

〈実践報告〉

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

—加速度センサを用いた Running Symmetry の活用—

仲村 明*・柳谷登志雄*・長門 俊介*・吉村 雅文*

Relationships of Long-distance runner's Decrease in speed and Change of running forms

—Practical utilization of Running Symmetry by using Accelerometer—

Akira NAKAMURA*, Toshio YANAGIYA*, Syunsuke NAGATO*
and Masafumi YOSHIMURA*

Abstract

本研究は、ランニングフォームの変化と走速度の関係を明らかにするため、加速度センサを用いた Running Symmetry と画像データから経済性を決定する因子の股関節可動域と接地時下腿角度の測定を行った。また、各疾走局面でランニングフォームの変容に対し考察した。

この Running Symmetry は走行時の左右の負荷バランスを測定する指標であり、コーチングの現場においては、選手のスクリーニングとして、走行時の変化の追跡やリハビリ過程での選手の改善に役立てることができる。方法は、鍛錬された長距離ランナー4名(5000 m 14分38秒68±9秒84, 10000 m 30分26秒71±10秒83)を対象とし、10000 m および20 km の最大努力走における疾走前半、中盤、後半局面の加速度データと画像データを収集した。得られた股関節可動域、接地時下腿角度、Footstrikes, Inbalance, ストライド長等の検討を行った。股関節可動域と接地時下腿角度は、10000 m 疾走後半に角度低減があったが、有意な差は見られなかった。Inbalance においても、10000 m 走後半に負荷差異が大きくなったが、有意な差は見られなかった。ウェアラブルデバイスの妥当性に関しては、10000 m 走時のストライド長の差が前半は3.9 cm/歩であったが、後半には10.8 cm/歩となり、ウェアラブルデバイスによる推定には至らなかった。一方、現場の指導者が感じているランナーの特徴を数値化できた。股関節可動域が小さく、下腿のキックに依存しているランナーが中盤以降、負荷差異が大きくなり、エネルギーロスが大きくなる可能性を加速度データが示したことは、コーチングの一助となった。

Key words: 長距離走者, ランニングの経済性, ウェアラブルデバイス

I. 緒 言

お家芸であった日本男子マラソンは、2020年現在で世界記録との差が3分50秒と大きく溝をあけ

られた(2000年時点では1分09秒)。このマラソンレース(42.195 km)は、スタートからフィニッシュまでの歩数が約26,000歩以上であり、一步一步の走運動から生じるエネルギーロス、および筋や関節など生体組織への負担を最小限にすることが需要であり、沢木ら⁶⁾は、長距離ランナーはランニングの経済性を上げることが重要としている。

榎本ら¹⁾²⁾は、走トレーニングで得られる最高心

* 順天堂大学スポーツ健康科学部

Faculty of Health and Sports Science, Juntendo University

責任著者: 仲村 明

E-mail: aknaka@juntendo.ac.jp

拍数や最大酸素摂取量，最高血中乳酸濃度など，生理学的な能力に関して，アフリカ系ランナーと日本人ランナーにそこまで大きな差は無いと報告している。

一方，形態に関しては，吉岡ら⁷⁾は NdamBiri 選手の大腰筋やハムストリングが日本人選手より大きく，下腿三頭筋および腓腹筋の横断面積が少ないとし，榎本ら²⁾はケニア人ランナーの下腿質量が小さく腱が長い，日本人ランナーは腓腹筋肥大傾向で腱が短いとしている。加えて，ケニア人は大腰筋が発達しており，キックした後，前方スウィング開始時に大きな屈曲トルクをタイミング良く発揮していると報告している。また，国正ら⁴⁾は，この走パフォーマンスに影響を及ぼす下腿の骨格・筋腱の形態的優位性はエリートランナーのみではなく，東アフリカ地域の形態的特徴であるという報告もある。

