

最高疾走速度と接地期の身体重心の水平速度の減速・加速：
接地による減速を減らすことで最高疾走速度は高められるか

福田 厚治 伊藤 章

**Relationship between sprint running velocity and changes
in the horizontal velocity of the body's center of
gravity during the foot contact phase**

Koji Fukuda and Akira Ito

Abstract

Sprinters are often coached to increase their sprint running velocity by minimizing the horizontal deceleration force during the first half of the foot contact phase. The present study was undertaken to clarify the relationship between changes in the horizontal velocity of the body's center of gravity (CG) during the foot contact phase and sprint running velocity. The subjects were 26 male sprinters (100 m personal best record: 10.27–11.50 s). The experiments were carried out on an all-weather track into which a force platform was planted. Subjects performed sprint running at their maximal effort. The ground reaction forces were recorded and the subjects were videotaped from the side (100 fps). The horizontal distance from the toe to the CG at the moment of foot touch-down and foot release showed no significant correlation with the maximal sprint running velocity. The duration of deceleration decreased ($r=-0.517$, $p<0.01$) and that of acceleration showed a tendency to decrease ($r=-0.385$, $p=0.0519$) with the increase of the maximal sprint running velocity. The peak forces of deceleration and acceleration increased ($r=0.542$, $p<0.01$; $r=0.442$, $p<0.05$) with the maximal sprint running velocity. The rate of deceleration and acceleration of the CG during the foot contact phase calculated from the impulse of the horizontal ground reaction force showed almost a constant value despite the big difference in the maximal sprint running velocity. The present results suggest that reducing the rate of CG deceleration during the foot contact phase would not improve the maximal sprint running velocity. The ability to develop a higher acceleration force to the ground moving faster to the backward relative to the body's center of mass during the shorter foot contact phase is probably a major factor in determining the maximal sprint running velocity.

Key words : ground reaction force, deceleration, acceleration

(Japan J. Phys. Educ. Hlth. Sport Sci. 49: 29-39, January, 2004)

大阪体育大学
〒590-0496 大阪府泉南郡熊取町朝代台1-1
連絡先 福田厚治

Osaka University of Health and Sport Sciences
1-1 Asasirodai, Kumatori-cho, Sennan-gun, Osaka 590-
0496
Corresponding author kfukuda@ouhs.ac.jp

キーワード：短距離走，地面反力，速度変化

I 緒 言

走運動には接地期と空輸期があるが，地面に対して力を加えることができるのは接地期のみである．走行中の地面反力の測定は小林ほか（1990）によると古くは，1872年にCarlet，1873年にはMareyによって試みられたが，実際にはFenn（1930）が接地直後の減速力や接地後半の加速力などを定量的に測定することに成功したとされている．その後測定器などの改良に伴って様々な観点から地面反力が測定されてきた．力学的観点からは，Bates et al.（1983）が走行中の平均的な地面反力パターンについて示している．また，Payne（1983）は足底前部からの接地と踵からの接地によって地面反力の波形パターンに違いがあることを報告している．Munro et al.（1987）は，走速度を3m/sから5m/sに変化させた時に接地期における身体重心の水平速度の減速と加速が増加する傾向にあることを報告している．生理学的な観点からは，Fenn（1930）やCavagna et al.（1971），そして松尾・福永（1981）が地面反力から仕事量を求め，走運動中の筋活動量の定量化を試みている．

短距離走における地面反力に関する研究では，辻野（1966）は短距離選手，長距離選手，非運動選手についてキック力を比較し，この中で短距離選手の水平方向の最大値が最も高いことなどを明らかにしている．スタートからの加速局面に関する研究では，小松ほか（1995）が疾走速度と地面反力および下肢動作の関係について調べており，スタート後8，9，10，11歩目の各歩数において最も疾走速度の高い選手が最も大きなキック力を発揮していたと報告している．また，短距離走用スパイクシューズの開発の基礎となる研究において，金子（1997）は加速性能を高めるには接地後の踵の降下が接地中のブレーキの原因になることを機構学的解析により報告し，福岡（1997）はシューズの機能の違いが推進力および疾走速度に影響を与えたということを地面反力から得られたデ

ータによってその一例を示している．しかし，これらの研究は加速（キック力）に関するものが多く，減速と加速の両方について調べたものやそれらと最高疾走速度との関係について詳しく調べたものはほとんどない．

そして，短距離走の指導においては，より高い疾走速度を求めるためには接地時の減速をできるだけ少なくしなければならない（高木・田口，1993；Vonstein，1996）と考え，身体重心の真下近くへ接地する（安井，1999；小林ほか，1990；佐久間ほか，1998）ように指導することが多い．しかし，これまでの報告では最高疾走速度と地面反力および接地位置の関係は明らかにされておらず，より高い疾走速度を得るためには接地期における減速を少なくするというこれまでの短距離走の指導を支持する科学的根拠はいまだ得られていない．

そこで，本研究では接地期における減速を少なくすることでより高い疾走速度を得ようとする短距離走の指導を裏づける科学的根拠の有無を調べるため，最高疾走速度で走行中の接地期における地面反力を測定し，疾走速度と身体重心の減速と加速の関係を明らかにしようとした．

II 方 法

1. 被験者

アトランタオリンピック代表選手1名を含む大学短距離選手男子26名（100m ベスト記録；10秒27から11秒50）と女子1名（100m ベスト記録13秒00）を被験者とした．なお，被験者には実験前に研究の趣旨と測定時の危険性などについて説明し了解を得た．本研究では，被験者の100mの記録は平均値で示すより，どの程度記録が異なる選手を対象としているのかその範囲（男子選手内における差は1秒23，オリンピック代表男子選手と女子選手との差は2秒73という競技レベルの幅）を示すことが重要であると考えた．

2. 実験試技

1) 中間疾走：男子被験者26名に全天候型走路

上で40mの助走をつけた全力疾走を行わせ、走路にフォースプレート（KISTLER社製，9281B.長さ60cm，幅40cm）を2枚並べて埋設し，その上に右足全体が完全に着地するように指示した。なお，実験試技において，フォースプレートに足を合わすような不自然な動作をした場合や，完全に足全体がフォースプレート上に着かなかった場合は無効試技とし，成功するまで十分な休憩を取りながら試技を繰り返させた。

