

【原著論文】

10000 m 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

黒崎 渥矢¹⁾, 阿江 通良²⁾, 新垣 太世³⁾, 沼津 直樹⁴⁾, 杉田 正明²⁾

¹⁾ 日本体育大学大学院体育学研究科体育学専攻博士後期課程体育科学学位プログラム

²⁾ 日本体育大学コーチング系

³⁾ 日本体育大学大学院体育学研究科体育学専攻博士後期課程コーチング科学学位プログラム

⁴⁾ 日本体育大学大学院体育学研究科体育学専攻

Changes in running motion types of male distance runners in 10000 m races

KUROSAKI Atsuya, AE Michiyoshi, ARAKAKI Taisei,
NUMAZU Naoki and SUGITA Masaaki

Abstract: The purpose of this study was to investigate running motion types of Japanese male distance runners in official 10000 m races from viewpoint of logarithmic step length and step frequency and changes in the running motion types from the first half to the second one of the races. Two-dimensional motion analysis technique with a single video camera operating at 120 Hz was used to calculate the running kinematics of eighteen elite and sixteen student male distance runners. The cluster analysis with the Ward' method was employed to classify the running motion types of the runners. The running type for each runner was compared at 4150 m and 8150 m marks of the races. The major results were as follows.

- 1) Three running motion types classified were step length type (SL-type), step frequency type (SF-type) and mid-type (Mid-type).
- 2) Twenty runners as Transition-type changed their running motion in progress of the races and fourteen runners as Stationary type did not significantly change their running motion types.
- 3) The logarithmic SL ratio was smaller and the logarithmic SF ratio was larger for the SF-type and mid-type, while the logarithmic SL ratio was slightly larger for the mid-type than for the SF-type. On the other hand, the SL-type had a large logarithmic SL ratio and a small logarithmic SF ratio.
- 4) While ten out of Elite runners achieving good records in the races were the Transition-type from SF-type or Mid-type to SL-types, 12 of 16 student runners belonged to the Stationary type of SF-type or Mid-type.
- 5) Most of the student-athletes belonged to the Stationary type, which had a small logarithmic SL ratio and a large logarithmic SF ratio. In addition, they were not able to reduce their step length sufficiently in the latter half of the race, resulting in a significant decrease in running speed. Therefore, student-athletes should learn running techniques to make their step length longer: 1.11 to 1.13 times of the height.

要旨: 本研究の目的は、公式の10000m走のレースにおける日本人男子長距離走選手の走動作タイプを対数ステップ長比および対数ステップ頻度比を用いて、レース前半と後半における走動作タイプの変化を明らかにすることである。2次元動作分析法を用いてビデオカメラを120Hzに設定し一流男子選手18名と学生男子選手16名の走動作の分析を行った。また、タイプ分けにはward法を用いたクラスター分析により走動作のタイプを分類し、4150m地点と8150m地点での各走者の走法を比較した。

結果は以下のとおりである。

- 1) 走動作のタイプは、ステップ長タイプ (SL)、ステップ頻度タイプ (SF)、中間タイプ (Mid) の3種類に分類された。
- 2) レースの進行に伴って走動作タイプが変化した走者 (移行型) は20名、走動作タイプが変化しなかった走者 (固定型) は14名であり、移行型の方が多かった。

- 3) SF-type および Mid-type では、対数 SL 比が小さく、対数 SF 比が大きかったが、Mid-type では対数 SL 比が SF-type よりやや大きかった。一方、SL-type では対数 SL 比が大きく、対数 SF 比が小さかった。
- 4) レースで好記録を示した一流選手のうち 10 名が SF-type または Mid-type から SL-type へのタイプ移行型であるのに対し、学生選手 16 名のうち 12 名が SF-type または Mid-type のタイプ固定型に属していた。
- 5) 学生選手の多くは固定型に属しており、対数 SL 比は小さく、対数 SF 比は大きかった。また、レース後半においてステップ長の低下を十分に抑えることができなかつたため、走速度の大きな低下を招いていた。したがって、学生選手にはステップ長を大きくできる（身長 1.11～1.13 倍）走動作を身に付けることが薦められる。

(Received: October 11, 2022 Accepted: January 10, 2023)

Key words: distance running, running motion type, step length, step frequency

キーワード: 長距離走, 走動作タイプ, ステップ長, ステップ頻度

1. 緒 言

陸上競技長距離走（以下、長距離走）は、決められた長い距離をいかに短い時間で走るかを競うものであり、大きな走速度を獲得するだけでなく、なるべく大きな走速度をレース距離にわたって維持することが重要である（金原, 1976, p.447; 榎本・阿江, 2007; 門野, 2015; 丹治, 2016）。また、高い心肺持久力やラストパートでの競り合いに勝つための瞬発力も必要であり、長距離走種目の成績には様々な要素が影響している（日本陸上競技連盟, 2018）。

長距離走の走動作について、金原（1976, p.466）は、長距離走でも走動作やペース配分などの技術的側面も重要であると述べている。また、竹田ほか（2004）は、長距離走技術の習得や改善を目的としたトレーニングの重要性を指摘している。仲村ほか（2022）は、「長距離走は様々な局面に分けられ、疾走前半の局面では、良いフォームでランニングの経済性も良く、疾走後半局面においては、運動効率が悪くなり、エネルギーロスが生まれ、走速度の低下に繋がるとコーチング現場では考えられている」と述べている。これらのことから、長距離走において走動作は効率よく大きな走速度を獲得し、かつ走速度を維持する上で重要な要素であり、良い成績を残すうえでは無視できない要素である。

長距離走のバイオメカニクスの研究には、世界一流選手と日本人一流選手の走動作の比較（竹田ほか, 2004; 榎本・阿江, 2007; 横澤他, 2008）や国内外の一流選手の走動作の特徴（榎本, 2003）に関するものがあるが、その多くは対象選手をいくつかの群に分けて比較し、各群の特徴を明らかにしようとしたものであり、選手個々の特徴や走動作タイプ（ピッチ型、ストライド型など）について検討したものはない。