このケニア人ランナーと日本人ランナーに関して，ランニング時の股関節可動域（ストライド角）と接地時下腿角度に違いが指摘されている。この股関節可動域に関しては，アフリカ系ランナーは 100° 以上であるのに対し，日本人ランナーの多くは 70° から 90° であるとしている。また，接地に関しては，アフリカ系ランナーは膝関節が足関節よりも前方で接地しているのに対し，日本人ランナーは膝関節が足関節よりも後方で接地する傾向がみられる³⁾。この接地時下腿角度において，中雄ら⁵⁾は，5000 m 走の950 m，2550 m，4150 m 地点において，走距離が延びると接地角度と接地時間が増大すると報告している。このランニングフォームの違いによって，鉛直方向の重心移動が日本人ランナーはアフリカ系ランナーより大きく，1歩につき鉛直方向に2.5 cm のロスを生じさせることが示唆されている³⁾。

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，疾走後半の局面においては，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。このような局面において，ランナー自身は走速度の低減を防

止するため，良いランニングフォームを維持，もしくは修正することを意識することになる。長距離ランナーの走速度の低減に繋がるフォームの崩れの差異をウェアラブルデバイスにより客観的に数値化することで気づきが生まれ，課題を見出し，効果的なフォーム矯正を行えると考えた。

近年，ウェアラブルデバイスを用い様々な競技において総移動距離や速度，加速や減速，方向転換等のデータが活用されているが，単純な走運動である長距離走での研究は見当たらない。

そこで本研究では，長距離競技者の一般的なトラックレースにおける最長距離の10000 m 走に加え，学生長距離競技者の目標となっている箱根駅伝の走距離として20 km に設定し，ランニングフォームの変化と走速度の関係性を明らかにするため，加速度センサを用いた Running Symmetry と画像データから経済性を決定する因子の股関節可動域と接地時下腿角度の測定を行った。また，各疾走局面でランニングフォームの変容に対し検討した。

II. 方 法

1. 対象者

順天堂大学陸上競技部に所属する男子長距離ランナー4名を対象とした。対象者の特性を表1に示した。対象者の競技レベルは，5000 m 14分38秒68 ± 9 秒84，10000 m 30分26秒71 ± 10秒83と良く鍛錬されているアスリートである。

本研究はヘルシンキ宣言に則り，対象者には事前に研究の目的や手順，考えられる不利益や危険性について，口頭および文書で説明し，本人の意志により研究参加の同意を書面にて得た。また，研究を途中で離脱した場合にも不利益が生じないこととした。

2. 実験デザイン

測定方法は，カタパルト GPS システム（OptimEye S5, Catapult Sports 社）を装着し，10000 m 走（2月25日）と20 km 走（3月8日）を実施，加速度データから Running Symmetry（走行時の左右の負荷バランス指標），また，疾走前半・中盤・後半の各局面（10000 m : 1000 m 地点，5000

表1 被験者特性

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	5000m (分:秒)	10000m (分:秒)	特徴
A	21	163	60	14:25.43	30:25.23	下腿の振出が大きい
B	21	167	55	14:42.48	30:38.41	怪我が多い、上り得意
C	19	171	53	14:48.69	30:30.56	後半失速する
D	19	172	55	14:38.11	30:12.65	動きの崩れは少ない
平均	20	168.3	55.5	14:38.68	30:26.71	
標準偏差	1.15	4.1	2.9	0:9.84	0:10.83	

m 地点, 9000 m 地点, 20 km: 1 km, 2.5 km, 5 km, 10 km, 13 km, 15 m, 20 km) において, ビデオカメラ (ルミックス FZ300, パナソニック社, 120 fps) により撮影した。

得られた撮影画像から画像分析ソフト (Kinovea) を用い, 股関節可動域, 接地時下腿角度およびストライド長の結果を抽出した。股関節可動域は大転子と両膝関節の稼働支点の角度とし, 接地時下腿角度は地面の鉛直上の膝関節の稼働支点と外踝の角度とした。また, カタパルト GPS システムの Footstrikes (足への連続衝撃回数), Inbalance (左右の足にかかる負荷バランスでマイナス%であれば左に負荷がかかり, プラス%であれば右に負荷がかかることを示す), LineDeviation (直線走行時の偏差), ストライド長の抽出を行い, 直走路走行中とした。データは平均値±標準偏差とし, 統計解析は Student t-test を用いた。対象者数が減少したため, 個人値も事例的に検討した。