2) スタートダッシュ：中間疾走実験に含まれる男子選手1名（アトランタオリンピック代表選手：100m最高記録10秒27）と女子選手1名について，スタートダッシュ後の1，3，5，9，13，19歩目の地面反力を測定した。すなわち，スターティングブロックを用いたクラウチング姿勢から全力のスタートダッシュを全天候型走路上で行わせ，右足全体が走路に埋設されたフォースプレート上に着地するように指示した。フォースプレートを埋設できる位置が限定されているため，実際の測定では1歩目の測定が終了した後にスタート位置を後方にずらし，3歩目の測定を行うという方法で全ての歩数について成功するまでクラウチングスタートを繰り返し実施させた。

なお，このスタートダッシュの試技は，疾走速度の大きく異なる選手間での比較により中間疾走実験の結果について検証することが目的であったため，男子一流選手と女子学生選手の各1名について行ったものである。

3. ビデオ撮影およびデータ処理

ハイスピードビデオカメラ（nac社製，MEM-RECAM C²S）をフォースプレートの右側方約40mの地点に設置し，フォースプレートの中心から前後およそ4m区間の疾走フォームを撮影（コマ間隔は200Hz. シャッター速度は1kHz）した。撮影されたビデオ映像から，ランニングに要する1サイクル（左右2歩分）とその前後10コマをパーソナルコンピュータに取り込み，身体各部24点のx-y座標値を固定点とともにデジタイズし（100Hz），スケールマークを基に実長換算を行った。そのデータに，5点移動平均法を用いて変位

に8Hz，速度に6Hzのローパスフィルターをかけた。フォースプレートにより検出された地面反力は，A/D変換ボードを介し1kHzでサンプリングした値をパーソナルコンピュータに取り込み，各データ（ F_x ， F_y ， F_z ）は2枚のフォースプレートのデータを合算し求めた。本研究では， F_y （水平前後方向）データについて詳しく調べた。

4. 測定項目

1) 走速度（m/s）：中間疾走ではビデオ分析から得られたランニング1サイクル（2歩）の身体重心の水平方向の平均速度から求め，スタートダッシュでは接地前の空輪期の身体重心の水平方向の平均速度から求めた値とした。なお，身体重心は松井（1956）の係数を用いて算出した。

2) 接地距離と離地距離（%）：それぞれ，接地の瞬間と離地の瞬間の身体重心からつま先までの水平距離を身長で除し100を乗じた値とした。

3) 地面反力のピーク値（N/kg）：接地期前半の水平前方向の最大値（以下「減速力のピーク値」とする）と接地期後半の水平後方向の最大値（以下「加速力のピーク値」とする；図1参照）を身体質量で除して求めた値とした。

4) 接地期における力の作用時間（sec.）：得られた地面反力のデータから接地時間を次のように分類した。接地期前半の水平前方向に力が作用している時間を減速時間，後半の水平後方向に力が作用している時間を加速時間（図1参照）とした。

5) 接地期における身体重心の減速と加速（m/s）：水平前後方向の地面反力（ F_y ）を積分し身体質量で除して求めた減速局面と加速局面における身体重心の水平前後方向の速度変化（図1参照）で，速度変化の方向に関係なくすべて正の値として表した。

6) 減速・加速の平均力（N/kg）：減速局面と加速局面の水平前後方向の地面反力の平均値とした。

7) 減速・加速の平均パワー（W/kg）：減速局面と加速局面の平均力にそれぞれの局面の平均疾走速度を乗じて求めた値とした。

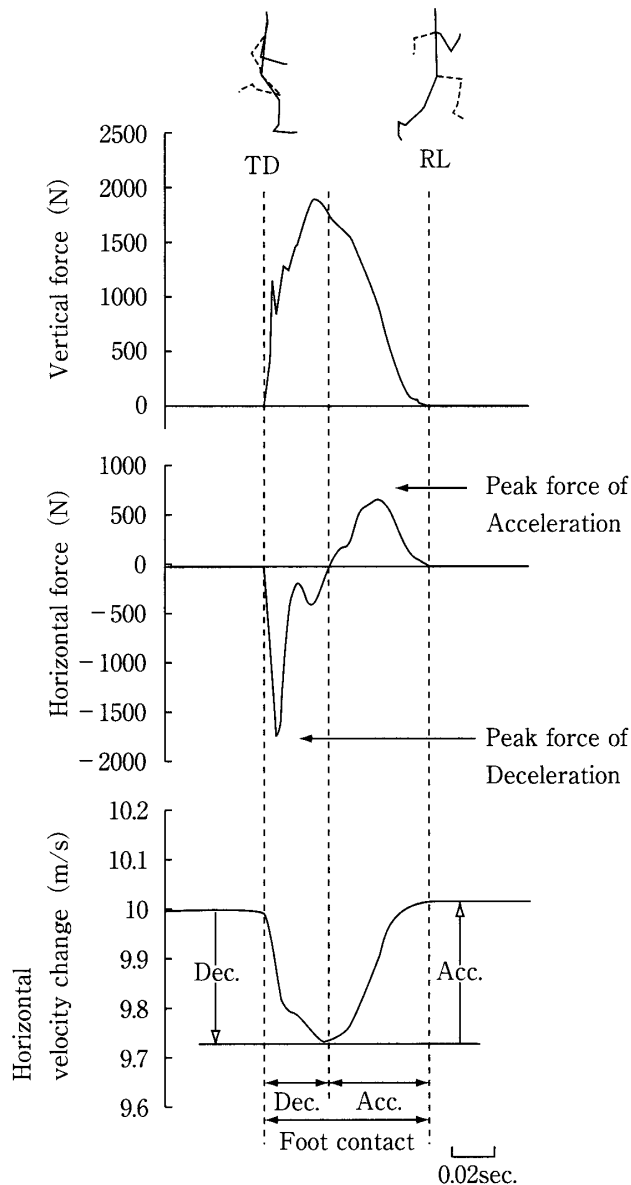


Fig. 1 A typical example of the ground reaction forces and the horizontal velocity change of the body's center of gravity during the foot contact phase. TD and RL indicate the moment of foot touch down and foot release, respectively, and Dec. and Acc. indicate the deceleration and the acceleration, respectively.

