

博士論文

「はだし」が児童の疾走運動に及ぼす影響  
—児童に対する新たな疾走指導の提案—

令和2年度

筑波大学大学院 人間総合科学研究科 コーチング学専攻

水島 淳

## 目次

表のタイトル一覧 .....	ii
図のタイトル一覧 .....	ii
関連論文 .....	iii
用語の定義 .....	ii
略語の定義 .....	iii
I. 緒言 .....	1
II. 文献研究 .....	4
1. シューズ着用の有無が人間の走運動に及ぼす影響に関する研究 .....	4
(1) 普段はだしでいる人間と普段シューズを着用している人間の走運動 .....	5
(2) シューズ着用の有無が人間の走運動に及ぼす即時的影響 .....	6
(3) シューズ着用の有無によって走動作が変化する要因 .....	9
(4) 普段シューズを着用している人間の走動作に対するはだしでの走運動の介入効果 .....	14
2. 児童の疾走運動および疾走指導に関する研究 .....	15
(1) 児童の疾走能力および疾走動作の発達 .....	16
(2) 小学校体育における疾走指導に関する研究 .....	18
III. 本研究の目的, 課題, 意義および限界 .....	21

1. 研究の目的 .....	21
2. 研究の課題 .....	22
3. 研究の意義 .....	23
4. 研究の限界 .....	23
(1) 作業上の仮定 .....	23
(2) 一般化・普遍化に関する限界 .....	24
(3) 研究方法上の限界 .....	24
IV. シューズ着用の有無が児童の疾走動作に及ぼす即時的影響（研究課題 1-1） .....	25
1. 目的 .....	25
2. 方法 .....	26
(1) 対象者 .....	26
(2) データ収集および処理 .....	26
(3) 算出項目および算出方法 .....	30
(4) 時系列データの規格化 .....	32
(5) 統計処理 .....	32
3. 結果 .....	36
(1) 疾走能力に関する項目 .....	36
(2) 接地様式 .....	36

(3) 支持脚の関節角度および角速度 .....	40
(4) 支持脚の部分角度および角速度 .....	44
(5) 遊脚の関節角度および角速度 .....	47
(6) 遊脚の部分角度および角速度 .....	51
(7) 体幹角度.....	51
4. 考察.....	55
5. 小括.....	60
V. シューズ着用の有無による児童の疾走速度の変化に関連する要因（研究課題 1・2）	61
1. 目的.....	61
2. 方法.....	62
(1) 対象者 .....	62
(2) 実験試技.....	62
(3) データ処理 .....	62
(4) 算出項目および算出方法.....	63
(5) 対象者の群分け .....	68
(6) 統計処理.....	70
3. 結果.....	70
(1) 疾走能力に関する項目 .....	70

(2) 疾走動作に関する項目 .....	73
(3) 接地様式.....	75
(4) SSC 運動の遂行能力に関する項目 .....	76
4. 考察.....	81
(1) はだし優位群の特徴.....	81
(2) シューズ優位群の特徴 .....	84
5. 小括.....	85
VI. 長期のはだしランニングが児童の疾走能力に及ぼす影響（研究課題 1-3） .....	87
1. 目的.....	87
2. 方法.....	88
(1) 研究デザイン .....	88
(2) 対象者 .....	88
(3) 疾走能力の測定.....	90
(4) SSC 運動の遂行能力の測定 .....	90
(5) 統計処理.....	91
3. 結果.....	93
(1) 疾走能力に関する項目 .....	93
(2) 接地様式.....	94

(3) SSC 運動の遂行能力に関する項目 .....	94
4. 考察 .....	98
5. 小括 .....	100
VII. はだし走を活用した児童に対する疾走指導の効果（研究課題 2） .....	102
1. 目的 .....	102
2. 方法 .....	103
(1) 対象者 .....	103
(2) 指導内容 .....	105
(3) 指導者の関与 .....	108
(4) 測定項目および分析方法 .....	108
(5) 統計処理 .....	112
3. 結果 .....	112
(1) 疾走能力および疾走動作に関する項目 .....	112
(2) 接地様式 .....	113
(3) SSC 運動の遂行能力に関する項目 .....	116
(4) BT 群のはだし走に関する内省 .....	116
4. 考察 .....	120
(1) 接地様式について .....	120

(2) 遊脚の動作について.....	122
(3) SSC 運動の遂行能力について.....	123
(4) 児童のはだし走に関する内省について.....	124
5. 小括.....	125
VIII. 総合考察.....	126
1. 「はだし」が児童の疾走運動に及ぼす影響.....	126
2. はだし走を活用した児童に対する疾走指導の提案.....	129
3. 今後の課題.....	133
(1) シューズの統制.....	133
(2) 走動作の3次元分析.....	133
(3) 地面反力の分析.....	133
(4) はだし走を通じた形態的適応.....	134
(5) はだし走における障害リスク.....	134
IX. 結論.....	136
謝辞.....	137
文献.....	138

## 表のタイトル一覧

表 1	対象者の身体的特性 .....	28
表 2	シューズ条件とはだし条件における疾走能力 .....	37
表 3	年齢別接地様式 .....	39
表 4	はだし優位群とシューズ優位群の身体的特性 .....	69
表 5	はだし優位群とシューズ優位群の疾走能力 .....	72
表 6	はだし優位群とシューズ優位群の疾走動作（支持脚） .....	77
表 7	はだし優位群とシューズ優位群の疾走動作（遊脚および体幹） .....	78
表 8	はだし優位群とシューズ優位群の接地様式 .....	79
表 9	はだし優位群とシューズ優位群の SSC 運動の遂行能力 .....	80
表 10	BS 群と CS 群の身体的特性およびシューズの質量 .....	89
表 11	BS 群と CS 群の疾走能力 .....	95
表 12	BS 群と CS 群の接地様式 .....	96
表 13	BS 群と CS 群の SSC 運動の遂行能力 .....	97
表 14	BT 群と CT 群の身体的特性およびシューズの質量 .....	104
表 15	指導内容 .....	107



表 16	BT 群と CT 群の疾走能力および疾走動作 .....	114
表 17	BT 群と CT 群の接地様式 .....	115
表 18	BT 群と CT 群の SSC 運動の遂行能力 .....	117
表 19	BT 群のはだし走を通じた学びと感想 .....	119

## 図のタイトル一覧

図 1	支持期における地面反力の鉛直成分 .....	12
図 2	接地時における足部のフリーボディダイアグラム .....	13
図 3	実験設定 .....	29
図 4	関節角度および関節部分角度 .....	33
図 5	接地様式の定義 .....	34
図 6	時系列データの規格化 .....	35
図 7	シューズ条件とはだし条件における接地様式 .....	38
図 8	シューズ条件とはだし条件における支持脚の股関節角度および角速度 .....	41
図 9	シューズ条件とはだし条件における支持脚の膝関節角度および角速度 .....	42
図 10	シューズ条件とはだし条件における支持脚の足関節角度および角速度 .....	43
図 11	シューズ条件とはだし条件における支持脚の大腿角度および角速度 .....	45
図 12	シューズ条件とはだし条件における支持脚の下腿角度および角速度 .....	46
図 13	シューズ条件とはだし条件における遊脚の股関節角度および角速度 .....	48
図 14	シューズ条件とはだし条件における遊脚の膝関節角度および角速度 .....	49
図 15	シューズ条件とはだし条件における遊脚の足関節角度および角速度 .....	50

図 16	シューズ条件とはだし条件における遊脚の大腿角度および角速度.....	52
図 17	シューズ条件とはだし条件における遊脚の下腿角度および角速度.....	53
図 18	シューズ条件とはだし条件における体幹角度.....	54
図 19	疾走動作（支持脚）に関する項目.....	65
図 20	疾走動作（遊脚）に関する項目 .....	66
図 21	疾走動作（体幹）に関する項目 .....	67
図 22	実験設定.....	92
図 23	BT 群に配布したフィードバックシート .....	111
図 24	BT 群のはだし走に取り組むことに対する気持ち.....	118

## 関連論文

本論文は，以下の学術論文および学会発表をもとにまとめられたものである。

### 【学術論文】

水島淳・小山宏之・大山卞圭悟（2016）「はだし」が児童の疾走動作に及ぼす影響：接地様式に着目して．発育発達研究，73：13-19.

Mizushima, J., Seki, K., Keogh, J. W. L., Maeda, K., Shibata, A., Koyama, H. and Ohyama-Byun, K. (2018) Kinematic characteristics of barefoot sprinting in habitually shod children. PeerJ, 6 : e5188.

Mizushima, J., Keogh, J. W. L., Maeda, K., Shibata, A., Kaneko, J., Ohyama-Byun, K. and Ogata, M. (2021) Long-term effects of school barefoot running program on sprinting biomechanics in children : A case-control study. Gait & Posture, 83 : 9-14.

水島淳・梶谷亮輔・九鬼靖太・柴田篤志・前田奎・大山卞圭悟・尾縣貢（2021）児童を対象とした裸足による疾走指導の効果．体育学研究 査読中．

【査読付学会議事録】

Mizushima, J., Keogh, J. W. L., Maeda, K., Shibata, A., Kaneko, J., Ohyama-Byun, K. and Ogata, M. (2020) A comparison of sprinting performance between habitual barefoot and shod child runners : a case-control study. Proceedings of The 2020 Yokohama Sport Conference, Kanagawa, Japan : 50948.

【学術雑誌等】

水島淳. “はだし走”を科学する. 体育科教育, 2018年10月号. 大修館書店 : 30-34.

【学会発表】

水島淳・柴田篤志・小山宏之・大山卞圭悟. シューズ着用の有無が児童の疾走動作に及ぼす影響. 日本陸上競技学会第13回大会 (北海道), 2014年11月.

水島淳・柴田篤志・小山宏之・大山卞圭悟. 運動会は「はだし」で走るべきか. 日本発育発達学会第13回大会 (東京), 2015年3月.

水島淳・柴田篤志・小山宏之・大山卞圭悟. シューズの有無による児童の疾走速度の変化に関連する要因. 日本発育発達学会第16回大会 (沖縄), 2017年12月.

水島淳・柴田篤志・前田奎・金子潤・大山卞圭悟・尾縣貢．長期のはだし運動が児童の疾走能力および跳躍能力に及ぼす影響．日本体育学会第70回大会（東京），2019年9月．

Mizushima, J., Keogh, J. W. L., Maeda, K., Shibata, A., Kaneko, J., Ohyama-Byun, K. and Ogata, M. (2020) A comparison of sprinting performance between habitual barefoot and shod child runners: a case-control study. The 2020 Yokohama Sport Conference (Online), 2020年9月．

水島淳・梶谷亮輔・九鬼靖太・柴田篤志・前田奎・大山卞圭悟・尾縣貢．はだし走を活用した児童に対する疾走指導の効果．日本体育科教育学会第25回大会（Online），2020年10月．

## 用語の定義

### 1) 児童

「学校教育法」における児童とは、小学生を示している。本研究においても同様に、小学生を児童とした。

### 2) 疾走

本研究では、最大努力での走運動を疾走とした。よって、例えば「疾走動作」と「走動作」は区別される。

### 3) はだし走

本研究におけるはだし走とは、シューズを着用しない状態での疾走のことを示している。よって、シューズを着用しない場合であっても疾走でない走運動の場合は、はだしランニングとして区別している。

### 4) シューズ

本研究では、一般的なランニングシューズのことをシューズとしている。

## 略語の定義

本研究において用いる主な略語は、以下の通りである。

- HB : Habitually barefoot 普段はだしでいる状態の総称
- HS : Habitually shod 普段シューズを着用している状態の総称
- FFS : Fore foot strike 踵を降ろす前に母指球で接地する前足部接地
- MFS : Mid foot strike 踵と母指球が同時に接地する中足部接地
- RFS : Rear foot strike 踵が最初に接地する踵接地
- CMJ : Counter movement jump 反動付きの垂直跳び
- RJ : Five repeated-rebound jumping 連続5回リバウンドジャンプ
- RJ-index : Rebound jump index リバウンドジャンプ指数



## I. 緒言

誕生時の未熟さは、その後の発達に限りない可能性 (potentiality) が潜んでいることを意味している (宮丸, 2001). 運動に限らず、人間の発達はそれを規定する要因との関連において、潜在的可能性がうまく解発 (release) されれば発達は促進され、何らかの理由で阻害されれば発達は遅滞することになる (宮丸, 2001). 走運動それ自体は系統発生的な運動であり、人間は 2 歳前後からかなり安定して走ることが可能になるとされている (Gallahue, 1982 ; 八木ほか, 1982). そして、3 歳頃には目標地点まで走ることができるようになり、4-5 歳になればスプリントを利かせた徒競走などの疾走が可能になる (宮丸, 2001).

走運動の際、足部は唯一地面と接する身体の一部 (Fiolkowski et al., 2005 ; Nurse and Nigg, 2000), すなわち工学的な意味合いでの作用端であり、全身の運動の結果として生じた力が、足部を通して地面に伝えられることで、人間の立位におけるロコモーションは成立している. 濡れた氷の上で走ることが困難であるように、作用端である足部と地面との接点の状態は、運動に大きく影響を与える. また足底は、感覚受容器の分布が豊富な部位でもあり、足底の感覚受容器は、角のたった岩などのような危険な物体の存在や、凹凸、粗さ、硬さなどの地面の性質を感知するために進化したといわれている (Jenkins and Cauthon, 2011). それら感覚情報は中枢神経系へと伝達され、その反応として、中枢神経系は身体の安定性を増加させるために、走動作の変化を促すと報告されてきた (Fiolkowski et al., 2005 ; Jenkins and Cauthon, 2011). しかしながら、足底からの感

覚フィードバックは、シューズによって一部制限されることから (Jenkins and Gauthon, 2011 ; Nurse and Nigg, 2000), シューズの着用が人間の走運動に何らかの影響を及ぼしている可能性があると考えられる.

これまで自然人類学やバイオメカニクスの研究分野において、人間本来の運動機能を用いた走運動の理解への試みとして、シューズ着用の有無が人間の走運動に及ぼす影響に関する検討が進められてきた (Lieberman, 2012; Lieberman et al, 2010). 例えば Lieberman et al. (2010) は、普段からはだしで走っているランナーたちの多くが前足部あるいは中足部で接地をしており、普段からシューズを着用して走っているランナーたちの多くは踵で接地をすることを明らかにしている. また, Ahn et al. (2014) は、40名の普段シューズを着用して走っているランナーを対象に、シューズ着用の有無による接地様式の違いを検討し、11名はシューズ着用の有無に関わらず前足部接地、また別の11名はシューズ着用の有無に関わらず踵接地、残りの18名は、シューズ条件では踵接地、はだし条件では前足部接地であったと報告し、普段シューズを着用して走っているランナーであってもはだしで走ることによって接地様式が即時的に変化する可能性を示している.

しかしながら、これらの研究の多くは、3.0 m/s 前後のランニングを分析対象としており、疾走運動を分析対象とした研究はほとんど見当たらない. また、成人を対象とした研究が大半であり、児童を対象とした研究は極めて少ない. さらに、これら両方について検討した数少ない研究をみると、Hollander et al. (2018) は、普段はだしで生活している児童はシューズを着用している児童と比較して、シューズ条件、はだし条件ともに踵で

接地をする割合が高いと報告しており、シューズ着用の有無が成人のランニングに及ぼす影響が児童の疾走運動に対しても当てはまるとは限らないことを示唆している。神経系を含む身体の発育発達が著しく、運動技能の獲得過程において可塑性が大きい児童を対象として、シューズ着用の有無が疾走運動に及ぼす影響が明らかになれば、シューズ着用の影響を排除した本来の人間としての疾走能力および疾走動作の発達に迫ることができるだろう。

以上のような背景から、「はだし」が児童の疾走運動に及ぼす影響について検討することは、人間の基本的な運動としての走運動への理解を深めることができる重要な研究課題として意義を有しているとともに、児童に対する効果的な疾走指導への大きな手がかりとなり得ると考えられる。さらに本研究では、得られた知見を基に児童を対象とした疾走指導現場へ新たな疾走指導の提案を試みたい。

## II. 文献研究

### 1. シューズ着用の有無が人間の走運動に及ぼす影響に関する研究

人間は何百万年もの間、はだしで歩き、走ってきたが (Bramble and Lieberman, 2004), 現代の日本において、はだしで出歩く人をほとんど見かけなくなった。考古学的な記録の中にもほとんど残っていないが、シューズの起源は 45000 年前に始まった後期旧石器時代におけるサンダルやモカシンとよばれるクッションがほとんどない、草鞋や草履のようなものだったといわれている (Lieberman, 2012). 長い時を経て、スニーカーが 1900 年初頭に発展し、現代的なランニングシューズが開発されたのは 1970 年代以降とつい最近のことである (Krabak et al., 2011 ; Lieberman et al., 2010). この頃から走運動におけるパフォーマンスの向上、さらには障害の予防を目的として、踵のクッションやアーチサポートなどといったシューズの機能に関する多くの研究開発が行われてきた (Daoud et al., 2012 ; van Gent et al., 2007). それとは裏腹に 1980 年代以降、児童の体力低下が指摘され始めた頃から、「はだし」が児童の健全な発育発達に大きな役割を果たす可能性が示唆され (野田, 1983), 日本では、足のアーチの形成などの足の形態の発育面への影響に着目した研究がなされてきた (永田・高橋, 1986 ; 西澤, 2012 ; 寺田ほか, 1985). さらに、2000 年代以降、自然人類学者の Daniel Lieberman は進化論に立脚して、「はだし」こそが人間本来のロコモーションのあり方であると提唱し続けており、シューズ着用の有無によるロコモーションへの影響に関して、これまで多くの研究を行ってきた (Lieberman, 2012 ; Lieberman et al., 2010).

以下では、シューズ着用の有無が人間の走運動に及ぼす影響に関する先行研究を整理し、ミクロレベルの研究の不足を確認することで、本研究の位置づけと意義を明確化する。

(1) 普段はだしでいる人間と普段シューズを着用している人間の走運動

シューズ着用の有無が人間の走運動に及ぼす影響に関して、これまで普段からはだしで生活している部族 (Lieberman et al., 2010) や簡素な履物を着用して生活している部族 (Lieberman et al., 2015) を観察した自然人類学的研究や、以前はシューズを着用して走っていたが、はだしで走ることを習慣化したランナーを対象としたバイオメカニクスの研究 (Squadrone and Gallozi, 2009) がなされてきた。これらの先行研究において、普段はだしでいる状態の総称について、Habitually Barefoot (HB) という表現を用いている。また、普段シューズを着用している状態の総称について、Habitually Shod (HS) という表現を用いていることから、本研究においても同様に HB と HS という語句について扱うこととする。

HB ランナーと HS ランナーとの走動作を比較検討した先行研究によると (Divert et al., 2008; Squadrone and Gallozi, 2009), HB ランナーに共通する特徴は、速度に関わらず、HS ランナーと比較してストライドが小さく、ピッチが高いことであると報告されている。また、HB ランナーと HS ランナーの接地様式の違いに着目した研究では (Lieberman, 2012; Lieberman et al., 2010), HB ランナーの多くは、踵を降ろす前に母指球で接地する前足部接地 (Fore Foot Strike : FFS) あるいは踵と母指球が同時に接地する中足部接地

(Mid Foot Strike : MFS) であるのに対して, HS ランナーの多くは, 踵がはじめに接地する踵接地 (Rear Foot Strike : RFS) であると報告されている. さらに, たとえ HB ランナーであっても, 対象の走速度や活動レベルに依って, 接地様式は FFS あるいは MFS に限らず RFS の場合もあることも報告されている (Hatala et al., 2013).

これら HB 人間の走運動を観察した研究の大半は, 成人を対象としており, 児童を対象とした研究は極めて少ない (問題点 1). 数少ない HB 児童を観察した研究をみると, Hollander et al. (2018) は, 南アフリカの HB 児童 288 名とドイツの HS 児童 399 名の疾走運動 (3.70–3.98 m/s) における接地様式を比較し, HB 児童は, HS 児童と比較してシューズ条件, はだし条件ともに RFS の割合が高いことを明らかにしている. また Zech et al. (2018) は, 南アフリカの HB 児童 286 名とドイツの HS 児童 383 名の 20 m 走のタイムを比較し, HS 児童の疾走能力は HB 児童と比較して, シューズ着用の有無に関わらず有意に高いと報告している. しかしながら, これらの研究は, 対象者の比較に際して, 身体的特性や民族性などの内部変数および走路のサーフェスなどの外部変数を統制できていないことが問題点として挙げられる (問題点 2).

## (2) シューズの有無が人間の走運動に及ぼす即時的影響

シューズの有無が人間の走運動に及ぼす即時的影響に関する研究の多くは, 成人の HS ランナーを対象として, シューズを脱ぎはだしで走ることで如何に走動作が変化するかについて, 実験室で検討されてきた (De Wit et al., 2000 ; Divert et al., 2005). 例えば,

De Wit et al. (2000) は、HS ランナー9名におけるランニング (3.5, 4.5 および 5.5 m/s) について検討し、シューズを脱いで走ったときにピッチが高まり、ストライドが大きくなる傾向にあることを明らかにした。また Divert et al. (2005) は、HS ランナー34名のランニング (3.33 m/s) を対象として同様の検討を行い、シューズ条件と比較してはだし条件は、滞空時間および接地時間は有意に短く、ピッチは有意に高く、そしてストライドは有意に小さかったことを明らかにしている。さらに、Ahn et al. (2014) は、HS ランナー40名のランニング (2.5, 2.8, 3.2 および 3.5 m/s) を対象にシューズの有無による接地様式の違いを検討し、11名はシューズの有無に関わらず FFS, また別の11名はシューズの有無に関わらず RFS, 残りの18名は、シューズ条件では RFS, はだし条件では FFS であったと報告し、HS ランナーはシューズを脱ぎはだしで走ることによって、接地様式が即時的に変化することを明らかにしている。

HS 児童を対象とした研究に着目すると、Hollanders (2014) は、HS 児童36名のランニング (2.22 および 2.78 m/s) を対象にシューズの有無による走動作の違いを検討し、HS 児童はシューズを脱ぎはだしで走ることで、接地時の足関節はより底屈位となり、RFS の割合が減少することを明らかにしている。また、6歳から16歳のHS 児童および青少年713名 (Latorre-Román et al., 2017), 3歳から6歳のHS 幼児1356名 (Latorre-Román et al., 2018) を対象とした実地調査では、シューズ条件と比較してはだし条件で RFS の割合が減少することが報告されている。

一方で、成人の HB ランナーを対象としてシューズ着用の有無による走運動への影響を

検討した研究をみてみると、Squadrone and Gallozi (2009) は、HB ランナー8名のランニング (3.3 m/s) を対象としてシューズ着用の有無が走動作に及ぼす即時的な影響を検討した結果、HB ランナーが同じ速度でシューズを着用して走った場合、ピッチが低下し、ストライドが大きくなる傾向にあることが明らかにしている。また、接地様式に関しても、HB ランナーがシューズを着用した際には、FFS あるいは MFS であった接地様式が RFS へと変化したという報告もなされている (Lieberman et al., 2015 ; Lieberman et al., 2010 ; Squadrone and Gallozi, 2009)。これらのことから、HB ランナーであってもシューズを着用することによって、HS ランナーと同様の走動作の即時的変化が認められることが明らかとなっている。

以上のようにシューズの有無が人間の走運動に及ぼす即時的な影響に関する研究を概観した結果、3.0 m/s 前後のランニングを分析対象とした研究は多いものの、疾走運動を分析対象とした研究は極めて少ないことが分かる (問題点 3)。それに加え、成人を対象とした研究が大半であり、児童を対象とした研究はほとんど見当たらない (問題点 4)。これら両方について検討した研究についてみてみると、田附 (2006) は、HS 児童が 50 m を走る場合、シューズを着用して走るよりもはだしで走る方が速かったと報告している。しかしながら、その動作要因として脚の最大振り下ろし速度のみしか検討されておらず (田附, 2006)、シューズ着用の有無が児童の疾走能力および疾走動作に及ぼす影響について、一般化可能な知見を得るには至っていない (問題点 5)。



### (3) シューズ着用の有無によって走動作が変化する要因

シューズ着用の有無によって走動作が変化する一因として、着地衝撃による生体への負担を軽減するための運動制御系の適応の関与が挙げられる。Lieberman et al. (2010) の報告によると、はだしでのランニング (3.5 m/s) における鉛直地面反力を比較した際、着地衝撃の鋭い成分である第一ピークは RFS で顕著であるものの、FFS ではほとんどみられない (図 1a, b)。その理由として、FFS あるいは MFS は、RFS と比較して接地時の基底面がより大きく、足部のアーチを含む多くの下肢関節で着地衝撃を吸収できることが挙げられている (De Wit et al., 2000 ; Liberman et al., 2010)。さらに RFS では、母指球が接地するまでアーチが引き伸ばされることはなく、皮下脂肪層、関節部構成組織または骨格自体で着地衝撃を吸収する (図 2, Lieberman, 2012)。このとき踵部に対して局部応力が発生し、踵部脂肪組織を生理学的に大きく変形させるという報告もされている (De Clercq et al., 1994)。また、この RFS による着地衝撃の急激な立ち上がりは、シューズ着用時にもみられるが (図 1c, Lieberman et al., 2010)、足底と地面の間のソールがこの踵部への衝撃力を緩衝し、さらに足底からの感覚フィードバックを一部制限することで、RFS を容易にしていると考えられている (Jenkins and Cauthon., 2011 ; Nurse and Nigg, 2000)。

このような接地様式の変化は下肢の筋活動、ひいては走動作全体にも影響を及ぼすこととなる。Ahn et al. (2014) は、HS ランナー40名のランニング (2.5, 2.8, 3.2 および 3.5 m/s) を対象として、シューズ着用の有無によるランニング中の支持脚の筋活動について検

討しており、シューズの有無に関わらず FFS は RFS よりも早く腓腹筋を予備緊張させて接地していたと報告している。また FFS あるいは MFS は、下腿三頭筋筋腱複合体を主とする足関節底屈筋群を伸張性収縮させながら着地衝撃を吸収する (Lieberman, 2012)。その際、筋や腱に弾性エネルギーが蓄えられ、続く短縮性収縮時に蓄積弾性エネルギーが放出・利用される伸張-短縮サイクル (Strech-Shortening Cycle : SSC) 運動 (Komi and Buskirk, 1972) によって、パワーや機械的効率を高めるとされている (Cavagna et al., 1968)。このように、足関節底屈筋群の機能を効果的に発揮することにより、接地時間に対して獲得される地面反力が増大する可能性があると考えられる。

一方、シューズ着用の有無によって走動作が変化する原因として、シューズの質量の増減による遊脚のスウィング動作への影響についても言及されてきた (Frederick et al., 1984 ; Fuller et al., 2015)。股関節周りの慣性モーメントは、下肢の各セグメントの質量と股関節からの各セグメントまでの距離によって規定されている。下肢の各セグメントの中でも最も股関節から距離の離れている足部は、遊脚のスウィング動作において最も大きな断面回転半径を描く。このことからシューズ着用の有無による質量変化は、遊脚のスウィング動作における慣性抵抗の増減の要因となり、結果として接地様式を含む走動作全体に影響を及ぼすとされている (Frederick et al., 1984 ; Fuller et al., 2015)。

以上のことから、シューズ着用の有無による走動作の変化には、着地衝撃による生体への負担を軽減する運動制御系の適応やシューズの質量の増減による遊脚のスウィング動作への影響が関連していることが理解できる。また、神経系を含む身体の発育発達が著しく、

成人と比較して足部全体の質量に占めるシューズの質量の割合が高い児童にとって、シューズ着用の有無による走動作への影響は成人と異なる可能性があると考えられる。

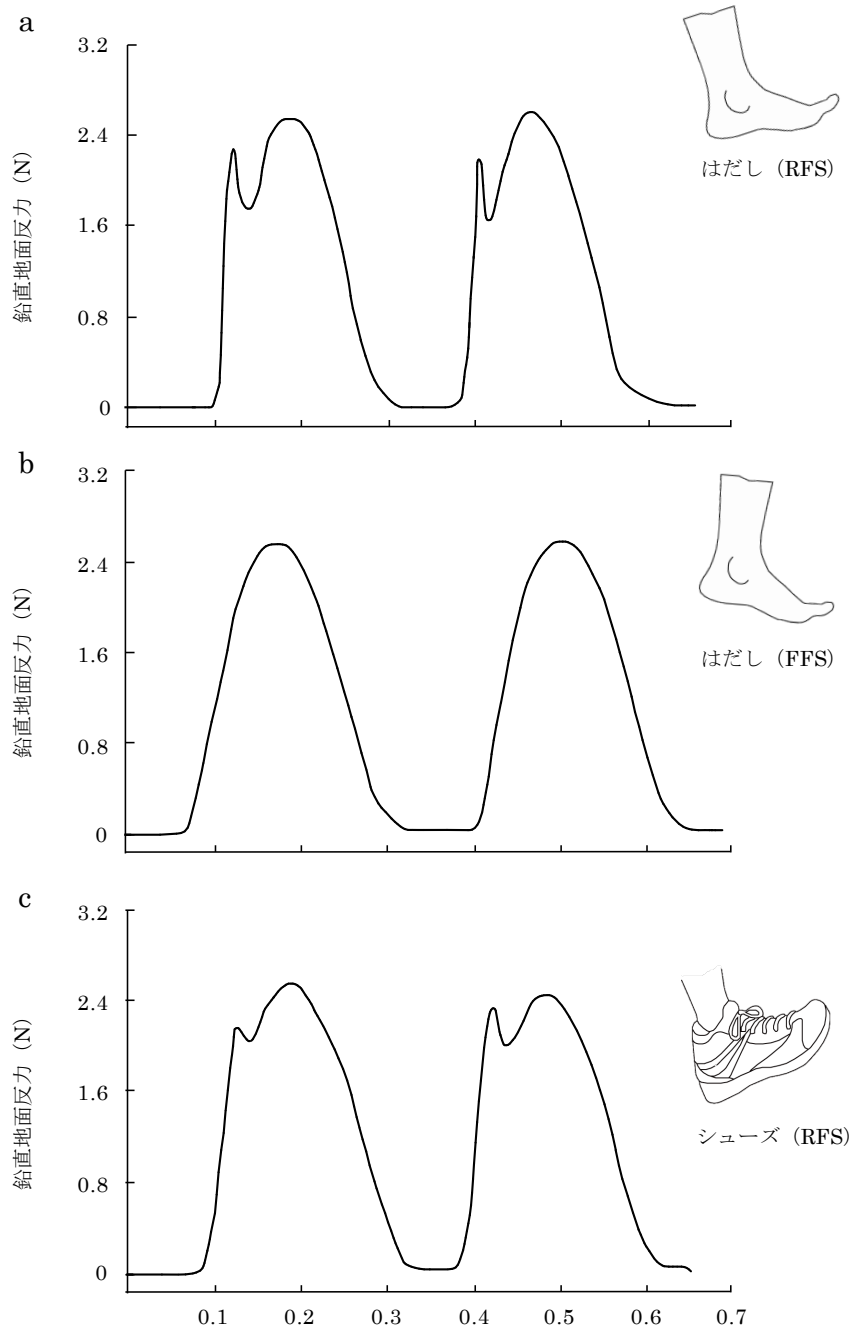


図1 支持期における地面反力の鉛直成分

(Lieberman et al., 2010) を基に作成

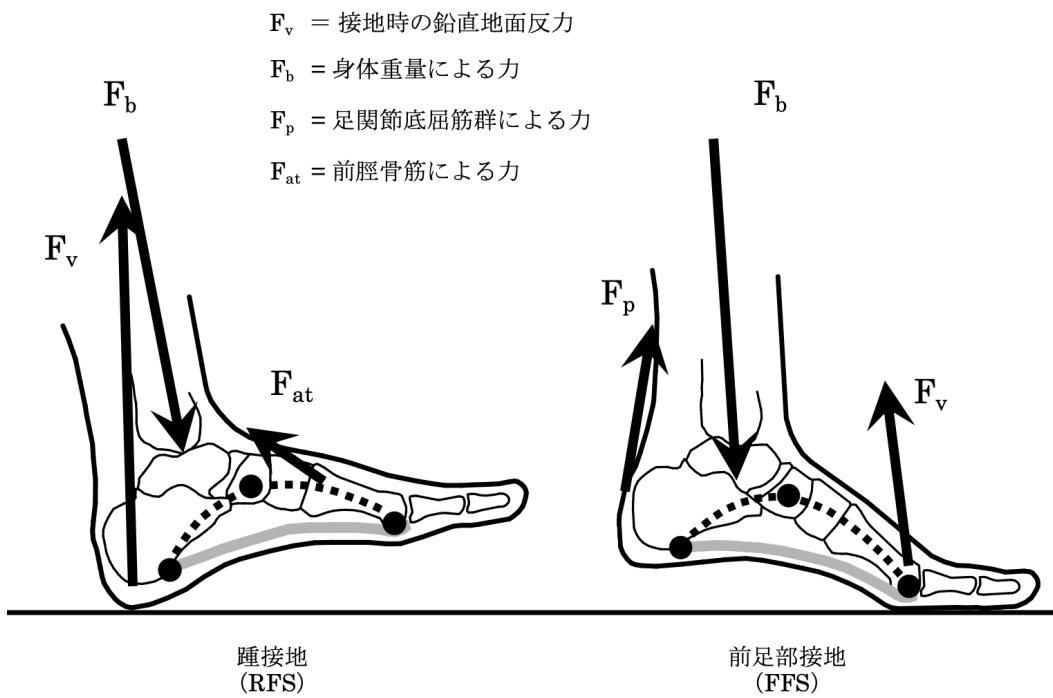


図 2 接地時における足部のフリーボディダイアグラム

(Lieberman, 2012) を基に作成

(4) 普段シューズを着用している人間の走動作に対するはだしでの走運動の介入効果

これまで HS 成人の走動作に対するはだしランニングの介入効果に関して、様々なプロトコルを用いて縦断的に検討されてきた。例えば、Utz-Meagher et al. (2011) は、HS ランナー15名を対象にして、2週間の介入実験を実施した。対象者には、通常のランニングシューズを着用したランニングの前に、1週目は5分間（計5回）、2週目は10分間（計5回）のはだしでのランニングを行わせた。その結果、実験前と比較して実験後に、足関節底屈位での接地、接地時間の短縮、地面反力のピークの減少が認められたと報告されている（Utz-Meagher et al., 2011）。また、Latorre-Román et al. (2019) は、HS ランナーを介入群 18名と対照群 13名に分け、12週間の介入実験を実施し、ランナーの実験前後の接地様式を分析した。介入群には、通常のランニングシューズを着用したランニング後に、1・2週目は10分間（計6回）、3・4週目は10分間（計9回）、5・6週目（計9回）15分間、7・8週目は20分間（計6回）、9・10週目は20分間（計9回）、11・12週目は40分間（計2回）と20分間（計4回）のはだしでのランニングを行わせた。その結果、介入群のみ接地様式が RFS から FFS あるいは MFS へと変化したと報告されている（Latorre-Román et al., 2019）。さらに、Hollander et al. (2019) は、HS ランナーをはだし群 18名、シューズ統制群 14名、コントロール群 14名に分け、1週間に15分間（計7回）のランニングを8週間行わせ、接地様式および地面反力の変化を分析した。その結果、はだし群のみ接地様式が底屈位へと変化した、地面反力が大きくなり、接地時の力の立ち上がり率が高まったと報告している。この地面反力が大きくなり、力の立ち上がり

率が高まった要因として、はだしでのランニングによる接地様式の変化（RFS から FFS あるいは MFS）と足関節底屈筋群の発達に関連している可能性があることが示唆されている（Hollander et al., 2019）.