また、日本陸上競技連盟（2019）は、個々に応じた

指導の重要性について「競技者の個性性を重視し、ゴールを明確に定め、日本陸上界全体で各カテゴリーの専門的な知識と実践力のある指導者が適材適所で指導に当たるべきである」と述べている。金原（1976, p.165）は、「陸上競技は個人スポーツであって個人差を徹底して配慮していくことによって最大の効果があげられる。したがって、自分の指導している競技者のひとりひとりについて、あるいは条件のほぼ同じとみられる競技者を典型的にとらえて、それぞれの競技者に即した技術やトレーニング法を具体的につくる過程の中で陸上競技に関する知見やアイデアを生み出していく」と述べている。これらのことから、長距離走においても個性性を重視した指導が重要である。

選手の走動作を典型的に捉えた研究の多くは短距離走に関するものであり、走速度を獲得するためのストライドとピッチの組み合わせは様々であり、最適なピッチとストライドは選手によって異なると報告されている（Kunz and Kaufmann, 1981; Hunter et al., 2004; Schiffer, 2009; 豊嶋, 2017）。走動作のタイプについて、宮下ほか（1986）、阿江ほか（1994）は、世界一流短距離走選手の中でもピッチが高くストライドが小さいタイプ（以下、ピッチ型）および、ピッチが低くストライドが大きいタイプ（以下、ストライド型）に大別できると述べている。内藤ほか（2013）は、100 m レース中の加速局面の疾走動作を類型化し、ピッチ型、ストライド型、中間型のステップタイプに分類し、ステップタイプによって加速局面の疾走動態が異なることを示唆した。一方、長距離走においてもストライド（ステップ長）やピッチ（ステップ頻度）の関係は走速度によって変化することが知られている（Nummela et al., 2007）。杉田ほか（1995）は世界一流女子長距離走選手の分析を行い、世界一流女子長距離走選手はレース前半からレース後半にかけてストライドとピッチの両方を増加させて走速度を増加させ

ていたと述べている。榎本ほか (2010) は、世界一流男子長距離走選手と日本人一流男子長距離走選手の比較を行い、世界一流男子長距離走選手は世界一流女子長距離走選手と同様にレース前半からレース後半にかけてストライドとピッチの両方を増加させて走速度を増加させていたと報告している。また Quinn et al. (2021) は、効率的なステップ頻度についてランニングには最も効率的なステップ頻度があり、このことは効率の悪いランナーの走動作のトレーニング法に関連して重要な意味をもつと述べている。これらのことから、長距離走においても選手のステップ特性について研究し、走動作タイプを明らかにすることは効率的な走動作を指導する際に重要な視点を提示し競技力向上に役立つと考えられる。しかし、現在までにおいて走動作タイプの研究は短距離走選手に関するものがほとんどで、長距離走選手を対象としたものは見受けられない。

そこで、本研究の目的は、レース中の男子長距離走選手について対数を用いたステップ長比 (対数SL比) およびステップ頻度比 (対数SF比) に着目して走動作タイプを類型化するとともに、レース前半からレース後半の走動作タイプの変化を明らかにし、長距離走の指導を考えるための基礎的知見を得ることである。

2. 方 法

2.1 被験者

被験者は、第104回日本陸上競技選手権大会 (2020年12月、大阪) の男子10000mに出場した日本人一流選手18名 (身長: 1.71 ± 0.05 m, 体重: 54.1 ± 3.50 kg, 10000m記録: 27分45秒39±12秒46) および第281, 282回日本体育大学長距離競技会 (2020年11月, 12月, 神奈川) の男子10000mに出場したN大学駅伝部に所属する男子選手16名 (身長: 1.70 ± 0.06 m, 体重: 54.6 ± 4.90 kg, 10000m記録: 30分02秒47±45秒21) であった。撮影に先立って、研究の目的、方法などを示した文書を競技会運営責任者に提出し許可を得た。日本陸上競技選手権大会出場者に対しては大会主催者ならびに日本陸連科学委員会からの許可を得て行った。なお、本研究は日本体育大学大学院研究倫理審査委員会の承認 (第: 021-H194号) を得ている。

2.2 データ収集

陸上競技場のバックストレートの50m~60m地点 (10000mレースの4150m地点, 8150m地点) を疾走している被験者を1台のデジタルビデオカメラ (SONY社製, AX-700) を用いて撮影スピードを毎秒120コマ、シャッタースピードを1/1000秒に設定して側方か

ら撮影した。撮影範囲には、榎本ほか (2003, 2010) の方法を参考にして10000m走中のペースが安定し疲労の影響が少ない地点として4150m地点を、疲労の影響はあると考えられるがラストスパートの影響が少ない地点として8150m地点を選んだ。カメラは日本陸上競技選手権大会ではトラックの外側に、日本体育大学長距離競技会ではフィールドの内に高さ1.3mで設置した。

2.3 データ処理

被験者の走動作を2次元動作分析するため、撮影した映像から身体分析点23点をFrame-Dias VI (DKH社製) を用いてデジタイズした。得られた身体の2次元座標をトラック上に置いた2点の較正マークをもとに実座標に換算した。その後、Wells and Winter (1980) の方法により分析点ごとの最適遮断周波数 (8~15 Hz) を決定し、Butterworth digital filterを用いて平滑化を行った。また阿江 (1996) の身体部分慣性係数を用いて身体重心を算出した。

2.4 局面分け

局面は、走動作の1サイクルを左足に着目して接地時 (FS)、離地時 (TO)、逆足接地時 (CFS)、逆足離地時 (CTO) の時点で4つの局面に分けた。

2.5 測定項目および算出方法

①走速度

走速度はステップ長とステップ頻度の積とした。

②ステップ長

ステップ長 (以下, SL) は、1サイクル中の身体重心の水平変位を2等分したものとした。さらに、身体重心の水平変位から支持期距離、支持期前半距離、支持期後半距離、非支持期距離、非支持期前半距離、非支持期後半距離を算出した。

③ステップ頻度および各局面に要した時間

ステップ頻度 (以下, SF) は1秒間の歩数で、1歩に要した時間をコマ数から求め左右の平均値の逆数とした。さらに、支持時間、支持期前半時間、支持期後半時間、非支持時間、非支持期前半時間、非支持期後半時間を算出した。

