

2012年度 修士論文

ケニア人長距離選手のランニング動作における着地方法と  
パフォーマンスの関係について

早稲田大学 大学院スポーツ科学研究科

スポーツ科学専攻 スポーツクラブマネジメントコース

5012A313-2

高嶋 康司

研究指導教員： 間野 義之 教授

## 目 次

1. 諸 言	・ ・ ・ 3
2. 目 的	・ ・ ・ 4
3. 本研究で用いる用語の定義	・ ・ ・ 5
4. 方 法	・ ・ ・ 6
5. 結 果	・ ・ ・ 9
6. 考 察	・ ・ ・ 13
7. 結 論	・ ・ ・ 14

### 参考文献

別 添「ケニア人長距離選手 調査用紙」

## 1. 諸言

マラソン競技における東アフリカ諸国の選手達の活躍は目覚ましく、2011年マラソン世界ランキング上位10名は全て東アフリカのケニア人選手であり、上位100名においても88名は東アフリカのケニア、エチオピアを中心とした選手の名が並んでいる（Athletics 2012: The International Track and Field Annual, Peter Matthews）。また、2011年9月のベルリンマラソンにおいては同じくケニアの Patrick Makau によって2時間3分38秒という世界記録が樹立された。かつてマラソン競技は日本のお家芸と言われ、国際大会での上位入賞者も数多く輩出してきたが、近年では日本人長距離選手が国際大会で上位入賞をすることは少なくなり、オリンピックや世界選手権の長距離種目競技では前半から外国人選手に着いていけないことが多い。榎本ら（2010）は、特にトラック種目（5000m, 10000m）ではここ10年間で世界記録は著しく向上しているのに対し、日本記録は向上しておらず世界記録との差は広がる一方であり（図1）、日本人長距離選手のスピード不足が原因であるとしている。