以上の先行研究は、HS 成人の走動作に対するはだしランニングの介入効果について検討しており、未だ HS 児童の疾走運動に対するはだし走の介入効果について縦断的に検討した研究は見当たらない（問題点 6）.

## 2. 児童の疾走運動および疾走指導に関する研究

疾走運動は、人間の基礎的・基本的な運動を代表する運動である（宮丸，2001）. マイネル（1981）は、児童期後半（9–12 歳）を競技スポーツとして将来行う種目の基礎的な運動技術を習得する有利な時期としてとらえている. このことは、この時期における疾走運動の技術指導が適切に行われる必要性があることを示唆している. しかしながら、疾走運動は達成水準を問わなければ誰にでもできる運動が故に、技能を高める指導が軽視されてきたという指摘もされている（加藤ほか，2000；宮崎・尾縣，2009）.

以下では、児童の疾走運動および疾走指導に関する研究を整理することで、発育発達に即した児童に対する疾走指導に際する留意点および小学校教育現場における疾走指導上の課題について確認する.

### (1) 児童の疾走能力および疾走動作の発達

疾走能力の発達は、2歳前後のもっとも初歩的な走動作の習得に始まり(八木ほか, 1982), 3歳頃には「用意ドンの合図で走り出すこと」や「目標地点まで走ること」ができるようになり、5歳頃になれば「スプリントを利かせて徒競走をすること」が可能になるといわれている(宮丸, 2001). 宮丸(2001)は、1歳から12歳にみられる加齢による疾走速度の向上は、男女ともピッチの向上よりも、主に加齢に伴うストライドの増大に起因していると報告している. さらに加藤ほか(1999)は、7歳から15歳までの加齢に伴う疾走能力の発達を縦断的に追跡し、小学生から中学生における疾走能力の発達は、身体の形態や機能の発育発達、とりわけ発育スパートの開始時期と関係していると述べている. 斉藤・伊藤(1995)は、加齢に伴う疾走能力の発達は、下肢長の増加に伴いストライドが増大する形態的な発達と、下肢長の増加による身体質量と重力負荷の増大に対してさらにストライドが増大する機能的な発達の両要素にあると報告している. これらのことを踏まえると、特別な疾走の練習をしない限り、疾走能力は加齢に伴う身体資源の発育発達に大きく依存していると考えられる.

また、児童を対象として疾走能力と疾走動作との関係を検討し、疾走能力の高い児童の特徴を明らかにしようと試みた研究(加藤ほか, 2001; 加藤ほか, 1999; 宮丸ほか, 1992)も行われている. これらの研究から疾走能力の高い児童の疾走動作の特徴として、大きく分けると支持脚に関するものと遊脚に関するものに分けることができる. 支持脚に着目すると、加藤ほか(2001)は、疾走能力の高い児童は、疾走能力の低い児童と比較して、支



持脚の後方スウィング速度が高いことや、支持脚の下腿部がより前傾している特徴を有していると報告している。また接地様式については明らかにされていないが、提示されている支持期の足関節角度変位から FFS あるいは MFS であったことが推察される。また、Miyamoto et al. (2018) は、児童の疾走中の接地様式と疾走能力および疾走動作との関係を検討し、RFS の児童と比較して FFS あるいは MFS の児童は、接地時間が短く、ピッチが高く、そして疾走速度が高かったことを明らかにしている。一方、遊脚に着目すると、疾走能力の高い児童は、もも上げ角度が大きいことや遊脚全体の前方スウィング速度が高いことおよび膝関節角度がより屈曲していることなどが報告されている(加藤ほか, 2001; 木越ほか, 2012; 関ほか, 2016)。さらに、遊脚の動作は疾走速度には直接的には影響しないが、全身の運動の結果として生じた力を地面に伝達する支持脚に対して良い影響を及ぼすという報告もされている(木越ほか, 2015; 関ほか, 2016)。これらの疾走動作の習得には、脚筋パワーなどの体力的要素が大きく関係していると考えられており、実際、宮丸ほか(1992)や加藤ほか(1999)は、早期に優れた疾走能力を発揮する児童の身体は早熟であり、体力的要素に優れていると報告している。

また宮丸ほか(1991)は、年齢の低い段階で疾走能力の高い子どもは、その後もずっと疾走能力に優れ、年少期に著しく劣る子どもは、その後もずっと疾走能力が低い傾向があることを報告している。加藤ほか(1999)は、低年齢で疾走能力が高い児童は、その後年齢が上がっても一貫して疾走能力が高く、低年齢で疾走能力が低い児童は、年齢が上がっても一貫して疾走能力が低いという発達傾向を明らかにしている。これらのことは、疾走

能力の優劣が年齢の低い段階でかなり決定されることを示唆している。他方、Stodden et al. (2008) は、運動の基礎的な能力が低い児童は、その低い運動能力を自覚していることがほとんどであることから、身体活動へ参加して楽しむという動機づけが低くなり、その後の運動やスポーツへの参加率が低下することを指摘している。また小学校体育授業において、特に短距離走の授業では個人の能力差が顕著に表れるため、相対的に能力の低い児童から短距離走の授業は嫌われる傾向にあり、このような能力差への劣等感から運動嫌いを生み出す要因ともなっていることが指摘されている（秋吉，1985）。

## (2) 小学校体育における疾走指導に関する研究

小学校体育における疾走運動は、小学校学習指導要領体育編の陸上競技系の領域に取り上げられ、低学年と中学年では「走・跳の運動遊び」、「走・跳の運動」として「かけっこ」と表記されており、高学年からは「陸上運動」として「短距離走」と表記されている（文部科学省，2017b）。それらの学習指導に関して、低学年と中学年では「動き自体の面白さや心地よさを引き出す」ことや「楽しい活動の仕方や場を工夫する」が大切だと記載されており、高学年では「合理的な運動の行い方を大切にする」ことや「自己の能力に適した課題をもち、適切な運動の行い方を知り、記録を高める」ことに重きが置かれている（文部科学省，2017b）。

一方で、疾走指導を行う立場である小学校教員に関して質問紙調査を行った研究（青戸，2012）によると、「走り方の指導をどの程度しているか」という問いに対して「特にしてい

ない」という回答や「年間3コマ以下」という回答が約9割を占めている。その理由として、指導方法がわからなく、指導によって児童が速くなっている実感がないこと、陸上についての専門書や指導書には、専門用語が並んでおり、陸上競技を専門としていない教員にとっては理解が困難であることなどを指摘している。

これらの現状を踏まえ、これまでに小学校体育の授業において児童の疾走能力向上を試みた研究も行われてきた（今平・平野，2013；加藤ほか，2000；木越・関，2019；木越ほか，2012；松田ほか，2006；長野ほか，2011；陳ほか，2013）。例えば、長野ほか（2011）は、小学2年生28名を対象として、「走・跳の運動遊び」の授業を実施した結果、50m走のタイムが向上したことを報告している。また児童の疾走動作についても、スタート局面8項目、疾走局面6項目からなる観察的動作評価基準に基づいた分析を行い、14項目中9項目で有意な得点の向上が認められたことが報告されている（長野ほか，2011）。今平・平野（2013）は、小学4年生35名を対象として、自分の疾走動作を仲間とともに客観的に捉える工夫を施した授業実践を行い、結果として50mのタイムが向上しただけでなく、仲間との関わり合いのなかで技能を定着させ、児童は運動有能感を高めたことを報告している。一方で、中には運動有能感を低下させた児童もいたことから、児童個人に沿った支援の在り方について考える必要があることが示されている（今平・平野，2013）。木越ほか（2012）は、小学6年生66名を対象として、遊脚の前方スウィング動作改善を図る補助具を用いて疾走指導をした結果、中間疾走局面（30–40 m）の疾走速度や50mのタイムが向上したことを報告している。しかしながら、遊脚の前方スウィング動作の改善につ

いては、特に遊脚の膝関節をしっかり屈曲させることができない児童や、腿を高く上げることができない児童のみに対して効果がみられたことが報告されている（木越ほか, 2012）。このことは、児童の個別性を有した動作の特徴を考慮した上で疾走指導を行う必要があることを示唆している。

以上のことから、児童にも教員にもわかりやすく、個人に寄り添った形で、簡便に合理的な疾走動作を引き出すことのできる疾走指導は、短距離走の授業を行う上で有効なものになると考えられる。しかしながら、児童に対する疾走指導において、それらの要素を満たす疾走指導の提案およびその効果の検討が十分に蓄積されているとは言い難い（問題点7）。

### Ⅲ. 本研究の目的, 課題, 意義および限界

#### 1. 研究の目的

Ⅱ章の文献研究より, シューズ着用の有無が人間の走運動に及ぼす影響および児童を対象とした疾走指導に関して, 以下の問題点が指摘された.

- (1) HB と HS の児童を対象として, 疾走能力や疾走動作について比較検討した研究は極めて少ない. また対象者の身体的特性や民族性などの内部変数および走路のサーフェスなどの外部変数を統制している研究は見当たらない (問題点 1, 2).
- (2) シューズ着用の有無が児童の疾走運動に及ぼす即時的な影響を検討した研究はほとんど見当たらない. また疾走動作の変化について詳細に検討した研究は見当たらない (問題点 3, 4, 5).
- (3) HS 児童の疾走運動に対するはだし走の介入効果について縦断的に検討した研究は見当たらない (問題点 6)
- (4) 児童にも教員にもわかりやすく, 個人に寄り添った形で, 簡便に合理的な疾走動作を引き出すことのできる疾走指導に関する実践研究は十分に蓄積されていない (問題点 7).

本研究では、上記の問題点を解決するために、「はだし」が児童の疾走運動に及ぼす影響を明らかにし、はだし走を活用した児童に対する疾走指導の効果を検討することで、児童に対する疾走指導現場に有用な実践的示唆を得ることを目的とした。

## 2. 研究の課題

本研究では、上述の目的を達成するために、以下の2つの課題を設定した。

- (1) 研究課題 1: 「はだし」が児童の疾走運動に及ぼす影響を明らかにすること (問題点 1-5)

先ずシューズ着用に起因するHS児童の疾走動作の即時的変化を明らかにする (研究課題1-1: IV章)。また、シューズ着用の有無による疾走速度の変化に関連する要因を明らかにすることで、個別性を有した動作の特徴およびその背景となる個人的特性の解明を試みる (研究課題1-2: V章)。さらに、長期間はだしランニングに取り組んでいる児童を調査することにより、児童の疾走能力に対するはだしランニングの長期的影響を確認する (研究課題1-3: VI章)。これらの研究課題の検証を踏まえて、「はだし」が児童の疾走運動に及ぼす影響を明らかにする。

- (2) 研究課題 2: はだし走を活用した児童に対する疾走指導の効果を明らかにすること (問題点 6, 7)

研究課題1で明らかとなった知見を踏まえて、はだし走を活用した児童に対する疾走指導を提案し、その効果を検討する（Ⅶ章）。

### 3. 研究の意義

本研究では、シューズ着用の有無が児童の疾走運動に及ぼす影響について検討を進める。シューズ着用の有無が人間の走運動に及ぼす影響への探索は、決して新しい取り組みではない。しかしながら、身体の発育発達段階にある児童の疾走運動を対象として、シューズ着用の影響を検討することで、シューズの影響を排除した本来の人間としての疾走能力および疾走動作の発達に迫ることができると考えられる。さらに本研究において、筆者は指導者としての視点を持ち、如何にして指導現場に還元できるかについて議論を深めた。それにより得られる知見は、今後の児童を対象とした疾走指導および研究の発展に貢献する資料となり得ると考えられる。

### 4. 研究の限界

#### (1) 作業上の仮定

本研究では、バイオメカニクス的手法を用いて動作分析を行った。したがって、分析を行う際には以下の仮定を設けた。

- 1) 対象者である児童の身体各部の重心および慣性モーメントは、横井ほか（1986）の日本人幼少年身体部分慣性係数を用いて推定できる。

- 2) 疾走動作は矢状面上の二次元動作とみなすことができる。
- 3) 実験における疾走は、全ての対象者が最大努力で遂行したものであった。
- 4) 本研究の実験は、屋外で行ったため、風や気温などの気象条件を全ての試技で一定にすることができなかったが、それらの相違は疾走動作に影響しなかった。

## (2) 一般化・普遍化に関する限界

本研究には、研究方法および得られた知見の一般化・普遍化に関する限界が存在する。

- 1) 本研究の対象者である児童は、限られた地域に在住している小学生であった。したがって、本研究で得られた結果が日本の発育期の児童の代表値とすることには限界があるが、対象者の身長や体重は、「学校保健統計調査報告書（文部科学省，2017a）」に示されたものとはほぼ同様であったことから、日本人の同年代の標準的な児童の身長および体重であるといえる。

## (3) 研究方法上の限界

- 1) 本研究における疾走は、全天候型直線走路上（研究課題1-1，研究課題1-2）および土の上（研究課題1-3）で行ったため、本研究で明らかになった知見を芝生などの他のサーフェイス上での疾走に適用することには限界がある。



#### IV. シューズ着用の有無による児童の疾走動作の変化 (研究課題 1-1)

##### 1. 目的

走運動は系統発生的な運動であり、人間における最も基本的な運動の一つとされている (Gallahue, 1982)。児童は、中枢神経系の機能成熟をはじめとした内的要因と外部環境などの外的要因との相互作用を通じて運動を発達させ (Malina et al., 2004)、6-7 歳には成人とほぼ同様の走動作が獲得されるといわれている (宮丸, 2001; 辻野・後藤, 1975)。

外的要因の一つであるシューズ着用の有無が人間の走動作に及ぼす即時的影響に関して、これまでに行われてきた研究の大半は、HS 成人のランニングを対象として行われてきた (De Wit et al., 2000 ; Divert et al., 2005)。一方で、HS 児童の疾走運動を対象とした唯一の研究では (田附, 2006)、HS 児童が 50 m を走る場合、シューズを着用して走るよりもはだしで走る方が速いことが報告されているものの、その動作要因として脚の最大振り下ろし速度のみしか検討されていない。このように、未だシューズ着用の有無による児童の疾走動作の変化について詳細に検討を行った研究は見当たらない。

神経系を含む身体の発育発達が著しく、運動技能の獲得過程において可塑性が大きい児童を対象に、シューズ着用の有無による疾走動作への影響を明らかにすることで、シューズの影響を排除した本来の人間としての疾走能力および疾走動作の発達に迫ることができるとともに、児童に対する効果的な疾走指導への大きな手がかりとなり得ると考えられる。

そこで、本研究ではシューズ着用の有無が HS 児童の疾走動作に及ぼす即時的な影響を明らかにすることを目的とした。

## 2. 方法

### (1) 対象者

対象者は、スポーツクラブに所属し、年間 18 回に渡り、走、跳、投の基本的な運動を行っている HS 児童 94 名（男子 51 名、女子 43 名）であった。対象者の身長は  $1.35 \pm 0.12$  m、体重は  $29.0 \pm 7.0$  kg であった（表 1）。なお、すべての対象者および保護者には本実験の主旨、内容ならびに安全性についてあらかじめ説明をし、参加の同意を得た。本研究は、筑波大学体育系研究倫理委員会の承認の上、実施された（承認番号：体 29-143）。

### (2) データ収集および処理

本研究では、普段から着用しているシューズ、はだしの 2 条件の下、スタンディングスタートの姿勢からの 30 m 疾走を実施した。京都教育大学内にある全天候型直線走路 1 レーンを使用した。順序の影響を排除するために、試技はランダムで行わせた。対象者には、はだしで走ることに慣れるために、はだし条件による試技を行う前にはだしでのジョギングを行わせた。また、疲労の影響が出ないように配慮して試技間には十分な休息をとらせた。

図 3 は、本研究における実験設定を示している。スタートから 20 m 地点の左側方 20 m に設置したハイスピードカメラ（CASIO 社製、EX-F1、露出時間 1/1000 s）を用いて 300 fps で撮影した。撮影範囲は 20 m 地点を中心に前後 3 m とした。また、身体分析点の 2 次元座標を算出するため、較正マークを撮影範囲内の走路両側に 1 m 間隔で設置して撮影

した。また、接地様式を判別するために、スタートから 20 m 地点に 5 台のハイスピードカメラ (CASIO 社製, EX-F1, 露出時間 1/1000 s) を設置し、3 方向から接地時の足部を 300 fps で撮影した。

撮影された VTR 画像から、左足接地瞬間から、再びその足が接地するまでの 1 サイクル (2 歩) の身体分析点上肢 8 点 (左右の第三中手指関節中心, 手関節中心, 肘関節中心, 肩関節中心), 下肢 12 点 (左右のつま先, 第三中足指節関節中心, 踵点, 足関節中心, 膝関節中心, 股関節中心), 頭部および体幹部 3 点 (頭頂, 左右耳珠点を結ぶ線分の中点, 胸骨上縁) の計 23 点および実長換算のために走路の両側に 1 m 間隔で設置した較正マーク (対象者の近傍 4 点) の位置座標を動画解析システム (DKH 社製, Frame-DIASIV) を用いて 150 Hz でデジタル化した。得られた 23 点の身体分析点の 2 次元座標は、4 次のバターワース型低域通過フィルタによって平滑化した。この時の最適遮断周波数は Wells and Winter (1980) の方法により決定した (5.0–10.0 Hz)。平滑化したデータから、身体を左右の手部, 前腕, 上腕, 足部, 下腿および大腿, そして体幹および頭部の 14 部分からなるリンクセグメントモデルを構成した。また、横井ほか (1986) の身体部分慣性係数を用いて、部分および全身の重心位置, 部分の慣性モーメントを算出した。

表 1 対象者の身体的特性

年齢 (yr)	n (男子/女子)	身長 (m)	体重 (kg)
6	7 (3/4)	1.17 ± 0.4	20.0 ± 1.6
7	13 (6/7)	1.22 ± 0.2	22.3 ± 0.9
8	14 (10/4)	1.29 ± 0.7	25.9 ± 3.2
9	15 (6/9)	1.35 ± 0.6	28.6 ± 4.3
10	25 (13/12)	1.39 ± 0.5	30.8 ± 4.2
11	13 (10/3)	1.47 ± 0.9	36.6 ± 7.1
12	7 (3/4)	1.52 ± 0.7	39.6 ± 6.5

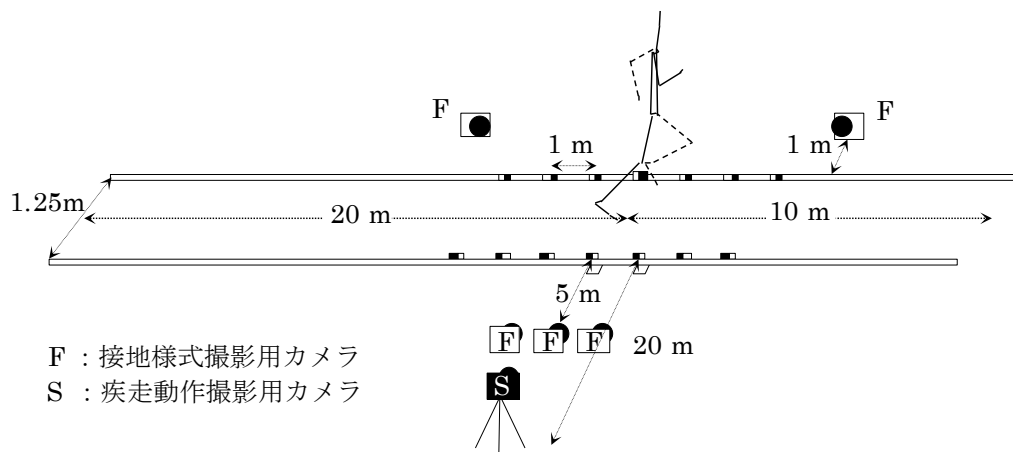


図 3 実験設定

### (3) 算出項目および算出方法

#### 1) 疾走能力に関する項目

本研究では、疾走能力を評価するために、加藤ほか（2001）を参考に、疾走速度、ストライド、ピッチ、接地時間および滞空時間を算出した。いずれも1サイクルの平均値とした。なお、地面に左右いずれかの足部が接触している局面を支持期、身体のどの部分も地面に接触していない局面を滞空期とした。

- ① ストライド：1歩における身体重心の水平移動距離
- ② ピッチ：1歩に要した時間の逆数
- ③ 疾走速度：ストライドとピッチの積
- ④ 接地時間：支持期に要した時間
- ⑤ 滞空時間：滞空期に要した時間

#### 2) 疾走動作に関する項目

本研究では、阿江・藤井（2002）を参考に、疾走動作のキネマティクス変量として、下肢の関節角度および下肢と体幹の部分角度および角速度を分析項目とした。以下、図4に示したそれぞれの角度の定義について述べる。

- ① 膝関節角度：足関節中心と膝関節中心を結んだ線分と膝関節中心と、股関節中心を結んだ線分がなす角度
- ② 股関節角度：膝関節中心と左右の股関節中心の中点を結んだ線分と、左右の股関節中

心の中点と胸骨上縁を結んだ線分のなす角度

- ③ 足関節角度：第三中足関節中心と足関節中心を結んだ線分と，足関節中心と膝関節中心を結んだ線分がなす角度
- ④ 大腿角度：膝関節中心と股関節中心を結ぶ線分と，股関節中心を通る鉛直線がなす角度
- ⑤ 下腿角度：足関節中心と膝関節中心を結んだ線分と，膝関節中心を通る鉛直線がなす角度
- ⑥ 体幹角度：左右の股関節中心の中点と胸骨上縁を結んだ線分と，左右の股関節中心の中点を通る鉛直線がなす角度

本研究において，符号の定義に関して，関節角度は底屈および伸展を正，背屈および屈曲を負とした．また体幹角度は前傾を正，後傾を負とし，その他の身体部分角度については，鉛直線を基準に反時計回りを正，時計回りを負と定義した．さらに，算出した角変位を数値微分することで角速度を算出した．

### 3) 接地様式

接地様式に関して，先行研究 (Hollander et al., 2018; Lieberman et al., 2010; Murray et al., 2018) を参考にして，3 方向から 300 fps で撮影された接地時の足部の VTR 画像を用いて，本研究に携わっていない研究者 2 名が目視により RFS, MFS, FFS の 3 つに分類を行い (図 5)，接地様式の分類経験が豊富な研究者 1 名が最終確認をした．

#### (4) 時系列データの規格化

疾走動作に関して、0%を接地した瞬間、100%を離地した瞬間とし、時間で規格化した後平均した (図 6).

#### (5) 統計処理

値は全て平均値 $\pm$ 標準偏差で示した. すべての統計処理にはIBM SPSS Statistics 22.0を使用した. シューズ条件とはだし条件における疾走動作の差を明らかにするため, 対応のあるt検定を行った. シューズ条件とはだし条件における接地様式の差を明らかにするため, McNemar検定を行った. なお, いずれも有意性は危険率5%で判定した.