3. 10000 m 走および20 km 走の実施場所および負荷強度

10000 m 走は順天堂大学スポーツ健康科学部陸上競技場, 20 km 走はキャンパス近隣のトレーニングコース (一般道の1周10 km のコースを2周)

を利用し, 実施した (実験開始当初は, 日本学生ハーフマラソン選手権で実施予定であったが, 新型コロナウイルス感染防止により, 競技会が中止になったため)。負荷強度は共に最大努力とした。また, 通常の競技会を意識したウォーミングアップを行った。

本研究は, 順天堂大学スポーツ健康科学研究科研究等倫理委員会の倫理審査において, 承認 (順大ス倫第2020-17号) を得た。

III. 結 果

1. 10000 m 走

表2に10000 m 疾走時の走速度, 股関節可動域, 接地時下腿角度, Footstrikes, Imbalance (負荷差異), Line Deviation, Distance / Footstrikes (連続衝撃回数) および, 画像によるストライド長のデータを示した。走速度は, 走距離が延びるほど低減が見られたが, 対象者による大きな差は見られなかった。図1は, 10000 m 走時の股関節可動域および接地下腿角度の変化を示したものである。いずれも後半の局面において, 角度が減少しているが, 有意な差は見られなかった。図2は10000 m 走時の Imbalance (負荷差異) の変化を示したものである。10000 m 走前半の Imbalance が0.82% ±

表2 10000 m 走測定データ

	A			B			C			D		
	1000m	5000m	9000m	1000m	5000m	9000m	1000m	5000m	9000m	1000m	5000m	9000m
走速度 (m/分)	322.6	319.1	314.1	322.6	319.1	301.5	329.7	324.3	307.7	329.7	324.3	306.1
股関節可動域 (°)	87	88	78	87	91	88	77	75	77	88	89	90
接地時下腿角度 (°)	11	7	3	1	8	7	9	9	6	9	10	9
Footstrikes	69	48	69	65	70	73	70	56	68	67	65	69
Inbalance (%)	4.68	3.11	6.73	-3.77	-4.66	-2.78	2.05	7.52	7.12	0.31	-0.37	-0.11
Line Deviation	1.20	0.31	1.80	1.95	1.77	1.94	1.87	0.95	1.74	1.99	1.98	1.90
Distance/Footstrikes	1.573	1.570	1.622	1.724	1.673	1.583	1.666	1.944	1.683	1.685	1.718	1.739
ストライド長(画像) (m)	1.590	1.590	1.521	1.658	1.769	1.607	1.644	1.556	1.511	1.600	1.689	1.556

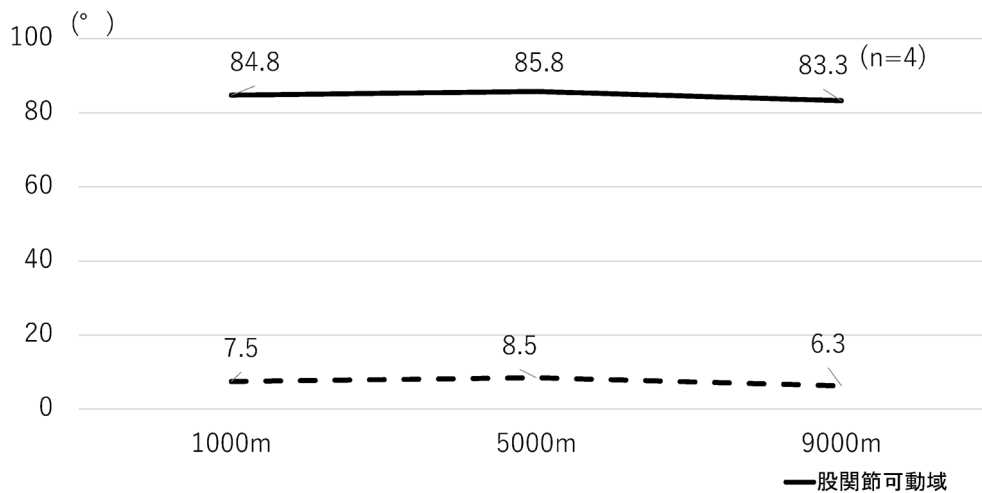


図1 10000 m 走時の股関節可動域と接地時下腿角度

3.55, 中盤は1.40% ± 5.17, 後半は2.74% ± 4.96と疾走後半になるにつれ負荷差異が大きくなったが, 対象者が少なかったこともあり, 有意な差は見られなかった。