2.6 タイプ分けの方法

走動作のタイプ分けには対数を用いたSL比およびSF比を以下の式で算出した。

$$\log(V) = \log\left(\frac{SL}{H} \times SF \sqrt{\frac{H}{g}}\right) \quad (1)$$

$$= \log\left(\frac{SL}{H}\right) + \log\left(SF \sqrt{\frac{H}{g}}\right) \quad (2)$$

$$1 = \frac{\log\left(\frac{SL}{H}\right)}{\log(V)} + \frac{\log\left(SF \sqrt{\frac{H}{g}}\right)}{\log(V)} \quad (3)$$

ここで、Hは選手の身長、Vは規格化された走速度、SLはステップ長、SFはステップ頻度、gは重力加速度である。また、式(3)の右辺第1項は対数SL比、第2項は対数SF比である。Figure 1は対数SL比と対数SF

比を4150 m地点のデータを例にしてプロットしたものである。

対数の性質によりプロットされたデータは一直線になる(山本, 2021, p.110)。また、対数を用いることで従来、SLとSFの積で表現していた走速度をSLとSFの和で表す(山本, 2021, pp.158-163)ことにより走速度を構成するSLとSFの割合に基づいてタイプ分けができると考えられる。

本研究では、被験者を走動作タイプで類型化するために、4150 m地点と8150 m地点での対数SL比および対数SF比を変量にしたWard法によるクラスター分析を行った。Figure 2および3は、クラスター分析をもとにタイプ分けを行った4150 m地点および8150 m地点のものである。

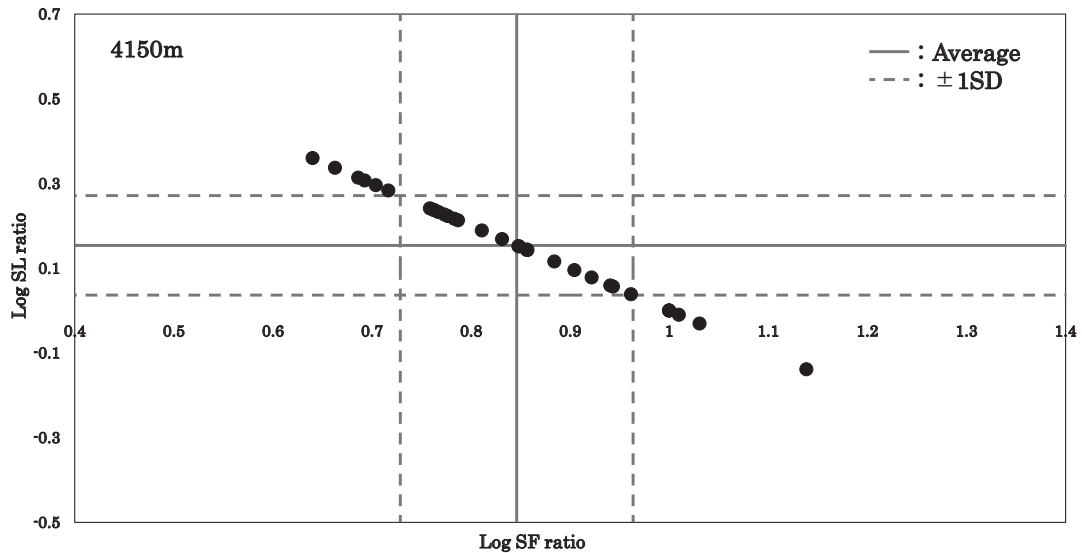


Figure 1 An example of logarithmic SF ratio and logarithmic SL ratio at 4150 m mark.

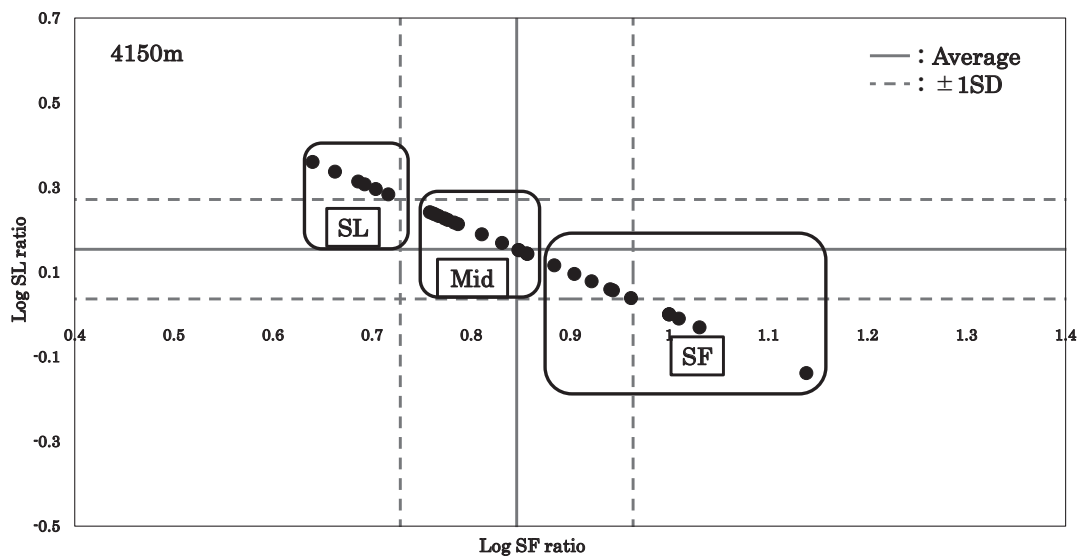


Figure 2 Logarithmic SL ratio and logarithmic SF ratio at 4150 m mark of the 10000 m races.

