% 1RM)	0.05	0.59	0.20			
	ES (vs. 90% 1RM)	0.07	0.55	0.40			
	Ankle plantar flexion-dorsi flexion	2.41 ± 0.36	2.28 ± 0.39	1.96 ± 0.44	0.33	1.07	0.74
	ES (vs. 60% 1RM)	1.05	1.14	1.86			
	ES (vs. 90% 1RM)	1.40	1.99	2.33			
Joint power (W/kg)	Hip extension-flexion	4.20 ± 2.38	5.06 ± 3.09	5.94 ± 3.38	0.3	0.57	0.26
	ES (vs. 60% 1RM)	0.36	0.51	0.49			
	ES (vs. 90% 1RM)	2.18	0.92	1.20			
	Hip abduction-adduction	2.51 ± 0.65	2.39 ± 0.59	2.31 ± 1.06	0.19	0.22	0.09
	ES (vs. 60% 1RM)	0.19	0.04	0.11			
	ES (vs. 90% 1RM)	0.12	0.01	0.34			
	Knee extension-flexion	5.96 ± 0.73	7.22 ± 1.95	6.66 ± 2.22	0.82	0.41	0.26
	ES (vs. 60% 1RM)	0.19	0.50	0.24			
	ES (vs. 90% 1RM)	0.25	0.43	0.31			
	Ankle plantar flexion-dorsi flexion	9.61 ± 2.74	7.75 ± 2.04	6.45 ± 3.05	0.74	1.04	0.48
	ES (vs. 60% 1RM)	1.27	1.45	1.36			
	ES (vs. 90% 1RM)	1.26	2.02	2.07			

1RM = One repetition maximum, GRF = Ground reaction force, ES = Effect size

$p < 0.05$

表2 1RM に対する 60% の付加重量を使用した際のキネティクスおよびキネマティクスの各変数

		60% 1RM			ES (20% vs. 40%)	ES (20% vs. 60%)	ES (40% vs. 60%)
	Width	20% Height	40% Height	60% Height			
Peak GRF (N/kg)	Vertical	34.98 ± 2.74	34.89 ± 2.21	35.30 ± 5.49	0.03	0.07	0.09
	ES (vs. 90% 1RM)	0.65	0.89	0.44			
	Horizontal	-5.46 ± 1.01	-8.20 ± 0.66	-9.94 ± 0.69	3.08	4.96	2.47
Joint moment (Nm/kg)	ES (vs. 90% 1RM)	0.84	0.99	0.62			
	Hip extension-flexion	3.09 ± 1.24	3.86 ± 1.11	4.50 ± 1.39	0.63	1.03	0.49
	ES (vs. 90% 1RM)	0.23	0.08	0.14			
Joint moment (Nm/kg)	Hip abduction-adduction	2.26 ± 0.56	2.20 ± 0.64	2.34 ± 0.70	0.10	0.12	0.20
	ES (vs. 90% 1RM)	0.13	0.11	0.17			
	Knee extension-flexion	2.43 ± 0.59	2.49 ± 0.70	2.67 ± 0.83	0.09	0.32	0.22
Joint moment (Nm/kg)	ES (vs. 90% 1RM)	0.02	0.07	0.15			
	Ankle planter flexion-dorsi flexion	2.84 ± 0.42	2.70 ± 0.31	2.70 ± 0.31	0.36	0.36	0.00
	ES (vs. 90% 1RM)	0.34	0.88	0.72			
Joint power (W/kg)	Hip extension-flexion	5.19 ± 2.90	6.85 ± 3.66	7.72 ± 3.52	0.48	0.75	0.23
	ES (vs. 90% 1RM)	1.60	0.26	0.60			
	Hip abduction-adduction	2.65 ± 0.75	2.42 ± 0.85	2.47 ± 1.69	0.28	0.13	0.04
Joint power (W/kg)	ES (vs. 90% 1RM)	0.28	0.04	0.35			
	Knee extension-flexion	6.22 ± 1.68	6.18 ± 2.04	6.10 ± 2.31	0.02	0.06	0.04
	ES (vs. 90% 1RM)	0.08	0.07	0.06			
Joint power (W/kg)	Ankle planter flexion-dorsi flexion	12.64 ± 1.73	11.05 ± 2.32	10.26 ± 2.24	0.74	1.14	0.33
	ES (vs. 90% 1RM)	0.17	0.52	0.83			
1RM = One repetition maximum, GRF = Ground reaction force, ES = Effect size $p < 0.05$							

表3 1RM に対する 90% の付加重量を使用した際のキネティクスおよびキネマティクスの各変数

		90% 1RM			ES (20% vs. 40%)	ES (20% vs. 60%)	ES (40% vs. 60%)
	Width	20% Height	40% Height	60% Height			
Peak GRF (N/kg)	Vertical	36.86 ± 2.80	37.06 ± 2.47	37.45 ± 3.77	0.07	0.17	0.12
	Horizontal	-6.23 ± 0.72	-9.02 ± 0.91	-10.48 ± 0.96	3.26	3.13	1.49
	ES (vs. 90% 1RM)						
Joint moment (Nm/kg)	Hip extension-flexion	3.32 ± 0.50	3.94 ± 0.68	4.66 ± 0.75	0.99	2.01	0.96
	Hip abduction-adduction	2.17 ± 0.73	2.12 ± 0.74	2.22 ± 0.64	0.07	0.07	0.14
	Knee extension-flexion	2.42 ± 0.66	2.54 ± 0.62	2.55 ± 0.67	0.14	0.18	0.19
Joint moment (Nm/kg)	ES (vs. 90% 1RM)						
	Ankle planter flexion-dorsi flexion	2.99 ± 0.43	2.96 ± 0.25	2.96 ± 0.38	0.08	0.07	0.00
	ES (vs. 90% 1RM)						
Joint power (W/kg)	Hip extension-flexion	7.30 ± 2.71	7.69 ± 2.34	9.58 ± 2.34	0.15	0.86	0.77
	Hip abduction-adduction	2.42 ± 0.80	2.38 ± 1.17	1.99 ± 0.72	0.04	0.54	0.38
	Knee extension-flexion	6.39 ± 2.19	6.32 ± 2.06	5.97 ± 2.00	0.03	0.19	0.17
Joint power (W/kg)	ES (vs. 90% 1RM)						
	Ankle planter flexion-dorsi flexion	13.01 ± 2.42	12.30 ± 2.26	12.18 ± 2.18	0.29	0.35	0.05
	ES (vs. 90% 1RM)						
1RM = One repetition maximum, GRF = Ground reaction force, ES = Effect size $p < 0.05$							

416.12, $p = 0.000$) に有意な主効果が認められた。全ての事後検定の結果については、表 1, 2, 3 に示した。

次に、関節モーメントについて、股関節の屈曲伸展軸の結果をみると、有意な交互作用は認められなかったものの ($F = 0.72, p = 0.587$)、重量の要因 ($F = 4.13, p = 0.033$) およびステップ距離の要因 ($F = 51.12, p = 0.001$) に有意な主効果が認められた。股関節の内外転軸および膝関節については、どちらの関節においても有意な交互作用が認められず (股関節内外転軸: $F = 0.83, p = 0.516$, 膝関節: $F = 1.02, p = 0.408$)、重量の要因 (股関節内外転軸: $F = 2.84, p = 0.085$, 膝関節: $F = 2.21, p = 0.139$) とステップ距離の要因 (股関節内外転軸: $F = 0.32, p = 0.730$, 膝関節: $F = 2.68, p = 0.096$) においても有意な主効果は認められなかった。足関節については、有意な交互作用が認められ ($F = 3.96, p = 0.009$)、重量の要因 ($F = 42.26, p = 0.001$) およびステップ距離の要因 ($F = 7.85, p = 0.004$) に有意な単純主効果が認められた。全ての事後検定の結果については、表 1, 2, 3 に示した。

関節パワーについて、股関節の屈曲伸展軸の結果をみると、有意な交互作用が認められなかったものの ($F = 0.86, p = 0.499$)、重量の要因 ($F = 22.70, p = 0.001$) およびステップ距離の要因 ($F = 10.29, p = 0.001$) に有意

な単純主効果が認められた。股関節の内外転軸および膝関節については、どちらの関節においても有意な交互作用が認められず (股関節内外転軸: $F = 0.33, p = 0.857$, 膝関節: $F = 0.83, p = 0.515$)、重量の要因 (股関節内外転軸: $F = 0.71, p = 0.506$, 膝関節: $F = 0.74, p = 0.489$) とステップ距離の要因 (股関節内外転軸: $F = 2.08, p = 0.154$, 膝関節: $F = 0.55, p = 0.586$) においても有意な主効果は認められなかった。足関節については、有意な交互作用が認められなかったものの ($F = 1.59, p = 0.198$)、重量の要因 ($F = 23.32, p = 0.000$) およびステップ距離の要因 ($F = 9.92, p = 0.001$) に有意な主効果が認められた。全ての事後検定の結果については、表 1, 2, 3 に示した。

表 4 には、1RM に対する 60% の付加重量と身長に対

表4 通常および骨盤の挙上動作を意識したステップクリンにおける下肢 3 関節の角度変化量 (deg.)

		60% 1RM		
		Normal	Pelvic	ES
Hip extension-flexion		35.27 ± 9.62	34.74 ± 9.42	0.05
Hip abduction-adduction		10.95 ± 2.31	14.52 ± 1.54	1.74
Knee extension-flexion		27.90 ± 3.92	29.62 ± 4.43	0.41
Ankle planter flexion-dorsi flexion		27.90 ± 3.92	27.64 ± 8.53	0.04
1RM = One repetition maximum, ES = Effect size $p < 0.05$				

表5 通常および骨盤の挙上動作を意識したステップクリーンにおける
キネティクスの各変数

		60% 1RM		
		Normal	Pelvic	ES
Peak GRF (N/kg)	Vertical	34.89 ± 2.21	39.53 ± 5.35	1.09
	Horizontal	-8.20 ± 0.66	-8.94 ± 1.53	0.60
Joint moment (Nm/kg)	Hip extension-flexion	3.86 ± 1.11	5.14 ± 1.72	0.85
	Hip abduction-adduction	2.20 ± 0.64	2.68 ± 0.83	0.62
	Knee extension-flexion	2.49 ± 0.70	3.03 ± 1.03	0.59
	Ankle planter flexion-dorsi flexion	2.70 ± 0.31	2.78 ± 0.56	0.17
Joint power (W/kg)	Hip extension-flexion	6.85 ± 3.66	9.99 ± 3.43	1.02
	Hip abduction-adduction	2.42 ± 0.84	3.33 ± 2.13	0.54
	Knee extension-flexion	6.18 ± 2.04	8.50 ± 3.65	0.75
	Ankle planter flexion-dorsi flexion	11.05 ± 2.32	12.36 ± 3.84	0.40
		1RM = One repetition maximum, GRF = Ground reaction force, ES = Effect size		$p < 0.05$

する40%のステップ距離を使用した通常のSCと骨盤の挙上動作を強調したSCを実施した際の角度変化量を示した。対応のある t 検定の結果、股関節の内外転軸においてのみ、有意な差が認められた($t = 4.17, p = 0.002$)。

表5には、1RMに対する60%の付加重量と身長に対する40%のステップ距離を使用した通常のSCと骨盤の挙上動作を強調したSCを実施した際の地面反力の鉛直および前後成分、関節モーメント、関節パワーの各変数を示した。対応のある t 検定の結果、地面反力の前後成分、股関節の内外転軸の関節パワー、足関節の関節モーメントおよびパワー以外の全ての変数において、有意な差が認められた($t = 1.63 - 4.18, p = 0.001 - 0.028$)。

4. 考 察

本研究の目的は、陸上競技の跳躍種目における踏切動作の特性を考慮して考案したSCについて、外的負荷とステップ距離の変化に着目して下肢の負荷特性に与える影響を調査することであった。

はじめに、付加重量の増加に伴う下肢3関節のキネティクスの変化についてみると(表1, 2, 3)、股関節屈曲伸展軸における関節モーメントと関節パワーについては、1RMに対する30%から90%にかけての付加重量を使用した際のステップ距離20%および40%において、有意に増大することが認められた。また、1RMに対する30%から90%にかけての付加重量を使用した際のステップ距離20%から60%において、足関節における関節モーメントと関節パワーが有意に増大することも認められた。これに対して、全てのステップ距離における股関節内外転軸および膝関節の関節モーメントおよび関節パワーについては、全ての付加重量間において有意な差は認められなかった。両脚HPCに関する先行研究では、付加重量を増加させた際に、股関節および足関節のキネティクスは増大するのに対して、膝関節のキネティクスは変化しないことが明らかとなっている(Kipp et al., 2018, 2019)。一方で、片脚HPCに関する先行研究においても、付加重量の増加に伴う股関節屈曲伸展軸、膝関節、足関節のキネティクスの変化は両脚HPCと同様な傾向を示し、これに加えて、片脚HPCでは股関節内外

転軸のキネティクスは付加重量が増加しても大きさは変化しないことが明らかとなっている(Hayashi et al., 2023)。本研究の結果から、前方への移動動作を伴ったSCにおいても、付加重量の増加に伴う関節ごとのキネティクスの変化は両脚HPCや片脚HPCと同様な傾向を示すことが明らかとなった。以上のことから、両脚HPC、片脚HPCおよびSCにおける下肢3関節の負荷依存性については、股関節屈曲伸展軸、足関節では負荷依存するものの、股関節内外転軸および膝関節については、負荷依存しないという共通した特徴を有していることが明らかとなった。

次に、ステップ距離の増加に伴う下肢3関節のキネティクスの変化についてみると(表1, 2, 3)、股関節屈曲伸展軸のキネティクスは、全ての付加重量において有意に増大することが示された。SCにおいてステップ距離を増加させた際には、地面反力の前後成分の負の値が全ての付加重量において有意に増大していた。これは、ステップ距離の増大により前方への移動距離が増大したために、身体が有する前方方向への速度が高くなったことが影響していると考えられる。他の関節のキネティクスの結果を加味すると、ステップ距離の増大に伴って増大したキネティクスは股関節の屈曲伸展軸のみであったために、SCでは主に股関節周辺に関与する筋群で地面反力の前後成分を受け止めていた可能性があると考えられる。以上のことから、SCではステップ距離の増加に伴って、主に股関節伸展軸のキネティクスが増大することが明らかとなった。

通常のSCと骨盤の挙上動作を強調したSCの関節角度の変化量については、股関節内外転軸のみにおいて差が認められている(表4)。この結果から、対象者は指示通りに骨盤の挙上動作を強調してSCを実施できていたことが推察できる。1RMに対する60%の付加重量と身長に対する40%のステップ距離を使用した際の骨盤の挙上動作を強調したSCの下肢のキネティクスは、股関節屈曲伸展軸および膝関節の関節モーメントおよび関節パワーが通常のSCよりも有意に大きい値を示した(表5)。特に、股関節屈曲伸展軸におけるキネティクスについては、効果量がlargeであった。これに加えて、

股関節内外転軸における関節モーメントについても骨盤の挙上動作を強調した SC の方が大きいことが認められた (表 5)。こうした骨盤周辺のキネティクス的な特性については、骨盤の挙上動作を強調したスクワットエクササイズの特徴を通常のスクワットエクササイズの負荷特性との比較から検討した荏山ほか (2018) の報告でも同様に示されている。陸上競技の跳躍種目では、片脚で大きな負荷を受け止めることが要求されることが報告されている (図子, 2012)。したがって、こうした特性を考慮して片脚による大きな力やパワーを発揮する能力を改善することを目的として SC を実施する際には、骨盤の挙上動作を強調した SC を取り入れた方が有効になる可能性があると考えられる。

最後に、SC をウェイトトレーニング手段として用いる際の負荷特性について議論する。1RM に対する 30%、60%、90% の付加重量を用いた片脚 HPC の先行研究 (Hayashi et al., 2023) と本研究における SC のキネティクスの大きさを比較すると、SC の方が大きなキネティクスの値を示したのは、膝関節のキネティクスのみであった。その大きさについては、使用する付加重量やステップ距離にかかわらず、SC 中の膝関節の関節モーメントおよびパワーは、片脚 HPC よりも約 1.5 – 2.0 倍程度大きい値であった。このことから、膝関節周辺の筋群の力・パワー発揮能力を改善することを狙って HPC を取り入れる際には、片脚 HPC よりも SC の方が有効になる可能性が高い。一方で、股関節および足関節のキネティクスについては、片脚 HPC の方が SC よりも大きくなる可能性がある。加えて、股関節の屈曲伸展軸におけるキネティクスについては、SC における標準偏差が大きく、個人によっては、片脚 HPC と比較してばらつく可能性がある。したがって、股関節および足関節における力やパワー発揮能力を改善することを目的としてウェイトトレーニングの種目を選択する際には、SC よりも片脚 HPC を取り入れた方がより有効なトレーニング手段となる可能性がある。これらに加えて、陸上競技の跳躍種目における踏切時のパフォーマンスを考慮して SC を実施する際には、下肢筋群が発揮する力やパワーの増大を狙って、骨盤の挙上動作を強調した方が通常の HPC よりも効果的なトレーニングを推進することができると考えられる。

5. 要 約

本研究では、筆者らが考案した SC を対象として、外的負荷と移動する距離 (ステップ距離) の変化が SC 中の下肢の負荷特性に与える影響について調査することが目的であった。これに加えて、骨盤の挙上動作を強調した動作を考慮した SC の下肢の負荷特性も同時に調査した。本研究から得られた主な結果は、以下の通りである。

(1) 下肢 3 関節のキネティクスは、股関節屈曲伸展軸、

足関節では負荷依存するものの、股関節内外転軸および膝関節については、負荷依存しないことが明らかとなった。

- (2) SC ではステップ距離の増加に伴って、主に股関節のキネティクスが増大することが明らかとなった。
- (3) 1RM の 60% の付加重量と身長に対する 40% のステップ距離を使用した際における骨盤の挙上動作を強調した SC のキネティクスは、股関節屈曲伸展軸および膝関節の関節モーメントおよび関節パワーが通常の SC よりも大きいことが明らかとなった。

以上のことから、SC をウェイトトレーニング手段として用いる際には、上記の結果を考慮し、トレーニングの目的に沿って用いることが望ましい。

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係数. *Japanese Journal of Sports Science*, 15: 155–162.
- Bosch, F. (2015) *Strength Training and Coordination: An Integrative Approach*; IPTS: Seville, pp. 265–323.
- Cohen, J. (1988) *Statistical Power Analysis for the Behavioral Science* (second ed.). Lawrence Erlbaum Associates: New York, pp. 20–27.
- Garhammer, J. (1993) A review of power output studies of Olympic and powerlifting: Methodology, performance prediction, and evaluation tests. *J Strength Cond Res* 7: 76–89.
- 林 陵平・吉田拓矢・木越清信 (2018) ドロップクリーンにおける台高と付加重量が地面反力および下肢 3 関節のキネティクスに及ぼす影響. *体育学研究*, 63 (1), 199–214.
- Hayashi, R., Yoshida, T., and Kariyama, Y. (2021) Differences in kinetics during one- and two-leg hang power clean. *Sports*, 9: 45.
- Hayashi, R., Yoshida, T., and Kariyama, Y. (2023). Comparison of joint-level kinetics during single-leg and double-leg weightlifting derivatives. *J Strength Cond Res*, 37 (5), 1017–1022.
- 荏山 靖・林 陵平・吉田拓矢・図子あまね・図子浩太・図子浩二 (2018) 骨盤の挙上運動を強調した片脚スクワットエクササイズの力学的特性. *体力科学*, 67 (2), 187–197.
- Kariyama, Y., Hobara, H., Zushi, K. (2017) Differences in take-off leg kinetics between horizontal and vertical single-leg rebound jumps. *Sports Biomech* 16: 187–200.
- Kawamori, N., Crum, A.J., Blumert, P.A., Kulik, J.R., Childers, J.T., Wood, J.A., Stone, M.H., and Haff, G.G.

- (2005) Influence of different relative intensities on power output during the hang power clean: Identification of the optimal load. *J Strength Cond Res*, 19: 698–708.
- Kilduff, LP., Beva, H., Owen, N., Kingsley, MIC., Bunce, P., Bennett, M., and Cunningham, D. (2007) Optimal loading for peak power output during the hang power clean in professional rugby players. *Int J Sports Physiol Perf*, 2: 260–269.
- Kipp, K., Malloy, PJ., Smith, JC., Giordanelli, MD., Kiely, M., Geiser, CF., and Suchomel, TJ. (2018). Mechanical demands of the hang power clean and jump shrug: A joint-level perspective. *J. Strength Cond. Res.*, 32 (2), 466–474.
- Kipp, K., Suchomel, TJ., and Comfort, P. (2019). Correlational analysis between joint-level kinetics of countermovement jumps and weightlifting derivatives. *J. Sports Sci. Med.*, 18 (4), 663–668.
- Muraki, Y., Ae, M., Koyama, H., and Yokozawa, T. (2008). Joint torque and power of the takeoff leg in the long jump. *International journal of sport and health science*, 6, 21–32.
- Perttunen, J., Kyrolaine, H., Komi, PV., and Heinonen, A. (2000). Biomechanical loading in the triple jump. *J Sports Sci*, 18 (5), 363–370.
- Suchomel, TJ., Beckham GK., and Wright GA. (2014) The impact of load on lower body performance variables during the hang power clean. *Sports Biomech* 13: 87–95.
- Takei, S., Hirayama, K., and Okada, J. (2021) Comparison of the power output between the hang power clean and hang high pull across a wide range of loads in weightlifters. *J Strength Cond Res*, 35 (Suppl 1) : S84–S88.
- 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 : 29–36.
- 戸邊直人・苅山 靖・林 陵平・木越清信・尾縣 貢 (2019) 走高跳の踏切局面における下肢3関節の力・パワー発揮特性. *体育学研究*, 64 (2), 625–635.
- Wells, RP., and Winter, DA. (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics of normal, pathological and sporting gaits. *Human Locomotion*, 1 : 92–93.
- 図子浩二 (2013) トレーニング論Ⅱ. トレーニングの理論と方法論. *公認スポーツ指導者養成テキスト*, pp. 104–117.
-

陸上競技男子 5000m 走における記録更新を目的としたレース分析 — 国際レベルと国内レベルのレースを対象に —

黒崎 渥矢¹⁾, 山手 勇一¹⁾, 関 星汰朗²⁾, 小林 哲郎²⁾, 黄 仁官²⁾

Analysis of Men's 5000m-race between higher and lower long-distance runners :
focused on the national and international games

Atsuya KUROSAKI¹⁾, Yuichi YAMATE¹⁾, Shotaro SEKI²⁾, Tetsuro KOBAYASHI²⁾, Inkwan HWANG²⁾

Abstract

The purpose of this study was to compare lap time and the rate of change in lap time of national or international races which was focused on breaking the individual record for the 5000m race, and to clarify the characteristics of pacing strategies between higher and lower groups. We analyzed 72 races (37 national and 35 international), categorizing them into higher and lower groups based on the Diamond League minimum record of 13min 36sec.

The results were shown as follows:

- 1) In all groups, the last 1000 m was the fastest segment, followed by the first 1000 m.
- 2) There was no significant difference in the ratio of average lap times based on finishing time between higher and lower groups. When averaging the lap time ratios of both groups, the values were 100.5% at 0 m to 1000 m, 99.1% at 1000 m to 2000 m, 98.5% at 2000 m to 3000 m, 98.7% at 3000 m to 4000 m, and 103.5% at 4000 m to 5000 m. Therefore, the race pace was maintained at a relatively high intensity across 2000 m to 4000 m.
- 3) There were no significant differences in the rate of change in lap times across athletic levels. The first 2000m showed a 1.5% decrease, followed by a 0.2% decrease in the next 2000 m. In contrast, the last 1000 m exhibited a 4.6% increase.
- 4) There was no significant difference in the ratio of lap times based on finishing time between the higher and lower groups. When averaging the ratio of both groups for each section, 19.9% from 0 m to 1000 m, 20.2% from 1000 m to 2000 m, 20.3% from 2000 m to 3000 m, 20.3% from 3000 m to 4000 m, and 19.3% from 4000 m to 5000 m. The ratio was low in the 0 m to 1000 m and 4000 m to 5000 m sections.

Based on these results, the race strategy for achieving a individual record in the men's 5000m, regardless of athletic level, is to conserve energy in the 1000 m to 4000 m section and to increase the pace in the last 1000m section.

キーワード：長距離走, レース分析, ペース戦略, 効率

1. 緒 言

陸上競技長距離走（以下、長距離走）は高い走速度の維持とラストパートでの爆発的な出力が求められる種目である（榎本ほか, 1997；黄ほか, 2009；黒崎ほか, 2023）。そのため、レースで勝利するためにはラストパートにおいてハイパワーの出力を行える余力をレース中に残すことができるかが重要であると考えられる。長距離走のパフォーマンスを決定する要因として、最大酸素摂取量, 乳酸性作業閾値, そしてランニングエコノミー（以下、RE）が挙げられる（Conley and Krahenbuhl, 1980；Daniels, 1985; Morgan et al., 1989；Noakes et al., 1990；Billat et al., 2001；Joyner et al., 2020）。中でも、RE はいかに少ないエネルギーによって走行することができるかを示す「経済性」の指標とされており、同じ速度帯で走行している際は酸素摂取量が少ない方が経済性に優れているとされている。RE について、Daniels ほか（1985）は女子長距離走選手の 3000m 走において記録が同程度の選手 2 名を対象に最大酸素摂取量が出現する速度（以下、 $\dot{V}O_{2max}$ ）時の酸素摂取量を比較したところ、記録が同程度であるにも関わらず $\dot{V}O_{2max}$ 時の酸素摂取量に差が認められたことから、長距離走のパフォーマンスを決定する要因は RE であると述べている。また岡田（2019）は、RE と下肢の動作・筋力活動を検討し、RE と長距離走パフォーマンスがより関連するのは疲労時および疲労に至るまでの RE の変化とバイオメカニクスの要因であると報告した。Tucker ほか（2006）は、5000m 走の世界記録が更新された 32 レースの分析を行い、そのうち 21 レースでラストの 1000m が最も速いラップタイムであったことから、ラストパートを行うため

1) 日本体育大学大学院体育学研究科 Graduate School of Health and Sport Science, Nippon Sport Science University
〒158-8508 東京都世田谷区深沢 7-1-1
2) 日本体育大学体育学部 Faculty of Sport Science, Nippon Sport Science University
〒227-0033 神奈川県横浜市青葉区鴨志田町 1221-1

にはレース中に余力を残せることが重要であると述べている。このことから、長距離走のレースにおける RE はラストパートを行うための余力を残せることであると考えられる。そこで、ペース配分の研究に着目すると、Abbiss and Larsen (2008) はペース配分をネガティブ、オールアウト、ポジティブ、イーブン、放物線 (J 字型, U 字型), 変動ペーシングの 6 つに分類している。特に中長距離走で一般的に用いられるペース配分は、イーブン, ポジティブ, ネガティブ, 放物線 (J 字型, U 字型) の 4 つに分類される (Tucker et al., 2006; Thiel et al., 2012; Casado et al., 2021a; Muñoz-Pérez et al., 2023; Casado et al., 2024)。イーブンペーシングは、レース序盤から終盤まで大きくペースに変化がないペース配分で、男子のマラソンの世界記録のレースなどに用いられているペース配分である。ポジティブペーシングは、レース序盤に最高速度に到達しレース終盤にかけて速度が低下するペース配分で男女の 800m の世界記録と五輪や選手権などのレースに用いられているペース配分である。ネガティブペーシングは、レース序盤から終盤にかけてペース変化に上下がありながらもペースが上がっていくペース配分で、男女の 5000m 走や 10000m 走の選手権や五輪などのレースに用いられているペース配分である。放物線ペーシング (J 字型) は、レース序盤でペースが上がリレース中盤にペースが低下し、そして、レース終盤にレース序盤よりもペースが上がるペース配分で男子の 1500m 走の選手権や五輪などのレースに用いられているペース配分である。放物線ペーシング (U 字型) は、レース序盤にペースが上がリ、レース中盤にペースが低下し、そしてレース終盤にレース序盤と同じぐらいのペースに上がるようなペース配分の特徴であり、男女の 1500m 走と男子の 5000m 走および 10000m 走の世界記録などのレースに用いられているペース配分である。これら 4 つのペース配分は種目や選手のレベル、そしてレースの種類によって異なると考えられる。Thiel ほか (2012) は、北京五輪 (2008 年) の男女 800m, 1500m, 5000m, 10000m の決勝レースを分析し、順位を狙うレースと記録を狙うレースでペース配分が異なると述べている。これらのことから男子 5000m 走のレースパターンについて順位を狙うレースと記録を狙うレースについて検討すると、順位を狙うレースは五輪や選手権などのレースであり、レース序盤から終盤にかけてペース変化に上下がありながらもレース終盤に大きくペースが上がる特徴があるためレースパターンはネガティブペーシングである (Thiel ほか, 2012; Casado ほか, 2024)。一方、記録を狙うレースは世界記録などが更新されたレースであり、レース序盤にペースが上がリ、レース中盤にペースが低下し、そしてレース終盤にレース序盤と同じぐらいのペースに上がる特徴からレースパターンは放物線ペーシング (U 字型) であると考えられた (Tucker ほか,

2006; Casado ほか, 2024)。

以上のことから、これまでのレース分析の研究の問題点は以下の 2 点が考えられる。①五輪や世界選手権、各国の選手権大会や世界記録更新時のレースなどの一流選手のレース分析を行った研究 (Aragon et al., 2015; Renfree et al., 2020; Filipas et al., 2021; Casado et al., 2021b) に限られている点。これらの研究は五輪や世界選手権で優れた成績を収めるためのペース配分や世界記録更新に向けてのペース配分の組み立てには有効であると考えられるが、これらのレースを対象としたレース分析のみではこれから一流選手に近づいていこうとする一流以外の選手のペース配分の組み立てには不十分である。②一流選手と一流以外の選手の記録更新を狙いとしたレースをラップタイムを基に比較していないため、一流選手および一流以外の選手のペース配分の共通点や差が明らかになっていない点。これらのことから、一流選手と一流以外の選手のレースのラップタイムやラップタイムの変化率等から比較を行うことで一流選手と一流以外の選手とのペース配分の差を示すことができると考えられる。また一流選手と一流以外の選手のペース配分に差がないのであれば、このペース配分は競技レベルに関係なく男子 5000m 走において記録更新を狙う際に最適なペース配分になり得る可能性があると考えられる。

そこで、本研究は陸上競技男子 5000m 走の記録更新を狙いとする国内および国外レースを対象にラップタイムおよびラップタイムの変化率と割合について比較を行い、一流選手と一流以外の選手のペース配分の特徴を明らかにすることを目的とした。

2. 方法

2.1 データ収集

(1) 対象レースおよびデータ収集方法

対象レースは第 306, 308, 311 回日本体育大学長距離競技会および第 24 回日本体育大学女子長距離競技会 (2023 年) の男子 5000m 走に出場した 13 分 00 秒から 14 分 59 秒までの全 37 レースおよび 2015 年から 2023 年度までの Diamond League の男子 5000m 走に出場した 12 分 35 秒から 13 分 36 秒までの全 35 レースとした。日本体育大学長距離競技会は、レースに参加する選手の公式自己ベストタイムを主催者に申告し、その申告されたタイムに基づいてレースの番組編成が行われるため、比較的競技レベルの近い選手が同じ組で競い、記録更新を狙うレースと考えられた (日本体育大学陸上部, 2023)。また Diamond League のレースは、Diamond League の競技規則にペースメーカーの記載がされている (World Athletics, 2023)。ペースメーカーの役割について Díaz ほか (2019) は、1998 年から 2018 年までの男女のマラソンの世界記録を分析し、2018 年のエリウド・キプチョゲが更新した世界記録は約 26km 地点まで

ペースメーカーと走行し、30km 地点以降のタイムは世界記録を 53 秒更新した。この結果はペースメーカーが記録更新のためにペース調整を行なった結果であると報じていた。加えて、Filipas ほか (2018) は中長距離走レースについてオリンピックや世界選手権ではメダル獲得が目的であるのに対して、その他のレースではスタート後に可能な限り速いタイムでゴールすることが目標となると述べている。また本研究で対象とした Diamond League の全 35 レース中、World Lead の記録が 16 レース、自己新記録を更新したレースが 11 レースあった。以上のことから、本研究においてペースメーカーがいる Diamond League のレースは、記録更新を狙いとしたレースであると考えられた。

ラップタイムのデータ収集は、各レースにおいて集団の先頭を走行している選手が集団のペースを形成していると考え、集団の先頭が 1000m 通過時の 1000m 毎のラップタイムを用いた。これらのレースを Diamond League の最低記録 (13 分 36 秒) を基準に 13 分 36 秒以内のレースを上位群、13 分 36 秒から 14 分 59 秒までのレースを下位群の 2 群に分類した。また本研究のレースの「区間」を以下のように定義した。「区間」は地点に挟まれた範囲とした。それぞれの区間のペース配分と群間の差を示すために区間の分類は、0m-1000m (以下, 1000m 区間), 1000m-2000m (以下, 2000m 区間), 2000m-3000m (以下, 3000m 区間), 3000m-4000m (以下, 4000m 区間), 4000m-5000m (以下, 5000m 区間) の 1000m 毎の区間とした。表 1 に各群のレースの平均タイムと標準偏差を示した。本研究の日本体育大学長距離競技会の記録は競技会運営責任者に許可を得て収集し、Diamond League の記録についてはオープンアクセスの Diamond League の web サイト (Diamond League, 2023) から取得した。なお、本研究は日本体育大学におけるヒトを対象とした実験・測定研究に関する倫理審査委員会の承認を得て実施したものである (承認番号: 第 024-H074 号)。

(2) 測定項目

ラップタイムは、各群の 5000m 走における 1000m 毎のラップタイムを収集し、ラップタイムから 1000m 毎のラップタイムの変化率を算出した。さらに、ゴールタイムを基に 5000m 走における平均ラップタイムを算出した。また、ゴールタイムを基準とした平均ラップタイムの割合と群間の差を示すために 1000m, 2000m, 3000m, 4000m, 5000m 区間のラップタイムの割合を算出した。加えて、各群間の区間毎のペース配分の差を比較するためにレースのゴールタイムを基準とした各区間のラップタイムの割合も算出した。

(3) 統計処理

全てのデータは平均値±標準偏差で示し、Shapiro-wilk 検定を実施し正規性の確認を行った。その結果、上位群の 1000m 毎のラップタイムは正規性の確認ができなかったため 1000m 毎のラップタイムの比較には Freidman 検定を用い、その結果有意差が認められたものに対しては Bonferroni-Dunn の多重比較検定を実施した。下位群の 1000m 毎のラップタイムは正規性の確認ができたため繰り返しのある一元配置分散分析を行い、その結果有意差が認められたものに対しては Bonferroni 補正を適用し多重比較検定を実施した。また上位群のラップタイムの変化率は正規性が確認できたが下位群のラップタイムの変化率に正規性が確認できなかった。したがって、ラップタイムの変化率の群間比較には、Mann-Whitney の U 検定を実施した。ゴールタイムを基準とした平均ラップタイムの割合の群間比較では 1000m, 3000m, 5000m 区間においては正規性の確認ができたが、2000m, 4000m 区間では正規性の確認ができなかった。したがって、正規性が確認できた区間においては対応のない T 検定を行い、正規性が確認できなかった区間においては Mann-Whitney の U 検定を実施した。さらに、レースのゴールタイムを基準とした各区間のラップタイムの割合の比較は、同様の方法で行った。いずれの統計処理においても分析ソフト SPSS Statics27.0 (IBM 製) を用いて行い、すべての有意水準は危険率 5% 未満とした。

表 1. 各群のレース平均タイム

群	n	レースタイム
上位	40	13分01秒 ± 14.4秒
下位	32	14分23秒 ± 21.1秒

3. 結果および考察

3.1 男子 5000m 走の 1000m 毎のラップタイムおよびゴールタイムを基準とした 1000m 毎の平均ラップタイムの割合

図 1 に男子 5000m 走における 1000m 毎のラップタイムを示した。上位群および下位群の 1000m 区間のラップタイムは 2000m, 3000m, 4000m 区間よりも有意に低値を示し ($p < 0.05$)、上位群および下位群の 5000m 区間のラップタイムは全ての区間よりも有意に低値を示した ($p < 0.05$)。また上位群においては 2000m から 4000m 区間までのラップタイムと各区間のラップタイムとの間に

は有意な差が認められなかった。一方で、下位群の 2000m から 4000m 区間までの各区間のラップタイムにおいては、2000m 区間が 3000m 区間よりも有意に低値を示した ($p < 0.05$)。しかし、4000m 区間においては、2000m, 3000m 区間のいずれの区間のラップタイムとの間に有意な差は認められなかった。

図 2 にゴールタイムを基準とした 1000m 毎の平均ラップタイムの割合を示した。ゴールタイムを基準とした 1000m 毎の平均ラップタイムの割合の各群間の比較では、全ての区間で有意な差は認められなかった。そのため、上位群および下位群のゴールタイムを基準とした平均ラップタイムの割合を各区間で平均すると、1000m 区