対象者を個別にみると, 対象者Dは, 10000 m 走前半, 中盤, 後半において, 股関節関節角度 (89° ± 1), 接地時下腿角度 (9.5° ± 1) と大きな変容は見られず, また, Inbalance も -0.17 ± 0.34 と負荷差異の変化も見られなかった。一方, 対象者C

は他の対象者と比べ, 股関節可動域が小さかった。(76° ± 1) また, この対象者は, Inbalance が前半 (2.05) と比べ, 中盤 (7.52) と後半 (7.12) に負荷差異が大きくなった。対象者Bは, 疾走時の股関節可動域に大きな変化は見られなかったが, 接地時下腿角度が前半は1°とほぼ地面に対し垂直にとらえていたが, 中盤から後半にかけては7°から8°と下腿を振り出す動きによりストライドを確保していた。反対に対象者Aは, 距離が進むにつれ, 股

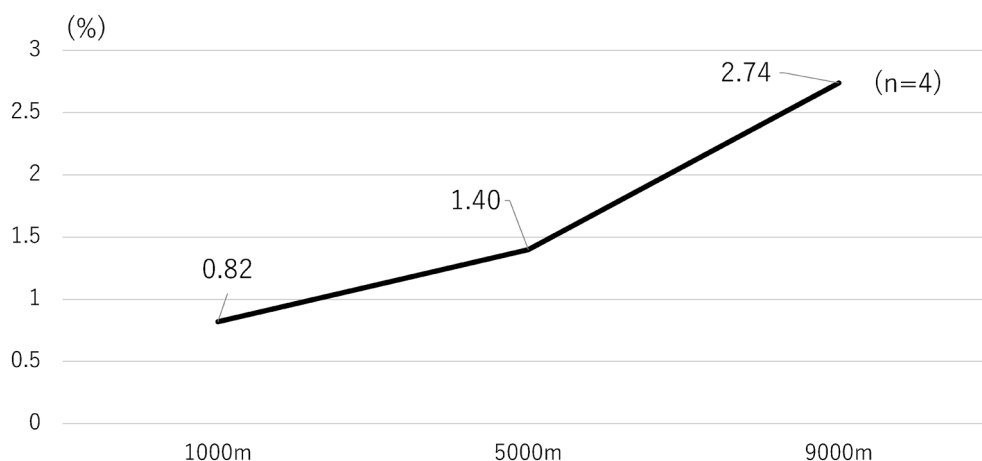


図2 10000 m 走時の Imbalance の変化

表3 Distance/Footstrikes と画像によるストライド長の比較

	1000m		5000m		9000m	
	GPS	画像	GPS	画像	GPS	画像
平均	1.662	1.623	1.726	1.651	1.657	1.549
標準偏差	0.06	0.03	0.16	0.10	0.07	0.04
GPS:画像	0.039		0.075		0.108	

関節可動域および接地時下腿角度が小さくなり、Imbalance が後半で最大となっている。また、10000 m 走後半のストライド長が対象者全てにおいて、最短となっていた。

表3は、対象者の Distance/Footstrikes と画像によるストライド長の比較を示したものである。GPS デバイスと画像によるストライド長で有意な差は見られなかった。GPS デバイスと画像比較において、1000 m 地点での差が0.039 m であったものが、5000 m 地点においては0.075 m、9000 m 地点では0.108 m と差が広がっている傾向が見取れた。