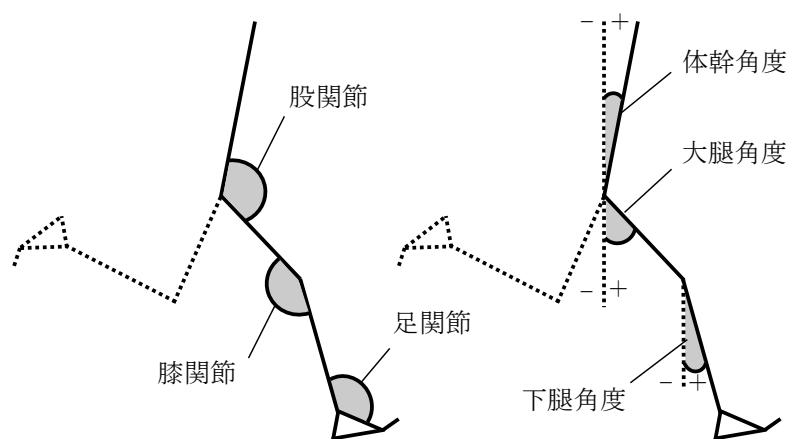


図4 関節角度および関節部分角度



踵接地 (RFS)



中足部接地 (MFS)



前足部接地 (FFS)

図5 接地様式の定義

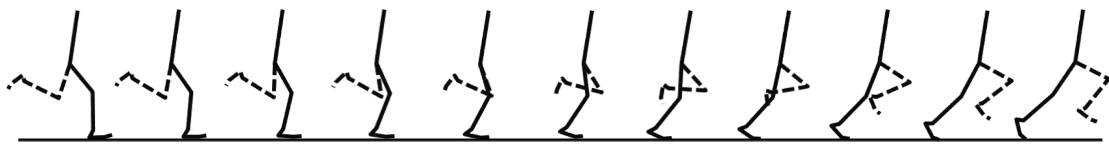


図6 時系列データの規格化

### 3. 結果

#### (1) 疾走能力に関する項目

表 2 には、対象者のシューズ条件とはだし条件における疾走能力に関する項目を示した。疾走速度は、はだし条件がシューズ条件と比較して有意に低かった ( $p < 0.01$ )。ピッチは、はだし条件がシューズ条件と比較して有意に高く ( $p < 0.01$ )、ストライドは、はだし条件がシューズ条件と比較して有意に小さかった ( $p < 0.01$ )。接地時間は、はだし条件がシューズ条件と比較して有意に短く ( $p < 0.01$ )、滞空時間は、両条件の間に有意な差は認められなかった。

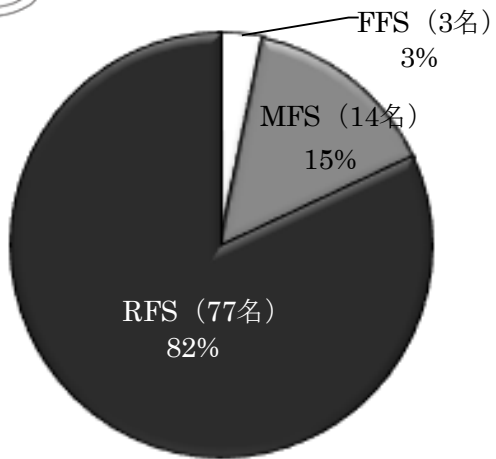
#### (2) 接地様式

図 7 には、シューズ条件とはだし条件における接地様式の割合を示した。接地様式は条件の間に有意に異なり、シューズ条件では全体 (94 名) の 82% の児童 (77 名) が RFS, 15% の児童 (14 名) が MFS, 3% の児童 (3 名) が FFS であったのに対して、はだし条件では全体の 29% の児童 (27 名) が RFS, 43% の児童 (41 名) が MFS, 28% の児童 (26 名) が FFS であった ( $p < 0.01$ )。また、シューズ条件で RFS であった児童 (77 名) に着目すると、はだし条件ではその内の 69% の児童 (53 名) が FFS・MFS へと変化した ( $p < 0.01$ )。表 3 には、各年齢の接地様式を示した。年齢による接地様式への有意な影響は認められなかった。

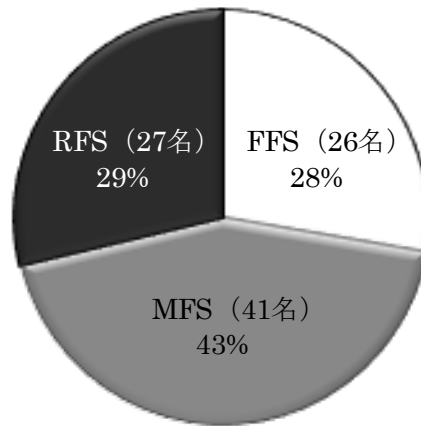
表 2 シューズ条件とはだし条件における疾走能力

	シューズ条件	はだし条件	t
疾走速度 (m/s)	5.60 ± 0.62	5.48 ± 0.70	2.977*
ピッチ (Hz)	3.98 ± 0.34	4.11 ± 0.37	-4.681**
ストライド (m)	1.42 ± 0.17	1.34 ± 0.20	6.958**
接地時間 (s)	0.148 ± 0.018	0.139 ± 0.017	6.671**
滞空時間 (s)	0.105 ± 0.019	0.107 ± 0.019	-0.850

\*\* : p < 0.01, \* : p < 0.05



シューズ条件



はだし条件

図7 シューズ条件とはだし条件における接地様式

表 3 年齢別接地様式

年齢 (yr)	n (男子/女子)		接地様式 (%)			
			条件	RFS	MFS	FFS
6	7	(3/4)	シューズ条件	100	0	0
			はだし条件	29	57	14
7	13	(6/7)	シューズ条件	92	8	0
			はだし条件	46	30	24
8	14	(10/4)	シューズ条件	79	21	0
			はだし条件	29	57	14
9	15	(6/9)	シューズ条件	87	13	0
			はだし条件	27	53	20
10	25	(13/12)	シューズ条件	80	20	0
			はだし条件	28	44	28
11	13	(10/3)	シューズ条件	77	15	8
			はだし条件	23	30	47
12	7	(3/4)	シューズ条件	71	14	15
			はだし条件	29	14	57

シューズ  $X^2 (12) = 9.342, p = 0.054, n.s.$   
 はだし  $X^2 (12) = 20.764, p = 0.673, n.s.$

### (3) 支持脚の関節角度および角速度

図 8 には、シューズ条件とはだし条件における支持脚の股関節角度および角速度の時系列変化を示した。股関節は、支持期前半（0%–50%）において、はだし条件がシューズ条件と比較して有意に伸展位にあった。股関節角速度は、支持期後半（90%–100%）において、はだし条件の伸展角速度がシューズ条件と比較して有意に高かった。

図 9 には、シューズ条件とはだし条件における支持脚の膝関節角度および角速度の時系列変化を示した。膝関節角度に関して、はだし条件とシューズ条件との間に有意な差は認められなかった。膝関節角速度は、接地時において、シューズ条件は伸展角速度を示し、はだし条件では屈曲角速度を示した。さらに、10%時点において、はだし条件の膝関節屈曲角速度は、シューズ条件と比較して有意に高く、30%時点においては、シューズ条件と比較して有意に低かった。一方、支持期後半（90%–100%）において、はだし条件の膝関節伸展角速度は、シューズ条件と比較して有意に高かった。

図 10 には、シューズ条件とはだし条件における支持期における支持脚の足関節角度および角速度の時系列変化を示した。足関節に関して、はだし条件において、足関節がシューズ条件と比較して接地時に有意に底屈位であり、その後、支持期前半（20%–50%）において、シューズ条件と比較して有意に背屈位であった。離地時において、はだし条件の足関節は、シューズ条件と比較して有意に底屈位であった。足関節角速度は、支持期前半（0%–20%）において、はだし条件がシューズ条件よりも有意に低かった。また、支持期中盤から離地時（40%–100%）にかけて、はだし条件がシューズ条件よりも有意に高かった。



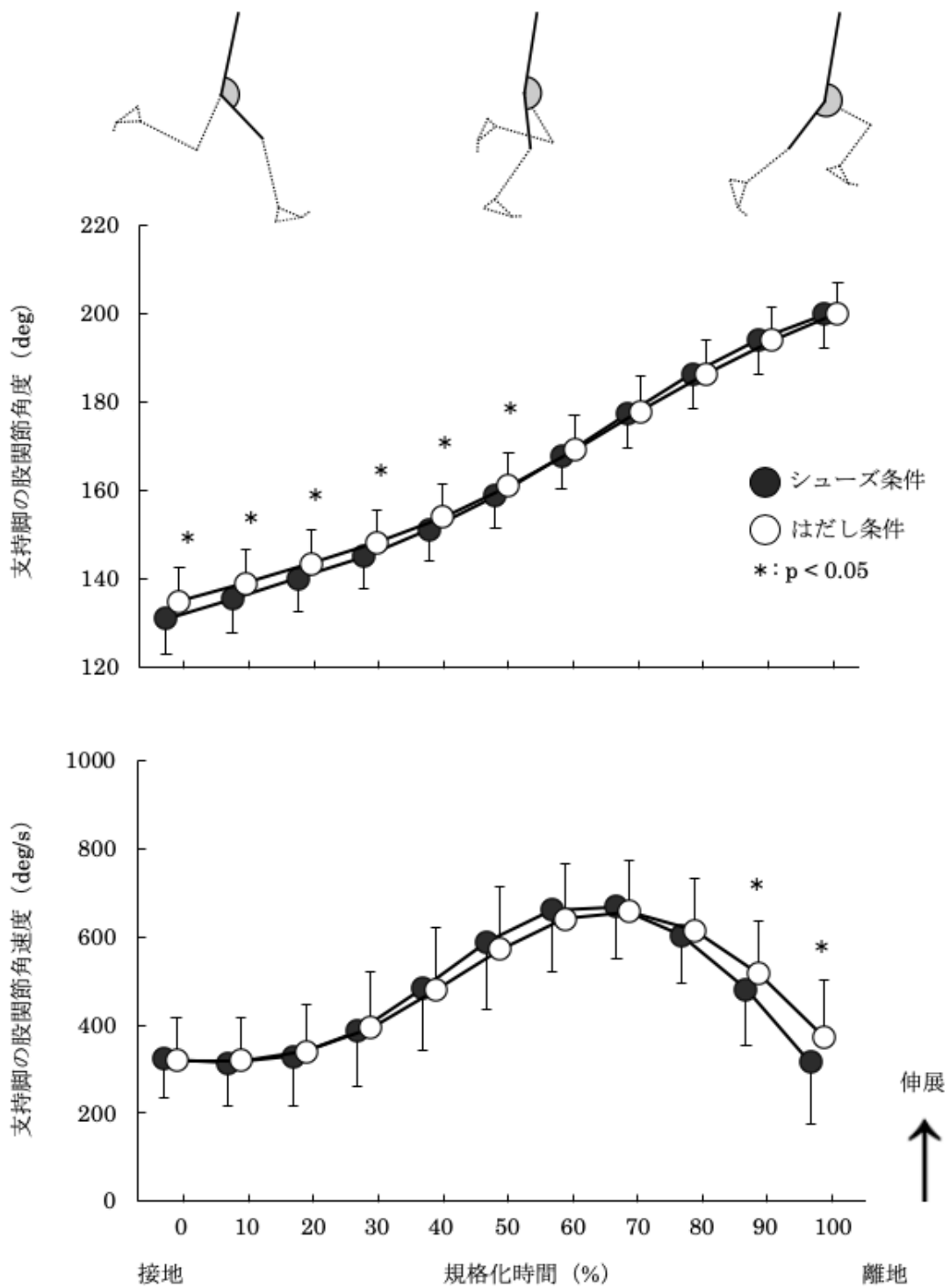


図8 シューズ条件とはだし条件における支持脚の股関節角度および角速度

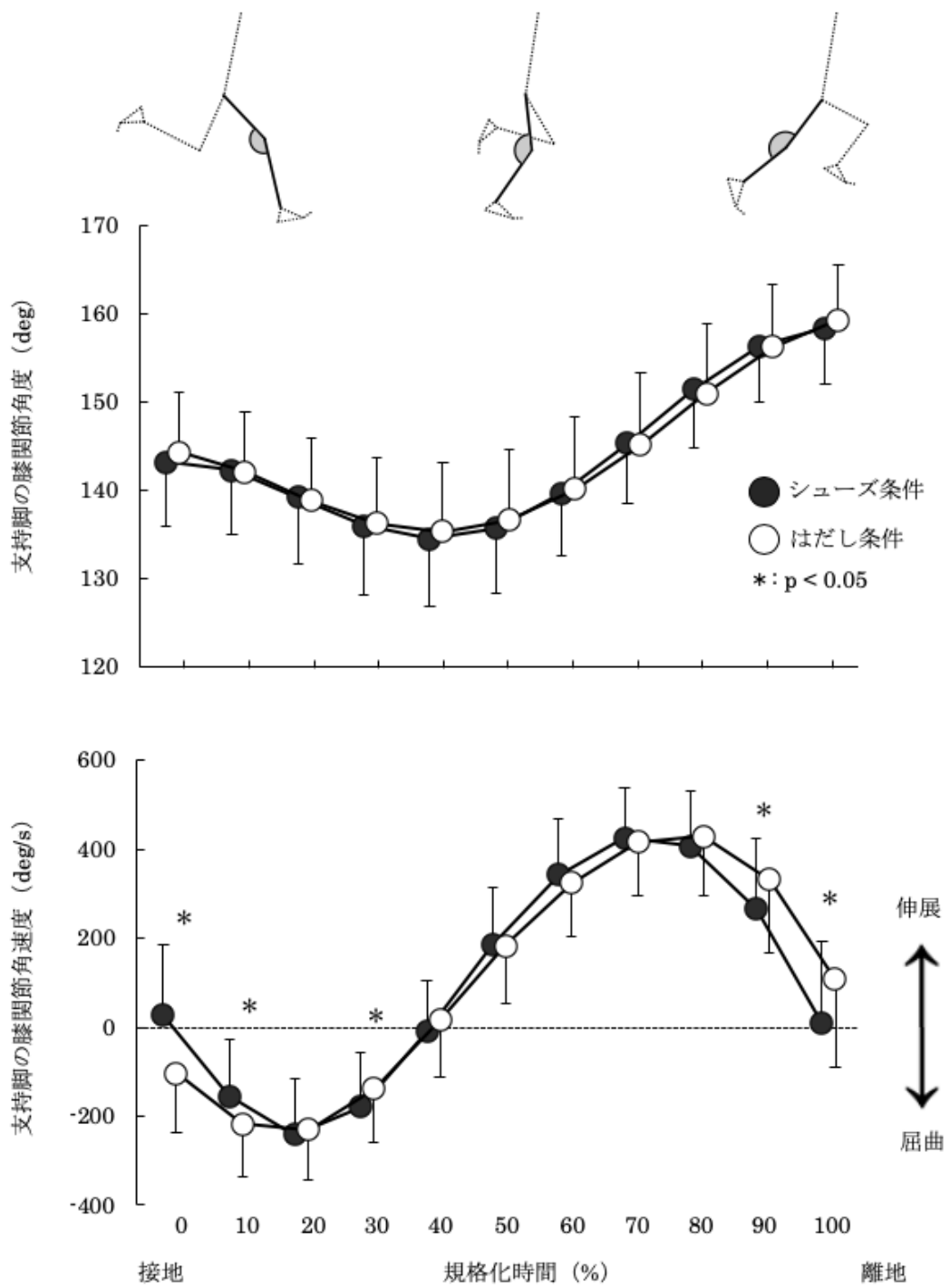


図9 シューズ条件とはだし条件における支持脚の膝関節角度および角速度

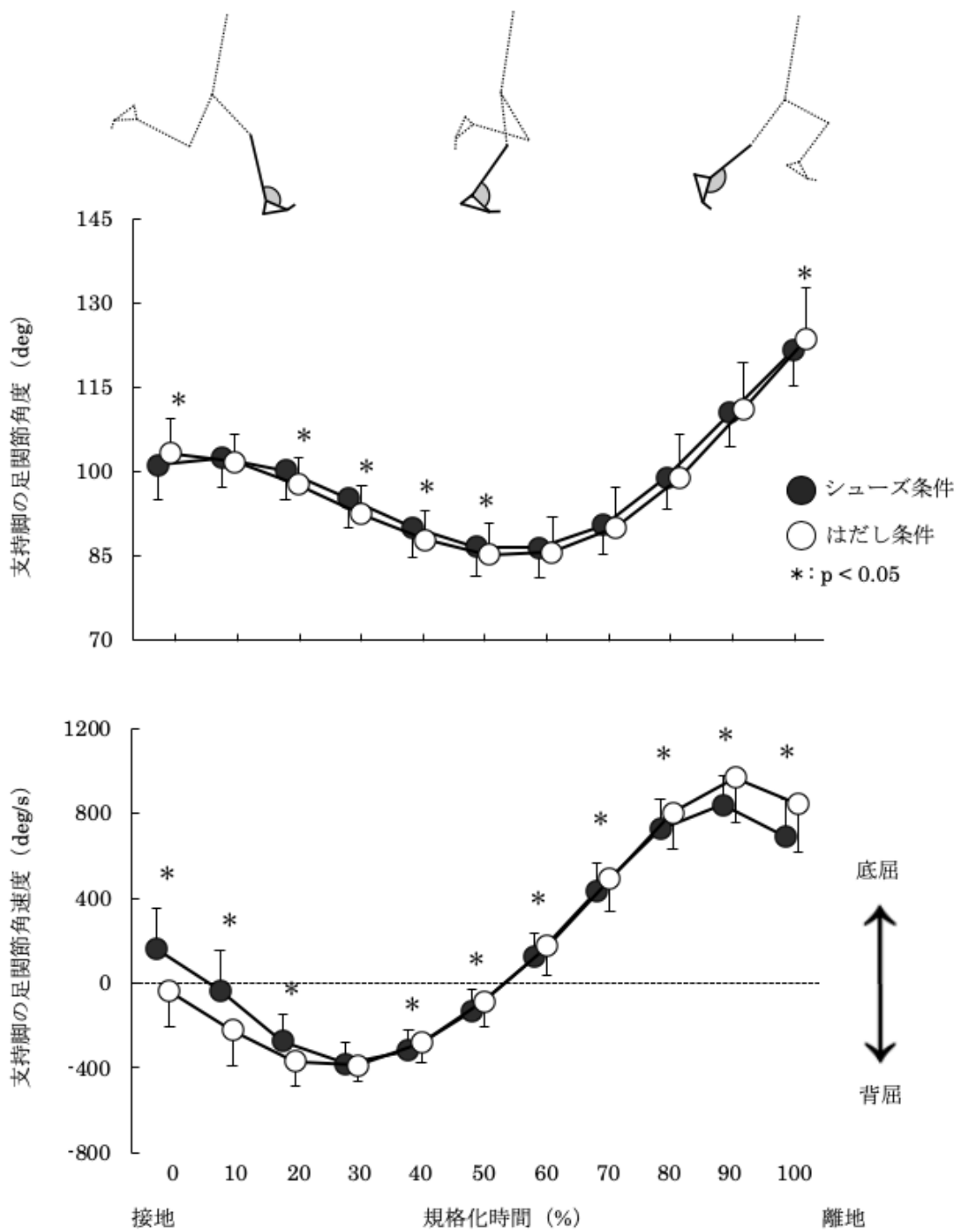


図 10 シューズ条件とはだし条件における支持脚の足関節角度および角速度

#### (4) 支持脚の部分角度および角速度

図 11 には、シューズ条件とはだし条件における支持脚の大腿角度および角速度の時系列変化を示した。支持脚の大腿角度は、支持期前半（0%–30%）において、はだし条件の正の角度がシューズ条件と比較して有意に小さかった。また、支持期後半（70%–100%）において、はだし条件の負の角度がシューズ条件と比較して有意に小さかった。大腿角速度は、支持期後半（90%–100%）において、はだし条件の負の角速度がシューズ条件と比較して有意に高く推移していた。

図 12 には、シューズ条件とはだし条件における支持脚の下腿角度および角速度の時系列変化を示した。支持脚の下腿角度は、接地時において、シューズ条件は正の角度を示し、はだし条件では負の角度を示した。また、支持期前半（10%–20%）において、はだし条件の負の角度がシューズ条件と比較して有意に大きかった。さらに、支持期後半（70%–100%）において、はだし条件の負の値がシューズ条件と比較して有意に小さかった。下腿角速度は、支持期前半（0%–10%）において、はだし条件の正の角速度は、シューズ条件と比較して有意に高く、支持期中盤（30%–40%）においては、シューズ条件と比較して有意に低かった。また、支持期後半（90%–100%）において、はだし条件の正の角速度はシューズ条件と比較して有意に低かった。

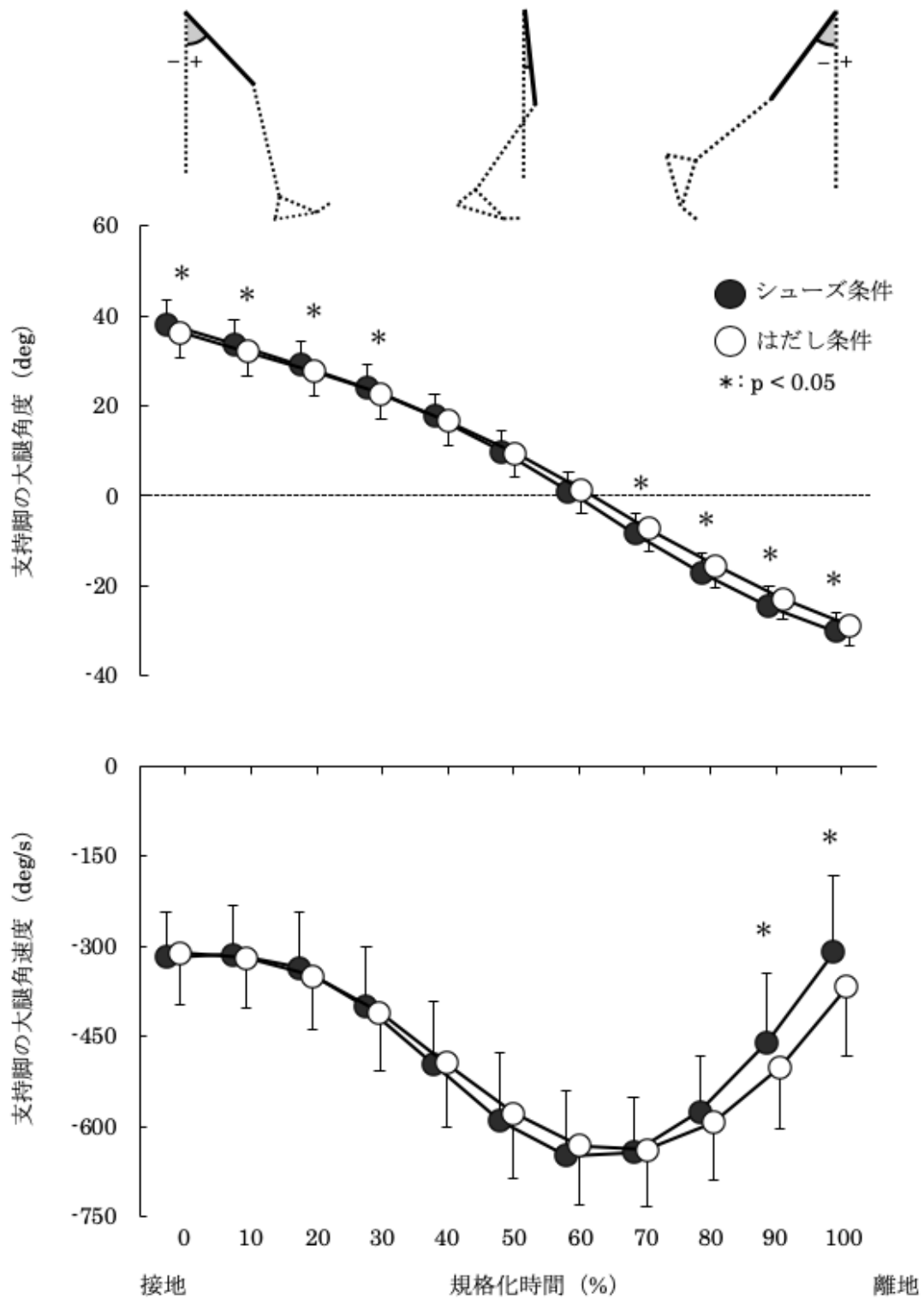


図 11 シューズ条件とはだし条件における支持脚の大腿角度および角速度

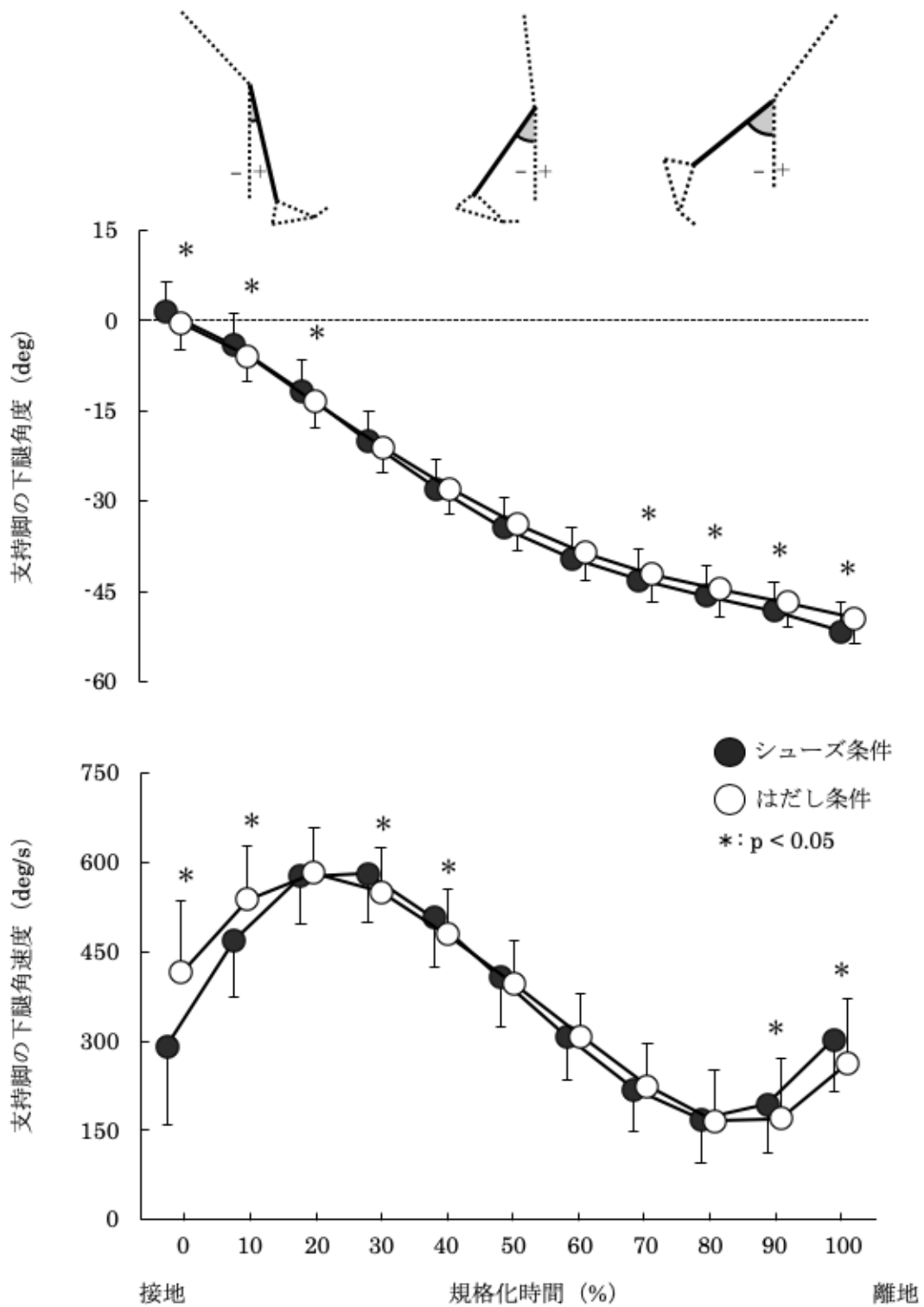


図 12 シューズ条件とはだし条件における支持脚の下腿角度および角速度

#### (5) 遊脚の関節角度および角速度

図 13 には、シューズ条件とはだし条件における遊脚の股関節角度および角速度の時系列変化を示した。股関節は、支持期後半（70%–100%）において、はだし条件がシューズ条件と比較して有意に伸展位にあった。股関節角速度は、接地時から支持期前半（0%–20%）において、はだし条件の股関節屈曲角速度がシューズ条件と比較して有意に高かった。

図 14 には、シューズ条件とはだし条件における遊脚の膝関節角度および角速度の時系列変化を示した。膝関節は、支持期前半から離地時（30%–100%）において、はだし条件がシューズ条件と比較して有意に伸展位にあった。膝関節角速度は、支持期前半（20%–40%）において、はだし条件の膝関節屈曲角速度がシューズ条件と比較して有意に低く、50%時点において、シューズ条件は屈曲角速度を示し、はだし条件は伸展角速度を示した。支持期後半（60%–100%）においては、はだし条件の伸展角速度がシューズ条件と比較して有意に高かった。

図 15 には、シューズ条件とはだし条件における遊脚の足関節角度および角速度の時系列変化を示した。足関節は、支持期前半（20%–50%）において、はだし条件がシューズ条件と比較して有意に底屈位にあった。足関節角速度は、接地時から支持期前半（0%–20%）において、はだし条件の背屈角速度がシューズ条件と比較して有意に高かった。また、離地時において、はだし条件の足関節背屈角速度はシューズ条件と比較して有意に低かった。