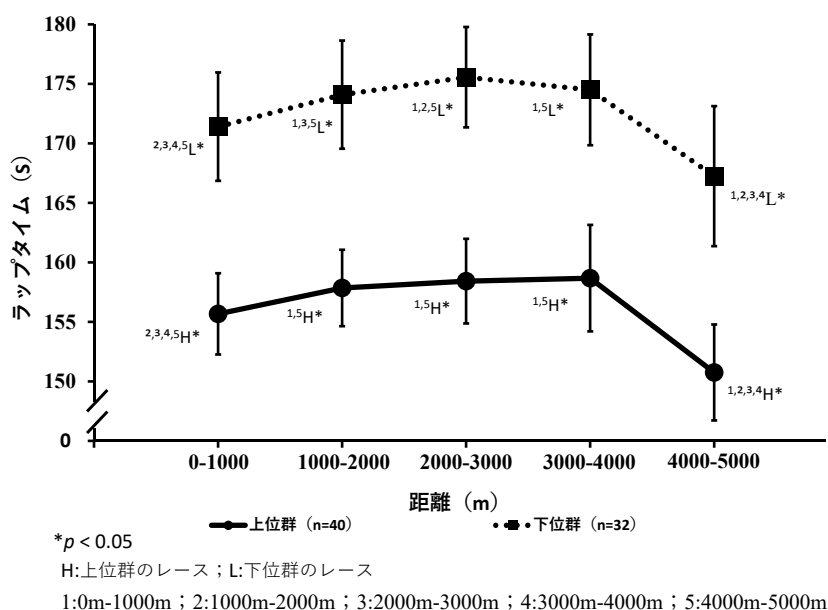


図 1. 5000m 走中の各区間毎のラップタイム

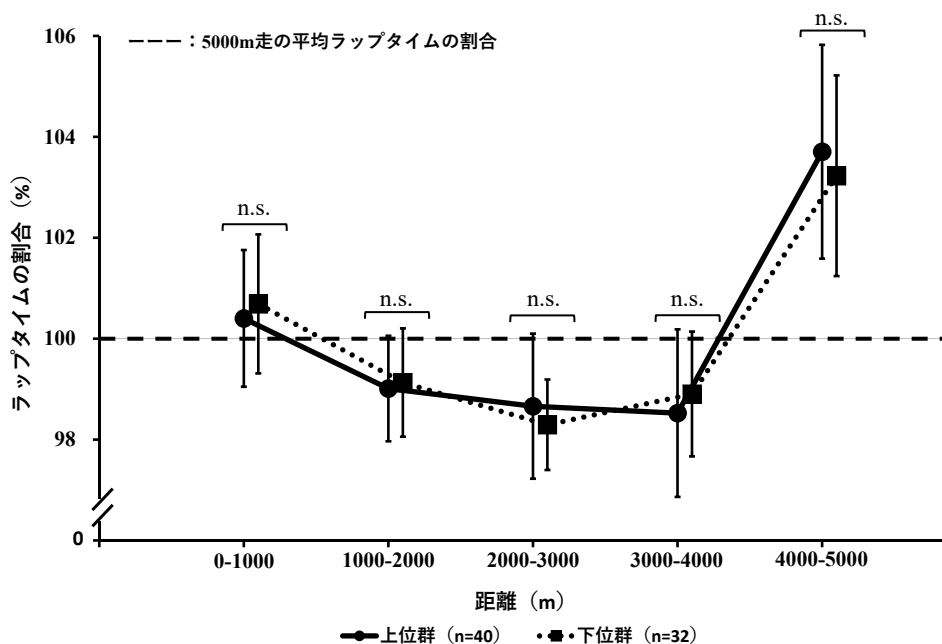


図 2. 5000m 走の平均ラップタイムに対する上位群および下位群のラップタイムの割合の比較

間で100.5%，2000m区間で99.1%，3000m区間で98.5%，4000m区間で98.7%，そして5000m区間で103.5%であった。男子5000m走の世界記録のレースの分析を行ったTuckerほか（2006）は、5000m走の世界記録のペース配分についてレース中の1000mのラップタイムはラストの1000mが最も速く次いで最初の1000mが速いといったスタートが速く、中盤にペースが低下し、レース終盤に大きくペースが上がる特徴があると述べている。本研究では、上位群下位群ともにTuckerほか（2006）と同様の結果を示しており5000m走の記録を狙うレースにおいては競技レベルに関係なく、5000m区間において大きくペースが上がるペース配分を用いていた。これらのことから、2000m、3000m、4000m区間は1000mおよび5000m区間よりもラップタイムが遅くなる地点であり、5000m区間は1000m区間よりもラップタイムが速くなる区間であることが明らかになった。しかし、黄ほか（2009）は一流大学長距離走選手8名を対象に10000mレース直後の血中乳酸濃度と10000mレース中の2000m毎のラップタイムとの相関関係を分析した結果、それぞれの地点と有意な負の相関関係が認められたと報告している。さらに、10000mレース直後の血中乳酸濃度とラップタイムとの間に高い相関関係が認められた要因として、レースの中盤から終盤ではスピードの減退が大きく起こらずある程度のスピードが維持されていたためレース直後の血中乳酸濃度に反映されたと述べていた。これらのことから、本研究において2000m、3000m、4000m区間は単にペースを低下させて楽に走行する区間ではなく、1000m区間よりも低いペース（98-99%）を維持しつつも体力を温存できるように走行し5000m区間のペースアップに備える区間であると示唆された。

3.2 男子5000m走の1000m区間毎のラップタイムの変化率とゴールタイムを基準としたラップタイムの割合

表2に男子5000m走中の2群の1000m区間毎のラップタイムの変化率を示した。1000m区間毎のラップタイムの変化率の各群間の比較では、全ての群間において有意な差は認められなかった。さらに、2群のラップタイムの変化率を2000m、3000m、4000m、5000m区間ごとに平均すると、2000m区間は1.5%の速度低下が生じ、3000m区間では0.6%の速度低下、4000m区間では0.2%の速度低下、そして5000m区間では4.6%の速度の増加が生じていた。表3にゴールタイムを基準とした5000m走中の各区間のラップタイムの割合を示した。ゴールタイムを基準とした各区間のラップタイムの各群間の比較では、全ての区間と有意な差は認められなかった。さらに、2群のラップタイムの割合を1000m区間、2000m区間、3000m区間、4000m区間、5000m区間ごとに平均すると、1000m区間は19.9%，2000m区間は20.2%，3000m区間は20.3%，4000m区間は20.3%，5000m区間は19.3%であった。これらのことから、2群の競技レベルは異なるがペース配分に差がないことが明らかになった。しかし、Pryorほか（2020）は長距離走のペース配分のレビュー研究において現段階において最適なペーシング戦略は見当たらないと述べているが、本研究で対象とした記録更新を狙いとしたレースでは、異なる競技レベルにおいても同様のペース配分を示したためPryorほか（2020）の結果とは異なる結果であった。したがって、記録を狙うレースにおいては競技レベルに関係なく、1000m-4000m区間を体力を温存しながら走行し、5000m区間で大幅なペースアップをできることが重要であると示唆された。レース終盤のペースアップに

表2. 5000m走における上位群および下位群の前区間に対する各区間ラップタイムの変化率の比較

区間	上位群 (n=40)	下位群 (n=32)	C _i
2000m (%)	1.4 ± 1.6	1.6 ± 1.9	n.s.
3000m (%)	0.4 ± 1.9	0.9 ± 1.4	n.s.
4000m (%)	0.2 ± 2.0	-0.6 ± 1.5	n.s.
5000m (%)	-4.9 ± 2.9	-4.1 ± 2.4	n.s.

平均値 ± 標準偏差；n.s.：not significant

C_i：上位群 vs 下位群

表 3. 5000m 走にゴールタイムを基準とした上位群および下位群の各区間ラップタイムにおける割合の比較

区間	上位群 (n=40)	下位群 (n=32)	C ₁
1000m (%)	19.9 ± 0.3	19.9 ± 0.3	n.s.
2000m (%)	20.2 ± 0.2	20.2 ± 0.2	n.s.
3000m (%)	20.3 ± 0.3	20.4 ± 0.2	n.s.
4000m (%)	20.3 ± 0.3	20.2 ± 0.3	n.s.
5000m (%)	19.3 ± 0.4	19.4 ± 0.4	n.s.

平均値 ± 標準偏差；n.s.：not significant

C₁：上位群 vs 下位群

ついて、男子 10000m 走の走動作タイプの分析を行った黒崎ほか（2023）は、レース序盤と比較してレース終盤に走速度およびストライドを大きくすることで走速度を大きくしていると報告されている。本研究においても 5000m 区間でペースアップするためには、集団がどのようなペース配分で推移しようとも 2000m 区間から 5000m 区間にかけてストライドを大きくすることができるよう 2000m-4000m 区間で体力を温存して走行することが重要である可能性が見受けられた。したがって、陸上競技男子 5000m 走の記録を狙うレースは競技レベルに関係なくペース配分が類似していた。また 5000m 区間に大きくペースを上げるために 2000m-4000m 区間の経済性に優れたペース配分は記録を更新するための基本となるペース配分である可能性が示唆された。

以上の結果から、陸上競技男子 5000m 走の記録を狙うレースにおいて 5000m 区間に大幅なペースアップを行うためには 2000m-4000m 区間を 1000m 区間のラップタイムよりも低いペースで維持しつつも体力を温存しながら走行する必要があると考えられた。

4. 本研究の限界

本研究は、男子 5000m 走の記録更新を狙いとした国内外レースを対象に競技レベル毎に比較を行った。RE は、生理学的要素やバイオメカニクスの要素を用いることで評価できる指標であるため本研究で述べている「経済性」はこれらの要素を実際に測定したわけではなく、これらの要素が総合的に表れているのが 1000m-4000m 区間の経済性であると考えた。また本研究の基本となるペース配分は記録更新を狙いとしたレースが対象であるため、順位を狙うことを目的としたレースの基本となるペース配分については言及できない。

5. まとめ

本研究は、陸上競技男子 5000m 走の記録更新を狙いとする国内および国外レースを対象にラップタイムやラップタイムの変化率と割合について比較を行い、一流選手と一流以外の選手のペース配分の特徴を明らかにすることを目的とした。本研究の結果と考察から以下のことが明らかになった。

(1) 上位群下位群ともに 1000m 毎のラップタイムは、ラストの 1000m が最も速く、次いで最初の 1000m が速かった。

(2) ゴールタイムを基準とした平均ラップタイムの割合は、上位群と下位群に有意な差が認められなかったことから、両群のラップタイムの割合を平均すると 1000m 区間で 100.5%，2000m 区間で 99.1%，3000m 区間で 98.5%，4000m 区間で 98.7%，そして、5000m 区間で 103.5%であり 2000m，3000m，4000m 区間においても比較的高い強度でペースが維持されていた。

(3) ラップタイムの区間毎の変化率は、上位群と下位群に有意な差が認められなかったことから、両群の変化率を平均すると 2000m 区間において 1.5%の速度低下が生じ、3000m 区間では 0.6%の速度低下、4000m 区間では 0.2%の速度低下、そして 5000m 区間では 4.6%速度が増加していた。

(4) ゴールタイムを基準としたラップタイムの割合は上位群と下位群に有意な差が認められなかったことから、両群の区間の割合を平均すると 1000m 区間で 19.9%，2000m 区間で 20.2%，3000m 区間で 20.3%，4000m 区間で 20.3%，5000m 区間で 19.3%であり、1000m 区間および 5000m 区間において割合が低いことから 1000m-4000m 区間で体力を温存してラストの 1000m に備えていた。

以上のことから、男子5000m走の記録を狙うレースにおいては競技レベルに関係なく1000m-4000m区間に体力を温存して走行することで、5000m区間のペースアップを可能にしていたと示唆された。

文献

- Abbiss, R. and Laursen, B. (2008) Describing and understanding pacing strategies during athletic competition. *Sports Medicine*, 38 (3) : 239-252.
- Aragón, S., Lapresa, D., Arana, J., Anguera, T., and Garzón, B. (2015) Tactical behaviour of winning athletes in major championship 1500-m and 5000-m track finals. *European Journal of Sports Science*.
- Billat, B., Demarle, A., Slawinski, J., Paiva, M., and Koralsztejn, J. (2001) Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(12) : 2089-2097.
- Casado, A., García-Manso J., Romero-Franco N., and Martínez-Patiño J. (2021a) Pacing strategies during male 1500m running world record performances. *Research in Sports Medicine*, 29(6) : 593-597.
- Casado, A., González-Mohino F, González-Ravé M., and Boullousa, B. (2021b) Pacing profiles of Middle-Distance running world records in men and women. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18.
- Casado, A., Ranieri, L., Hanley, Foster, C., and González-Mohino F. (2024) Differences in pacing behaviour between global championship medal performances and world records in men's and women's middle- and long-distance running track events. *Journal of Sports Sciences*, 42(4): 358-364.
- Conley, D., and Krahenbuhl, S. (1980) Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12(5) : 357-360.
- Daniels, J. (1985) A physiologist's view of running economy. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17(3) : 332-338.
- Diamond League (2023) Results & Standings Results Archive. <https://www.diamondleague.com/lists-results/archive/>, (参照日 2024 年 4 月 1 日) .
- Díaz, J., Fernández-Ozcorta, E., Torres, M., and Santos-Concejero, J. (2019) Men vs. women world marathon record's pacing strategies from 1998 to 2018. *European Journal of Sport Science*, 19(10) : 1297-1302.
- 榎本靖士・阿江通良・岡田英孝 (1997) 長距離走の疾走動作と力学的エネルギー利用の有効性. *陸上競技研究*, 28 (1) : 8-15.
- Filipas, L., Ballati, E., Bonato, M., Torre, A., and Piacentini, F. (2018) Elite male and female 800-m runner's display of different pacing strategies during season-best performances. *International Journal of sports physiology and performance*, 13(10) : 1344-1348.
- Filipas, L., Torre, A., and Hanley, B. (2021) Pacing profiles of Olympic and IAAF world championship long-distance runners. *Journal of strength and conditioning research*, 35 (4) : 1134-1140.
- 黄 仁官・上田 大・別府健至・石井隆士・水野増彦・山田保 (2009) 大学駅伝ランナーにおける10,000m走及びハーフマラソンレース時の血中乳酸濃度に関する検討. *日本体育大学紀要*, 39 (1) : 25-33.
- Joyner, M., Hunter, S., Lucia, A., and Jones, A. (2020) Physiology and fast marathons. *Journal of Applied Physiology*, 128 : 1065-1068.
- 黒崎渥矢・阿江通良・新垣太世・沼津直樹・杉田正明 (2023) 10000m レースにおける男子長距離走者の走動作タイプの変化について. *日本体育大学紀要*, 52 : 1089-1101.
- Muñoz-Pérez, I., Largo-Fuentes, C., Mecías-Calvo, M., and Casado, A. (2023) Pacing and packing behaviour in elite and world record performances at Berlin marathon. *European Journal of Sport Science*, 23(8) : 1472-1479.
- Morgan, D., Martin, P., and Krahenbuhl, G. (1989) Factors affecting running economy. *Sports Medicine*, 7 : 310-330.
- 日本体育大学陸上部 (2023) 令和5年306回日本体育大学長距離競技会兼第3回 Nittaidai challenge games 要項. http://ld.nssu-athletic.com/uploads/2023/2023-06-10_guideline.pdf, (参照日 2024 年 4 月 1 日) .
- Noakes, T., Myburgh, K., and Schall, R. (1990) Peak treadmill running velocity during the $\dot{V}O_{2\max}$ test predicts running performance. *Journal of Sports Sciences*, 8 : 35-45.
- 岡田英孝 (2019) ランニングエコノミーと下肢動作・下肢筋活動. *ランニング学研究*, 30(1) : 115-122.
- Pryor, J., Johnson, E., Yoder, H., and Looney, D. (2020) Keeping pace: A practitioner-focused review of pacing strategies in running. *Strength and Conditioning Journal*, 42(1) : 67-75.
- Renfree, A., Casado, A., Pellejero, G., and Hanley, B. (2020) More pace variation and pack formation in successful world-class 10,000-m runners than in less successful competitors. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15 : 1369-1376.
- Thiel, C., Foster, C., Banzer, W., Koning, J. (2012) Pacing in Olympic track races : Competitive tactics versus best performance strategy, 30(11) : 1107-1115.
- Tucker, R., Lambert, M., and Noakes, T. (2006) An analysis

of pacing strategies during men's world-record performances in track athletics. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1 : 233-245.

World Athletics (2023) Diamond League meetings regulations 2023 status requirements. <https://worldathlet>

[ics.org/download/download?filename=50d87517-fd0f-4643-87ade3354f6b6f82.pdf&urlslug=C1.3%2520-%2520Diamond%2520League%2520Regulations%2520](https://worldathletics.org/download/download?filename=50d87517-fd0f-4643-87ade3354f6b6f82.pdf&urlslug=C1.3%2520-%2520Diamond%2520League%2520Regulations%2520), (参照日2024年4月1日).

走幅跳の踏切における鉛直地面反力および位置座標から算出した鉛直速度の比較

福地修也¹⁾, 杉浦澄美³⁾, 石川稜将¹⁾, 植松倫理²⁾, 木越清信³⁾

Comparison of vertical velocity derived from vertical ground reaction force during takeoff and vertical velocity calculated from position coordinates in long jump

Shuya FUKUCHI¹⁾, Kiyomi SUGIURA³⁾, Ryosuke ISHIKAWA¹⁾, Rinri UEMATSU²⁾, Kiyonobu KIGOSHI³⁾

Abstract

This study compared vertical velocity derived from vertical ground reaction force (GRF) with that calculated from motion capture data during the long jump takeoff. Four male long jumpers performed multiple jumps, with vertical GRF measured at 1000 Hz and 23 body markers tracked at 240 Hz. Vertical velocity derived from vertical GRF was determined by numerically integrating the net vertical force (vertical GRF minus body weight) from the point of minimum center of mass height to takeoff. Velocity calculated from motion capture was obtained by differentiating the vertical center of mass position. Statistical analysis showed significantly higher vertical velocities derived from vertical GRF compared to those calculated from motion capture. While both methods displayed a similar temporal pattern—initial negative velocity followed by positive velocity—the magnitudes differed considerably. This discrepancy was attributed to potential errors inherent in motion capture data, encompassing inaccuracies in body segment inertial parameters and digitization noise, and the inclusion of passive forces in the initial vertical GRF integration. The study highlights the importance of acknowledging these methodological limitations when comparing vertical velocity data from different sources, especially in analyzing complex movements like the long jump takeoff. Further research is needed to refine the methodologies and understand the sources of these discrepancies.

キーワード：走幅跳，踏切，鉛直 GRF，鉛直速度

1. 緒言

走幅跳は助走を用いた片脚跳躍によってその距離を競う競技種目であり，助走，踏切準備，踏切，空中，着地と大きく5つの局面から構成される（森長ほか，2003）．これまで多くの研究において助走速度と跳躍距離との間に正の相関関係が認められており（小山ほか，2011；太田ほか，2010），跳躍距離の大部分を決定する離地時の身体重心合成速度には，助走で獲得した水平速度が大き

な影響を及ぼすことが報告されている（Hay et al., 1986）．その一方で，村木ほか（2005）は世界および日本人走幅跳選手を対象に，走幅跳における踏切準備および踏切局面における身体重心速度変化について検討している．その結果，重相関分析により踏切離地時の水平（ $r = 0.58$ ）および鉛直速度（ $r = 0.59$ ）の実測記録への影響は同程度であったことから，助走において水平速度を高めて，踏切では，いかに効果的に鉛直速度を獲得するかが重要になると述べている．このことから，走幅跳においては限られた踏切時間の中で高い鉛直速度を獲得するために，踏切局面において鉛直方向へ大きな力を発揮する必要がある．

力学的には，運動量の変化は力積に等しいことから，鉛直地面反力（Vertical Ground Reaction Force；以下，鉛直 GRF）の値を数値積分することで鉛直速度を算出することができる．Linthorne（2001）は，この計算方法を用いることで，他の方法と比較して垂直跳の跳躍高を正確に算出できると述べている．これまでに，垂直跳の他にも歩行運動（Cross, 1998）のような運動における地面反力データから踏切離地時の身体重心鉛直速度を推定する試みが行われている．このことから，走幅跳においても，鉛直 GRF から身体重心の運動量および鉛直速度を求めることができるはずである．しかし，これまでに動作分析によって得られた踏切離地時の身体重心鉛直速度と鉛直 GRF から算出した力積との関係を検討した研究は見当たらない．走幅跳における踏切時の鉛直力積と踏切離地時の身体重心鉛直速度との関係が検討されてこなかった背景には，鉛直力積の処理に関する問題が

1) 筑波大学大学院人間総合科学学術院 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) 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

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

挙げられる。走幅跳の踏切において、踏切接地時には身体重心が負の鉛直速度を示し、その後、身体重心高の上昇に伴い、身体重心は正の鉛直速度に転じる（村木ほか、2005；柴田ほか、2017）。したがって、踏切全体の鉛直力積から、負の鉛直速度を受け止めるために発揮された鉛直力積を差し引くといった処理が必要になる。しかし、この処理の基準に関する報告はなく、現在までに踏切離地時の鉛直速度を算出するために、踏切全体の鉛直力積から差し引く必要のある範囲に関する報告はない。そもそも、鉛直 GRF の値を数値積分して鉛直速度を算出する方法を用いることで、滞空時間から算出する方法や仕事量から算出する方法と比較して垂直跳の跳躍高を正確に算出できるという報告（Linthorne, 2001）は、逆の見方をすれば、身体分析点の位置座標から身体重心位置を推定し、その変位を時間で微分する方法によって算出された鉛直速度は、鉛直 GRF を数値積分することで鉛直速度を算出する方法と比較して正確さを欠くことを示している。確かに、算出方法が異なる 2 つの値が、厳密に同値を示すことは考えにくい。その一方で、両者の値が大きく異なるようでは、これまでに報告されてきた研究を含めた走幅跳における鉛直速度の解釈が困難になると予想される。

そこで、本研究では、走幅跳における踏切時の鉛直 GRF から算出した鉛直速度と位置座標から算出した身体重心鉛直速度について比較することを目的とした。なお、本研究の仮説は、踏切時の身体重心鉛直速度が負から正に変わる時点である身体重心高の最下時点から離地時点までの鉛直 GRF から算出した鉛直速度と身体重心鉛直速度が同程度の値になることである。

2. 方 法

2.1 対象者

対象者は大学陸上競技部に所属し、走幅跳を専門とする男性 4 名（身長： 1.73 ± 0.05 m、体重： 67.48 ± 1.89 kg、年齢： 20.75 ± 2.22 歳、PB： 7.65 ± 0.14 m）とした。

2.2 実験試技

実験試技は、対象者が試合で用いる助走距離を選択した上で、全助走跳躍による走幅跳の試技を 3 - 4 回実施した。対象者には、全助走跳躍において踏切板を模して設置したフォースプレート上で踏み切るように指示をした（図 1）。本研究では可能な限り試合環境に近い条件を再現するため、対象者にはユニフォームまたはそれに近い服装、さらにスパイクを着用させて跳躍を行わせた。また、本研究では、全助走跳躍による走幅跳の試技を行わせた際、踏切位置に埋設したフォースプレート上で踏み切ることができた試技を有効試技として分析を行った。なお、対象者には疲労の影響を考慮して各試技間に十分な休息を取らせて試技を行わせた。

2.3 データ収集およびデータ処理

対象者の全助走跳躍は、走幅跳ピット側方に設置した 1 台のデジタルビデオカメラ（Panasonic 社製、LUMIX DC-GH5S）によってフレームレート 240 Hz で撮影した。その際、実座標を算出するため、踏切局面の助走路両脇に 2 m 間隔で較正マークを設置した。また、踏切中のキネマティクスの変数を算出するために、身体分析点 23 点を踏切接地 10 コマ前から踏切離地 10 コマ後まで動作分析ソフトウェア（Q'sfix, Frame-DIAS V）を用いて毎秒 240 コマでデジタイズした。さらに、1 台のフォー

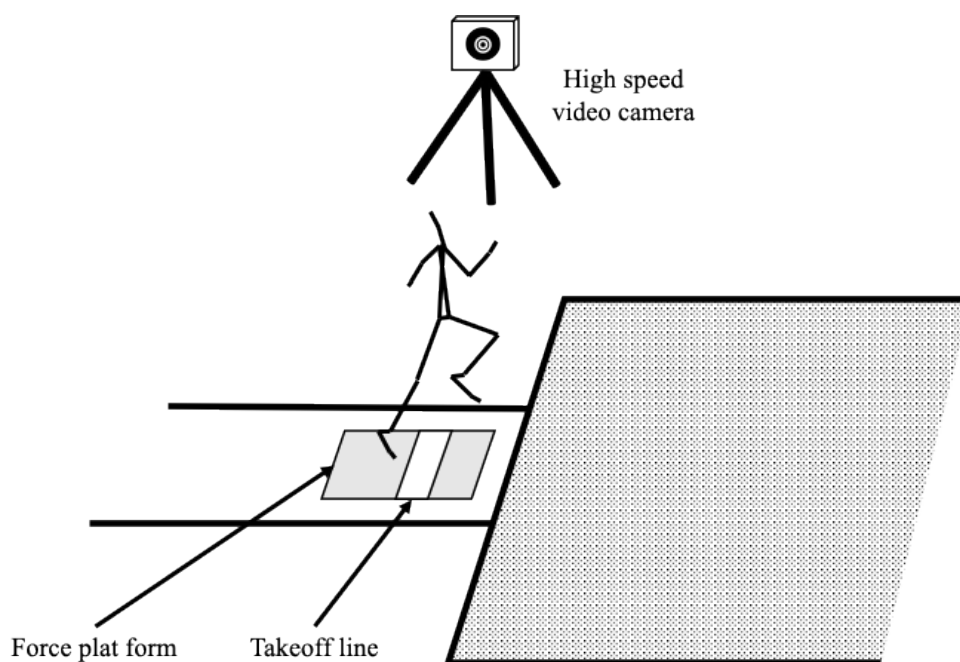


図 1 実験設定の模式図

スプレート (Kistler 社製, 0.90 m × 0.60 m) を用いて踏切における地面反力データを 1000 Hz で収集した。

デジタイズにより算出された身体分析点の位置座標データは、最適遮断周波数を Wells and Winter (1990) の方法に基づいて決定し (7.2 – 9.6 Hz), Butterworth low-pass digital filter を用いて平滑化した。また、踏切局面は地面反力データの Z 軸成分が 10 N を上回った時点を踏切接地とし、その後 10 N を下回った時点を踏切離地と定義した。

2.4 算出項目

走幅跳の跳躍距離は踏切離地時のつま先位置から助走路方向に最も近い着地点までの水平距離をメジャーにより計測した。平滑化した身体分析点の 2 次元座標値から、阿江 (1996) の身体部分慣性係数を用いて身体部分および全身の矢状面における重心座標を算出し、全身の重心の座標値を数値微分することで重心速度を算出した。次に、フォースプレートによって計測された地面反力の鉛直成分である鉛直 GRF から質量と重力加速度 ($g = 9.81\text{m/s}^2$) の積を減じた値を数値積分し (図 2 の斜線部分)、その値を質量で除することによって鉛直速度を求めた (以下、「鉛直 GRF から算出した鉛直速度」とする)。ここでの鉛直速度は、身体重心高が最も低下した時点 (以下, CG_min) から離地時点までの値である。鉛直 GRF から算出した鉛直速度と位置座標から算出した鉛直速度を比較するため、CG_min の 1 コマ前の値を 0 m/s として示した。さらに、時系列データは踏切接地時から踏切離地時までには要した時間を 100 % として規格化した。

2.5 統計処理

各算出項目は、平均値±標準偏差で示した。各変数間の差を比較するために、Wilcoxon の符号付き順位検定を行った。なお、全ての統計処理は、IBM SPSS Statistics 29 (IBM 社製) を使用し、統計的有意性は危険率 5 % 未満で判定した。

3. 結果

表 1 は対象者毎の分析対象試技数、位置座標から算出した踏切接地時および離地時の身体重心水平速度と鉛直速度、鉛直 GRF から算出した鉛直速度を示したものである。なお、本研究における分析対象試技は、対象者 A の 4 試技 (A1 ; 7.21 m, A2 ; 7.45 m, A3 ; 7.50 m, A4 ; 7.41 m), 対象者 B の 3 試技 (B1 ; 7.33 m, B2 ; 7.52 m, B3 ; 7.40 m), 対象者 C の 2 試技 (C1 ; 6.98 m, C2 ; 7.03 m), 対象者 D の 1 試技 (D1 ; 6.95 m) であった。

3.1 踏切時の身体重心高、身体重心鉛直速度、鉛直 GRF から算出した鉛直速度および鉛直 GRF の時系列データ

図 3 は、踏切時の身体重心高の変化を時系列で示したものである。身体重心高は、踏切接地後わずかに低下した後、上昇を続け、離地時に最大値を迎えていた。踏切接地時の身体重心高は 0.90 ± 0.02 m, 踏切離地時の身体重心高は 1.10 ± 0.02 m であった。また、CG_min の出現時点は $9.40 \pm 3.98\%$ であった。

図 4 は、鉛直 GRF の変化を時系列で示したものである。鉛直 GRF は、踏切 $12.10 \pm 2.38\%$ 付近で第 1 のピーク

$$i\text{時点の鉛直GRFから算出した鉛直速度} = \frac{\int_{CG_min}^i (\text{鉛直 GRF}t - mg) dt}{m}$$

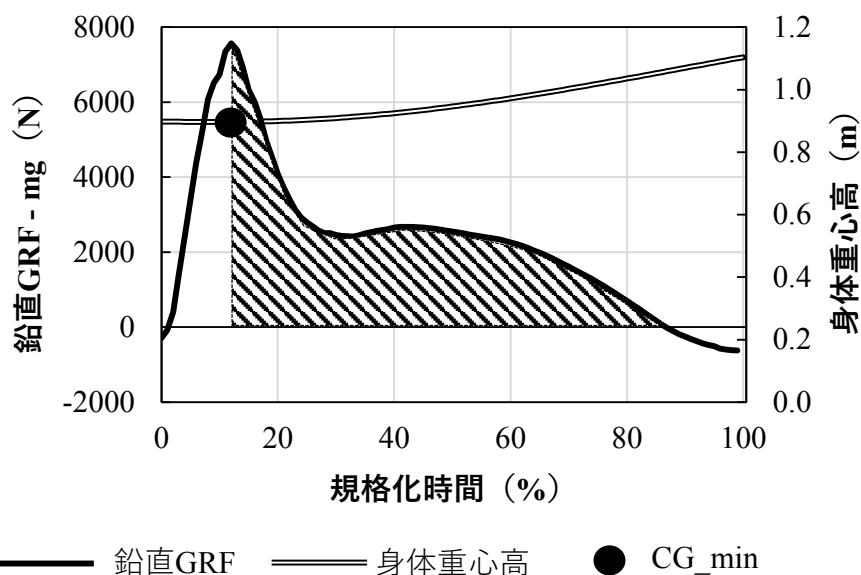


図2 鉛直 GRF から算出した鉛直速度の導出範囲 (斜線部分)

表 1 対象者毎の分析対象試技数，位置座標から算出した踏切接地時および離地時の身体重心水平速度と鉛直速度，鉛直 GRF から算出した鉛直速度

対象者	試技数	位置座標から算出した身体重心速度				鉛直GRFから算出した 離地時鉛直速度 (m/s)
		接地時		離地時		
		水平速度 (m/s)	鉛直速度 (m/s)	水平速度 (m/s)	鉛直速度 (m/s)	
対象者A	1	9.84	-0.35	8.70	3.07	3.74
	2	10.21	-0.31	9.14	2.94	3.56
	3	10.29	-0.29	9.24	3.05	3.63
	4	10.30	-0.10	9.24	3.10	3.67
対象者B	1	9.89	-0.14	8.59	3.13	3.92
	2	10.20	-0.28	8.56	3.23	4.21
	3	10.00	-0.32	8.61	3.06	3.99
対象者C	1	9.77	-0.28	8.20	3.09	3.58
	2	9.69	-0.37	7.95	3.27	3.78
対象者D	1	9.86	-0.51	8.84	2.62	2.99
Mean		10.01	-0.30	8.71	3.06	3.71
SD		0.23	0.11	0.43	0.18	0.32

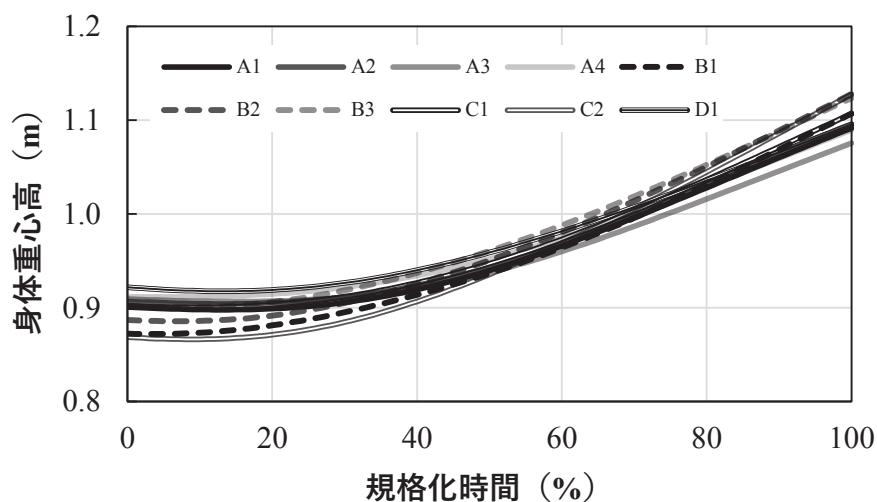


図 3 対象者毎の身体重心高の変化

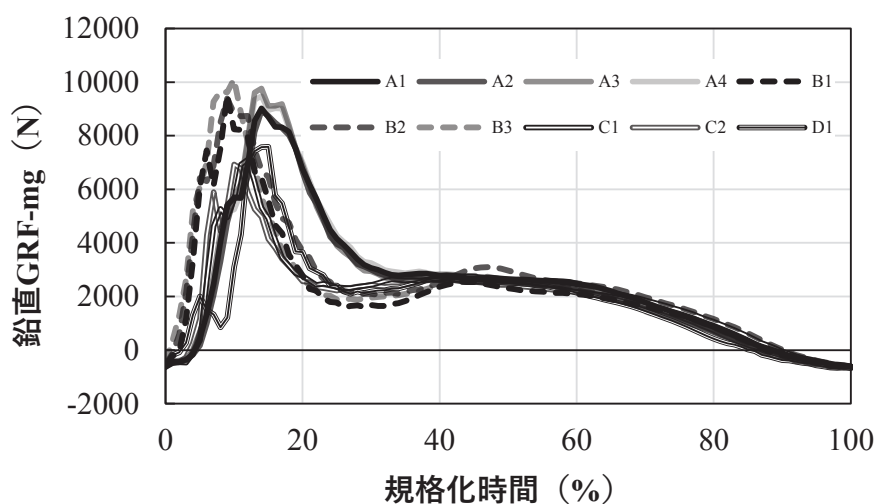


図 4 対象者毎の鉛直 GRF の時系列変化

値 (8783.14 ± 1148.08 N) が出現し、その後、緩やかに低下して踏切離地を迎えていた。また、対象者によっては、踏切40%付近に第2のピーク値が出現しており、踏切全体を通して2峰性の波形を示した。

図5は、鉛直 GRF および位置座標から算出した鉛直速度の変化を時系列で示したものである。踏切時の鉛直 GRF から算出した鉛直速度について、踏切接地時から正の値を示し、その後、CG_min では 0.44 ± 0.28 m/s で、踏切離地時点における鉛直速度は 3.71 ± 0.32 m/s であった。位置座標から算出した踏切時の身体重心鉛直速度は、踏切接地時に負の値を示し、その後、踏切9.70 $\pm 3.86\%$ で負から正に転じていた。踏切接地時の身体重心鉛直速度は -0.30 ± 0.11 m/s、踏切離地時の身体重心鉛直速度は 3.06 ± 0.18 m/s であった。

3.2 鉛直 GRF および位置座標から算出した離地時鉛直速度の比較

図6は、鉛直 GRF および位置座標から算出した離地時鉛直速度を比較したものである。その結果、鉛直 GRF から算出した離地時鉛直速度が位置座標から算出した離地時鉛直速度に比べて有意に大きい値を示した ($z = -2.803$, $p = 0.005$)。

