

活動報告

佐久大学による集団健診用足裏測定装置の 開発過程と今後の課題

The Development Process and Challenges of
Saku University Foot Measuring Device
for Health Examination and Screening.

坂江 千寿子^{*1} 杉田 亨^{*2} 染川 功二^{*3}
宮原 香里^{*1} 秋山 賢一^{*3} 堀内 ふき^{*1}

Chizuko Sakae, Toru Sugita, Koji Somekawa,
Kaori Miyahara, Kenichi Akiyama, Fuki Horiuchi

キーワード：足裏測定機器の開発，足の集団健診，足型

Key words : Process of foot measuring device, Health examination and screening on foot,
Foot configuration

I. はじめに

「健康長寿」として知られている佐久地域では、平成26年度に産学官連携による「佐久市足育推進協議会」を発足させて、歩くことや「足」のトラブル予防に焦点をあてた健康づくりに取り組み始めた。本学は、その事務局として足育関係の各種イベントへの派遣対応や、週1回の足育サポートセンターの開所と相談業務の一端を担っており、住民の足の問題解決等に貢献したいと願っている。しかし、多少の外反母趾や扁平足であっても、多くの場合、足の問題は強い痛みが無い限り生命の危険が少ないためか、比較的に見過ごされている。多くの日本人は、体重やウエストの数値は確

認するが、足については、買い替え時に試し履きをした靴のサイズだけで自分の足長と思い込んでいるのではないだろうか。すなわち、靴を履く生活習慣の歴史が浅い日本人の足への関心は低く、自分の足の状態を知るという足の健診の発想が無かったといえる。

幼児期は足のアーチは未形成であるが、趾の変形やトラブルは少ない。しかし永山ら(2005)は、小学生児童1年生～6年生の約400足の静止立位における足部観察により、母趾角が高学年に上がるに従って増加し、浮き趾は全児童中の72.0%にみられ、学年差はなく第5趾に最も多いことを報告している。また、岩瀬ら(2017)は、小学校1年生の足や趾の調査で浮き趾が、男児の66.7%に、女児の82.5

受付日2019年5月15日 受理日2019年9月3日

*1 佐久大学看護学部 Saku University School of Nursing

*2 株式会社システムクラフト SYSTEMCRAFT

*3 佐久大学 Saku University

%に見られたと指摘している。内田(2007)は、20歳代以降の女性の外反母趾・内反小趾などの骨や爪の変形、加齢に伴ってそれらが増大すること、足長や足幅に不釣り合いな靴を履くことは、足囲、開帳角、外反母趾角度等の観点からみて、足や爪の変形、疼痛の原因や転倒の危険性、関節障害の要因になり得ることを報告している。そして、年齢とともに増大する変形予防のために、幅が広過ぎない靴の必要性を指摘していた。内田(2008)は、外反母趾に限らず一般的な靴選びの際に、非荷重位の足の幅に近いサイズが良いと述べている。

そこで、子供時代から自分の足に関心を持ち、成人になってから足のトラブルを起こさないための足の観察と靴の選択ができる習慣が重要と考えた。具体的には、学校で行う身長・体重測定と同様に、成長発達の指標として、足長の変化、足幅の変化、フットプリントの推移などを足の健康手帳として記録する、個人が自分の足に関心に向け、靴の買い替え、足の変形の予防を意識化することを目指す試みである。

現在、足の状態を把握するために用いられている方法は、足長・足囲の計測とインク式のフットプリンターを用いて手作業による足形(以下、フットプリント)の採取と、メジャーによる計測作業である。フットプリントの採取は、海外の専門家による足にトラブルを抱える者のインソール作製のための手技であるが、得られる情報が多いことから、フットケアに関心をもつ日本の専門家にも活用されてきた。

しかし、このプリンターは①片足用のため、インクの塗布、採取面の左右交代を要し、②足周囲の外郭線描画(以下、アウトライン)と母趾・小趾の関節起始部をチェックする必要がある。この作業は熟練者と初心者の差はあるものの、筆者らの測定では、1被験者あたり、フットプリント採取に4分、計測に2分、

