

---

# オート・フィット・インソール

—各個人の足底形状に自ら適合していく中底の開発—

慶應義塾大学医学部 総合医科学研究センター・整形外科  
教授 井口 傑

---

## 靴の歴史

靴が何時からできたのかは謎である。現存する最古の靴は、五千年以上も昔にアルプスの氷河に埋まったアイスマンと言うミイラが履いていた、モカシン靴であろう。靴の中には枯れ草が詰め込まれ、氷から足を護る防寒靴として使われた。一方で、エジプトの神殿の壁画にはサンダル職人が描かれ、金のサンダルまで残っている。まさか、日常、金のサンダルを履いたとは思えず、王様の富や権力の象徴であろう。

中世のヨーロッパの王様や女王様は、とてつもなく長い靴や高い靴を履いて、自分の富や権威、美しさを誇った。靴は、漁師や農夫の木靴、狩人や牧童の防寒靴、兵士のサンダルなど、足を護り能力を向上させる一方で、シンデレラ姫のガラスの靴ではないが、富と権威、美の象徴として足を苦しめてきた歴史を持つ。

欧米でも、一般の市民が革靴を日常的に履けるようになったのは産業革命以降で、数百年の歴史に過ぎない。また、日本での靴の歴史は、明治維新後、近代陸軍と共に始まったと言え、150年にも満たない。特に、一般の市民が革靴を履くようになったのは戦後である。

## 長寿化社会

現在の日本人女性の平均寿命は80歳を越

えている。しかし、お寺の過去帳の研究では江戸時代の平均寿命は30歳前後で、40歳を越えたのは明治時代である。戦後間もなくの平均寿命は、50歳に過ぎないから、この60年間に30歳も寿命が延びたことになる。

何が長寿をもたらしたかは難しい問題であるが、長寿大国に共通するのは栄養のある食べ物が誰にでも豊富に行き渡っていることである。十分な栄養が得られず、水や燃料のために長時間歩かなければならない発展途上国の平均寿命は、今でも40歳を越えていない。

## 足の寿命

しかし、この1世紀の間に体の保証期間が急に延びた訳ではない。50歳を迎えると腰痛、肩凝り、五十肩、足底腱膜炎<sup>しょうこつ</sup>、踵骨<sup>きょく</sup>棘<sup>きょく</sup>など、体のあちこちが故障してくる。故障の箇所を見てみると、歴史の浅い直立二足歩行で、無理を重ねている部位である。確かに、自動車、電車と、人間は歩かなくてもより早く、より遠くに移動できるようになった。しかし、江戸時代に比べて足に体重を掛け、背骨を直立させている時間が半分になった訳ではない。江戸時代の生活圏を考えると、足や背骨に対する負担は増えこそあれ減ってはいない。だから、無理を強いられている足は、急速な長寿化に追いつけず、人生の半ばで潰れてしまう事に

なった。

## 足とアーチ

人間の足の特徴はそのアーチ構造にある。人間の足は26個の骨が立体的に組み合わさって縦横のアーチを形成している。踵と母趾と小趾の3点にそれぞれ柱を立て、舟状骨の部位で縛り合わせたインディアンのテントのような構造である。母趾と踵の間が内側縦アーチ、小趾と踵の間が外側縦アーチ、母趾と小趾の間が横アーチである。柱の根本はロープで結ばれ、弓に張った弦のようにアーチを強化している。このロープが、足底腱膜（筋膜）や趾屈筋である。腱膜や靭帯は伸び縮みせず正にロープのように一定の力で働くが、筋肉は収縮すれば弦を絞り、弛緩すれば弦を緩めて、弓の剛性を自在に変化させる。

## 歩行とアーチ

足で地面に接地する時に一直線では地面の凹凸、傾斜に足を合わせることができない。足底の接地時には、弦に当たる筋肉を弛緩させ、アーチを軟らかくし、足底を地面にフィットさせる必要がある。しかし、踵が離床すれば、全体重を前足部で支えねばならず、体重に負けて足が曲がらないように、筋肉が緊張し弓を絞ってアーチを硬く強固にする。これを1日1万回以上繰り返すのであるから、弦や弓に当たる筋肉や骨格は、相当の負担が強られる。