3.3 対象者毎の鉛直 GRF および位置座標から算出した鉛直速度の比較

図7は、鉛直 GRF から算出した鉛直速度と位置座標から算出した身体重心鉛直速度との変化を対象者毎に示したものである。全体を通して鉛直 GRF から算出した鉛直速度が、位置座標から算出した身体重心鉛直速度と比較して大きい値を示した。鉛直 GRF から算出した離地時鉛直速度は、 3.71 ± 0.32 m/s であり、位置座標から算出した離地時の身体重心鉛直速度は 3.06 ± 0.18 m/s であった。対象者毎に見てみると、鉛直 GRF から算出した離地時鉛直速度と位置座標から算出した離地時の身体重心鉛直速度の比較において、両者の差は、A1 で 0.67 m/s, A2 で 0.62 m/s, A3 で 0.58 m/s, A4 で 0.57 m/s, B1 で 0.78 m/s, B2 で 0.98 m/s, B3 で 0.93 m/s, C1 で 0.49 m/s, C2 で 0.51 m/s, D1 で 0.37 m/s であった。両者の差が最も小さかった試技は、D1 の 0.37 m/s (鉛直 GRF から算出した離地時鉛直速度: 2.99 m/s, 位置座標から算出した離地時の身体重心鉛直速度: 2.62 m/s) であり、両者の差が最も大きかった試技は、B2 の 0.98 m/s (鉛直 GRF から算出した離地時鉛直速度: 4.21 m/s, 位置座標から算出した離地時の身体重心鉛直速度: 3.23 m/s) であった。

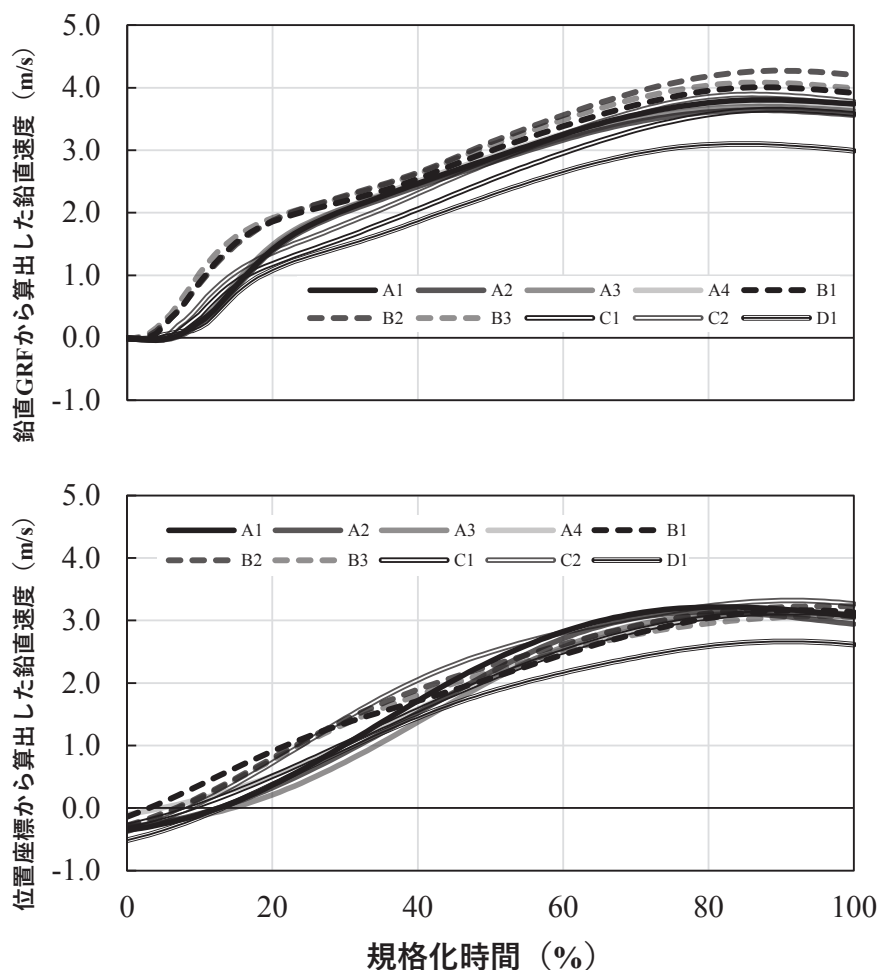


図5 対象者毎の鉛直 GRF から算出した鉛直速度（上段）および位置座標から算出した鉛直速度（下段）の変化

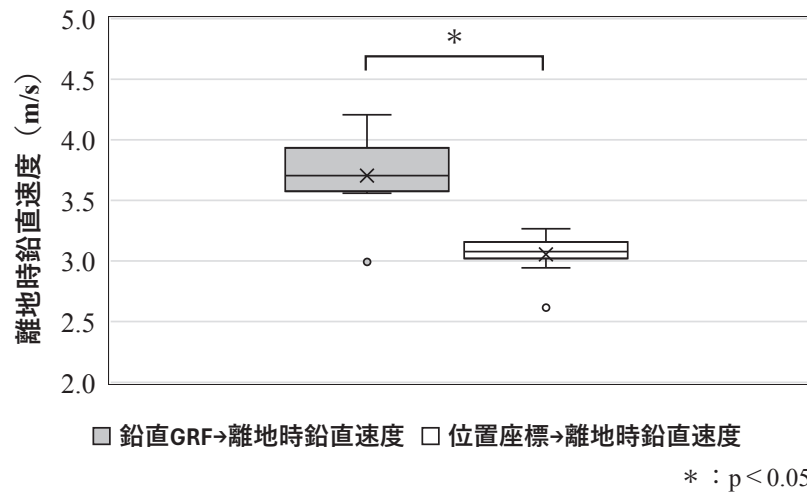


図6 鉛直 GRF および位置座標から算出した離地時鉛直速度の比較

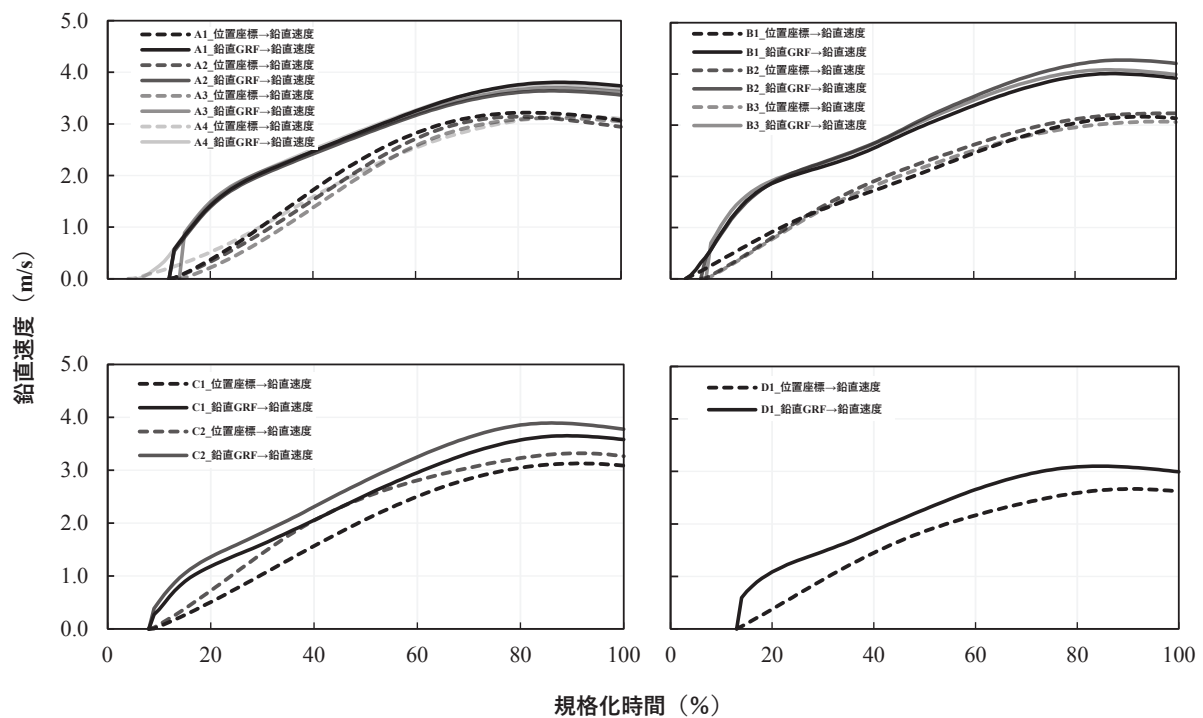


図7 対象者毎における位置座標から算出した鉛直速度と鉛直 GRF から算出した鉛直速度の変化

4. 考 察

4.1 鉛直 GRF および位置座標から算出した鉛直速度の比較

本研究では、走幅跳における踏切時の鉛直 GRF から算出した鉛直速度と位置座標から算出した鉛直速度について比較することを目的とした。その結果、踏切時における CG_min 以降から踏切離地時点までの鉛直 GRF から算出した鉛直速度と離地時の身体重心鉛直速度の比較において、鉛直 GRF から算出した鉛直速度が位置座標から算出した鉛直速度と比較して有意に大きな値を示した。このことから、本研究における仮説は棄却された。

力積は運動量の変化と一致する。このことを走幅跳の踏切に置き換えると、踏切時の身体質量は一定であることから、変化が生じるのは身体重心の速度のみである。しかし、踏切接地時においては、身体重心が負の鉛直速度を持っているにもかかわらず、鉛直 GRF は大きな正のピーク値を示す。このことは、踏切接地時の受動的な力であることに加え、上述の鉛直速度変化量として捉えた際には、身体重心高が下降している局面（柴田ほか、2017）であることから、対象者が能動的に発揮した鉛直力積ではない可能性が考えられる。本研究では、CG_min が踏切 10% 付近であり（CG_min 出現時点； $9.40 \pm 3.98\%$ ）、その後、踏切離地にかけて正の身体重心鉛直

速度を示した(図5)。以上により、走幅跳の踏切において鉛直 GRF から鉛直速度を算出する際には、踏切接地時点から踏切離地時点までの鉛直力積ではなく、踏切接地時において身体重心高が低下する局面を除外した、すなわち鉛直速度が負から正に転換する時点である CG_min 以降から踏切離地時点までの鉛直力積を数値積分することで、対象者が自ら生み出した鉛直速度を求めることができると考えられる。

図7は、鉛直 GRF から算出した鉛直速度と位置座標から算出した身体重心鉛直速度を対象者毎に時系列データで示したものである。全対象者の時系列データを通して、鉛直 GRF から算出した鉛直速度の値は、位置座標から算出した身体重心鉛直速度の値に比べて大きい傾向を示した。さらに、各対象者の試技毎に時系列データをみると、両者の値に差が生じている様子がみられた。このような差が生じた要因について、以下に考察する。

鉛直 GRF および位置座標から算出した鉛直速度に差が生じた要因については、以下の2点が考えられる。まず1点目は、身体部分慣性係数 (Body Segment Inertia Parameters; 以下, BSP) の要因である。位置座標から算出する身体重心鉛直速度については、BSP を用いることで対象者の身体重心位置を算出し、その値を数値微分することにより、身体重心速度を求めることができる。しかし、厳密には対象者毎に BSP が異なるため、身体重心位置の推定においては、わずかな差が生じる可能性がある。2点目は、デジタイズによる人為的なずれの要因である。デジタイズの際、位置座標におけるずれが速度を算出する際に行う数値微分によって、過大な差につながっている可能性がある。上記の通り、本研究では鉛直 GRF から算出した離地時鉛直速度と位置座標から算出した離地時の身体重心鉛直速度との値に、最小値で 0.37 m/s (2.99 m/s, 2.62 m/s)、最大値で 0.98 m/s (4.21 m/s, 3.23 m/s) の差が生じていたことから、地面反力および位置座標から求められる変数の解釈には注意が必要になると考えられる。

4.2 踏切局面における鉛直速度の変化

本研究では、踏切局面全体を通して、鉛直 GRF から算出した鉛直速度が、位置座標から算出した鉛直速度よりも大きい値を示す傾向にあった(図7)。また、鉛直 GRF から算出した離地時鉛直速度は、位置座標から算出した離地時鉛直速度よりも大きい値を示した(図6)。さらに、対象者別にみると、D1 における両者の差が最も小さく、その一方で B2 における両者の差が最も大きかった。

次に、CG_min から踏切離地時までにおける鉛直速度の変化について検討する。両者の時系列データを見ると、全ての試技において初期の値 (CG_min における両者の値) に差が生じていることがわかる(図7)。鉛直 GRF

から算出した鉛直速度の変化についてみると、全ての試技において同様の波形を示していた。位置座標から算出した身体重心の鉛直速度の変化についてみると、初期の差が生じた後に、大きな値の差が見られない試技(対象者 B と D) が存在する一方で、踏切局面の中盤 (40 - 70% 付近) において両者から算出した鉛直速度の差が小さくなる試技が存在した(対象者 A と C)。これは、鉛直 GRF から算出した鉛直速度が真に近い鉛直速度を反映しているとするならば、上述した通り、位置座標を算出する上で生じた誤差の要因が含まれている可能性が考えられる。また、鉛直 GRF から算出した鉛直速度に対して位置座標から算出した鉛直速度が近似する者もいれば近似しない者も存在することをふまえると、位置座標から算出した鉛直速度の解釈には注意が必要になるだろう。

以上のことから、離地時鉛直速度のみならず踏切全体においても、鉛直 GRF から算出した鉛直速度が、位置座標から算出した鉛直速度と比較して大きい値を示す傾向にあった。また、CG_min から離地時点までの踏切局面を通してしてみると、対象者の中には、鉛直 GRF から算出した鉛直速度と位置座標から算出した鉛直速度の差が小さくなる者も存在した。踏切局面の鉛直速度を比較する際には、両者の間にこの程度の差が生じることに注意が必要であると考えられる。

4.3 現場への応用と本研究の限界

本研究では、走幅跳の踏切において鉛直地面反力および位置座標から算出した鉛直速度に、ある程度の差が生じることが明らかとなった。本研究で得られた知見を活用していくための手段は、以下のようなものが考えられる。実践現場においては、鉛直速度を算出する際に、デジタイズによって位置座標を算出する手法が一般的であろう。その一方で、フォースプレートを用いて鉛直速度を算出する手法は、測定機器の設置環境もさることながら機器自体が非常に高価であることから、一般的な手法ではない現状にある。そのため、本研究における知見から鉛直地面反力および位置座標から算出した鉛直速度の関係により、運動方程式を用いて鉛直地面反力を推定することが可能になると考えられる。このことは、フォースプレートを用いた手法の課題でもある、環境および価格などの制約を解決できると考えられ、簡易的な鉛直地面反力の推定に役立てることが可能になるだろう。

次に、本研究の限界について述べたい。現時点で、鉛直地面反力および位置座標から算出した鉛直速度のどちらが真の値であるかを言及することは困難である。その理由を以下に述べる。走幅跳の踏切局面に焦点を当てた先行研究を概観すると、本研究における位置座標から算出した鉛直速度は、先行研究(柴田ほか, 2017)で報告されている値に近似していると考えられる。このことか

ら、鉛直地面反力から算出した鉛直速度に問題があるようにも捉えられる。その一方で、位置座標から算出した鉛直速度にはデジタイズや BSP の誤差など、ノイズが過大に含まれていることが想定されるが、鉛直地面反力から算出した鉛直速度は、踏切時の鉛直地面反力を数値積分することで算出した値であり、前者に比べるとノイズの少ない値であると解釈することもできる。

以上のことから、現時点においてどちらの手法を用いて鉛直速度を算出することが真の値であるかを言及することはできないものの、今後、走幅跳の踏切における地面反力およびデジタイズの誤差について詳細に検討することで、より真の値を導出することが可能になると考えられる。

5. 要 約

本研究では、走幅跳における踏切時の鉛直 GRF から算出した鉛直速度と位置座標から算出した鉛直速度について比較することを目的とした。仮説は、CG_min から踏切離地までの局面における鉛直 GRF と位置座標から算出した鉛直速度が同程度の値を示すことであった。鉛直 GRF および位置座標から算出した離地時鉛直速度の比較を行ったところ、両者には有意差が認められた。また、踏切全体を通して、鉛直 GRF から算出した鉛直速度が、位置座標から算出した身体重心鉛直速度と比較して大きい傾向を示した。位置座標から算出した鉛直速度の変化をみても、鉛直 GRF から算出した鉛直速度の変化の波形と同様の傾向を示す者や踏切中間局面で両者の差が小さくなる傾向を示す者が存在した。このことから、鉛直 GRF および位置座標から算出したデータを比較および解釈する際には注意が必要であろう。

文献

阿江通良（1996）日本人幼少年およびアスリートの身体

部分慣性係数. Japanese Journal of Sports Sciences, 15 : 155 – 162.

Cross, R. (1998) Standing, walking, running, and jumping on a force plate. American Journal of Physics, 67 (4) : 304 – 309.

Hay, J. G., Miller, J.A., and Canterna, R.W. (1986) The techniques of elite male long jumpers. Journal of Biomechanics, 19 (10) : 855 – 866.

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－トレーニングで簡便に利用できる指標の提案－. 筑波大学体育科学系紀要, 34 : 169 – 173.

Linthorne, N. P. (2001) Analysis of standing vertical jumps using a force platform. American Journal of Physics, 69 (11) : 1198 – 1204.

森長正樹・安井年文・重城哲・加藤弘一・岡野雄司・小山裕三・澤村博（2003）走幅跳の成功試技と失敗試技における踏切および踏切準備動作の相違. 陸上競技研究, 52 : 12 – 21.

村木有也・阿江通良・小山宏之（2005）一流男子走幅跳選手の踏切準備および踏切局面における身体重心速度変化. 陸上競技研究紀要, 1 : 142 – 146.

太田洋一・中村力・浦田達也・伊藤章（2010）簡易な測定法を用いた走幅跳におけるパフォーマンスと助走・踏切速度の関係. コーチング学研究, 24 (1) : 27 – 33.

柴田篤志・清水悠・小山宏之（2017）競技レベルが異なる男子ジュニア走幅跳競技者の踏切動作の特徴. 陸上競技学会誌, 15 (1) : 9 – 17.

Wells R.P. and Winter D.A. (1990) Biomechanics and motor control of human movement. 4343, John Wiley and Sons, New York .

棒高跳初心者のためのトレーニング手順の考案 —男子大学生を対象として—

石川稜将¹⁾, 木越清信²⁾

Development of training procedures for novice at pole vault: In male university students

Ryosuke ISHIKAWA¹⁾, Kiyonobu KIGOSHI²⁾

Abstract

The purpose of this study was to develop introductory pole vault training procedures for male university students. Two male university track and field athletes were trained by a coach with extensive experience coaching pole vaulters and his assistant. For approximately six months, the athletes followed the pole vault training procedures developed by the coaches. The main findings of this study were as follows:

- 1) The training procedures consisted of three major components.
- 2) The athletes achieved two primary goals: performing the pole vault safely without bending the pole and clearing a height of 3.00 meters in competition.
- 3) After approximately six months of training, the coaches reviewed the original training procedures, eliminating two steps and adding five new ones.

To make training procedures more suitable for male university students with no prior experience in pole vault, it is necessary to create opportunities for training with the modified procedures and to consider further modifications.

キーワード：十種競技, 指導者, 跳躍, 竹跳び

1. 緒 言

棒高跳の跳躍高は、有効グリップ高と抜きの高さに分けることができ（村木, 1982）、特にグリップ高は跳躍高の獲得に影響を及ぼす最大の要因として考えられている（木越ほか, 2007）。突っ込み後にポールを曲げることができれば、曲率半径が小さくなり、高いグリップ高でもポールを立てることが可能になることから（木越ほか, 2007）、高いグリップ高で跳躍を行うためにはポールを曲げる必要がある。しかし、基本的な動作が身に付いていない棒高跳初心者がポールを曲げて跳躍を行うことは困難かつ危険を伴う。そのため、トレーニング現場

では、棒高跳初心者に対して比較的低いグリップ高でのポールの曲がりを伴わない跳躍（以下、竹跳び）（図 1）から習得させる場合が多い。

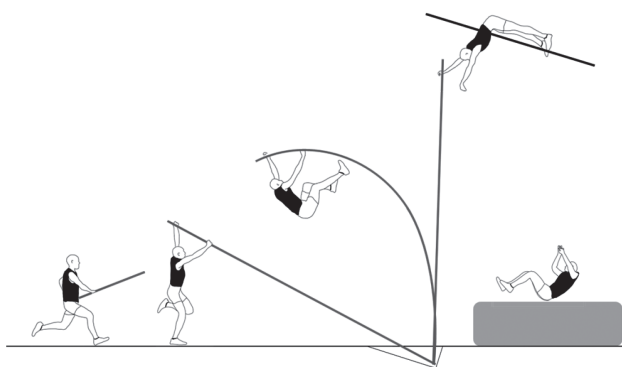
棒高跳では、ポールを持つての助走、突っ込み、踏切、振り上げ、クリアランスといった高度な技術が必要とする運動が連続して行われる（尾縣, 2007）。棒高跳初心者の指導にあたっては、竹跳びを習得する過程でこれらの動作が定着するようにトレーニング計画を立案する必要がある。その立案に際しては、多くの場合、棒高跳の競技経験を有する指導者の経験則が基礎となっているが、棒高跳を指導することのできる指導者は比較的少なく、トレーニング現場には指導者が不在の中で棒高跳を始める者も存在する。このような環境で棒高跳を始めようとする者が参考にするだろう陸上競技の指導書には、棒高跳の競技特性や個々の技術について記述されたものが多く、棒高跳初心者を対象としたトレーニング手順について詳述したものはほとんどない。また、先行研究には、男子高校生を対象に実践した棒高跳初心者における指導手順を紹介したもの（吉沢ほか, 1994）や、女子高校生を対象に実践した棒高跳初心者における練習・指導ステップをまとめたもの（青柳ほか, 2021）がみられるが、より身体的に発達した男子大学生、例えば八種競技から十種競技への移行を考えているような男子大学生を対象として、早期に竹跳びを習得するためのトレーニング手順について検討した研究は見当たらない。このような競技者は、中学生や高校生と比較して身体的、体力的に発達しているため、より少ないステップで竹跳びを習得することが可能であると予想される。しかし、国内十

1) 筑波大学大学院人間総合科学学術院 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) 筑波大学体育系 Institute of Health and Sport Sciences, University of Tsukuba
〒305-8574 茨城県つくば市天王台 1-1-1

種競技者の約半数は指導者不在の環境で棒高跳を行っており（村山ほか，2022），八種競技から十種競技に移行する際，棒高跳におけるトレーニング計画の立案やその実践に悩みを抱える者が多数存在することが推測される．このような現状を踏まえると，男子大学生を対象とした棒高跳初心者のためのトレーニング手順を考案することは，八種競技から十種競技への移行を考えている競技者の手助けとなる可能性がある．

トレーニング手順の考案にあたっては，指導書等で紹介されているトレーニングを組み合わせる方法，棒高跳指導者が有する知識や経験を参考にする方法，棒高跳競技者が過去に行っていたものを模倣する方法など，いくつかの方法が考えられる．また，他の方法として，文献研究をもとに考案したトレーニング手順に沿って指導し，その過程で起きた事象やそこから得た気づきをもとにトレーニング手順に修正を加え，その後，修正されたトレーニング手順に沿って再度指導を行い修正を重ねる，というような方法はコーチングの現場で採用されている方法の一つである．このような方法は，トレーニング現場の多くの指導者や競技者にとっても馴染みがあり，実践的な知見を得る方法として適していると考えられる．そこで，本研究ではコーチング現場で採用されている方法を用いて，男子大学生を対象とした棒高跳初心者のためのトレーニング手順を考案することを目的とした．

(a) ポールの曲がりを伴う跳躍



(b) ポールの曲がりを伴わない跳躍（竹跳び）

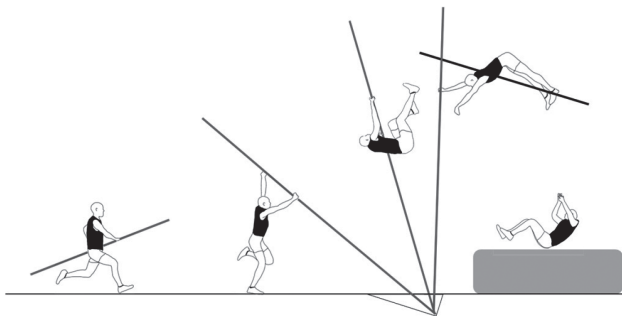


図1 ポールの曲がりを伴う跳躍と
ポールの曲がりを伴わない跳躍

2. 方法

2.1 研究対象者

(1) 競技者

本研究では，八種競技から十種競技への移行を考えている男性陸上競技者2名（大学1年生）を対象とした．身体特性について，1人目の競技者（以下，競技者Aとする）の身長は1.78 m，体重は68.1 kg，2人目の競技者（以下，競技者Bとする）の身長は1.83 m，体重は87.5 kgであった．競技者Aと競技者Bはどちらも高校時代は八種競技を専門にしており，棒高跳の経験はなかった．八種競技とは，100 m，走幅跳，砲丸投，400 m，110 mH，やり投，走高跳，1500 mの計8種目を2日間で行い，各種目の記録を得点化し，その合計得点を競う競技である．競技者Aおよび競技者Bの八種競技における自己最高記録は，それぞれ5670点と5275点であった．また，各種目の自己最高記録について，競技者Aは，競技実施順に11秒42，6m91，10m55，50秒43，14秒93，44m93，1m96，4分36秒61であった．競技者Bは，同順に11秒44，6m68，12m62，51秒16，16秒84，48m38，1m76，4分11秒70であった．

(2) 指導者

本研究では，大学陸上競技部跳躍・混成ブロックのコーチ（以下，指導者Cとする）およびコーチアシスタント（以下，指導者Dとする）の2名を対象とした．陸上競技（棒高跳）の指導経験年数について，指導者Cは17年，指導者Dは0年であった．指導者Cの主な役割は，棒高跳初心者のためのトレーニング手順の考案と指導者Dの指導補助であった．指導者Cは，10年以上にわたる棒高跳の競技経験を有し，指導者としてはこれまでに棒高跳初心者から国内トップレベルの棒高跳競技者まで幅広い競技レベルの競技者を対象に指導を行ってきた．指導者Dの主な役割は，指導者Cとの話し合いを経て考案したトレーニング手順をもとに，競技者Aと競技者Bを指導することであった．指導者Dは，体育学を専攻する大学院生であり，現役時代は十種競技を専門とし，棒高跳の競技経験を有していた．コーチアシスタントとしての活動は2021年4月に開始し，指導者として棒高跳初心者の指導にあたるのは競技者Aと競技者Bが初めてであった．

2.2 指導対象期間および目標の設定

指導対象期間は，2021年4月14日から2021年10月10日までの約6か月とした．指導対象期間の最終日は，競技者Aと競技者Bが初めて棒高跳の競技会に参加する日であった．本研究では，指導対象期間における競技者の目標として以下の2つを設定した．1つ目は，竹跳びでターン（踏切後，身体を長軸まわりに約180度回転させる動作）をしながらクリアランスし，安全にマット

に着地すること。2つ目は、棒高跳の競技会で3.00 mを跳ぶことであった。目標記録を3.00 mとした理由は、大学陸上競技者を対象とした全国大会において、十種競技への出場条件の一つに棒高跳で3.00 m以上の記録を有することが定められており、研究開始時に十種競技への移行を希望していた2名が掲げる目標記録として妥当であると判断したためである。なお、これらの目標は指導開始前に仮決定し、その後、競技者Aおよび競技者Bのトレーニング状況を踏まえ、4月下旬（指導3、4日目）に確定した。

2.3 トレーニング手順の考案

本研究では、棒高跳の技術やトレーニングについての記述がみられる陸上競技の指導書（尾縣，2007；大村，2010；田中，2015）および指導者Cの持つ棒高跳に関する知識や経験をもとに、棒高跳初心者のためのトレーニング手順を考案した。さらに、指導対象期間終了後、本研究で考案したトレーニング手順の内容が妥当なものであったかについて指導者Cと指導者Dで話し合い、トレーニング手順を修正した。以降では、修正前のトレーニング手順と修正後のトレーニング手順を分けて説明するために、前者を「トレーニング手順」、後者を「修正版トレーニング手順」と呼ぶこととする。

3. 結果と考察

3.1 トレーニング手順の内容

対象が男子大学生の場合、中学生や高校生と比較して身体が成熟していることを考慮し、14フィート以上の長さのポールを選択する。図2に、本研究で考案した棒高跳初心者のためのトレーニング手順を示した。トレーニング手順は大きく3つに分かれており、ぶら下がり、棒幅跳、竹跳びの順に習得することとした。それぞれの詳細は、以下の通りである。

(1) ぶら下がり

最初に踏切足を決定し、その後、ポールの持ち方を指導する。特に希望がなければ、右投げの場合は左足踏切で右手が上グリップ、左投げの場合は右足踏切で左手が上グリップとする（以降、左足踏切を想定して説明する）。投げ手を基準にグリップと踏切足を決めるのは、棒高跳では上グリップ側の手を中心にぶら下がっており、この点を考慮すると、より高い筋力を有していると予想される投げ手側を上グリップとした方が良いと判断したためである。ぶら下がり（図3a）では、40–50 cm程度の高さの台上（台の端から約10 cm手前）に立った状態で、台の端に垂直に立てられたポールのできる限り高い位置（立位姿勢で手が届く最大の高さ）を握り、台の端から約10 cm手前で踏み切る。その際、左右のグリップ間の距離は競技者の肩幅程度とする。ぶら下がる際は、ポー

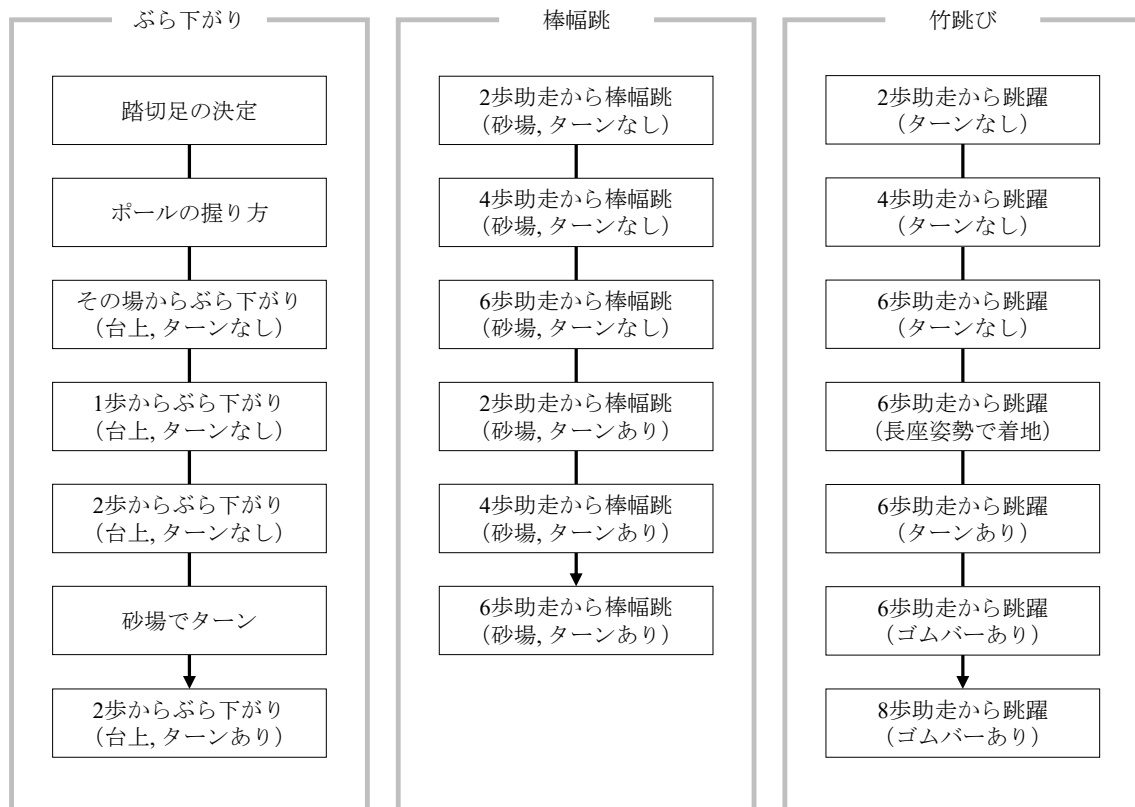


図2 男子大学生を対象とした棒高跳初心者のためのトレーニング手順

ルの先端を地面に着けたままポールにぶら下がり、ポールが前方に回転した後に地面に着地する。このとき、ポールにぶら下がる際には右肘関節が伸展した状態を保ち、身体がポールの右側を通過した後、左足で着地するように指導する。

その場からのぶら下がりにおいて、上記のポイントを安定して行うことができるようになれば、1歩または2歩からのぶら下がりを行う。歩行からのぶら下がりでは、ポールの先端を地面から離し、右肘関節を屈曲させた状態から開始する。そして、踏切と同時にポールの先端を地面に着け、右肘関節を伸展させる。これ以降の動作は、その場からのぶら下がりと同様に行う。2歩からのぶら下がりができるようになれば、一度砂場に移動し、ターン動作に慣れる。90度ターン（台から足が離れた後、反時計回りに90度回転した状態で着地）から始め、180度ターン（台から足が離れた後、反時計回りに180度回転した状態で着地）ができるようになれば、台上からのぶら下がりに戻り、2歩からのぶら下がりターンありで実施する。

(2) 棒幅跳

棒幅跳（図3b）では、助走路と砂場の境目付近にポールの先端を刺し（突っ込み）、ポールにぶら下がった後、できる限り遠くに足部から着地する。その際、安全面を考慮し、着地場所付近を事前にシャベル等で掘っておくようにする。初めて2歩助走で棒幅跳を行う際は、踏切位置（踏切足つま先の接地位置）は助走路と砂場の境目から1-2足長程度後方とし、グリップ高はその踏切位置に立った状態で右腕を真上に伸ばし、助走路と砂場の境目付近に刺したポールのできる限り高い位置を握ったと

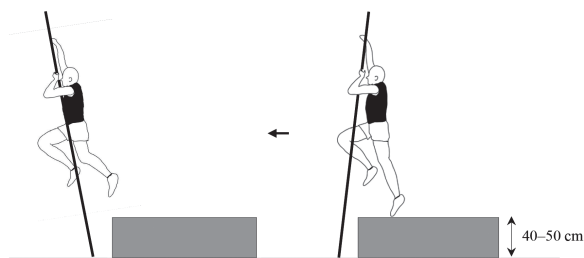
きの高さとする。これ以降は、グリップ高の向上に合わせて踏切位置を遠ざけるようにして調節する（踏切位置が右グリップの真下になるように助走開始位置を調節する）。助走開始位置の決定方法について、2歩助走の際は、踏切位置を基準に通常歩行時の歩幅で後方へ2歩下がった位置を目安とし、実際に棒幅跳を行ってみて踏切が近い場合（目安となる踏切位置に対して踏切足のつま先が砂場側に接地する場合）は助走開始位置を遠ざけ、反対に、踏切が遠い場合（目安となる踏切位置に対して踏切足のつま先が助走路後方側に接地する場合）は助走開始位置を近づけることで調節する。4歩助走の際は、2歩助走の助走開始位置を基準に大股歩行時の歩幅でさらに後方へ2歩下がった位置を目安とし、その後の調節は2歩助走時と同様に行う。6歩助走の際は、4歩助走の助走開始位置を基準に2歩助走から4歩助走にかけて増やした距離と同じ分だけ後方へ下がった位置を目安とし、その後の調節は2歩、4歩助走時と同様に行う。助走開始時のポール保持姿勢については、2歩助走では右肘関節を屈曲させた状態で、右グリップは頭上、左グリップは額の前方とする。4歩助走では、ポールは肩で担ぐように保持し、右グリップは右肩の前、左グリップは右グリップと同程度の高さで胸の前とする。6歩助走では、右グリップは右腰の前、左グリップは胸部付近の高さとし、両グリップともにポールを軽く握るように指導する。このときのポール保持は、通常の棒高跳でのポール保持と同様であり、助走の途中で手を返す必要がある。6歩助走から棒幅跳（ターンなし）ができるようになれば、2、4、6歩助走からの棒幅跳をそれぞれターンありで実施する。

(3) 竹跳び

竹跳びは全て、棒高跳用マットが設置された跳躍ピットで行う。棒幅跳から竹跳びへの移行は、砂場での棒幅跳において踏切位置が最低でもボックスの長さ（約1.1m）に達していることを条件とする。初めて2歩助走で竹跳びを行う際は、踏切位置は1.3-1.5m程度とし、グリップ高はその踏切位置に立った状態で右腕を真上に伸ばし、ボックスに刺したポールのできる限り高い位置を握ったときの高さとする。これ以降のグリップ高、踏切位置および助走開始位置の決定方法は、棒幅跳と同様とする。