約6分程度を要している。また、手書きで被験者の足の外形を描写する動作は、測定者自身の背部と腰部に負担がかかること、手作業のために時間がかかり、足の集団健診用としては進展しにくいものである。また現在、販売されている足の計測機器は、高精度な計測は可能であるが、概して高価であり、また、その重量から手軽に持ち運びすることはできない。また、これらの機器は靴店の店頭で、靴の選定を目的にした足形状測定が主であり、足のトラブル出現の特徴を計測するものではない(図1、図2)。



図1 インク式のフットプリント

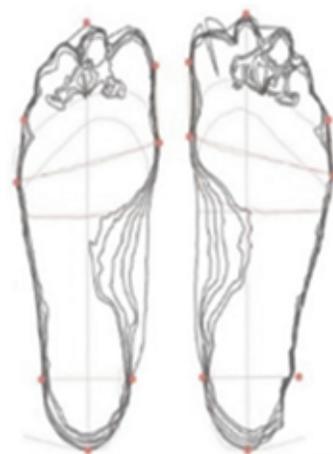


図2 デジタル式のフットプリント
A社モアレ画像

以上から、本学は、小児から成人に至るまで、多くの人々の足の状態を簡便に測定できる集団検診用機器の開発に着手した。目的は、足の成長、変化がわかること、被験者が自身の足形に関心がもてるよう、全国の学校にお

ける集団健診用の安価で簡便に、足長、足幅の測定、足形採取をデータ化できるような機器の開発である。本企画は、2018年(平成29年)6月長野県現場課題解決型福祉機器開発支援事業補助金に申請し採択されて、県からのサポートを受けて試作品の製作に着手した。同時に、平成29年度11月に、本学が申請した「足から始める健康づくり」が文部科学省の研究ブランディング事業に採択され、さらに、平成30年度の長野県元気づくり支援金を得て、台数を増やし健診用として活用を試みるとともに、さらなる改良を重ねている。

II. 機器開発の経過

1. 構想段階では、市販のフラットベッド型スキャナーの改造による機器開発を想定し、人体の重量及び乗り降りの衝撃を支える必要があるため、原稿台のガラス面を強化ガラスで補強し、可搬できる機器を前提とした。しかし、A3サイズのスキャナーは非常に高価であること、また撮像時間がかかり小児を被検者に含むことを考慮して、市販のWEBカメラを使用する方向へ変更し、焦点距離の短い2つのカメラを用いる方法で機構の単純化と高さを抑えるように工夫した。
2. 人体の重量や乗降時の衝撃などの安全性については強化ガラスを使用し、Computer Aided Engineering(CAE)による厚みの算出を行った。これについては、支援機関である長野県工業技術総合センター並びに産業技術総合研究所のこれまでの知見を活用した。最終的に強化ガラスは200kgの荷重に耐えられるよう設計した。工業技術総合センターにおける破壊試験では最大約937kgまで、また200kg-10,000回の荷重試験を終え、耐久性を確保できた。
3. 足裏の圧力分布測定においては、シート状センサは非常に高価であるため、画像データから足裏の圧力分布を推定するアルゴリズム開発を検討した。
4. 試作品の開発経過
 - 1) 第1号から4号機まで
 - 1号機…試作1号として製作
 - 2号機…外光を抑制するためのカバーをブラダンで製作。強度では無く、軽量化を重視し消耗品とした。
 - 3号機…手すりを前面だけでなく横面にも設置し、乗降時の安定性を確保し不安感を軽減するようにした。また照明の設置位置を改良した。
 - 4号機…照明の設置位置と照明カバーを改良した。
 - 2) 測定ソフトウェアの改良点
 - ・撮像時の画像を保存し、机上での測定処理を可能にした。その後、複数の撮像結果を読み込んで順番に処理できるよう改良。
 - ・集計のために、Excelファイルに自動的に出力する機能を付加。
 - ・測定結果の印刷を可能にし、インク節約のため周囲を白抜き印刷へと変更。
 - ・足圧の状態を、①サーモグラフ方式と②青⇒赤へ段階表示を選択できるようにした。
 - ・足圧より左右各足と全体の重心がリアルタイムに表示されるよう機能追加した。
 - 3) 測定値の精度については、インク式フットプリントと比較して改良を重ねている。現在までのピアソンの積率相関係数($P < 0.05$)の結果は、以下の通りである。
 - (1)足長
 - ・2018年6月8日 足長(左) $r = 0.94$
足長(右) $r = 0.95$
($n = 78$)
 - (2)足幅
 - ・2018年6月8日 足幅(左) $r = 0.82$