2. 20 km 走

Imbalance に注目し、様々な走路条件である20 km 走（1周10 km 周回コース）において、平地、上り坂、下り坂、また、前半と後半のデータ整理を行った。表4は対象者の各条件による Imbalance の変化を示したものである。対象者Dは、平地（1 km, 10 km）と上り坂（5 km, 15 m）において、大きな負荷差異の変動は見られなかったが、下り坂（2.5 km, 13 km）において左側に負荷差異が大きくなった。対象者Bは常に左側への負荷差異が大きくなり、特に上り下りの局面において負荷差異が大きくなった。対象者Aは、平地と下りの局面におい

表4 20 km 走時の対象者の Imbalance (%)

	平地 (1km)	平地 (10km)	上り (5km)	上り (15km)	下り (2.5km)	下り (13km)
A	3.78	6.55	4.03	2.14	1.92	10.74
B	-8.32	-8.92	-13.03	-12.47	-12.39	-14.35
D	-0.94	-0.79	-0.90	-0.96	-3.01	-4.72

て、後半になると負荷差異が大きくなった。しかし、上り坂では負荷差異の変動が少なく、後半局面の方が負荷差異は小さくなった。

Ⅳ. 考 察

1. 股関節可動域と接地時下腿角度および Imbalance について

股関節可動域、接地時下腿角度および Imbalance において有意な差は得られなかった。対象者が少なかったことと個人差が大きいことがその要因として考えられる。

事例的に検討すると対象者 A の前半と後半を比較すると股関節可動域が小さくなり、同様に接地時下腿角度も小さくなっていった。また、前半の接地時下腿角度が11°と角度が大きいことから、接地時間が長くなり、下腿のキックで推進力を得るタイプといえるのではないかと考えた。この脚の振り出しが走速度低下に伴い、ブレーキ要素となり、走速度を維持するために多くのエネルギーを消費する可能性がある。10000 m 走後半、Imbalance が大きくなっていることから推察できる。

対象者 B の股関節可動域は、前半から後半にかけて変動が少なかった。股関節を支点としたランニングフォームでストライドの確保をしているといえる。しかし、接地時下腿角度は前半では1°と小

い値であった。中盤から終盤にかけては、7°から8°と大きくなっていった。疲労感の無い前半では経済性の良い走りができているが、中盤以降は下腿への依存度が高くなると考える。一方、Imbalance においては、大きな変動はないが、左側の負荷差異が大きかった。このランナーは上り坂が速い特徴があり、この左右差により力を発揮している可能性がある。このことから Imbalance の大きさが問題ではなく、疾走距離が延びることによる Imbalance の変化が問題ではないかと考えられる。また、コーチング現場の観点から、B は疲労骨折に罹患する頻度が多く、この Imbalance の負荷差異が起因する可能性も検討する必要があると考える。

対象者 C は股関節可動域が小さく、接地時下腿角度は前半大きく、後半は小さくなっていった。また、Imbalance も中盤以降、負荷差異が大きくなった。股関節よりも下腿のキックで推進力を得るタイプと推察でき、走速度を維持するために努力度が増し（力が入る、上半身のプレが大きくなる）、必要以上にエネルギーを消費する可能性があるといえる。この対象者は実際にレース後半で大きく走速度を低下させることが多く、今回の結果からも改善するポイントが見えてきた。

一方、対象者 D は、対象者の中では股関節可動域が大きく、また、10000 m 走において股関節可

動域, 接地時関節角度, Imbalance のそれぞれが数値の変動が少なかった. この対象者はランニングフォームを崩れの少ないタイプのランナーであり, 20 km 走でも大きな Imbalance の変動が少なかった. コーチング現場において, 膝で走るといふ形容をするが, 今回のデータからも股関節可動域が大きく, かつ, 変化が少ないことからこの対象者は, より長い距離に適応できる可能性が考えられる.

2. 画像とウェアラブルデバイスによるストライド長分析について

画像データとウェアラブルデバイスから得た Distance と Footstrikes データからストライド長の比較を行ったところ, 有意な差は認められなかった. しかし, 走距離が長くなるに従い, 平均値に誤差が大きくなった. 9000 m 地点の1歩で10 cm の差がみられた. これはランナーにとっては, 大きな差であり, 10000 m 走後半にかけて, データ誤差が生じていることを考えると現時点では, 画像データとウェアラブルデバイスデータの併用で情報収集, 分析の必要性を感じた. このような結果に関しては, 疲労感によりレース後半に力強いキックをできなくなり, Footstrikes の信号を拾えなかった箇所があったのではないかと考えた.