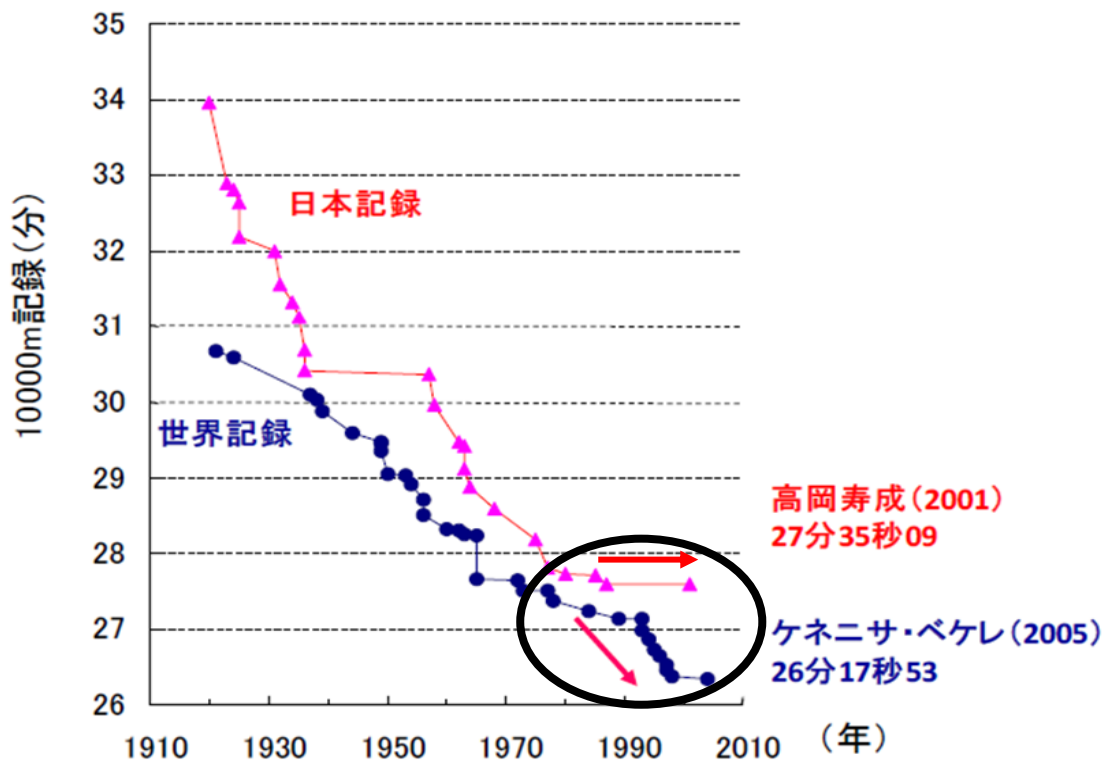


図1 男子 10000m 世界および日本記録の変遷 (1920年~2012年)

このような状況の中、東アフリカ諸国の選手達のパフォーマンスに関する研究は数多く行われている。その中で東アフリカのエリトリア人とスペイン人の長距離選手を比較した研究 (Lucia et al, 2006) では、ランニングエコノミー (走の経済性) が東アフリカの長距離選手で優れていると述べている。ランニングエコノミーは下腿周囲の小ささや軽さと深い関係性が示されており、東アフリカの選手の体格がランニングエコノミーに影響していると考えられている。また、専門的なトレーニングを行っていない少年期の体力をケニア人とデンマーク人で比較した研究 (Larsen et al, 2003) では、ケニア人のランニングエコノミーの高さがトレーニングによるものではないことを明らかにした。日本人長距離選手とケニア人長距離選手の走動作の技術的な要因を比較した研究 (榎本, 2010) では、ケニア人長距離選手では接地時に体幹が前傾し、離地時の底屈動作が小さく、回復脚を大きく、速く前方に引き出していると述べている。更に川島 (2012) は、1992 年のデータとして、ケニア人長距離選手の国際級トップレベルの長距離走者 197 名のうち 141 名はケニアのリフトバレーに居住するカレンジンというエスニック集団の出身者であり、カレンジンのなかでもナンディという集団が圧倒的多数を占めることを報告している。Onywera ら (2006) は、なぜナンディのなかで特定の個人が長距離種目で優秀な成績を残すのかを幼少期の走行による通学経験から調査し、404 人のケニア人長距離選手の通学手段 (交通機関, 徒歩, 走行) と通学距離 (5 キロメートル未満, 5 キロメートル以上 10 キロメートル未満, 10 キロメートル以上) の回答から、パフォーマンスが相対的に上位レベルにある選手は通学手段が「走行」であり、通学距離は「10 キロメートル以上」であることを明らかにした。日本放送協会 (NHK) では、ドキュメンタリー番組 (ミラクルボディ マラソン最強軍団, 2012 年 7 月 16 日放送) で、ケニア人長距離トップ選手の前足部着地の優位性について調査を行い、国立スポーツ科学センターのラボテストで、ケニアの Patrick Makau および日本の山本亮 (佐川急便, 2012 ロンドン五輪マラソン代表) の走動作における着地方法と地面からの衝撃の強さについて明らかにした。その結果、山本が踵付近で着地するのに対し、Makau は前足部外側付近で着地をしており、また、踵着地では地面から体重の 2.2 倍の衝撃を受けるのに対し、前足部着地では体重の 1.6 倍の衝撃であり、筋電計のデータより前足部着地が省エネ走行につながっていることを明らかにした。

このような背景よりケニア人長距離選手のパフォーマンスに関する研究は数多く行われているが、ランニング動作における着地方法とケニア人長距離選手のパフォーマンスを明らかにした研究は見当たらない。そこで本研究では、ケニア人長距離選手の着地方法とパフォーマンスの関係について検討することとした。