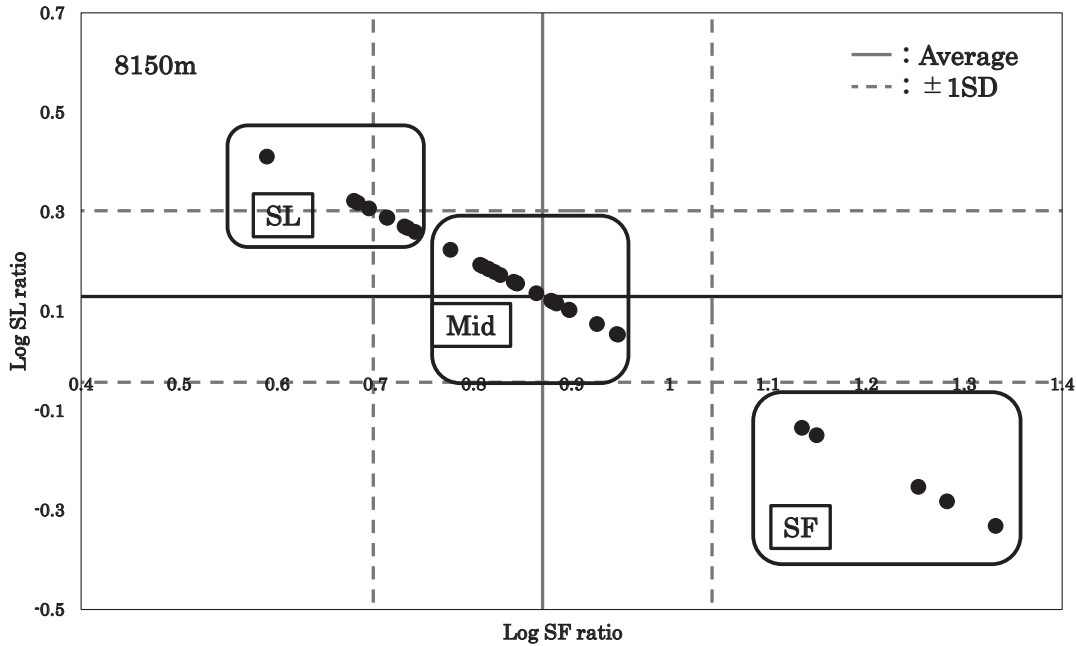


Figure 3 Logarithmic SL ratio and logarithmic SF ratio at 8150 m mark of the 10000 m races.

タイプ分けでは各地点（4150 m 地点, 8150 地点）での対数 SL 比および対数 SF 比の平均値±1SD 外に位置する選手をそれぞれ SF-type（ピッチ型）、SL-type（ストライド型）とし、それ以外を Mid-type（中間型）とした。

以上のようにタイプ分けしたのち、レースの前半と後半を比較して 4150 m 地点から 8150 m 地点までタイプの移行が生じなかった選手をタイプ固定型（SF-type (n=4), Mid-type (n=12), SL-type (n=4)）とし、タイプ移行が生じた選手をタイプ移行型とした。タイプ移行型のうち 4150 m 地点から 8150 m 地点にかけて SF-type から SL-type に移行した選手を SF-SL-type (n=2)、SF-type から Mid-type に移行した選手を SF-Mid-type (n=6)、Mid-type から SF-type に移行した選手を Mid-SF-type (n=1)、Mid-type から SL-type に移行した選手を Mid-SL-type (n=3)、SL-type から Mid-type に移行した選手を SL-Mid-type (n=2) とした。

統計解析は、各タイプ毎の 4150 m 地点と 8150 m 地点の差を検定するために Wilcoxon の符号付き順位検定を用い、全ての有意水準は 5% 未満とした。

3. 結果

3.1 走動作のタイプと変化について

Figure 2 および 3 の比較から、レース後半（Figure 3）ではステップ長、ステップ頻度ともに範囲が拡大していたが、ステップ頻度が大きくなる傾向があることがわかる。

Figure 4 は 4150 m 地点と 8150 m 地点でみられた走

動作タイプとその変化を示したものである。

タイプ固定型の SF-type は、学生選手 4 名であり、Mid-type は一流選手 4 名と学生選手 8 名、SL-type は一流選手 4 名であった。タイプ移行型の SF-SL-type は、学生選手 2 名、SF-Mid-type は一流選手 5 名と学生選手 1 名、Mid-SF-type は一流選手 1 名であった。Mid-SL-type は一流選手 3 名で、SL-Mid-type は一流選手 1 名と学生選手 1 名であった。

3.2 各タイプの performance descriptors

Table 1 は、固定型 SF-type (n=4) の 4150 m 地点と 8150 m 地点における走速度、ステップ長、ステップ頻度、およびこれらの構成要素（performance descriptors）を平均値と標準偏差で示したものである。

固定型 SF-type は 4150 m 地点と 8150 m 地点の performance descriptors には有意な変化はみられなかった。しかし、固定型であっても対数 SL 比は 4150 m 地点と比較して 8150 m 地点では小さくなる傾向がみられ、対数 SF 比は、8150 m 地点で大きくなる傾向がみられた。

Table 2 は、固定型 Mid-type (n=12) の 4150 m 地点と 8150 m 地点における走速度、ステップ長、ステップ頻度、およびそれらの構成要素を平均値と標準偏差で示したものである。

固定型 Mid-type は、4150 m 地点と比較して 8150 m 地点では、走速度、対数 SL 比、ステップ長、身長比ステップ長、非支持期距離、非支持期後半距離が有意に減少したが ($p < 0.05$)、対数 SF 比、支持時間、支持期

Running motion types				
4150m		8150m	Changes	N (Top, Student)
SF	→	SF	Stationary	4 (0, 4)
Mid	→	Mid	Stationary	12 (4, 8)
SL	→	SL	Stationary	4 (4, 0)
SF	→	SL	Transition	2 (0, 2)
SF	→	Mid	Transition	6 (5, 1)
Mid	→	SF	Transition	1 (1, 0)
Mid	→	SL	Transition	3 (3, 0)
SL	→	Mid	Transition	2 (1, 1)
				Total=34

Figure 4 Change in running motion types for the long distance runners in the 10000 m races.

前半時間は有意に大きくなった ($p<0.05$)。対数SL比と対数SF比の走速度に対する割合は4150m地点から8150m地点において対数SL比が小さくなり、対数SF比が大きくなった。

Table 3は、固定型SL-type ($n=4$)の4150m地点と8150m地点における走速度、ステップ長、ステップ頻度、およびそれらの構成要素を平均値と標準偏差で示したものである。

固定型SL-typeは4150m地点と8150m地点のperformance descriptorsに有意な変化はみられなかった。しかし、対数SL比は4150m地点と比較して8150m地点ではわずかに小さくなり、対数SF比は4150m地点と比較して8150m地点ではわずかに大きくなった。

次に、移行型について4150m地点を基準として移行後の変化をみることにする。移行型には、走速度が低下しなかったタイプと走速度の低下が大きかったタイプがみられた。

走速度があまり低下しなかったタイプ ($n=2$ のため統計的検討はできなかった)は、SF-SL-typeであった。Table 4に4150m地点と8150m地点における走速度、ステップ長、ステップ頻度、およびそれらの構成要素を平均値と標準偏差で示した。