## 保証期間の切れた足

体は使えば強く丈夫になり、使わなければ弱く壊れやすくなる。だから、裸足の時代には、今より丈夫な足に育ったはずである。しかし、そんな鍛えられた足でも、40歳にもなると体全体と共に寿命が尽き、足だけが長持ちすることはなかった。

現在の日本の高齢者は、子供の時には下駄と裸足で鍛え、成人に達してからは靴と車で楽をした世代である。靴を途中から履いたと言う点を差し引いても、足の寿命には有利な世代だと思われる。

ところが、10年ほど前から、中年以降に発生する扁平足、外反母趾、開張足がかえって増えてきたような気がする。扁平足障害は思春期、外反母趾、開張足は20歳代からと思ってきたのが、50歳過ぎてから新たに発症する人が多くなっている。後脛骨筋腱機能不全症（PTTD）と言う耳慣れない病気も増え、扁平足、開張足、外反母趾が揃った上に踵骨外反まで加わり、3本の柱のテントが斜めに潰れたような変形を起こし、足の三次元構造が破綻している。



写真1：後脛骨筋腱機能不全

左踵が外反し、趾がたくさん見える (Too many toes sign)

## 足と寿命のアンバランス

老人は足が遅く、老眼で、耳が遠く、力が弱いので、自然界では食物が得られなかったり、逆に食べられてしまったりして、生きてはいけない。逆を言えば、機能の保証期間が切れれば、寿命も尽きる訳で、自然界では老化は問題にならない。しかし、産業革命を境に食料は豊富になり、生活環境も改善したので、寿命は急に延びて2倍にも達した。ところが、体の保証期間は寿命の半ばで切れてしまい、老化が病気と捉

えられるほど深刻な問題になった。足もその例外ではなく、直立二足歩行に欠くことのできない足のアーチ構造が、まだ歩かなければならない間に崩れ始めている。

### 足を長持ちさせるには

足を長持ちさせるには、丈夫な足を育て、長く丁寧に使うことが大切である。本来、人間の足も、野山を駆け回り、長距離歩行し、長時間立っている能力を秘めている。しかし、古代人の骨格は、丈夫に育った足も、過激に使えば40年も持たないことを教えている。

生物は、刺激が適切であれば発達し、過少、過大であれば衰弱する。足で言えば、歩かないと足は弱くなり、歩けば丈夫に成る。だから、細く長く使うと言っても、歩いたり走ったりして足を刺激し続ける必要がある。刺激が過剰だと壊れるが、現状から言えば、運動不足の方が問題で、運動し過ぎが問題になることはない。現代人を考えれば、靴に護られ成長したひ弱な足も、そのまま、自動車や電車に助けられ、細く長く使われて、自然界の人間よりずっと長く2本の足で歩いている。

### 団塊の世代

近年、足に関して、何が変わったかと言えば、靴を履くようになったことである。今、団塊の世代が定年を迎えつつあるが、この世代は足に関して特別な世代と言える。

現在60歳の人を考えると、小学校の半ばまでは下駄を履いていた人が少なくない。足の刺激は十分であり、足も身長も伸びた世代である。大人になってからは、靴も容易に手に入り、交通機関も発達して足を酷使する必要はなくなった。丈夫に育てて、細く長く使うという意味からは、理想の時

代であったとも言える。しかし、その世代にも、足に障害を訴える人が急増している。

一方で、それ以降の世代を考えれば、歩き始めから靴を履いて育っている。その上、遊びの変化、都市化、自動車の普及で、成長期の足への刺激は激減しており、団塊の世代ほど足が丈夫に育ってはいない。成長後の足の生活には両者にさほどの差は無いが、江戸や明治の時代に比べてみて、負担が半減した訳でもない。

