

足にあった靴の使用により 足への負担が低減するメカニズム

白水 重憲¹⁾，白水 陽久¹⁾，正木 健雄¹⁾，武原 充宣²⁾

要旨 足にあった靴の使用は足への負担を低減し、使用者の歩行・走行距離を増加させ、体重減へとつながった。この足の負担の低減は、体が生成する加速度の前進に寄与する効率が増加する為のものである事が確認された。また、その効率の増加は足の加速度が地面に伝えられる割合が増加した事によるものであり、歩行時の姿勢等の変化によるものでは無い事が示唆された。

キーワード：加速度センサ、ベクトルの方向と大きさ、靴、歩行、走行

1. はじめに

NPO法人セルフケア総合研究所と日本教育シューズ協議会との共同研究の発端は、2013年12月に開かれた「子どものからだと心・全国研究会議」（於日本体育大学）であった。セルフケア総合研究所は、本『全面発達の展開』誌に関する広報活動を行っており、日本教育シューズ協議会は、自分の足の状態を知り、足にあった靴を履くことの重要性に関しての啓蒙普及活動¹⁻³⁾を“フットプリント”の測定を通して行っていた。共に、子どもの健康に深い関心のある双方の担当者は、自然に交流を始め、セルフケア総合研究所の担当者（以下Sと略称）もフットプリントの測定を経験した。

フットプリントは、自然に直立した状態での足の裏の地面への接触状態を測定するものであり、母趾の角度、土ふまずの形成状態、浮き指の有無や左右の足のバランスが判る¹⁻³⁾。Sのフットプリントの測定結果からは、左母趾の角度は外反母趾に近い事、右足には“土ふまず”があるが左足には無い事、親指以外は浮いている事が示された。さて、Sの足の形状は、長さ方向は小さく、幅と高さは大きいという特徴をもっており、市販の皮靴の場合は24.5cm4Eならば何とか履けると言うものであったが、当時ウォーキングやランニングに使用していた靴は市販有名メーカー製の24.5cmの3Eのものであった^{4,5)}

（以後靴A）。Sは足の前の領域（指の領域）にスペースがありすぎ、走行時に蹴足の指の領域を使用する最後の蹴り出しが上手く出来ていないという事を自己認識しており、親指以外の指が浮いてい

るという結果は、その自己認識を裏付けるものであった。この結果に基づき、被験者Sは足の指を意識して使う訓練を開始した。

2週間程経過した後、双方の担当者は第59回子どもを守る文化会議（於浜松市）にて再開し、再びSのフットプリントの測定を行った。左足には“土ふまず”がない事と、母趾跡の角度は外反母趾に近い事は再現性良く得られたが、指の浮きは解消されていた。足の指が浮くという現象は「浮き指」と呼ばれ、体の安定感、姿勢、転倒のしやすさとの関連が指摘されてきたが、ここに、比較的簡単に修正できる可能性がある事が示された。

このような準備段階を経た後、Sが日本教育シューズ協議会の足にあった靴を使用して、足にあった靴の効果を確かめる事になった。確かに足にあう靴を履いての歩行・走行は、足への負担が小さく、Sの歩行・走行距離は伸び、歩行・走行頻度は増え、1年間で10kg近い体重の減少に結びついた。本研究では、NPOセルフケア総合研究所が開発したウェアラブル(寸法：40×39×8mm、重量：14g)な3軸加速度とECGの測定装置(M-BIT)を使用して、足にあう靴を履いた場合と足にあわない靴を履いた場合との歩行・走行時のデータを測定し、これまでに提唱して来た方法で速度⁴⁾及び加速度ベクトルの方向や大きさ⁵⁾を求めて、歩行挙動の相違の存在を客観的に確認し、足の負担の相違のメカニズムを考察した。

2. 測定と解析

2-1 靴の選択

足に“合わない靴”としては、Sが当時使用していた「靴A」を使用した。足の大きさを測定した結果では、左足は長さ23.8cm、幅10.4cm、靴のサイズ

1) NPO法人セルフケア総合研究所

2) JES関東事業本部

受付日：2014年2月26日

採択日：2014年3月1日

ならば24.0-F、右足は長さ23.3cm、幅10.5cm、23.5-Gであった。日本教育シューズ協議会の靴サイズシステムの中の24.0Wide (靴B) が一番Sの足の形状に対応していた。足に“合う靴”としては、この「靴B」を使用した。