竹跳びも棒幅跳と同様にはじめは2、4、6歩助走からの跳躍をターンなしで行う。各助走歩数における助走開始時のポール保持姿勢は、棒幅跳と同様とする。6歩助走からの跳躍（ターンなし）を安全に行えるようになれば、6歩助走からの跳躍（長座姿勢で着地）に移行する。この際、踏切から長座姿勢で着地するまで、踏切脚である左脚の膝関節は伸展した状態を保つように指示する。6歩助走からの跳躍（長座姿勢で着地）ができるように

(a) その場からぶら下がり



(b) 6歩助走からの棒幅跳（砂場）

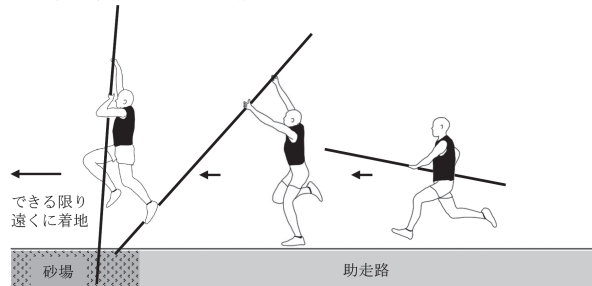


図3 トレーニング手順のメニュー例

なれば、6歩助走からの跳躍をターンありで実施し、その後、ゴム製のバー（以下、ゴムバー）をかけて6歩または8歩助走から跳躍を行う。ゴムバーは、柔らかい材質で作られているため、初心者が持つ恐怖心の軽減につながると考えられる。バーの高さは、最初は1.00 m程度に設定し、余裕を持ってクリアできるようであれば、少しずつ高くする。

3.2 トレーニングの実施状況および目標の達成状況

指導対象期間中、競技者2名は本研究で考案したトレーニング手順に沿ってトレーニングを行った。トレーニング手順の修正は指導対象期間終了後のみとし、指導対象期間中の修正は行われなかった。図4に、指導対象期間におけるトレーニングの実施状況を示した。4月から6月まではぶら下がりや棒幅跳を中心としながらも、跳躍ピットでの竹跳び（2-8歩助走）も実施した。その後は、ぶら下がりや棒幅跳の練習時間および実施頻度を減らし、跳躍ピットでの竹跳びを増やした。特に、10月10日の競技会前のおよそ2か月間は、6-8歩程度の比較的助走歩数の多い跳躍を中心に行った。週当たりのトレーニング頻度については、所属する部活動のトレーニング計画との兼ね合いで、若干のばらつきはあったが週に1-2回程度であった。

本研究では、競技者2名の目標として、竹跳びでターンをしながらクリアランスし、安全にマットに着地する

こと、棒高跳の競技会で3.00 mを跳ぶことの2つを設定した。前者については、踏切足の接地位置がボックス側に過度に近づいた際にポールを十分に立たせることができず、マットの傾斜部やボックス付近に着地することが何度かみられたが、指導対象期間を通して競技者Aと競技者Bに怪我はみられなかったことから、概ね目標は達成されたといえる。後者については、指導対象期間の最終日（10月10日）に実施された競技会において、競技者Aは3.10 m、競技者Bは3.60 mを記録し、それぞれ目標を達成した。

3.3 指導対象期間における各競技者の課題

指導対象期間における競技者Aの主な課題として2つ挙げられた。1つ目の課題は、踏切足接地時に上グリップ側（競技者Aの場合は左）の肘関節が屈曲している点であった（図5a）。ポールを十分かつ円滑に立てるためには、ポールと地面とがなす角度（以下、突っ込み角）を大きくすることが有効であると考えられるが、競技者Aのように踏切時に上グリップ側の肘関節が屈曲位にある場合は突っ込み角が小さくなる。2つ目の課題は、踏切足の接地距離（踏切足接地時における踏切足のつま先から身体重心までの水平距離）が大きい点であった（図5a）。踏切足の接地距離と身体重心の水平速度減少率との間には有意な正の相関関係が認められていることから（澤野ほか、2008）、踏切足の接地距離が大きい場合には助走で得た水平速度が踏切中に大きく損なわれる可能性がある。

指導対象期間における競技者Bの主な課題として2つ挙げられた。1つ目の課題は、踏切時に上グリップ真下よりも前方で踏切足が接地している点であった（図5b）。このような特徴をトレーニング現場では「（踏切）足が入った」と表現する場合がある。競技者Bのように過度に足が入った跳躍になれば、ポールと身体が著しく接近し、ポールを立てることが困難になる。また、足が入った跳躍では、踏切後に身体が早期に後方回転することで下半身が前方に振られ、クリアランスまで辿り



図4 指導対象期間におけるトレーニングの実施状況

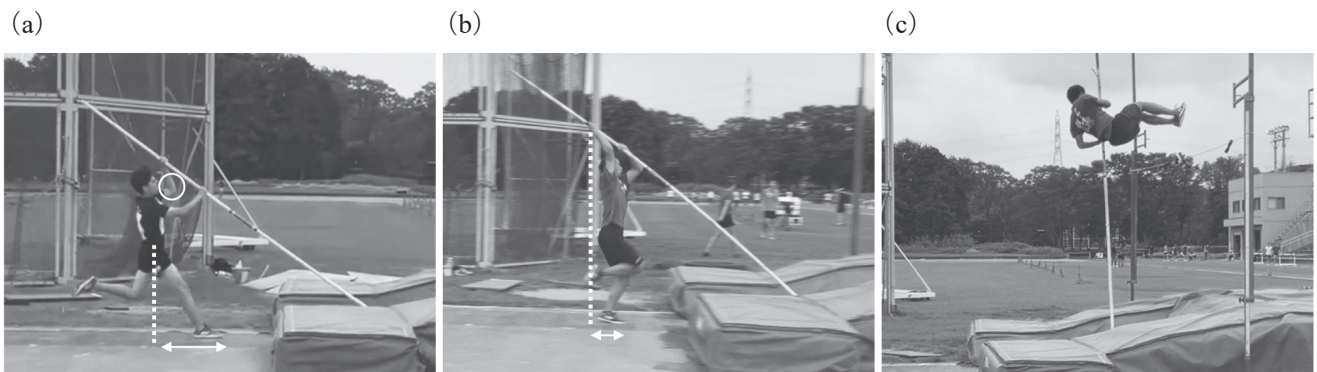


図5 競技者Aおよび競技者Bの課題

着くことができなくなるケースも見受けられる。実際、同ケースは競技者 B において観察された（図 6）。2 つ目の課題は、ポールに沿うように、鉛直方向に身体が伸展していない点であった（図 5c）。棒高跳で大きな跳躍高を獲得するためには、グリップ高を高くすることのほか、抜きの高さを大きくすることも寄与する。棒高跳初心者が大きな抜きを獲得することは容易ではないが、グリップ高以上の高さのバーを越えるためにはより鉛直方向へと身体を伸展させる必要がある。

3.4 修正版トレーニング手順の内容

指導対象期間終了後、指導者 C と指導者 D で話し合

いを行った。指導対象期間における競技者 A および競技者 B の取り組みや先述した各競技者の課題を振り返りながら、男子大学生を対象とした棒高跳初心者のためのトレーニング手順の内容について再検討した。その結果、原案となるトレーニング手順から「砂場でターン」および「6 歩助走から跳躍（長座姿勢で着地）」を削除した（図 7）。これらを削除した理由は、本研究で対象とした競技者 2 名がこれらのステップを難なく遂行し、男子大学生を対象とした場合には必要のないステップであると判断したためである。また、新たに「跳びついてぶら下がり（砂場）」（図 8）、「6 歩助走から棒幅跳（砂場、ゴムバーあり）」、「棒幅跳（跳躍ピット）」、「6 歩助走か



図 6 ポールが立たない跳躍

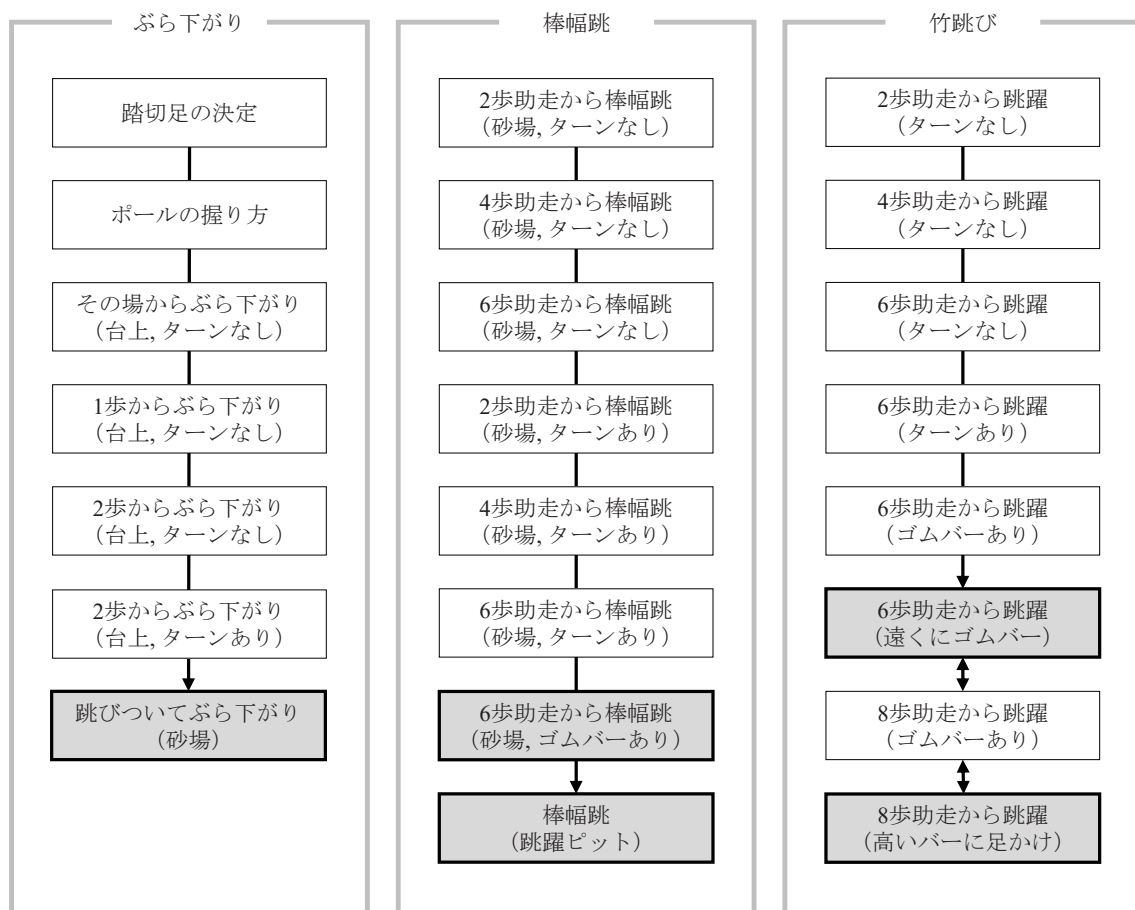


図 7 修正版トレーニング手順

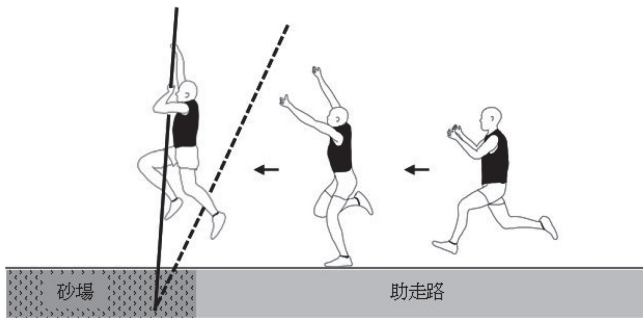


図8 跳びついてぶら下がり

ら跳躍（遠くにゴムバー）」および「8歩助走から跳躍（高いバーに足かけ）」の5つを追加した。これらを追加した理由は、競技者Aおよび競技者Bの持つ課題を改善するためには、他のステップを追加する必要があると判断したためである。「6歩助走から棒幅跳（砂場、ゴムバーあり）」は、跳躍距離の獲得から跳躍高の獲得へと段階的に移行するためのものであり、跳躍距離の獲得が主課題である棒幅跳で低い高さのゴムバーを越えることによって跳躍高の獲得に必要な動作を少しずつ引き出すことを意図している。「棒幅跳（跳躍ピット）」は、砂場での棒幅跳で習得した動作をより実戦的な環境でも再現するために取り入れる。この際、安全面を考慮し、マットに着地する際は足部からではなく、臀部または胴体から着地するようにする。「6歩助走から跳躍（遠くにゴムバー）」は、踏切足の接地距離が大きくなる（図5a）および上グリップ真下よりも前方で踏切足が接地する（図5b）という課題に対応したものであり、ボックスからより遠い位置（アップライト80 cm以上）にかけたゴムバーを越える練習を繰り返す中で、水平速度の減少を抑えた踏切動作とポールを円滑に立てるための動作を身に付けることを狙いとしている。この際、グリップ高は通常の跳躍時と同程度の高さとする。「8歩助走から跳躍（高いバーに足かけ）」は、競技者Bのように鉛直方向へとポールに沿って身体を伸展させることができない（図5c）競技者のためのものであり、足先がわずかに触れることのできる程度の高さに設定したバーに向かって跳躍を行うことで、より鉛直方向へと身体を引き上げることを意識しやすい環境を作る。なお、上下矢印で示した箇所については、対象者の課題に応じてステップ間を行き来することを勧める。追加したステップの多くは、トレーニング現場でも目にするものであるが、「跳びついてぶら下がり（砂場）」については、指導書においても紹介された例は見当たらず、一般的に行われているものでもない。「跳びついてぶら下がり（砂場）」は、踏切足接地時に上グリップ側の肘関節が屈曲する（図5a）という課題に対応したものである。補助役は、砂場と助走路の境目から約30–40 cm前方にポールを突き刺し、助走路側に少し傾けた状態で保持する。競技者は、4–6歩程度

の短い助走から砂場に立てられたポールに向かって跳びつき、そのままぶら下がり、前方に着地する。ここでは、あらかじめ立てられたポールに向かって斜め上方に跳びつくように踏み切るため、踏切時に上グリップ側の肘関節を伸展させ、上方に伸び上がるような姿勢を自然と作ることができると考えられる。

3.5 研究の限界と今後の課題

本研究では、指導対象期間中のグリップ高のデータを収集することができなかった。日々の練習または競技会において競技パフォーマンス（跳躍高）に変化がみられた際に、その変化がグリップ高と抜きの高さのどちらの変化に起因するものであるかを把握するためには、グリップ高を記録しておく必要がある。また、本研究では競技者の動作分析を行っておらず、競技者の有する課題について先行研究で得られた知見をもとに検討することが困難であった。そのため、結果および考察の記述には科学的根拠に欠ける部分がみられる。今後、より妥当なトレーニング手順を考案するためには、本研究で考案した修正版トレーニング手順での指導実践事例を残す必要がある。その際、本研究とは異なる指導者に指導を行わせることが望ましいだろう。これは、修正版トレーニング手順が本研究で対象とした指導者の指導経験に大きな影響を受けている可能性があるためである。

4. まとめ

本研究の目的は、コーチング現場で採用されている方法を用いて、男子大学生を対象とした棒高跳初心者のためのトレーニング手順を考案することであった。主な結果は以下の通りである。

- 1) 本研究で考案した棒高跳初心者のためのトレーニング手順は、ぶら下がり、棒幅跳、竹跳びで構成されたものであった。
- 2) 本研究で対象とした男子大学生2名は、約半年間の指導対象期間を経て、竹跳びでターンをしながらクリアランスし、安全にマットに着地すること、および棒高跳の競技会で3.00 mを跳ぶという2つの目標を達成した。
- 3) 指導対象期間終了後に指導者2名で話し合いを行った結果、原案となるトレーニング手順から2つのステップを削除し、新たに5つのステップを追加した。今後は、本研究で考案した修正版トレーニング手順での指導実践事例を残し、より妥当な男子大学生を対象とした棒高跳初心者のためのトレーニング手順について検討する必要がある。

文献

青柳 唯・金高宏文・小森大輔（2021）棒高跳初心者における練習・指導ステップの考案：1.70 m から3.00

- m に記録を向上させた女子高校生の事例より，スポーツパフォーマンス研究，13：358-381.
- 木越清信・小林史明・下嶽進一郎（2007）棒高跳におけるグリップ高に影響を及ぼす技術的要因—日本人競技者はグリップ高を高めるために何をすべきか？—，陸上競技学会誌，6：89-94.
- 村木征人（1982）跳躍高の構成要素，大石三四郎・浅田隆夫編，現代スポーツコーチ実践講座 2—陸上競技フィールド，ぎょうせい，pp. 380-385.
- 村山凌一・榎 将太・川間羅聖・森田 彩・中山滉一・米原博章（2022）国内男子十種競技者の棒高跳への取り組み方に関する調査，陸上競技学会誌，20：69-75.
- 尾縣 貢（2007）棒高跳のトレーニング，ぐんぐん強くなる陸上競技，ベースボール・マガジン社：東京，pp. 118-123.
- 大村邦英（2010）棒高跳のトレーニング，もっとうまくなる！陸上競技，ナツメ社：東京，pp. 124-127.
- 澤野大地・本道慎吾・田端健児・安住文子・村上幸史・青山清英・小山裕三・澤村 博（2008）棒高跳の踏切動作に関する研究—身体重心の速度変化を中心に—，陸上競技研究，72：22-31.
- 田中 光（2015）棒高跳，日本中学校体育連盟陸上競技部編，中学生のための陸上競技第2版 中学陸上トレーニングマニュアル，陸上競技社：東京，pp.153-169.
- 吉沢 新・金高宏文・平田文夫（1994）初心者を対象とした棒高跳の指導手順の紹介と検討，陸上競技研究，17：16-26.
-

U20 男子砲丸投日本トップレベル競技者における 投法変更による短期間での成功事例について

小林志郎¹⁾

A Case Report on Success in a Short Time by Changing Throwing Methods
in U20 Japanese Top-Level Men's Shot-Put Athlete

Shiro KOBAYASHI¹⁾

Abstract

This study reports on the success of a u20 male Japanese top-level shot put athlete who changed his throwing technique. The participant, a u20 male Japanese top-level shot put athlete who had achieved top results in the u20 category in the glide throw, changed his throwing technique to the rotational throw when he felt that his record was not improving. He learned the technique by focusing mainly on the phase from the start of the turning motion to the left foot off the ground, and on acquiring a power position posture. As a result, he was able to improve his own record by 1m29cm in about 7 months. This significant improvement in his personal record in a short period of time was due to the fact that the subject had been working on the discus throw in parallel with the glide throw, which enabled him to acquire the technique of the rotary throw smoothly, and that the change of throwing technique to the rotary throw improved the timing of right foot landing and left foot landing to reach the power position, which had been a problem in the glide throw. The change of throwing technique to the glide method improved the timing of right- and left-foot grounding to reach the power position.

キーワード：回転投法，グライド投法，投法変更

1. 研究背景

砲丸投は直径 2.135m のサークルから男子は 7.26 kg、女子は 4 kg の砲丸を投擲し、飛距離を競う競技である。砲丸の飛距離は投射速度、投射角、投射高、砲丸の受ける空気抵抗により決定し、その中でも投射速度が最も重要となる (Hay, 1993)。砲丸投にはサイドステップ投法やグライド投法、回転投法など数種類の投法が存在している。その中でも現在、世界では回転投法が主流となっており、2023 年に行われた世界陸上ハンガリーブダペスト大会では男女の優勝者共に回転投法を用いた選手であった。特に世界大会において男子では回転投法を用いる選手が多く、世界陸上ハンガリーブダペスト大会では、決勝進出者全ての選手が回転投法を用いていた。また、世界記録保持者の Ryan Crouser 選手も回転投法を用い

る選手である。このように世界基準では回転投法が主流になっている現状がある。

日本国内に目を向けると、第 107 回日本陸上競技選手権出場者 (2023) では男子砲丸投参加者 18 名中 12 名と回転投法を用いる選手が増えてきているものの、2023 年度に行われた、全国高等学校体育大会 (以下、インターハイ) では男子砲丸投決勝進出者 17 名中、回転投法を用いる選手は 2 名とまだグライド投法が主流となっている。女子においては、日本選手権 (2023) 参加選手 18 名中、回転投法を用いる選手は 3 名に留まり、インターハイ (2023) 決勝進出者 12 名の中で回転投法を用いる選手はいなかったものの、世界大会での状況を鑑みて、今後、日本国内でも回転投法を採用する選手が増加することが予想される。

大山卞 (2010) は IAAF (現 World Athletics) が公開している男子砲丸投歴代記録リストの情報から身長が明らかな競技者を抜き出し、回転投法、グライド投法の判別を行った。その結果、投法の判別が出来た 45 名中身長が 1.90m 未満の選手は 19 名であり、そのうち 13 名が回転投法を用いていたことを報告している。また、大山卞 (2010) はグライド投法では投げ局面の加速そのものが重視されることから、投げ局面で作用する加速機構のスケールが大きく影響する投法であると考えられ、回転投法は投げ局面の空間は小さくなるものの、大きな体重移動の範囲を利用し、体幹を回し四肢を素早く振り回す予備動作を用いることによって低身長であっても全身に大きなエネルギーを蓄えて投げ局面に移行できる利点があると考えられると述べている。Pagel and Pagel (2003) は背が高く力のある選手はグライド投法が得意で、低身長でパワーのある選手は回転投法が得意であるというのはよくある話であると述べている。

1) 新潟医療福祉大学 Niigata University of Health and Welfare
〒950-3198 新潟県新潟市北区島見町 1398 番地

これらの報告から、海外選手に比べ低身長である日本人選手が、回転投法に取り組む意義はあると考えられる。しかし、Pagel and Pagel (2003) はグライド投法に比べ、回転投法の技術的な難しさも指摘しており、砲丸投のサークルが、円盤投サークルに比べ小さいことから回転動作が窮屈になることや、回転動作中に砲丸が首の近くに保持されることからバランスをとることが難しいとされている。またグライド投法やその他の投法は基本的な形が比較的単純であるのに対し、回転投法はより多くのバランスとコントロールが必要になるとされている。大垣 (2017) はグライド投法の技術が身につけている選手ほど、回転投法に移行する際にグライドの癖が取れず回転になじむことが難しくなり、初めの記録低下は避けられないと述べており、できるだけ早い段階で回転投法を行うことを推奨している。

これらのことから、グライド投法から回転投法へ移行するには記録が停滞してしまう恐れもあり、すでにトップレベルである選手の場合は、大会で好成績を残す必要性も高いことから慎重に移行する必要がある。グライド投法から回転投法への投法変更事例としては加藤ら (2017) が競技発達事例をもとに、回転投法に取り組むうえでの競技発達段階における運動フォームの観察点視点を作成し、報告しているものの、その他の事例報告は見られないのが現状である。

本研究の対象者である男子大学生競技者（以下、W選手とする）は、高校3年時にグライド投法でインターハイ3位の結果を残している。高校3年時の10月に、本格的に回転投法へ投法変更を決意し、翌年6月までの短期間でU20規格（高校規格6kg）において1.29m、一般規格（7.26kg）で0.90m記録を更新し、目標としていたU20日本陸上競技選手権で優勝することが出来た。

た。W選手のような事例はトップレベルである選手のグライド投法から回転投法への移行を検討していくための足掛かりになると考えられる。本研究ではW選手がグライド投法から回転投法へ投法変更するにあたり取り組んだ技術課題、段階的な取り組みを示すことで、投法変更後に短期間で回転投法に適応し、記録を向上させることが出来た要因を明らかにすることで、投法変更に向けた一つの知見得ることを目的とした。

Ⅱ. 方法

1. 対象者

対象者は砲丸投を専門とする男子大学生競技者（W選手）1名である。中学1年時から砲丸投に取り組み、中学3年時には全国中学校体育大会で2位の成績を上げている。高校次においても、1年時に全国高等学校陸上競技大会2020砲丸投において5位、2年時にインターハイ2位、3年時のインターハイでは3位の成績を持つ競技者である。高校3年時にはU20規格（高校規格6kg）で17.05m、一般規格（7.26kg）で15.43mの記録を有していた。高校2年時には円盤投でもインターハイで8位に入賞している。順調に記録を伸ばしてはいたものの、高校2年時から3年時で思うような記録の伸びが見られなかったこと、世界のトップレベルの選手が回転投法に取り組んでいることに注目し、高校3年時9月よりグライド投法から回転投法へ投法変更を行った。その結果、回転投法変更後7ヶ月間でU20規格（高校規格6kg）において1.29m、一般規格（7.26kg）で0.90m記録を更新し、目標としていたU20日本陸上競技選手権で優勝することが出来た。表1に、W選手の自己ベスト記録推移及び取り組み期間での身体特性を示した。

表1 被験者の身体特性

	高校1年	高校2年	高校3年	大学1年
身長 (cm)	182.6	182.8	182.9	183
体重 (kg)	107	125	118.5	121.2
年次記録 6.0kg (m)	15.81	16.56	17.05	18.34
年次記録 7.26kg (m)	—	14.63	15.43	16.33
スタンディングスロー 6.0kg (m)	14.2	15.1	16.2	15.5
スタンディングスロー 7.26kg (m)	—	13.2	13.8	14.5
ベンチプレス (kg)	130	170	185	180
スクワット (kg)	180	180	220	210
デッドリフト (kg)	140	180	220	220
クリーン (kg)	105	125	140	155
スナッチ (kg)	75	95	100	115
円盤投 年次記録 1.75kg (m)	41.67	46.36	46.72	—

2. 情報収集の方法

本研究は、対象者への筆者（コーチ）によるインタビューをもとに、回転投法習得までの振り返りを行った。またトレーニング過程の記述に関して対象者とコーチとの会話、コーチ自身による指導記録、メッセージ共有アプリを用いて動画共有を行った中でのアドバイスをもとに作成した。トレーニングデータは質問紙によりデータ収集を行った。対象者の練習中及び振り返りでの発言は「 」で示した。

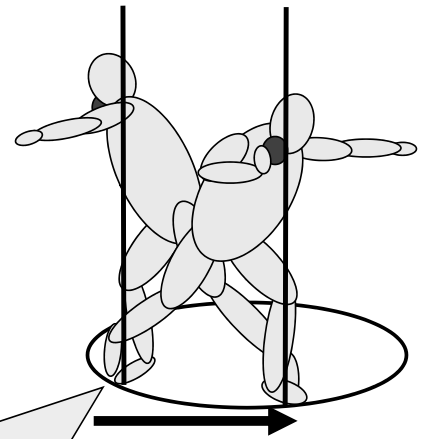
3. 取り組み期間、およびトレーニング状況

本研究は、W選手が回転投法に移行した高校3年時9月から大学1年6月（10ヶ月）までとした。大学に入学してからの練習は1日4時間程度、週5日とし、内容としては投擲練習を週5日、ウエイトトレーニングは週3日程度行った。走練習、跳躍練習は適宜行った。大きな故障もなく継続して練習を行うことが出来ていた。

Ⅲ. 回転投法への変更に向けての基本構想

図1に回転投法での砲丸投動作を示した。

本研究では、W選手は主にターン動作のスタートから左足離地及びパワーポジション姿勢に重点を置き技術習得を行った。図2にターン動作のスタートから左足離地におけるイメージを示した。大山下(2010)はスタート局面におけるグライド投法と回転投法の基底面の違いから、身体の小な競技者においてもスタートにおける大きな体重移動が確保できることで、砲丸を含めた全身を加速する空間的余裕があると述べている。本研究においても右から左へ大きく重心移動を行うこと、砲丸を大きく動かすことを意識して技術習得を行うこととした。図3に左足接地時の姿勢（パワーポジション）からリリースまでのイメージを示した。加藤ら（2018）は回転投法を用いた日本人選手を対象とした研究において、投げ局面（本研究では左足接地からリリース）において初速度の約85%が作り出されていたこと報告している。本研究においても投げ局面につながる左足接地時の姿勢（パワーポジション）を特に重要視して習得を行った。左足接地時には砲丸の位置を右踵の上に保持できるよう体幹の捻りを意識した。大谷ら（2014）はグライド投法と回



スタートから右足離地まで砲丸を右足上から左足上まで移動させる

図2 スタートから左足離地までのイメージ

転投法における投げ局面の右下肢動作の相違として、グライド投法では投擲方向への下腿の倒れこみと後方へ蹴り離す動作によって構成され右腰を投擲方向へ推進させる直線的な動作、回転投法では膝を回しこむ回旋動作と鉛直方向へのキックを強調した動作であったと報告している。本研究においても、リリースに向け、膝を回しこむ動きと鉛直方向へのキックを意識し、常に下半身が右腰をリードすることで体幹筋群を活用した投擲を行うことを目標とした。

Ⅳ. 取り組みの展開と結果

W選手は中学時代から全国大会上位入賞するトップ選手である。高校2年時までは順調に記録を伸ばしてきているものの、2年時から3年時にかけて記録の停滞を感じており、高校3年シーズン終了と同時に、グライド投法から回転投法への変更を決意し、技術習得に取り組むこととなった。「グライド投法では、グライド後の右足接地と左足接地をほとんど同時に行ってしまう癖が修正できず、思う様に投げるができずに苦しんだ。大学進学を機に回転投法に取り組み記録を大きく伸ばした

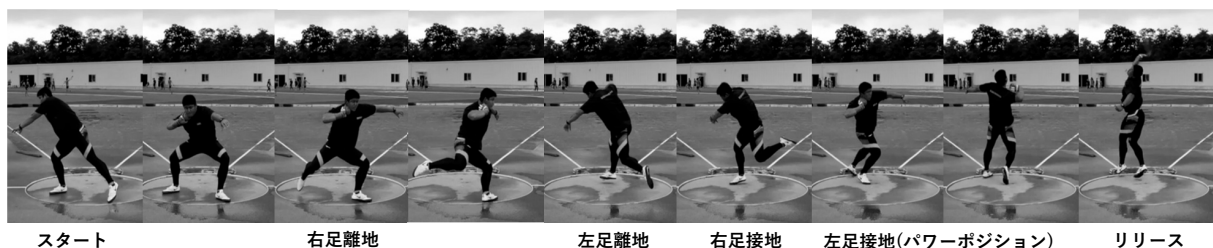


図1 回転投法での砲丸投動作

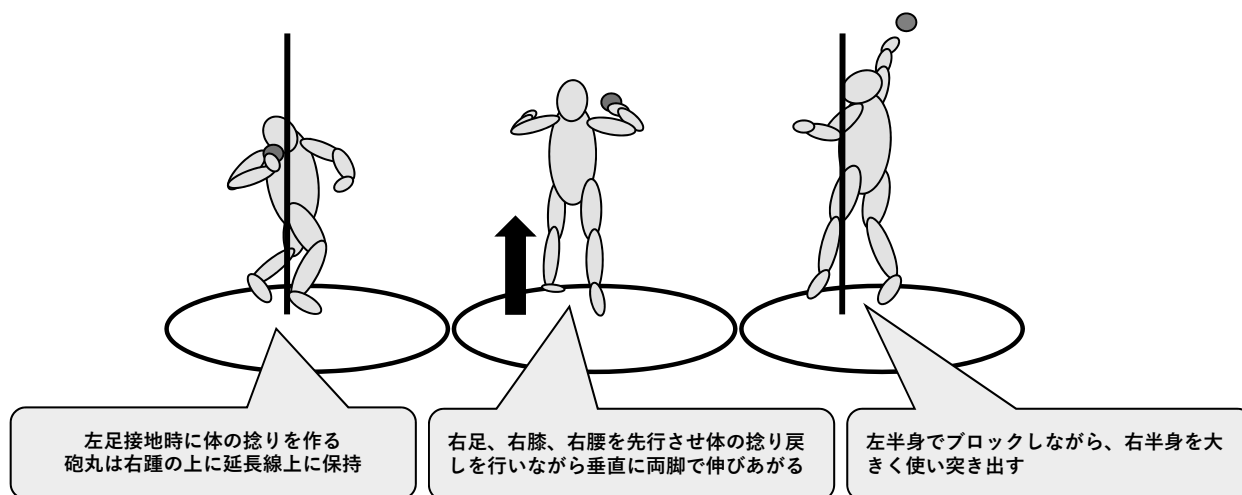


図3 パワーポジションからリリースまでのイメージ

い」とのことであった。大学入学までは高校での練習における投擲練習を動画撮影し、筆者と共有し、アドバイスをを行うことで技術習得を行うこととした。

導入段階として、W選手には回転投法ではグライド投法の右足離地、右足接地、左足接地のリズムと異なり、右足離地、左足離地、右足接地、左足接地のリズムとなる為、右足接地、左足接地のリズムが取りやすくなるのではないかと、また、指導書では、グライド投法は、片脚支持による単脚のホップ動作で投擲方向へ移動することから筋力的にも負担が大きく、高い技術力が必要とされており（野口，2015），回転投法では、グライド動作で見られる、支持脚の股関節の水平内転、内旋、屈曲を伴った右脚の引き込み動作を行わないため、パワーポジションが取りやすいはずであると伝えた。そして、サークルに入ってフルターンでの投擲を行い、回転投法を行うとどういった感覚となるかを確認するように指示した。「回転投法に本格的に取り組む決意をする前に数度、回転投法でサークルから投げたことがあるが、思う様に投げることが出来なかった」とのことではあったが、グライド投法に比べ、飛距離は出ないものの、パワーポジションからリリースまでの感覚は、「抜けた感じではなく、力が加わった感覚」と思いのほか良かったようで、回転投法に転向する決意を固めたようであった。W選手より送ってもらった動画を見た印象は、投擲動作全体として

はある程度まとまっており、6kgの砲丸で15.60mほどであった。W選手のグライド投法での練習でのベスト記録は17mを越えており、この投擲の飛距離はグライド投法での飛距離に比べると劣るものの、回転投法への移行はスムーズに行われるものと確信した。図4に、W選手より送ってもらった動画（2022.9.23）の回転投法での砲丸投動作を示した。この投擲を③では、左足への重心移動が十分に行われておらず、左肩が後方へ倒れることにより、ターンが投擲方向左側へ進んでしまい、⑥では右足の接地位置がサークルの中心から大きく外れてしまっている。その影響からか、⑦のパワーポジションでの腰の位置が高く、右側に倒れるような動きとなり、右脚を上手く使うことが出来ていなかった。

図5に、W選手の高校時の円盤投での、スタートから右足接地までの動作を示した。W選手の回転投法でのスタートから右足接地までの動きは、円盤投での動きと同様であった。W選手は、高校2年時に円盤投において、インターハイで8位入賞しているが、高校3年時には、技術が安定せず思うような結果を残せずにいた。高校3年時の全国高校総体では、予選で落選している。回転投動作と同じように、③での左足への重心移動不足や⑦に見られるような右足接地位置が、サークル中心から投擲方向に対して、左側へズレが見られた。W選手の回転投法での技術が、円盤投での技術と同じく、スター

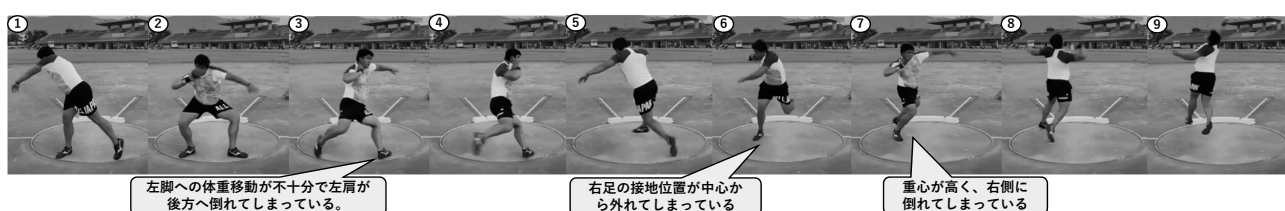


図4 回転投法での砲丸投動作（2022.9.23）

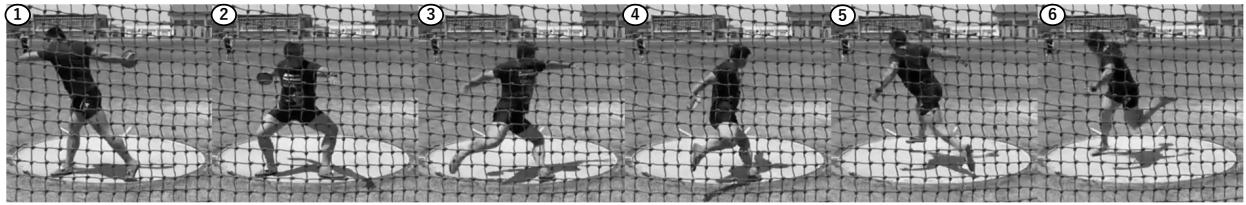


図5 円盤投でのスタートから右足接地までの動作

トからの左足への重心移動不足、右足接地位置のズレが技術の不安定を生んでいると推測し、修正に取り組むこととした。筆者からは、この局面を修正するためにスタートから丁寧に左足への重心移動を行う様に伝えた。その際に砲丸を右から左に大きく動かすこと、重心移動は、左股関節を左踵の上に移動させ右足を離地することを目安に行うように指示した。また、W選手より、ファウルをしてしまうという申し出があり、可能な限り投擲練習では、投擲後にサークル内にとどまり、ファウルをせずに行うように指示した。円盤投サークルとは大きさも違うこともあり、少しコンパクトなイメージでターン練習を行うように伝えた。