SF-SL-typeの対数SL比は、4150m地点と比較して8150m地点では大きくなり、対数SF比は4150m地点と比較して8150m地点では小さくなった。一方、走速度の低下が大きかったタイプ (Table 5, 1例のみで統計的検討はできなかった)は、Mid-SF-typeであった。

MidからSF-typeへの移行は、対数SL比が4150m

地点と比較して8150m地点では小さくなり、対数SF比が8150m地点では大きくなったことによって生じていた。

4. 考 察

4.1 走動作のタイプと変化について

長距離走の走動作のタイプは、大きく分けてレース前半から後半にかけてタイプが変化しないタイプ固定型とレース後半においてタイプが変化するタイプ移行型に分けられることが示された (Figure 4)。杉田 (2000)は、中長距離レースで走速度を増加させる場合のピッチとストライド長の関係について5通りの方法があると述べており、走速度が低下しなかったタイプ移行型は5通りの方法の1つであったと考えられる。また、走動作タイプは走速度に対してステップ頻度が有意に関係するSF-type (Table 1)とステップ長が有意に関係するSL-type (Table 3)、どちらにもあてはまらないMid-type (Table 2)に分けられると考えられる。これらの類型化の結果は、短距離走 (内藤ほか, 2013)と同様に長距離走においても走動作がSF-type, Mid-type, SL-typeに分けられることを示すと考えられる。

①固定型SF-type ($n=4$)について

固定型SF-typeは、performance descriptorsに有意な変化はみられなかったが、4150m地点と8150m地点を比較すると走速度とステップ長、対数SL比は小さくなり、ステップ頻度、対数SF比は大きくなる傾向がみられた。このように、固定型SF-typeは、4150m地

Table 1 Performance descriptors of SF-type runners.

SF-type (n=4)				
Parameter		4150m	8150m	difference
Running velocity	(m/s)	5.32 ± 0.16	5.13 ± 0.18	n.s.
Logarithmic SL ratio		-0.02 ± 0.08	-0.25 ± 0.07	n.s.
Logarithmic SF ratio		1.02 ± 0.08	1.25 ± 0.07	n.s.
Step length	(m)	1.71 ± 0.09	1.63 ± 0.05	n.s.
SL/height		1.00 ± 0.02	0.95 ± 0.01	n.s.
Support distance	(m)	1.13 ± 0.08	1.08 ± 0.09	n.s.
First half of support distance	(m)	0.46 ± 0.04	0.48 ± 0.07	n.s.
Second half of support distance	(m)	0.66 ± 0.06	0.60 ± 0.04	n.s.
Non-support distance	(m)	0.59 ± 0.07	0.55 ± 0.12	n.s.
First half of non-support distance	(m)	0.21 ± 0.06	0.19 ± 0.05	n.s.
Second half of non-support distance	(m)	0.38 ± 0.03	0.36 ± 0.07	n.s.
Step frequency	(Hz)	3.10 ± 0.09	3.14 ± 0.12	n.s.
Step frequency ratio		1.30 ± 0.03	1.32 ± 0.04	n.s.
Support time	(s)	0.21 ± 0.01	0.21 ± 0.01	n.s.
First half of support time	(s)	0.09 ± 0.01	0.09 ± 0.01	n.s.
Second half of support time	(s)	0.13 ± 0.01	0.12 ± 0	n.s.
Non-support time	(s)	0.11 ± 0.01	0.11 ± 0.02	n.s.
First half of non-support time	(s)	0.04 ± 0.01	0.04 ± 0	n.s.
Second half of non-support time	(s)	0.07 ± 0	0.07 ± 0.01	n.s.

Mean ± SD

点と比較して8150 m地点では対数SL比が小さくなりステップ長が身長よりも小さくなった。したがって、固定型SF-typeはステップ長を小さくしステップ頻度を大きくすることで走速度を維持しようとしていたと考えられた。また、SF-typeは固定型の3タイプの中で唯一8150 m地点においてステップ頻度を大きくすることができたタイプであった。これらのことは、長距離走者のSF-typeの特徴の1つであると考えられる。

②固定型 Mid-type (n=12) について

固定型 Mid-typeは、4150 m地点と8150 m地点を比較すると、非支持期距離が小さくなったことでステップ長が小さくなり、支持時間、支持期前半時間が有意に大きくなったため、ステップ頻度が小さくなり、走速度が小さくなったと考えられる。このことから、固

定型 Mid-typeは4150 m地点と比較して8150 m地点では固定型SF-typeよりも対数SF比とステップ頻度が小さく、固定型SL-typeよりも対数SL比ならびにステップ長が小さくなることから固定型SF-typeと固定型SL-typeの中間的なタイプになると判断される。

③固定型 SL-type (n=4) について

固定型SL-typeは固定型の3タイプの中で対数SL比とステップ長が最も大きかった。また、4150 m地点と8150 m地点を比較すると走速度、ステップ長、ステップ頻度、対数SL比が小さくなり、対数SF比が大きくなった。このことから、固定型SL-typeは4150 m地点から8150 m地点にかけてステップ長、身長比ステップ長、支持期距離をわずかに小さくして走速度を維持しようとして試みたと考えられる。

Table 2 Performance descriptors of Mid-type runners.

Mid-type (n=12)				
Parameter		4150m	8150m	difference
Running velocity	(m/s)	5.72 ± 0.21	5.47 ± 0.23	**
Logarithmic SL ratio		0.20 ± 0.04	0.14 ± 0.05	**
Logarithmic SF ratio		0.80 ± 0.04	0.86 ± 0.05	**
Step length	(m)	1.81 ± 0.05	1.77 ± 0.04	**
SL/height		1.07 ± 0.01	1.04 ± 0.02	**
Support distance	(m)	1.06 ± 0.08	1.06 ± 0.09	n.s.
First half of support distance	(m)	0.45 ± 0.04	0.46 ± 0.06	n.s.
Second half of support distance	(m)	0.62 ± 0.05	0.60 ± 0.05	n.s.
Non-support distance	(m)	0.75 ± 0.09	0.70 ± 0.09	**
First half of non-support distance	(m)	0.28 ± 0.06	0.27 ± 0.04	n.s.
Second half of non-support distance	(m)	0.47 ± 0.05	0.43 ± 0.06	**
Step frequency	(Hz)	3.15 ± 0.10	3.09 ± 0.12	n.s.
Step frequency ratio		1.31 ± 0.04	1.29 ± 0.05	n.s.
Support time	(s)	0.19 ± 0.01	0.20 ± 0.02	**
First half of support time	(s)	0.08 ± 0.01	0.09 ± 0.01	**
Second half of support time	(s)	0.11 ± 0.01	0.11 ± 0.01	n.s.
Non-support time	(s)	0.13 ± 0.02	0.13 ± 0.02	n.s.
First half of non-support time	(s)	0.05 ± 0.01	0.05 ± 0.01	n.s.
Second half of non-support time	(s)	0.08 ± 0.01	0.08 ± 0.01	n.s.
Mean ± SD				**p<0.05