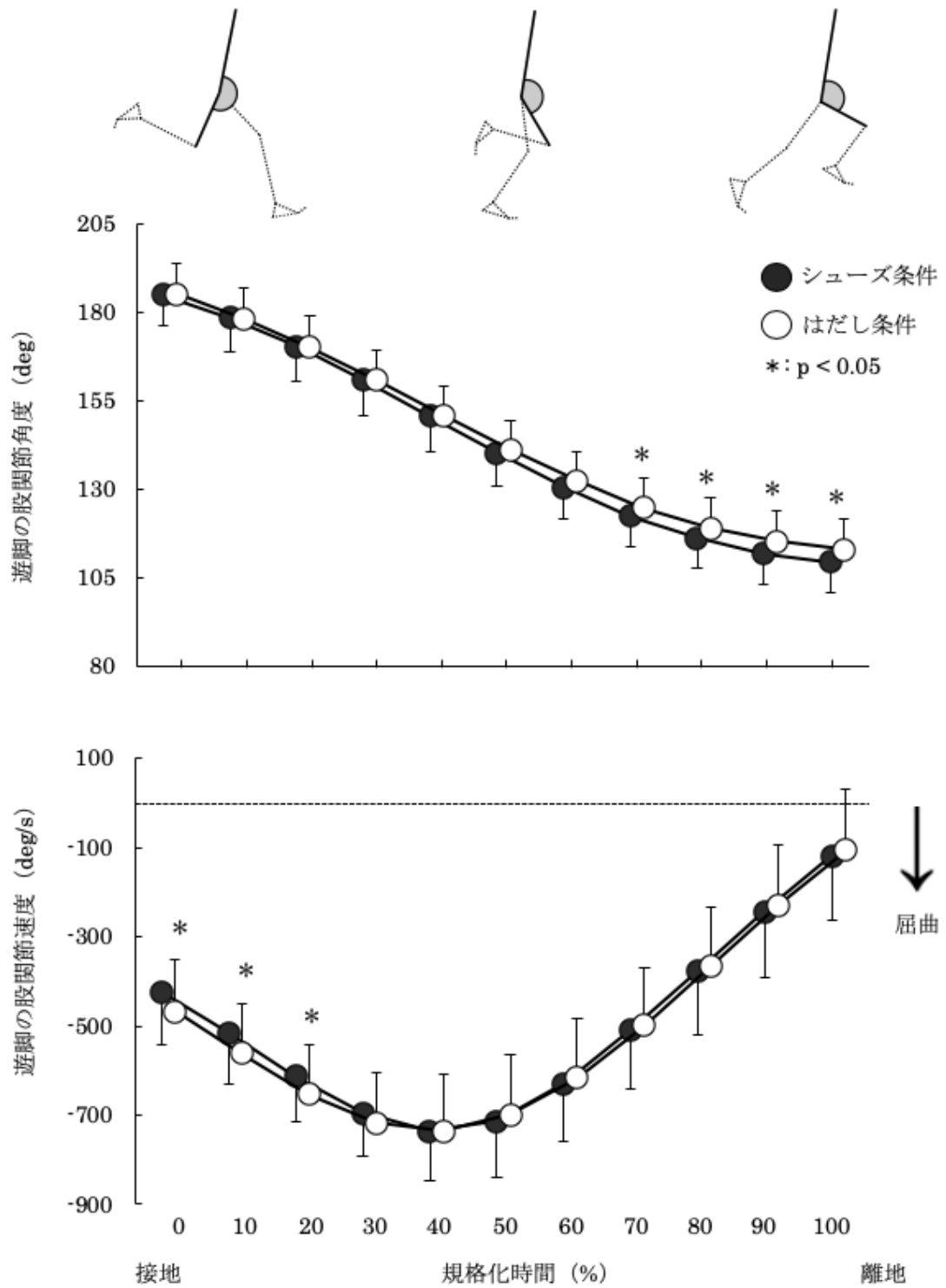


図13 シューズ条件とはだし条件における遊脚の股関節角度および角速度



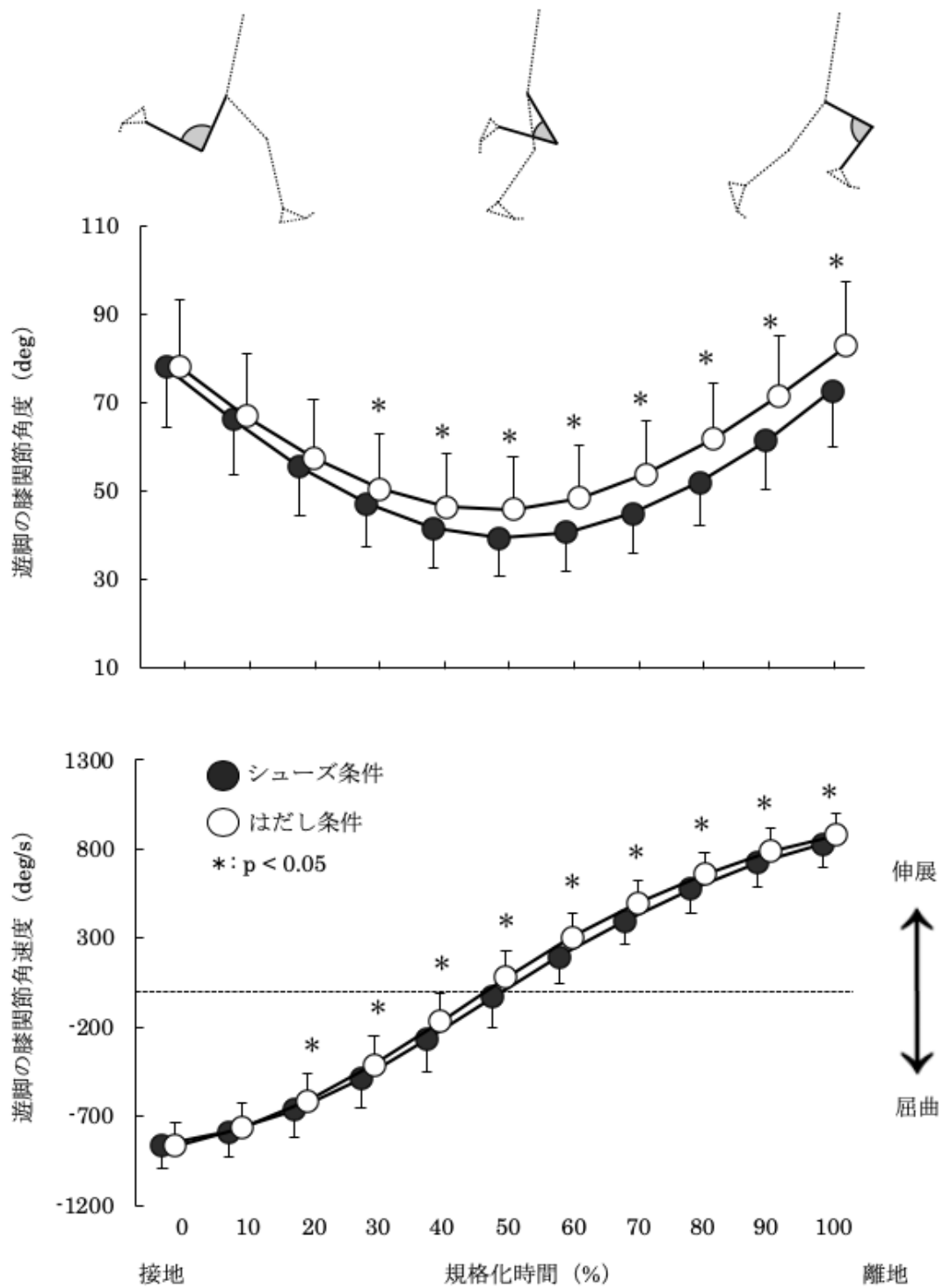


図14 シューズ条件とはだし条件における遊脚の膝関節角度および角速度

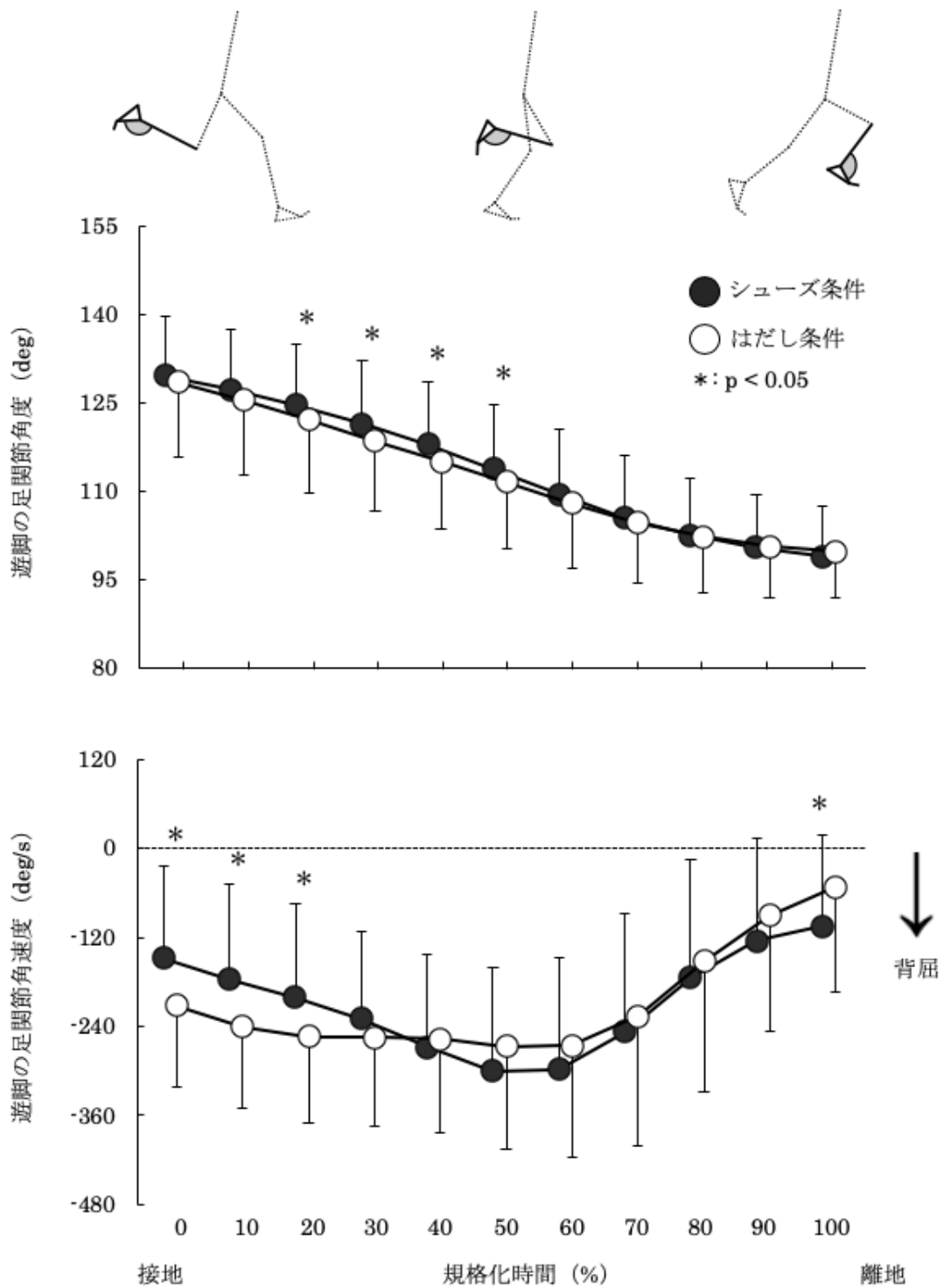


図15 シューズ条件とはだし条件における遊脚の足関節角度および角速度

#### (6) 遊脚の部分角度および角速度

図 16 には、シューズ条件とはだし条件における遊脚の大腿角度および角速度の時系列変化を示した。遊脚の大腿角度は、支持期後半から離地時（90%–100%）において、はだし条件の正の角度がシューズ条件と比較して有意に小さかった。大腿角速度は、接地時から支持期前半（0%–20%）において、はだし条件の正の角速度がシューズ条件と比較して有意に高かった。

図17には、シューズ条件とはだし条件における遊脚の下腿角度および角速度の時系列変化を示した。遊脚の下腿角度は、支持期前半から離地時（20%–100%）において、はだし条件の負の角度がシューズ条件と比較して有意に小さかった。下腿角速度は、10%時点において、はだし条件の負の角速度はシューズ条件と比較して有意に低かった。20%時点において、シューズ条件は負の角速度を示し、はだし条件は正の角速度を示した。さらに支持期前半から離地時（30%–100%）において、はだし条件の正の角速度はシューズ条件と比較して有意に高く推移していた。

#### (7) 体幹角度

図 18 には、支持期における体幹角度の時系列変化を示した。体幹角度は、離地時を除く支持期全体（0%–90%）を通して、はだし条件がシューズ条件と比較して有意に小さかった。

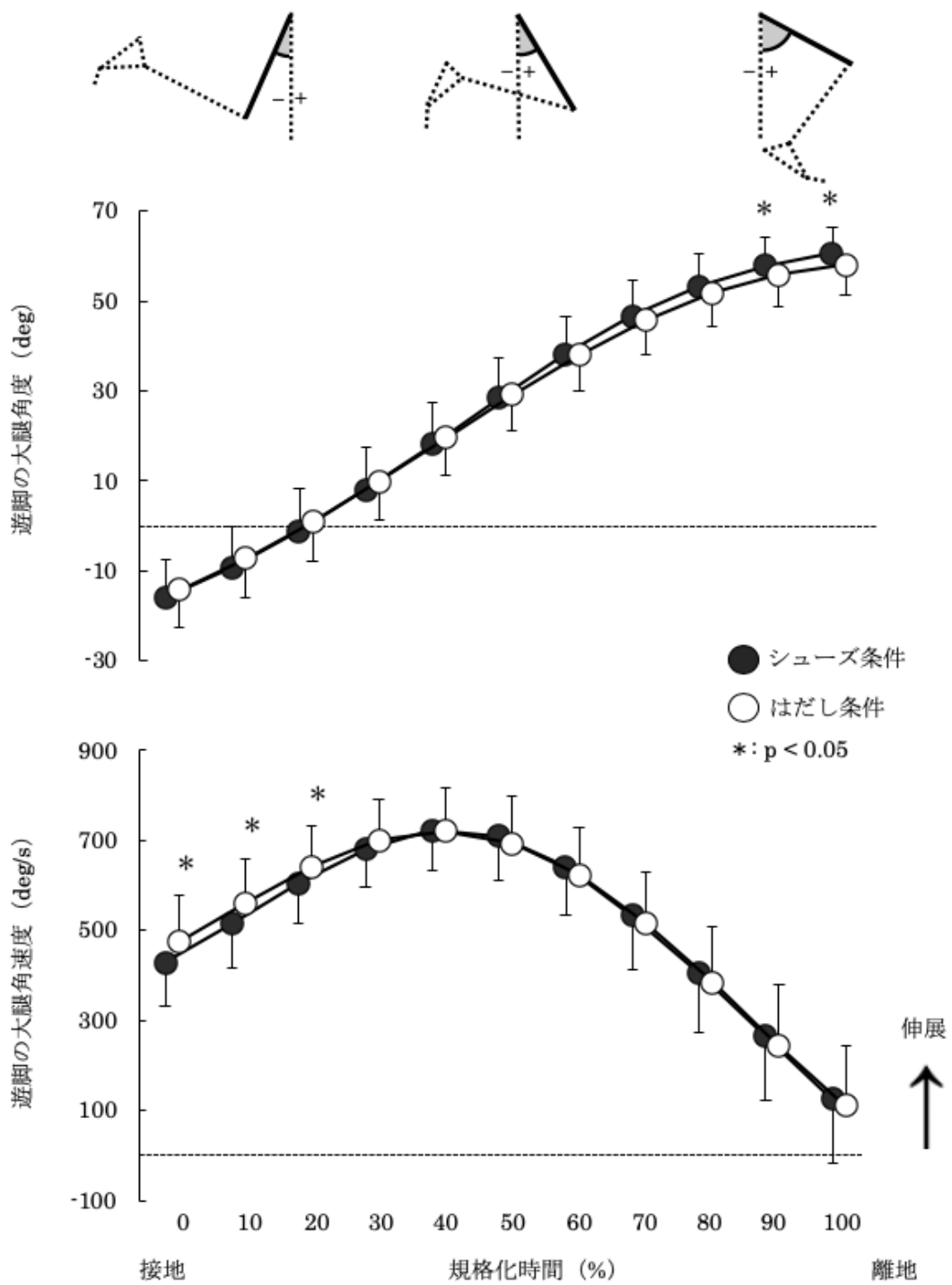


図16 シューズ条件とはだし条件における遊脚の大腿角度および角速度

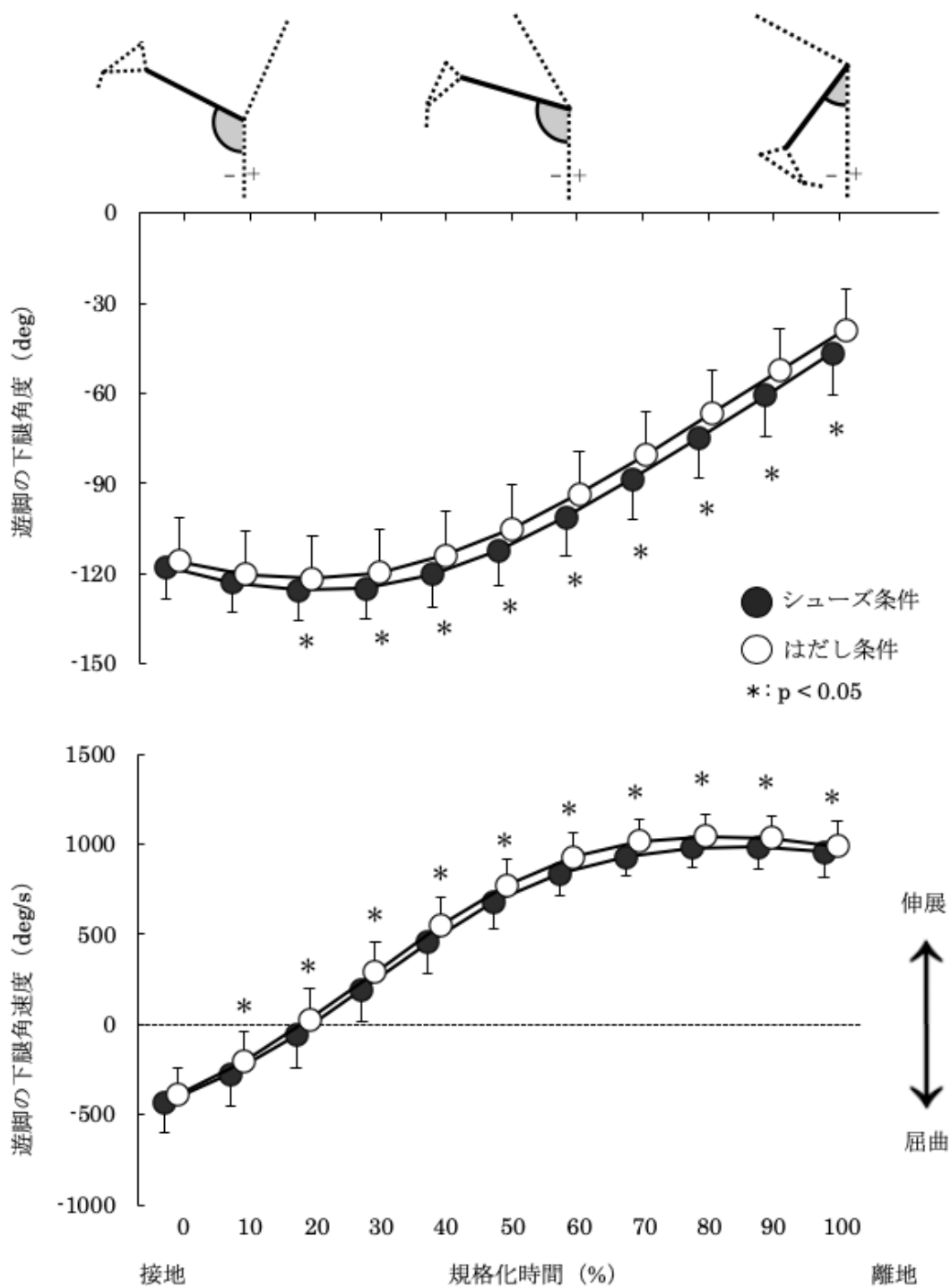


図17 シューズ条件とはだし条件における遊脚の下腿角度および角速度

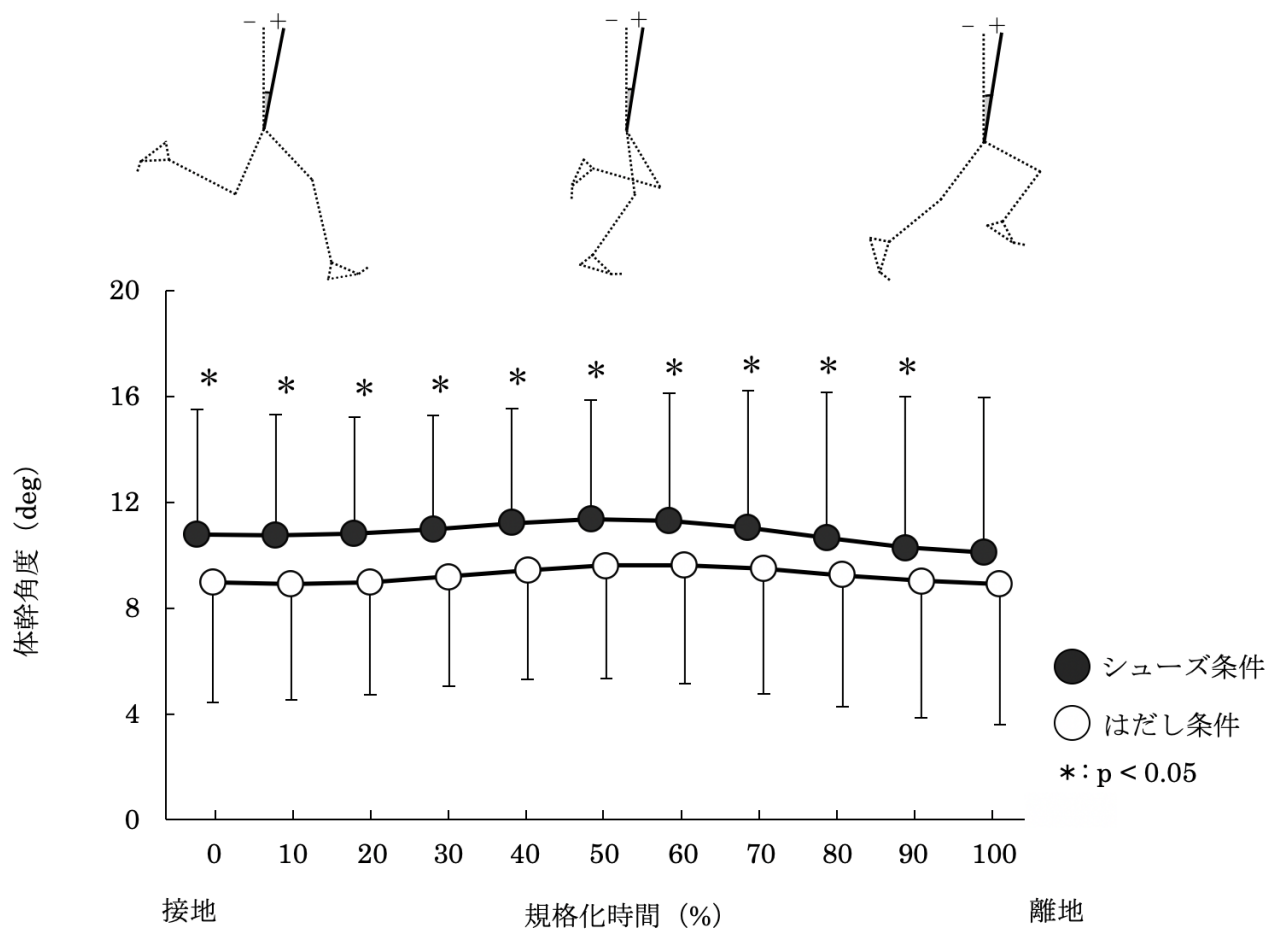


図 18 シューズ条件とはだし条件における体幹角度

#### 4. 考察

本研究の結果から、HS 児童は、シューズを脱ぎはだしで走ることによって、ピッチが高まり、ストライドが小さくなることが明らかとなった。これらの結果は、HS 成人 9 名のランニング (3.5, 4.5 および 5.5 m/s) を対象とした先行研究 (De Wit et al, 2000 ; Lieberman et al., 2010) と一致する結果であった。このようにはだし走において、ピッチが高まる要因の 1 つとして接地様式の違いが挙げられている (Lieberman, 2012)。

Lieberman et al. (2010) は、HS ランナーがはだしで走った際には、接地様式がシューズ着用時と比較して RFS から FFS あるいは MFS へと変化したと報告している。さらに Hasegawa et al. (2007) は、RFS では、FFS および MFS と比較して接地時間が長くなると述べている。本研究において、接地様式は、シューズ条件で RFS であった児童 (77 名) は、はだし条件ではその内の 68.8%の児童 (53 名) がはだし条件で FFS あるいは MFS へと変化した。また、滞空時間には両条件間に有意差が認められなかったが、はだし条件の接地時間はシューズ条件と比較して有意に短かった。これらのことより、はだし走では接地様式が RFS から FFS あるいは MFS へと変化した、接地時間が短くなり、その結果ピッチが高まったと考えられる。このことは、身体の発育発達の著しい児童期における加齢による接地様式の変化を考慮した上でも成人を対象とした先行研究と同様の結果が認められることを示唆している。

接地時に着目すると、はだし条件において、足関節はシューズ条件と比較して底屈位で接地していた。このことは、先述の接地様式の変化によるものであり、その背景には着地

衝撃による生体への負担を軽減するための運動制御系の適応が関与していると考えられる。RFS では、母指球が接地するまでアーチが引き伸ばされることはなく、皮下脂肪層、関節部構成組織または骨格自体で着地衝撃を吸収する (Lieberman, 2012)。このとき踵部に対して局部応力が発生し、踵部脂肪組織を生理学的に大きく変形させるという報告もされている (De Clercq et al., 1994)。一方で、FFS あるいは MFS は、RFS と比較して接地時の基底面がより大きく、足部のアーチを含む多くの下肢関節で着地衝撃を吸収できると報告されている (DeWit et al., 2000 ; Liberman et al., 2010)。これらのことから、HS 児童はシューズを脱ぎはだしで走ることで、着地衝撃をより吸収できる手段として、中枢神経系が RFS から FFS あるいは MFS への変化を促していた可能性があると考えられる。また、本研究における接地直後の支持脚の動作に着目してみると、はだし条件において、足関節は底屈角速度を示し、膝関節は伸展角速度を示していた。一見この動作は、着地衝撃をより吸収するためのものであったと捉えることができる。しかしながら、本研究において、滞空時間には両条件間に有意差が認められなかった。つまり、HS 児童はシューズを脱ぎはだしで走ることによって、短い接地時間でシューズ着用時と同程度の長さの滞空時間を獲得できるだけの力を地面に伝達していたと推察できる。

このことについて、SSC 運動の観点から考察を深めることができる。Ahn et al. (2014) は、シューズ着用の有無によるランニング中の支持脚の筋活動について検討しており、シューズの有無に関わらず FFS は RFS よりも早く腓腹筋を予備緊張させて接地していたと報告している。この予備緊張によって、短縮性収縮開始時の力を高めることができるとさ



れている (Bobbert et al., 1996). また FFS あるいは MFS は, 下腿三頭筋筋腱複合体を主とする足関節底屈筋群を伸張性収縮させながら着地衝撃を吸収する. その際, 筋や腱に弾性エネルギーが蓄えられ, 続く短縮性収縮時に蓄積弾性エネルギーが放出・利用される. これらのことより, 児童がはだし走により接地様式が RFS から FFS あるいは MFS への変化したことで, 足関節底屈筋群の機能を効果的に発揮し, 短い接地時間で地面反力を増大することができていたと考えることができる. また, 骨格筋の伸張性収縮は, 短縮性および等尺性収縮と比較して大きな筋力および筋パワーを生成するとされている (Lieberman, 2012) ことから, HS 児童ははだし走を普段の運動に取り入れることで, 足関節底屈筋群の筋肥大あるいはパワー発揮の増大に繋がる可能性を示唆している. 一方で, 成人の HS ランナーを対象とした先行研究によると (Murphy et al., 2013), 短期間でのはだしでのランニングへの移行には, 中足骨疲労骨折, 踵部脂肪体炎あるいは種子骨障害等の障害リスクを伴う可能性があるという報告がなされている. また, 関節の運動範囲の拡大や伸張性筋活動の増加は, アキレス腱炎や腓腹筋の肉離れ等の障害の原因にもなり得ること (大山, 2013), 小学生児童の足関節底屈筋群によるパワー発揮能力は発達段階にあること (遠藤ほか, 2007) からも, はだし走を疾走指導に導入する際には, 障害のリスクについても慎重に検討する必要があると考えられる.

次に, シューズの質量が遊脚の動作に及ぼす影響について考察を進める. 本研究における対象者の足部の平均質量は, 横井ほか(1986)の身体部分慣性係数をもとに推定すると, 約 0.47 kg であり, 一般的な児童向けランニングシューズの質量が 0.15–0.25 kg だと仮定

すると、シューズ着用による足部の物理的な負荷の増大は遊脚の動作に影響していた可能性がある。支持期前半において、はだし条件の大腿角速度は、シューズ条件と比較して有意に高かった。また、膝関節は支持期前半から離地時にかけて、はだし条件がシューズ条件と比較して有意に伸展していた。はだし走において、遊脚の大腿角速度が高まったにも関わらず遊脚の膝関節がより伸展位であったことは、膝関節まわりの慣性モーメントがシューズ分の質量減少の影響で小さくなったからであると考えられる。つまり、はだし走では、遊脚の大腿部を前方へ振り込み始める際に、膝関節力によって生じる膝関節を屈曲させるモーメントが小さくなった結果、膝関節がより屈曲しにくくなっていたと推察される。また、大腿角度は、支持期後半において、はだし条件がシューズ条件と比較して有意に小さかった。換言すれば、いわゆる「ももが高く上がっていない」動作となっていた。これまで遊脚の大腿角速度が高いこと、遊脚の膝関節がより屈曲していること、そして遊脚の最大大腿角度が大きいことは関連していると個人間の比較による報告がされてきたが（加藤ほか、2001；木越ほか、2012；関ほか、2016；末松ほか、2008）、個人内の条件間の比較を行った本研究では、上述の先行研究と結果が異なっていた。これらのことを踏まえると、本研究で認められた条件間による遊脚の動作の差異は、シューズ着用の有無による特有の疾走動作の変化であったといえるだろう。また関ほか（2016）は、遊脚の前方スウィング速度と支持脚の後方スウィング速度のピークが同時期に出現することを前提に、遊脚の前方スウィング速度が高くなると、左右の脚の間のエネルギー伝達が促進されることによって、支持脚の後方スウィング速度が高まり、ピッチの向上を介して高い疾走速度の獲

得に繋がると報告している。このことから、本研究において対象者はシューズを脱ぎはだしで走るにより遊脚の大腿角速度を高めていたことは、長期的に疾走動作および疾走能力の向上に繋がる変化であった可能性があると考えられる。

また体幹部をみてみると、はだし条件の体幹角度は、離地時を除く支持期全体を通してシューズ条件と比較して有意に小さかった。末松ほか（2008）は、接地時における体幹部が前傾しているほどストライドが大きくなり、逆に体幹部が後傾しているほどピッチが高くなる可能性を示唆している。このことを踏まえると、児童ははだしで走るにより、体幹部を直立に近い状態に保ちながら、両脚をより身体重心に近い位置で素早く操作するような疾走動作へと変化させることで、ピッチが高まり、ストライドが小さくなり、疾走速度が低下したと考えられる。

本研究の結果から、はだし走を運動の中に取り入れることによって、HS 児童は一時的に疾走速度を低下させる可能性はあるものの、FFS および MFS の習得をはじめとした疾走動作の改善のみならず、長期的には足関節底屈筋群のパワー発揮能力および疾走能力が向上する可能性があると考えられる。他方、本研究では、シューズ条件においてのみ、年齢が接地様式に影響している傾向にあった背景として、年齢によって、シューズの質量の影響や筋骨格系の成長に伴う変化等の影響が異なる可能性が考えられる。この点については今後さらに検討する必要がある。

## 5. 小括

本研究は、シューズ着用の有無が HS 児童の疾走動作に及ぼす即時的な影響を明らかにすることを目的とした。全体の傾向として、シューズ着用の有無によって HS 児童の接地様式、接地直後における支持脚の足関節および膝関節の動作、さらに支持期全体における遊脚および体幹の動作などに関する疾走動作の変化が認められた。これに伴い、接地時間が短くなり、ピッチが高まった一方で、ストライドが小さくなり、結果として疾走速度が低下したことが明らかとなった。HB 児童を対象としても、シューズ着用の有無によって疾走動作に同様の変化がみられるか否かは明らかとなっていない。また、HS 児童がはだし走に取り組むことによる効果と潜在するリスクについても、今後さらなる検討の必要があると考えられる。

## V. シューズ着用の有無による児童の疾走速度の変化に関連する要因（研究課題 1-2）

### 1. 目的

研究課題 1-1 では、HS 児童がシューズを脱ぎはだしになって走ることで、全体の傾向として、接地様式が RFS から FFS あるいは MFS へと変化し、接地直後の足関節および膝関節の動作が伸展動作から屈曲動作へ変化し、さらに支持脚の後方スウィング速度および遊脚の前方スウィング速度が向上するなどの変化がみられた。これに伴い、接地時間が短くなり、ピッチが高まった一方で、ストライドが小さくなり、結果として疾走速度が低下したことが明らかとなった（研究課題 1-1）。一方で、田附（2006）は、HS 児童が 50 m を走る場合、シューズを着用して走るよりもはだしで走る方が速いと報告しており、シューズ着用の有無が児童の疾走速度に及ぼす影響については、一致した見解が得られていない。このことから、シューズ着用の有無による疾走速度の変化には、個人的特性に基因する個別性を有した運動制御系の適応が関連していることが推察される。また、実際の疾走指導現場では個々人に応じた指導を行う必要があることから、シューズ着用の有無による疾走速度の変化に関連する要因を明らかにすることは、児童に対する疾走指導を行う上で有益な資料となり得ると考えられる。

そこで、本研究ではシューズ着用の有無が HS 児童の疾走運動に及ぼす即時的影響に関してさらなる洞察を得るために、疾走速度の変化に関連する要因を明らかにすることを目的とした。

## 2. 方法

### (1) 対象者

対象者は、研究課題 1-1 に示した HS 児童 94 名（男子 51 名，女子 43 名）であった（表 1）。

### (2) 実験試技

本研究では、研究課題 1-1 に示した疾走運動（シューズ条件，はだし条件によるスタンディングスタートの姿勢からの 30 m 疾走）に加え，シューズを着用した状態で SSC 運動として反動付きの垂直跳び（Counter Movement Jump : CMJ）および連続 5 回リバウンドジャンプ（Rebound Jump : RJ）を行った。なお，腕の振込み動作の影響を排除するために，手を腰に当てた姿勢で試技を行わせた（遠藤ほか，2007）。また対象者には，試技を行う前に本研究の実験試技に精通した陸上競技選手によるデモンストレーションを見せながら練習を行わせた。

### (3) データ処理

研究課題 1-1 に示した方法で，左足接地瞬間から再びその足が接地するまでの 1 サイクル（2 歩）における各対象者の身体分析点 23 点の 2 次元座標を算出し，平滑化を行った。

#### (4) 算出項目および算出方法

##### 1) 疾走能力に関する項目

研究課題 1-1 で算出した疾走能力に関する項目に加えて、接地滞空比（滞空時間を接地時間で除した値）を算出した。

##### 2) 疾走動作に関する項目

疾走動作に関する項目について、先行研究（伊藤ほか，1998；加藤ほか，2001；関ほか，2016）を参考に算出した。右脚を支持脚，左脚を遊脚と定義した。なお，各関節の屈曲は正，伸展は負とし，足関節の屈曲（背屈）は負，伸展（底屈）は正とする。

##### ① 支持脚（図 19）

(a) 接地時の股関節 ( $\theta 1$ )，膝関節 ( $\theta 2$ ) および足関節 ( $\theta 3$ ) 角度

(b) 膝関節 ( $\theta 4$ ) および足関節 ( $\theta 5$ ) 最小角度

(c) 離地時の股関節 ( $\theta 6$ )，膝関節 ( $\theta 7$ ) および足関節角度 ( $\theta 8$ )

(d) 膝関節 ( $\omega 1$ ) および足関節 ( $\omega 2$ ) 最大屈曲角速度

(e) 股関節 ( $\omega 3$ )，膝関節 ( $\omega 4$ ) および足関節 ( $\omega 5$ ) 最大伸展角速度

(f) 最大後方スウィング速度 ( $\omega 6$ )：支持脚の脚角度（足関節中心と股関節中心を結ん

だ線分と，股関節中心を通る垂線がなす角度を数値微分した値（伊藤ほか，1998）

の接地中の最大値

② 遊脚 (図 20)

(a) 接地時の大腿角度 ( $\theta 9$ )

(b) 膝の最大引きつけ角度 ( $\theta 10$ ) : 接地中における最小膝角度

(c) もも上げ角度 ( $\theta 11$ ) : 接地中および離地後における最大大腿角度

(d) 最大振り戻し速度 ( $\omega 7$ ) : 接地前における脚角度を数値微分した値の最大値

(e) 接地時の大腿速度 ( $\omega 8$ ) : 接地時における大腿角速度

(f) 最大前方スウィング速度 ( $v 1$ ) : 接地中における遊脚重心 (遊脚の大腿, 下腿, 足部の合成重心) の水平速度から身体重心の水平速度を減じた値 (関ほか, 2016) の最大値

③ 体幹 (図 21)

(a) 接地時の体幹角度 ( $\theta 12$ )

3) 接地様式

研究課題 1-1 で示した方法で, RFS, MFS および FFS の 3 つに分類を行った (図 5).