## 2. 目的

本研究では、ケニア人長距離選手の着地方法とパフォーマンスの関係について明らかにする。

### 3. 本研究で用いる用語の定義

#### 3-1 ランニング動作における着地の定義

着地方法を調査するにあたり、ランニング動作における着地を以下のように定義した。着地は大転子の位置を原点とした脚の回転運動の遊脚期から支持期に入る局面の地面と接触する瞬間で、地面に力を与えるのと同時に地面からの反力を受け、その後の重心移動の支点となり人を推進させる力に影響する重要な動作である。走運動における脚の動作は周期的であり、各足は交互に地面につき、身体の下側から後方を通過し、次の着地の準備のために地面を離れて再び前方へ移動するという周期で、(1) 足が着地したときから始まり、競技選手の重心が足を通過した時点で終わる支持局面、(2) 支持局面の終わりから始まり、足が地面から離れた時におわる推進局面(3) 足が地面から離れ、次の着地の準備のために前方へ運ばれる回復局面、に便宜的に区分した。(Hay,2011) 本研究では走動作の支持局面に入る着地の瞬間で、足部の接地位置から着地方法を判定することとし、それがどの部位であるかを判断する指標を(表1)の通りとした。

#### 3-2 各競技のレベル分け

ケニア人長距離選手は各競技のパフォーマンスレベルによって国内レベルと国際レベルの2群に区別した。(表1) レベル分けのタイム設定はそれぞれの種目の2011年世界ランニング200位の記録(Athletics 2012: The International Track and Field Annual, Peter Matthews)をボーダーラインとし、それ以上のタイムを国際レベル、それ以下のタイムを国内レベルとした。

表1 各競技のレベル分けタイム設定

種目	レベル分けのタイム設定
1500m	3分40秒60以内
5000m	13分37秒75以内
10000m	28分37秒41以内
ハーフマラソン	1時間02分20秒以内
マラソン	2時間10分59秒以内

### 3-3 その他用語の解説

表2 本研究における用語の解説

用語	説明
ケニア人 長距離選手	ケニア国内で陸上競技長距離種目の競技会出場を目指すトレーニングキャンプに所属し、日常的にトレーニングを行っている選手
着地方法	走動作の支持局面の着地における足部と地面との接触部分から判断した「前足部着地」「フラット着地」「踵着地」のいずれか
前足部着地	足部における拇指部から先端において地面と接触する着地方法
フラット着地	足部における中足骨および踵骨が同時に接触する着地方法
踵着地	足部における踵骨から接触する着地方法
パフォーマンスレベル	1500m, 5000m, 10000m, ハーフマラソン, マラソン競技いずれかの自己記録

## 4. 方法

### 4-1 被験者

被験者はケニア国内で陸上競技長距離種目の競技会出場を目指すトレーニングキャンプに所属し、日常的にトレーニングを行っている選手ケニア人長距離選手 100 名とした。

### 4-2 計測の方法

ランニング動作における着地の方法を確認するために、被験者には 3 メートルの助走区間の後、着地ポイントを設定し、裸足で普段と同じ走り方でジョギング程度の速度（5 分/㎞程度）での走行を行ってもらい、接地ポイントを右足で着地して通過するように指示をした。接地ポイントには選手走路右側にビデオカメラ（Victor GZ-MG575-B）を設置し、スタートから通過するまでを撮影した。うまく接地ポイントを通過できなかった選手は、撮影可能なポイントに着地できるまで走行を繰り返した。また、パフォーマンスレベルを把握するために、選手へ調査用紙（別添 1）を配布し、1500m, 5000m, 10000m, ハーフマラソン, マラソンの各競技の競技会での自己記録を記入方式で回答した。記録がない種目については無記入とした。本研究の調査対象は幼少期に裸足生活を行い、その後もケニア国内でトレーニングを行う選手を対象とするため、2012 年 8 月 20 日から 2012 年 8 月 27 日の間にケニア共和国の長距離種目選手がトレーニングを行うキャンプ 3 か所を訪れ計