約1か月後、W選手より動画が送られてきた。図6にW選手より送ってもらった動画(2022.11.7)の回転投での砲丸投動作を示した。以前指摘した、③では砲丸を右から左に大きく動かす、重心移動を行うという課題に関して、意識して行っている様子が見て取れた。しかし、④では、重心移動を意識するあまり、左股関節の外旋が足りず、投擲方向に向けて左足つま先が回転不足となり、その結果として、⑦では、左腕のリードが大きくなり、上半身の開きが大きくなってしまっていた。右足の接地位置、パワーポジションでの腰の位置の高さも以前のままであった。また、⑨ではパワーポジションから左足への重心移動のタイミングが早く、直線的に突き出そうとしている様子であった。W選手は「脚の力が弱いからか、動きを意識しようとしてもうまくできず、脚力を使える姿勢をつくれなかったが、リリースに関しては感触が良い」とのことであった。送られてきた動画では、前回とスタートでの左脚の位置が異なっており、尋ねたところ「ハーフターンを活かすために、左足の位置を中心に置いた」とのことであった。この動画ではファウルをしてしまっていたものの6kgの砲丸で15.70mで

あった。筆者からは、前回よりも左足への重心移動は改善されている。左足への重心移動を合わせて左足先を進行方向に向けることを注意して取り組むように伝えた。また、パワーポジションからリリースにかけて右脚をうまく使えるようにするために、右腰を先行させながら両脚で伸びあがるように指示した。左足接地時の左肩の高さに関しては、W選手本人の感覚を重要視して指摘しなかった。

その後、11月19日にも動画を送ってもらい技術指導を行った。動画を見た印象としては前回と大きな変化が見られなかった。スタート時から右足離地までに、右足から左足への重心移動は行えるようになってきているものの、重心移動が行われる前に投擲方向へ上体が倒れてしまい、左足先を投擲方向へ向けることができていなかった。右足接地位置も投擲方向左側へ接地していた。W選手が、左足を投擲方向へ向けていくイメージを、上手くつかめていないと感じ、筆者からは左足は小指側に体重を乗せて回るのはではなく、母指球側に体重をかけ踵を投擲方向と反対方向へ向けるつもりで動かしていくことを伝えた。

冬期も練習を継続して行っていたものの、降雪の影響で投擲練習を行うことができず、12月から2月中旬までは基礎体力作りを中心に行うこととなった。この期間これまでの指示を継続し、砲丸を持たずにフォーム練習を行うこととなった。

2023年2月23日に送られてきた動画では、投擲練習の不足からか、パワーポジションからリリース局面で腰の位置が高く、左肩の開き、左肩が上がりすぎる動きが見られたものの、スタートから右足接地までの局面では、これまでの課題の改善が見られた。図7にW選手より送ってもらった動画(2023.2.23)の回転投動作を示した。特に①～③での右足離地までの重心移動が左腕を開かず

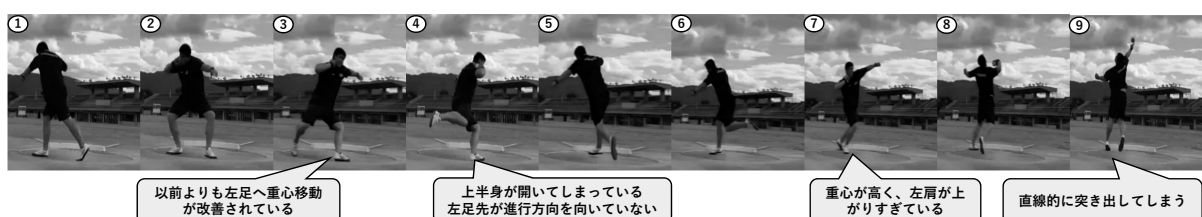


図6 回転投での砲丸投動作(2022.11.7)

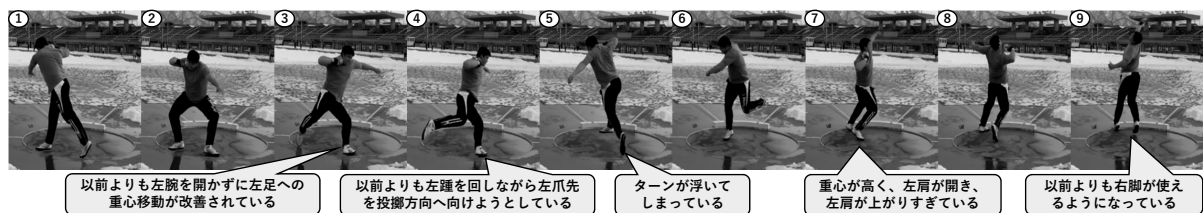


図 7 回転投での砲丸投動作 (2023.2.23)

に行えていること、④での左脚支持局面において、左踵の意識に大きな改善がみられた。その結果、⑥で右足接地位置がわずかではあるがサークルの中心に近づいている。また、右足接地でも、砲丸を後方に残し、体幹を捻転させた構えをとることができるようになってきている。しかし、⑤のようにターンが浮いてしまっていることで、⑦の左足接地時には腰の位置が高く、左肩を開き気味であったことから、パワーポジション姿勢の修正を行っていくこととした。リリースに関しては、グライド投法での直線的な突き出しではなく、身体を上手く回転させながらリリースに向けて動けるようになってきている。⑨では、以前より右足が地面に接地している時間が長くなり、右足をうまく使えるようになってきている様子であった。

3月上旬には、筆者の所属する大学で、3日間にわたり集中的に練習を行うことができた。これまでW選手より送られてきた動画を見ながらのコーチングであったが、直接指導できる機会となり、W選手とは沢山の意見を交わすことができた。久しぶりに見たW選手は、左足への重心移動のタイミングが改善されてきており、練習での動きも安定してきていた。左足への重心移動が改善されてきたことで、より長く左足に乗れるようになってきていた。さらに、乗り込みながら右足を大きくサークル中心へ振り込めるように、スタートポジションから右足を少し後ろに下げることとした。ファーストターンに余裕が出たことにより、セカンドターンからスピードを上げることができるようになってきているように見えた。この時の練習で、ファウルではあったが、6kg 砲丸で17mを越えることができた。その後、3月末の記録会にて、回転投法での初めての試合に臨むこととなった。当日はあいにくの雨であったが、6kg 砲丸で16.88mとグライド投法でのベスト記録に迫る記録を残すことができた。

4月に入り大学入学後は、右足の位置を後ろに下げる入りにも慣れ、練習中ではあるがファウルなしで17mを超える投擲もみられるようになってきた。右足を少し後ろに下げた入りにも慣れ、左脚支持の時間が長くなることで、左足先が投擲方向を向いた際に、左足で地面を押して投擲方向に進めるようになってきた。大学入学後は、7.26kgの一般規格での大会が中心となり、練習では6kgと7.26kgの2種類の重さを取り入れながら、投擲練習を行っていった。回転投法を用いて一般規格での初出場大会では14.79mであったものの、2試合目の大会では15m80を投擲し、グライド投法での自己ベスト記録を更新することができた。その後も自己ベスト記録を更新し、5月には16.06mと順調に記録を伸ばし、6kg 砲丸での練習では17mを安定して投げることができるようになっていた。この時期の投擲では、スタートから右足接地までの局面に関しては改善が見えていたものの、右足接地からリリースにかけてのターンスピードが上がらないという課題が出てきた。左足を素早く接地しようとするとうまくいかず、左足を投擲方向に対し、やや右寄りに接地（クローズスタンス気味）してしまうことが多くなっていた。この課題に対しては、右足を接地してからスピードを上げるのではなく、右足接地直前からスピードを上げる意識で行うこと、左腰を開きながら振り込むように接地することで、左肩を開かずに体幹の捻転を作りながら接地することができるようになった。その結果、パワーポジションからの右足、右膝、右腰の先行も意識しやすくなり、右足接地からリリースまでの動きがスムーズに行えるようになった。

図8に6月2日の回転投での砲丸投動作を示した。

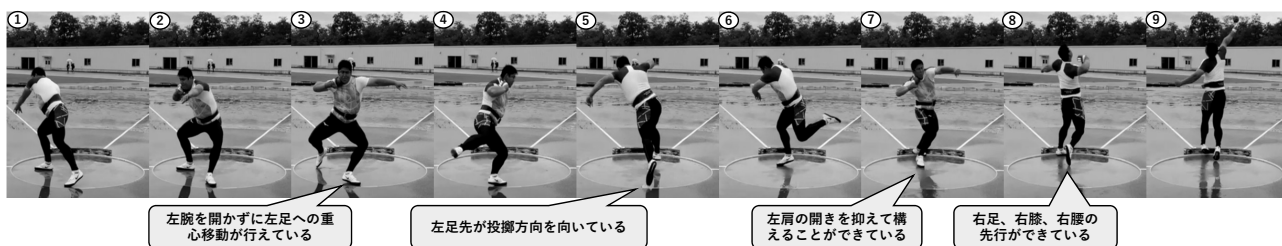


図 8 回転投での砲丸投動作 (2023.6.2)

U20 日本選手権に向けての調整練習に入っており、調子も上がってきている中での投擲であった。パワーポジション時での腰の位置の高さと、まだ少し左肩の開きが気になるもの、回転投法へ投法を変更した際に課題としてきた、①～③のスタートから左足離地までの局面、⑦のパワーポジションでの姿勢も、基本構想にあったイメージと近づいてきた。6 kg を用いたこの投擲は、17.75m と自己記録を大きく上回るものであった。腰の位置の高さについては、左足の踏み込んだ高さから上下動せずにターンを行うこと、左肩の開きに関しては、左足接地時に砲丸を右踵の延長線上に置く意識で構えるように指示した。

U20 日本選手権に向け、左足への重心移動もうまく行えるようになってきていたものの、右足離地から右脚を大きく使おうとするあまり、投擲方向に左脚で踏み込めないような投擲が見られるようになってきた。左脚が踏み込めないことでサークルの縁を踏んでしまうこともあり、ファウルにならないように修正する必要がある。この課題に関しては、左脚で地面を踏み込んだタイミングで左膝を地面に近づけることを強調することで改善が見られた。

そして迎えた U20 日本選手権では、6 投目に 6 kg での、自己記録を大きく更新する 18.34m の自己ベスト記録を更新する投擲を行うことができた。この投擲では右足離地で少し左腕を開き気味ではあったが、課題となっていた、左足への重心移動、パワーポジションでの腰の位置の高さが改善され、左肩の開きをおさえた投擲であった。図 9 に回転投法転向時（2022.9.23）15.60m と自己ベスト記録 18.34m（2023.6.4）での砲丸投動作の比較を示した。回転投法転向時に比べ自己ベスト記録での投擲では、③での左足への重心移動、⑤での左足離地時の左足の向き、⑦でのパワーポジション姿勢で大きな違いがあることがわかる。

V. まとめと今後の課題

W 選手は、回転投法へ本格的に変更して、約 8 か月でグライド投法での自己ベスト記録を 1.29m 更新することができた。本研究では、基本構想としてスタートから右足離地、パワーポジション姿勢からリリースに重点を置き技術習得を行った。表 2 に回転投法に取り組み始めた、10 月から 6 月までの技術課題に対する指導及び技術改善を時系列で示した。また、図 10 にはスタートから左足離地まで、図 11 には、パワーポジションからリリースまでの習得に特に重要であったと考えられる取り組みを示した。図 10、図 11 に示した取り組みは、基本構想にあった「右から左へ大きく重心移動を行う、砲丸を大きく動かすスタートから左足離地」、「体幹の捻りを意識したパワーポジションからのリリース」の習得に向けた、独立した取り組みを示している。本研究での取り組み期間内において、技術習得に向けて行った取り組みを、指導者の観点に基づき、特に習得に向けて重要であったと思われる取り組みを取捨選択して示した。本研究では W 選手が高校時に円盤投に取り組んでいたことから、回転投法における基本的な動作がある程度できていたことから、ドリルやピボットターンといった分習法的な練習を中心とせず、投法変更を決めたタイミングでサークル内でのフルターンでの投げを中心に練習を行った。

対象者が、高校時に円盤投にも並行して取り組み、インターハイで入賞するレベルにあり、回転投法における基本的な動作がある程度できていたことが、短期間で回転投法に適応できた要因として大きかったと感じている。男子砲丸投日本記録保持者の中村太地氏は、円盤投のインターハイ優勝者であり、大学時にグライド投法から回転投法へ移行し、大きく記録を伸ばしている。また、世界記録保持者の Ryan Crouser 選手もグライド投法で世界ユース陸上競技選手権を制し、高校時には、円盤投でも素晴らしい記録を残しており、その後、回転投法へ投法変更し成功を修めている。海外の指導書では「一つ

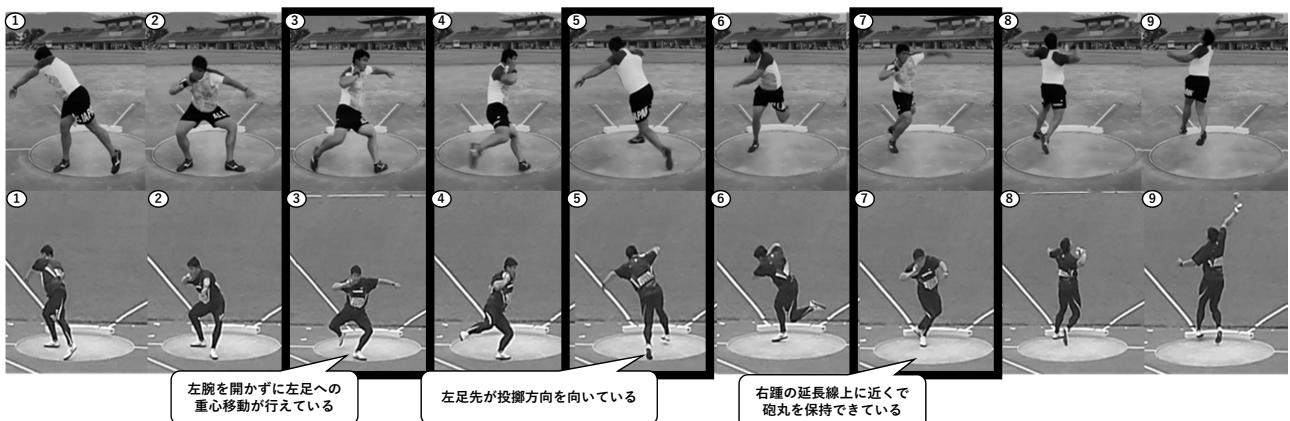


図 9 回転投法での砲丸投動作の比較（上段：15m60、下段：18m34）

表 2 技術課題に対する指導および技術改善

学年時期	対象者の技術的課題	コーチの視点・指導	対象者の反応	ジュニア規格での記録の推移(練習時含む)
2022年10月	左足への重心移動 パワーポジション時の軸の傾き	丁寧に左足へ重心移動を行う サークルに収まるようにコンパクトなターン練習	フォームは崩れていたがサークルには収まるようになった。	15.60m
2022年11月	左足離地時の左足先の回転不足 直線的に突き出してしまふ	母指球側に加重し、踵を投擲方向と反対へ向ける ターンの入りで砲丸を大きく動かす パワーポジションから右腰を先行させながら両脚で真上に伸びあがる	ファーストターンから大きく回れるようになった	15.30m
2022年12月	左足への重心移動 パワーポジション時の軸の傾き 左足離地時の左足先の回転不足	投擲練習を行わずに技術課題修正を継続	少し左足に乗れるようになってきた	屋外での投擲無し
2023年1月	左足への重心移動 パワーポジション時の軸の傾き 左足離地時の左足先の回転不足	投擲練習を行わずに技術課題修正を継続	脚を使えていないようなイメージ	屋外での投擲無し
2023年2月	パワーポジションからリリース局面での重心の高さ	パワーポジション姿勢の修正 パワーポジションから右脚が使えるようになってきている	スタート時の左足の位置を変更したことで左足へ重心移動が行いやすくなった	15.20m
2023年3月	右足離地時の右脚の振り込み	右脚を大きく振り込めるようにスタート時の右足の位置を下げる	ファーストターンに余裕が生まれ砲丸が右方向に抜けにくくなった	17.15m
2023年4月	ファーストターンでの左足の踏み込み	左膝を地面に近づけるように踏み込む	ターンの浮きが抑えられるようになった	17.10m
2023年5月	右足接地からリリースへの加速 左足接地時のクローズスタンス	右足が地面に接地するタイミングからのスピードアップ 左腰を開きながらの左足を接地する	投げの動きの流れが良くなって突き出しやすくなった	17.25m
2023年6月	パワーポジション時の重心の高さ 右足離地時での左腕の開き	左足で踏み込み時に左膝を地面に近づける 左足で踏み込んだ高さでターンを行う 左足接地時に右踵の延長線上に砲丸を保持する	膝を地面に近づけることが出来るようになりサークルの縁を踏まなくなった	18.34m

の経験則として、もし高校2年生が円盤投で130～140フィートに到達できなければ、その選手は回転投法で成功するために必要なリズムやバランス感覚を持っていない可能性が高い」とも述べられており、短期間で全ての選手が回転投法で成功する訳ではないと考えられる(Dunn, and McGill 2007)。円盤投のターン技術と砲丸投の回転投法の技術には共通点があり、W選手は、円盤投におけるターン技術の未熟さや、2.5mの円盤投サークルと2.135mの砲丸投サークルの大きさに違いがあっ

たものの、サークル内で回転するという動作に慣れていなかったことが、早期に適応できた要因であると考えられる。W選手は投法変更の初期段階から試合においてサークル前方に飛び出すファウルをせずに投げることが出来ていた。佐々木ら(2017)は、砲丸投、円盤投ともに国内上位記録を有する選手1名を対象とし、砲丸投と円盤投の回転投法について同一個人内での動作の比較を行っている。各局面でのスタンス幅の比較に関して、左足接地時(パワーポジション)での差が顕著であり、この左足

右から左へ大きく重心移動を行う、砲丸を大きく動かすスタートから左足離地

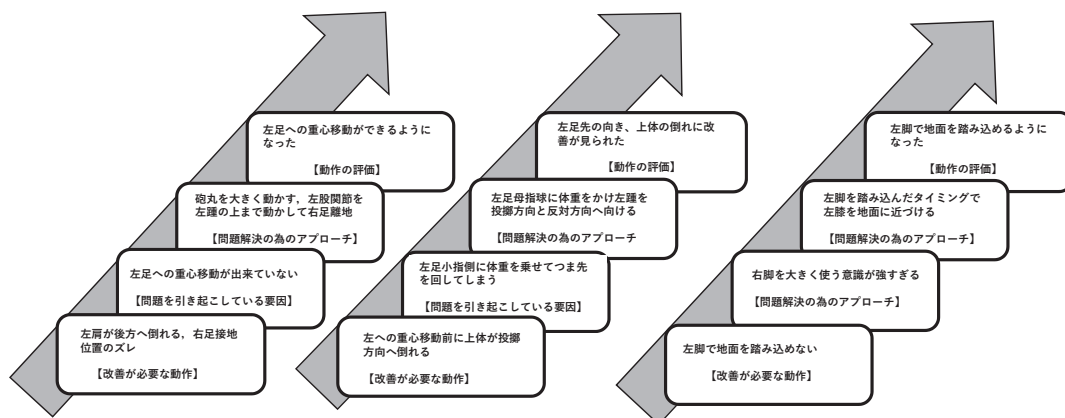


図 10 基本構想に向けての取り組み（スタートから左足離地まで）

体幹の捻りを意識したパワーポジションからのリリース

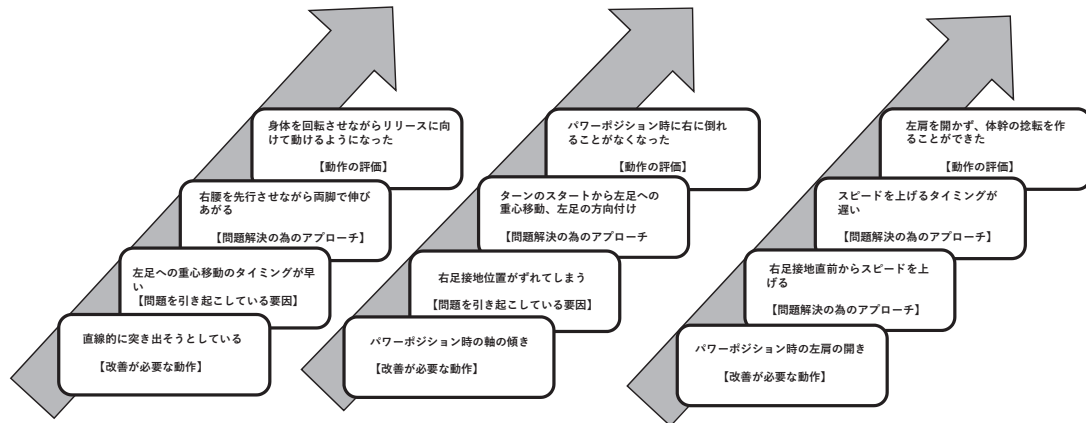


図 11 基本構想に向けての取り組み (パワーポジションからリリース)

接地時のスタンス幅が、サークルの大きさへの対応、調整に関係している可能性を報告している。本研究では、W選手の円盤投動作と砲丸投での回転投法での左足接地時のスタンスの比較は行えていないが、佐々木(2017)の報告における対象者と同じように、円盤投にも取り組んでいた経験を活かし、左足接地時のスタンスを調整し、ファウルをせずに投擲を行っていた可能性がある。

また、グライド投法でW選手の投擲で課題となっていた右足接地、左足接地のタイミングが改善されたことが大きい。W選手はグライド投法で投げていた際には、右足をサークル中心までうまく引き込むことが出来ずに苦労していた。スタートから蹴りだした支持脚を引き込んで、投げ出さなければいけないグライド投法に対し、回転投法では回転動作中に支持脚が変わることもあり、右足接地、左足接地のタイミングが取りやすく、W選手も「グライド投法よりも思い切って投げることができるようになった」と話しており、同じような課題を持つ選手には回転投法へ変更することで課題の改善につながる可能性があると考えられる。

しかしながら、グライド投法で世代の全国上位にいないがW選手が回転投法へ変更するにはリスクがあったことも事実であり、早期に適応できた要因の一つに回転投法への理解が大きかったことが挙げられる。W選手は研究熱心であり、国内外のトップ選手の動きを動画でよく観察している。優れた技術を何度も観察していたことが、自分自身が新たにに取り組む回転投法の習得へのイメージを容易にしていたと考えられる。

国内外の現状からも、今後、回転投法を用いる選手が増加することは容易に想像できる。しかし、すでにグライド投法において、実績を上げているような選手が投法

変更を考えた際に、記録が低下するリスクもあり、簡単に投法変更を決意できないことが考えられる。しかしながら、本事例の対象者であったW選手のように、グライド投法に取り組みながらも並行して円盤投に取り組んだような選手には、回転投法に必要なリズムやバランス感覚が身についており投法変更が早期に適応する可能性があると考えられる。

本研究では、1名を対象とした研究であり、投法変更を行うすべての競技者に本事例が当てはまるとは考えづらい。今後、多くの投法変更事例を蓄積することで、早期に投法変更へ適応する為の要因を明らかにしていくことが出来ると考えられる。

また、加藤(2020)は国内での回転投法を対象とした研究は少ない状況にあり、日本において回転投法を採用している競技者が多くない状況において、従来の研究方法で科学的な知見を蓄積していくことは困難であるとし、回転投法に関する個人や少数を対象とした研究や実践事例を積み重ねていくことが、回転投法において詳細で適切な技術を明らかにしていくこと、さらに有益なトレーニングを検討していくための足掛かりになるとしている。

今後、さらに回転投法を対象としたコーチング事例が蓄積されていくことで、国内での回転投法におけるコーチングの確立に繋がっていくと考えられる。

文献

- George D. Dunn, Jr., and Kevin McGill (2007) shotput . The Throws Manual Third Edition. Tafnews Press pp.36.
- Hay, J. G. (1993) Biomechanics of Sports Techniques, 4th ed. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, NJ., pp.469-480.

加藤忠彦・近藤亮介・金高宏文・瓜田吉久・前田 明
(2017) 砲丸投・回転投法における観察視点の提案—
男子競技者における投てき距離 11.80m から 14.87m
への競技発達事例を手がかりに一. スポーツパフォー
マンス研究. 9: 111-134.

加藤忠彦・金高宏文・瓜田吉久・前田 明 (2018) 砲丸
投・回転投法における以降局面の運動量が投てき距離
に及ぼす影響. 陸上競技研究. 112: 31-38.

加藤忠彦 (2020) 砲丸投・回転投法における力学的な特
徴と関連する投擲動作. 陸上競技研究. 123: 2-12.

野口安忠 (2015) 砲丸投. 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3刷. 大修館書店, pp.72-78.

大山卞圭吾 (2010) 日本人砲丸投競技者にとっての回転
投法の可能性—世界レベルの挑戦の為に—. 陸上競技

学会誌, 8: 56-63.

大谷 亮・藤井宏明・小林志郎・大橋千里・小山裕三・
大山卞圭吾 (2014) 砲丸投のグライド投法と回転投法
における投げ局面の右下肢動作の相違. 陸上競技研究,
99: 36-47.

大垣 崇 (2017) 砲丸投における回転投法の指導書. 株
式会社月刊陸上競技者. pp.21.

Kent Pagel and Romana Pagel (2003) shotput. Complete
Books of Throws. In L Jay Silvester (Ed.) Human
Kinetics, pp.39-53.

佐々木大志・櫻田淳也・若山章信 (2017) 回転投法 (砲
丸投・円盤投) の投擲技術に関する動作比較. 東京女
子体育大学・東京女子体育短期大学紀要. 第 52 号:
103-109.

短期間反復型高地トレーニングに対する酸化ストレス指標を用いたコンディション評価に関する事例研究 —日本人一流長距離走選手2名を対象として—

谷口耕輔¹⁾, 橋本 峻²⁾, 杉田正明²⁾

A case study on evaluating the condition of using examinations of oxidative stress
on the short-term repetitive high-altitude training camp:
Two elite Japanese long distance runners

Kosuke TANIGUCHI¹⁾, Shun HASHIMOTO²⁾, Masaaki SUGITA²⁾

Abstract

This study periodically measured oxidative stress during short-term repetitive high-altitude training for the competition. Additionally, subjective and objective condition indicators during training camps. The aim of this study was to investigate the condition during the short-term repetitive high-altitude training camp and to examine the characteristics of oxidative stress during the period leading up to the competition. Two elite Japanese male long-distance runners participated in this study. The high-altitude training camp was conducted twice during the period from May to June, with the first session held from May 23rd to May 31st and the second session from June 10th to June 20th. We measured SpO₂, PR, sleep duration, sleep situation, subjective fatigue, running distance, and urine specific gravity at every mooring. We measured reactive oxygen metabolites (d-ROMs), biological antioxidant potential (BAP) at an interval of 2-3 days. d-ROMs and BAP were also measured on the day before the competition, following the descent from training camp. During the early stages of the training camp, there was a significant increase in BAP compared to d-ROMs. Additionally, there was a deterioration in the redox balance of athletes who difficulty falling asleep and shorter sleep durations. It was suggested that measures for falling asleep at night for conditioning, as it contributes to maintaining a favorable redox balance. Furthermore, it was indicated that athletes who became the champion in the competition after the training camp showed characteristics such as low d-ROMs and high BAP/d-ROMs during the period from descent to the competition.

キーワード：短期間反復型高地トレーニング, 日本人一流長距離走選手, 酸化ストレス, 抗酸化力, コンディション評価

1. 緒言

高地トレーニングは、一般的に高地環境に滞在し、トレーニングを高地もしくは準高地環境で行う方法である。現在、多くの長距離走・マラソン選手らが競技力向

上を目的として日々のトレーニングに取り入れている。高地トレーニングによる酸素運搬能力の向上に関する赤血球数やヘモグロビン濃度の増加などは主に3週間以上の長期滞在（トレーニング）により得られるが、筋肉における毛細血管網の発達、ミトコンドリアにおける酸化系酵素活性やミオグロビンの増加、筋緩衝能の向上、解糖系酵素活性の増大などの生理、生化学的な応答や改善については、数日から2週間以内の滞在（トレーニング）によっても得られる（青木・佐藤, 2001; Puype et al., 2013; 杉田ほか, 2019）。このように数日間での効果も期待されることから、試合期における限られた日数での高地トレーニングの利活用も広まってきており、現在、国内高地トレーニング拠点では、従来の長期間滞在型の高地トレーニングだけでなく、10日から2週間前後の高地滞在と平地滞在を繰り返して行う短期間反復型の高地トレーニングも競技現場において積極的に行われてきている。一方で、高地トレーニングは利点ばかりではなく、いくつかの点に留意して実施しなければ高地トレーニングの効果が十分に得られず、さらにはマイナスの効果として、競技パフォーマンスやコンディショニングにおいて悪影響を及ぼすことが指摘されている（杉田ほか, 2019）。このようなマイナス面を最小化とするために、高地トレーニング前の事前準備や対策、期間中のトレーニング内容の工夫、コンディションチェックの実施、実施後のリカバリー対策やテーパリングに関して、総合的にマネジメントすることが重要である（杉田, 2011; 杉田ほか, 2019）。

高地トレーニング時のコンディションチェックのための適切な評価法としては、①トレーニング内容、状況（パ

1) 日本体育大学ハイパフォーマンスセンター Nippon Sport Science University, High Performance Center
〒227-0033 神奈川県横浜市青葉区鴨志田町 1221-1

2) 日本体育大学体育学部 Faculty of Sport Science, Nippon Sport Science University
〒158-8508 東京都世田谷区深沢 7-1-1

パフォーマンス), ②起床時の動脈血酸素飽和度 (SpO_2 : arterial oxygen saturation), ③起床時の脈拍数, ④起床時の SpO_2 /脈拍比, ⑤起床時の体温, ⑥体重, ⑦自覚的体調 (トレーニングへの意欲や体調, 食欲, 睡眠や疲労の自覚症状など), ⑧尿検査, ⑨血液検査 (酸化ストレス含む), ⑩自律神経機能検査, ⑪トレーニング時の心拍数, 血中乳酸濃度および SpO_2 があげられており, 疲労や体調の可視化に主眼が置かれている (杉田, 2011; 谷口ほか, 2022).

高地環境でコンディションを悪化させる一つの要因として, 酸化ストレスがあげられる (土橋・小山, 2016). 高地トレーニングにより競技力が改善しない例や急性高山病など体調不良に陥る失敗例に関しては, 低酸素誘導性, 運動誘発性酸化ストレスを至適範囲に制御できなかった結果であることが指摘されている (土橋・小山, 2016). また, これまでに定期的な酸化ストレス指標の評価が疲労や体調の可視化に有用であることが報告されており (琉子ほか, 2014; 谷口・杉田, 2017; 谷口・杉田, 2020), 酸化ストレス指標の評価がその後の運動パフォーマンスを推測できる可能性も示唆されている (中澤ほか, 2023b; 谷口・杉田, 2017).

これらのことから, 実際に短期間反復型高地トレーニングを活用している長距離走選手を対象として, 期間中や期間後の競技会までの酸化ストレス指標の変動を大会結果とも照らし合わせながら検討を行うことは, 高地トレーニング期間中のみならず, 期間後の競技会に向けたコンディション評価のための知見として有益な情報となり得ると思われる.

そこで本研究では, 日本人一流長距離走選手 2 名を対象に, 酸化ストレス指標を競技会に向けた短期間反復型高地トレーニング期間中および期間後において定期的に測定し, 期間中の主観的・客観的コンディション指標とともに事例的に検討することで, 高地トレーニング時における酸化ストレス指標の変動の特徴やコンディション評価に関わる知見を得ることを目的とした.

2. 方法

2.1. 対象者

日本人一流男子長距離走選手 2 名 (A 選手 年齢:23 歳, 身長:175cm, 体重:59.7kg, B 選手 年齢:32 歳, 身長:178cm, 体重:58.4kg) を対象とした. 本研究開始時点での 5,000m 走の自己ベスト記録は, A 選手が 13 分 34 秒 64, B 選手が 13 分 37 秒 00 であった. 本研究の対象者の内 1 名は, 日本陸上競技連盟強化指定選手であり, 日本陸上競技連盟強化委員会より選抜された長距離走選手であった. 対象者には事前に本研究の内容及び危険性を口頭及び書面で十分に説明し, 書面にてインフォームド Consent と本研究参加の承諾を得た.

2.2. 高地トレーニングの内容

高地トレーニング合宿 (以下, 合宿とする) は, 試合期である 5 月~6 月の期間において, 第 1 回目 (5 月 23 日~5 月 31 日) と第 2 回目 (6 月 10 日~6 月 20 日) の 2 回に分けて実施された. 滞在場所は, 飛騨御嶽高原高地トレーニングエリア内 (岐阜県高山市・下呂市) に位置する御嶽濁河高地トレーニングセンター (標高:1,708m, 岐阜県下呂市) であり, 第 1 回目と第 2 回目の間には, 10 日間の平地滞在期間 (標高:7.5m) を設けて実施された. トレーニングの頻度は, 早朝 (6:00~), 午前 (10:30~), 午後 (16:00~) の 1 日 3 回であった. 強度の高いトレーニング (ポイント練習) は, 日和田ハイランド陸上競技場 (標高:1,300m) または御嶽パノラマグラウンド (標高:1,700m) で実施され, 2~3 日に 1 回の間隔で行われた. 表 1 に主なトレーニング内容を示した. なお, 各自ジョギングは, 主に御嶽パノラマグラウンドおよび御嶽パノラマグラウンド周辺の道路で行われた. 合宿中の食事は, 両選手共通の食事内容を定食形式で摂ったが, 補食やサプリメントの摂取については, 特に制限を設けず選手の自主性に任せた. なお, 対象選手は合宿終了の 4 日後に開催された日本陸上競技選手権大会 5,000m 走 (以下, 競技会とする) に出場した.

2.3. 測定期間および手順

第 1 回目と第 2 回目の合宿の期間において, 平地に降りた 10 日間を除き, 毎日測定を行った (図 1). 起床時の SpO_2 , 脈拍数は, パルスオキシメーター (PULSOX-Lite, コニカミノルタ社製) を用いて測定し, SpO_2 /脈拍比を算出した (野口, 1993; 谷口ほか, 2022). 手順としては, 起床後に仰臥位の状態にて機器を指先に装着し, 約 1 分間の安静後に示された数値を SpO_2 , 脈拍数の代表値とした. その後, 排尿後に体重を測定した. また, 起床時第一尿を採取し, 尿検査を実施した. さらに質問紙法により, 主観的コンディション指標を記入させた. その他に質問紙には, 睡眠時間, 前日の総走行距離について記入させた. 酸化ストレスの測定は, 早朝練習および朝食時から 2 時間以上経過した午前中 (10:00~10:30) に, 採血用穿刺器具 (セーフティプロプラス, ロッシュ・ダイアグノスティックス社製) を用いて, 指尖より約 100 μl の血液を採取し行った. 測定のタイミングは, 酸化ストレス指標が持久的運動後 30 分で運動前と同水準となること (谷口・杉田, 2015), 事前に食後 1 時間程度で食事前と同水準となることを予備試験にて確認を行い設定した. なお, 測定は 2~5 日に 1 回の間隔で行った. 酸化ストレスの測定に関しては, 第 2 回目合宿終了の 3 日後 (競技会前日) にも実施した.