本研究は主にこれらの測定データと最高疾走速度との相関関係を調べたものであるが、相関の有意水準は5%未満とした。

III 結 果

1. 中間疾走実験

実験時の男子選手たちの疾走速度は、8.83から

10.24m/s ($9.39 \pm 0.36\text{m/s}$) の範囲であった。図2に接地距離、離地距離と疾走速度の関係を示したが、どちらも疾走速度に関係なくほぼ一定の値を示した。すなわち、接地距離は身長の前21.52%前後 ($21.52 \pm 2.86\%$)、離地距離は身長の前31.45%前後 ($31.45 \pm 2.47\%$) にそれぞれ分散していた。

図1にアトランタオリンピック代表選手の間疾走における地面反力波形の一例を示した。鉛直力は接地直後から急激に高まり、その直後から遅滞なく急激に減少する傾向を示した。減速力は接地の瞬間から急激に高まり、高いピーク値を経た後に低下し、その後は離地まで加速方向の力が比較的緩やかに発揮された。図3に示すようにこれらの減速力のピーク値 ($17.55 \pm 5.55\text{N/kg}$) および加速力のピーク値 ($9.12 \pm 1.26\text{N/kg}$) は疾走速度とそれぞれ有意な正の相関関係が見られた (それぞれ $r = 0.542, p < 0.01$; $r = 0.442, p < 0.05$)。

図4に、地面反力をもとに測定した減速時間 ($0.043 \pm 0.005\text{sec.}$) および加速時間 ($0.058 \pm 0.005\text{sec.}$) と疾走速度の関係について示した。疾走速度が高いほど減速時間は短くなる傾向を示し ($r = -0.517, p < 0.01$)、加速時間は統計的に有意ではなかったが短くなる傾向 ($r = -0.385, p = 0.0519$) : なお、 $r = -0.388$ ならば5%水準で有意となる) を示した。なお、減速時間と加速時間を合算して求めた接地時間 ($0.102 \pm 0.009\text{sec.}$) に関しても、疾走速度が高いほど短くなる傾向 ($r = -0.563, p < 0.01$) を示した。

図5に示すように減速の平均力 ($5.34 \pm 1.33\text{N/kg}$) および加速の平均力 ($5.12 \pm 0.75\text{N/kg}$) は疾走速度と有意な正の相関関係 (それぞれ、 $r = 0.568, p < 0.01$; $r = 0.471, p < 0.05$) が見られた。図6は、これら平均力にそれぞれの局面の平均速度を乗じて求めた減速と加速の平均パワー (それぞれ、 $49.83 \pm 13.51\text{W/kg}$; $47.74 \pm 8.08\text{W/kg}$) と疾走速度の関係について示したものである。パワーは、力の発揮に速度の要素を加味したものであるが、疾走速度との相関関係はさらに高くなった (それぞれ、 $r = 0.648, p < 0.001$; $r = 0.613, p < 0.01$)。

図7は、水平前後方向の地面反力の力積から算

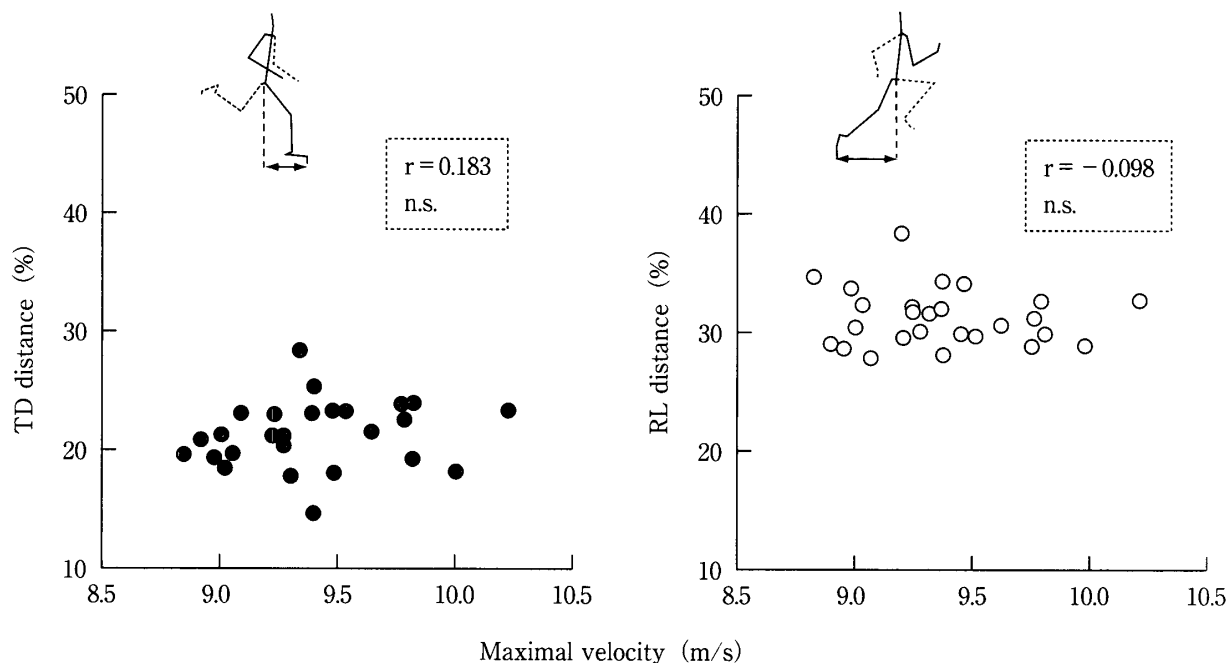


Fig. 2 Relationship between the maximal sprint running velocity and the distance of foot touch down (●) as well as foot release (○).