測を行った。また、計測にあたっては現地の日本人コーディネーターに依頼をし、ケニア共和国の母国語であるスワヒリ語で実験方法の説明、アンケート調査、計測を行った。なお、本研究では、被験者の人権擁護に十分注意を払い、被験者には本研究の目的と起こりうる可能性を十分説明し、書面にて参加の同意を得た。

#### 4-3 分析の方法

撮影した映像からそれぞれの着地を（1）前足部着地：足部における拇指部から先端において地面と接触する着地方法（写真1）、（2）フラット着地：足部における中足骨および踵骨が同時に接触する着地方法（写真2）、（3）踵着地：足部における踵骨から接触する着地方法（写真3）、に分類した。着地判定は陸上長距離競技の指導経験がある2名で行い、接地する瞬間にどの部分で地面と接触をしているかを判断の基準とした。パフォーマンスレベルについては、1500m、5000m、10000m、ハーフマラソン、マラソンの各競技の自己記録について、国内レベルと国際レベルの2群に分け、単純集計による比較および、統計処理による分析を行った。統計処理は国内レベルと国際レベルによって着地方法に偏りがあるかを $\chi^2$ 検定によって分析した。また、着地方法を因子とし、各種目のパフォーマンスレベルを従属変数として1要因で繰り返しのない分散分析を用いて分析を行った。それぞれの検定においては、危険率5%および1%未満において有意とした。



写真1 前足部着地



写真2 フラット着地



写真3 踵着地



## 5. 結果

### 5-1 被験者プロフィールは以下（表3）のとおり

表3 被験者プロフィール

		年齢[yr]	身長[cm]	体重[kg]
ケニア人選手 (n=100)	平均	25.5	171.0	57.9
	標準偏差	4.9	6.08	5.51
	範囲	18~42	162.0~187.5	45.5~72.8

### 5-2 着地方法について

図2は、ケニア人長距離選手の着地方法の判定を比較したものである。その結果、1 kmあたり5分程度のスピードで走った際の着地方法の判定では、前足部着地（27%）、フラット着地（57%）、踵着地（16%）という結果であった。

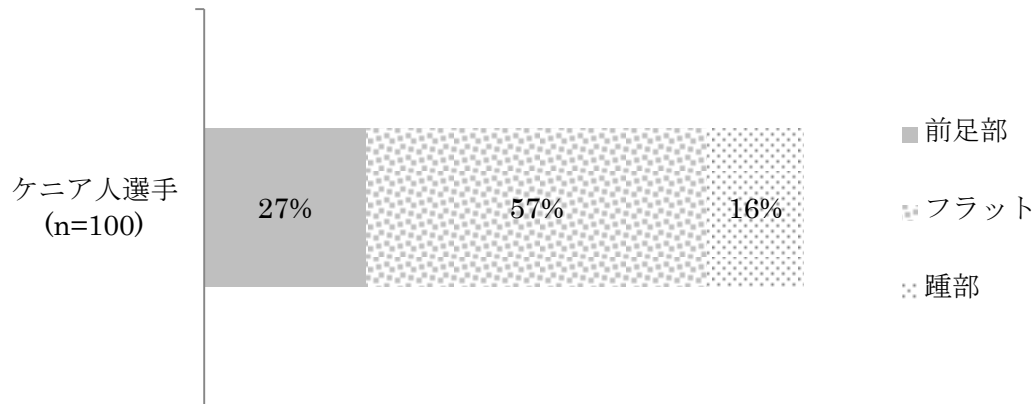


図2 ケニア人選手（100人）の着地方法の判定

### 5-3 被験者パフォーマンスの単純集計

ケニア人長距離選手において各競技種目のパフォーマンスレベルによって国内レベルと国際レベルの2群に区別し、着地方法ごとで集計を行った（表4）。また、各種目の国際レベルと国内レベルの比率、平均タイムをグラフにした（図3）。