④移行型 SF-SL-type (n=2) について

移行型 SF-SL-type は、4150 m 地点と比較して 8150 m 地点では走速度、ステップ長、対数 SL 比などが大きくなり、ステップ頻度、対数 SF 比などが小さくなった。佐竹 (1985) が、走速度は主にストライドによって調節されていると述べているように、移行型 SF-SL-type は 4150 m 地点と比較して 8150 m 地点ではストライド長、対数 SL 比を大きくしステップ頻度、対数 SF 比を小さくし走速度を増加あるいは維持しようとしたと考えられる。

また、4150 m 地点では走速度へのステップ頻度の影響が大きかった。このことは、先行研究において高いピッチはランニングエコノミーを高くすると報告されている (Folland et al., 2017, Austin et al., 2018) よう

に、レース前半は、効率が良く無駄の少ない走動作をしていたと考えられる。8150 m 地点では、走速度へのステップ長の影響が大きかった。Ueno et al (2021) は、長距離走においてレースで高いパフォーマンスを発揮するためにはレース前半から後半にかけて平均ピッチを高くしストライドの低下を小さくする必要があると述べている。また杉田 (2000) は走速度を増加させるピッチとストライド長の関係の一つとしてピッチをわずかに減少させ、ストライド長をそれ以上に増大させることであると述べている。これらのことから、レース前半から後半においてステップ長を維持または大きくするという走動作タイプの変化は走速度の維持または増加に役立ち、長距離走において望ましい変化であったと考えられる。

Table 3 Performance descriptors of SL-type runners.

SL-type (n=4)				
Parameter		4150m	8150m	difference
Running velocity	(m/s)	5.87 ± 0.12	5.66 ± 0.12	n.s.
Logarithmic SL ratio		0.32 ± 0.03	0.30 ± 0.01	n.s.
Logarithmic SF ratio		0.68 ± 0.03	0.70 ± 0.01	n.s.
Step length	(m)	1.89 ± 0.01	1.86 ± 0.02	n.s.
SL/height		1.13 ± 0.02	1.11 ± 0	n.s.
Support distance	(m)	1.03 ± 0.02	0.99 ± 0.03	n.s.
First half of support distance	(m)	0.42 ± 0.02	0.41 ± 0.02	n.s.
Second half of support distance	(m)	0.60 ± 0.03	0.58 ± 0.02	n.s.
Non-support distance	(m)	0.87 ± 0.03	0.87 ± 0.04	n.s.
First half of non-support distance	(m)	0.35 ± 0.03	0.32 ± 0.03	n.s.
Second half of non-support distance	(m)	0.52 ± 0.01	0.55 ± 0.04	n.s.
Step frequency	(Hz)	3.10 ± 0.07	3.04 ± 0.04	n.s.
Step frequency ratio		1.28 ± 0.02	1.26 ± 0.02	n.s.
Support time	(s)	0.18 ± 0	0.18 ± 0	n.s.
First half of support time	(s)	0.07 ± 0	0.07 ± 0	n.s.
Second half of support time	(s)	0.10 ± 0	0.10 ± 0	n.s.
Non-Support time	(s)	0.15 ± 0	0.15 ± 0	n.s.
First half of non-support time	(s)	0.06 ± 0.01	0.06 ± 0	n.s.
Second half of non-support time	(s)	0.09 ± 0	0.10 ± 0	n.s.

Mean ± SD

⑤移行型 Mid-SF-type (n=1) について

移行型 Mid-SF-type は、4150 m 地点と比較して 8150 m 地点では走速度、ステップ長、ステップ頻度、対数 SL 比が小さくなった。8150 m 地点では、ステップ長を小さくすることでステップ頻度を大きくしたが、走速度は主にストライドによって調節されている(佐竹, 1985) ことから走速度の低下が大きくなったと考えられる。また、長距離走はレース後半でのステップ長の低下を小さくすることが重要 (Ueno et al., 2021) とされているが、8150 m 地点においてステップ長が小さくなったため走速度が小さくなったと考えられる。これらのことから、レース前半から後半においてステップ長の低下が大きい走動作タイプの変化は望ましくない変化であったと考えられる。

4.2 一流選手の走動作タイプについて

本研究では、2020 年の日本選手権に出場し好記録を出した日本人一流選手 (18 名) について走動作タイプを分析した。そのうち、固定型は SL-type (n=4), Mid-type (n=4) の 8 名であった。移行型では SF-Mid-type (n=5), Mid-SF-type (n=1), Mid-SL-type (n=3), SL-Mid-type (n=1) の 10 名であった。このように、一流選手ではレースの進行に伴ってタイプを変化させていたものがやや多いという傾向がみられた。なお、上述した望ましくない変化 (Mid-SF-type) を示したものが 1 名みられたが、多くの一流選手の対数 SL 比と対数 SF 比は、4150 m 地点と 8150 m 地点では変化がなかった。これは、一流選手は 4150 m 地点から 8150 m 地点においてステップ長とステップ頻度を変化させている

Table 4 Performance descriptors of SF-SL-type runners.