### 足の強化

足の老化はアーチの破綻に顕著に現れるが、筋力の低下と共に、靭帯や関節包の老化、変性による弛緩が大きく関与している。これを防止するためは、一番には筋力強化が必要であるが、靭帯の弛緩にも対処せねばならない。しかし、衰えた筋力は訓練によってある程度、回復が可能であるが、残念なことに靭帯は一度弛緩してしまうと運動や訓練によってその緊張を取り戻すことは出来ない。従って、足の保証期間を延ばすためには、靭帯を弛緩させないように、足のアーチを破綻させないように予防するしか手はない。

### 足底板

整形外科では、足のアーチを支えるのに、足底（挿）板（インソール）を使用する。足底板は、足の裏に敷く装具で、靴の中に挿入するので挿板、靴の中敷きに相当するのでインソールとも言う。構造が簡単なので、複雑な装具に比べて効果を過小評価されたり、安易に処方されたりする傾向がある。しかし、足底板で作用する力は、体重の反力で体重に等しいから、バネやゴムベルトの力に比べて作用する力は強く、効果も大きい。逆に、効果が大きい分だけ、副作用も強い。事実、足底板が痛くて着けて

いない、かえって症状が悪化したと言う患者さんが少なくない。

## 市販靴と足底板

発育期には裸足や下駄で過ごし、丈夫なアーチを形成することができ、その後、中年期になるまで靴に護られてきた団塊の世代でも、アーチの低下を免れていない。いわんや、発育期から靴に護られ、走り回る機会に恵まれなかった世代は、より早期に、より酷い<sup>ひど</sup>アーチの低下を起こす可能性が危惧される。

これを予防するには、各人に適合させたアーチサポートを作ればよいが、経費、時間、人手の何れから見ても不可能である。と言って、アーチサポートの効果は全体重に匹敵するほど強いから、合わないアーチサポートの副作用は目を覆うものであり、市販靴に一律のアーチサポートを組み込むのは危険である。

医療用足底板のごく一般的な目的は足底圧の分散均等化である。図1の①は床に踵を着いた状態で、圧は踵に集中している。②はスポンジのような軟らかい材質の平らな足底板に荷重した状態で、踵と母趾球部の圧集中がある。③は足底の形状に合わせて成型した足底板で、圧集中は軽減しているが、なお残存している。④は義肢装具士が経験と勘に基づいて凹部、凸部を強調し、圧の集中を排除した物である。アーチを維持するためには凸部を更に強調し、凹部の強調を手加減するわけだが、医師と義肢装具士、患者の3者が協力して試行錯誤を重ねたとしても、難しい。

従って、現在、軟質の低反発性材料やゲル状材料で足の形に合わせるインソールや、軟らかい形だけのアーチサポートを組み込んだ靴が多く市販されているが、アーチを支える効果があり、副作用が無い市販

靴は皆無である。

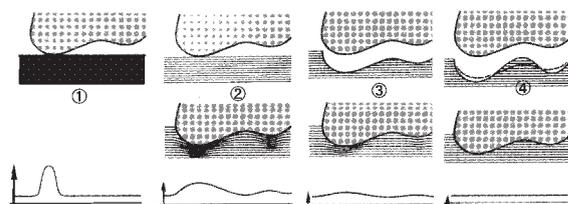


図1：足底板の形状と足底圧の変化の関係

①から④に向けて足底圧は最小化、平均化される

## オート・フィット・インソールの開発

国民の健康な老後を支えるアーチを保つためには、各人に適合し、アーチを支える効果を保持したまま、市販靴に使用しても危険が無いアーチサポートを開発せねばならない。同時に、医療用のように数万円もの高額な費用は掛けられない。そのために、発想を転換して、足の形に合わせた足底板を作るのではなく、足の形に合っていく足底板を開発するしかない。これがオート・フィット・インソールの始まりである。

## オート・フィット・インソールの材質

まずは、足の形に合っていく材質を探すことになった。トリシャムと言う弾力性のないフォームラバーのような足形採型の道具があり、足で荷重すると雪を踏みつけたように一気に足の形に凹み、そのままの形になる。このような材質で作れば、荷重には抵抗せず潰れてしまうから、足にピッタリの適合性があり、危険性もない。しかし、これでは潰れていくアーチを支えて保持する効果もない。反対に、現在、市販靴に使われているような低反発性材料やゲル状材料では、足の形にあっても、アーチを支える力を維持、コントロールすることは出来ない。勿論、硬い材質で作ればアーチを支える力は得られるが、潰れて足の形に合うことはない。従って、ある程度まで足の荷