表4 各競技における着地方法およびパフォーマンスレベルによる集計結果

		着地方法			合 計	平均タイム
		前足部	フラット	踵		
1500m	国際レベル	4	4	0	8	3分38秒
	国内レベル	5	32	4	41	3分50秒
	合 計	9	36	4	49	3分48秒
	平均タイム	3分44秒	3分48秒	3分54秒		
5000m	国際レベル	2	3	0	5	13分13秒
	国内レベル	14	36	8	58	14分17秒
	合 計	16	39	8	63	14分12秒
	平均タイム	14分04秒	14分14秒	14分16秒		
10000m	国際レベル	3	6	3	12	28分01秒
	国内レベル	11	22	4	37	29分42秒
	合 計	14	28	7	49	29分18秒
	平均タイム	29分16秒	29分17秒	29分25秒		
ハーフマラソン	国際レベル	4	9	3	16	1時間01分08秒
	国内レベル	16	19	4	39	1時間04分21秒
	合 計	20	28	7	55	1時間03分25秒
	平均タイム	1時間03分19秒	1時間03分29秒	1時間03分23秒		
マラソン	国際レベル	0	2	0	2	2時間08分23秒
	国内レベル	8	7	6	21	2時間19分13秒
	合 計	8	9	6	23	2時間18分16秒
	平均タイム	2時間17分09秒	2時間18分12秒	2時間19分52秒		