表1 高地トレーニング合宿中の主なメニュー

高地トレーニング合宿【第1回目の練習メニュー】

	早朝	午前	午後	備考
1日目			各自ジョギング	移動日（午前）
2日目	各自ジョギング	各自ジョギング+補強運動	(200m×5本)×6セット + 6,000mペース走	午後練習は標高1,300mのグラウンドにて実施
3日目	各自ジョギング	各自ジョギング+補強運動	16,000mビルドアップ走 + 300m×3本	午後練習は標高1,700mのグラウンドにて実施
4日目	16,000m走	各自ジョギング+補強運動	各自ジョギング	
5日目	各自ジョギング	各自ジョギング+補強運動	1,000m×6本 + 400m走	午後練習は標高1,300mのグラウンドにて実施
6日目	16,000m走	各自ジョギング+補強運動	各自ジョギング	
7日目	各自ジョギング	各自ジョギング+補強運動	(400m×5本)×2セット + 1,000m走	午後練習は標高1,300mのグラウンドにて実施
8日目	16,000m走	各自ジョギング+補強運動	各自ジョギング	
9日目	各自ジョギング			移動日（午前）

高地トレーニング合宿【第2回目の練習メニュー】

	早朝	午前	午後	備考
1日目			各自ジョギング	移動日（午前）
2日目	各自ジョギング	各自ジョギング+補強運動	400m + 300m + 200m + 6,000mペース走	午後練習は標高1,300mのグラウンドにて実施
3日目	各自ジョギング	各自ジョギング+補強運動	16,000mペース走	午後練習は標高1,300mのグラウンドにて実施
4日目	各自ジョギング	各自ジョギング+補強運動	各自ジョギング	
5日目	各自ジョギング	14,000m変化ビルドアップ走	各自ジョギング	午前練習は標高1,300mのグラウンドにて実施
6日目	各自ジョギング	各自ジョギング+補強運動	各自ジョギング	
7日目	各自ジョギング	各自ジョギング+補強運動	各自ジョギング	
8日目	各自ジョギング	各自ジョギング+補強運動	1,000m×5本 + 400m走	午後練習は標高1,300mのグラウンドにて実施
9日目	各自ジョギング	各自ジョギング+補強運動	各自ジョギング	
10日目	各自ジョギング	各自ジョギング+補強運動	A選手：(400m×5本)×2セット + 4,000mペース走 + 300m走 B選手：(400m×5本)×2セット + 1,000m走	午後練習は標高1,300mのグラウンドにて実施
11日目	各自ジョギング			移動日（午前）

2.4. 測定項目及び方法

(1) 主観的コンディション指標

質問紙法により、寝つき（悪い「1」～良い「5」）、睡眠の深さ（浅い「1」～深い「5」）、寝起き（悪い「1」～良い「5」）、疲労感（強い「1」～無い「5」）を5段階（いずれも「5」が最良）で記入させた。これらの項目は、日本陸上競技連盟が強化合宿時等に使用していた内容を基に選定した（松生ほか，2016）。

(2) 尿検査

起床時第一尿を用いて、尿比重の測定を行った。尿比重の測定には、ポケット尿比重屈折計（PAL-09S, ATAGO 社製）を用いた。測定は採尿後、1時間以内の

間実施した。

(3) 酸化ストレス

血液中の酸化ストレス度（d-ROMs）と抗酸化力（BAP）は、フリーラジカル解析装置（FREE carpe diem, Diacron International 社製、輸入元ウイスマー社）を用いて測定した。この装置を用いた測定法の妥当性及び再現性については、これまでに他の論文において報告されている（Iamele et al., 2002；Nakayama et al., 2007）。d-ROMs は、生体内の活性酸素種を直接計測するのではなく、それらにより生じた血中のヒドロペルオキシド濃度を呈色反応で計測し、生体内の酸化生成物の量から酸化ストレス度の状態を総合的に評価するものである（関，2009）。

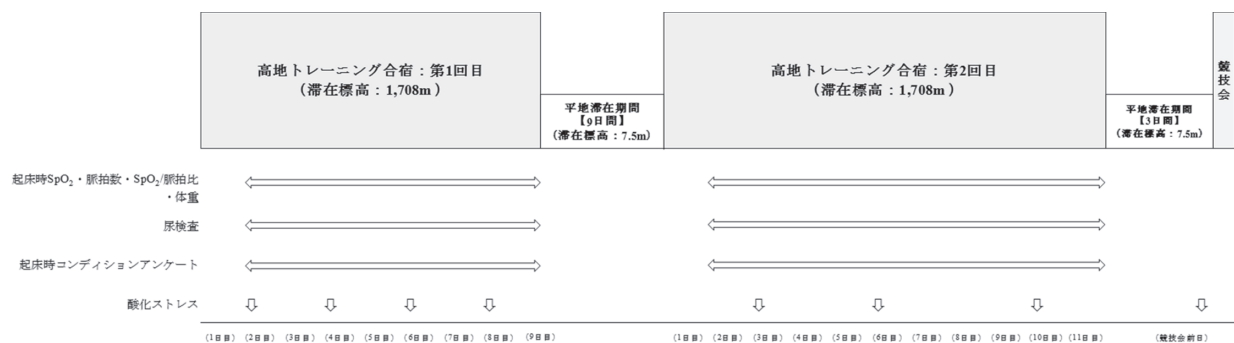


図1 測定期間及び測定項目

BAPは、血漿の溶液が三価鉄から二価鉄に戻す能力（還元反応）を示したものであり、吸光度の変化から酸化された鉄イオン濃度を計算し、抗酸化レベルを評価することが可能である（Iorio, 2010）。これらの値から、d-ROMsとBAPの比である潜在的抗酸化能（BAP/d-ROMs）を算出した。BAP/d-ROMsは、酸化還元の状態を評価でき、酸化ストレス防御系を包括的に把握することが可能であるとされている（永田ほか, 2008）。

酸化ストレスの基準値として、d-ROMs（単位 U.CARR）は、正常値：200-300、ボーダーライン：301-320、軽度の酸化ストレス：321-340、中程度の酸化ストレス：341-400、強度の酸化ストレス：401-500、かなり強度の酸化ストレス：501以上（関, 2009）であり、かなりの強度の酸化ストレスのように大きく高値を示す状態においては、癌など重篤な疾患を患っている場合が考えられる値である（永田ほか, 2008）。BAP（単位 $\mu\text{mol/L}$ ）は、最適値：2200以上、ボーダーライン：2000-2200、抗酸化力がやや不足：1800-2000、抗酸化力が不足：1600-1800、抗酸化力がかなり不足：1400-1600、抗酸化力が大幅に不足：1400以下（Iorio, 2010）であり、不足を表す場合などは、食事内容など外因的要素をよく反映していることが指摘されている（永田ほか, 2008）。BAP/d-ROMsは、日本人の健常者の平均値である7.541がアスリートにおいても目指すべき値であると報告されている（永田ほか, 2014）。

2.5. データ分析

測定値は平均値±標準偏差で示した。A・B選手それぞれ、第1回目と第2回目の各測定値における平均値の比較には、Wilcoxonの符号付順位と検定を行った。統計処理には、統計処理ソフト（SPSS 27.0 for windows, IBM 社製）を用いた。いずれの場合も危険率5%未満を有意とした。

3. 結果

3.1. 合宿中および競技会前日の酸化ストレス

酸化ストレス指標（d-ROMs, BAP, BAP/d-ROMs）について、第1回目と第2回目および下山後の競技会前日における経時的な推移を図2に示した。

A選手のd-ROMsは、第1回目の8日目にかけて300U.CARR程度まで上昇する推移を示した。第2回目は300U.CARR程度で推移し、その後競技会前日に大きく低下する推移を示した。BAPは、第1回目の2日目から4日目にかけて最適値以上である2300 $\mu\text{mol/L}$ 程度まで上昇し、その後6日目に大きく低下する推移を示した。第2回目は3日目に最適値以上の数値が示され、その後競技会前日までは2100 $\mu\text{mol/L}$ 程度で推移した。BAP/d-ROMsは、第1回目の4日目から6日目で大きく低下し、第2回目の10日目にかけてやや低下する傾向

にあったが、その後競技会前日には大きく上昇する推移を示した。

B選手のd-ROMsは、第1回目の4日目から6日目にかけて大きく上昇していることが確認された。第2回目の3日目に合宿中の最低値を示し、6日目にかけて大きく上昇した後、競技会前日まで同程度の数値を示した。BAPは、第1回目の2日目から4日目にかけて最適値以上である2300 $\mu\text{mol/L}$ 程度まで上昇し、その後8日目に大きく低下する推移を示した。第2回目は3日目に最適値以上の数値が示され、その後競技会前日までは2100 $\mu\text{mol/L}$ 程度で推移した。BAP/d-ROMsは、第1回目の4日目に大きく上昇した後、8日目にかけて低下する推移を示した。第2回目の3日目に合宿中における最大値が示されたが、その後は低下傾向にあり、競技会前日には合宿中の最低値と同程度の数値を示した。

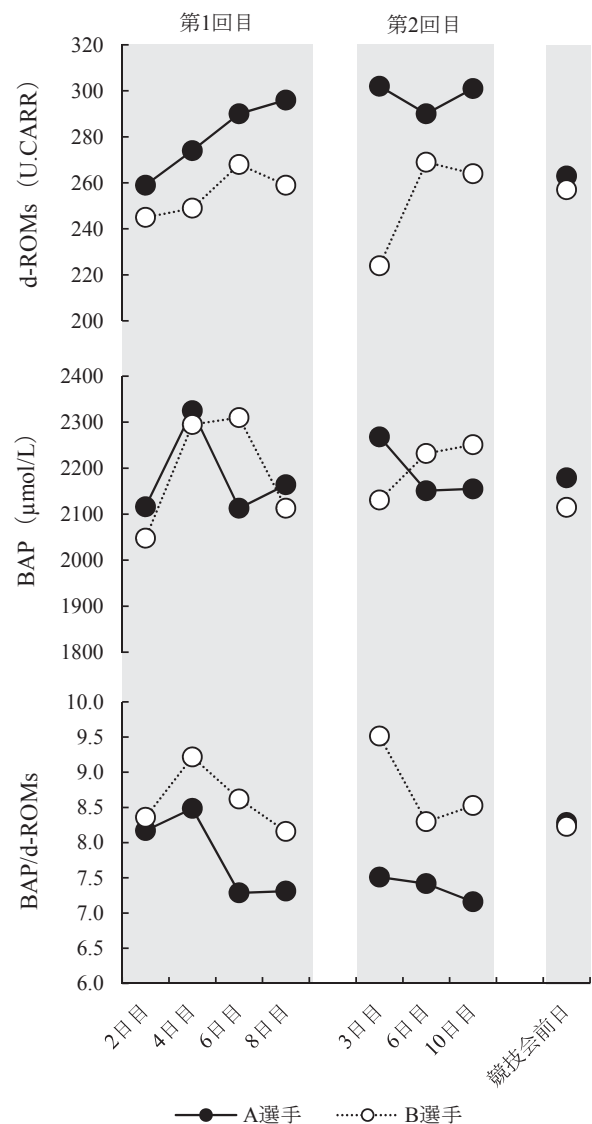


図2 高地トレーニング合宿中の酸化ストレス指標の変化

3.2. 合宿中の測定値の経時的変化

(1) 起床時 SpO₂, 脈拍数および SpO₂/ 脈拍比

第1回目と第2回目の合宿中における経時的な値を表2に記した。第1回目と第2回目のSpO₂の平均値は、A選手がそれぞれ95.6 ± 0.73%, 95.4 ± 0.73%, B選手がそれぞれ95.3 ± 0.83%, 95.0 ± 0.89%であり、第1回目と第2回目の平均値には、両選手とも有意な差は認められなかった。脈拍数について、A選手の第2回目では合宿後半にかけて低値を示す日もあったが、両選手とも合宿間での有意な差は認められなかった。SpO₂/ 脈拍比も同様にA選手において、第2回目では合宿後半に高値を示す日もあったが、両選手とも合宿間での有意な差は認められなかった。

(2) 主観的コンディション指標, 体重, 睡眠時間および総走行距離

主観的コンディション指標, 体重, 睡眠時間および総走行距離の経時的な値を表2に記した。寝つき, 睡眠の深さおよび寝起きは両選手とも合宿間での有意な差は認められなかった。疲労感について、A選手は合宿間での有意な差は認められなかったが、B選手は第1回目よりも第2回目が有意に低い値を示した (p<0.05)。

体重も同様にA選手は合宿間での有意な差は認められなかったが、B選手は第1回目よりも第2回目が有意に低い値を示した (p<0.05)。

睡眠時間は、両選手とも合宿間で有意な差は認められなかったが、B選手は合宿を通じて6時間を下回る日が多く見受けられた。総走行距離は、両選手とも合宿間での有意な差は認められなかった。

(3) 尿検査

尿比重の経時的な値を表2に記した。第1回目と第2

回目の平均値は、A選手がそれぞれ1.030 ± 0.002, 1.030 ± 0.002, B選手がそれぞれ1.019 ± 0.004, 1.016 ± 0.005であった。両選手とも合宿間で有意な差は認められなかったが、A選手の方が合宿を通じてB選手よりも尿比重が高い傾向にあった。

3.3. 競技会成績との関係

競技会成績との関係を検討するために、第2回目の合宿終了後に出場した競技会の順位および記録と酸化ストレス指標の平均値や競技会前日における測定値について一覧表で示した (表3)。A選手の競技会前日のd-ROMsは、平均値よりも7.5%低値を示した。BAPは平均値と同程度であったが、BAP/d-ROMs平均値よりも7.6%高値を示した。一方、B選手の競技会前日のd-ROMsは、平均値と同程度であり、BAPやBAP/d-ROMsは平均値よりも4~5%程度低値を示した。

4. 考察

本研究では、高地トレーニング時における酸化ストレス指標の変動の特徴やコンディション評価に関わる知見を得るため、日本人一流長距離走選手2名を対象に、酸化ストレス指標を競技会に向けた短期間反復型高地トレーニング期間中および期間後において定期的に測定し、期間中の主観的・客観的コンディション指標とともに事例的に検討した。その結果、短期間反復型高地トレーニング時の酸化ストレス指標としては、合宿初期などトレーニング負荷が高くなる期間ではd-ROMsの上昇に伴い、抗酸化防御機構の働きも同時に高まること、睡眠の質の向上や酸化還元バランスを良好に保つためにも夜間入眠に向けた対策が、コンディショニングのための一要素として重要であることが示唆された。また、合宿後から競技会までの期間にかけて、d-ROMsが低く、BAP/

表2 高地トレーニング合宿中の起床時 SpO₂, 脈拍数, SpO₂/ 脈拍比, 主観的コンディション指標および尿検査結果の一覧

	SpO ₂ (%)		脈拍数 (拍/分)		SpO ₂ /脈拍比		体重 (kg)		尿比重		寝つき		睡眠の深さ		寝起き		疲労感		睡眠時間 (時間)		前日の 総走行距離 (km)		
	A選手	B選手	A選手	B選手	A選手	B選手	A選手	B選手	A選手	B選手	A選手	B選手	A選手	B選手	A選手	B選手	A選手	B選手	A選手	B選手	A選手	B選手	
第1 回目	2日目	95	95	52	41	1.83	2.32	59.3	57.5	1.031	1.016	3	4	2	4	4	4	2	3	7.5	7.0	12	22
	3日目	95	95	56	44	1.70	2.16	59.0	58.1	1.027	1.020	4	2	4	3	4	2	4	3	8.0	6.0	25	37
	4日目	95	96	56	40	1.70	2.40	—	57.8	1.031	1.016	2	1	3	3	3	4	3	7.5	5.0	28	38	
	5日目	96	96	—	46	—	2.09	58.3	57.8	1.030	1.026	3	1	3	3	2	3	4	4	7.0	5.5	24	27
	6日目	96	94	52	43	1.85	2.19	—	57.5	1.032	1.021	4	2	4	3	4	4	4	3	7.5	5.5	24	28
	7日目	95	94	52	43	1.83	2.19	57.9	57.8	1.031	1.016	4	1	4	2	2	3	4	3	7.5	5.0	17	30
	8日目	97	96	50	38	1.94	2.53	57.8	58.0	1.028	1.022	4	4	3	4	2	4	—	4	7.5	6.3	22	24
	9日目	—	96	—	45	—	2.13	—	57.8	1.031	1.012	—	4	—	2	—	4	—	3	—	6.5	—	22
	平均値	95.6	95.3	53.0	42.5	1.81	2.25	58.5	57.8	1.030	1.019	3.4	2.4	3.3	3.0	3.0	3.5	3.5	3.3	7.5	5.8	21.7	28.5
標準偏差	0.73	0.83	2.24	2.50	0.09	0.14	0.60	0.20	0.002	0.004	0.73	1.32	0.70	0.71	0.93	0.71	0.76	0.43	0.27	0.67	5.03	5.83	
第2 回目	2日目	96	95	57	43	1.68	2.21	59.1	58.0	1.030	1.012	2	4	2	2	2	2	2	3	8.0	7.0	15	22
	3日目	94	96	60	43	1.57	2.23	58.2	57.4	1.032	1.018	4	4	2	4	2	4	2	2	7.5	6.0	24	33
	4日目	—	95	—	43	—	2.21	—	57.2	1.032	1.009	—	3	—	2	—	3	—	2	—	6.5	—	31
	5日目	—	93	—	43	—	2.16	—	57.2	1.031	1.007	—	1	—	3	—	2	—	3	—	5.0	—	28
	6日目	96	95	46	44	2.09	2.16	58.9	57.2	1.028	1.013	4	2	4	3	4	2	3	3	7.5	5.0	20	24
	7日目	—	94	—	44	—	2.14	—	57.2	1.027	1.021	—	4	—	3	—	2	—	3	—	6.5	—	28
	8日目	96	96	51	44	1.88	2.18	59.0	57.1	1.033	1.020	2	4	2	4	2	4	4	3	7.0	6.5	26	24
	9日目	95	95	42	45	2.26	2.11	—	57.2	1.029	1.022	2	1	2	2	2	2	3	3	—	6.0	23	26
	10日目	96	95	53	45	1.81	2.11	58.4	57.1	1.032	1.017	3	3	2	3	3	4	4	3	7.5	8.0	13	24
	11日目	95	96	50	46	1.90	2.09	—	57.2	1.030	1.023	3	3	4	4	4	4	2	3	7.5	6.0	26	31
	平均値	95.4	95.0	51.3	44.0	1.88	2.16	58.7	57.3*	1.030	1.016	2.9	2.9	2.6	3.0	2.7	2.9	2.9	2.8*	7.5	6.3	21.0	27.1
	標準偏差	0.73	0.89	5.70	1.00	0.22	0.05	0.35	0.25	0.002	0.005	0.83	1.14	0.90	0.77	0.88	0.94	0.83	0.40	0.29	0.84	4.84	3.51

「—」は欠損値を示す。
第1回目に對する有意差あり (* : p<0.05)

表3 競技会成績（5,000m 走）と酸化ストレス指標の測定結果一覧

		A選手	B選手
順位		1位	6位
記録		14'21"52	14'25"58
平均値	d-ROMs (U.CARR)	284	254
	BAP (μmol/L)	2184	2187
	BAP/d-ROMs	7.70	8.62
競技会前日の測定値	d-ROMs (U.CARR)	263 ↓	257 ↑
	BAP (μmol/L)	2179 ↓	2115 ↓
	BAP/d-ROMs	8.29 ↑	8.23 ↓
変化率 (%)	d-ROMs (%)	92.5	101.0
	BAP (%)	99.8	96.7
	BAP/d-ROMs (%)	107.6	95.5

変化率は平均値と競技会前日の測定値との変化を示す。

↑ : 平均値よりも上昇していることを示す。

↓ : 平均値よりも低下していることを示す。

d-ROMsが高くなることが、競技会で良いパフォーマンスを発揮した選手の特徴であったことが示された。

4.1. 合宿中の酸化ストレスの経時的変化

第1回目の合宿における酸化ストレス指標（d-ROMs, BAP, BAP/d-ROMs）の推移をみると、d-ROMsについて、A選手は8日目にかけて、B選手は4日目から6日目にかけて大きく上昇することが確認された。BAPは両選手ともに2日目から4日目にかけて最適値以上である2300μmol/L程度まで上昇し、その後A選手は6日目に、B選手は8日目に大きく低下する推移を示した。BAP/d-ROMsは、このようなd-ROMsやBAPの変化に伴い、4日目が高値となり、その後徐々に低下する推移であった。高地、すなわち低圧・低酸素環境下での運動時には、酸化ストレスが高まることが報告されている（長澤ほか、2010）。したがって、合宿前半である2日目から4日目にかけてd-ROMsの上昇が顕著となることが予想されたが、d-ROMsよりもBAPが大きく上昇する変動が示された。このことは、合宿前半に活性酸素種の生成は高まっているが、身体の抗酸化防御機構の働きが亢進し、

酸化が還元されていたと推測される。このようなd-ROMsとBAPの変動は、本研究と同程度の標高で実施された高地トレーニング合宿前半の推移（谷口ほか、2022）と同様であり、高地トレーニング時における合宿初期の酸化還元バランスの特徴を表していると考えられる。その後、BAPについて、A選手は6日目、B選手は8日目に2日目と同程度まで低下する推移を示したが、このような推移は、BAPがd-ROMsを抑制するスカベンジャーとして働いていること（Nagasawa et al., 2010）、さらには、BAPが運動やトレーニング後の時間経過とともに低下すること（丸岡ほか、2005）が関係していると推察される。このように合宿経過に伴い、酸化還元バランスには変化が生じる可能性があることから、合宿中のd-ROMs・BAPの変動を捉え、抗酸化力を高めるための取り組みや方策の検討は重要であると考えられる。

第2回目の合宿における酸化ストレス指標については、A・B選手で異なる様相であった。A選手のd-ROMsは、3日目から10日目にかけて第1回目の8日目と同程度であるボーダーライン付近となる300U.CARR程度の数値が示され、合宿中においては高い数値

が継続していた。BAPについては、3日目に最適値の2200 μ mol/L以上である数値が示され、第1回目の合宿初期と同様に身体の抗酸化防御機構の働きが亢進していることがうかがえた。一方、B選手のd-ROMsは3日目に合宿中最低値を示し、6日目に上昇する推移であった。このようなd-ROMs・BAPの変動に伴い、A選手のBAP/d-ROMsは、目標値の7.541を下回る数値ではあったが大きな変動は示されなかったのに対し、B選手のBAP/d-ROMsは6日目に大きく低下するなどの変動がみられ、酸化還元バランスに変化が生じていたものと推察された。

同様のポイント練習を行っていたA・B選手であったが、酸化ストレス指標の変化には違いがみられた。本研究では、トレーニング時の心拍数や血中乳酸濃度、主観的運動強度などの測定は行っていないため、推測の域は出ないが、A選手の方がB選手よりも5,000m走の自己ベスト記録が良いこともあり、同様の練習メニューを同タイムで実施しても相対的な負荷には違いが生じ、酸化還元バランスにも両選手で異なる変化が示された可能性があると考えられる。しかしながら、上述したように本研究では、各自ジョギングやポイント練習時の強度を選手ごとに評価できておらず、個別にトレーニング負荷と酸化ストレスとの関連を捉えるまでには至らなかった。

4.2. 合宿中の測定値の経時的変化

第1回目の起床時のSpO₂、脈拍数、SpO₂/脈拍比をみると、日によってトレーニング状況が異なることやA選手はデータが欠損している日も散見され解釈が難しい部分もあるが、合宿前半から後半にかけて、SpO₂は95%から97%前後の数値が示され、脈拍数は徐々に低下する推移であった。標高1,700m程度での高地トレーニングでは、高地滞在から1週間程度で高地環境に適応することが示唆されており（長浜ほか, 2006; 杉田ほか, 2013）、その際の高地順化を表す指標として、SpO₂/脈拍比が有用であることが報告されている（谷口ほか, 2022）。本研究のA・B選手のSpO₂/脈拍比も7～8日目にかけて上昇していることがうかがえ、第1回目の合宿においては、両選手ともに高地環境に適応しながらトレーニングが遂行できていたものと考えられる。

第2回目の起床時のSpO₂、脈拍数、SpO₂/脈拍比に関しては、第1回目との間で平均値には差はみられず、酸化ストレス指標との間にもSpO₂やSpO₂/脈拍比の変動に伴って、d-ROMsやBAPも変動を示すなどの関連性は見受けられなかった。次に、第1回目と第2回目の主観的コンディション指標をみると、B選手において、疲労感の平均値が第1回目に比べて第2回目で強くなることが示された（第1回目「3.3」→第2回目「2.8」）。その他の項目においては、第1回目と第2回目で差は示されなかったが、B選手の寝つきが合宿期間中を通じて最

も悪い状態を示す「1」が散見され、睡眠時間に関しても6時間を下回る日が多く見受けられた。このことから寝つきが悪く、睡眠時間も短くなってしまっている状況がうかがえた。持久系競技者における睡眠時間に関しては、睡眠負債（睡眠不足）が蓄積するにつれて競技パフォーマンスが低下する可能性があることや、競技パフォーマンス向上を図るためには、8時間以上の睡眠時間を確保する必要があることが示唆されている（中澤ほか, 2023a; Roberts et al., 2019）。B選手は特に睡眠時間が短かったことから、高地トレーニング中のみならず、その後の競技会に向けたコンディショニングを図る上でも睡眠時間を十分に確保（8時間以上）する必要があると考えられる。

標高2,000m相当の常圧・低酸素環境下での睡眠は、本人の自覚がなくても、徐波睡眠の減少により、睡眠の質が低下することが報告されている（Hoshikawa et al., 2007）。また、標高1,500m相当の常圧・低酸素環境下において、睡眠時のSpO₂が90%未満となる時間には個人差が大きく、その時間が長かった対象者では徐波睡眠が減少する傾向にあったことが報告されている（Hoshikawa et al., 2010）。本研究では、睡眠時のSpO₂は測定できていないが、このようにB選手の睡眠状況（寝つきや睡眠時間）が悪化していたことは、高地（低酸素）環境による影響であった可能性も考えられる。高地環境に限った内容では無いが、良好な睡眠を得るためのポイントとしては、リラックスできる就寝前の習慣を持ち、涼しく、暗く、静かな睡眠に適した環境を整えることなどがあげられている（Walsh et al., 2020）。睡眠誘導ホルモンであるメラトニンは、夜間のブルーライト曝露により、生体リズムの位相が後退し、その分泌が抑制されることで、入眠困難や睡眠の質の低下につながる事が指摘されている（杉田・片野, 2021）。メラトニンには抗酸化作用があることが報告されている（Reiter et al., 1997）ことから、夜間入眠前にはメラトニンの分泌を阻害しないよう、ブルーライト曝露を控えるなどの対策も睡眠の質の向上や酸化還元バランスを良好に保つための重要なポイントであると推察される。

第1回目と第2回目の尿比重に関して、A選手の平均値は両合宿ともに1.030 ± 0.002であり、脱水傾向を示す状態であった（Casa et al., 2000）。一方、B選手は合宿期間中脱水状態を示す1.020を上回る日は少なく、適切な水分摂取ができていたと考えられる。

前日の総走行距離をみると、第1回目と第2回目の平均値には両選手とも差はみられなかった。選手間での総走行距離については、A選手は1日当たり21km程度であったが、B選手は1日当たり27～28km程度であり、B選手の方が総走行距離は長い傾向にあった。B選手の体重に関しては、第1回目に比べて第2回目に減少しており、このことは総走行距離の違いが影響した可

能性も考えられる。本研究の高地トレーニングの方法としては、高地に滞在して、平地（滞在標高よりも低地）でトレーニングを行う Living High-Training-Low であった（Wilber, 2008）。ポイント練習は計 8 回実施されたが、その内 7 回は滞在標高（標高 1,700m）よりも低い標高 1,300m のグラウンドで行われた。各ポイント練習の 400m や 1,000m の設定タイムは、平地で行う時と同程度のタイム設定であり、第 2 回目の 10 日目を除いて、両選手とも同様の練習メニューを同タイム設定にて実施した。各自ジョギングについては、選手本人に走行距離やペース設定は任されており、選手本人が自身の体調などを鑑みて実施していたことから、総走行距離に違いがみられたと考えられる。

4.3. 競技会成績との関係

競技会前日の酸化ストレス指標について、潜在的抗酸化能である BAP/d-ROMs をみると、A 選手の数値は大きく上昇し、平均値との変化率では 7.6% の変動が示された。一方、B 選手については、大きく低下する推移が示され、平均値との変化率では 4.5% 低下する変動であった。長距離走選手を対象に酸化ストレス指標を定期的にモニタリングした研究では、試合期における d-ROMs が低い、BAP/d-ROMs が高い選手ほど競技記録が良かったことが報告されている（琉子ほか, 2014；谷口・杉田, 2017；谷口・杉田, 2020）。本研究での競技会における成績は A 選手が 1 位、B 選手は 6 位という結果であり、A・B 選手の d-ROMs や BAP/d-ROMs の変動は、先行研究を追試する結果であったといえる。谷口・杉田（2017）や谷口・杉田（2020）によれば、このように酸化ストレス指標の変動による競技パフォーマンスの予測に関しては、実業団長距離走選手や高校トップレベルの長距離走選手にみられた傾向であることを報告している。本研究の対象者も日本人トップレベルの選手であったことから、同様の結果が得られたものと考えられる。

今回の競技会においては、前半かなりのスローペースであり、レース終盤の残り 400m を切ったラストスパートにおけるパフォーマンスが勝敗を大きく分けたレース展開であった。B 選手の競技会での成績も決して悪いものではなかったが、レース終盤でのラストスパートにおいては、A 選手の方が高いパフォーマンスを発揮することができたと考えられる。先行研究の酸化ストレスと競技記録との関係については、選手ごとの相対値や偏差値を算出し評価することによって得られた結果であり、酸化ストレス指標に関しては個人差を考慮し評価する必要があると考えられている（谷口・杉田, 2017；谷口・杉田, 2020）。このことから、絶対値としては B 選手の方が d-ROMs は低く、BAP/d-ROMs も高かったが、相対値として算出した平均値との変化率では、A 選手の方が良好な変動が示されており、個人差を考慮した場合、

競技会前日では A 選手の方が酸化還元バランスは良好な状態であったと考えられる。また、先行研究によれば、30 秒間の自転車全力駆動においては d-ROMs が低く、BAP/d-ROMs が高い選手の体重当たりの平均パワーが高いこと（杉田, 2014）や、酸化ストレスが短時間高強度運動の発揮パワー低下と関連することが示唆されている（神林ほか, 2015）。実際の競技会におけるタイム差は僅かであり、あくまでも一つの事例ではあるが、酸化還元バランスの状態がラストスパートのような高強度のパフォーマンス発揮にも良い影響を及ぼした可能性も考えられる。以上のことから、合宿後から競技会までの期間にかけて、d-ROMs が低く、BAP/d-ROMs が高くなることで、競技会で良いパフォーマンスを発揮した選手の特徴であったと考えられる。

中澤ほか（2023b）によれば、長距離走選手を対象に、試合期における Session RPE（sRPE）と酸化ストレスの関係を検討した結果、高強度の走行時間（RPE が 6 以上）が長い選手ほど d-ROMs が上昇し、BAP/d-ROMs が低下することを報告している。また、Knez et al. (2013) によれば、1 週間のトレーニング負荷によって、酸化ストレスマーカーに変化が生じることが報告されている。本研究では、合宿中の sRPE や合宿後の酸化ストレス以外の測定は行っていないため推測の域は出ないが、A 選手における競技会前日の d-ROMs の低下は、合宿後から競技会前日までの期間でのトレーニング強度や量などの負荷の調整が順調であったことを示唆する事例の一つであると考えられる。

本研究では、選手 2 名におけるトレーニング現場の測定データを事例的に検討したものであるため、結果の解釈には注意が必要であり、今後対象者を増やした検討が求められる。さらには、各自ジョギングやポイント練習時の強度を選手ごとに評価し、トレーニング量とともに複合的なトレーニング負荷として捉えることで、高地トレーニング時におけるより詳細なコンディション評価につながると考えられる。

5. 結論

本研究では、日本人一流長距離走選手 2 名を対象に、酸化ストレス指標を競技会に向けた短期間反復型高地トレーニング期間中および期間後において定期的に測定し、合宿中の主観的・客観的コンディション指標とともに事例的に検討することで、高地トレーニング時における酸化ストレス指標の変動の特徴やコンディション評価に関わる知見を得ることを目的とした。

高地トレーニング時には、合宿経過に伴って酸化還元バランスに変化が生じること、睡眠の質の向上や酸化還元バランスを良好に保つためにも夜間入眠に向けた対策が、コンディショニングのための一要素として重要であることが示唆された。また、合宿後から競技会までの期

間にかけて、d-ROMs が低く、BAP/d-ROMs が高くなる
ことが、合宿後の競技会で良いパフォーマンスを発揮し
た選手の特徴であることが示された。

文献

- 青木純一郎・佐藤佑 (2001) 高地トレーニングの生理学。
市村出版：東京, pp50-58.
- Casa DJ, Armstrong LE, Hillman SK, Montain SJ, Reiff RV,
Rich BSE, Roberts WO and Stone JA. (2000) National
Athletic Trainers' Association position statement: fluid
replacement for athletes. *J Athl Train*, 35 (2) : 212-224.
- 土橋祥平・小山勝弘 (2016) 低酸素環境での運動と酸化
ストレス. *体育の科学*, 66 (12) : 881-885.
- Hoshikawa M, Uchida S, Sugo T, Kumai Y, Hanai Y and
Kawahara T. (2007) Changes in sleep quality of athletes
under normobaric hypoxia equivalent to 2,000-m altitude:
a polysomnographic study. *J Appl Physiol*, 103 (6): 2005-
2011.
- Hoshikawa M, Uchida S, Sugo T, Kumai Y, Hanai Y and
Kawahara T. (2010) Sleep quality in athletes under
normobaric hypoxia equivalent to 1500 m altitude: A
polysomnographic study. *EJSS*, 10: 191-198.
- Iamele L, Fiocchi R and Vernocchi A. (2002) Evaluation of
an Automated Spectrophotometric Assay for Reactive
Oxygen Metabolites in Serum. *Clinical Chemistry and
Laboratory Medicine*, 40 (7) : 673-676.
- Iorio, EL (2010) The BAP test and the global assessment of
oxidative stress in 24 clinical practice. *The President of
International Observatory of Oxidative Stress*, 4-19.
- 神林 勲・塚本未来・木本理可・東郷将成・舩谷夕貴・
石村宣人・内田英二・武田秀勝 (2015) 高強度間欠的
運動時の運動パフォーマンスと酸化ストレスとの関
連. *北海道体育学研究*, 50 : 43-51.
- Knez WL, Jenkins DG and Coombes JS. (2014) The effect
of an increased training volume on oxidative stress. *Int J
Sports Med*, 35: 8-13.
- 丸岡 弘・小牧宏一・井上和久 (2005) 心配運動負荷試
験が酸化ストレス度に及ぼす影響について. *日本臨床
生理学会雑誌*, 35 (5) : 283-288.
- 松生香里・保科圭汰・竹井康彦・岡崎和伸・杉田正明・
小川 智・小島忠幸・山頭直樹・大澤陽祐・宗猛・吉
川三男・酒井勝充 (2016) リオデジャネイロオリンピッ
ク男子マラソン代表選手の事前合宿における暑熱コン
ディションサポート. *陸上競技研究紀要*, 12 : 130-
135.
- 長浜尚史・岡田正裕・喜多秀喜 (2006) 大学生駅伝選手
の15日間にわたる高地トレーニング中のコンディ
ションの変動およびトレーニング効果. *トレーニング
科学*, 18 : 145-154.
- Nagasawa J, Kikkawa K, Takai T, Sakaguchi A, Noguchi I,
Kizaki T and Ohno H. (2010) Exercise intensity and
antioxidant ability. *Rejuvenation Research*, 13 (2-3) :
172-174.
- 長澤純一・杉山康司・内丸 仁・笹尾真美・高野宏二・
野口いづみ・鈴木康弘・北舘健太郎・芳賀脩光・前川
剛輝・櫻井拓也・小笠原準悦・木崎節子・大野秀樹
(2010) 低圧・低酸素環境が引き起こす酸化ストレス
とオリゴノールの抗酸化効果. *登山医学*, 30 : 118-
124.
- 永田勝太郎・長谷川拓也・広門靖正・喜山克彦・大槻千
佳 (2008) 生活習慣病と酸化ストレス防御系. *心身医
学*, 48 (3) : 177-183.
- 永田勝太郎・近藤麻乃・藤森純子 (2014) 新しいストレ
スバイオマーカーとしての d-ROMs test, BAP test, 修
正 BAP/d-ROMs 値 (酸化バランス防御系) (ストレス
バイオマーカーの現状と新たな展開). *ストレス科学*,
29 (3) : 281-292.
- Nakayama K, Terawaki H, Nakayama M, Iwabuchi M, Sato
T and Ito S. (2007) Reduction of serum antioxidative
capacity during hemodialysis. *Clinical and Experimental
Nephrology*, 11 (3) : 218-224.
- 中澤 翔・崎田嘉寛・上野弘聖・横山順一・杉田正明
(2023a) 陸上競技・大学男子長距離選手のトレーニ
ング指標およびコンディション指標と競技記録の関係.
体育学研究, 68 : 277-289.
- 中澤 翔・橋本 峻・河村亜希・杉田正明 (2023b) 大
学男子長距離走選手の試合期におけるトレーニング指
標およびコンディション指標と酸化ストレスの関係.
トレーニング科学, 35 (4) : 423-432.
- 野口いづみ (1993) 動脈血酸素飽和度/脈拍比の体調予
測の指標としての可能性—イラン・デマバンド山
(5,671m) 登山における検討—. *登山医学*, 13 : 99-
106.
- Puype J, Van Proeyen K, Raymackers JM, Deldicque L and
Hespel P. (2013) Sprint interval training in hypoxia
stimulates glycolytic enzyme activity. *Med Sci Sports
Exerc*, 45, 2166-2174.
- Reiter RJ, Carneiro RC and Oh CS. (1997) Melatonin in
relation to cellular antioxidative defense mechanisms.
Horm Metab Res, 29: 363-372.
- Roberts SSH, Teo WP, Aisbett B and Warmington SA.
(2019) Extended Sleep Maintains Endurance
Performance Better than Normal or Restricted Sleep.
Med Sci Sports Exerc, 51: 2516-2523.
- 琉子友男・小松崎禎行・田中博史・只隈伸也 (2014) 定
期的な酸化ストレス測定は駅伝選手の有効なコンディ
ショニング指標になる. *運動とスポーツの科学*, 20(1) :