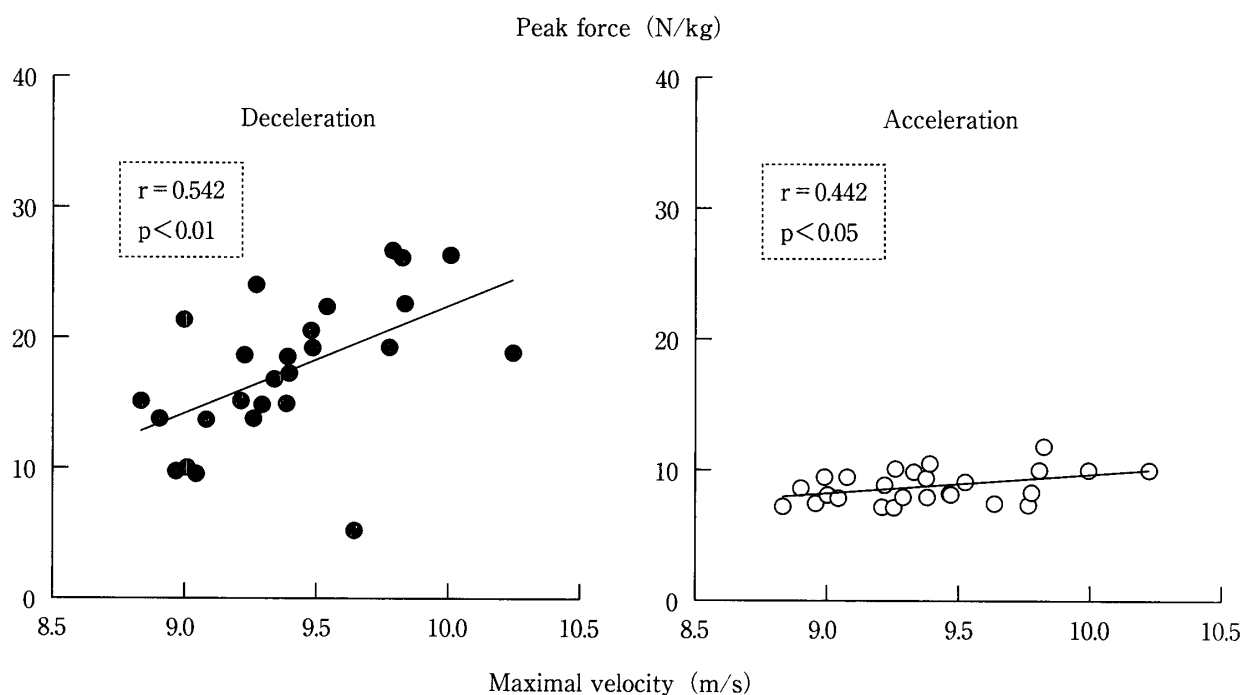


Fig. 3 Relationship between the maximal sprint running velocity and the peak force of deceleration (●) as well as acceleration (○).

出した身体重心の水平方向の減速および加速の値と疾走速度との関係について示したものである。どの選手も全体的に減速より加速の方が平均値で 0.07m/s ほどの僅かに高い値を示したが、減速も加速の値も疾走速度に関係なくほぼ一定の値（そ

れぞれ、 $0.23 \pm 0.05\text{m/s}$, $0.30 \pm 0.05\text{m/s}$) を示した。

2. スタートダッシュ実験

図8に男子選手のスタート後の鉛直・水平方向

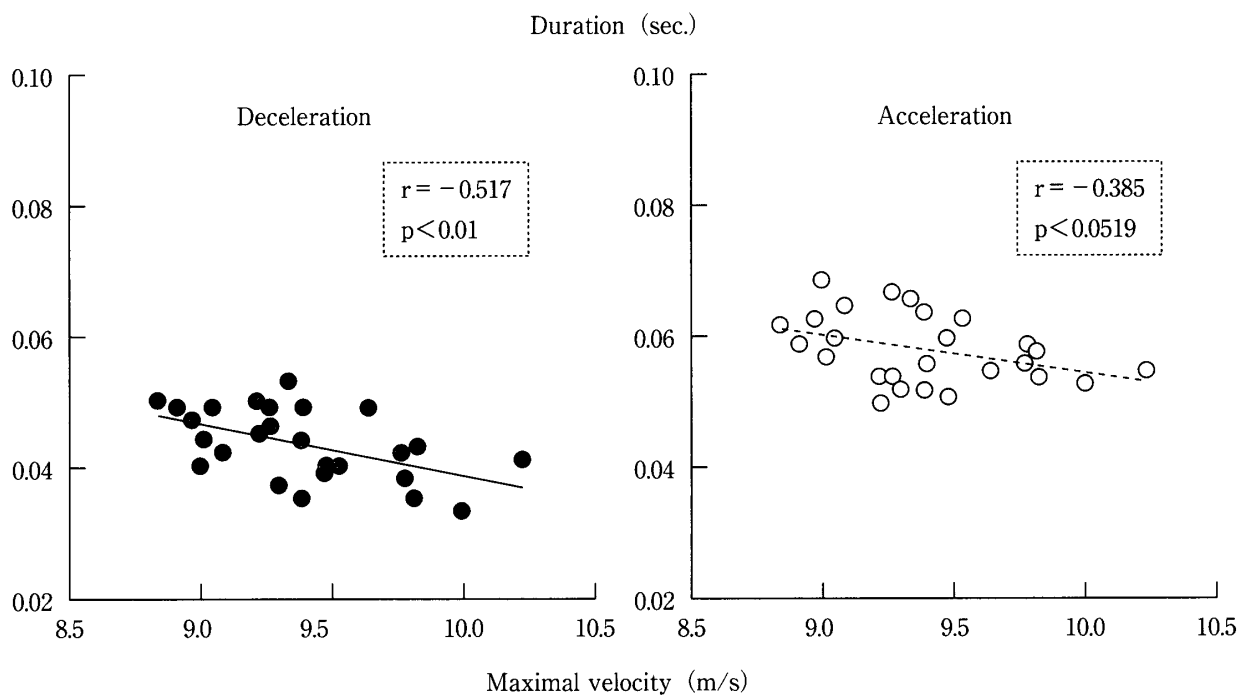


Fig. 4 Relationship between the maximal sprint running velocity and the duration of deceleration (●) as well as acceleration (○).