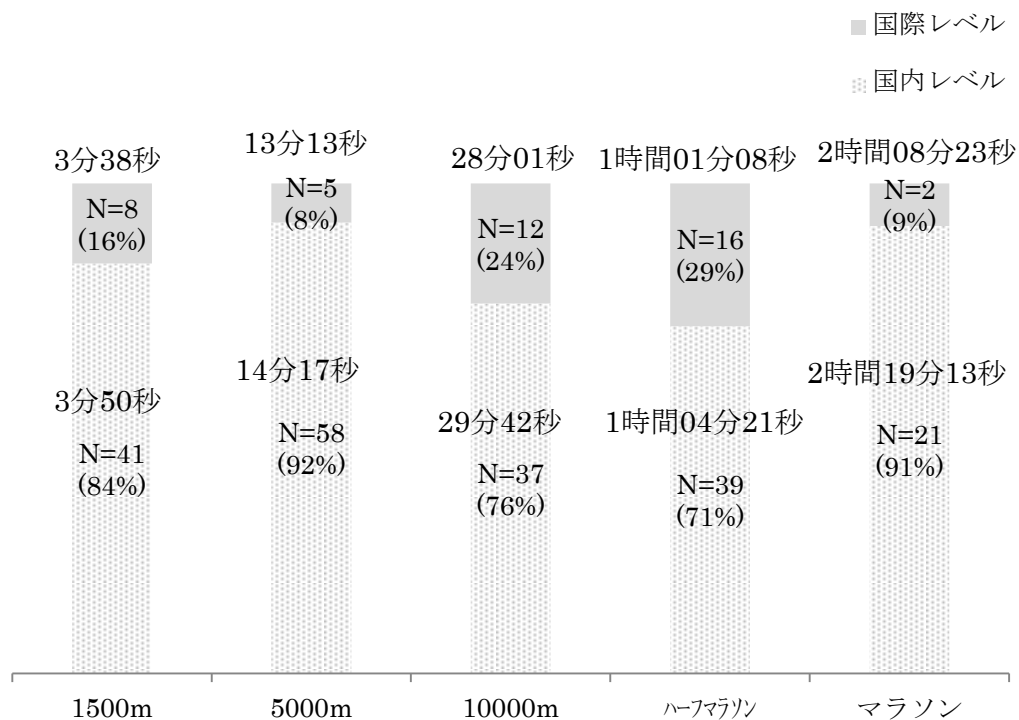


図3 各競技における各パフォーマンスレベルの比率および平均タイム

#### 5-4 各競技種目のレベル分けにおける着地方法の偏りについて

各競技のパフォーマンスレベルによって着地方法に偏りがあるのかを調べるため $\chi^2$ 検定を行った結果、1500m ( $\chi^2=6.706$ ,  $df=2$ ,  $p<.05$ ), 5000m ( $\chi^2=2.304$ ,  $df=2$ ,  $p>.05$ ), 10000m ( $\chi^2=1.710$ ,  $df=2$ ,  $p>.05$ ), ハーフマラソン ( $\chi^2=2.352$ ,  $df=2$ ,  $p>.05$ ), マラソン ( $\chi^2=3.407$ ,  $df=2$ ,  $p>.05$ ), となり, 国際レベルの1500m選手において有意につま先着地が多いという結果であった。

#### 5-5 着地方法とパフォーマンス

つま先, フラット, 踵のそれぞれの着地方法について競技パフォーマンス(1500m, 5000m, 10000m, マラソン)を比較するために一元配置分散分析を行った結果, 1500mパフォーマンス ( $F(2,46)=3.18$ ,  $p>.05$ ) (表5), 5000mパフォーマンス ( $F(2,60)=0.64$ ,  $p>.05$ ) (表6), 10000mパフォーマンス ( $F(2,46)=0.42$ ,  $p>.05$ ) (表7), ハーフマラソンパフォーマンス ( $F(2,52)=2.31$ ,  $p>.05$ ) (表8), マラソンパフォーマンス ( $F(2,20)=0.19$ ,  $p>.05$ ) (表9) となり全ての競技において着地方法の主効果は認められなかった。

表5 (ケニア人長距離選手) 着地方法によるパフォーマンス (1500m) 分散分析 結果

着地方法	平均値	標準偏差	F
前足部	223.8	7.68	3.18
フラット	228.3	6.84	
踵	234.3	8.42	
N=4~36			p > .05

表6 (ケニア人長距離選手) 着地方法によるパフォーマンス (5000m) 分散分析 結果

着地方法	平均値	標準偏差	F
前足部	844.4	25.5	0.64
フラット	854.1	32.0	
踵	855.7	34.0	
N=8~39			p > .05

表7 (ケニア人長距離選手) 着地方法によるパフォーマンス (10000m) 分散分析 結果

着地方法	平均値	標準偏差	F
前足部	1746.7	48.9	0.42
フラット	1762.5	56.9	
踵	1764.3	80.6	
N=6~27			p > .05

表8 (ケニア人長距離選手) 着地方法によるパフォーマンス (ハーフマラソン) 分散分析 結果

着地方法	平均値	標準偏差	F
前足部	3763.4	72.1	2.31
フラット	3816.0	129.3	
踵	3870.1	197.8	
N=8~27			p > .05

表9 (ケニア人長距離選手) 着地方法によるパフォーマンス (マラソン) 分散分析 結果

着地方法	平均値	標準偏差	F
前足部	8228.9	355.1	0.19
フラット	8292.1	597.0	
踵	8392.5	461.8	
N=6~9			p > .05

## 6. 考 察

本研究の目的は、ケニア人長距離選手の着地方法とパフォーマンスの関係を明らかにすることであった。本研究の結果、1キロあたり5分程度の裸足ランニングにおける着地方法は、前足部着地（27%）、フラット着地（57%）、踵着地（16%）という結果であった。着地方法毎にパフォーマンスレベルを分析した結果では、全ての競技種目において、前足部着地で平均タイムが良いという傾向が現れた。パフォーマンスレベルによって国際レベルと国内レベルに区別した場合においては、1500mの国際レベル選手で有意に前足部着地が多かった。5000m, 10000m, ハーフマラソン, マラソン競技ではパフォーマンスレベルの違いにより着地方法に有意差は現れなかった。さらにランニングパフォーマンスにおける着地方法の主効果を確かめるため、競技毎に一元配置分散分析を行ったが、いずれの競技でも着地方法による主効果は認められなかった。