足幅(右) $r=0.62$
($n=78$)

・2019年2月13日

アルゴリズムを改良した結果

足幅(左) $r=0.83$
足幅(右) $r=0.80$
($n=78$)

(3)母趾角度

・2019年3月31日 母趾角度(左) $r=0.99$
母趾角度(右) $r=0.92$
($n=183$)

(4)小趾角度

・2019年3月31日 小趾角度(左) $r=0.17$
小趾角度(右) $r=0.47$
($n=183$)

上記の小趾角度の問題を解決すべく、イベントで採取した183人のデータを確認・照合した結果、インク式と開発した機器を比較して、小趾角度に差があるデータは撮影画像の小趾側MPライン検出に問題があることが判明した。それらの15名人分を除いて再度分析した結果、2019年4月28日の相関係数は、左 $r=0.95$ 、右 $r=0.99$ を示した($n=168$)。MPラインは足幅の元になるラインでもあるため、精度が上がるようにアルゴリズムの改良を加える予定である。

4) 小学校等へ貸し出しの際に、誰もが担当できる機器の操作マニュアルを作成した。なお、本機器は、2018年7月6日に特許庁

への申請が認められた(特許第6364139号『足裏測定装置』取得)

Ⅲ. 今後の課題

1. あしけんフットプリンターとインク式のフットプリンターの特徴比較

機器開発の経過の概略を述べてきた。開発された機器は足の「健康」と「健診」「研究」を推進する意味で「あしけんフットプリンター」と呼ばれている。1台の製作費は270,000円、操作用PC、A4サイズのカラープリンターの購入を含めて約480,000円であった。インク式は1台5万円以下で購入できる。しかし、本機器のメリットは集団健診を可能にする簡便性であり、機器の立ち上げ準備後、計測の所要時間は1被験者当たり1分程度で測定者自身の腰部への負担を大幅に軽減している。また仲澤他(2015)は、足長足幅の計測手技について、半年程度の熟練者が安定した精度で測定すると述べているが、本機器では小学校のクラス担当教諭がマニュアルに従って操作でき、汎用性が高いといえる。すなわち、集団での活用範囲の拡大が可能になる。また、1回の測定に要する消耗品の少なさ、ゴミ排出量の減少も挙げられる。

現在の試作品を用いて、地域で行われる様々なイベント、例えば「佐久市民の集い」、「ぞっこん!さく市」などで、地域住民や足裏の状態を可視化し、足の健康の関心を高めるためのイベントや妊産婦や小学校児童を対象にしたデータ収集を行ってきた。その過程で浮かび上がってきた課題は以下の通りである。

2. 2019年度内に解決すべき課題

1) 移動直後の機器の起動時の安定性の確保

機器に付けたキャスターで移動は容易だが、道路や床面状況によっては、衝撃が伝わりやすいせいから測定開始直後の起動に不安定さがある。運搬時の衝撃吸収等の工夫が必要であ



赤黄色青色表示と接地無しの白による描写、外形に沿ったアウトラインの自動描出

図3 あしけんフットプリンターのフットプリント

る。

2) あしけんフットプリンターの測定結果の信頼性の確保

信頼性の確保を目的にして以下の調査を実施する。

- ・異なる被験者に対する同一験者内での一致度
- ・同一被験者に対する異なる検者内での一致度

3) 操作マニュアルの改編

集団健診用として機器操作の手技の安定性と確実性を求めたマニュアルを作成したが、設置された場所で誰もが気軽に操作し、きれいな画像撮影ができるように遮光や立位時の方法等を具体的に注意点として盛り込んだ改訂版を作成する。