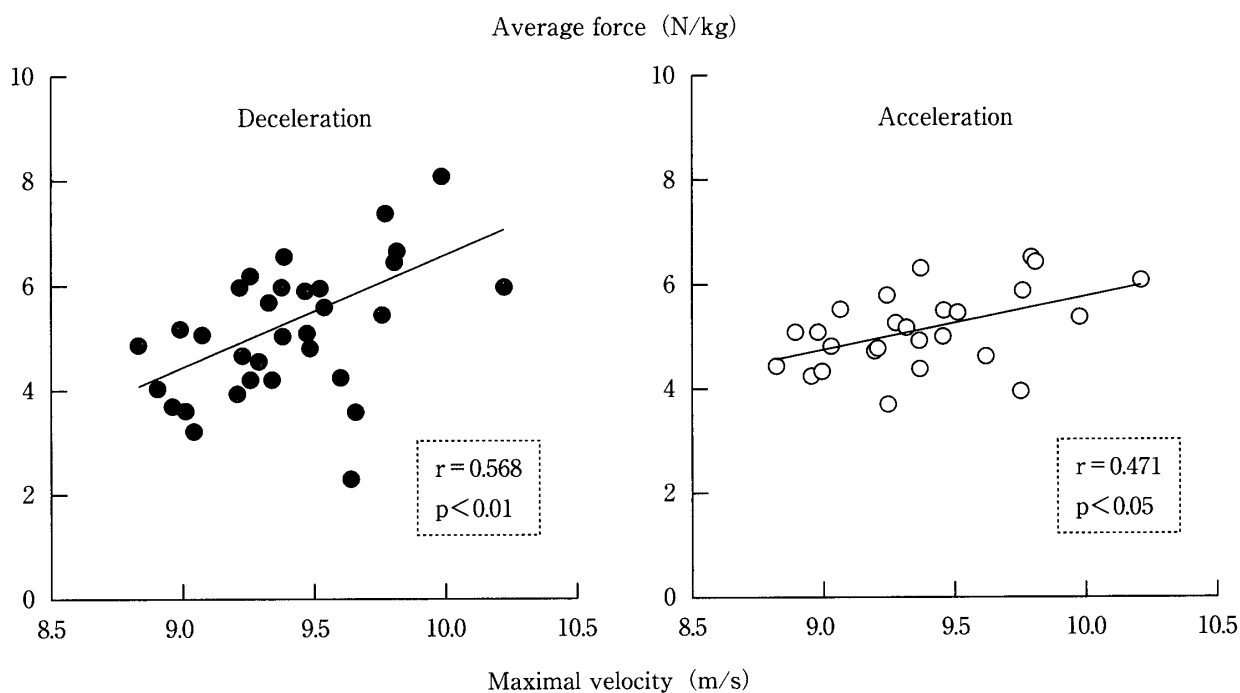


Fig. 5 Relationship between the maximal sprint running velocity and the average force of deceleration (●) as well as acceleration (○).

の地面反力と水平方向の地面反力の力積から得た
 身体重心の水平方向の速度変化を示した。鉛直方
 向の地面反力のピーク値はスタート後の歩数とと
 もに増加する傾向を示したが、水平前後方向の地

面反力は特徴的な変化傾向にあった。すなわち、
 スタート後の歩数が進むにしたがい減速力のピー
 ク値と減速時間が増加する傾向を示したが、加速
 力のピーク値はほとんど変化せず加速時間は減少

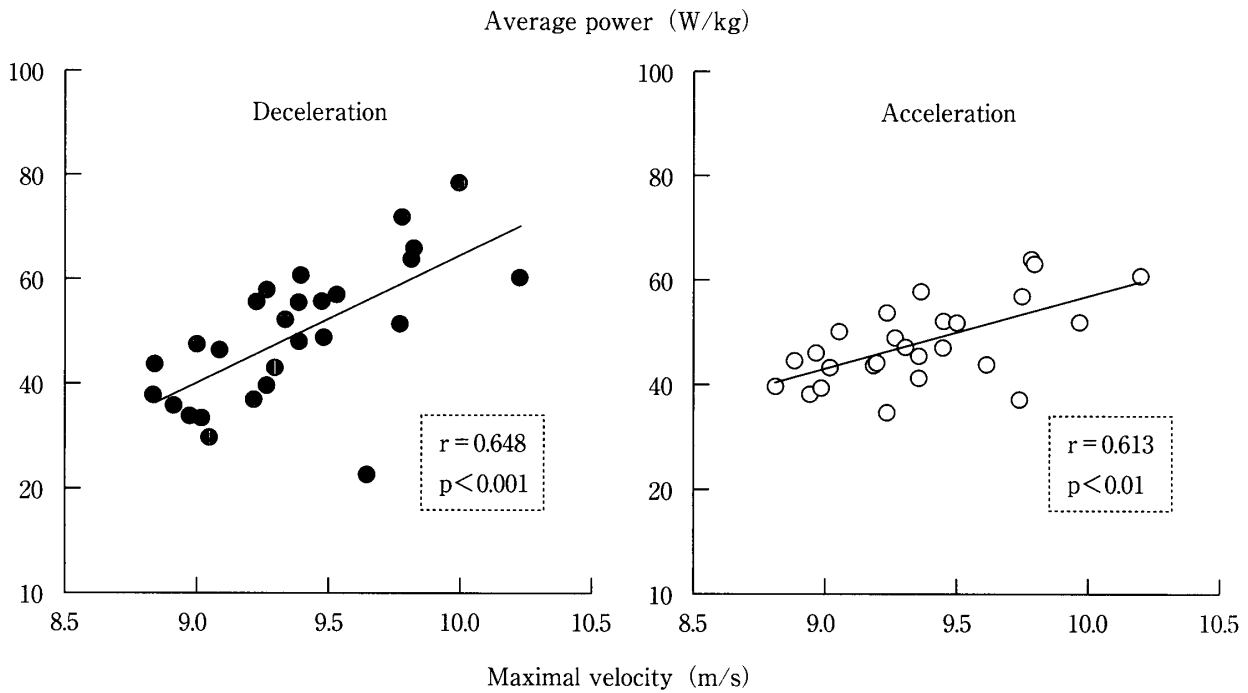


Fig. 6 Relationship between the maximal sprint running velocity and the average power of deceleration (●) as well as acceleration (○).