### 6-1 着地方法の違いとパフォーマンスについて

Payne(1983)は走動作における着地方法を検討した研究で、国際大会に出場した90名の選手についてレース中の競技者の着地がどの部位で行われていたかをフィルム分析した。その結果、スプリンターでは拇指球または足裏全体で着地する選手が多く、長距離走選手では踵からの着地が多いことを報告している。本研究ではケニア人長距離選手において、1500mの国際レベル群で有意につま先着地が多いという結果であった。このことは、1500mという競技が、中距離種目であり5000m以上のトラック競技やロードレースよりもさらにスピードが要求されるため、より短距離的な走動作を行う必要があるからだと考えられる。本研究の1500mにおける国際レベルは3分40秒60以内とした。このタイムは2011年の1500m世界ランキングで200位に相当する。そのためこのレベルの選手は1500mを専門的にトレーニングしていると予想され、そういった選手は普段から前足部着地が意識されているものと考えられる。また、1500mという競技においては、前足部着地がその他のパフォーマンスを決定づける要因と同じか、それ以上の強い要素として影響するということが考えられる。一方、5000m, 10000m, ハーフマラソン, マラソン競技の国内レベルと国際レベルの2群間における着地方法には有意差は現れなかった。このことは、1500mよりも長い距離を競う競技においては必ずしも前足部着地が有利ではなく、着地方法よりもトレーニングによる身体能力の向上やそれに伴う生理学的な適応、運動効率の改善、レース状況やメンタリティなどあらゆる要素がパフォーマンス発揮に影響を与えていることが考えられる。よって1500m競技では着地方法についての技術を改善することがパフォーマンス発揮には有効であるかもしれない。また、それ以上の距離のトラック競技やロードレースでは着地方法の技術よりも身体能力や運動効率、メンタリティやレース条件などを改善、検討することがパフォーマンス発揮には重要であると考えられる。

## 6-2 着地方法の獲得過程について

本研究ではケニア人長距離選手の裸足によるランニング動作において、前足部、中足部、踵部それぞれの着地方法が認められたがこれらの着地方法の違いは何によってもたらされるのであろうか。ランニング動作ではその支持局面において必ず足部を地面と接触させて重心移動を行う必要がある。個々の選手がなぜその着地方法を選択するに至ったか、着地方法の獲得過程を知ること、およびそれがパフォーマンスにどのように影響するかを検討することは重要である。Liebermanら(2010)によると、普段から裸足で走るランナーや子どもの頃はもともと裸足で走っていたが成人してシューズを履いて走るようになったランナーは前足部や中足部で着地していることを明らかにした。これに対し、長年にわたり普段からシューズを履いて走っているランナーの多くは踵着地であったとし、ランニングシューズが踵着地をもたらしたとしている。であるならば本研究の結果である着地方法の違いはシューズを履いてトレーニングをした期間や裸足での生活経験などが着地方法に影響し、それはパフォーマンスにも影響することが考えられる。ケニアにおいては国土の4分の3が乾燥地帯・半乾燥地帯とされサバンナ(草原)がより広い面積を占め低木林・半砂漠がさらに広い地域を覆っている。また、舗装路等のインフラ整備も十分ではなく首都部のナイロビにおいても人が歩くための歩道はほとんど整備が進んでいないと言ってよい。郊外では幹線道路においても未舗装であり、子どもはそういった道をはだして数十キロと歩いて通学していて日常生活でシューズを履いている子は全体の1~2割程度であると思われる。こういったことから、ケニアの子どもにおける裸足経験は整備されたアスファルトの上での活動ではなく、起伏のある草原や不整地でのものであるということは着地方法の違いに深く関係しているであろうことが予想される。また、そういった環境で育った子どもらが成人しランニングトレーニングを行う場合には、同様に起伏が激しく路面が安定しない中を走ることになり、自然と足関節は回内、回外、底屈、背屈をより多く繰り返し、そのような環境に適応していることで着地方法も自然と効率のよい動きを獲得していくものと考えられる。よってケニア人長距離選手の着地方法の獲得はこういった社会環境的な側面があることが推察される。