4) 対象者に応じた機器のデザイン等の改良

小児用機器としては、デザイン性が被験者の関心を高めるためにも重要と考えている。また、幼児から小学校高学年までの体型の変化に応じて可変できる足部遮光カバーの改良は必須であり、昇降台の高さ調整も安全性の担保のために重要である。

5) 集団健診の目的に合致したスクリーニング基準値の設定

(1) 足裏の接地面積(土踏まず)

①扁平足または凹足の判定

足裏の土踏まずの観察は、足のアーチを間接的にみようとする試みである。ただし、4歳以降に土踏まずが形成され始めるというものの、10歳未満の小児ではアーチ未形成の場合もあり、面積や形状を経年的に経過観察できる足の健診とスクリーニングが重要である。

足裏形状の判読には、写真撮影によるモアレ法による足底部立体形状の観察の方法(服部, 1985)のほか、平沢(1985)はフットプリントで判断する基準線を足の内足部接線と外足部接線の交点と第2趾を結んだH-Lineを基に、土踏まずが小指側にあるか否かで扁平足を判

定するH-Line法を開発し、それをを用いた報告がある(斉藤, 十束, 1983; 白井, 渡邊(1991); 西澤(2012))。また、第2趾と踵部の一番奥の点を結んだY-Line(山崎, 2009)は、パソコンでの処理が簡便とされている。一方、非接地面積での割合で幼児のアーチ形成程度を判読する方法(梅村, 1996)も提案されている。また、筆者らのこれまでの判読方法は、踵の最も広い幅と土踏まずの最も狭い幅の比を求めた方法(Staleli L.T., 1987)に近く、接地面積の幅で40%前後が正常形状ではないかと予想している。今後、基準ラインの方法を決定しスクリーニング基準値を設定していく。

一方、凹足については接地の形状でスクリーニングしやすいが、前足部と踵部の負担軽減のインソール調整等、速やかにコメントをフィードバックできる方法が必要である。

②足幅の広がりの変化を示す開帳足

開帳足は、外反母趾の前提にもなる横アーチの低下を推測するため、スクリーニングとしては重要な項目と考えられる。観察としては、フットプリントの土踏まず部分の非接地部分の形状や、足幅の広さや足囲の大きさを目安としている。永山(2006)は実際に、履いている靴の幅で考えると、日本人の足長と足囲の数値で決められるウィズの標準はEサイズとも言われており、EEサイズ以上では開帳足傾向となるとしている。

開帳足について児玉ら(2013)は、開帳足のX線評価法と体表からの測定法の妥当性の検討において、第1第2中足骨角(M1M2)、第1第5中足骨角(M1M5)をX線で撮影し、体表からの測定データと比較した結果、体表からM1M5測定は開帳足の評価に有効であることが示唆されたとしている。また、永山(2006)はM1M5角度の測定値と足囲/足長の比率との相関関係を分析して、女性用の場合のウィズで、EEが足長19.5cm-27.0cmの場合に足幅率が0.436-0.385に該当するというデータを報告し、開帳足をX線撮影なしに推

測できるとしている。本機器においても、足長と足幅を計測した後に、足長に応じた足幅率を設定して開帳足か否かの基準値を設定できるのではないかと考えている。

一方、垂下足については、縦横アーチの崩れによる垂下足が進行すると扁平足に移行するため、早期にインソールによるアーチサポート対策を要する。MPラインの設定と足長の縦軸の明確な描写、判読のため上記①の方法を応用する課題として考えたい。

(2) 指趾の角度判断

① 小趾の内反角度

小趾角度に差があるデータは、撮影画像の小趾側MPライン検出に問題があることが判明したため、最新データでは15人分の不鮮明写真を除外している。小趾は浮指が多く、インク式フットプリントでも正確な描写がしにくいことが多いため、角度の測定自体が不可能なことがある。しかし、インク式プリンターで判読不可能でも、あしけんフットプリンターの映像は小趾側の浮指や角度を確認できる強みがあるため、プリントした結果が不鮮明な場合でも、実写映像を確認してフィードバックしている段階である。今後、撮影画像の小趾側MPライン検出方法そのものについて改善していく予定である。