- 31-39.
- 関 秦一 (2009) d-ROMs テストによる酸化ストレス総合評価. 生物試料分析, 32 (4) : 301-306.
- 杉田正明 (2011) 高地トレーニング時のコンディション評価. 臨床スポーツ医学, 28 (8) : 893-898.
- 杉田正明・長沼祥吾・松尾彰文・西井克昌 (2013) 高地トレーニング中の睡眠時自律神経活動とコンディション. 日本疲労学会誌, 8 (2) : 29-35.
- 杉田正明 (2014) 酸化ストレスと運動パフォーマンス. 第 12 回酸化ストレス・抗酸化セミナー～酸化ストレス評価法カラテッリ・パネルの臨床的意義と予知・予知医学への貢献～, Lecture7 : 116-117.
- 杉田正明・内丸 仁・岡崎和伸・萩田 太・河合季信・今 有礼・谷口耕輔・瀬屋光男・伊藤 穰・前川剛輝 (2019) 選手・指導者のための高地トレーニング利用の手引き. 岐阜文芸社 : 岐阜, pp6-8.
- 杉田正明・片野秀樹 (2021) 休養学基礎－疲労を防ぐ！健康指導に活かす－. メディカ出版 : 大阪, pp.34-44.
- 谷口耕輔・杉田正明 (2015) 異なる強度の持久的運動における生理的応答と酸化ストレス及び抗酸化力との関係. トレーニング科学, 26 (3) : 155-168.
- 谷口耕輔・杉田正明 (2017) 実業団女子長距離走における酸化ストレス測定を用いたコンディション評価に関する研究. トレーニング科学, 29 : 43-54.
- 谷口耕輔・杉田正明 (2020) 高校男子長距離走選手の試合期における酸化ストレス, 心理的状态及び主観的コンディションに関する研究. スポーツパフォーマンス研究, 12 : 57-72.
- 谷口耕輔・橋本 峻・後藤晴彦・杉田正明 (2022) 国内高地トレーニング時における SpO₂/ 脈拍比を用いたコンディション評価に関する研究－日本人一流長距離走選手を対象として－. トレーニング科学, 34 : 323-334.
- Walsh NP, Halson SL, Sargent C, Roach GD, Nédélec M, Gupta L, Leeder J, Fullagar HH, Coutts AJ, Edwards BJ, Pullinger SA, Robertson CM, Burniston JG, Lastella M, Meur YL, Hausswirth C, Bender AM, Grandner MA and Samuels CH. (2020) Sleep and the athlete: narrative review and 2021 expert consensus recommendations. Br J Sports Med, 0: 1-13.
- Wilber, RL : 川原 貴・鈴木康弘監訳 (2008) 高地トレーニングと競技パフォーマンス. 講談社サイエンティフィク : 東京.
-

基調講演

根拠に基づく実践に向けた研究のあり方について —「還元」主義から「関連」主義へ—

登壇者 森丘 保典（日本大学）

「根拠に基づく…」とは？

本日、私からは、「根拠に基づく実践に向けた研究のあり方について」というテーマでお話しさせていただきますが、実際に私自身が実践研究なるものの十分な積み重ねの実績があるわけではありませんので、実践研究のあり方に迫るというよりは、これまで手がけてきた研究やアスリートの支援のプロセスのなかで考えてきた実践研究に関する問題意識の一端を皆様にお示ししながら、この後のシンポジウムに繋げていければと思っていますので、どうぞよろしくお願いいたします。

「根拠に基づく…」ということを最初に言い出したのは恐らく医療の分野であると思います。エビデンスベースドメディスン（EBM）というような言われ方をしてきたわけですが、近年は医療分野以外でも、看護や政策立案、ひいては学習などの様々な領域分野で「エビデンスベースド…」ということが言われておりまして、競技スポーツに関しても「エビデンスベースドコーチング・トレーニング」というように、「根拠に基づく実践」の重要性が指摘されております。

一方で、「根拠に基づく…」というのは一体どういうことなのかということで、これも医療の領域でどのような定義づけがなされてきたかということをご紹介したいと思います。これは 1991 年に Guyatt という人が示している考え方ですが、科学的な研究によって得られた「最良の根拠（エビデンス）」は当然必要だけでも、それだけではなく「臨床家の専門的な能力や経験」、「患者の意向や価値観」といったものをしっかりと統合しながら、よりよい患者ケアに向けた「意思決定」を行うことが、EBM であるということが強調されています。すなわち「科学的な研究成果を重視して行う医療」という狭い意味ではなくて、臨床家の経験や患者の価値観なども考慮しながら進めていく医療支援、これが EBM ということです。ここで、臨床家というところをスポーツのコーチ、患者をアスリート、ケアをトレーニングやコーチングというふうに読み替えれば、我々スポーツ界の「エビデンスベースドコーチング・トレーニング」のあり方として受け止められると考えております。

仮説演繹法とは

この「根拠に基づくより良い意思決定」を行っていくための科学的な推論法に、「仮説演繹法」というのがあります。この仮説演繹法というのは、帰納と演繹を組み合わせた推論法といわれるわけですが、この 5 つのプロセスを経ながら、推論の精度を上げていくという方法であり、自然科学だけでなく多くの社会科学も基本的にこの方法に基づいて営まれています。本日は、この仮説演繹法とすり合わせながら、少し私の試行錯誤をご紹介していきたいと思います。



仮説演繹法とは

—帰納と演繹を組み合わせた科学的推論法—

- ①これまでの経験や手持ちのデータを用いて問題を発見する。
- ②帰納的推論（一般化やアナロジーなど）を用いて仮説を立てる。
- ③仮説から演繹的推論により予言（予測）を導く。
- ④予言の確度を実践（観察や実験）によって検証または反証する。
- ⑤予言の当否（実践の結果）に基づき仮説を受け入れる、または修正する。

戸田山（2005）

College of Sports Science, Nihon University

仮説演繹法というのは、まず「これまでの経験や手持ちのデータを用いて問題を発見する」というのが入り口になります。そして帰納的な推論、一般化やアナロジーとありますけれども、これを用いて仮説を立てていく。この二つが仮説演繹法のファースト、セカンドステップになります。

問題の発見と帰納的推論

ここから私の経験を少しお話しさせていただきますが、1992 年に筑波大学の大学院に進学をしまして、今日ここにおられる阿江通良先生の研究室で学ばせていただいたんですけども、修士課程の 2 年のとき、1993 年の日本選手権で、斎藤嘉彦選手と苅部俊二選手が日本人で初めて 400m ハードル（400mH）で 48 秒台を達成したというレースがありました。

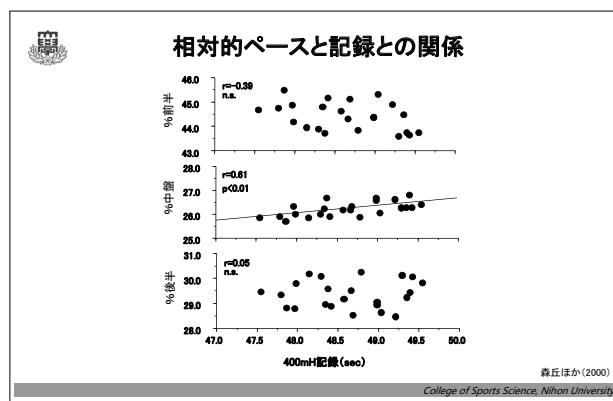
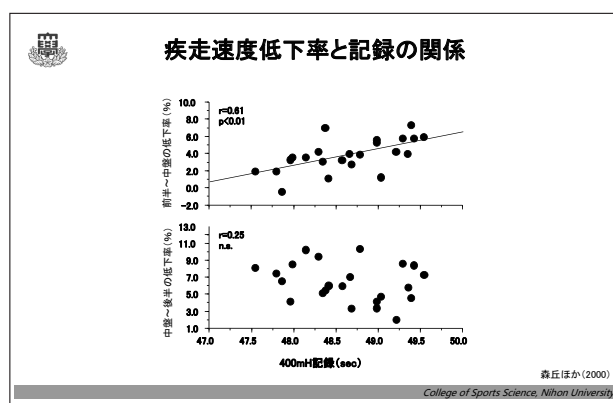
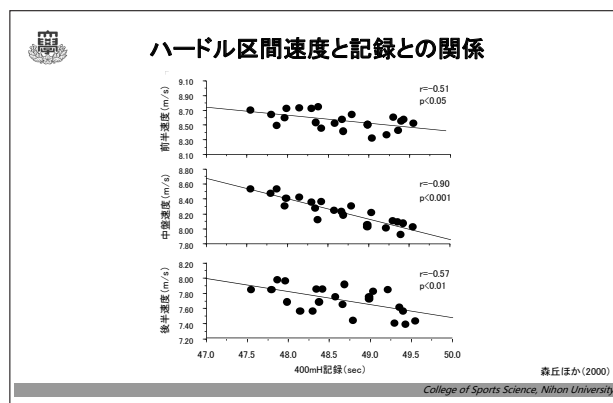
皆さんご存じの通り、日本陸連の科学委員会は、1991年の東京の世界選手権で大規模なパフォーマンス分析を実施し、その後も国内外の主要大会で継続してきているわけですが、私がたまたま400mHの経験者だったということもあって、阿江先生から「このレース分析して陸上競技マガジンの特集記事を書いてみる」とっていただきました。それで喜び勇んで分析をした後、宮下憲先生のご意見を伺ったりしながら解説文を作成し、これが自分の文章が初めて公になった記念すべき陸マガ(1993、陸上競技マガジン7月号)なんですけれども、発売日に大学の書籍部が開くのをそわそわしながら待っていたことが懐かしく思い起こされます。こういったレース分析に93年ぐらいから科学委員会の協力班員として関わり始めて、その後、400mH担当という立場でレース分析に携わってきました。

このときは、5台目の通過が21秒後半くらいで、いわゆるイーブンペース型のレースパターンを刻んで48秒台を達成したということで、「前半からハイペースで走る欧米選手たちに惑わされずに、自分のレースパターンを守って走ることが重要である」というような結論で締めたんですけれども、まずはそれぞれの選手のレース分析を進めていく、いわば手持ちのデータを積み重ねてながら問題を発見していくという仮説演繹法のファーストステップを、これ以降、私なりに実践していくことになります。

そういったデータが積み重なってくると、私の中での興味関心というのが、一流選手たちの中でもより速い選手たちはどのような走り方をしているのか、同じようなペース配分で走っているけれども単に走速度が高いからパフォーマンスが高いのか、それともレース中に異なるペース配分をしているのか、というようなことに向き始めて、それを検証してみたいという思いに駆られていきました。

そこで、まずはスタートから5台目までを前半、5台目から8台目までを中盤、そして8台目からフィニッシュまで後半という3つの区間に分けて、その区間速度と400mHの記録との相関分析をしてみました。当然、速く走ることを競う種目ですので、より速い選手たちはどの区間でも高い速度で走っているんですけれども、中盤の相関係数が他の区間と比べて高いという傾向がありまして、では速度低下率はどうなってるんだろうかということで、前半から中盤の低下率、中盤から後半の低下率を出してみると、前半から中盤の低下率には記録との有意な相関関係が認められました。さらに、相対的ペースということで、各区間の時間が全体の記録に占める割合、これはパフォーマンスの高い低い影響をとり除いて、ペース配分に注目するという視点でこういったデータを出してみたんですけど、前半と後半というのはほとんど関係なかったんですが、やはり速い選手ほど中盤を相対

的に速いペース配分で走る傾向にあることが見えてきたんですね。



400mHのレース分析は、91年の東京世界陸上のときから行われていて、様々なレポートも出されていたんですけど、当時は1台目から2台目区間に出現する最高疾走速度を高めることが重要だという指摘がなされていました。当然、最高速度を上げることは大切なんですけど、レース全体を最適化するためには、中盤にフォーカスすることも必要なんではないか、もちろん相関関係と因果関係は異なるわけで、中盤を変えれば全てが上手くいくという簡単な話ではありませんけれども、レース中盤を軸にしてレース戦略を考えていくことも必要なんじゃないかという問題意識が私の中で立ち上がってきたわけです。

この仮説演繹でいうところの、問題の発見から帰納的・

量的なレースパターン分析に基づくいわば「仮説」を、その後、体育学研究に投稿しました。実は、原著論文で投稿したんですけれども、研究資料に種別変更を求められました。5年後に投稿したバイオメカニクス研究(2005, バイオメカニクス研究 第9巻 196-204)では原著論文として掲載されたんですが…この論文は、投稿してから研究資料として受理されるまで13ヶ月かかりまして、その間、査読者との長く激しいやり取りが展開されました。

このときの査読コメントには、「結果と考察は単に事実を記述したものにとどまっており、問題の本質的な解明ができたと呼ぶには程遠い」とか「結局、この研究は一流選手の試合におけるレース分析を行っただけであり、得られた結果から記録向上のための手段を科学的に根拠のある形で導き出すことは困難である」などと書かれていました。まあ「問題の本質的な解明には程遠い」って確かにそりゃそうなんですけれども、そもそも研究目的に「問題の本質的な解明」なんて大それたことは謳ってませんし、それって一体どうしたらできるんですか？そんな研究方法があったら教えてくださいというような回答もしましたが、結局、研究資料で載せるのか、それとも取り下げるのか決めろって言われまして…研究資料でお願いしますってことで掲載された論文です(2000, 体育学研究 第45巻 414-421)。

実は、この査読では、「各選手がどのようなペース配分を意図してレースに望んだのか、あるいはもし同じ選手が序盤のスピードを抑えて中盤に意識を集中した時、どのような結果が得られるのかについては何の情報もない」というコメントもいただいていた、そりゃそうでしょ国内外の一流選手のレース分析のデータを検討しているんだからって話なんですけど、この指摘は、すでに個々の選手達との関わりの中で試行錯誤していた問題であり、実践研究として扱っていくべき内容だと思われるわけです。

演繹的推論による予言の導出と検証

ここからは、2000年にこの論文をまとめる以前から、この査読者の指摘に関わるような実践というか試行錯誤をしていたという話になります。この話をするときには私の中で欠くことのできない選手がいるのですが、1人は今、日本陸連の強化委員長されている山崎一彦さんですね、世界選手権のファイナリスト、そしてもう1人は為末大さん、世界選手権で2度の銅メダルを獲得しているという選手というこの2人の偉大なハードラーとレース分析のデータを介して様々なやり取りをさせていただいてたんですが、そのことが先ほどの仮説演繹法の3番目と4番目、仮説から演繹的推論により予言を導く、そして予言の確度を実践(観察や実験)によって検証または反証する、というプロセスに該当すると思われるところ

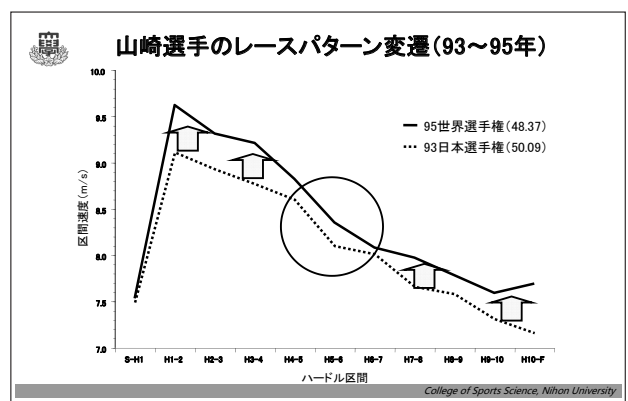
です。

山崎さんの競技歴を簡単にご紹介しますが、大学2年生のときに1991年の東京の世界選手権にシニアで初めて日本代表として出場(49.80秒)され、その後、1995年に48秒37(予選)という当時の日本記録で走って世界選手権で決勝に進出しています。さらにその4年後の1999年にこの記録を4年がかりで約0.1秒更新し、再び日本記録(48.26秒)を達成するというプロセスをたどっています。

私が山崎さんと最初に出会ったのが、世界選手権でファイナリストになった翌年、1996年のアトランタオリンピックを目指しているというタイミングでした。先ほどご紹介ありましたが、私は当時、日本体育協会のスポーツ科学研究室というところに勤めておりまして、オリンピックイヤーともなると渋谷の岸記念体育会館に陸上に限らず様々な競技種目のオリンピック代表選手が毎日のように集まってきて、ウェアなどの採寸に始まり、ドーピング検査、体力測定、さらにはメディア対応なども全部あの場所でやっていたんですね。

私もスタッフとして体力測定などの仕事していたんですけど、合間合間のちょっとした空き時間に、恐る恐る「レース分析をやっているんですが…」って自己紹介しながらデータを見てもらい、探りながら話し始めるというのが最初のきっかけでした。

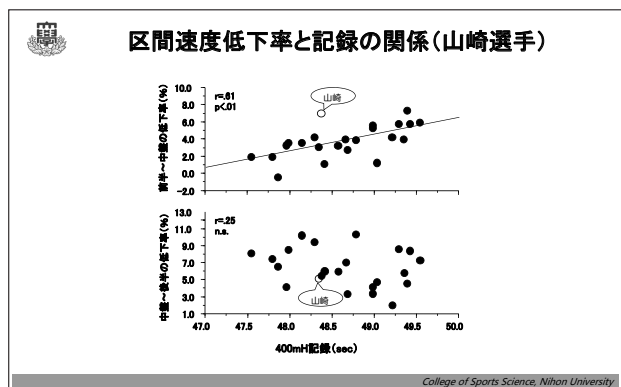
そのときにどんな話をしたかという、先ほどの日本人初の48秒台を達成した93年の日本選手権のとき、山崎さんは50.09秒(5位)だったんですが、そのときとイエテボリの世界選手権のときのレースパターンを比較して、最高速度も一気に高まって、レース全体に渡って速度が高まっていて、これはもう二皮ぐらいむけたんじゃないかっていう話をしながらも、私がちょっと気になっていた両レースに共通する5台目から6台目の速度低下に関して「どう思われますか？」みたいな感じで恐る恐る聞いてみたんです。



山崎さんは、「ここはちょうど13歩から14歩に歩数を切り替える局面で、かつレースの中盤なので、後半に向けて少しお休みをしたいところ」ということで、私も

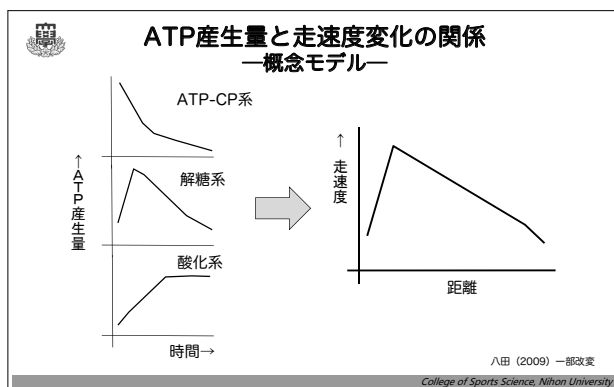
ここを改善すべきというだけの強い確信や根拠があったわけでもなく、しかも片や世界のファイナリストで私は三流ハードラーですから、「そうですね。お休みしたいですよ」みたいな感じで、その日は名刺交換して終わったというような状況でした。これはエビデンスベースでいうところの、その時点での「選手の（経験を踏まえた）価値観」といえるのかもしれませんが。ただ、その後もデータを介したやり取りが続いていくなかで、中盤の低下率で見ると他の選手と比べて大きいという特徴があることや（スライドの○が山崎選手）、海外のトップレベル選手たちが中盤の歩数切り替えて速度を落としていないデータなども共有していくなかで、山崎さんから、「実は欧州でレースを走ると、5台目以降の歩数切り換えのあたりで少し置いてかれるんですよ」っていうような話も出始めてきて、「なるほど、じゃあどうしましょうか」というようなやり取りを通して、少しずつレース中盤の最適化にフォーカスしていきました。

また、当時、私は乳酸の研究なんかもやっていて、東



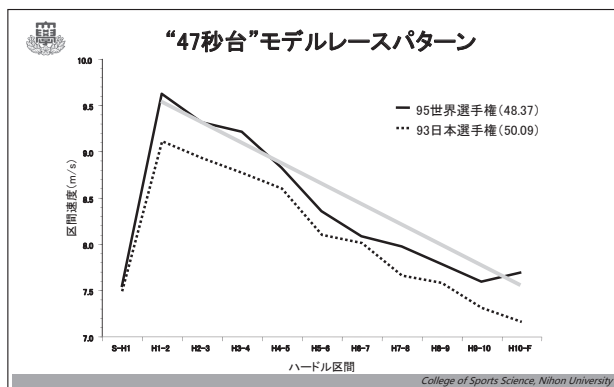
京大学の八田先生と一緒に本なども書かせていただいています。なんで 400m とか 400mH のレースパターンは競技レベルを問わずみんなこういう形になるんだろうか、というような話をさせていただく機会もあって、その背景にレース中の ATP の産生量が三つのエネルギー供給系の中でダイナミックに変化していくが、400m とか 400m ハードルあたりは解糖系の貢献度（依存度）が高いので、こういうレースパターンが表出するんだろうというようなお話もされていて、こんな概念モデルも示されています。

そういう中で、やはり中盤で休むというか、必要以上に速度を低下させるということのメリットはないんじゃないか、後半へのリスクもあるんだけど、トータルでのパフォーマンスは高まるんじゃないかということ。これは山崎さんとも話をしながら、まさにレースの最適化というところを考えると、仮説というか演繹的に推論していったわけです。課題としては、レース前半で獲得した速度を中盤以降までできるだけ維持するようなレースパターンを獲得していくこと、レースパターンと



しては、速度が直線的に綺麗に落ちていくようなイメージで取り組んでいくことになって、山崎さんから依頼のあった 47 秒 9 のモデルタッチダウンタイムも作成しました。

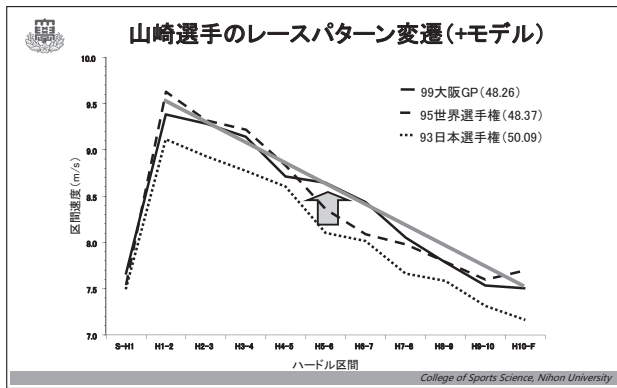
為末さんは、これを「すべり台理論」とか「すべり台



モデル」などと紹介していますが、こういったモデルとなるレースパターンのイメージをつくと同時に、目標値の設定もしていきました。縦軸に前半5台目までの平均疾走速度、横軸に前半から中盤の低下率をとり、47秒台の選手の多くがプロットされているエリアに焦点化すると、47秒台を目指すためには、前半5台目の通過 21 秒 5 以内で、前半から中盤の低下率 5% 以内が目標値になるだろうと。これも確固たる根拠があつての設定とはいえないんですけど、47秒台の選手のデータを踏まえて、えいや！と目標値を設定したということになります。

ここから山崎さんは4年かけてレースパターンの最適化を試みていって、それが結実したのが99年の大阪国際グランプリ陸上でした。イエテボリからの4年の間にケガも含めていろいろなことがありながら、自己ベストを 0.1 秒更新できたということで、非常に喜んでおられましたけれども、このときのレースパターンは、93年や95年と比べて、中盤の速度がグッと押し上げられていて、かなり 47.9 のモデルパターン近づいてきたという感じでした。

先ほどの目標値もクリアしていて、いよいよ 47 秒台



への準備ができたんじゃないかという話もしました。その後、2001年に引退されるわけですが、この5年間の様々なやり取りの積み重ねを通して、支援を最適化していくためには、選手の経験や価値観といった物語（ナラティブ）のような質的データも重要であるところを実感していきました。この一連のプロセスは、レース分析のデータや生理学的な知見なども踏まえつつ、専門家と選手の知見・経験を統合しながら、エビデンスベースの実践、根拠に基づく実践プロセスであったといえるのかもしれない。

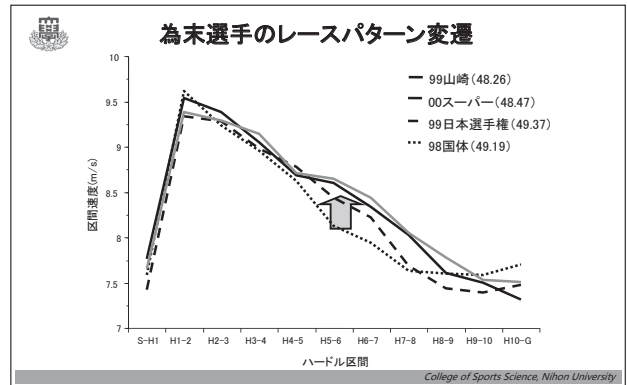
ここで満を持して登場してくるのが為末大さんで、中3のときに200mで21秒36という当時の中学記録を樹立していて、本人は高校までスプリンターを目指していたんですけど、高校3年で400m、400mHにトランスファーして、1996年の広島国体で400mHで49秒09というとんでもない記録で走り、その後、2001年の世界選手権で47.89という現在の日本記録で走って銅メダル、2005年にも再び銅メダルを獲得した選手です。為末さんは、ちょうど山崎選手がレースパターンを最適化していくプロセスで、国内で一緒にレースを走るなかで中盤で差をつけられることに気づいていきます。山崎さんが海外選手とのレースで感じていたことを国内のレースで感じる事ができたというのは、非常に幸運だったんじゃないかなと思いますが、日本代表の合宿などでは、山崎さんにしつこくつきまとう、いわばストーキング？をしていたらしいです。山崎さんがちょっと変わった練習をやっていると、「それ何のためにやってるんですか？」とか「レースの中盤でなにしてるんですか？」というようなことを、とにかく根掘り葉掘りしつこく聞いてきていたらしく、山崎さんも「あいつしつこくて面倒くさいんですよね…」みたいなことを当時おっしゃっていた記憶もあります。

いずれにせよ、こういうギャップにいち早く気づいて、それをどう克服していこうかということを自分なりに考えてやっていた。やはり素晴らしいセンスの持ち主だと思いますし、そこに私のレース分析のデータなんかも関わっていくわけなんですけど、山崎さんが4年間かけて中盤を改善していくというプロセスを2年ぐらいで克服

していきます。

これが99年の日本選手権の49.37秒のレースで、記録的にはあまり良くはないですけども、中盤で速度を落とさないレースパターンに変わってきていて、2000年のシドニーオリンピックの年には、ほぼ山崎さんと同じ感じで中盤を走れるパターンを獲得していきます。

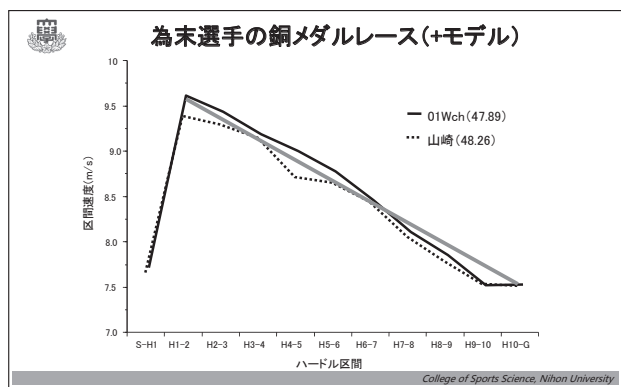
実はこの2人は、インターバルの歩数配分が全く同じ



なんですね。5台目まで13歩でいって、5台目から7台目までを14歩で走って、8台目から10台目まで15歩で走るというパターンです。しかも二人とも身長もあまり高くなくて、前半からハイペースで突っ込んでいくというタイプであることなど、身体的・心理的な特性というのも非常に似ていて、だからこそ為末さんは山崎さんをストーキングしていたんじゃないかなと思います。この辺りは、後ほどの話にもできますが、「個性」という問題に非常に大きく関わる場所でもあると思います。そして、これが日本人初のハードル種目での銅メダル、初の47秒台を達成したレースなわけですが、本当にでこぼこのない、このでこぼこがないのいいことなのかっていうのも、なかなかこれ結論がつかないわけですが、先ほどのモデルにほぼ重なっていて、前半はモデルよりもちょっと速くて、後半ちょっと遅いっていうのは、為末さんのもっている「個性」といえるかもしれません。

まさに「すべり台理論」といいますか、我々が想定していた47秒9という記録を見事に世界選手権のファイナルで達成してくれたということで、山崎さんの取り組みが為末さんに継承されたと感じた瞬間でもありました。目標値に関しても、1999年、2000年そして2001年と着実に近づいてきて、47秒台を達成したという、まさに2人とも同じようなプロセスをたどって記録を短縮してきたことが示されたわけです。

2008年に事例研究の重要性という特集論文を書く機会をいただいて、この論文を書くにあたって、山崎さんとのメールのやり取りを最初から最後まで全部読み返しました。ちょうど7万字ぐらいありましたが、そういうやりとりであるとか、日体協の研究プロジェクトで行っ



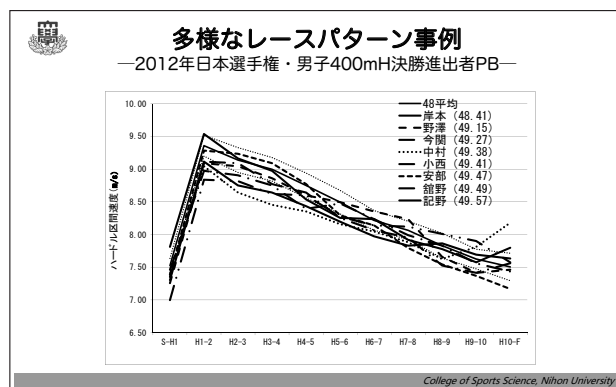
たインタビュー調査のデータなどを後ろ向きに辿りながら書かせていただきました（2008，トレーニング科学 第20巻 175-181）。こういった事例研究は，演繹的・質的な研究に分類されると思いますけれども，このときには質的研究法に精通していたわけでもなく，内容的には事例報告というようなレベルのものかと思います。ただ，仮説演繹という文脈で言えば，帰納的推論による仮説の作成から，演繹的推論による予言の導出と検証に至る実践というか試行錯誤について，レースパターンの変遷という量的なデータと，その合間にあるエピソード，さらにはその取り組みに関する質的なデータを踏まえて検討しながら，競技発達のプロセスを記述した実践研究に位置付く論文ではないかと思います。

演繹的推論による予言の導出と検証

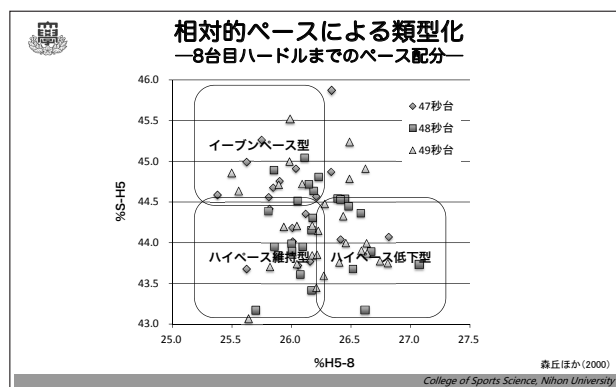
このような仮説演繹の①から④のプロセスを経て，最終的にこの予言の当否を実践の結果に基づいて，仮説を受け入れるのかまたは修正するのかという段に入っていくわけなんですけれども，先ほどのお二人はよく似た身体的・心理的特性を持っていて，同じような課題を同じようなプロセスで達成していった事例であり，実際にはトップレベルの選手たちにおいても極めて多様なレースパターンを描きます。

これは，2012年の日本選手権の決勝に出た選手たちが初めて全員50秒を切るというハイレベルな年だったんですけど，見ていただくとわかるように，いわゆるオープンペース型で走る選手もいれば前半のスピードがかなり高い選手もいて，さらに歩数配分も様々な選手たちがいて，彼らのトレーニングやレースパターンを最適化していくことを支援するには，当然一つの仮説や解決策では立ち行かないということも出てくるわけです。

また，相対的なペースによる類型化を試みたりもしたんですけど，前半の比率，そして中盤の比率を二軸とって，47秒台から49秒台の選手たちをプロットしてみると，パフォーマンスレベルを問わず，スタートから8台目までの走り方にもバリエーションがあって，これにオープンペース型とかハイペース低下型など様々なタイプに分類されるわけです。山崎さんと為末さんはいずれ



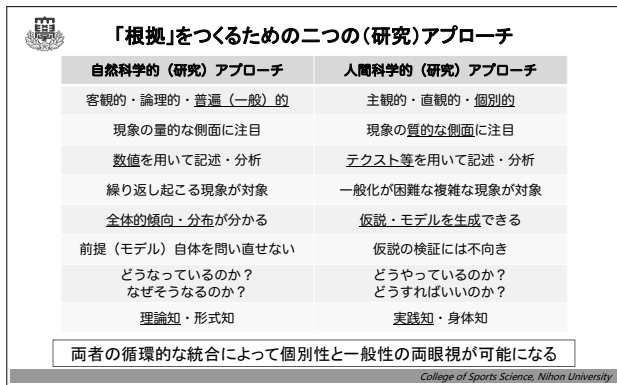
もハイペース維持型に分類されるんですけど，47秒台で走る選手たちも様々なタイプに分布しているわけで，そういう意味ではそれぞれの選手たちが多様かつ個別的な特性をもっているということを受け止めながら，また次の仮説演繹プロセスに進んでいくことも必要になってくるわけです。



こういった試行錯誤の中で，一つは自然科学的研究アプローチで，普遍性，一般性みたいなものを目指しながら，量的な側面に注目して，数値を用いたレース分析によって全体の傾向とか分布がわかるということ，これはレースパターンの相関分析みたいなものから見えてくるところですが，その分布している一つ一つのプロットは，まさに個性をもった選手達を表しています。その個性に対して，質的な側面に注目して記述や分析を積み重ねて行く人間科学的な研究アプローチを適用することによって，仮説やモデルを生成することができ，それを演繹的にトレーニングやレースに活かしていく。

この二つのアプローチは両方とも必要，かつ重要だと思っています。これらを練り上げるというか，循環的に統合していくことによって，個別性と一般性の両眼視が可能になり，推論の精度が高まっていくんだろうなと思います。最近では，混合研究法なんていう言われかたもしますが，こういったことを無意識的に行ってきた中で，その重要性に気づいていったといえるかもしれません。

仮説演繹法は，選手とコーチ，そして研究者といった人たちが，あらゆる経験と知識を活用しながら，実践に

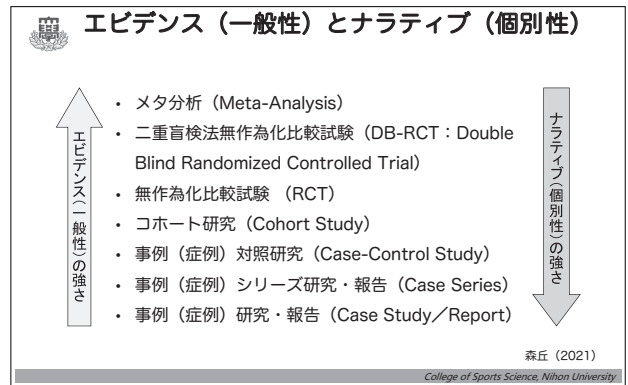


とって有用な仮説的推論を生成しようとする科学的推論法であると説明されています。「生成しようとする」と書かれているのは、これがまさにプロセスであり、ループやサイクルでもあると考えるべきであり、先ほどの量的・質的アプローチというものも駆使しながら、このプロセスを精度よく記述していくことが、我々の研究には求められているのだらうと感じているところです。

実践研究(論文)の現状と課題

会員の皆さんには、この帰納と演繹を組み合わせた仮説の生成・検証ループである仮説演繹のどこに該当するのか、どのプロセスを記述した研究・論文なのかを明確にしなが、実践研究を積極的に投稿していただきたいわけですが、実際、各学会において、実践研究が、どのように定義づけられているのかを確認してみたいと思います。たとえば体育学研究では、実践研究の定義が「現場からの貴重な情報を基にした研究で、指導法に関する実用的研究や、総合的に分析した研究などが含まれる」とされており、事例報告については「特定の少数の事例を詳細に調査・研究し、その結果を報告することによって、体育学の発展に寄与できるもの」などと説明されています。また、コーチング学研究では、実践論文は「スポーツ実践や関連事象について、実験や各種調査などによる仮説検証を通して、新規性と普遍性の高い原理や原則を明らかにし、コーチング学の発展に直接的に寄与する論文」、事例研究は「コーチング学における種々の問題に対して、事例をもとにして、新規性と普遍性の高い原理や原則を明らかにし、コーチング学の発展に直接的に寄与する論文」とされており、いずれも原著論文に含まれるという扱いになっています。ここで注目したいのが、いずれの説明にも「新規性と普遍性の高い原理・原則を明らかにする」と書かれていることです。特に「普遍性」という問題をどのように扱っていくのかということが、実践研究を考える上で非常に重要な問題になるだろうなと感じています。