重に応じて潰れて足の形にフィットして、ある程度以上は潰れずに荷重を支えてくれる材質が必要となる。そんな都合の良い材料があるだろうか、ある程度と言ってもどの程度なのか見当も付かない。

困った、困ったと考えあぐねながら、クッキーの梱包に使われていたエアークッキング材をプチプチと潰していた。そこで閃いたのが、この緩衝材の利用である。ポリエチレンで作られたエアークセルは、ある圧力までは荷重に耐えて弾性を保つが、それを越えるとプチッと潰れて高さを急減し弾性を失う。これを何層にも重ねて足底板を作れば、足底圧に応じて高さを減じるから、自動的に足底に適合した足底板が出来上がる。

踵や母趾球、小趾球などの突出部や、踏み替えし時の趾尖部では圧が高いから、急速にエアークセルは潰れて、それぞれの部位に適合した形状となる。それと同時に、剛性が上がって、しっかりと足の力を靴に伝えることが出来る。一方、凹部であるアーチの頂点では、圧力は小さく、エアークセルは潰れず、高さは保たれ、弾性も残る。しかし、凸部が沈み込むにつれて、凹部が足底板に接触して圧力がかかるようになれば、圧力に応じてエアークセルの一部が潰れ高さを減じ、足底板はアーチに適合した形状となる。こうして、足裏全体が足底板に接触するようになれば凸部の圧力は減少し、最後には凸部と凹部の圧力が均衡して沈み込みも止まる。足底板の高さ以上には沈み込みは起こらないので、基盤の厚さを調節し、凸部と凹部の圧力が均衡する手前でプロセスを止め、凸部と凹部の圧を変えることが出来る。さらに、初期の厚みを部分的に変えれば、沈み込みが終了した時点での、各々の部位の剛性と弾性を変えることが出来る。

## 産学協同

マイクロ・エアークセルから成る薄層を、最終沈降時に足底形状に適合し、かつ希望する圧、弾性、剛性の分布が得られるように積層して足底板を作る。原理的にはこれで全てであるが、実際に作るとなれば、話は全く別である。まずは、材質、エアークセルの大きさ、壁の厚さ、一層の厚みを決めて、基本となる材質を選択せねばならない。ついで、基盤と、アーチサポートや中足骨パッドに当たる凹部、踵、母趾球部、小趾球部、趾尖部の凸部の厚みの初期値を決めなければならない。その上で、足底板のどの部分を厚くするかデザインが必要となる。

それにはまず、それだけの厚みの足底板を入れ、最終沈降時にも靴としての適合性を維持できるベースとなる実験用の靴が必要である。そこで、このオート・フィット・インソールの共同開発を、靴のメーカーに依頼した。ゴム製品で薄膜の技術を持つ「オカモト」と靴を自社製造している「ユニオン」という会社である。

## 健常者と足底板

健常の足の人々が、足底板を付けて日常生活した場合に、どう感じるかは不明である。そこで、5名の健常男性の足底板を義肢装具士に依頼して作成した。勿論、健常者であるから、ギプスで採型し通常に荷重した形のままで作製した。中敷きを取り外した靴に装着して3か月間、通常の仕事勤務をしてもらい、装着感、副作用の有無などを検討した。「足にピッタリする」、「足に密着感がある」、「歩きやすい」、「楽だ」などの効果がある一方で、「蒸れやすい」「べとべと」と言う苦情があった。足底の形状に適合し、ピタッと密着することは、蒸れと表裏一体であった。医療用の足底板では

蒸れるほど密着性が良いのだと一蹴してきた苦情も、市販靴に組み込むとすると致命的な欠陥に成りかねず、スタート前から改善が望まれる矛盾点となった。しかし、当初の目的であるアーチの支持は健常者にも受け入れられるものと結論できた。