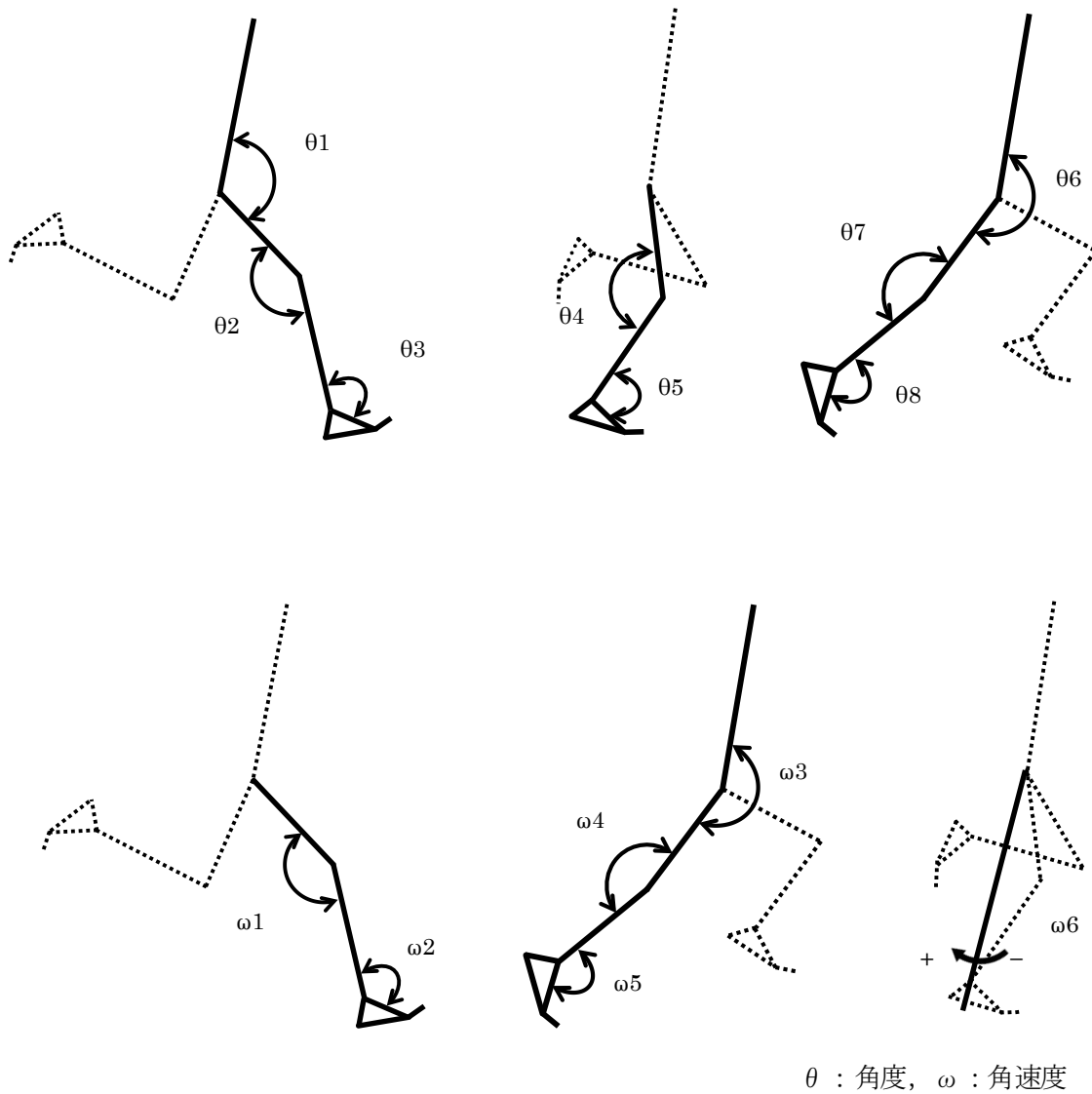


図 19 疾走動作（支持脚）に関する項目

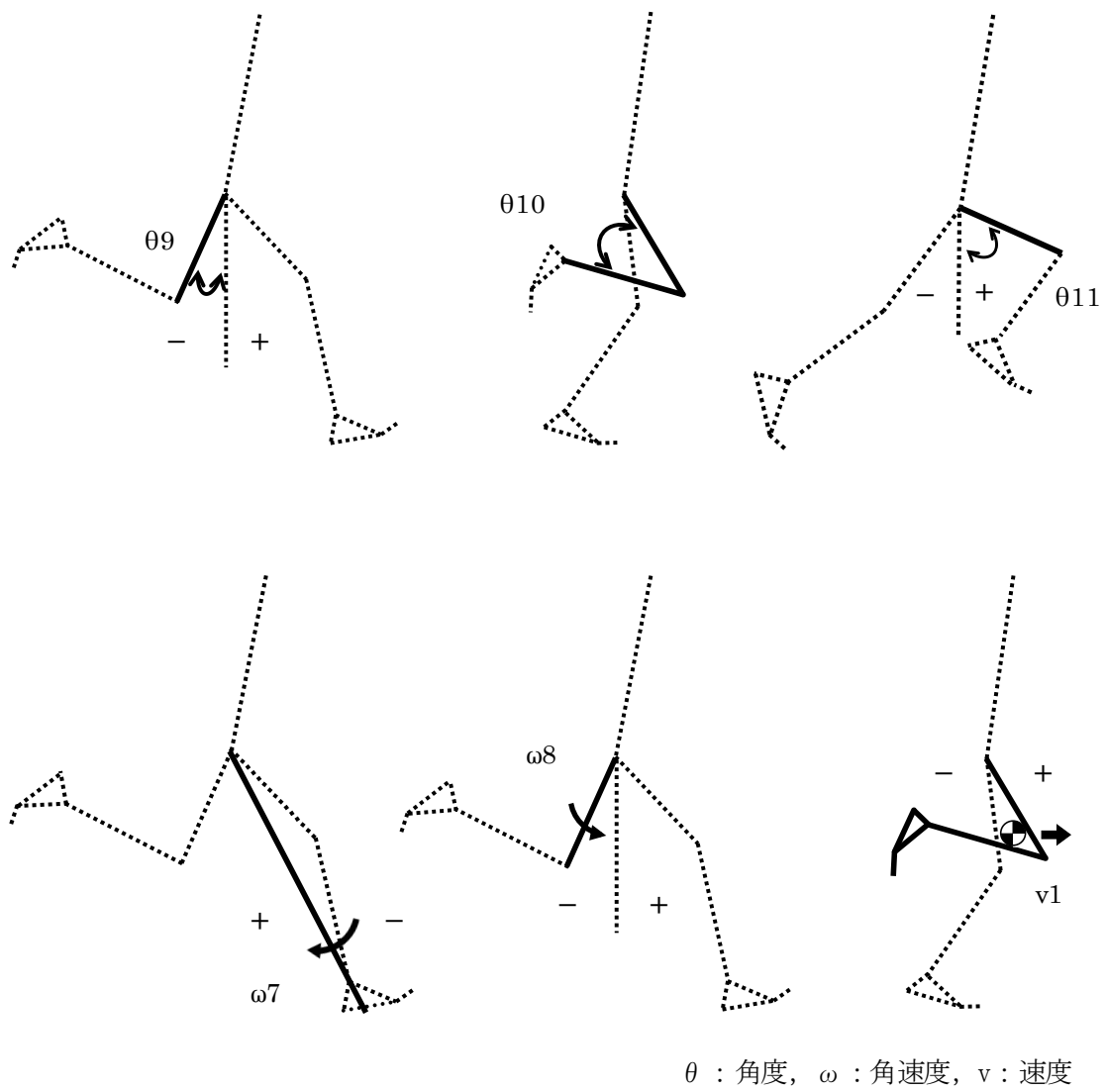


図 20 疾走動作（遊脚）に関する項目

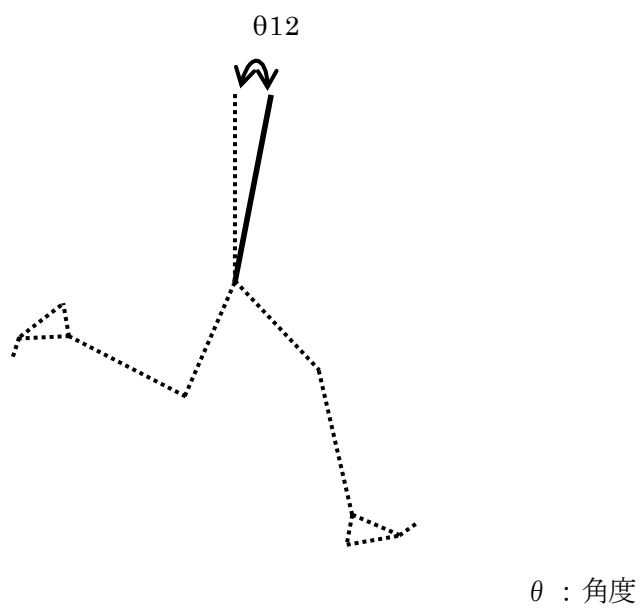


図 21 疾走動作（体幹）に関する項目

#### 4) SSC 運動の遂行能力に関する項目

本研究では、SSC 運動の遂行能力を評価するために、CMJ 能力の指標には跳躍高、RJ 能力の指標には跳躍高を踏切時間で除したリバウンドジャンプ指数 (Rebound Jump index : RJ-index) を用いた。試技はマットスイッチ (DKH 社製, マルチジャンプテスト) 上で行わせ、滞空時間および踏切時間を計測した。CMJ および RJ の跳躍高は式 (1) により算出した。なお、重力加速度 ( $g$ ) は  $9.81 \text{ m/s}^2$  とした。

$$\text{跳躍高} = g \cdot (\text{滞空時間})^2 / 8 \quad (1)$$

また、RJ-index は、先行研究 (遠藤ほか, 2007 ; 関子ほか, 1993) を参考にして式 (2) により算出した。

$$\text{RJ-index} = \text{跳躍高 (m)} / \text{接地時間 (s)} \quad (2)$$

CMJ に関して、対象者は 2 試技行い、跳躍高が高かった試技を分析の対象とした。また RJ については、1 試技のみ行い、RJ 跳躍高を踏切時間で除した値である RJ-index の最も高い跳躍を分析の対象とした。

#### (5) 対象者の群分け

本研究では、研究課題1-1において、はだし条件の疾走速度がシューズ条件と比較して高かった児童36名 (はだし優位群) と、シューズ条件の疾走速度がはだし条件と比較して高かった児童58名 (シューズ優位群) の二群に分類した。表4に両群の身体的特徴を示した。

表4 はだし優位群とシューズ優位群の身体的特性

	はだし優位群 (n = 36)	シューズ優位群 (n = 58)	t
年齢 (yr)	9.10 ± 1.58	8.81 ± 1.74	0.813
身長 (m)	1.35 ± 0.11	1.32 ± 0.11	1.070
体重 (kg)	30.29 ± 7.68	29.70 ± 5.98	0.416

## (6) 統計処理

値は全て平均値±標準偏差で示した。すべての統計処理にはIBM SPSS Statistics 22.0を使用した。身体的特性およびSSC運動の遂行能力について、独立したサンプルのt検定を行った。また、両群の条件間における疾走能力および動作の変化について検討するために、二元配置分散分析（群×条件）を用いた。なお、交互作用が有意であった場合は各要因間の単純主効果検定およびBonferroni法で多重比較検定を行い、交互作用が有意でなかった場合には、その後主効果検定および多重比較についてもBonferroni法を用いて検討した。接地様式に関して、学校間の差を検討するためにカイ二乗検定を用いた。また、条件間における接地様式の差を検討するためにMcNemar検定を用いた。なお、いずれも有意性は危険率5%で判定した。

## 3. 結果

### (1) 疾走能力に関する項目

表 5 には、はだし優位群とシューズ優位群の疾走能力に関する項目を示した。疾走能力に関する項目では、疾走速度 ( $F(1,92) = 89.321, p < 0.01$ )、ピッチ ( $F(1,92) = 18.762, p < 0.01$ )、ストライド ( $F(1,92) = 6.512, p < 0.05$ )、接地時間 ( $F(1,92) = 25.041, p < 0.01$ ) および接地滞空比 ( $F(1,92) = 5.164, p < 0.05$ ) の 5 項目において、有意な交互作用が認められたため、各要因の単純主効果検定および多重比較を行った。

疾走速度は、はだし優位群において、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に高く

( $p < 0.01$ ) , シューズ優位群において、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に低かった ( $p < 0.01$ ) . また、はだし条件において、はだし優位群の疾走速度はシューズ優位群と比較して有意に高かった ( $p < 0.01$ ) .

ピッチは、はだし優位群において、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に高かった ( $p < 0.01$ ) . また、はだし条件において、はだし優位群のピッチはシューズ優位群と比較して有意に高かった ( $p < 0.05$ ) .

ストライドは、優位群において、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に小さかった ( $p < 0.01$ ) . また、はだし条件において、はだし優位群のストライドはシューズ優位群と比較して有意に大きかった ( $p < 0.05$ ) .

接地時間は、はだし優位群において、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に短く ( $p < 0.01$ ) , シューズ優位群においても同様に、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に短かった ( $p < 0.01$ ) . また、はだし条件において、はだし優位群の接地時間は、シューズ優位群と比較して有意に短かった ( $p < 0.05$ ) .

接地滞空比は、はだし優位群において、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に大きかった ( $p < 0.01$ ) .

また、滞空時間において、有意な交互作用は認められなかった.

表 5 はだし優位群とシューズ優位群の疾走能力

	群	シューズ条件	はだし条件	分散分析
疾走速度 (m/s)	はだし優位群	5.56 ± 0.60	5.73 ± 0.61 <sup>†††</sup>	F <sub>a</sub> =
	シューズ優位群	5.65 ± 0.64	5.28 ± 0.70 <sup>††</sup>	F <sub>b</sub> = F <sub>c</sub> = 89.321 <sup>**</sup>
ピッチ (Hz)	はだし優位群	3.88 ± 0.33	4.16 ± 0.38 <sup>††</sup>	F <sub>a</sub> =
	シューズ優位群	4.03 ± 0.33	4.07 ± 0.37	F <sub>b</sub> = F <sub>c</sub> = 18.762 <sup>**</sup>
ストライド (m)	はだし優位群	1.44 ± 0.17	1.39 ± 0.18 <sup>*</sup>	F <sub>a</sub> =
	シューズ優位群	1.41 ± 0.18	1.30 ± 0.20 <sup>††</sup>	F <sub>b</sub> = F <sub>c</sub> = 6.512 <sup>*</sup>
接地時間 (s)	はだし優位群	0.153 ± 0.019	0.135 ± 0.019 <sup>††</sup>	F <sub>a</sub> =
	シューズ優位群	0.145 ± 0.016	0.141 ± 0.016 <sup>††</sup>	F <sub>b</sub> = F <sub>c</sub> = 25.041 <sup>**</sup>
滞空時間 (s)	はだし優位群	0.107 ± 0.020	0.107 ± 0.019	F <sub>a</sub> = 0.518
	シューズ優位群	0.104 ± 0.018	0.105 ± 0.019	F <sub>b</sub> = 0.356 F <sub>c</sub> = 0.037
接地滞空比	はだし優位群	0.71 ± 0.17	0.82 ± 0.21 <sup>††</sup>	F <sub>a</sub> =
	シューズ優位群	0.73 ± 0.19	0.77 ± 0.16	F <sub>b</sub> = F <sub>c</sub> = 5.164 <sup>*</sup>

シューズ条件 vs はだし条件, †† : p < 0.01

はだし優位群 vs シューズ優位群, †† : p < 0.01, † : p < 0.05

F<sub>a</sub> : 条件の主効果, F<sub>b</sub> : 群の主効果, F<sub>c</sub> : 交互作用, \*\* : p < 0.01, \* : p < 0.05



## (2) 疾走動作に関する項目

### 1) 支持脚

表 6 には、はだし優位群とシューズ優位群の疾走動作 (支持脚) に関する項目を示した。

支持脚に関して、最大後方スウィング速度において、有意な交互作用が認められたため ( $F(1,92) = 9.169, p < 0.01$ )、各要因の単純主効果検定および多重比較を行った。

最大後方スウィング速度は、はだし優位群において、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に高く ( $p < 0.05$ )、シューズ優位群において、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に低かった ( $p < 0.05$ )。

また、接地時の股関節角度、膝関節角度および足関節角度、接地中の膝関節最小角度および足関節最小角度、離地時の股関節角度、膝関節角度および足関節角度、接地中の膝関節最大屈曲角速度および足関節最大背屈角速度、接地中の股関節最大伸展角速度、膝関節最大伸展角速度および足関節最大底屈角速度の 13 項目において、有意な交互作用は認められなかった。

条件間について、接地時の股関節角度 ( $F(1,92) = 16.989, p < 0.01$ )、接地時の足関節角度 ( $F(1,92) = 8.444, p < 0.01$ )、離地時の足関節角度 ( $F(1,92) = 5.258, p < 0.05$ ) および接地中の足関節最大底屈角速度 ( $F(1,92) = 37.886, p < 0.01$ ) の 4 項目に有意差が認められた。接地時の股関節角度、接地時の足関節角度および離地時の足関節角度は、群間に関わらず、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に大きく、接地中の足関節最大底屈角速度は、群間に関わらず、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に高かった。

群間について、はだし優位群の足関節最大背屈角速度は、条件間に関わらず、シューズ優位群と比較して有意に高かった ( $F(1,92) = 6.002, p < 0.05$ ) .

## 2) 遊脚および体幹

表 7 には、はだし優位群とシューズ優位群の疾走動作（遊脚および体幹）に関する項目を示した。遊脚および体幹に関して、最大前方スウィング速度 ( $F(1,92) = 12.893, p < 0.01$ ) ともも上げ角度 ( $F(1,92) = 4.429, p < 0.05$ ) の 2 項目において、有意な交互作用が認められたため、各要因の単純主効果検定および多重比較を行った。

最大前方スウィング速度は、はだし優位群において、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に高かった ( $p < 0.01$ ) . また、はだし条件において、はだし優位群の最大前方スウィング速度はシューズ優位群と比較して有意に高かった ( $p < 0.05$ ) .

もも上げ角度は、シューズ優位群において、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に低かった ( $p < 0.01$ ) .

また、接地時の大腿角度、接地時の大腿速度、膝の最大引きつけ角度および接地前の最大振り戻し速度および接地時の体幹角度の 4 項目において、有意な交互作用は認められなかった。

条件間について、接地時の大腿速度 ( $F(1,92) = 5.719, p < 0.05$ ) , 膝の最大引きつけ角度 ( $F(1,92) = 12.087, p < 0.01$ ) および接地前最大振り戻し速度 ( $F(1,92) = 19.157, p < 0.01$ ) の 3 項目に有意差が認められた。接地時の大腿速度および膝の最大引きつけ角

度は、群間に関わらず、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に大きかった。接地前最大振り戻し速度は、群間に関わらず、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に高かった。接地時の体幹角度は、群間に関わらず、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に小さかった ( $f = 13.487, p < 0.01$ )。

群間について、はだし優位群の接地時の大腿角度は、条件間に関わらず、シューズ優位群と比較して有意に大きかった ( $F(1,92) = 6.076, p < 0.05$ )。

### (3) 接地様式

表 8 には、はだし優位群とシューズ優位群の接地様式の割合を示した。はだし優位群において、接地様式は条件の間で有意に異なり ( $p < 0.01$ )、シューズ条件では全体 (36 名) の 83.3% の児童 (30 名) が RFS, 11.1% の児童 (4 名) が MFS, 5.6% の児童 (2 名) が FFS であったのに対して、はだし条件では全体の 25.0% の児童 (9 名) が RFS, 47.2% の児童 (17 名) が MFS, 27.8% の児童 (10 名) が FFS であった。また、シューズ優位群において、接地様式は条件の間で有意に異なり ( $p < 0.01$ )、シューズ条件では全体 (58 名) の 81.0% の児童 (47 名) が RFS, 17.2% の児童 (10 名) が MFS, 1.7% の児童 (1 名) が FFS であったのに対して、はだし条件では全体の 31.0% の児童 (18 名) が RFS, 41.4% の児童 (24 名) が MFS, 27.6% の児童 (16 名) が FFS であった。なお、シューズ条件とはだし条件における接地様式について、群間に有意な差は認められなかった。

#### (4) SSC 運動の遂行能力に関する項目

表 9 には、はだし優位群とシューズ優位群の SSC 運動の遂行能力に関する項目を示した。シューズ優位群と比較して、はだし優位群の RJ-index は有意に高く ( $p < 0.05$ )、RJ 接地時間は有意に短く ( $p < 0.05$ )、そして CMJ 跳躍高は有意に高かった ( $p < 0.01$ )。また RJ 跳躍高について、群間に有意な差は認められなかった。

表6 はだし優位群とシューズ優位群の疾走動作（支持脚）

	群	シューズ条件	はだし条件	分散分析	主効果
接地時股関節角度 (deg)	はだし優位群	130.53 ± 8.51	133.78 ± 8.38	F <sub>a</sub> = 16.989*	シ<は
	シューズ優位群	131.44 ± 7.78	135.41 ± 8.45	F <sub>b</sub> = 0.781 F <sub>c</sub> = 0.167	
接地時膝関節角度 (deg)	はだし優位群	144.52 ± 8.89	145.01 ± 6.23	F <sub>a</sub> = 0.836	
	シューズ優位群	142.44 ± 5.93	143.96 ± 7.11	F <sub>b</sub> = 0.183 F <sub>c</sub> = 2.151	
接地時足関節角度 (deg)	はだし優位群	102.39 ± 6.91	104.01 ± 6.11	F <sub>a</sub> = 8.444*	シ<は
	シューズ優位群	100.44 ± 5.42	102.86 ± 6.17	F <sub>b</sub> = 2.045 F <sub>c</sub> = 0.322	
膝関節最小角度 (deg)	はだし優位群	133.45 ± 7.17	135.16 ± 7.45	F <sub>a</sub> = 0.486	
	シューズ優位群	134.74 ± 8.96	134.10 ± 7.75	F <sub>b</sub> = 0.007 F <sub>c</sub> = 2.337	
足関節最小角度 (deg)	はだし優位群	85.43 ± 5.27	85.07 ± 5.97	F <sub>a</sub> = 2.628	
	シューズ優位群	86.20 ± 5.39	84.44 ± 5.94	F <sub>b</sub> = 0.006 F <sub>c</sub> = 1.129	
離地時股関節角度 (deg)	はだし優位群	199.68 ± 8.19	198.68 ± 7.41	F <sub>a</sub> = 0.064	
	シューズ優位群	200.08 ± 7.24	200.69 ± 6.90	F <sub>b</sub> = 0.818 F <sub>c</sub> = 1.011	
離地時膝関節角度 (deg)	はだし優位群	158.78 ± 6.24	158.35 ± 6.11	F <sub>a</sub> = 0.836	
	シューズ優位群	158.13 ± 6.44	159.95 ± 6.48	F <sub>b</sub> = 0.670 F <sub>c</sub> = 2.151	
離地時足関節角度 (deg)	はだし優位群	121.81 ± 7.03	125.20 ± 9.26	F <sub>a</sub> = 5.258*	シ<は
	シューズ優位群	121.75 ± 6.32	122.70 ± 8.99	F <sub>b</sub> = 0.847 F <sub>c</sub> = 1.674	
膝関節最大屈曲角速度 (deg/s)	はだし優位群	-275.19 ± 110.80	-292.66 ± 102.10	F <sub>a</sub> = 0.315	
	シューズ優位群	-281.53 ± 108.37	-247.35 ± 116.02	F <sub>b</sub> = 1.195 F <sub>c</sub> = 3.006	
足関節最大背屈角速度 (deg/s)	はだし優位群	-435.02 ± 114.26	-437.32 ± 415.13	F <sub>a</sub> = 1.361	シ優<は優
	シューズ優位群	-385.76 ± 73.49	-415.13 ± 79.25	F <sub>b</sub> = 6.002* F <sub>c</sub> = 1.716	
股関節最大伸展角速度 (deg/s)	はだし優位群	692.47 ± 698.06	698.06 ± 120.13	F <sub>a</sub> = 0.967	
	シューズ優位群	717.27 ± 125.88	684.38 ± 108.56	F <sub>b</sub> = 0.071 F <sub>c</sub> = 1.922	
膝関節最大伸展角速度 (deg/s)	はだし優位群	462.02 ± 111.59	484.48 ± 115.57	F <sub>a</sub> = 1.277	
	シューズ優位群	465.33 ± 118.54	456.84 ± 121.68	F <sub>b</sub> = 0.345 F <sub>c</sub> = 1.277	
足関節最大底屈角速度 (deg/s)	はだし優位群	877.22 ± 140.79	1024.90 ± 228.72	F <sub>a</sub> = 37.886**	シ<は
	シューズ優位群	854.79 ± 136.76	963.07 ± 194.59	F <sub>b</sub> = 1.841 F <sub>c</sub> = 0.898	
支持脚の最大後方スウィング速度 (deg/s)	はだし優位群	495.29 ± 56.11	507.08 ± 52.90†	F <sub>a</sub> =	
	シューズ優位群	506.97 ± 61.69	491.93 ± 57.96†	F <sub>b</sub> = F <sub>c</sub> = 9.169**	

シューズ条件 vs はだし条件, †: p < 0.05

F<sub>a</sub>: 条件の主効果, F<sub>b</sub>: 群の主効果, F<sub>c</sub>: 交互作用, \*\*: p < 0.01, \*: p < 0.05

シ: シューズ条件, は: はだし条件, は優: はだし優位群, シ優: シューズ優位群

表7 はだし優位群とシューズ優位群の疾走動作（遊脚および体幹）

	群	シューズ条件	はだし条件	分散分析	主効果
遊脚の最大前方スウィング速度 (m/s)	はだし優位群	2.76±0.31	2.92±0.32 <sup>††</sup>	F <sub>a</sub> =	
	シューズ優位群	2.80±0.29	2.77±0.28	F <sub>b</sub> = F <sub>c</sub> = 12.893 <sup>**</sup>	
遊脚のもも上げ角度 (deg)	はだし優位群	61.88±5.34	60.76±6.00	F <sub>a</sub> =	
	シューズ優位群	62.57±5.02	58.79±6.53 <sup>††</sup>	F <sub>b</sub> = F <sub>c</sub> = 4.429 <sup>*</sup>	
接地時の大腿角度 (deg)	はだし優位群	-17.34±8.24	-16.42±8.77	F <sub>a</sub> = 1.789	
	シューズ優位群	-14.83±8.48	-12.59±7.79	F <sub>b</sub> = 6.076 <sup>*</sup> F <sub>c</sub> = 0.312	シ>は優
接地時の大腿速度 (deg/s)	はだし優位群	417.72±106.43	471.94±111.06	F <sub>a</sub> = 5.719 <sup>*</sup>	シ<は
	シューズ優位群	413.51±92.34	476.61±100.12	F <sub>b</sub> = 0.467 F <sub>c</sub> = 3.274	
膝の最大引きつけ角度 (deg)	はだし優位群	37.80±8.05	41.83±9.21	F <sub>a</sub> = 12.087 <sup>**</sup>	シ<は
	シューズ優位群	39.06±9.14	47.21±12.51	F <sub>b</sub> = 3.121 F <sub>c</sub> = 0.229	
接地前最大振り戻し速度 (deg/s)	はだし優位群	318.22±67.49	362.76±86.91	F <sub>a</sub> = 19.157 <sup>**</sup>	シ<は
	シューズ優位群	314.06±69.78	346.64±64.57	F <sub>b</sub> = 0.683 F <sub>c</sub> = 0.461	
接地時の体幹角度 (deg)	はだし優位群	11.43±5.28	9.87±5.34	F <sub>a</sub> = 13.487 <sup>**</sup>	シ>は
	シューズ優位群	10.37±4.28	8.38±3.87	F <sub>b</sub> = 2.259 F <sub>c</sub> = 0.203	

シューズ条件 vs はだし条件, ††: p < 0.01

はだし優位群 vs シューズ優位群, †: p < 0.05

F<sub>a</sub>: 条件の主効果, F<sub>b</sub>: 群の主効果, F<sub>c</sub>: 交互作用, \*\*: p < 0.01, \*: p < 0.05

シ: シューズ条件, は: はだし条件, は優: はだし優位群, シ優: シューズ優位群

表 8 はだし優位群とシューズ優位群の接地様式

	条件	接地様式 (%)		
		RFS	MFS	FFS
はだし優位群	シューズ条件	83.3	11.1	5.6
	はだし条件	25.0	47.2	27.8**
シューズ優位群	シューズ条件	81.0	17.2	1.7
	はだし条件	31.0	41.4	27.6**

シューズ条件 vs はだし条件, \*\* :  $p < 0.01$

表 9 はだし優位群とシューズ優位群の SSC 運動の遂行能力

	はだし優位群	シューズ優位群	t
RJ-index	1.06±0.33	0.92±0.33	-1.997*
RJ接地時間 (s)	0.18±0.04	0.20±0.06	2.450*
RJ跳躍高 (m)	0.18±0.04	0.17±0.04	-1.016
CMJ跳躍高 (m)	0.24±0.04	0.21±0.04	-2.687**

\*\* : p < 0.01, \* : p < 0.05



#### 4. 考察

本研究では、研究課題 1-1 において、はだし条件の疾走速度がシューズ条件と比較して高かった児童（はだし優位群）と、シューズ条件の疾走速度がはだし条件と比較して高かった児童（シューズ優位群）の二群に分類した。以下では、はだし条件で走ることで異なる疾走速度の変化がみられた両群の特徴について考察することで、シューズの有無による両群の疾走速度の変化に関連する要因を検討する。