2-2 M-BIT

M-BITの詳細に関しては既に報告した⁴⁾。本研究では加速度データのみを使用したが、心電測定用の電極を使用して胸部に装着した。加速度のサンプリング周波数は128Hzであった。

2-3 測定

M-BITを胸部中央に装着し、靴A或いはBを履いて、東京大学駒場キャンパスの全天候型400mトラックにて、ゆっくりの歩行から全力のダッシュまで様々な歩行・走行を行った。

2-4 移動速度の推定

M-BITにより体の上下方向、前後方向及び左右方向の3つの方向の加速度波形が得られる。我々は上下方向の加速度をフーリエ解析して、主要な成分の周波数から1歩あたりに要する時間を求め、また、その成分の強度から実験的に求めた経験式で歩幅を推定する事で、移動速度や移動距離を推定する方法を提唱している⁴⁾。本研究でも、この方法を使用して移動速度を求めた。

2-5 加速度ベクトルの方向と大きさ

3軸の加速度データからより詳細な歩行の情報を取り出す為に、前報で、我々は、加速度ベクトルの傾斜角と方位角という概念を、重力と人の動きの合力による加速度にまで拡張し、3軸加速度センサーで測定した加速度ベクトルの傾斜角、方位角及び大きさで平地歩行、階段昇り、階段降りを識別できる事を報告した⁵⁾。本研究でも、この合成加速度ベクトルの傾斜角及び大きさを求め、解析のパラメータとして使用した。

M-BITの垂直方向(垂直方向の加速度検出軸の方向)が鉛直方向と同じ平面(垂直平面)内にある場合に、M-BITの垂直方向と左右方向が成す面(M-BIT面=装着部位の面)が水平面となす角度を傾斜角とした。

加速度の大きさの単位としては、生活に密着したG(重力加速度を1とする単位系)を使用した。

3. 結果と考察

前報で加速度ベクトルから求めた傾斜角とベクトルの大きさは一歩の中で変化するが、歩行・走行状態を表すパラメータとしては、傾斜角は平均値、ベクトルの大きさは最大値が適切である事が示された。それぞれ、「傾斜角平均」と(加速度ベクトル)

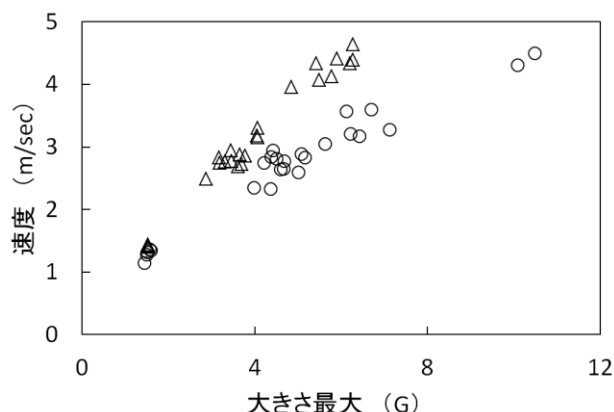


図1 加速度ベクトルの大きさと速度との関係
○：合わない靴の場合、△：合う靴の場合

ルの)「大きさ最大」と名づけられた。

図1に、歩行と走行時における加速度ベクトルの大きさ最大と速度との関係を示した。“合わない靴”を使用した場合のデータは2013年の7月2日、8月12日、14日、18日、11月4日に行った5回の測定の結果である。これらの5回の測定の結果は1つの曲線にまとめられ、被験者と環境とが同じであれば、歩行時・走行時に胸部が受ける加速度ベクトルの大きさと速度との関係には良い再現性があるものと考えられた。また胸部が受けた、歩く或いは走るという動作により発生した加速度が大きければ、体が移動する速度は大きい。測定結果が示した曲線は、その加速度の速度への変換の効率を示すものと考えられた。

図1の“合う靴”の場合のデータは2013年の12月28日と29日、2014年の1月2日と4日に行った4回の測定結果である。やはり1つの曲線にまとめられ、同一条件での測定ならば、再現性があるものと考えられた。

図1に示されているように、合う靴と合わない靴を使用した場合には大きな相違があり、合う靴の結果の方が同じ加速度の大きさで測定された走行速度が大きい事が示された。これは、加速度が実質的な目的である大きな速度を得ることに使用される効率が大きくなっている事を示している。この効率の増加は、足の形状に最適の靴の使用により、足の動きがロス無く地面に伝わるようになった為と考えられる。