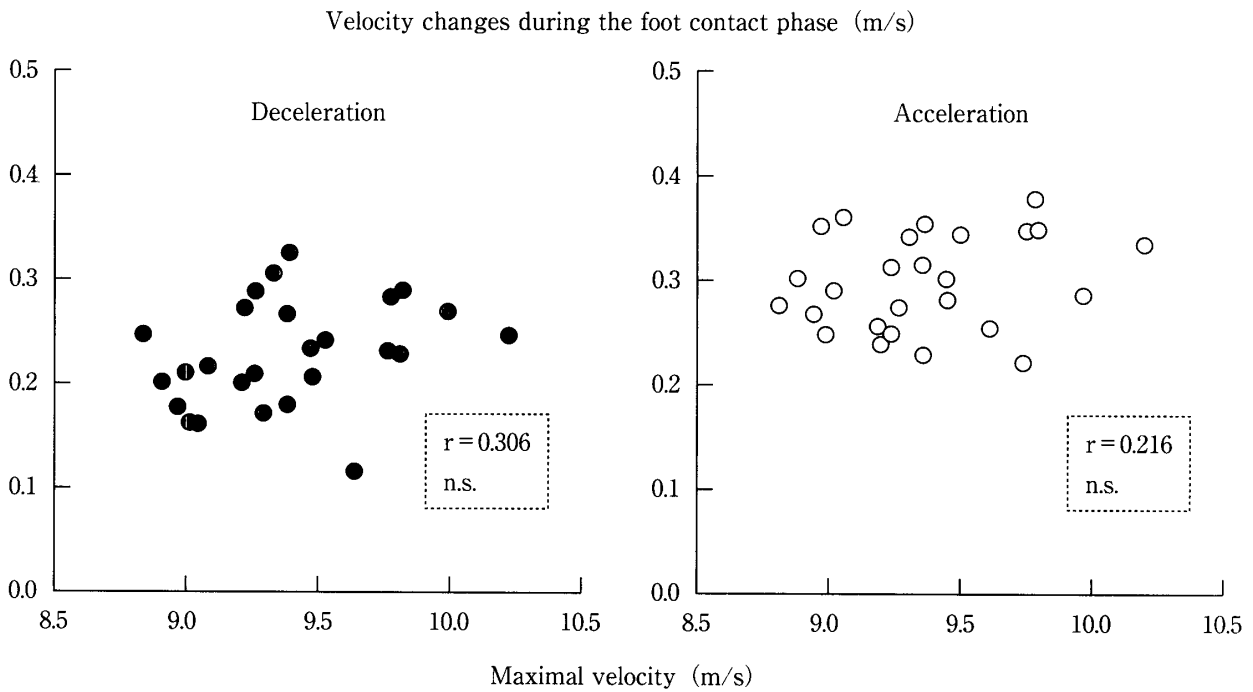


Fig. 7 Relationship between the maximal sprint running velocity and the rate of deceleration (●) as well as acceleration (○).

する傾向を示した。

図9に男・女各1名についてスタート後の各歩数における身体重心の水平方向の減速・加速の変化をスタート後の速度変化との関係から示した。

両選手ともスタート1歩目では減速がほとんどなく加速だけであったものが、歩数が進むとともに減速が増加したが、逆に加速は急激に減少した。その結果、両者ともにほぼ最高疾走速度であると

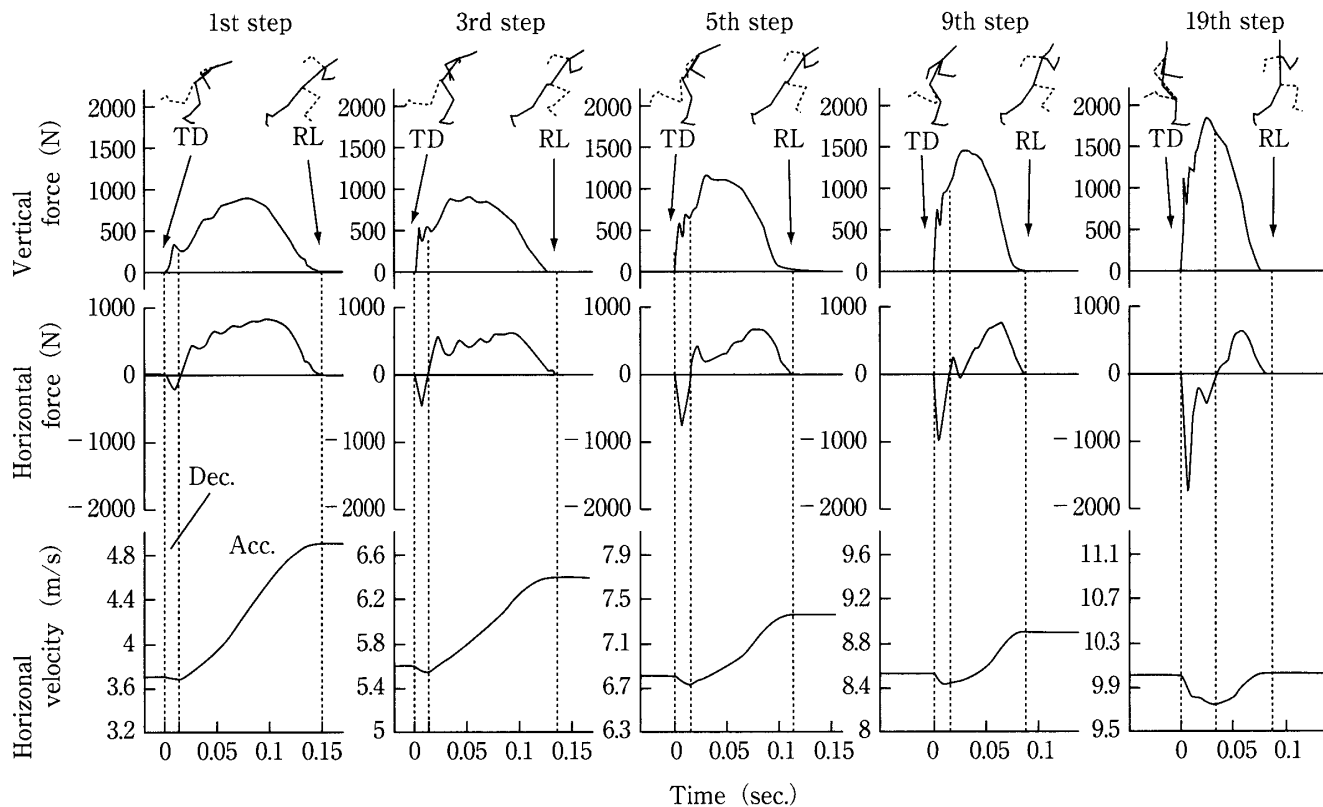


Fig. 8 A typical example of the ground reaction force and the horizontal velocity change of the body's center of gravity during the foot contact phase at the 1st, 3rd, 5th, 9th and 19th (maximal sprint running velocity) step. TD and RL indicates the moment of foot touch down and foot release, respectively.