SF-SL-type (n=2)				
Parameter		4150m	8150m	difference
Running velocity	(m/s)	5.47 ± 0.02	5.65 ± 0.14	Not tested
Logarithmic SL ratio		0.09 ± 0.03	0.29 ± 0.03	Not tested
Logarithmic SF ratio		0.91 ± 0.03	0.71 ± 0.03	Not tested
Step length	(m)	1.71 ± 0.03	1.84 ± 0.05	Not tested
SL/height		1.03 ± 0.01	1.10 ± 0.02	Not tested
Support distance	(m)	1.06 ± 0.03	1.10 ± 0.05	Not tested
First half of support distance	(m)	0.48 ± 0.02	0.49 ± 0.06	Not tested
Second half of support distance	(m)	0.59 ± 0.05	0.61 ± 0.01	Not tested
Non-support distance	(m)	0.65 ± 0	0.74 ± 0.09	Not tested
First half of non-support distance	(m)	0.25 ± 0.07	0.29 ± 0.01	Not tested
Second half of non-support distance	(m)	0.39 ± 0.07	0.45 ± 0.08	Not tested
Step frequency	(Hz)	3.20 ± 0.04	3.08 ± 0	Not tested
Step frequency ratio		1.32 ± 0.01	1.27 ± 0.01	Not tested
Support time	(s)	0.20 ± 0	0.20 ± 0.01	Not tested
First half of support time	(s)	0.09 ± 0	0.09 ± 0.01	Not tested
Second half of support time	(s)	0.11 ± 0	0.11 ± 0	Not tested
Non-support time	(s)	0.12 ± 0	0.13 ± 0.01	Not tested
First half of non-support time	(s)	0.05 ± 0.01	0.05 ± 0	Not tested
Second half of non-support time	(s)	0.07 ± 0.01	0.08 ± 0.01	Not tested
Mean \pm SD				

ものの走速度に対する割合は変わらなかったことを示している。これらのことから、一流選手はステップ頻度の低下を最小限に抑え、ステップ長を大きくするか、ステップ長の減少を小さくして走速度を増す、あるいは維持していたと考えられ、杉田（2000）が示す走速度を増加させる場合のピッチとストライド長の関係と一致していたと考えられる。

4.3 学生選手の走動作タイプについて

学生選手（16名）については、固定型はSF-type (n=4)、Mid-type (n=8)、移行型はSF-SL-type (n=2)、SF-Mid-type (n=1)、SL-Mid-type (n=1)であった。学生選手の多くは8150m地点での対数SL比が小さくな

り、対数SF比が大きくなった。これは、学生選手はステップ長とステップ頻度に変化し、走速度に対しての割合も変化していたことを示している。Ueno et al. (2021)は、レースで高いパフォーマンスを発揮するためには、ストライドの低下を小さくすることが重要であると述べているが、学生選手の多くはステップ長の低下が大きかったため8150m地点での走速度の低下が生じたと考えられる。一方、SFからSL-typeへ移行したものはステップ長を大きくでき、走速度を微増できたと考えられる。

上述したような一流選手の走動作タイプとレース進行に伴う変化についての検討をもとにすると、学生選手には、タイプ固定型が多かったが、SF-typeからSL-

Table 5 Performance descriptors of Mid-SF-type runners.

Mid-SF-type (n=1)				
Parameter		4150m	8150m	difference
Running velocity	(m/s)	5.98	5.36	Not tested
Logarithmic SL ratio		0.14	-0.13	Not tested
Logarithmic SF ratio		0.86	1.13	Not tested
Step length	(m)	1.89	1.74	Not tested
SL/height		1.05	0.97	Not tested
Support distance	(m)	1.13	1.01	Not tested
First half of support distance	(m)	0.44	0.4	Not tested
Second half of support distance	(m)	0.69	0.61	Not tested
Non-support distance	(m)	0.76	0.73	Not tested
First half of non-support distance	(m)	0.25	0.27	Not tested
Second half of non-support distance	(m)	0.51	0.46	Not tested
Step frequency	(Hz)	3.16	3.08	Not tested
Step frequency ratio		1.35	1.32	Not tested
Support time	(s)	0.19	0.19	Not tested
First half of support time	(s)	0.08	0.08	Not tested
Second half of support time	(s)	0.12	0.12	Not tested
Non-support time	(s)	0.13	0.13	Not tested
First half of non-support time	(s)	0.04	0.05	Not tested
Second half of non-support time	(s)	0.08	0.08	Not tested

typeへ、SF-typeからMid-typeへ、Mid-typeからSL-typeへといったステップ長が大きいタイプの走動作を身につけることが薦められる。なお、本研究の結果 (Table 3) から、ねらいとする身長比ステップ長は疲労のない状態では 1.13 ± 0.02 、疲労時では 1.11 ± 0 程度が望ましいと示唆される。

本研究には次のような限界があると考えられる。すなわち、本研究の対象者は公式競技会第104回日本陸上競技選手権大会、第281、282回日本体育大学長距離競技会の男子10000mに出場した日本人男子長距離走選手であり、分析した走動作や走動作タイプにはレース展開や疲労による影響があると考えられる。また、生理学的測定は行っていないため本研究結果への生理

学的要因の影響については言及できない。したがって、これらとレース成績との関係を評価するためにはさらなる研究が必要である。

5. 結 論

本研究の目的は、レース中の男子長距離走選手について対数SL比と対数SF比に着目して走動作タイプを類型化するとともに、レース前半から後半の走動作タイプの変化を明らかにし、長距離走の指導を考えるための基礎的知見を得ることであった。

本研究の結果と考察から、以下のことがわかった。

- ① 走動作のタイプは、ステップ長タイプ (SL)、ステップ頻度タイプ (SF)、中間タイプ (Mid) の3種

- 類に分類された。
- ② レース進行に伴って走動作タイプが変化した走者（移行型）は20名、走動作タイプが変化しなかった走者（固定型）は14名であり、移行型の方が多かった。
 - ③ SF-type および Mid-type では、対数 SL 比が小さく、対数 SF 比が大きかったが、Mid-type では対数 SL 比が SF-type よりやや大きかった。一方、SL-type では対数 SL 比が大きく、対数 SF 比が小さかった。
 - ④ レースで好記録を出した一流選手のうち10名が SF-type または Mid-type から SL-type への移行型であった。
 - ⑤ 学生選手の多くは固定型であり、対数 SL 比は小さく、対数 SF 比は大きかった。また、レース後半においてステップ長の低下が大きかったため、走速度が大きく低下していた。
 - ⑥ 学生選手には、SF-type から SL-type へ、SF-type から Mid-type へ、Mid-type から SL-type へとといったステップ長が大きいタイプの走動作を身につけることが薦められる。なお、本研究の結果から、ねらいとする身長比ステップ長は疲労のない状態では 1.13 ± 0.02 、疲労時では 1.11 ± 0 程度が望ましいと示唆される。

謝 辞

本研究に協力して下さった対象者の皆様、コーチング学研究室の方々に深く感謝いたします。また一流長距離選手のデータの使用を快諾して頂きました、日本陸上競技連盟科学委員会および科学委員長の杉田正明氏に深くお礼を申し上げます。

文 献

阿江通良, 鈴木美佐緒, 宮西智久, 岡田英孝, 平野敬靖 (1994) 世界一流スプリンターの100 m レースパターンの分析—男子を中心に—. 世界一流競技者の技術. 第3回世界陸上競技選手権大会バイオメカニクス班報告書. 日本陸上競技連盟強化本部バイオメカニクス班編. ベースボールマガジン社: 東京, p.14-28.