3. 加速度データとランニング速度および股関節可動域の関係

加速度データから Running Symmetry として Footstrikes (連続衝撃回数), Imbalance (負荷差異), Line Deviation (デバイスの傾き) の情報を得られたが, 一定の傾向は無く, 個人差が大きかった. また, 加速度データから股関節可動域や接地時下腿角度を推定するまでには至らなかった. 一方, 走行距離に伴い速度低下と股関節可動域の減少の仮説を立てたが, 後半に股関節可動域の減少が起こったのは1例のみであり, 走速度の低下はその他の要因といえ, 対象者によって異なるものとなった.

V. 結 論

本研究では, 従来の画像によるランニング時股関節可動域, 接地時下腿角度およびストライド長をウ

エアラブルデバイスにより推定するため, 様々なデータの収集を行った. 高い時間分解能と測定簡便性を併せ持つとされるウェアラブルデバイスによる動作の推定や変容に関して有効な結果が得られず, ランニング効率の変容をフィードバックするには至らなかった.

一方, 事例的ではあるが, 現場の指導者が感じている股関節を使ったランニングフォームや後半速度低減するランナーのランニング特徴を数値化できたといえる. 特に股関節可動域が小さく, 下腿のキックに依存しているランナーが中盤以降, 負荷差異が大きくなりエネルギーロスが起きている可能性を加速度データが示すなど, 走速度の低減に股関節可動域の減少や負荷差異の増大などが確認できたことは, 今後のコーチングに繋がる結果となった.

謝辞

本研究に協力してくださった対象者の皆様, 球技コーチング研究室の方々に感謝申し上げます. また, 本研究は, 2019年度スポーツ健康科学部学内共同研究による助成を受け, 実施致しました. ここに深く感謝の意を表します.

利益相反 (Conflict of interest)

本研究に関わる利益相反はありません.

文 献

- 1) 榎本靖士 (2015) 東アフリカランナーの走動作のバイオメカニクスの特徴. ランニング学研究, 26(2), 81-91.
- 2) 榎本靖士, 岡崎和伸, 岡田英孝, 渋谷俊浩, 杉田正明, 高橋英幸, 高松潤二, 前川剛輝, 森丘保典, 横澤俊治 (2010) ケニア人長距離選手の生理学的・バイオメカニクスの特徴の究明～日本人長距離選手の強化方策を探る～. 日本陸上競技連盟科学委員会研究, https://www.kozuki-foundation.or.jp/ronbun/spresearch/spres05_enomoto.pdf
- 3) For Japanese Runners, The Marathon is 4Kilometers Longer and 50% Harder. c Somax Performance In-

stitute 4 Tara Hill Road, Tiburon, https://mcssl.com/content/97873/JAPAN/For_Japanese_Marathoners_The_Race_Is_4_Kilometers_Longer.pdf

- 4) 国正陽子, 佐野加奈絵, 久野峻幸, 牧野晃宗, 小田俊明, Caroline Nicol, Paavo V Komi, 石川昌紀 (2017) 下腿の骨格・筋腱形態に東アフリカ地域の陸上中長距離選手特有の特徴はあるのか. 大阪体育学研究, 55, 1-9.
- 5) 中雄勇人, 小倉庸輔, 谷田 彪, 石田真規 (2014) 長距離走における接地動作の違いがパフォーマンスに及ぼす影響. 群馬大学教育学部紀要芸術・技術・体

育・生活科学編, 49, 85-91.

- 6) 沢木啓祐, 高岡郁夫 (1993) マラソン. 東京, ベースボールマガジン社, 15-20.
- 7) 吉岡利貢, 中垣浩平, 中村和照, 向井直樹, 鍋倉賢治 (2012). 世界トップレベルで活躍するケニア人長距離ランナーの体力・形態特性, 体育学研究, 57(1), 237-248.

（令和2年9月8日 受付）
（令和3年7月14日 受理）