一方、ケニア人長距離選手の身体的特徴が着地方法に影響を与えることも考えられる。Lucia A et. al (2006)は東アフリカの長距離選手は下腿周囲の小ささや軽さがランニングエコノミーに影響していることを報告しており、これは下腿部質量が小さいことでその回転トルクも小さく抑えられエネルギー効率に良い影響を与えていることが理由であるが、下腿質量が小さいことは筋量も少ないということであり、これは踵から着地して蹴りだす走法ではなく、前足部から着地し、地面からの反力や腱などの張力でもって推進力を得ることに適している。よってケニア人長距離選手はその細くて長い下腿ゆえに前足部着地を選択している可能性も考えられる。

以上は無意識的に選手が着地方法を獲得している理由であるが、一方で選手が意識的に着地方法を選択しているケースも考えられる。今回調査を行った中で、数名の前足部着地を行う選手にインタビューを行ったところ、前足部着地を行うことについて、それが運動効率的に優れていると考えている選手やスピードを維持するためには前足部着地でなければならないと考えている選手が見受けられた。またそのように指導されているケースもあり、このことは選手本人が意識的に着地方法を決定する要素になり得ると考えられる。

今回の研究ではあくまでも着地方法とパフォーマンスにおいてその関係性を確認したが、今後は東アフリカ諸国選手の着地方法の獲得過程を検討し我が国の長距離選手にも応用可能な知見となるようさらなる研究が望まれる。

## 7. 結 論

本研究の結果、着地方法は 1500m の国際レベル選手において有意に前足部着地が多かった。5000m, 10000m, ハーフマラソン, マラソン競技では着地方法の違いに有意差は現れなかった。

## 参考文献

Peter Matthews , Athletics 2012: The International Track and Field Annual

榎本靖士ほか (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

Lucia A et. al (2006) Physiological characteristics of the best Eritrean runners- exceptional running economy. *Appl. Physiol. Nutr. Metabo.* 31, 530-540.

Larsen,H.B.(2003)Kenyan dominance in distance running.  
*Comp.Biochem.Physiol.*,136:161-170.

川島浩平「人種とスポーツ」中公新書 2012年 221-222

Vincent O. Onywera, Robert A. Scott, Michael K. Boit & Yannis P. Pitsiladis (2006)  
Demographic characteristics of elite Kenyan endurance runners  
*Journal of Sports Sciences* Volume 24, Issue 4, April 2006, pages 415-422

日本放送協会 (NHK) 「ミラクルボディ マラソン最強軍団」2012年7月16日放送

James G.Hay スポーツ技術のバイオメカニクス, 第1刷, ブックハウス・エイチディ 378

Payne.A.H(1983) Foot to ground contact forces of elite runners- *Biomechanics VIII-B*, pp.  
746-753

Daniel.E.Lieberman(2010) Foot strike patterns and collision forces in habitually  
barefoot versus shod runners January 2010| doi:10.1038/nature08723



別添（ケニア人長距離選手 調査用紙）

Serial number \_\_\_\_\_

■ Name \_\_\_\_\_

■ Date of Birth      day      month      year \_\_\_\_\_

■ Age \_\_\_\_\_

■ Running performance

1500m (time)                      (day)                      (place) \_\_\_\_\_

5000m (time)                      (day)                      (place) \_\_\_\_\_

10000m(time)                      (day)                      (place) \_\_\_\_\_

Half Marathon(time)                      (day)                      (place) \_\_\_\_\_

Marathon (time)                      (day)                      (place) \_\_\_\_\_

■ tall                                      weight \_\_\_\_\_

■ from tribe \_\_\_\_\_

Thank you for your cooperation.