### 実験 その1

次に、基盤を設計すめのために、数種類の発泡ポリエチレンの薄層を数枚積層して各種の足底板を作り、1名の健常者に履かせ、直後から1時間、3時間、6時間、12時間、1日の時点で、踵、母趾球、小趾球部分の厚さを測定した。その後は毎日測定し、全ての点の測定値が変わらなくなるまで続けた。

### 実験 その2

4日以内に、全ての部位の厚みが定常状態に成る組合せを選択し、その足底板を10名の健常者に履かせて、同様の計測を行った。その結果、全員で1日から4日以内に定常状態になる事が確認できた。同時に、土踏まずと、第2、第3中足骨骨幹部の圧がかからなかった部分の位置と形状を記録した。

### 実験 その3

このデータを基に大まかなアーチサポートと中足骨パッドの位置と二次元形状、大きさを決定した。追加層は各層が5mmずつ小さくなるように等高線状に作製し、最上層の短径が1cmになるまで積み上げた。こうして作製した足底板を50名の健常者に1か月間、履かせて同様の計測を行うと共に、各時点での履き心地、アーチサポート、中足骨パッド部分の圧迫の度合いを調査した。

その結果、1名のみが趾尖部の圧迫のた

めに痛みを訴え3日間で脱落したが、他の49名は1か月履き続けることが出来ないような副作用はなかった。脱落例は靴のサイズの選択の誤りで、足底板を入れた靴が小さすぎたためと判明し、後日、サイズを変更した結果、痛みなく履くことが可能であった。履き心地に関しては、装具士の作製した足底板装用時と同様で、「足にピッタリする」、「足に密着感がある」、「歩きやすい」、「楽だ」などが好評で、「蒸れやすい」、「べとっとする」と言うのが悪評であった。アーチサポート、中足骨パッド部の圧迫に関しては、最初の1週間ではほとんどの例で感じると答え、履き心地に関しては良い、悪い、どちらでもないがほぼ同数であったが、1か月後には大半で気にならないと答えていた。



写真2：本実験用足底板

土踏まずと中足骨中央部に積層した膨隆部



写真3：1か月試用後の足底板

## 市販靴の作製

以上の結果から、プロトタイプの足底板の足に対する適合性は満足できるものであった。1週間程度は違和感が残る例もあるが、「蒸れ感」以外のさしたる副作用も認められないため、アーチの潰れを予防する市販靴を作製することにした。

しかし、医療用の靴のように、蒸れるくらいフィットしていると我慢させる訳にもいかず、表面材を変え、中底との間に通気層を作ったため、結局はラストから作り直すことになった。そして、踵から足先までの中底を新開発した機能優先の靴をオカモトからドクター・アッシー・プラスの名前で作製、市販した。また、これだけの足底板を組み込むとすればスマートなデザインは無理なので、踵から後半部分だけを新開発の中底にしたデザイン優先の靴をユニオン・ロイヤルからリフレッシュの名前で作製、市販した。



写真4：ドクター・アッシー・プラス  
全中底にオート・フィット・インソール



写真5：マレリー・リフレッシュ  
後半部分にのみオート・フィット・インソールを装着

患者さんからの評価は上々で喜んでいるが、足に訴えない人の評価はどうか、気になるところである。薬の開発であれば、10年20年と時間を掛け、開発費も莫大な物になるが、市販靴の開発では時間も限られ、費用もメーカーの厚意にすぎない。米国では高齢者の運動不足、カルシウム不足が骨密度の低下、骨粗鬆症を招き、転倒、大腿骨頸部骨折、寝たきり老人と進んで、莫大な国家的負担となることから、国家的規模で高齢者の歩行能力の維持に努めている。足底腱膜炎一つとっても、数百万ドルの研究費を投じて、その防止に努力している。しかし、我が国では、靴の健康に対する影響の医学的研究は皆無に近く、靴の開発の動機は値段とファッションに限られている。医薬品と市販靴を同レベルで議論するのは難しいが、将来の日本人の足を支える靴を開発していく必要がある。

## 関連URL

井口 傑

<http://web.sc.itc.keio.ac.jp/~inokuchi/>

日本靴医学会

<http://www.kutsuigaku.com/>

日本足の外科学会

<http://www.jssf.jp/>