② 母趾角度

今回、母趾角度においては左右ともにインク式フットプリントの値と0.9以上の相関を示しており、スクリーニングとして用いることが可能と考える。ただし、外反母趾はX線での骨頭の位置や内転状態で医師が確認すべきであり、本機器を用いた外観からの母趾角度の変化として考える。

フットプリントによる外反母趾角の計測の信頼性に関して内田ら(2003)は以下のように述べている。レントゲン撮影による外反母趾角に最も近い相関を示したのは、第1趾側角度による0.83で、靴研式計測による0.81、フットプリントによる0.74であった。また、第

1趾側角度とフットプリントとの相関は0.92を示した。一方、清水ら(2010)は、X線との相関性が高い骨指標を調査し、フットプリント上の外反母趾角と内反小趾角を評価するためには、第1趾側角が内踝後方、第5趾側角が外踝後方を基準点とした線からなる角度を用いることができ、フットプリントは簡易の評価で診断基準の補助的手段に使用できる信頼性の高い評価方法の1つであるとしている。以上のことよりX線撮影を用いることなく、インク式フットプリントとの照合で足趾角度の基準値を設定する予定である。

3. 2019年から2020年度に取り組むべき課題

- ・安全性・安定性の確保と機器利用場所の拡大
- ・多数の被験者のためのデータ管理、測定者のための操作および判定結果フィードバック方法のマニュアル作成
- ・本機器の生産および量産化の探索、担当者および販路等の検討
- ・機器の使用ニーズ調査および海外展開
足育サポートセンターで足育の説明とフットプリント採取を経験した海外研修生は、足の健康と機器に関心を持って帰国している。研修等で来訪されているタイ、ブラジルなどでの普及についての可能性を考えたい。

IV. まとめ

ぴったり合う靴を履くことの必要性について小林(2010)は、「フィットする靴を履いた場合、ヒールカウンターの密着性がより高くなることで、距骨下関節の回内外の余分な動きを制御して、安定した後足部のアライメントが保証されて立脚時のバランスが改善する」また、「きつい靴を履くことは足趾変形の原因になるが、それ以上に、ぶかぶかの靴を履いていることは足サイズと靴サイズの不具

合を生じ、靴内で足が前滑りして外反母趾角が増大する理由となる」と報告している。これらの足と靴の関係は、児童の捻挫や外反母趾の発生を予防するためにも、成長していく子供たちや保護者、教育関係者に必要な基本知識である。さらにそれらの知識に基づいた靴の正しい選択と靴の履き方の習慣化が重要となる。そのための前提は、足の状態に関心を持つこと、フットプリントによる正しい足の状態把握、経年変化による異常の早期発見であり、その結果で足のトラブル予防に繋がっていくことを、国内の各地域に定着・普及できるような情報発信を目指したい。

産学官の連携によって可能となった本機器開発であるが、今後も関係者のご助言をいただきながら試作品の段階での改良を重ねて、測定結果の信頼性を高めて製品化を試みる予定である。

謝辞

本機器開発に際して、長野県産業労働部ものづくり振興課関係各位、支援機関である工業技術総合センター石黒周司部長、北沢俊二部門長、スタート時にご参加いただいた産業技術総合研究所関係各位、また、機器開発の着想および改良の過程で多くのご助言を頂いたベーレ・ルッツ客員教授、ベーレ操氏、宮地文子元佐久大学副学長、フットケアサロン足美人代表小野澤清子氏に深謝申し上げます。また、各イベントでの計測にご協力いただいた方々にもお礼申し上げます。

また、本機器の開発改良費用として長野県および文部科学省からの補助金をいただきましたことに感謝申し上げます。

参考文献

服部, 恒明(1985). モアレ法による足底部立体形状の観察. 茨城大学教養部紀要(17):

269-277.