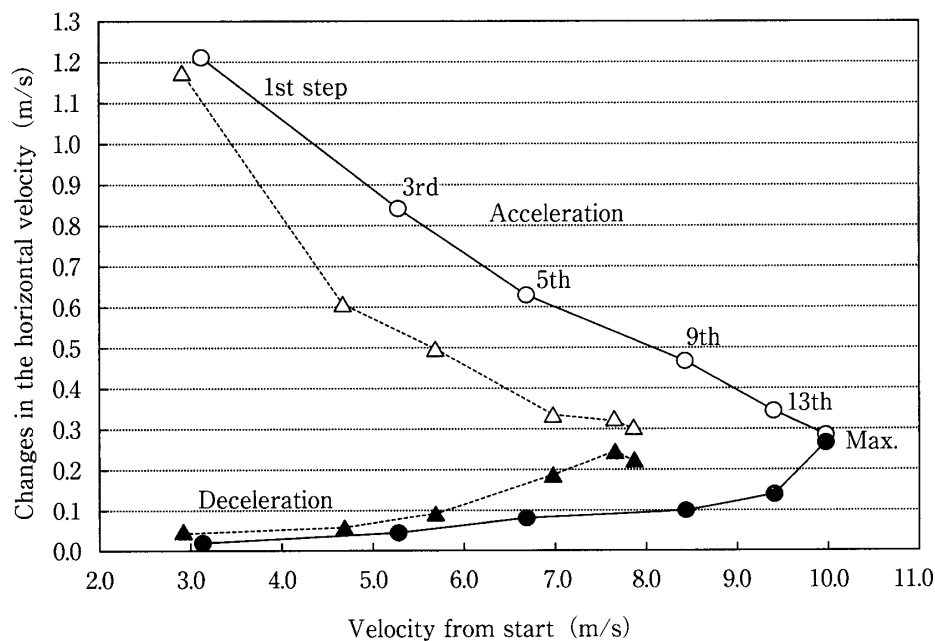


Fig. 9 Changes in the rate of the horizontal deceleration (●: male ▲: female) and acceleration (○: male; △: female) from the 1st step to the maximal sprint running velocity (19th step) after the start.

考えられ男女で大きく疾走速度が異なる19歩目(およそ30—40m付近)では減速と加速がほぼ同じ値になった。

IV 考 察

1. 中間疾走について

阿江ほか(1994)によると、短距離選手はスタート後30mから40mの区間でほぼ最高速度に達することが報告されている。それに従えば、本研究で実施したおよそ40mの助走後の疾走は、ほぼ最高速度の等速度で疾走したものであると考えることができる。なお、図1および図7に示すように加速が減速より僅かに(平均値にしておよそ0.07m/s)大きかった理由は、離地後の空輪期に空気抵抗によって身体重心の水平前後方向の速度が低下するが(Hill, 1927)、その低下分だけ減速より余計に加速しなければ一定速度を保つことが出来ないからであると考えられる。

1) 減速について

短距離走においては、身体重心の真下近くに足を接地することで減速を減らし、そのことによって疾走速度を高めるような指導が行われている。また、そのような指導をされていなくても、速く走るためには減速はできるだけなくしたほうがよいと考えるのが一般的であろう。これは言い換えると、高い疾走速度で走る選手ほど減速が少ないということにもなる。しかし、本研究では接地距離および減速の値は疾走速度の違いに関係なくほぼ一定の値を示すという結果を得ており、身体重心の真下近くに接地することで減速を減らし、より高い疾走速度を得るといった指導を支持するような知見は得られなかった。減速の値を決定する要因である減速時間と減速力のピーク値および平均減速力の特徴をみると、減速時間は疾走速度が高いほど短く、減速力のピーク値と平均減速力は疾走速度が高いほど高かった。つまり、最高疾走速度の高い選手は短い時間に高い減速力を発揮し、逆に最高疾走速度の低い選手は長い時間にわたり低い減速力を発揮したことになる。

また、疾走速度が高いほど選手にとって地面は

相対的に高い速度で後方へ移動していることになる。そのため、疾走速度の高い選手は高い速度で移動している地面に対して短時間に大きな減速力を発揮していたことになる。これは、疾走速度の高い選手は高い平均減速パワーを発揮していたという結果からも明らかである。

これらすべての結果は、減速を減らすことで疾走速度が高まるという可能性を打ち消すものであった。

2) 加速について

離地距離は疾走速度に関係なくほぼ一定の値を示した。また、加速の値は疾走速度の違いに関係なくほぼ一定であった。加速を決定する要因である加速時間は最高疾走速度の高い選手ほど短い傾向を示し、加速力のピーク値と平均加速力は最高疾走速度の高い選手ほど高くなる傾向を示した。

この加速力は、疾走速度の高い選手ほど相対的に高い速度で後方へ移動している地面に対して発揮されたものである。これは、疾走速度の高い選手は高い平均加速パワーを発揮していたという結果と、平均加速パワーと疾走速度との相関係数が他の場合より一段と高いという結果からも明らかである。これらの結果は、最高疾走速度の高い選手は、高い速度で移動している地面に対して、短い時間に大きな加速力を発揮していたが、最高疾走速度の低い選手は、低い速度で移動している地面に対して長い時間をかけて小さな加速力しか発揮できなかった事を示している。

2. スタートダッシュについて

このようなキック力の発揮によって最高疾走速度が決定されることを検証するため、スターティングブロックを用いたクラウチングスタート姿勢からの全力のスタートダッシュにおける、減速と加速の値を疾走速度の大きく異なる男子選手と女子選手について調べ、以下の点が明らかとなった。

図9に示すように、スタート直後の低い疾走速度の3m/s付近では、男子選手と女子選手ともに減速はほぼゼロで、加速は約1.2m/sと大きな違いは認められなかった。疾走速度が高まった6m/s付近では男子選手と女子選手の違いが明ら

かとなった。つまり、選手に対して相対的に約6m/sの速度で後方に動いている地面に対し、男子選手はまだ約0.7m/sの加速ができているのに対し、女子選手はすでに約0.45m/sの加速しかできなくなった。さらに8m/s付近では女子選手は加速が約0.3m/sしかできなくなり、減速もほぼ同様の値となった。結局その疾走速度が女子選手の最高速度となったのである。一方、男子選手は8m/s付近ではまだ約0.5m/sの加速が可能であったのでさらに疾走速度を高めることができた。しかし、10m/s付近まで疾走速度が高まると、男子選手もその高い速度で後方へ動いている地面に対し、約0.3m/sしか加速を発揮できなくなり、減速もほぼ同じ値となった。結局、男子選手はこの時点が最高疾走速度となった。