このスライドは、上の方にメタ分析やRCT、真ん中あたりにコホート研究があって、その下に対照研究や事例研究があるというリストですが、皆さんすぐにお分か



りかと思いますが、要は下から上に行くほど、エビデンスレベルが高い、言い換えれば普遍性が高い研究デザインだといわれているわけです。そして、先ほどの査読コメントではありませんが、もちろんあれは私の論文の拙さが指摘されていたわけですが、一般的にはこの「エビデンスレベル」を基準とした査読が行われており、実践研究や事例研究は「普遍性の高い原理・原則が明らかにされていない」という理由でリジェクトされることも少なくないわけです。

この「普遍性」をどのように考えるのかについて、大阪大学の村上靖彦先生は「現代社会において普遍性は、論理的な必然性か、測定の正確さか、もしくは統計によって得られると考えられている。これらの帰結は、多数のサンプルを集めてきたなかの平均値や傾向性である。「普遍性 (universality)」は語源からしてすべてに当てはまるということだろうから、すべてではなく大多数のサンプルに共通するものは、「一般性」「妥当性」と呼んだほうがよい。いずれにしても多数のサンプルと一般性とは結びつくときには、一人ひとりの経験が意味を持つ余地はなくなる」と書かれています。私はこれを読んで、なるほどなと思いました。自分でも、普遍性と一般性という言葉を一応使い分けてものを書いてきたつもりでしたが、こういった精神分析学、現象学をやられている先生が、改めてこういうことを書かれていることを踏まえれば、学会誌の論文種別の説明もより工夫していく必要があると感じています。そして何よりも「多数のサンプルと一般性が結びつくときには、一人ひとりの経験が意味を持つ余地がなくなる」というのは極めて重要な指摘であり、言い換えれば「個性性が取り除かれてしまう」ということでもあるわけです。これも、我々が実践研究を考える上で、非常に重要なポイントになると思っています。

論文にも引用させていただいていますが、河合隼雄先生の「ひとつの症状について何例かをまとめ、それについて普遍的な法則を見出すような論文よりも、ひとつの事例の赤裸々な報告の方が、はるかに実際に役立つ」というのは、個の明確化が普遍性を持つという逆説が存在する可能性を示唆しているといえます。関連して、拙稿

ですが「90%の人に当てはまるが、10%しか説明できない一般性の高い（個性性の低い）理論よりも、10%の人にしか当てはまらないけれど90%説明できる一般性の低い（個性性の高い）理論のほうが、むしろ現場では役に立つことも少なくない」というのも、極めて「個性性」の高い「根拠」を探っていた過程によるものといえるのかもしれない。

そう考えますと、上にいくほど一般性、いわゆるエビデンスレベルが高いということになるわけですが、一方で、個性性、ここにはナラティブとも書いていますけど、個性性の強さというのは、逆向きの矢印になるだろうと。また、これら研究デザインは、いずれもエビデンスとナラティブの要素を含んでいて、それぞれの研究デザインの中にある一般性と個性性の比率が異なっている、グラデーションが異なるというようなイメージで捉える必要があると思うわけです。そのことを理解し、それぞれの研究デザインを目的に応じて使い分けながら、根拠に基づく実践に資する研究が積み重なることによって、真の意味での「普遍性」に接近していけるのではないかと考えています。そしてそのためには、シリーズ研究とか事例研究、事例報告というあたりは、医療の方では重要視されていますけれども、こういう研究や報告の重要性について再認識する必要があると考えております。

ここで少し査読の話をしてみたいと思います。教育社会学者の市川伸一先生が書かれた論文で、既に掲載された教育実践に関わる論文から学会の理事、編集委員が17編ピックアップして、それを教育心理学会のエディター20名が、もう一度査読をし直すと、そこにどのぐらいのばらつきが生じるのかなど、実践研究論文の査読に関する現状把握や課題の抽出を目的とする調査分析を実施したものがあります。その論文のまとめには、「実践研究としての評価も、従来の学術研究的な緻密な分析・記述に引きずられてしまう評定者が多いようである。実際にはそうした観点から見て優れた論文は現状としての高い評価を受けて掲載されていることを考えれば、あえて実践研究というカテゴリーを設けるにあたっては、別の基準に沿うことが望ましいのではないだろうか」と書かれています。また、「実践研究としてまずまずの評価が得られた論文でも、一部の評定者からは「単なる実践報告にすぎない」として低く評価されることが見られた」とも書かれており、査読者の評価のバラツキを指摘しています。さらに「最後に一言申し上げたい」と前置きした上で、「論文の評価と言うものが、いかに個人差が大きく、しかも自分の評価の特性はなかなか本人にはわかりにくいと言うことを、これから審査員となる委員には知っていただきたい」と結んでいます。実践を扱う研究を推進するためには、論文の執筆もさることながら、この査読にまつわる種々の問題にも向き合っていく必要が

あります。ここまでお話ししてきたような内容は、2021年の陸上競技研究紀要の特集でも詳細に扱っておりますので、ぜひご一読をいただければと思います。



陸上競技学会誌における研究種別

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論文。

事例報告：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。

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。

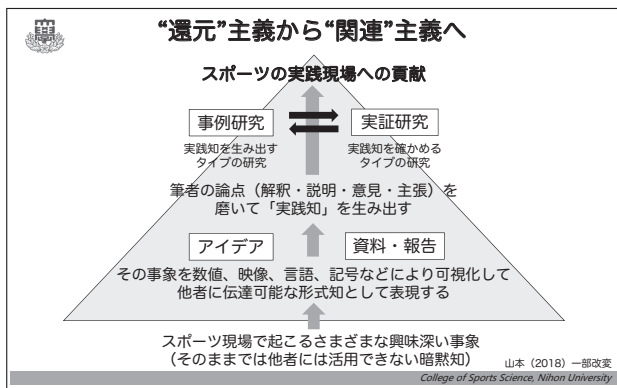
College of Sports Science, Nihon University

現在の陸上競技学会誌の研究種別は、原著論文、事例報告、研究資料とあるわけですが、今の原著論文の定義は、「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論文」となっています。非常にざっくり書かれているとも言えますが、ここに「学術上」と「指導実践上」という二つの文言が盛り込まれていることは、この両方に関わる研究成果を大切にしながら、ともに原著として扱っていかうという考え方の現れでもあるといえます。

先ほどの市川先生のコメントにもあったように、論文として別立てにするのか、あるいはコーチング学会のように、原著の中にいくつかのカテゴリーを設けて定義づけていくなど、いろいろな考え方があると思いますけれども、今回そして次回の筑波大学の学会大会で、いろいろな形で発表された研究成果も踏まえながら、実践研究のあり方について議論を深めていって、最終的に陸上競技学の実践研究はこうあるべきという共通理解に着地していきたいと思っていますし、そのためには、会員の皆さんからの積極的な投稿が不可欠になります。

最後に、これは鹿屋体育大学の山本正嘉先生が、実践研究に関して整理された図を一部改変しているものです。

スポーツ現場で起こる様々な興味深い事象、そのままでは他者には活用できない暗黙知というようなものが、現場にはたくさん転がっているわけですね。こういった事象をまずは資料とか報告というレベルで、数値、映像、言語、記号などによって可視化し、他者に伝達可能な形式知として表現していく。このあたりは、学会誌の研究資料や実践、事例報告あたりをどのように定義づけて、どのように扱っていくのかというところに関連する話かと思います。そして、書き手の論点、すなわち解釈、説明、意見、主張を錬磨しながら「実践知」を生み出していく研究に進んでいくわけですが、一つには実践知を生み出すタイプの研究、ここでは「事例研究」となって



いて、その実践知を確かめるタイプのものを「実証研究」と呼んでいます。このあたりはいろいろな考え方があろうかと思いますが、いずれにしても、この事例研究と実証研究を往還する二つの矢印、まさに仮説演繹的な営み、すなわち帰納と演繹を組み合わせた科学的推論プロセスによる我々の知的財産としての研究を積み重ねが、スポーツの実践現場への貢献に繋がっていくんだらうと思います。

このスライドのタイトルには、「還元主義から関連主義へ」と書いてあります。一つの研究や論文としては、一般的にその論文で何かしら完結した知見を提示することを目指すのかもしれませんが、現場のアイデアであったり資料や報告が、事例研究や実証研究に昇華されるプロセスや検証されるループを回していく。そういう研究の積み重ねを、この学会の中で推進していきたいと考えております。すみません、途中でトラブルがありまして、しかもまとまりのない話になりましたけれども、これで私の講演を閉じたいと思います。

ご清聴ありがとうございました。

《登壇者プロフィール》

森丘 保典（もりおか やすのり）

1969 年生まれ

所 属：日本大学スポーツ科学部、同大学院スポーツ科学研究科（教授）

学 位：修士（体育学）

略 歴：茨城大学教育学部卒、筑波大学大学院体育学研究科コーチ学専攻修了、日本スポーツ協会スポーツ科学研究室室長代理を経て、現職。

社会的活動：日本スポーツ協会国民スポーツ大会委員、日本オリンピック委員会強化（医・科学、マネジメント）スタッフ、日本陸上競技連盟科学委員会副委員長および指導者養成委員会ディレクター、日本スポーツ振興センター・日本アンチ・ドーピング規律パネル委員、日本陸上競技学会理事長、日本コーチング学会理事、日本スプリント学会理事ほか

主な著書：陸上競技コーチングブック（2022、大修館書店）、陸上競技のコーチング学（2020、大修館書店）、グッドコーチになるためのココロエ（2019、培風館）、スプリント学ハンドブック（2018、西村出版）、コーチング学への招待（2017、大修館書店）、身体運動のバイオメカニクス研究法（2008、大修館書店）、乳酸をどう活かすか（2008、杏林書院）、競技力向上のトレーニング戦略：ピリオダイゼーションの理論と実際（2006、大修館書店）ほか

〔日本陸上競技学会第22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・仙台大学

傍聴記（大会1日目）

佐藤 淳哉（仙台大学大学院スポーツ科学研究科）

I. はじめに

日本陸上競技学会第23回大会は2024年2月22日および2月23日に仙台大学船岡キャンパスにて開催された。仙台大学での開催は第3回大会以来、20年ぶりの開催となった。本大会のテーマは「陸上競技学における実践研究の促進」であり、前回大会（第22回大会中京大学）シンポジウムにおいて促進していくことが提唱された「仮説提案型の実践研究」に関して、スポーツ科学のさらなる現場での活用や、基礎的な研究と実践的な研究のより良いサイクルの実現、今後の我が国における陸上競技の発展に向け、多角的な視点から議論されるプログラムとなっていた。そのなかでも、本稿では1日目における学会大会の内容およびその様子について報告する。



II. 開会挨拶

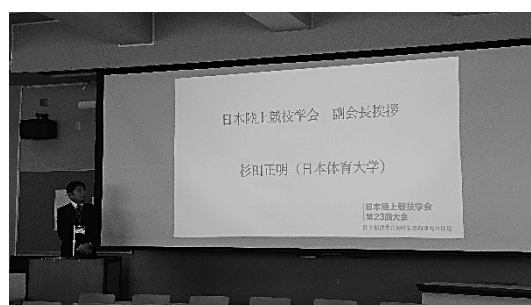
本学会大会の開会に先立ち、歓迎の挨拶として森本吉謙先生（仙台大学）、日本陸上競技学会副会長挨拶として杉田正明先生（日本体育大学）がご登壇された。両先生ともに実践研究や現場での指導を行っており、研究の現場での活用についてのお話があった。非常に興味深い内容であったため以下、内容について報告する。

森本先生からは、近年、様々なスポーツの記録が飛躍的に向上してきた背景について、アスリートの不断努力とこれまで積み重ねられてきた数多くのスポーツ科学の研究の土台の上に成り立っており、スポーツ科学の発展はアスリートの競技力向上を目指すうえで必要不可欠なものであることから、本学会を今後のさらなるスポーツ界ひいてはスポーツ科学の発展につなげる場にしてほしいとお言葉をいただいた。

杉田先生からはパリオリンピック・パラリンピックで

の日本人選手団入賞や記録の更新などの活躍によって、現在、陸上界は盛り上がりを見せており、スポーツ科学を競技へとさらに生かしていくことが研究と実践のより良いサイクルを実現していくために必要になり、今後の日本陸上競技界の競技力向上に向けて、本大会を実践研究の大きな学びの場にしてほしいとお言葉をいただいた。

本学会の達成すべき目標として「トレーニングやコーチング現場で生じる諸問題について科学的解明とその研究成果を活動現場に還元するということで、競技力の向上に資することを目的とする」と示されている。私は両先生のお話から、本学会の目標の達成のためには、実践研究の促進が必要不可欠であると感じた。これまで多くの研究者によって積み重ねられてきた科学的解明の土台のもとに、実践研究を促進していくことで、相互の関係がより強固になり、より良い研究と実践のサイクルとなって、日本陸上競技の発展につながっていくのではないかとと思われる。以上のことから、実践の土台となる根拠と研究の仮説となる実践の双方向からの議論が必要であると感じた。



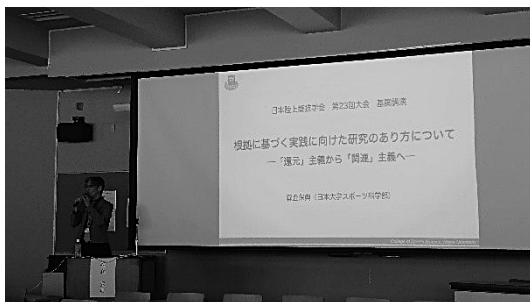
III. 基調講演

基調講演は「根拠に基づく実践に向けた研究のあり方

について～還元主義から関連主義へ～」というテーマのもと、本学会理事長である森丘保典先生（日本大学）よりご講演をいただいた。昨今、体育・スポーツ科学に関連する学術雑誌において、今大会のテーマにもなっている「実践に関する研究」の定義や射程は極めて多様かつ曖昧となっている。一方で、その多様かつ曖昧な定義づけが実践研究の特性や現状を表しているとも捉えられることから、陸上競技学の実践研究を促進するうえで、改めて、その特性や現状を議論する事が必要であると思う。

森丘先生のお話でまず印象に残った点として、スポーツ現場では、研究によって得られた客観的に数値化できる量的な事象である「科学的根拠」だけでなく、選手や指導者の意図や意識、感覚や感触などの「価値観」が同居した状態となっていることから、スポーツ現場で発生した事象を精度よく観察・分析するためには最適な方法の選択や組み合わせが必要である。また、人間は「普遍性」を持つと同時に「個別性」を持ち合わせていることから、従来型の「普遍性を追求する研究（自然科学的アプローチ）」と、それだけでは解明できない「個別性の問題を追究する研究（人間科学的アプローチ）」の両側面からの検討が必要である。このことについて、陸上男子400mH選手の事例を参考に紹介していただいた。また、実践的研究を行う上で、〈正しい〉には強いが〈新しい〉には弱い「演繹」と、〈新しい〉には強いが〈正しい〉には弱い「帰納」を組み合わせた仮説演繹法を用いた2方向からのアプローチを組み合わせることで、「科学的根拠と価値観」、「個別性と普遍性」、「質と量」などの二項対立の超克にむけ、「還元」主義から「関連」主義へと研究の蓄積と体系化を目指すことが必要であるとお話があった。

以上のことから、今後、陸上競技学において実践研究を促進していくにあたり、実践研究の蓄積によって構築された領域固有の理論の研究者への共有による精緻化や新たな実践研究への発展は非常に重要であるが、研究者だけでなく、コーチやアスリートなどを含んだ多くの者への共有、実践研究においては実践研究に対する問題意識、他者理解を得るための理論構築と提示が非常に重要であると考えられる。このことから実践研究を促進していくという目標を達成するためには、その方法そのものを探求していくプロセスが不可欠であると感じた。



IV. シンポジウム I

森丘先生の基調講演に続いて、シンポジウムIが「現場での実践と研究の在り方について」というテーマのもと、運動生理学の狩野豊先生（電気通信大学）、障害者スポーツの近藤克之先生（日本大学）、陸上競技コーチングの林陵平先生（岐阜大学）、コーディネーターに本学会副理事長の木越清信先生（筑波大学）にご登壇いただき、実践に向けた仮説の提案と現場での実践についての議論が行われた。

森丘先生の基調講演でもお話しいただいたように、「仮説」には自然科学的なアプローチと人間科学的なアプローチを組み合わせた双方向からのアプローチが重要である。本講演では狩野先生は運動生理学の専門家として、近藤先生は障害者スポーツの専門家として、林先生は陸上競技の専門家として、それぞれのお立場から実践に向けた仮説についてお話をいただいた。

狩野先生からは「筋収縮-弛緩サイクルとランニングパフォーマンス」をテーマにお話をいただいた。

運動時の筋収縮-弛緩サイクルについて、筋の収縮-弛緩が繰り返された際、筋収縮速度の低下は少ないが、筋弛緩速度については大きく低下していくため、弛緩速度の低下がランニングパフォーマンス低下に大きな影響を及ぼしていると考えられる。また、筋を収縮させることは意識的にコントロールすることが比較的容易であるが、筋を弛緩させることについては意識的にコントロールすることが難しいため、現場のコーチングで頻繁に利用される「リラックス」というアドバイスが有効ではない場合があることや、テーピングを例に、トレーニング量・休息量と筋収縮機能の関係性、動きのキレは活動量によってのみ変化することなどについて非常に興味深い内容をお聞きすることができた。

近藤先生からは「パラ陸上競技における実践とその展開」をテーマにお話しをいただいた。

パラアスリートはその特性上、障害の種類や差による、個別性が非常に高く、運動生理学的なアプローチやバイオメカニクスのアプローチに大きな個人差があるため、コーチと選手のトレーニングや指導についてのすり合わせが非常に難しいことや、トレーニングのパターン化・最適化には非常に多くの時間を有することについてお話があった。一方で、パラアスリートの実践研究のデータを蓄積させていくことによって、パラアスリートの指導から得た個別性の非常に高い知見については健常者のアスリートの指導に活用していくことが出来る点もあるのではないかという興味深い内容であった。

林先生からは「赤松選手へのコーチングの事例」をテーマにお話をいただいた。

バリオリンピック5位入賞を果たした赤松諒一選手へのコーチングを例に、怪我による手術前後のトレーニング内容の変化について実践的な内容のお話であった。特

に、怪我後の取り組んだフィジカルトレーニングや跳躍技術のトレーニングについて一般的なトレーニング論も重要であるが、一般的なトレーニング論が個人への指導において必ず有効であるとは限らず、指導を行うアスリート個人のデータから個を重要視したトレーニング内容の仮説を行うことの大切さについて知ることができた。

3名の先生方のお話から、データの蓄積によってトレーニングの一般化や現場での活用へとつながっていくことや、現場では一般的なトレーニング論だけでなくアスリートの個性を大切にしたいトレーニング指導実績の蓄積によって、研究と実践のサイクルをより強固にしていくことで今後の実践研究に向けたより質の高い仮説の提案につながっていくのではないかと考える。



V. 一般研究発表〈口頭発表（実践研究）〉

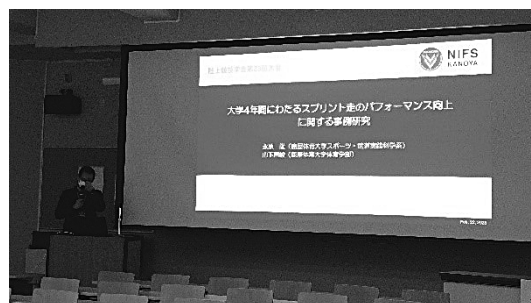
木越先生が座長を務める一般研究発表〈口頭発表（実践研究）〉では、今大会のテーマにもなっている実践研究について、永原隆先生（鹿屋体育大学）、二見優輝先生（筑波大学）、青山清英先生（日本大学）による発表が行われた。

永原先生からは短距離選手を対象としたスプリントパフォーマンスについての事例を、二見先生からは中距離選手を対象にマーク走によるグレーティング能力の改善についての事例を、青山先生からはハードル走初心者を対象としたハードル走指導の事例について実践研究の発表があり、実践的な場面において、指導者と対象者のトレーニングや学習内容の理解度について相互の理解を深めることの重要性について示された。相互の理解を深めるための具体的な方法について、定期的な測定や図、メモとして経験・能力の記録を残す作業を行うことで、対象者は現在の自身の課題や欠点の発見や理解が進み、指導者側も対象者の主観的・感覚的な情報の理解ができるようになり、対象者の理解度や能力に応じた適切な課題の提示や目標の設定を行うことができるようになるのではないかと発表があった。

これらのことから、実践研究を進めていくことは新たなトレーニング方法論や指導方法の確立、発展につながって行くのではないかと考える。

今回の発表から、実践的な場面において定期的な測定

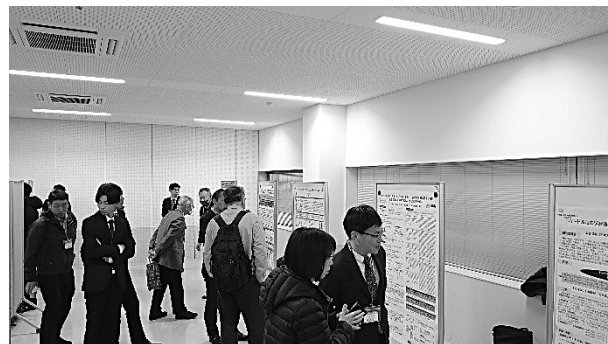
などを活用することによって、現在の対象者の能力に合わせた指導をおこなうとともに、既存のトレーニング論の活用だけでなく、個人に応じた個性の高い適切なトレーニングを合わせて行っていくことが、今後、日本の陸上競技学の発展や競技力を向上させていくため重用であることの確認ができた。



VI. ポスター発表

一般研究発表〈口頭発表（実践研究）〉の後には、教室を移しポスターの研究発表が行われた。今年学会では、19演題の発表が行われた。今大会でも前回大会に引き続き口頭による数分間の発表は行わず、研究発表に設けられた1時間のあいだ、興味関心のある演題について各地で活発な議論が展開されていた。前回大会と同様に自由に動ける時間が多かったことから、発表者が自身の研究と関連の深い他の研究について相互に話し合う姿も見られ、非常に満足感の高い時間になったのではないかとと思われる。

また、発表内容については、走・跳・投種目におけるバイオメカニクス研究や、運動生理学、トレーニング学、コーチング学など幅広い観点から陸上競技について議論が行われていた。フリーのポスター発表では上記のように、様々な分野の見分を得る絶好の機会であり、自身の専門分野だけでなく、多角的な視点で陸上競技のパフォーマンスについて議論を行うことができる機会となるため、参加者が今後より質の高い実践研究を行っていくためのきっかけとなるのではないかと感じた。



VII. おわりに

以上のように、本学会大会の1日目のプログラムでは、

実践研究の促進に向けた議論が活発に行われる場となった。また、本学会大会におけるプログラム以外の側面について特筆すべき点を挙げるとするならば、ポスター発表を行ったブースから階段を降りてすぐの場所にフリースペースと企業展示ブースが設けられ、いつでも休憩や研究についての議論ができるような動線となっており、企業展示ブースでは前回大会に引き続き、無料でコーヒーの配布も行われていたため落ち着いて意見交換がで

きる場となっていた。私は学会大会に実際に参加しなければ得ることができない経験があると思っており、特に自身の専門分野以外の知見を得ることができる点や、その場での意見交換や議論が行うことができる点があると思う。今大会では、そのような活発な意見交換や学びに行く姿が各所で見られたことから、非常に充実した大会1日目になったのではないかと考え、より一層の陸上競技学の発展を期待し本稿を締めくくる。

〔日本陸上競技学会第23回大会〕

共催：公益社団法人日本学生陸上競技連合・仙台大学

傍聴記（大会2日目）

郷内 翔（仙台大学大学院スポーツ科学研究科）

1. はじめに

本稿は、前項に続き学会大会2日目における講演内容、大会の様子や所感について報告させていただく。



2. 一般研究発表〈口頭発表〉

学会2日目は、一般研究発表〈口頭発表〉から開始された。発表会場は仙台大学B棟103教室および104教室に設置され、合計18演題の発表が行われた。研究テーマは多岐にわたり、日本国内のみならず、国際的な陸上競技界における競技力向上に寄与する研究が数多く報告された。

セッション1では、日本と世界の各世代における競技レベルの推移を比較検討する研究、日本国内における陸上競技の技術向上を目的としたバイオメカニクス的研究、さらには工学分野の知見を陸上競技のトレーニングに応用する試みについての発表が行われた。特に、リレー種目のバトンパスを精緻に分析可能とする工学的分析ツールの開発に関する研究は、バトンパス技術の向上および他チームとの比較分析を可能にする点で実用的な示唆を与えるものであった。発表後の質疑応答では、過去に類似の課題が指摘された事例の紹介や、部活動におけるトレーニング時間の確保に関する実務的な課題について活発な議論が交わされた。

セッション2では、運動生理学および医学領域に関する研究発表が多数見られた。運動生理学の分野では、イミダゾールペプチド摂取が無酸素性運動パフォーマンスに及ぼす影響や、マラソン競技中の血糖変動に関する研究成果が報告された。これらの研究は、運動生理学のエ

ネルギー代謝や持久力向上の観点から、競技パフォーマンスの最適化に向けた科学的知見を提供するものであった。

一方、医学領域においては、大学女子陸上中長距離選手における外傷や障害の発生状況に関する研究が発表され、スポーツ外傷の予防に関する有益な示唆が得られた。



セッション1およびセッション2で発表された研究が、今後どのように現場に応用され、具体的なトレーニング方法として確立されるかが重要であると考えられる。昨日の森丘保典氏の言葉をお借りするならば、これらの研究成果を基に、実践研究から得られた科学的根拠に基づいた練習法の確立が求められるであろう。

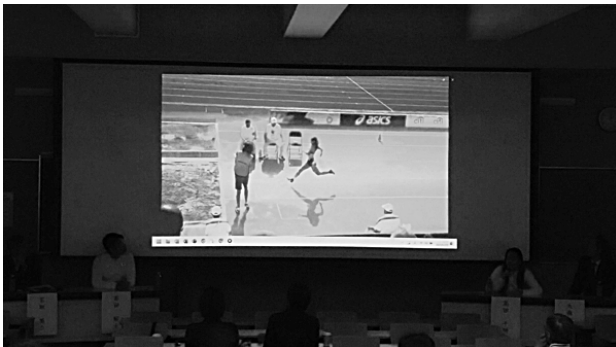
3. シンポジウムⅡ：陸上競技における障害者アスリートの競技活動とコーチング

一般研究発表〈口頭発表〉後に会場をB棟の300教室に変えて、シンポジウムⅡが行われた。テーマは陸上競技における障害者アスリートの競技活動とコーチングとされ、シンポジストは高田裕士氏（トレンドマイクロ



株式会社), 高田千明氏 (ほけんの窓口グループ), 大森盛一氏 (アスリートフォレストトラッククラブ), 名取英二氏 (仙台大学), 藤田紀昭氏 (日本福祉大学) が登壇した。

まず初めに, 我が国のパラリンピックやデフリンピックなどの障害者スポーツの歴史や現状について藤田氏からお話をいただいた。国内外のパラスポーツの広がりや, 国内の人々がパラリンピックへの関心が高まっていることを学んだ。次に, 高田夫妻が競技の紹介や実際に競技に使用する道具, 競技に取り組む心情を語った。私は, 視覚や聴覚に障害のある方の競技及び練習の映像を初めて目の当たりにしたが, 様々な苦労や恐怖に耐え, 競技に挑戦している姿は, 障害の有無に関わらず, アスリートとして素晴らしいものだと感じた。また, 選手目線から, どのような応援の仕方が望ましいのか, 日常生活とトレーニングの工夫などのディスカッションが展開された。



次に障害者アスリートを指導するコーチたちの「伝え方」に関する話題にも焦点が当てられ, ここでは伝える工夫の素晴らしさを実感する場面が多かった。特に, 視覚障害や聴覚障害を持つアスリートに対して, どのようにリズムを伝えるか, また, パラ陸上競技の特性を踏まえたトレーニングの工夫が紹介された。言葉だけではなく, ジェスチャーや触覚的なフィードバックを活用した指導方法や, 個々の選手の特性に合わせたコミュニケーション手法が実践されていることが分かった。これらの取り組みを通じて, 日本の障害者アスリートの可能性がさらに広がることを実感し, 合わせて指導の在り方について深く考えさせられる機会となった。

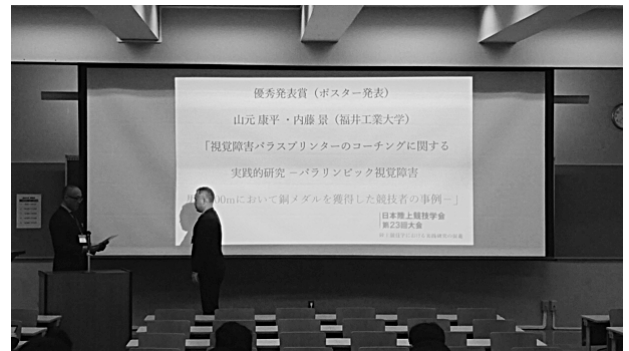
このシンポジウムⅡを通して, 日本の障害者スポーツの可能性と, その発展を支えるコーチの役割の大きさを改めて認識した。障害の有無に関わらず, スポーツを通じて可能性を広げるためには, 環境や指導方法の工夫が欠かせないことを実感した。

4. 閉会

本大会では, 口頭発表の優秀発表賞として永原隆氏 (鹿屋体育大学) の「大学4年間にわたるスプリント走

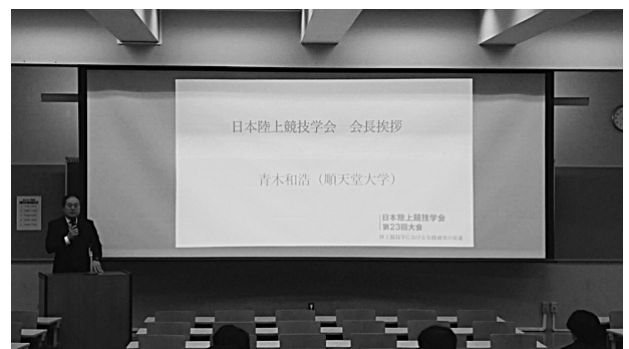
のパフォーマンス向上に関する事例研究」が選ばれ, ポスター発表の優秀発表賞に山元康平氏と内藤景氏 (福井工業大学) の「視覚障害パラスプリンターのコーチングに関する実践的研究～パラリンピック視覚障害男子100mにおいて銅メダルを獲得した競技者の事例～」が選ばれた。また, 優秀論文賞には前田奎氏, 加藤忠彦氏, 水島淳氏, 山本大輔氏の「投てき動作前半の円盤速度はパフォーマンスと関係するのか?」が選ばれた。本大会は, どの研究も実践的で, 陸上競技の現場への指導や練習などの応用が期待されるものばかりであり, 今後の日本の陸上競技発展に寄与する内容だと感じた。

青木和浩氏のご挨拶では, 口頭発表における議論の重要性が強調されるとともに, 本大会においてパラアスリートを招へいし, 障害者スポーツとの関わりを深める



新たな取り組みが有意義であったことが述べられた。さらに, 競技力向上のみならず, 運動が困難な子どもたちへの指導方法を模索する必要性についても言及された。加えて, 本学会が多様性を尊重し, より多くの人々が参加できる場となることを目指していることを述べられた。青木氏のご挨拶を通して, 本大会が単なる競技力向上の場にとどまらず, より広い視点でスポーツのあり方を考える場であることを実感した。障害者スポーツとの関わりや, 多様な人々が参加できる学会を目指している点が印象的であった。

最後に本学会大会は, 20年ぶりの仙台大学での開催であったが, 次年度の学会大会は, 筑波大学で開催される。北関東の地で陸上競技の発展と普及の多くの議論がなされることを期待し, 本稿を締めくくる。



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 1 口 2 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「総説」陸上競技およびこれに関連する分野に関する先行研究を集め、体系立ててまとめ、その分野の概説や研究動向、今後の展望を示した論文。
 - ②「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。
 - ③「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。
 - ④「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。
 - ⑤「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。

⑥「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。

⑦「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。

⑧「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。

〒157-8565 東京都世田谷区北烏山 8-19-1

日本女子体育大学

体育学部 スポーツ科学科

大橋祐二

TEL : 03-3300-2258（代表）

E-mail : ohashi.yuuji@jwcpe.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, その後にコロンの(:)
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.

(様式1)

日本陸上競技学会誌 COI自己申告書

著者名：_____

論文題目：_____

(著者全員について、投稿時から遡って過去2年間以内での発表内容に関する企業・組織または団体とのCOI状態を記載)(本COI自己申告書は論文掲載後2年間保管されます)

項 目	該当の状況	有であれば、著者名：企業名などの記載
① 報酬額 1つの企業・団体から年間100万円以上	有 ・ 無	
② 株式の利益 1つの企業から年間100万円以上、 あるいは当該株式の5%以上保有	有 ・ 無	
③ 特許使用料 1つにつき年間100万円以上	有 ・ 無	
④ 講演料 1つの企業・団体からの年間合計50万円以上	有 ・ 無	
⑤ 原稿料 1つの企業・団体から年間合計50万円以上	有 ・ 無	
⑥ 研究費・助成金などの総額 1つの企業・団体からの研究経費を共有する所属部局（講座、分野あるいは研究室など）に支払われた年間総額が200万円以上	有 ・ 無	
⑦ 奨学（奨励）寄付などの総額 1つの企業・団体からの奨学寄付金を共有する所属部局（講座、分野あるいは研究室など）に支払われた年間総額が100万円以上	有 ・ 無	
⑧ 企業などが提供する寄付講座 (企業などからの寄付講座に所属している場合に記載)	有 ・ 無	
⑨ 旅費、贈答品などの受領 1つの企業・団体から年間5万円以上	有 ・ 無	

誓約:私の利益相反に関する状況は上記のとおりであることに相違ありません。なお、本申告書の内容は、社会的・法的な要請があった場合は、公開することを承認します。また本申告書を電磁的に本学会事務局にて保管することに承認し、電磁的に保管されたものを正本とすることに同意します。

(申告日)西暦 年 月 日

論文筆頭者(署名): _____

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」に掲載された最も優れた論文に対して授与する。ただし総説は除く。
- 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.（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一篇を推薦することができる。候補論文の推薦は、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、会長に通知する。

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、推薦された論文および一般発表を参考にしながら、「学会賞」候補論文を一篇および「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。
- 2 本規定は、令和6年12月22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 大橋 祐二
委員 伊藤 信之
委員 鯉川なつえ
委員 藤林 献明
委員 眞鍋 芳明

※敬称略

編集後記

日本陸上競技学会第23回大会が20年ぶりに仙台大学で開催されました。本大会のテーマであった「陸上競技学における実践研究の促進」は、本学会誌の編集方針とも深く関わる重要な課題です。競技現場での経験と科学的知見を結びつけることで、より実践的で有益な研究が生まれ、陸上競技の発展に貢献できると考えます。

さらに、同大会の優秀発表賞には、永原隆先生（鹿屋体育大学）による「大学4年間にわたるスプリント走パフォーマンス向上に関する事例研究」と山元康平先生（福井工業大学）による「視覚障害パラスプリンターのコーチングに関する実践的研究—パラリンピック視覚障害男子100mにおいて銅メダルを獲得した競技者の事例—」が選ばれました。事例および実践研究が優秀発表賞を受賞したことは、こうした研究の重要性が高

まっていることを象徴する出来事といえます。

2025年には再び東京で世界陸上が開催されます。1991年の東京大会を機に陸上競技の科学が大きく発展したことは、スポーツ科学の研究者にとって記憶に新しいところです。2025年大会は、1991年大会から現在に至るまでに陸上競技の科学がどれだけ進化したかを示す絶好の機会となるでしょう。また、これまでの研究によって蓄積された実践知が、どのようにパフォーマンスやコーチングに活かされるのかにも注目が集まります。

本誌では、原著論文3編、研究資料2編、事例報告3編を掲載しました。今後も学会員の皆様による実践と研究の架け橋となる論文のご投稿をお待ちしております。

（編集委員長 大橋祐二）

陸上競技学会誌 第23巻（Vol.23, 2025）

2025年3月31日発行

発行人 青木和浩

編集人 大橋祐二

発行所 日本陸上競技学会

〒150-8366 東京都渋谷区渋谷4-4-25

青山学院大学教育人間科学部

小木曽研究室内

日本陸上競技学会事務局

TEL：03-3409-8579

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