##### (1) はだし優位群の特徴

はだし優位群において、疾走速度は、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に高かった。また、はだし優位群のピッチは、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に高く、ストライドには両条件の間に有意な差が認められなかった。このことから、本研究において、はだし優位群は、シューズを脱ぎはだしで走ることで、ストライドが維持されながら、ピッチが高まり、結果として疾走速度が高まったことが明らかとなった。接地様式は、シューズ条件において RFS の割合が高く、FFS あるいは MFS の割合が低かったが、はだし条件においては RFS の割合が減少し、FFS あるいは MFS の割合が増加した。また、はだし条件の接地時間は、シューズ条件と比較して有意に短かった。滞空時間は、条件間に有意な差は認められなかった。これらのことから、はだし優位群は、はだし走により、接地様式が変化し、接地時間が短くなったことで、ピッチが高まったと考えられる。

はだし優位群の SSC 運動の遂行能力をみると、シューズ優位群と比較して、RJ-index

は有意に大きく、RJ 接地時間は有意に短く、CMJ 跳躍高は有意に高かった。つまり、はだし優位群はシューズ優位群と比較して、高い SSC 運動の遂行能力を有していたことが明らかとなった。疾走においても同様の傾向がみられ、支持期における支持脚側の足関節最大背屈角速度は、両条件ともに、はだし優位群がシューズ優位群と比較して有意に高かった。また支持脚側の膝関節最大屈曲速度は、両群の間に有意な差が認められなかったことから、足関節背屈角速度が足関節底屈筋群の伸張速度を反映していると仮定すると(荻山ほか, 2012)、疾走において、はだし優位群の足関節底屈筋群の伸張速度はシューズ優位群と比較して高かったと推察される。この筋の伸張速度が高いほど、SSC 運動 (Komi and Buskirk, 1972) における力発揮が増大する伸張反射の効果が高まるとされており (Cavagna et al., 1968)、はだし優位群は、FFS あるいは MFS になりやすいはだし走において、足関節底屈筋群の機能をより効果的に発揮していた可能性が考えられる。このことについて、はだし優位群の接地時間に対する滞空時間の比率である接地滞空比が、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に大きかったことから、短い接地時間でシューズ条件と同程度の長さの滞空時間を獲得できるだけの力を地面に伝達していたと捉えることができる。

また、疾走動作における支持脚に関する項目では、支持脚の最大後方スウィング速度のみに交互作用が認められ、はだし優位群において、はだし条件の支持脚の最大後方スウィング速度は、シューズ条件と比較して有意に高かった。疾走動作を足部の接地位置と身体重心を結ぶ振り子による逆振り子運動 (Farley and Ferris, 1998) と捉えた場合に、振り

子（脚）の振幅速度と身体重心速度とはほぼ一致するものと推測できる。この時、足部は工学的な意味合いでの作用端であり、全身の運動の結果として生じた力を地面に伝達する役割を担っている。したがって、FFSあるいはMFSでの接地になりやすいはだし走において、はだし優位群は高いSSC運動の遂行能力を活かしたキック動作を遂行することで、支持期中に身体重心をより素早く前方に進めることができたと考えられる。

一方で、遊脚に関して、はだし優位群の接地時における遊脚の大腿角度は、両条件ともにシューズ優位群と比較して有意に大きく、換言すれば、遊脚の大腿部がより後方に位置した姿勢で接地をしていた。末松ほか（2008）は、遊脚の大腿部を後方の位置から前方へと大きく振り込む動作はストライドを高めることに貢献していると推察している。また、はだし優位群において、はだし条件の遊脚の最大前方スウィング速度は、シューズ条件と比較して有意に高かった。関ほか（2016）は、小学校5-6年生を対象とした研究において、遊脚の最大前方スウィング速度が高いほど、左右の脚の間のエネルギー伝達が促進されることによって、支持脚の後方スウィング速度が高まり、ピッチの向上を介して高い疾走速度の獲得につながると報告している。これらのことを踏まえると、本研究において、はだし優位群は、シューズを脱ぎはだしで走ることにより、後方に位置した遊脚を大きく、かつ素早く前方へと振り込み、キック動作中に身体重心が素早く推進されたことで、ストライドが維持されながらピッチが高まり、結果的に疾走速度が高まったと考えられる。

以上のことから、はだし優位群は、高いSSC運動の遂行能力を有しており、はだし走による接地様式の変化に伴う接地時間の短縮などに対し、疾走動作を合理的に適応させるこ

とで、疾走速度が高まったと推察される。

## (2) シューズ優位群の特徴

シューズ優位群において、はだし条件の疾走速度はシューズ条件と比較して有意に低かった。また、ピッチには条件間に有意な差は認められず、ストライドは有意に小さかった。このことから、本研究において、シューズ優位群は、シューズを脱ぎはだしで走ることによって、ピッチが維持されながら、ストライドが小さくなった結果、疾走速度が低下したことが明らかとなった。また接地様式および接地時間は、はだし優位群と同様の傾向がみられ、シューズ優位群においても、シューズ条件において RFS の割合が高く、FFS あるいは MFS の割合が低かったが、はだし条件においては FFS あるいは MFS の割合が増加しており、はだし条件の接地時間はシューズ条件と比較して有意に短かった。

シューズ優位群の SSC 運動の遂行能力をみると、はだし優位群と比較して、RJ-index は有意に小さく、RJ 接地時間は有意に長く、CMJ 跳躍高は有意に低かった。これらのことから、シューズ優位群は、はだし優位群と比較して SSC 運動の遂行能力が低かったことが明らかとなった。疾走においても、支持期における支持脚側の膝関節最大屈曲速度は、両群の間に有意な差が認められなかったものの、足関節最大背屈角速度は、両条件ともにシューズ優位群がはだし優位群と比較して有意に低かった。また、シューズ優位群の支持脚の最大後方スウィング速度は、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に低かった。したがって、はだし優位群と比較して SSC 運動の遂行能力が低いシューズ優位群は、FFS

あるいは MFS での接地になりやすいはだし走において、支持期中に身体重心を素早く前方に進めるようなキック動作の遂行が困難であったと考えられる。

一方で、遊脚に関して、シューズ優位群は、両条件ともに、はだし優位群と比較して遊脚の大腿部をより前方に位置させた姿勢で接地しており、遊脚のもも上げ角度は、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に小さかった。このことからシューズ優位群は、はだし走において、遊脚の振り込み幅を小さくさせていたことが分かる。この動作は、先述の末松ほか (2008) の指摘しているストライドを増大させる動作とは逆の動作であり、はだし走において、シューズ優位群のストライドが小さくなった要因であったと考えられる。

以上のことから、シューズ優位群は、はだし優位群と比較して SSC 運動の遂行能力が低く、はだし走による接地様式の変化に伴う接地時間の短縮などに対し、疾走動作を合理的に適応させることが困難であったことで、結果として疾走速度が低下したと考えられる。

## 5. 小括

本研究は、シューズ着用の有無による HS 児童の疾走速度の変化に関連する要因を明らかにすることを目的とした。シューズ着用の有無による HS 児童の疾走速度の変化は、接地様式の変化（踵接地から前足部あるいは中足部接地）に伴う、接地時間の短縮などに対するキック動作をはじめとした運動制御系の適応を要因としており、その背景として SSC 運動の遂行能力が関連していることが示された。このことより、はだし走を HS 児童の疾走指導に導入するにあたり、事前に SSC 運動の遂行能力を高めておくことで、はだしで走

った際により合理的な疾走動作へと近づく可能性があると考えられる。

## VI. 長期のはだしランニングが児童の疾走能力に及ぼす影響（研究課題 1-3）

### 1. 目的

研究課題 1-1 および研究課題 1-2 では、シューズ着用の有無が HS 児童の疾走動作に及ぼす即時的な影響について検討を進めてきた。その結果として HS 児童は、シューズを脱ぎはだしで走ることで、全体の傾向として、接地様式が RFS から FFS あるいは MFS へと変化するに伴い、接地時間が短縮するなどの変化が生じることが示された（研究課題 1-

1）。さらにシューズ着用の有無による疾走速度の変化は、個別性を有する運動制御系の適応と関連しており、その背景として SSC 運動の遂行能力が関連していることが明らかとなった（研究課題 1-2）。

一方、これまでシューズ着用の有無が人間の疾走運動に及ぼす長期的な影響の解明を試みた研究では、HB および HS 成人のランニングを対象として、その走能力や走動作が比較検討されてきた（Divert et al., 2008 ; Squadrone and Gallozi, 2009）。しかしながら、児童の疾走運動を対象とした研究は極めて少ないことに加え（Hollander et al., 2018 ; Zech et al., 2018）、これらの研究では、対象者の比較に際して、身体的特性や民族性などの内部変数および走路のサーフェスなどの外部変数を統制できていない。

そこで本研究では、同一国、地域内におけるはだし教育校と対照校における児童の疾走能力の比較検討を通じて、長期のはだしランニングが児童の疾走能力に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。この影響を明らかにすることによって、児童に対する疾走指導における「はだし」の可能性がより明確化されることが期待できる。

## 2. 方法

### (1) 研究デザイン

同一国，地域内におけるはだし教育校と対照校における児童の疾走能力を比較検討するために，ケース・コントロール研究デザインを用いた．はだし教育校の児童（BS 群）ははだしで，対照校の児童（CS 群）はシューズを着用して毎朝登校後 10 分間のランニングを 4 年間以上継続した．本研究は，筑波大学体育系研究倫理委員会の承認を得て実施された（承認番号：体 30-110）．

### (2) 対象者

対象者は，BS 群 101 名（男子 54 名，女子 47 名；年齢， $11.2 \pm 0.7$  歳；身長， $1.45 \pm 0.06$  m；体重， $37.0 \pm 6.9$  kg；シューズの質量， $0.19 \pm 0.03$  kg），CS 群 93 名（男子 48 名，女子 45 名；年齢， $11.1 \pm 0.7$  歳；身長， $1.46 \pm 0.07$  m；体重， $37.8 \pm 6.9$  kg；シューズの質量， $0.20 \pm 0.04$  kg）とした（表 10）．すべての対象者および保護者には本実験の主旨，内容ならびに安全性についてあらかじめ説明をし，参加の同意を得た．体調の優れないもしくは下肢に怪我を有する児童は，予め対象から外した．



表 10 BS 群および CS 群の身体特性およびシューズの質量

	BS群 (n = 101)	CS群 (n = 93)	t
年齢 (yr)	11.2 ± 0.7	11.1 ± 0.7	-1.135
身長 (m)	1.45 ± 0.06	1.46 ± 0.07	-0.719
体重 (kg)	37.0 ± 6.9	37.8 ± 6.9	0.476
シューズの質量 (kg)	0.19 ± 0.03	0.20 ± 0.04	-0.945

### (3) 疾走能力の測定

20 分間の準備運動（下肢の動的ストレッチ，ドリル運動，30m 快調走）の後，普段から着用しているシューズ，はだしの 2 条件の下，スタンディングスタートの姿勢からの 50 m 疾走を土の走路上で実施した．順序の影響を排除するために，試技はランダムで行わせた．また，疲労の影響が出ないように配慮して試技間には十分な休息をとらせた．

図 22 は，本研究におけるハイスピードカメラの設置状況を示している．スタートから 25 m 地点の左側方 20 m に設置したハイスピードカメラ（Panasonic 社製，LUMIX FZ200，露出時間 1/1000 s）を用いて 240 fps で撮影した．撮影範囲は 25 m 地点を中心に前後 5 m とした．また，身体分析点の 2 次元座標を算出するため，較正マークを撮影範囲内の走路両側に 2 m 間隔で設置して撮影した．また，接地様式を判別するために，スタートから 25 m 地点に 3 台のハイスピードカメラ（CASIO 社製，EX-F1，露出時間 1/1000 s）を設置し，3 方向から接地時の足部を 300 fps で撮影した．

研究課題 1-1 に示した方法で，左足接地瞬間から再びその足が接地するまでの 1 サイクル（2 歩）における各対象者の身体分析点 23 点の 2 次元座標を算出し，平滑化を行った．また，同様に研究課題 1-1 に示した方法で，疾走能力に関する項目を算出し，接地様式を RFS，MFS および FFS の 3 つに分類を行った（図 5）．

### (4) SSC 運動の遂行能力の測定

SSC 運動の遂行能力に関して，研究課題 1-2 で示した方法で，CMJ および RJ の測定を

実施した。CMJ 能力の指標には跳躍高, RJ 能力の指標には跳躍高を踏切時間で除した RJ-index を用いた。

#### (5) 統計処理

値は全て平均値±標準偏差で示した。すべての統計処理にはIBM SPSS Statistics 22.0を使用した。身体的特性およびSSC運動の遂行能力について、独立したサンプルのt検定を行った。また、両群の条件間における疾走能力および動作の変化について検討するために、二元配置分散分析（群×条件）を用いた。なお、交互作用が有意であった場合は各要因間の単純主効果検定およびBonferroni法で多重比較検定を行い、交互作用が有意でなかった場合には、その後主効果検定および多重比較についてもBonferroni法を用いて検討した。接地様式に関して、群間の差を検討するためにカイ二乗検定を用いた。また、条件間における接地様式の差を検討するためにMcNemar検定を用いた。疾走速度および接地様式に対する性別の影響を考慮するために、それぞれ独立したサンプルのt検定およびカイ二乗検定を用いた。なお、有意性は危険率5%で判定した。

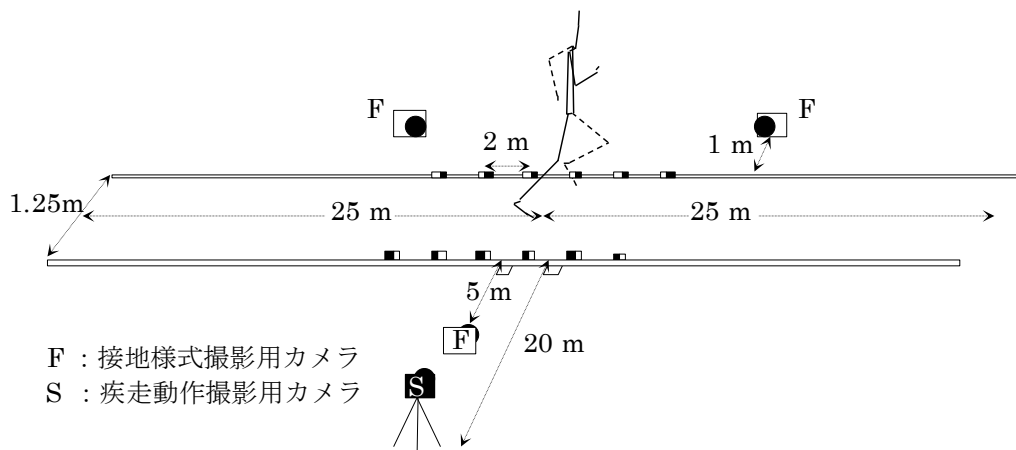


図 22 実験設定

### 3. 結果

#### (1) 疾走能力に関する項目

表 11 には、BS 群と CS 群の疾走能力に関する項目を示した。疾走速度 ( $F(1,192) = 21.449, p < 0.01$ ) およびストライド ( $F(1,192) = 12.802, p < 0.01$ ) に関して、群および条件間に有意な交互作用が認められたため、各要因の単純主効果検定および多重比較を行った。

疾走速度は、BS 群において、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に高かった ( $p < 0.01$ )。はだし条件において、BS 群の疾走速度は CS 群と比較して有意に高かった ( $p < 0.05$ )。

ストライドは、CS 群において、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に小さかった ( $p < 0.01$ )。はだし条件において、BS 群のストライドは CS 群と比較して有意に大きかった ( $p < 0.05$ )。

群間について、接地時間 ( $F(1,192) = 6.201, p < 0.05$ ) と滞空時間 ( $F(1,192) = 7.972, p < 0.01$ ) に有意な主効果が認められた。接地時間は、条件間に関わらず、CS 群と比較して BS で有意に短かった。滞空時間は、条件間に関わらず、CS 群と比較して BS 群で有意に長かった。

ピッチ ( $F(1,192) = 115.925, p < 0.01$ ) と接地時間 ( $F(1,192) = 181.564, p < 0.01$ ) では、条件による有意な主効果が認められた。ピッチは、群間に関わらず、シューズ条件と比較してはだし条件で有意に高かった。接地時間は、群間に関わらず、シューズ条件と

比較してはだし条件で有意に短かった。

## (2) 接地様式

表 12 には、BS 群と CS 群の接地様式の割合を示した。シューズ条件において、BS 群では全体 (101 名) のうち 57.4% の児童 (58 名) が RFS, 30.7% の児童 (31 名) が MFS, 11.9% の児童 (12 名) が RFS であったのに対して、CS 群では全体 (93 名) のうち 81.7% の児童 (76 名) が RFS, 8.6% の児童 (8 名) が MFS, 9.7% の児童 (9 名) が FFS であり、RFS の割合は、CS 群と比較して BS 群で有意に低かった ( $p < 0.01$ )。また、はだし条件において、BS 群では全体 (101 名) のうち 23.8% の児童 (24 名) が RFS, 38.6% の児童 (39 名) が MFS, 37.6% の児童 (38 名) が RFS であったのに対して、CS 群では全体 (93 名) のうち 34.4% の児童 (32 名) が RFS, 41.9% の児童 (39 名) が MFS, 23.7% の児童 (22 名) が FFS であり、群間に有意な差は認められなかった。なお、RFS の割合は、群間に関わらず、シューズ条件と比較してはだし条件で低かった ( $p < 0.01$ )。

## (3) SSC 運動の遂行能力に関する項目

表 13 には、BS 群と CS 群の SSC 運動の遂行能力に関する項目を示した。CS 群と比較して、BS 群の RJ 跳躍高は有意に高く ( $p < 0.01$ )、接地時間は有意に短く ( $p < 0.01$ )、そして RJ-index は有意に高かった ( $p < 0.01$ )。また群間において、CMJ 跳躍高に有意な差は認められなかった。

表 11 BS 群と CS 群の疾走能力

	群	シューズ条件	はだし条件	分散分析	主効果
疾走速度 (m/s)	BS群	6.09 ± 0.60	6.33 ± 0.56 <sup>††</sup>	F <sub>a</sub> =	
	CS群	6.14 ± 0.55	6.14 ± 0.57	F <sub>b</sub> =	
				F <sub>c</sub> = 21.449 <sup>**</sup>	
ピッチ (Hz)	BS群	3.91 ± 0.30	4.10 ± 0.30	F <sub>a</sub> = 115.925 <sup>**</sup>	シ < は
	CS群	3.91 ± 0.30	4.08 ± 0.32	F <sub>b</sub> = 0.068	
				F <sub>c</sub> = 0.402	
ストライド (m)	BS群	1.56 ± 0.14	1.55 ± 0.12 <sup>‡</sup>	F <sub>a</sub> =	
	CS群	1.57 ± 0.12	1.51 ± 0.14 <sup>††</sup>	F <sub>b</sub> =	
				F <sub>c</sub> = 12.802 <sup>**</sup>	
接地時間 (s)	BS群	0.138 ± 0.017	0.128 ± 0.015 <sup>††</sup>	F <sub>a</sub> = 181.564 <sup>**</sup>	シ > は
	CS群	0.143 ± 0.017	0.133 ± 0.015	F <sub>b</sub> = 6.201 <sup>*</sup>	BS群 < CS群
				F <sub>c</sub> = 0.059	
滞空時間 (s)	BS群	0.119 ± 0.013	0.117 ± 0.012	F <sub>a</sub> = 0.607	
	CS群	0.113 ± 0.014	0.113 ± 0.014	F <sub>b</sub> = 7.972 <sup>**</sup>	BS群 > CS群
				F <sub>c</sub> = 0.928	

シューズ条件 vs はだし条件, †† : p < 0.01

BS群 vs CS群, ‡ : p < 0.05

F<sub>a</sub> : 条件の主効果, F<sub>b</sub> : 群の主効果, F<sub>c</sub> : 交互作用, \*\* : p < 0.01, \* : p < 0.05

シ : シューズ条件, は : はだし条件

表12 BS群とCS群の接地様式

		接地様式 (%)		
		RFS	MFS	FFS
BS群	シューズ条件	57.4	30.7	11.9
	はだし条件	23.8	38.6	37.6††
CS群	シューズ条件	81.7**	8.6	9.7
	はだし条件	34.4	41.9	23.7††

BS群 vs CS群, \*\* :  $p < 0.01$

シューズ条件 vs はだし条件, †† :  $p < 0.01$



表13 BS群とCS群のSSC運動の遂行能力

	BS群	CS群	t
RJ-index	1.31 ± 0.36	1.13 ± 0.34	3.775**
RJ接地時間 (s)	0.178 ± 0.028	0.192 ± 0.031	-3.377**
RJ跳躍高 (m)	0.23 ± 0.04	0.21 ± 0.04	3.077**
CMJ跳躍高 (m)	0.25 ± 0.04	0.24 ± 0.04	0.689

BS群 vs CS群, \*\* : p < 0.01

#### 4. 考察

本研究の結果から、BS 群は CS 群と比較して、接地時間が短く、滞空時間が長く、FFS あるいは MFS の割合が高いという疾走動作の特徴を有しており、さらに短時間・高負荷型の SSC 運動の遂行能力が高いことが明らかとなった。

接地様式に関して、BS 群は CS 群と比較して、シューズ条件における FFS あるいは MFS の割合が有意に高かった。この結果は、HB 児童は、HS 児童と比較してシューズ条件、はだし条件ともに RFS の割合が高いという先行研究 (Hollander et al., 2018) の結果とは異なるものであった。両研究間で結果が異なった要因の一つとして、対象者の疾走速度の違いによる影響が考えられる。Hollander et al. (2018) の研究における HB 児童の疾走速度は、3.70–3.98 m/s であったのに対して、本研究における BS 群では、6.09–6.33 m/s であった。成人ランナーの走速度の変化と接地様式の変化との関連性について検討した研究によると (Forrester et al., 2015)、走速度が 5 m/s を上回ると接地様式は RFS から FFS あるいは MFS へと変化することが明らかとなっている。また、Hollander et al. (2018) の研究における HB 児童の平均年齢は、12.1 歳 (6–18 歳) であったのに対して、本研究における BS 群の平均年齢は、11.2 歳 (10–12 歳) であったことから、対象者の年齢の違いが疾走速度および接地様式に影響していた可能性もあると考えられる。さらに、両研究間で接地様式の結果が異なったもう一つの可能性として、はだしていた期間の違いによる影響が挙げられる。すなわち、本研究の対象者は、毎朝登校後 10 分間のランニングを 4 年間 (約 130 時間) 以上継続していたものの、学校やスポーツ活動を含めた日常生活

の大半をはだしで過ごしている南アフリカの児童 (Hollander et al., 2018) と比較して、はだしでいた期間が短かったと推測することができる。また、HS ランナーのはだしでのランニングへの試みを対象とした先行研究 (Hollander et al., 2019; Latorre-Román et al., 2019) をみても、8–12 週間という短期間で接地様式が RFS から FFS あるいは MFS へと変化することが明らかとなっている。これらのことを踏まえると、はだしでのランニングによって運動制御系や運動器系が適応するためにどの程度の期間を要するのかについては、今後の本研究分野における検討課題になり得ると考えられる。

一方で、BS 群および CS 群は、シューズを脱ぎはだしで走ることで共通の即時的変化がみられ、接地様式が RFS から FFS あるいは MFS へと変化し、接地時間が短くなり、ピッチが高まったことが明らかとなった。これらの疾走動作の即時的変化は、HS 児童を対象とした研究課題 1-1 の結果と同様であった。他方、研究課題 1-1 では、HS 児童シューズを脱ぎはだしで走ることで、ピッチが高まったものの、ストライドが小さくなった結果、疾走速度が低下したが、本研究では、BS 群は、シューズを脱ぎはだしで走ることで、ストライドが維持されながら、ピッチが高まり、結果として疾走速度が高まった。このことについて、力積と運動量の関係から考察を深めることができる。すなわち、BS 群は CS 群と比較して、短い接地時間で、長い滞空時間、そして同程度あるいは高い疾走速度を獲得していたことから、BS 群は、接地中の力の立ち上がり率が高く、短時間により大きな力を地面に伝えることができたと考えられる。そのような BS 群の疾走能力の特徴は、普段からはだし走に取り組むことにより SSC 運動中のパワー発揮特性や筋骨格系が機能的に

適応した結果を反映している可能性があると考えられる。また、SSC 運動の遂行能力にも同様の特徴が見受けられた。本研究において、BS 群は CS 群と比較して、RJ 跳躍高は有意に高く、接地時間は有意に短く、そして RJ-index は有意に高いにも関わらず、CMJ 跳躍高には有意な差が認められなかった。CMJ と比較して RJ は主働筋に対する伸張性の負荷が大きいこと (Nagahara et al., 2014) や、前足部あるいは中足部接地の多いはだしでのランニングは、足関節底屈筋群に対して短い接地時間で大きな伸張性の負荷がかかること (Lieberman, 2012) を踏まえると、BS 群が日々行っていたはだしでのランニングは短時間・高負荷型の SSC 運動の遂行能力の向上に貢献している可能性が示唆された。

以上のことから、普段から小学校体育の授業や運動の中にはだしでの運動を取り入れることによって、FFS および MFS の接地様式の習得、疾走能力および短時間・高負荷型の足関節底屈筋群のパワー発揮能力の向上が期待される。今後は、異なる年齢や活動レベルの児童に対して、はだしでのランニングやはだし走をどの程度の期間、どのようにして運動の中に導入すれば、疾走能力や SSC 運動の遂行能力が向上していくのか、その機能的適応過程についても検討する必要がある。

## 5. 小括

本研究は、はだしランニングが児童の疾走能力に及ぼす長期的影響を明らかにすることを目的とした。同一国、地域内におけるはだし教育校の児童と対照校の児童の疾走能力を比較検討した結果、はだし教育校の児童は対照校の児童と比較して、接地時間が短く、滞

空時間が長いという疾走動作の特徴を有していた。また、シューズ条件において、はだし教育校の児童は対照校の児童と比較して、前足部あるいは中足部接地の割合が高く、短時間・高負荷型の SSC 運動の遂行能力が高かったことが明らかとなった。さらに、はだし教育校の児童は、シューズを脱ぎはだしで走ることで、ストライドが維持されながら、ピッチが高まり、結果として疾走速度が高まった。今後のケースコントロール研究では、筋骨格系等の形態的特徴に関する調査も加えることによって、はだし走の導入によって見込まれる良い効果と潜在するリスクに関するさらなる洞察を得ることができるだろう。さらに、異なる年齢や活動レベルの児童に対してはだし走を導入し、疾走能力の機能的適応過程について詳細に検討するためには、コホート研究や RCT 研究デザインのように縦断的に調査する必要があると考えられる。

## Ⅶ. はだし走を活用した児童に対する疾走指導の効果（研究課題 2）

### 1. 目的

研究課題 1-3 では、はだし教育校の児童は対照校の児童と比較して、接地様式が前足部あるいは中足部接地の割合が高く、さらに短時間・高負荷型の SSC 運動の遂行能力が高いことが明らかとなった。このことにより、はだし走を運動の中に取り入れることで、児童は FFS あるいは RFS を習得できるだけでなく、短い時間で大きな力を発揮する能力に対するトレーニング効果も期待された。また、研究課題 1-1 の結果から、HS 児童がシューズを脱ぎはだして走ると、シューズの質量分の物理的な負荷が減ることにより、遊脚のスウィング速度が高まることが明らかとなっている。このことは、通常では達成が困難となる超最大速度（Supramaximal speed）レベルでの運動遂行を実現することにより、そこでの速いスピード感やリズム、タイミングを身に付けようとするトレーニング法として用いられる負荷軽減法（森本ほか，2003）の効果が適用される可能性を示唆している。しかしながら、実際に HS 児童がはだし走に取り組むことによってこれらの効果が得られるか否かについては縦断的に検討する必要があると考えられる。

そこで本研究では、はだし走を活用した疾走指導が、HS 児童の疾走能力、疾走動作および SSC 運動の遂行能力に及ぼす効果について、児童の内省を踏まえながら検討することを目的とした。このように指導の効果を児童の内省と共に明らかにすることにより、はだし走を HS 児童の疾走指導に活用するための実践的な示唆が得られることが期待できる。

## 2. 方法

### (1) 対象者

対象者は、スポーツクラブに所属し、毎週土曜日に、走、跳、投の基本的な運動を行っている HS 児童 20 名とし、はだしトレーニング群 10 名 (BT 群)、コントロール群 10 名 (CT 群) に分類した。なお、対象者および保護者には本実験の主旨、内容ならびに安全性についてあらかじめ説明をし、参加の同意を得た。対象者のうち、全 4 回の疾走指導および前後の測定に参加した BT 群 7 名 (男子 3 名、女子 4 名; 年齢,  $11.0 \pm 0.8$  歳; 身長,  $1.43 \pm 0.09$  m; 体重,  $35.4 \pm 5.6$  kg; シューズ質量,  $0.17 \pm 0.02$  kg), CT 群 7 名 (男子 3 名、女子 4 名; 年齢,  $11.0 \pm 0.8$  歳; 身長,  $1.43 \pm 0.08$  m; 体重,  $34.4 \pm 6.4$  kg; シューズ質量,  $0.18 \pm 0.01$  kg) を分析対象者とした (表 14)。本研究は、筑波大学体育系研究倫理委員会の承認の上、実施された (承認番号: 体 019-79)。

表 14 BT 群と CT 群の身体的特性およびシューズの質量

	BT群 (n = 7)	CT群 (n = 7)	t
年齢 (yr)	11.0 ± 0.8	11.0 ± 0.8	0.000
身長 (m)	1.43 ± 0.09	1.43 ± 0.08	0.112
体重 (kg)	35.4 ± 5.6	34.4 ± 6.4	0.305
シューズの質量 (kg)	0.17 ± 0.02	0.18 ± 0.01	0.147



## (2) 指導内容

研究課題 1 の結果を参考に、指導内容を考案した (表 15)。また本研究における疾走指導では、先行研究を参考にして、児童が目指す合理的な疾走動作を、前足部あるいは中足部での接地 (Miyamoto et al., 2018 ; 鈴木ほか, 2016) および遊脚の後方から前方への素早いスウィング動作 (木越・関, 2019 ; 関ほか, 2016) とした。対象者への指導は、室内全天候型直線走路において 40 分間のプログラムを週 1 回の頻度で 4 週間 (計 4 回) 継続した。本研究では、1 回目および 2 回目の指導において前足部あるいは中足部での接地、3 回目および 4 回目の指導において遊脚の後方から前方への素早いスウィング動作の習得を目的とした。30 m 全力疾走の最終セットを除き、全てのトレーニングは、BT 群が裸足で CT 群がシューズ着用で実施するものとした。以下に、指導内容の詳細について概略を示す。