このようなクラウチングスタート後の疾走速度の増加に対する加速の減少は、キック動作の違いの影響も受けるが、まさしく筋の力—速度関係(Hill, 1938)にしたがったものである。つまり、最高疾走速度の高い選手は、高い速度で後方へ移動する地面に対してより大きな加速力を発揮できる能力(体力と技術)を持っている選手であるといえる。

一方、接地期前半の減速は、その1歩前の接地期後半における加速によって得られた身体重心の放物運動にしたがって着地するために生じたものであり、その減速力は着地後の加速力によっても影響されると思われる。つまり、図9の結果が示すように、同じような放物運動にしたがった着地であっても、着地後に大きな加速力が発揮できるのであれば減速は小さく、発揮できる加速力が小さければ減速が大きくなるのであろう。

しかし、最高疾走速度ではなぜ0.20m/sから0.35m/sの減速と加速が生じるのかについては本研究で明らかにすることができなかった。しかし、本研究では最高疾走速度の高い選手ほど減速力が高いという結果(図3, 図5)を得ており、減速を少なくすることが最高疾走速度を高めるのではなく、選手に対して相対的に後方へ速く動く地面に対していかに短時間に大きな加速力を発揮できるかどうかで最高疾走速度を決定することを明ら

かにできた。上述したように加速能力とは、体力的な要因はもちろんだが、伊藤ほか(1998)が報告しているように膝関節や足関節の伸展を少なくすることで、股関節の伸展動作を効果的に脚全体のスイング速度に転換するような合理的なキック動作を行うことにも関係していると思われる。

V ま と め

短距離走の接地期における身体重心の水平速度変化と最高疾走速度との関係を明らかにすることを目的に、大学短距離選手を被験者に助走つきの全力疾走とスタートダッシュからの全力疾走を実施させ、地面反力の測定と疾走フォームをビデオ撮影した。

その結果、助走つきの全力疾走およびスタートダッシュからの全力疾走ともに、最高疾走速度ではその疾走速度の高低に関係なく接地期における身体重心の減速・加速の値はほぼ一定の値を示した。また、接地の瞬間のつま先位置(身長に対する身体重心との水平距離)も最高疾走速度に関係なくほぼ一定の値であった。しかし、最高疾走速度の高い選手ほど、短時間に大きな減速力と加速力を発揮していた。このことは、最高疾走速度の高い選手は高い速度で後方へ移動している地面に対して短時間に大きな加速力を発揮する能力を持っていることを示している。スタートダッシュからの加速区間においても、同様の結果が得られた。

以上のことから、最高疾走速度は減速を少なくすることで高まるのではなく、加速力を発揮する能力(体力的な要因と技術的な要因)によって決定されることを明らかにすることができた。

文 献

- 阿江通良・鈴木美佐緒・宮西智久・岡田英孝・平野敬晴(1994) 世界一流スプリンターの100mレースパターンの分析—男子を中心に—。佐々木秀幸・小林寛道・阿江通良監修 世界一流陸上競技者の技術。ベースボールマガジン社：東京，pp. 14-28。
- Bates, B.T., Osternig, L.R., Sawhill, J.A., and Hamill, J. (1983) Identification of critical variables describ-

- ing ground reaction forces during running. In: Matsui, H. and Kobayashi, K. (Eds.) Biomechanics VIII-B. Human Kinetics: Champaign, IL., pp. 635-640.
- Cavagna, G.A., Komarek, L., and Mazzoleni, S. (1971) The mechanics of sprint running. *J. Physiol.*, 217: 709-721.
- Fenn, W.O. (1930) Work against gravity and work due to velocity changes in running. *Am. J. Physiol.*, 93: 433-462.
- 福岡正信 (1997) 安全と高機能を求めるシューズ. *J. Sports Sci.*, 16 : 3-7.
- Hill, A.V. (1927) The air-resistance to a runner. *Proc. Roy. Soc. B*, 102: 300-385.
- Hill, A.V. (1938) The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc. Roy. Soc. B*, 126: 136-195.
- 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 : 260-273.
- 金子靖仙 (1997) 速く走るためのシューズ. *精密工学会誌*, 63 (4) : 460-465.
- 小林寛道編・宮下充正監修 (1990) 走る科学. 大修館書店: 東京.
- 小松佐蔵・田口正公・川上 貢・諸富一秋・高木浩信・高瀬幸一・末次丈晴 (1995) スプリント走における加速期の地面反力と下肢動作の関係. *日本体育学会第46回大会号*: 503.
- 松井秀治 (1956) 各種姿勢の重心位置に関する研究. *体育学研究*, 2 : 65-76.
- 松尾彰文・福永哲夫 (1981) 走運動の外的エネルギー出力からみた短・長距離選手の特徴. *東京大学教養学部体育学紀要*, 15 : 47-57.
- Munro, C.F., Miller, D.I., and Fuglevand, A.J. (1987) Ground reaction forces in running: A reexamination. *J. Biomechanics*, 20 (2) : 147-155.
- Payne, A.H. (1983) Foot to ground contact forces of elite runners. In: Matsui, H. and Kobayashi, K. (Eds.) Biomechanics VIII-B. Human Kinetics: Champaign, IL., pp. 746-753.
- 佐久間和彦・杉浦雄策・松永成旦 (1998) ミニハードルで簡単に身につく「走の基本動作」—指導現場への提案—. *月刊陸上競技*, 6 : 154-157.
- 高木浩信・田口正公 (1994) 短距離走の加速局面と全速局面における膝関節の動きと下肢筋力について. *陸上競技研究*, 4 (19) : 2-8.
- 辻野 昭 (1966) 短距離疾走におけるキックについて—一走における力の相互作用の分析—. *体育の科学*, 16 : 575-581.
- Vonstein, W. (1996) Some reflections on maximum speed sprinting technique. *New Studies in Athletics*, 11 (2-3) : 161-165.
- 安井年文 (1999) 短距離走 Baton pass 2 より速く走る. トム・エッカー著, 澤村 博ほか訳 基礎からの陸上競技バイオメカニクス. ベースボールマガジン社: 東京, pp. 76-77.

(平成14年7月12日受付)
(平成15年7月30日受理)