阿江通良 (1996) 日本人幼少年およびアスリートの身体部分慣性係数. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 15(3): 155-162.

Austin, C. L., Hokanson, J. F., McGinnis, P. M., and Patrick, S. (2018) The relationship between running power and running economy in well-trained distance runners. *Sports*, 6(142): 1-10. (<https://doi.org/10.3390/sports6040142>)

榎本靖士 (2003) 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年度筑波大学大学院体育科学専攻博士論文.

榎本靖士, 阿江通良 (2007) 長距離走におけるパフォーマンスと走動作. *陸上競技学会誌特集号*, 36-40.

榎本靖士, 門野洋介, 法元康二, 鈴木雄太, 小山桂史, 千葉 哲 (2010) 長距離レースにおける世界一流選手の走動作の特徴. 世界一流陸上競技者のパフォーマンスと技術. (財)日本陸上競技連盟, pp.135-153.

Folland, J. P., Black, M. I., Handsaker, J. C., and Forrester, S. E. (2017) Running technique is an important component of running economy and performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 49(7): 1412-1423.

Hunter, J. P., Marshall, R. N., and McNair, P. J. (2004) Interaction of step length and step rate during sprint running. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 36(2): 261-271.

門野洋介 (2015) 800 m 走のレースパターンと走動作に関するバイオメカニクスの研究. 平成26年度筑波大学大学院体育科学専攻博士論文.

金原 勇 (1976) 長距離走. 金原勇編, 現代スポーツコーチ全集, 陸上競技のコーチング (I). 大修館書店: 東京.

Kunz, H and Kaufmann, D. A. (1981) Biomechanical analysis of sprinting: decathletes versus champions. *British Journal of Sports Medicine*, 15(3): 177-181.

宮下 憲, 阿江通良, 横井孝志, 橋原孝博, 大木昭一郎 (1986) 世界一流スプリンターの疾走フォームの分析. *Japanese Journal of Sports Sciences*, 5: 892-898.

内藤 景, 荻山 靖, 宮代賢治, 山本康平, 尾縣 貢, 谷川 聡 (2013) 短距離走競技者のステップタイプに応じた100 m レース中の加速局面の疾走動態. *体育学研究*, 58: 523-538.

仲村 明, 柳谷登志雄, 長門俊介, 志村雅文 (2022) 長距離走者の走速度低下とランニングフォーム変容の関連性について—加速度センサーを用いた Running Symmetry の活用—. *順天堂スポーツ科学研究紀要*, 12(1): 28-35.

日本陸上競技連盟 (2018) 中学校部活動における陸上競技指導の手引き, pp.23-25.

日本陸上競技連盟 (2019) 競技者育成プログラム—Accelerating JADM— 東京, そしてパリへ, p.28.

Nummela, A., Keränen, T., and Mikkelsen, L. O. (2007) Factors related to top running speed and economy. *International Journal of Sports Medicine*, 28(8): 655-661.

佐竹昌之, 池上晴夫 (1985) 長距離走におけるピッチとストライドの変化が走効率に及ぼす影響. *体育学研究*, 30: 231-239.

Schiffer, J. (2009) The sprints. *New Studies in Athletics*, 24(1): 7-17.

杉林孝法, 村木征人, 伊藤浩志 (2003) 全力疾走反復条件下におけるパフォーマンス動態. *スポーツ方法学研究*, 16(1): 27-37.

杉田正明, 松尾彰文, 小林寛道, 阿江通良, 伊藤 章 (1995) 女子10,000 m 走世界記録保持者の Running techniques—'94 アジア大会から—. *日本体育学会第46回大会組織委員会 (編) 日本体育学会第46回大会号*, p.379.

杉田正明 (2000) 中・長距離ランナーのピッチとストライドからみた走法について. *日本体育学会第51回大会組織委員会 (編) 日本体育学会第51回大会号*, p.90.

竹田幸平, 阿江通良, 榎本靖士, 横澤俊治 (2004) 日本一流女子長距離選手の走動作のバイオメカニクスの分析. 陸上競技学会誌, 2: 5-10.

Quinn, T.J., Demosey, S.L., LaRoche, D.P., Mackenzie, A.M., and Cook, S.B. (2021) Step Frequency Training Improves Running Economy in Well-Trained Female Runners. *the Journal of Strength and Conditioning Research*, 35(9): 2511-2517.

豊嶋陵司 (2017) : 短距離走の最大速度局面におけるピッチとストライドとのトレードオフの克服に関するバイオメカニクスの要因. 平成 29 年中京大学体育学研究科博士審査学位論文.

Ueno, H., Nakazawa, S., Takeuchi, Y., and Sugita, M. (2021) Relationship between Step Characteristics and

Race Performance during 5000-m Race. *Sports*, 9(131): 1-9. (<https://doi.org/10.3390/sports9090131>)

山本昌宏 (2021), 指数と表裏一体の「対数」, 山本昌宏 (監修), 東京大学の先生伝授文系のためのめっちゃやさしい対数. ニュートンプレス: 東京.

横澤俊治, 榎本靖士 (2008) 長距離走—世界一流選手走動作の特性. *体育の科学*, 58(11): 765-769.

<連絡先>

著者名: 黒崎渥矢

住 所: 東京都世田谷区深沢 7-1-1

所 属: 日本体育大学大学院体育学研究科体育学専攻博士後期課程体育科学学位プログラム

E-mail アドレス: 22sda03@nittai.ac.jp