Rothschild (2012) は、はだしでの運動に取り組み始める際には、関節の運動範囲の拡大や伸張性筋活動の増加による外傷あるいは障害のリスクを最小限に抑えるために、運動負荷の低い運動から徐々に取り組み始める必要があると述べている。このことから、指導の開始時に 50 m の「歩行」を 1 セットと 50 m の「ジョギング」を 2 セット取り入れた。続いて「接地意識歩行」では、片方の足の接地を前足部あるいは中足部で接地することを意識して 50 m 歩き、脚を入れ替えさらに 50 m 歩かせた。また「遊脚意識歩行」は、片脚の遊脚を後方から前方へ素早く回復することを意識して 50 m 歩き、脚を入れ替えさらに 50 m 歩かせた。さらに「もも上げ」では、その場で 10 歩分走る運動を 3 セット行わせた。

さらに「もも上げ」では、前足部あるいは中足部で接地することを意識しながらその場で10歩分走る動きを3セット行わせた。

また、研究課題 1-2 および研究課題 1-3 において、はだし走のパフォーマンスと SSC 運動の遂行能力との関連性が高いことが明らかとなっている。本研究では、児童に前足部の接地での SSC 運動に慣れさせるために、両足および片足でのジャンプ運動を取り入れた。「両脚連続ジャンプ」では、両腕をタイミングよく振りながら、短い接地時間で上方へ5回踏み切る運動を3セット行わせた。続いて「片脚連続ジャンプ」では、前方へ5回踏み切り、続いて反対脚で5回踏み切る運動を1セット行わせた。

その後、30 m の全力疾走を計3セット行った。研究課題 1-3 の結果によると、普段ははだしで走っている児童でも、シューズを着用して走ることで接地様式が踵接地の割合が高くなることが明らかとなっている。このことは、ただはだしで走るだけでは、はだしの疾走動作がシューズ着用時には定着しない可能性を示唆している。そこで、BT 群の児童がはだしで走っているときの疾走動作をシューズ着用時にも再現できるようにするために、計3セットの30 m 全力疾走のうち、最終セットにはシューズを着用して走らせた。

表 15 指導内容

BT群		CT群	
指導1回目・2回目	指導3回目・4回目	指導1回目・2回目	指導3回目・4回目
はだし歩行50m はだしジョギング 50m×2 はだし接地意識歩行 50m×2 はだしもも上げその場10回×3 はだし両足JUMP 5回×3 はだし片足JUMP 5回+5回 はだし30m走×2 振り返り シューズ30m走×1 振り返り	はだし歩行50m はだしジョギング 50m×2 はだし遊脚意識歩行 50m×2 はだしもも上げその場10回×3 はだし両足JUMP 5回×3 はだし片足JUMP 5回+5回 はだし30m走×2 振り返り シューズ30m走×1 振り返り	歩行50m ジョギング 50m×2 接地意識歩行 50m×2 もも上げその場10回×3 両足JUMP 5回×3 片足JUMP 5回+5回 30m走×3 振り返り	歩行50m ジョギング 50m×2 遊脚意識歩行 50m×2 もも上げその場10回×3 両足JUMP 5回×3 片足JUMP 5回+5回 30m走×3 振り返り

### (3) 指導者の関与

指導は、普段対象者が通うスポーツクラブにて児童に対する陸上競技指導に携わっている大学生 1 名が主に行い、必要に応じて同大学生 2 名がサポートを行った。指導者の言葉かけは、上述の指導内容に関する説明のみとした。また毎回の指導において、フィードバックシートを活用した児童の内省を促す時間を設けた。BT 群に対しては、計 3 セットの 30 m の全力疾走の 2 セット目終了後に、はだしで走る際の接地部位やはだし取り組むことに対する気持ちについて振り返らせた。また、最終セット終了後には、シューズを着用して走る際の接地部位と、はだし走を通じて学んだことや感じたことについて振り返らせた (図 23)。CT 群に対しては、30 m の全力疾走の最終セット終了後に、はだし走を通じて学んだことや感じたことについて振り返らせた。

### (4) 測定項目および分析方法

#### 1) 疾走能力および SSC 運動の遂行能力

4 週間の疾走指導前 (Pre) および指導後 (Post) に疾走能力および SSC 運動の遂行能力を評価する項目について測定を実施した。

#### ① 疾走能力

対象者には、スタンディングスタートの姿勢からの 50 m 走 (主観的努力度 100%) を実施させた。また、対象者は普段から着用しているシューズで測定を行った。環太平洋大学

内にある室内全天候型直線走路 1 レーンを使用した。疾走動作は、研究課題 1-3 を参考に、スタートから 25 m 地点の左側方 20 m に設置したハイスピードカメラ (Panasonic 社製, LUMIX FZ200, 露出時間 1/1000 s) を用いて 240 fps で撮影した。撮影範囲は 25 m 地点を中心に前後 3 m とした。研究課題 1-1 に示した方法で、左足接地瞬間から再びその足が接地するまでの 1 サイクル (2 歩) における各対象者の身体分析点 23 点の 2 次元座標を算出し、平滑化を行った。

平滑化したデータから、身体を左右の手部、前腕、上腕、足部、下腿および大腿、そして体幹および頭部の 14 部分からなるリンクセグメントモデルを構成した。平滑化した 2 次元座標から横井ほか (1986) の身体部分慣性係数を用いて、部分および全身の重心位置、部分の慣性モーメントを算出した。また、全身および部分の重心位置を数値微分することで、それぞれの重心の速度を算出した。遊脚重心は、遊脚の大腿、下腿、足の合成重心とした。遊脚の前方スウィング速度は、遊脚重心の水平速度から身体重心の水平速度を減じて求めた (関ほか, 2016)。疾走能力に関する項目は、研究課題 1-1 で示した方法で算出した。

また、接地様式を判別するために、スタートから 25 m 地点に 3 台のハイスピードカメラ (CASIO 社製, EX-F1, 露出時間 1/1000 s) を設置し、3 方向から接地時の足部を 300 fps で撮影した。そして、研究課題 1-1 で示した方法で、RFS, MFS および FFS の 3 つに分類を行った (図 5)。

## ② SSC 運動の遂行能力

SSC 運動の遂行能力に関して、研究課題 1-2 で示した方法で、CMJ および RJ の測定を実施した。CMJ 能力の指標には跳躍高、RJ 能力の指標には跳躍高を踏切時間で除した RJ-index を用いた。

### 2) 児童のはだし走に関する内省

BT 群に配布したフィードバックシート（図 23）を通して、BT 群のはだし走に取り組むことに対する気持ち、それからはだし走を通じた学びと感想に関する検討を行った。具体的には、はだし走に取り組むことに対する気持ちに関しては、「楽しい」「痛い」「気持ちいい」の 3 項目について、その気持ちの程度を 5 件法で回答させた。また、自由記述に関しては、記述内容を整理統合した。これらのデータの信頼性を確保するために、記述内容が作為的に変更されていないかについて、本研究に関わっていない体育科教育の研究者 2 名が確認をした。

# ワークシート

月 日 名前 ( )

## 1. 走っているときの足の着き方

(1) はだしのとき



足のどの部分がはじめに地面に着く？  
色を塗ってみよう↑

(2) シューズを履いているとき



足のどの部分がはじめに地面に着く？  
色を塗ってみよう↑

## 2. はだしで走ることにについて

(1) 楽しい

5                      4                      3                      2                      1  
とてもそう思う    そう思う            どちらでもない    あまりそう思わない    そう思わない

(2) 痛い

5                      4                      3                      2                      1  
とてもそう思う    そう思う            どちらでもない    あまりそう思わない    そう思わない

(3) 気持ちいい

5                      4                      3                      2                      1  
とてもそう思う    そう思う            どちらでもない    あまりそう思わない    そう思わない

## 3. 今日の学び・感想

図 23 BT 群に配布したフィードバックシート

### (5) 統計処理

値は全て平均値±標準偏差で示した。すべての統計処理には IBM SPSS Statistics 22.0 を使用した。身体的特性について、独立したサンプルの t 検定を行った。また、両群の Pre-Post 間における疾走能力、疾走動作および SSC 運動の遂行能力の変化について検討するために、二要因分散分析（群：BT 群・CT 群×Pre-Post）を用いた。なお、交互作用が有意であった場合は各要因間の単純主効果検定および Bonferroni 法で多重比較検定を行い、交互作用が有意でなかった場合には、その後主効果検定および多重比較についても Bonferroni 法を用いて検討した。接地様式に関して、群間の差を検討するためにカイ二乗検定を用いた。また、Pre-Post 間における接地様式の差を検討するために McNemar 検定を用いた。なお、いずれも有意性は危険率 5%で判定した。

## 3. 結果

### (1) 疾走能力および疾走動作に関する項目

表 16 には、BT 群と CT 群の疾走能力に関する項目を示した。疾走能力に関する項目では、疾走速度 ( $F(1,12) = 7.065, p < 0.05$ )、ストライド ( $F(1,12) = 7.687, p < 0.05$ ) および滞空時間 ( $F(1,12) = 6.222, p < 0.05$ ) において、有意な交互作用が認められたため、各要因の単純主効果検定および多重比較を行った。疾走速度は、BT 群において、Pre と比較して Post で有意に高かった ( $p < 0.01$ )。ストライドは、BT 群において、Pre と比較して Post で有意に高かった ( $p < 0.05$ )。Pre-Post 間の主効果について、群間に関わら



ず、Pre と比較して Post で、各群のピッチは有意に高く ( $F(1,12) = 13.480, p < 0.01$ )、接地時間は、有意に短かった ( $F(1,12) = 19.951, p < 0.01$ )。また、遊脚の最大前方スウィング速度において、有意な交互作用は認められなかった。

## (2) 接地様式

表 17 には、BT 群と CT 群の接地様式の割合を示した。BT 群の接地様式は、Pre では全体 (7 名) のうち RFS の児童が 6 名、MFS の児童が 1 名、FFS の児童が 0 名であったのに対して、Post では全体のうち RFS の児童が 1 名、MFS の児童 3 名が、FFS の児童が 3 名であり、Pre-Post 間で有意に異なっていた ( $p < 0.05$ )。また、CT 群の接地様式は、シューズ条件では全体 (7 名) のうち RFS の児童が 6 名、MFS の児童が 1 名、FFS の児童が 0 名であったのに対して、Post では全体のうち RFS の児童が 2 名、MFS の児童が 2 名、FFS の児童が 3 名であり、Pre-Post 間で有意な差は認められなかった。なお、Pre における接地様式について、群間に有意な差は認められなかった。Post における接地様式について、群間に有意な差は認められなかった。

表 16 BT 群と CT 群の疾走能力および疾走動作

	群	Pre	Post	分散分析	主効果
疾走速度 (m/s)	BT群	6.19 ± 0.46	6.55 ± 0.30 <sup>††</sup>	F <sub>a</sub> =	F <sub>c</sub> = 7.065*
	CT群	6.25 ± 0.46	6.27 ± 0.40	F <sub>b</sub> =	
ピッチ (Hz)	BT群	3.90 ± 0.20	4.02 ± 0.25	F <sub>a</sub> = 13.480**	Pre < Post
	CT群	3.89 ± 0.25	3.99 ± 0.28	F <sub>b</sub> = 0.029 F <sub>c</sub> = 0.294	
ストライド (m)	BT群	1.58 ± 0.09	1.62 ± 0.06 <sup>†</sup>	F <sub>a</sub> =	F <sub>c</sub> = 7.687**
	CT群	1.60 ± 0.12	1.57 ± 0.11	F <sub>b</sub> =	
接地時間 (s)	BT群	0.136 ± 0.011	0.124 ± 0.013	F <sub>a</sub> = 19.951**	Pre > Post
	CT群	0.133 ± 0.007	0.129 ± 0.009	F <sub>b</sub> = 0.022 F <sub>c</sub> = 4.202	
滞空時間 (s)	BT群	0.122 ± 0.009	0.125 ± 0.007	F <sub>a</sub> =	F <sub>c</sub> = 6.222**
	CT群	0.125 ± 0.003	0.123 ± 0.003	F <sub>b</sub> =	
遊脚の最大前方スウィング速度 (m/s)	BT群	2.66 ± 0.24	2.75 ± 0.16	F <sub>a</sub> = 1.048	F <sub>c</sub> = 0.724
	CT群	2.72 ± 0.20	2.73 ± 0.18	F <sub>b</sub> = 0.070	

Pre vs Post, <sup>††</sup> : p < 0.01, <sup>†</sup> : p < 0.05

F<sub>a</sub> : Pre - Postの主効果, F<sub>b</sub> : 群の主効果, F<sub>c</sub> : 交互作用, \*\* : p < 0.01, \* : p < 0.05

表 17 BT 群と CT 群の接地様式

		接地様式 (人数)		
		FFS	MFS	RFS
BT群	Pre	0	1	6
	Post	3	3	1*
CT群	Pre	0	1	6
	Post	3	2	2

Pre vs Post, \* :  $p < 0.05$

### (3) SSC 運動の遂行能力に関する項目

表 18 には、BT 群と CT 群の SSC 運動の遂行能力に関する項目を示した。SSC 運動の遂行能力に関する項目では、RJ-index ( $F(1,12) = 6.568, p < 0.05$ ) および RJ 接地時間 ( $F(1,12) = 5.662, p < 0.05$ ) において、有意な交互作用が認められたため、各要因の単純主効果検定および多重比較を行った。RJ-index は、BT 群において、Pre と比較して Post で有意に高かった ( $p < 0.01$ )。RJ 接地時間は、BT 群において、Pre と比較して Post で有意に短かった ( $p < 0.01$ )。RJ 跳躍高および CMJ 跳躍高において、有意な交互作用は認められなかった。

### (4) BT 群のはだし走に関する内省

図 24 には、BT 群のはだし走に取り組むことに対する気持ちに関する項目を示した。また表 19 には、BT 群のはだし走を通じた学びと感想に関する自由記述を示した。

表 18 BT 群と CT 群の SSC 運動の遂行能力

	群	Pre	Post	分散分析
RJ-index	BT群	0.98 ± 0.14	1.25 ± 0.28 <sup>††</sup>	F <sub>a</sub> =
	CT群	1.13 ± 0.23	1.13 ± 0.24	F <sub>b</sub> = F <sub>c</sub> = 6.568*
RJ接地時間 (s)	BT群	0.186 ± 0.019	0.161 ± 0.020 <sup>††</sup>	F <sub>a</sub> =
	CT群	0.181 ± 0.021	0.180 ± 0.039	F <sub>b</sub> = F <sub>c</sub> = 5.662*
RJ跳躍高 (m)	BT群	0.18 ± 0.01	0.20 ± 0.04	F <sub>a</sub> = 0.901
	CT群	0.20 ± 0.03	0.20 ± 0.02	F <sub>b</sub> = 0.541 F <sub>c</sub> = 1.775
CMJ跳躍高 (m)	BT群	0.24 ± 0.03	0.25 ± 0.03	F <sub>a</sub> = 1.362
	CT群	0.24 ± 0.03	0.25 ± 0.03	F <sub>b</sub> = 0.023 F <sub>c</sub> = 0.003

Pre vs Post, <sup>††</sup> : p < 0.01

F<sub>a</sub> : Pre - Postの主効果, F<sub>b</sub> : 群の主効果, F<sub>c</sub> : 交互作用, \* : p < 0.05

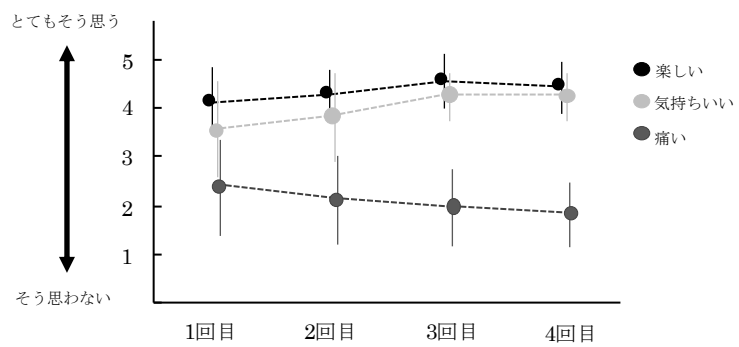


図 24 BT 群のはだし走に取り組むことに対する気持ち

表 19 BT 群のはだし走を通じた学びと感想

児童	指導1回目	指導2回目	指導3回目	指導4回目
A	「地面にどれだけ足の面積がのるかが違った。」	「はだしだと地面に足が着いてすぐくれるように感じた。」	「くつの重みがなくて、速く走れたような感じがした。」	「足の回転が速くなった感じがした。」
B	「はだしは、足のつま先だけをつけて走ったけど、くつをはいたときは、つま先だけでは走りにくかったです。」	「はだしは、つま先で地面をつよくくれたと思います。」	「はだしで走っても、くつをはいても、つま先で走っていました。」	「つま先で走ると走りやすかったです。」
C	「くつは、足の前半分くらいで走る。はだしは、つま先で走る。」	「くつで走ると足の前半分までで走る。はだしだともつとつま先のほうだけ使う。」	「くつでも、はだしでもつま先で走った。」	「はだしだとももが高くあがる。」
D	「くつはなんかおそい気がしたけれど、はだしは走るぞという気もちがわいていってうまく走れました。」	「くつをはいて走るよりも、はだしで走るほうが楽しかったです。」	「はだしで走るほうが楽しかったです。」	「はだしのほうが走りやすかったです。」
E	「はだしは、いたかったけれど、はやくはしれました。」	「まえとくらべて、あまりいたくありませんでした。」	「はだしのほうがあしがかるかったです。」	「はだしはかるくてどんどんまえにすすみました。」
F	「はだしはつま先で地面をふんだと思う。」	「はだしで走ったら地面を強くふめると思う。」	「はだしで走ったらくつの重さがなくて軽く走りやすいと思う。」	「はだしは足が軽いと思う。」
G	「はだしのときはくつよりも走りやすかったです。また走りたいたいとおもいました。」	「はだしのほうがツルツルで走りやすかったです。」	「はだしのほうが走りやすいです。」	「いっかい大会ではだしで走ってみたいです。」

#### 4. 考察

本研究において、Pre-Post 間の比較を行った結果、BT 群のピッチが有意に高まり、ストライドが有意に増大したことにより、疾走速度が有意に向上したことが明らかとなった。また BT 群内の Pre-Post 間において、疾走中の滞空時間に有意差は認められなかったが、接地時間が有意に短縮した。ピッチは、1 歩に要した時間の逆数と定義され、接地時間および滞空時間の長さによって決定される (Hunter et al., 2004)。このことから、BT 群のピッチが高まったことは、接地時間が短縮したことによるものであったと考えられる。

##### (1) 接地様式について

本研究では、BT 群において、Pre で RFS であった 6 名の内、Post では 5 名が FFS あるいは MFS へと変化したことが明らかとなった。Hasegawa et al. (2007) は、FFS あるいは MFS は、RFS と比較して接地時間が短いことを明らかにしている。その理由として、FFS あるいは MFS は RFS と比較して接地から足底の前方部分が接地するまでの時間分接地時間が短くなることや、支持期に前半における膝関節屈曲動作時間が短くなることが報告されている (Hasegawa et al., 2007)。このことから、BT 群は接地様式の変化したことによって、接地時間の短縮を介してピッチが向上したと考えられる。また、シューズ着用の有無が HS 児童の疾走運動に及ぼす即時的な影響について検討を行った研究 (Latorre-Román et al., 2017 ; 研究課題 1-1) によると、HS 児童はシューズを脱ぎはだしで走ることによって、RFS から FFS あるいは MFS へと即時的に変化することが明らか



かとなっている。本研究では4週間の疾走指導中における疾走動作を測定していない故に推測の域を超えないが、BT群ははだし走に取り組む際、接地様式はFFSあるいはMFSであったことが推察される。このことについて、BT群のフィードバックシート中の自由記述において、例えば指導1回目における対象者B、CおよびFの記述をみると、はだしで走る際にはFFSであることを自身で振り返っていることが分かる。

一方で、研究課題1-3では、普段はだし走に取り組んでいる児童がシューズを着用して走った際には、FFSあるいはMFSからRFSへと変化することが明らかとなった。このことは、はだし走に取り組むだけでは、シューズ着用時にはFFSあるいはMFSが定着しない可能性を示唆している。しかしながら本研究では、BT群はPostにおいて、シューズ着用時でもFFSあるいはMFSが定着していた。これは、単にBT群にはだし走をトレーニング手段として取り組ませるだけに留まらず、図21に示したフィードバックシートを用いて、児童に接地部位を認知させ、はだしで走っているときの接地部位を再現するように走るよう意識させたことによる効果であったと考えられる。対象者Bのフィードバックシート中の自由記述からも、指導1回目において、シューズを着用するとFFSに違和感を感じていたにも関わらず、回を重ねるごとにシューズ着用時であってもFFSで走ることに違和感を感じなくなっていることが見て取れる。以上のことから、はだし走を活用した疾走指導の効果として、HS児童はFFSあるいはMFSを習得できることが確認された。

## (2) 遊脚の動作について

遊脚に関して、BT 群内の Pre-Post 間において遊脚の前方スウィング速度に有意な差が認められなかった。研究課題 1-1 の結果から、HS 児童がシューズを脱ぎはだして走ると、シューズの質量分の物理的な負荷が減ることにより、遊脚のスウィング速度が高まることが明らかとなっている。本研究において、対象者の足部の平均質量は、横井ほか（1986）の身体部分慣性係数をもとに推定すると約 0.56 kg であり、それに対してシューズの質量は平均約 0.18 kg であった。本研究でも、はだし走を活用した疾走指導によって、通常では達成が困難となる超最大速度（Supramaximal speed）レベルでの運動遂行を実現することにより、そこでの速いスピード感やリズム、タイミングを身に付けようとするトレーニング法として用いられる負荷軽減法（森本ほか，2003）の効果が適用されることで、児童の遊脚の前方スウィング速度が向上することが期待された。実際、BT 群のフィードバックシート中に多くのシューズの質量の減少を好意的に感じる記述が多くみられることや研究課題 1-1 の結果を踏まえると、BT 群がはだしで走っている際には遊脚のスウィング速度が高まっている感覚を得ていたと推察される。しかしながら、本研究の結果より、はだし走を活用した疾走指導において、負荷軽減法としての効果は発現しないことが明らかとなった。BT 群が遊脚の前方スウィング速度を高めることができなかった一要因として、遊脚の動作は接地部位と異なり、児童にとって、はだしで走っているときの動作がシューズ着用時にも再現されているか否かのフィードバックを得ることが困難であったと考えられる。また、下肢の各セグメントの中でも最も股関節から距離の離れている足部の質量変

化は、遊脚の股関節屈曲筋群に対する出力要求も大きく変化させることから、裸足で走っている時の動作への制御的適応が起きなかった可能性もあると考えられる。これらのことから遊脚の後方から前方への素早いスウィング動作を習得するためには、本研究で提案されたはだし走を活用した疾走指導とは異なる指導のアプローチを検討する必要があるだろう。

### (3) SSC 運動の遂行能力について

疾走能力を規定する体力因子の一つとされている SSC 運動の遂行能力(岩竹ほか, 2002) の変化に着目すると、Pre-Post 間で、BT 群の RJ 接地時間が有意に短縮し、RJ-index が有意に向上した。一方、CMJ 跳躍高には有意な差は認められなかった。これらの結果は、HB 児童 101 名と HS 児童 93 名を対象とした研究課題 1-3 の結果と同様の傾向を示すものであった。つまり、BT 群は FFS や MFS になりやすいはだし走において、足関節底屈筋群に対して短時間で高い伸張性の負荷がかかることにより、短時間の SSC 運動におけるパワー発揮能力を高めていたと考えられる。また、この変化の特徴は疾走能力にもみられ、Pre-Post 間において、両群ともに接地時間が有意に短縮し、ピッチが有意に向上しながらも、BT 群のみさらにストライドが有意に増大した。すなわち、BT 群はストライドを増大させるだけの力積を獲得するために、短い接地時間で大きな力を地面に伝達していたと捉えることができる。遠藤ほか(2007)は、児童の CMJ 跳躍高と RJ-index との関係性を検討し、短時間に大きなパワーを発揮する能力が優れる特性を有した児童や、長い遂行

時間の中で大きなパワーを発揮する能力が優れる特性を有した児童が存在し、個人によってパワー発揮特性の発達の様相が異なることを明らかにしている。本研究の結果を踏まえると、はだし走を活用した疾走指導は、HS 児童の短時間に大きなパワーを発揮する能力を選択的に発達させることに対しても有効である可能性があると考えられる。

#### (4) 児童のはだし走に関する内省について

本研究において、BT 群のはだし走に取り組むことに対して感じた気持ちに着目すると、全体を通じて「楽しい」、「気持ちいい」という肯定的に感じていたことが明らかとなった。このように、BT 群がはだし走への取り組みに対して肯定的であったことは、児童の「はだし教育」に対する意識調査を行った先行研究（野田，1983；青柳ほか，1999）の結果を支持するものであった。本研究の場合、対象者は普段シューズを着用していたことから、はだしで走るにより感覚受容器の分布が豊富とされている足底の皮膚に対して地面からの刺激が強すぎて、児童にとって侵害刺激となる可能性も懸念された。しかしながら、BT 群における「痛い」という否定的な気持ちも全体を通じて低値で推移しており、初回から最終回にかけて徐々に低下していた。これらの結果から、HS 児童ははだし走に対して親しみを持ちながら、楽しく取り組むことが可能であることが確認された。また、BT 群から本指導内容に起因する外傷および障害の報告を受けることはなかった。「はだし教育」に関する研究（寺田ほか，1985）によると、児童がはだしで身体活動を行う前の、校庭の石拾いや遊具等の整備（安全点検等）などの環境整備や保健衛生上の習慣形成は、児童が健康・

安全な生活を送るために重要かつ不可欠な管理・指導内容であると指摘されている。本研究では、全天候型トラック上で疾走指導を実施したが、小学校における土の校庭ではだし走に取り組む際には、外傷および障害のリスクや指導上の留意点について、さらなる検討が必要である。

## 5. 小括

本研究の目的は、はだし走を活用した HS 児童に対する疾走指導の効果を検討することであった。4 週間のはだし走を活用した疾走指導を実施し、その指導効果を検討するために、指導前 (Pre) と指導後 (Post) に疾走能力および SSC 運動の遂行能力の測定を行った。その結果、Post において、ストライドが増大し、ピッチが向上したことによって、疾走速度の向上が認められた。また、遊脚の前方スウィング速度の向上は認められなかったものの、接地様式は踵接地から前足部あるいは中足部接地へ変化した。さらに、Post において、短時間・高負荷型の SSC 運動の遂行能力の向上が認められた。認知的活動に着目すると、児童は、指導全体を通じてはだし走への取り組みに対して肯定的であり、はだし走を通じて、自らの動きについて客観的に捉えることができていた。以上のことから、はだし走を活用した疾走指導は、HS 児童の疾走能力および短時間・高負荷型の SSC 運動の遂行能力を向上させ、児童自らが動きを振り返りながら、楽しく前足部あるいは中足部接地を習得できる指導方法として利用可能であると考えられる。

## VIII. 総合考察

### 1. 「はだし」が児童の疾走運動に及ぼす影響

本研究における研究課題 1 では、「はだし」が児童の疾走運動に及ぼす影響を明らかにすることを目的とし、シューズ着用の有無が児童の疾走能力や疾走動作に及ぼす即時および長期的影響、それらの影響に関連する児童の個別性を有した動作の特徴およびその背景となる個人的特性について、総合的かつ詳細に検討を行った。

先ず研究課題 1-1 では、普段シューズを着用している児童 94 名を対象として、シューズ着用の有無が児童の疾走動作に及ぼす即時的影響の検討を行った。その結果、児童がシューズを脱ぎ、はだしになることで、接地様式の変化（踵接地から前足部あるいは中足部接地）や接地直後の足関節および膝関節の動作の変化（伸展動作から屈曲動作）、さらに遊脚の前方スウィング速度の向上がみられた。これに伴い、はだし走ではシューズ着用時と比較して接地時間が短くなり、ピッチが高まった。これらのことから、児童の疾走運動であってもシューズ着用の有無によって、成人のランニングを対象とした先行研究（De Wit et al., 2000 ; Divert et al., 2005）と同様の走動作の変化がみられることが明らかとなった。さらに、普段からはだし走を運動の中に取り入れることによって、接地様式の変化（踵接地から前足部接地あるいは中足部接地）および接地時間の短縮を介したピッチの向上や、遊脚の素早い前方スウィング動作などの疾走動作の変化を引き出す可能性が示唆された。

また研究課題 1-2 では、研究課題 1-1 と同じ対象者をはだし走によって疾走速度が高まった児童（はだし優位群）と低下した児童（シューズ優位群）に分類し、シューズ着用の

有無による疾走速度の変化に関連する要因について検討を行った。その結果、はだし走において、はだし優位群は、ストライドが維持されながら、ピッチが高まった結果、疾走速度が高まり、シューズ優位群は、ピッチが維持されながら、ストライドが小さくなった結果、疾走速度が低下したことが明らかとなった。また、はだし優位群は、SSC運動の遂行能力がシューズ優位群と比較して有意に高かった。これらのことから、はだし走による疾走速度の変化は、接地様式の変化（踵接地から前足部あるいは中足部接地）に伴う接地時間の短縮などに対する運動制御系の適応を要因としており、その背景としてSSC運動の遂行能力が関連していることが示された。

さらに研究課題 1-3 では、実際に普段からはだし走を運動の中に取り入れている児童の疾走能力を明らかにするために、同一国および地域内に共存するはだし教育校の児童（BS群）101名と対照校の児童（CS群）93名の疾走能力およびSSC運動の遂行能力の比較検討を行った。その結果、BS群はCS群と比較して、接地時間が短く、滞空時間が長いという疾走動作の特徴を有していた。さらに、シューズ条件において、BS群はCS群と比較して、前足部あるいは中足部接地の割合が高かった。また、両群のシューズ着用の有無による即時的な影響を検討したところ、BS群およびCS群は、シューズを脱ぎはだしで走ることで共通の変化がみられ、接地様式が踵接地から前足部あるいは中足部接地へと変化し、接地時間が短くなり、ピッチが高まったことが明らかとなった。他方、BS群のみ、シューズを脱ぎはだしで走ることで、ストライドが維持されながら、ピッチが高まり、結果として疾走速度が高まった。BS群はCS群と比較して、短時間・高負荷型のSSC運動の遂行

能力が高かったことから、このような BS 群の疾走能力の特徴は、普段からはだし走に取り組むことにより SSC 運動中のパワー発揮特性や筋骨格系が機能的に適応した結果を反映している可能性があると考えられた。

マイネル (1981) は、随意運動およびスポーツすべての運動経過に特徴的に現れる運動リズムは、個人の生活の中で習得されるものであると述べており、人間が歩行を始めると遺伝的な要因だけでなく環境的な要因によって、個々の歩および走動作の神経系のコーディネーションが構築されると報告している。シューズ着用の有無も足底が地面と直接接しているか否かに関わり、環境的要因の 1 つであると考えられる。本研究において、シューズ着用の有無が児童の疾走能力や疾走動作に及ぼす即時的 (研究課題 1-1) および長期的な影響 (研究課題 1-3) について、またそれらの影響に関連する児童の個別性を有した動作の特徴およびその背景となる個人的特性について (研究課題 1-2)、総合的かつ詳細に検討を行った結果、人間本来の運動機能を用いた児童の疾走運動への理解をさらに深めることができた。すなわち、児童はシューズを脱ぎはだしで走るにより、踵での接地を避け、短い接地時間のなかで足関節底屈筋群の機能を効果的に発揮させていた。また児童はシューズを脱ぐことによる足部の物理的な負荷の減少により、遊脚の前方スウィング速度が向上した。このことは、人間本来の運動機能を高めるような構造体であるべきシューズの着用は、児童の疾走能力および疾走動作の発達を阻害するような環境的要因になる可能性があることを示唆している。一方で、研究課題 1-1 および研究課題 1-2 において対象者は普段シューズを着用していたことから、感覚受容器の分布が豊富とされている足底の



皮膚に対して地面からの刺激が強すぎて侵害刺激となり得る児童がいたと仮定すると、シューズの着用は機能的に身体を保護することで、疾走能力および疾走動作の発達を促しているという捉え方もできる。また現代において、シューズを着用して走ることが一般的であることを考慮すると、研究課題 1 から得られた知見は、児童の疾走動作に積極的に働きかけるシューズの開発に資する基礎的知見あるいは児童の潜在的可能性を解発できるような疾走指導を考える上で重要な知見を提供していると考えられる。

## 2. はだし走を活用した児童に対する疾走指導の提案

児童の疾走能力の発達に関する研究をみても、ストライドは児童期を通じて増大することが明らかとなっており (Meyers et al., 2016; 宮丸, 2001; Schepens et al., 1998), その要因は、下肢長の増加に伴いストライドが増大する形態的な発達 (Schepens et al., 1998) と、下肢長の増加による身体質量と重力負荷の増大に対してさらにストライドが増大する機能的な発達の両要素にあるとされている (斉藤・伊藤, 1995)。つまり、ストライドは無理に増大させずとも児童の発育発達とともに増大するものであると考えられる。一方で、ピッチは児童期を通じて成長に伴う大きな変化がないという報告 (宮丸, 2001) や、思春期前には接地時間の増加に伴うピッチの低下がみられるという報告 (Meyers et al., 2016) がなされている。また、信岡ほか (2015) は、疾走速度の異なる学年間において接地時間の短縮がみられなかったことから、接地時間の短縮を介したピッチの向上は成長や発達に依存しないことを示唆している。さらに、児童が高い疾走速度を獲得するためには、

前足部あるいは中足部での接地 (Miyamoto et al., 2018 ; 鈴木ほか, 2016), そして遊脚の後方から前方への素早いスウィング動作 (関ほか, 2015 ; 末松ほか, 2008) を習得する必要があると報告されている. これらことを踏まえると, はだし走は実際の疾走のなかで, 児童の意識に頼ることなく, 接地様式の変化(踵接地から前足部接地あるいは中足部接地) および接地時間の短縮を促し, 遊脚の前方スウィング速度を高め, ピッチを高めるなどの動作変容を誘発するためのアプローチとして, 疾走指導に応用できる可能性があると考えられる.