平沢彌一郎(1985). 保健体育—新しい人体論—, 日本放送出版協会, 東京.

岩瀬弘明, 村田伸, 弓岡まみ, 安彦鉄平, 中野英樹, 松井宏彰(2017). 小学1年生の足部および足趾の形態に関する調査報告. ヘルスプロモーション理学療法研究, 7(3), 115-119.

小林文子, 東佳徳, 金森輝光, 久保実, 内田俊彦(2011). 靴の適合性が歩行に与える影響, 靴の医学, 24(2), 45-50.

児玉慎吾, 岩本久生, 金澤浩, 白川泰山(2013). 開帳足のX線評価法と体表からの測定法の妥当性の検討理学療法学40巻大会特別号3, O-A基礎-151.05.

仲澤一也, 吉田伸太郎, 鴫田拓也, 佐々木克則, 足サイズ計測法の検者内および検者間信頼性(2015). 小林匠. 靴の医学28(2), 10-13.

永山理恵, 横尾浩, 大山貴裕, 内田俊彦, 佐々木克則(2005). 小学生の足型計測(第2報). 靴の医学, 19(2), 117-120.

永山理恵, 横尾浩, 内田俊彦, 佐々木克則.(2006). 開張足の判定に関する検討 フットプリントおよび足計測から靴の医学, 20(2), 64-68.

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.

齊藤光市, 十束支朗(1983)足の裏の計測. 日本看護研究学会雑誌, 6(3)35-41. 清水新悟, 前田健博, 加藤幸久, 佐々木克則, 内田俊彦(2010). フットプリント上での外反母趾角と内反小趾角の評価検討. 日本足の外科学会雑誌, 31(2), 35-39.

Staheli, L. T., Chew, D. E., Corbett, M.(1987): The longitudinal arch.: A survey of eight hundred and eighty-two feet in normal children and adults. Journal of Bone and Joint Surgery-Series A, 69(3). 426-428.

内田俊彦(2007). 子供の足の現状と考慮した靴の開発. 靴の医学, 21(2), 104-107.

内田俊彦, 佐々木克則, 野口昌彦, 庄野和 (2008). 外反母趾の足サイズ. 靴の医学, 22 (2), 51.

内田俊彦, 藤原和朗, 高岡淳, 佐々木克則, 横尾浩 (2003). 外反母趾角の計測靴の医学, 16 (2), 47-50.

梅村元子, 佐藤雅人, 佐藤栄作, 岩橋正樹 (1996). 幼児の足底アーチの発達と靴の調査—3歳児を中心に—, 靴の医学, 9, 86-88.

白井永男, 渡邊功 (1991). チェコスロバキアの人々の接地足底面の形状について. 日本体育学会第42回大会号, 570.

山崎純男, 西澤昭 (2009). 幼児の足部の発育・発達について (IV), 長崎女子短期大学紀要, 33, 65-82.

【参考資料 所要時間】

	あしけん	時間	インク式	時間
足裏形状測定 準備	機器の設置 電源 PC立ち上げ、 測定画面の切り替え 被験者のID、性別等入力		プリンター面のインクをローラーで均一にならず 測定用紙を挟む	
測定中	教化ガラス台の上に、上がり、両足立位荷重位、 PCで、撮影画面中の足の位置を確認する 撮影ボタンを押す 終了後に、台から後ろ向きに降りる	1分	座位で片足をフットプリンターへ載せて、立位となり、両足立位荷重位 片足を測定後に座位に戻る プリンターを外す インク面の跡をローラーで消しインクをならして、反対足用の用紙を裏返す 座位で逆側の片足をフットプリンターへ載せて、立位となり、両足立位荷重位 片側の測定 座位へ戻る プリンターを外す	3分 44秒
足長 足幅 母趾角度 小趾角度	上記測定中に自動計測		座位から両足立位荷重位へ 片足ずつスケールで計測 両足立位荷重位のまま片足ずつ計測 両足立位荷重位のまま角度計で計測 (フットプリント用紙での計測) 両足立位荷重位のまま角度計で計測 (またはフットプリント用紙での計測)	2分 41秒