図2に、加速度ベクトルの大きさ最大と傾斜角平均との関係を示した。垂直でフラットな壁に装着した場合は90度であり、立位静止の場合は90度付近から体の形状により110度付近になるものと考えられた。速度1m/sec程度、加速度ベクトルの大きさ最大2G以下の歩行の場合は、立位静止の場合と変わらないものと考えられた。

ここで増加している加速度は前進の為のものであるから、加速度の増加とともに傾斜角は小さくなる。合う靴の方が、同じ大きさ最大の値でより小さ

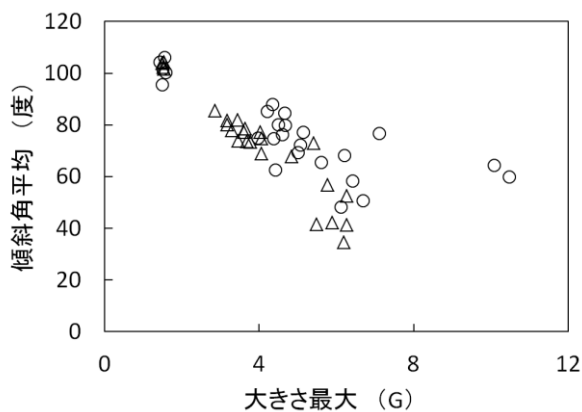


図2 加速度ベクトルの大きさ最大と傾斜角との関係
○：合わない靴の場合、△：合う靴の場合

な傾斜角平均の値を示したのは、合う靴の方が“前進する”という事に関して効率が良く、加速度ベクトルの中で前進方向の加速度の割合が大きい事を示しているものと考えられた。

図3に、合う靴と合わない靴を使用した場合の速度と傾斜角平均の関係を示した。また、図3には比較の為に、前報と同じスポーツエリート的大学生達を彼らの大学のサッカー競技場で歩行・走行させた場合の結果も示した。図3では、Sの合う靴と合わない靴の場合のデータには大きな相違はなく、一方、両者とも大学生達とは大きく相違している。大学生達の方が走行時は、同じ速度の場合には傾斜角が小さい。これは、Sと大学生群とで、走行時の姿勢が大きく異なる事、及び、Sが合う靴と合わない靴を使用した場合とでは走行時の姿勢に大差がない事を示唆する。

4. おわりに

足にあう靴を使用する事により得られた、足の負担の低減は、体が生成する加速度の前進に寄与する効率が增加する為のものである事が確認された。また、その効率の増加は足の加速度が地面に伝えられ

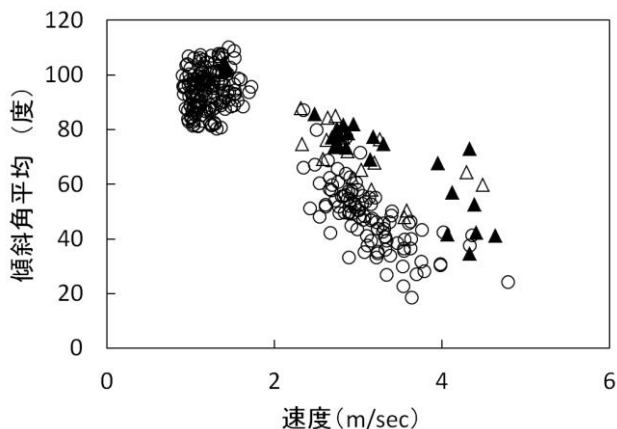


図3 速度と傾斜角との関係
△：合わない靴を使用、▲：合う靴を使用、○：大学生群

る割合が増加した事によるものであり、歩行時の姿勢等の変化によるものでは無い事が示唆された。これらの本格的な確認には、より定量的な加速度データの解析方法の検討や複数被験者による比較測定が必要である。

参考文献

- [1] 足育指導資料作成委員会：「足育」パンフレット、公益財団法人日本学校体育研究連合会、2013年
- [2] 原田碩三：わかりやすい子どもの足とはき物の話、日本教育シューズ協議会、2006年
- [3] 財団法人日本学校保健会：足の健康と靴のしおり、2009年
- [4] 白水重憲、白水陽久：ウォーキングとジョギングのお供に。全面発達の展開 1：117-124, 2011.
- [5] 白水陽久、白水重憲、白水鋭子、片山宗哲、吉田亮一：加速度ベクトルの方向と大きさによる階段昇降と平地歩行の識別。全面発達の展開 3：xx-xx, 2014.