一方で, はだし走を活用した疾走指導を提案すると同時に, 児童に対する疾走指導現場の中心である小学校体育における疾走指導の現状を把握する必要があるだろう. 小学校体育における疾走運動は, 小学校学習指導要領体育編の陸上競技系の領域に取り上げられ, 低学年と中学年では「走・跳の運動遊び」, 「走・跳の運動」として「かけっこ」と表記されており, 高学年からは「陸上運動」として「短距離走」と表記されている (文部科学省, 2017b). それらの学習指導に関して, 低学年と中学年では「動き自体の面白さや心地よさを引き出す」ことや「楽しい活動の仕方や場を工夫する」が大切だと記載されており, 高学年では「合理的な運動の行い方を大切にする」ことや「自己の能力に適した課題をもち, 適切な運動の行い方を知り, 記録を高める」ことに重きが置かれている (文部科学省, 2017b). つまり, 小学校における短距離走の授業では, ただ走り方を教えるだけでなく, 児童が教材に親しみを持ちながら, 楽しく授業を展開していくなかで, 合理的な疾走動作を習得できるような指導をする必要があると考えられる.

他方、実際に疾走指導をする小学校教員を対象に行った研究によると（青戸，2012），「走り方の指導をどの程度しているか」という問いに対して「特にしていない」という回答や「年間3コマ以下」という回答が約9割を占めている。その理由として、指導方法がわからなく、指導によって児童が速くなっている実感がないこと、陸上についての専門書や指導書には、専門用語が並んでおり、陸上競技を専門としていない教員にとっては理解が困難であることなどを指摘している。したがって、児童にも教員にもわかりやすく、個人に寄り添った形で、簡便に合理的な疾走動作を引き出すことのできる指導方法は、短距離走の授業を行う上で有効なものになると考えられる。

これらの現状を踏まえて、研究課題2では、はだし走を活用した児童に対する疾走指導を提案し、その効果の検討を試みた。疾走指導の草案を作成するにあたり、研究課題1の結果から得られた、以下の留意点を指導内容に取り入れた。

- 1) はだし走を児童の疾走指導に導入するにあたり、事前にSSC運動の遂行能力を高めておくことで、はだしで走った際により合理的な疾走動作へと近づく可能性がある（研究課題1-2）。
- 2) 普段はだしで走っている児童でも、シューズを着用することで接地様式が前足部あるいは中足部から踵接地へと変化することから、はだしで走っている際の走動作を理解させ、シューズ着用時にも再現できるような工夫が必要である（研究課題1-3）。

そして、はだし走を活用した疾走指導を受ける児童（BT群）7名、対照群の児童（CT群）7名を対象として、4週間にわたる（週1回45分以内）疾走指導を実施した。その結果、

BT 群は、ストライドが維持されながら、ピッチが高まった結果、疾走速度を高めたことが明らかとなった。また、BT 群の遊脚の前方スウィング速度の向上は認められなかったものの、接地様式に変化がみられ（踵接地から前足部接地あるいは中足部接地）、接地時間が短縮した。さらに Post において、短時間・高負荷型の SSC 運動の遂行能力の向上が認められた。認知的活動に着目すると、HS 児童は、指導全体を通じてはだし走への取り組みに対して肯定的であり、はだし走を通じて、自らの動きについて客観的に捉えることができていた。以上の結果から、研究課題 2 で提案されたはだし走を活用した疾走指導は、HS 児童の疾走能力および短時間・高負荷型の SSC 運動の遂行能力を向上させ、児童自らが動きを振り返りながら、楽しく前足部あるいは中足部接地を習得できる指導方法として利用可能であることが示された。

教育やスポーツコーチングの領域において、これまで学習者を中心にした指導の重要性が広く論じられてきた（文部科学省，2017b；Weimer，2002；Kidman，2010）。すなわち、体育教師や陸上競技コーチをはじめとした児童に対する疾走指導に携わる指導者は、児童自らが運動の課題を見付け、その課題を解決する過程を支援する必要があるといえるだろう。そういったなかで、はだし走は、簡便に合理的な疾走動作を引き出し、児童の疾走能力を向上させるのみならず、児童自らの動きについての課題解決に向けた思考を促進するための個別的なアプローチとして、疾走指導現場での活用が期待される。様々な環境や文脈においてはだし走を活用した疾走指導を行う上での留意点等については、今後現場の指導者の方々と共に実地検証を重ねる必要があることを申し添えたい。

### 3. 今後の課題

#### (1) シューズの統制

本研究では、生態学的妥当性を担保するために、児童は普段使用しているシューズを着用して疾走運動（シューズ条件）と SSC 運動を実施した。しかしながら、高機能ソールを備えたランニングシューズやほとんどソールに厚みのない、いわゆる“はだし感覚”シューズなど、様々なランニングシューズが存在しており、異なるシューズを着用することによる走運動への影響を考慮しなければならない。したがって、今後はシューズを統制した実験についても実施する必要がある。

#### (2) 走動作の 3 次元分析

本研究では、疾走動作中の主要な動作面である矢状面内における 2 次元動作分析を行った。しかしながら、疾走中には肩と腰の回旋動作が生じ（松尾，2006；山田ほか，1986），また接地時には足関節の回内・回外動作が生じる（Latorre-Román et al.，2017；Latorre-Román et al.，2018）。したがって、今後は 3 次元動作分析を用いてより詳細に動作分析を行い、肩と腰の回旋動作、足関節の回内・回外動作やラテラルバランスへの影響などの特徴についても明らかにしていく必要がある。

#### (3) 地面反力の分析

本研究では、より多くの児童のデータを取得するために、学校現場における実験試技を

分析対象とした。そのため、疾走動作中の地面反力を収集することができなかった。特に接地様式と地面反力との関係性は、シューズ着用の有無が走運動に及ぼす影響に関する研究 (De Wit et al., 2000 ; Lieberman et al., 2010) の中心的議題になっている。今後は、疾走動作中の地面反力を計測し、接地様式や疾走動作と地面反力との関係性や疾走動作におけるキネティクス要因についても明らかにしていく必要がある。

#### (4) はだし走を通じた形態的適応

本研究では、児童の疾走能力、疾走動作、SSC 運動の遂行能力を分析項目の中心とした。児童に対するはだし教育の効果として、足部のアーチ形成が促進することが報告されている (寺田ほか, 1985) 。また長期的にはだしでランニングを行うことで、下肢筋群、骨、靭帯や腱など様々な形態的適応を引き起こす可能性が示唆されている (Hollander et al., 2017) 。今後は、異なる年齢や活動レベルの児童に対して、はだしでのランニングやはだし走をどの程度の期間、どのようにして運動の中に導入すれば、疾走能力や SSC 運動の遂行能力が向上していくのかについての検討に加え、足部の形態的適応についても検討することによって、より有益な知見を収集できると考えられる。

#### (5) はだし走における障害リスク

本研究において、実験中に児童が障害を引き起こしたという報告は受けなかった。しかしながら、普段シューズを着用して走っているランナーが、はだしでのランニングへ短時

間で移行することによって、中足骨疲労骨折、踵部脂肪体炎あるいは種子骨障害等の障害リスクを伴う可能性があるという報告がなされている (Murphy et al., 2013). 児童がはだし走に取り組むにあたり、これらの障害リスクに関しては今後さらなる検討が必要である.

## IX. 結論

本研究の目的は、「はだし」が児童の疾走運動に及ぼす影響を明らかにし、はだし走を活用した児童に対する疾走指導の提案を試みることであった。その結果、以下に示すような結論が得られた。

1) 児童は、シューズを脱ぎはだしで走ることにより、接地様式の変化（踵接地から前足部あるいは中足部接地）および接地時間の短縮を介したピッチの向上や、遊脚の素早い前方スウィング動作などの疾走動作の即時的な変化がみられることが明らかとなった。また、長期的には短い接地時間で大きな力を発揮するようにパワー発揮特性や筋骨格系が機能的に適応し、その特徴が疾走動作にも現れる（短い接地時間と長い滞空時間）ことが明らかとなった。

2) はだし走を児童に対する疾走指導に活用することにより、児童にも教員にもわかりやすく、児童は楽しみながら疾走能力を高めるのみならず、接地様式の変化（踵接地から前足部接地あるいは中足部接地）および接地時間の短縮を促し、ピッチを高めるなどの合理的な疾走動作を引き出すことができることが示された。

本研究で得られた知見は、人間本来の運動機能を用いた走運動への理解を深めるものであり、児童に対する効果的な疾走指導を考える上で有益な知見を提供している。



## 謝辞

本論文の作成にあたり、尾縣貢教授には、研究計画の作成から論文の執筆にいたるまで、終始懇切丁寧なご指導およびご校閲を賜りました。尾縣先生には、本論文の指導はもとより、研究者、教育者、経営者、そして指導者としてのあるべき姿勢を教えていただきました。ここに心から感謝の意を表します。

大山卞圭悟准教授には、2012年に筆者が初めて筑波大学の陸上競技場に足を踏み入れたときから、競技、研究、そして学生生活の様々な面において、多大なるご指導を賜りました。大山先生の寛大なご指導なくしては本論文の上梓は成し得なかったと考えます。本当にありがとうございました。

足立和隆准教授、前村公彦准教授、川村卓准教授、木越清信助教には、論文の構成、研究成果の実践現場での活用など、論文全般にわたって貴重なご指導とご助言をいただきました。京都教育大学の小山宏之准教授、ボンド大学の Justin Keogh 准教授、京都先端技術大学の前田奎講師、日本大学の関慶太郎助教、柴田篤志氏には、研究の構想段階から多大なご指導とご協力をいただきました。ここ深く感謝し、厚くお礼申し上げます。

陸上競技研究室の諸先輩、同輩、後輩の皆様からは、本論文の実験、撮影補助に多くのご協力をいただきました。この場を借りて、心からお礼申し上げます。

最後に、長きにわたる学生生活を常にあたたかく見守り、多大な支援を続けてくれた両親に、心より感謝の意を表します。

2021年3月 水島 淳

## 文献

阿江通良・藤井範久（2002）スポーツバイオメカニクス20講．朝倉書店：東京，pp.

4, 16.

青戸慎司（2012）小学校の体育授業におけるかけっこ指導法の改善に関する研究．修士

論文．早稲田大学：埼玉．

青柳直子・内山有子・小林正子・柴若光昭・衛藤隆（1999）小学校におけるはだし教育と

安全に関する意識・態度，および健康習慣との関連性．民族衛生，65（4）：173-181．

Ahn, A. N., Brayton, C., Bhatia, T. and Martin, P. (2014) Muscle activity

and kinematics of forefoot and rearfoot strikers, *Journal of Sport and Health Sci-*

*ence*, 3 (2) : 102-112.

秋吉嘉範（1985）陸上運動の指導に関する研究—陸上運動に対する教師及び児童の認

識とその指導—．スポーツ教育学研究，4（2）：5-14．

Bobbert, M. F., Gerritsen, K. G., Litjens, M. C. and Van Soest, A. J.

(1996) Why is countermovement jump height greater than squat jump

height?. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 28 (11) : 1402-1412.

Bramble, D. M. and Lieberman, D. E. (2004) Endurance running and the evolu-

tion of Homo. *Nature*, 432 (7015) : 345-352.

Cavagna, G. A., Dusman, B. and Margana, R. (1968) Positive work done by a

previously stretched muscle. *Journal of Applied Physiology*, 24 (1) : 21-32.

陳洋明・池田延行・中山孝晃・清田美紀（2013）小学校高学年の体育授業における短距

離 走指導に関する研究. 国士舘大学体育研究所報, 32 : 29–37.

Daoud, A. I., Geissler, G. J., Wang, F., Saretsky, J., Daoud, Y. A. and

Lieberman, D. E. (2012) Foot Strike and Injury Rates in Endurance Run-

ners : A Retrospective Study. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 44

(7) : 1325–1334.

De Clercq, D., Aerts, P. and Kunnen, M. (1994) The mechanical characteris-

tics of the human heel pad during foot strike in running : an in vivo cineradio-

graphic study. *Journal of Biomechanics*, 27 (10) : 1213–1222.

De Wit, B., De Clercq, D. and Aerts, P. (2000) Biomechanical analysis of the

stance phase during barefoot and shod running. *Journal of Biomechanics*, 33

(3) : 269–278.

Divert, C., Mornieux, G., Freychat, P., Baur, H., Mayer, F. and Belli, A.

(2005) Mechanical Comparison of Barefoot and Shod Running. *International*

*Journal of Sports Medicine*, 26 (7) : 593–598.

Divert, C., Mornieux, G., Freychat, P., Baly, L., Mayer, F. and Belli, A.

(2008) Barefoot-Shod Running Differences : Shoe or Mass Effect?. *Interna-*

*tional Journal of Sports Medicine*, 29 (6) : 512–518.

遠藤俊典・田内健二・木越清信・尾縣貢 (2007) リバウンドジャンプと垂直跳の遂行能

力の発達に関する横断的研究. 体育学研究, 52 (2) : 149–159.

Esculier, J. F., Silvini, T., Bouyer, L. J. and Roy, J. S. (2018) Video-based

assessment of foot strike pattern and step rate is valid and reliable in runners

with patellofemoral pain. Physical Therapy in Sport, 29 : 108–159.

Farley, C. T. and Ferris, D. P. (1998) Biomechanics of Walking and Running :

Center of Mass Movements to Muscle Action. Exercise and Sport Sciences Re-

views, 26 (1) : 253–285.

Fiolkowski, P., Bishop, M., Brunt, D. and Williams, B. (2005) Plantar feed-

back contributes to the regulation of leg stiffness. Clinical Biomechanics, 20

(9) : 952–958.

Forrester, S. E. and Townend, J. (2015) The effect of running velocity on foot-

strike angle—A curve-clustering approach. Gait & Posture, 41 (1) : 26–32.

Frederick, E. C. (1984) Physiological and ergonomics factors in running shoe

design. Applied Ergonomics, 15 (4) : 281–287.

Fuller, J. T., Bellenger, C. R., Thewlis, D., Tsiros, M. D. and Buckley, J.

D. (2015) The Effect of Footwear on Running Performance and Running

Economy in Distance Runners, 45 (3) : 411–422.

Gallahue, D. L. (1982) Developmental movement experiences for children. John Wiley & Sons : New York, pp. 65–79.

Hasegawa, H., Yamauchi, T. and Kraemer, W. J. (2007) Foot strike patterns of runners at the 15-Km point during an elite-level half marathon. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (3) : 888–893.

Hatala, K. G., Dingwall, H. L., Wunderlich, R. E. and Richmond, B. G. (2013) Variation in Foot Strike Patterns during Running among Habitually Barefoot Populations. *PLoS ONE*, 8 (1) : e52548.

Hollander, K., Heidt, C., van der Zwaard, B. C., Braumann, K. M. and Zech, A. (2017) Long-Term Effects of Habitual Barefoot Running and Walking : A Systematic Review. *Medicine & Science in Sports*, 49 (4) : 752–762.

Hollander, K., Riebe, D., Campe, S., Braumann, K. M. and Zech, A. (2014) Effect of footwear on treadmill running biomechanics in preadolescent. *Gait Posture*, 40 : 381–385.

Hollander, K., de Villiers, J. E., Venter, R., Sehner, S., Wegscheider, K., Braumann, K. M. and Zech, A. (2018) Foot Strike Patterns Differ Between Children and Adolescents Growing up Barefoot vs. Shod. *International Journal of Sports Medicine*, 39 : 97–103.

- Hollander, K., Liebi, D., Meining, S., Mattes, K., Willwacher, S. and Zech, A. (2019) Adaptation of Running Biomechanics to Repeated Barefoot Running : A Randomized Controlled Study. *The American Journal of Sport Medicine*, 47 (8) : 1975–1983.
- Hollander, K., van der Zwaard, B. C., de Villiers, J. E., Braumann, K. M., Venter, R. and Zech, A. (2017) The effects of being habitually barefoot on foot mechanics and motor performance in children and adolescents aged 6–18 years : Study protocol for a multicenter cross-sectional study (Barefoot LIFE project). *Journal of Foot Ankle Research*, 9 : 36 .
- 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.
- 今平紀章・平野智之 (2013) 運動有能感と技能成果に着目した走運動授業の実践研究. 宇都宮大学教育学部 教育実践総合センター紀要, 36 : 65–72.
- 伊藤章・市川博啓・斉藤昌久・佐川和則・伊藤道郎・小林寛道 (1998) 100m 中間疾走局面における疾走動作と速度との関係. *体育学研究*, 43 (5–6) : 260–273.
- 岩竹淳・鈴木朋美・中村夏実・小田宏行・永澤健・岩壁達男 (2002) 陸上競技選手のリバウンドジャンプにおける発揮パワーとスプリントパフォーマンスとの関係. *体育学研究*, 47 (3) : 253–261.

Jenkins, D. W. and Cauthon, D. J. (2011) Barefoot running claims and controversies : a review of the literature. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 101 (3) : 231–246.

加藤謙一・宮丸凱史・松元剛 (2001) 優れた小学生スプリンターにおける疾走動作の特徴.  
体育学研究, 46 (2) : 179–194.

加藤謙一・宮丸凱史・松元剛・秋間広 (1999) ジュニアスプリンターの疾走能力に関する  
縦断的研究. 体育学研究, 44 (4) : 360–371.

加藤謙一・関戸康雄・岡崎秀光 (2000) 小学 6 年生の体育授業における疾走能力の練習効  
果. 体育学研究, 45 (4) : 530–542.

荻山靖・遠藤俊典・藤井宏明・森健一・尾縣貢・岡子浩二 (2012) 片脚踏切を用いたリバ  
ウンド型ジャンプの動作および力発揮特性 : 両脚踏切を用いたリバウンド型ジャンプ  
と比較して. 体育学研究, 57 (1) : 143–158.

Kidman, L. (2010) *Athlete-centred coaching : Developing decision makers*, IPC Print  
Resources.

木越清信・加藤彰浩・筒井清次郎 (2012) 小学生における合理的な疾走動作習得のための  
補助具の開発. 体育学研究, 57 (1) : 215–224.

木越清信・山元康平・関慶太郎・中野美沙・尾縣貢 (2015) 短距離走における疾走速度と  
回復脚の動作との関係. 陸上競技学会誌, 13 : 45–52.

木越清信・関慶太郎 (2019) 短距離走における回復脚の積極的な回復を目指した補助具を

用いた練習の効果. 陸上競技研究, 119 (4) : 10–17.

Krabak, B. J., Hoffman, M. D., Millet, G. Y. and Chimes, G. P. (2011) Barefoot running. *PM & R*, 3 (12) : 1142–1149.

Komi, P. V. and Buskirk, E. R. (1972) Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle. *Ergonomics*, 15 (4) : 417–434.

Latorre-Román, P. Á., Balboa, F. R. and García-Pinillos. F. (2017) Foot strike pattern in children during shod-unshod running. *Gait & Posture*, 58 : 220–222.

Latorre-Román, P. Á., García-Pinillos. F, Soto-Hermoso. V. M. and Muñoz-Jimenez, M. (2019) Effects of 12 weeks of barefoot running on foot strike patterns, inversion and foot rotation in long-distance runners. *Journal of Sport and Health Science*, 8 : 57984.

Latorre-Román, P. Á., Párraga-Montilla. J. A., Guardia-Monteagudo. I. and García-Pinillos. F. (2018) Foot strike pattern in preschool children during running: sex and shod–unshod differences. *European Journal of Sport Science*, 18. 1–8.

Lieberman, D. E. (2012) What we can learn about running from barefoot running : an evolutionary medical perspective. *Exercise Sport Sciences Reviews*, 40 (2) : 63–72.



Lieberman, D. E., Castillo E. R., Otarola-Castillo, E., Sang, M. K., Sigei, T. K., Ojiambo, R., Okutoyi, P. and Pitsiladis, Y. (2015) Variation in Foot Strike Patterns among Habitually Barefoot and Shod Runners in Kenya. PLoS ONE, 10 (7) : e0131354.

Lieberman, D. E., Venkadesan, M., Werbel, W. A., Daoud, A. I., D'Andrea, S., Davis, I. S., Mang'Eni, R. O. and Pitsiladis, Y. (2010) Foot strike patterns and collision forces in habitually barefoot versus shod runners. Nature, 463 (7280) : 531–535.

Malina, R. M., Bouchard, C., Bar-Or, O. (2004) Growth, Maturation, and Physical Activity. Human Kinetics, Champaign, IL.

松尾彰文 (2006) 走動作の骨盤と肩の動き. 体育の科学, 56 (3) : 162–167.

松田泰定・木原成一郎・島本靖 (2006) 小学校体育授業における運動技能の習熟と競争の結果の認知に関する事例的研究：授業風土と目標指向性の認知を視点として. スポーツ教育学研究, 26 (1) : 25–40.

マイネル, K. (1981) マイネル・スポーツ運動学. 金子明友訳. 大修館書店：東京.

Meyers, R. W., Oliver, J. L., Hughes, M. G., Lloyd, R. S. and Cronin, J. B. (2016) The Influence of Maturation on Sprint Performance in Boys over a 21-Month Period. Medicine & Science in Sports & Exercise, 48 (12) : 2555–2562.

宮丸凱史 (2001) 疾走能力の発達. 杏林書院：東京.

宮丸凱史・加藤謙一・久野譜也・芹沢玖美（1991）発育期の子どもの疾走能力の発達に関する研究（1）—児童の疾走能力の縦断的発達—. 平成2年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 スポーツタレントの発掘方法に関する研究—第2報—, pp. 128–137.

宮丸凱史・加藤謙一・久野譜也・高井省三・秋間広（1992）発育期の子どもの疾走能力の発達に関する研究（2）—疾走能力の優れた児童の特徴—. 平成3年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 スポーツタレントの発掘方法に関する研究—第2報—, pp. 137–145.

Miyamoto, A., Takeshita, T. and Yanagiya, T. (2018) Differences in sprinting performance and kinematics between preadolescent boys who are fore/mid and rear foot strikers. PLoS ONE, 13 (10) : e0205906.

宮崎明世・尾縣貢（2009）高校生の体育授業における走・投能力向上の可能性:動作改善に着目して. スポーツ教育学研究, 28 (2) : 11–23.

森本吉謙・伊藤浩志・島田一志・川村卓・阿江通良・村木征人（2003）ボール重量の増減が野球の投球運動に及ぼす影響とアシスティッドおよびレジスティッド・トレーニングとしての即時効果. スポーツ方法学研究, 16 (1) : 13–26.

文部科学省（2017a）学校保健統計調査報告書. 国立印刷局：東京.

文部科学省（2017b）小学校学習指導要領（平成29年告示）解説. 体育編.

Murphy, K., Curry, E. J. and Matzkin, E. G. (2013) Barefoot running : does it prevent injuries?. *Sports Medicine*, 43 (11) : 1131–1138.

Murray, L., Beaven, C. M. and Hébert-Losier, K. (2018) Reliability of Over-ground Running Measures from 2D Video Analyses in a Field Environment. *Sports (Basel)*, 7 : 8.

Nagahara, R., Nato, H., Miyashiro, K., Morin, J. B. and Zushi, K. (2014) Traditional and ankle-specific vertical jump as strength-power indicators for maximal sprint acceleration. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 54 : 691–699.

長野敏晴・小磯透・鈴木和弘 (2011) 走運動の基本的動作習得を目指した体育学習：低学年児童を対象とした授業実践を通して。 *発育発達研究*, 53 : 1–11.

永田晟・高橋健 (1986) 直立姿勢保持とはだし運動教育。 *姿勢研究*, 6 (1) : 13–18.

西澤昭 (2012) はだし教育の効果について—土踏まず形成や他の要因へ及ぼす影響—。 *生涯スポーツ学研究*, 8 (2) : 1–9.

信岡沙希重・樋口貴俊・中田大貴・小川哲也・加藤孝基・中川剣人・土江寛裕・磯繁雄・彼末一之 (2015) 児童の疾走速度とピッチ・ストライド・接地時間・滞空時間の関係。 *体育学研究*, 60 (2) : 497–510.

野田雄二 (1983) 心身の健康に役立つ「はだし」の教育：日本の子どもの「はだし」実践効果に関するアンケート調査から。 *玉川大学文学部紀要「論叢」*, 24 : 49–63.

Nurse, M. A. and Nigg, B. M. (2000) The effect of changes in foot sensation on plantar pressure and muscle activity. *Clinical Biomechanics*, 16 : 719–727.

大山卞圭悟 (2013) ランニング環境からみた障害発生. 増田雄一編, ランニング傷害のリハビリテーションとリコンディショニング. 文光堂 : 東京, pp. 57–64.

Rothschild, C. (2012) Running Barefoot or Minimalist Shoes : Evidence or Conjecture?. *Strength and Conditioning Journal*. 34 (2) : 8–17.

斉藤昌久・伊藤章 (1995) 2歳児から世界一流短距離選手までの疾走能力の変化. *体育学研究*, 40 (2) : 104–111.

関慶太郎・鈴木一成・山元康平・加藤彰浩・中野美沙・青山清英・尾縣貢・木越清信 (2016) 小学校5, 6年生男子児童における短距離走の回復脚の動作と疾走速度との関係 : 回復脚の積極的な回復と膝関節の屈曲はどちらを優先して習得すべきか. *体育学研究*, 61 (2) : 743–753.

Squadrone, R. and Gallozi, C. (2009) Biomechanical and physiological comparison of barefoot and two shod conditions in experienced barefoot runners. *Journal of Sports and Physical Fitness*, 49 (1) : 6–13.

Schepens, B., Willems, P. A. and Cavagna, G. A. (1998) The mechanics of running in children. *Journal of Physiology*, 509 (3) : 927–940.

Stodden, D. F., Goodway, J. D., Langendorfer, S. J., Robertson, M. A., Rudisill, M. E., Garcia, C. and Garcia, L. E. (2008) A Developmental

Perspective on the Role of Motor Skill Competence in Physical Activity : An

Emergent Relationship. *Quest*, 60 : 290–306.

末松大喜・西嶋尚彦・尾縣貢（2008）男子小学生における疾走能力の指数と疾走中の接地時点の動作との因果構造. *体育学研究*, 53（2） : 363–373.

鈴木康介・友添秀則・吉永武史・梶将徳・平山公紀（2016）疾走動作の観察的動作評価法に関する研究—小学5・6年生を分析対象とした評価基準の検討—. *体育科教育学研究*, 32（1） : 1–20.

田附俊一（2006）靴と裸足による50m走：タイム，走速度，脚（大転子点と足関節を結んだ線）の接地直前の最大振り下ろし速度の観点から. *同志社保健体育*, 45 : 37–54.

寺田光世・筏安子・金子秀子・蜂須賀弘久（1985）長期のはだし教育が児童の発育発達に及ぼす影響について（第1報）. *京都教育大学紀要B（自然科学）*, 67 : 15–23.

辻野昭・後藤幸弘（1975）幼児・児童期における走運動patternの加齢的変遷. *大阪教育大学紀要*, 24（3） : 253–262.

Utz-Meagher, C., Nulty, J. and Holt, L. (2011) Comparative Analysis of Bare-foot and Shod Running. *Sport Science Review*, 20（3–4） : 113–130.

van Gent, R. M., Siem, D., van Middlekoop, M., van Os, A. G., Bierma-Zeinstra, S. M. and Koes, B. W. (2007) Incidence and determinants of lower

extremity running injuries in long distance runners : a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 41 (8) : 469–480.

Weimer, W. (2002) *Learner-centered teaching : Five key changes to practice*, John Wiley & Sons.

Wells, R. P. and Winter, D. A. , (1980) Assessment of signal and noise in the kinematics normal, pathological and sporting gaits. *Human Locomotion I*. 92–93.

八木規夫・水谷四郎・脇田裕久・長井健二 (1982) 「児童の走運動能力に関する研究」第一報 低学年児童について. *三重大学教育学部研究紀要 (自然科学)*, 33 : 133–142.

山田憲政・関岡康雄・小林一敏・金子靖仙 (1986) 走速度増加に伴う身体のねじれに関する力学的研究. *筑波大学体育科学系紀要*, 9 : 247–254.

横井孝志・渋川侃二・阿江通良 (1986) 日本人幼少年の身体部分係数. *体育学研究*, 31 (1) : 53–66.

Zech, A. , Venter, R. , de Villiers, J. E. , Sehner, S. , Wegscheider, K. and Hollander, K. (2018) Motor Skills of Children and Adolescents Are Influenced by Growing up Barefoot or Shod. *Frontiers in Pediatrics.*, 6 : 115.

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