



《第62回》日常歩容解析技術： 足元からヘルシーライフの未来へ

黄 晨 暉

1. はじめに

私は幼いころから医療従事者であった家族の影響を受け、健康や医療技術に興味をもってきました。中国の工科大学で光工学を専攻し、卒業後、工学と医学の融合分野を研究したく、日本の大学院で医工学の博士号を取得しました。その後、日本電気株式会社に入社し、ヘルシーライフの未来に貢献したいという思いで、日常生活における歩容、すなわち歩き方の計測および解析 AI 技術の研究開発に携わっています。

人間は二足歩行が進化して以降、歩行は生命において最も重要な活動の一つとなりました。近年、歩行速度は第六のバイタルサイン¹⁾とも呼ばれており、人間の寿命との関連性も指摘されています²⁾。健康寿命を延ばすためには、日々の歩行が重要です。高齢者の身体機能検査では、歩行関連の検査項目がありますが、これは年に一度程度の頻度で行われているに過ぎません。歩行計測・解析がヘルシーライフに貢献するためには、日常生活での持続的なモニタリングが必要であると考えており、その実現に向けわれわれは3つのステップでアプローチを進めています。

2. [Step-1] 長期日常歩容計測可能なウェアラブルデバイスの実現

現在、さまざまなタイプのウェアラブルデバイスが開発されており、歩行計測が可能になっています。リストバンド式、ベルト式、ペンダント式、スマートフォン、足首装着式、靴クリップ式などのタイプがありますが、日常モニタリングにはユーザーの日々の努力が必要で、健康に対して高い関心がない人の場合、長期的な日常モニタリングの継続は困難です。この壁を乗り越えるためには、装着負担とお手入れ（充電、スマートデバイス

操作など）をできるだけ軽減する必要があると考え、当研究グループは新しいタイプのウェアラブルデバイス「in-shoe モーションセンサ」（以下、IMS）を提案しました（図 1）³⁾。靴は毎日履くものであるため、IMS は靴のインソールの土踏まずの位置に取り付け可能となるよう、小型化と軽量化を図りました。また当グループは 3D-ZUPT³⁾ というアルゴリズムをセンサのマイクロコンピュータに実装し、歩行時にセンサ内で自動的にフットモーションの波形を一步ずつ切り出して歩行速度や歩幅などの時空間的な歩行パラメータを計算。生データを収集・送信することなく、その計算結果だけをスマートフォンなどの端末に送信することで、通信による電力消費を大幅に抑えることに成功しました。また、センサを安定した歩行の時のみ動作するように設計することで無駄な電力消費を極限まで抑え、1日3回程度の歩行計測を1年間以上、充電なしで行うことができるようになりました。IMS はこれらの仕組みにより、場所や時間の制限を受けず、ユーザーが気づかないうちに自然な歩行を毎日一年間以上モニタリングできるようになり、2020年、弊社は本センサのサービス提供を開始しました。

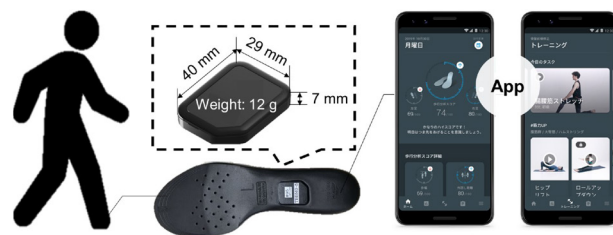


図 1 in-shoe モーションセンサとそのスマートフォンアプリのイメージ図

3. [Step-2] IMS を用いた身体機能推定の実現

通常の歩行計測アプリケーションは、歩数や歩行速度、ケーデンスなど、人間が簡単に理解できる指標にしか注目していません。しかし、健康維持のためには、単なる「歩行」ではなく、より詳細な歩く姿「歩容」の計測が必要であり、従来の情報量ではまだ不十分です。

歩行運動は、全身がバランスよく協働している結果であり、下肢の骨格筋肉が関わっているため、歩容は骨格筋肉の状態を反映しています。スポーツカーと軽トラックが同じ 60 km/h で走っていても、加速や減速などの運転の細かな特徴を見ることで区別がつくように、歩容も加減速の仕方や安定感などの細かな特徴を見ることで、歩行者の身体機能を推定・予測することができます。たとえば、一歩の中には、踵が接地する直前に膝を伸ばす動作があり、この動作は大腿四頭筋の活動と関連があるため、このタイミングの歩行動作を分析することで、大腿四頭筋の状態を窺うことができます。

私は、前述のようなバイオメカニクスの知識と数理分析の手法を組み合わせ、一歩の歩容波形から特徴量の設計と選択ができるアルゴリズムを開発しました⁴⁾。このアルゴリズムを使用することで、IMS で計測した 1 周期の歩行だけで、握力やバランス能力、歩行能力などを推定することができます⁵⁾⁻⁷⁾。設計した特徴量(図 2)は、歩行速度のように簡単に理解できるものではありませんが、これらの特徴量を使用して軽量な線形重回帰モデルを簡略化することで、高精度で、個人差に対してもロバスト性が高い推定が可能です。たとえば、握力モデルの精度誤差は、男性の場合 2.88 kg、女性の場合 2.57 kg であり、どちらも実用レベルの精度誤差に達しています。また、軽量化したモデルは省電力機能付きの IMS に実装することが適しており、日常歩行を計測することで、日々の身体機能の長期モニタリングを実現しました。

4. [Step-3] IMS を用いたリスク推定の実現

現在、高齢者の健康寿命延伸において、フレイルと転倒の 2 つの要素が脅威とされています。フレイルは加齢に伴い心身が老化してしまい、放置すると介護が必要な状態に至るものであり、転倒は傷害や命を脅かす危険性があるものです。早期のフィジカルトレーニングなどで介入することで、フレイルや転倒リスクを低減できます。そのために、計測によりリスク低減のための行動に移ることが不可欠だと考えています。

そこで、私は身体機能推定技術をベースにして、IMS を使ったリスク推定技術の研究開発を進めました。定量化したリスクを日々のモニタリングで可視化することにより、高齢者のフレイルと転倒予防のための行動変容を

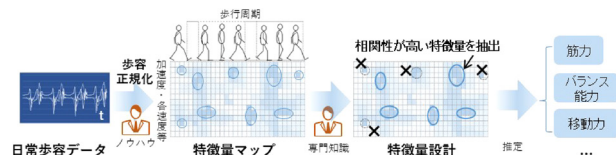


図 2 日常歩容データを用いた身体機能推定アルゴリズムのイメージ図

促進すると考えています。具体的には、フレイルは握力と歩行速度で、転倒リスクは歩行速度、バランス能力、筋力、移動力などで評価されます。現在は、IMS を使った握力推定技術により日常歩行だけでフレイルリスクの推定が実現しました⁵⁾。今後は、転倒リスクの推定技術も順次開発予定です。さらに将来的に、大規模な言語モデルなどの最新の AI 技術を用いて、リスクと行動をわかりやすく伝える技術を研究開発し、高齢者の更なる行動変容を起し、ヘルシーライフの未来へ繋げていきたいと考えています。

(2023 年 11 月 30 日受付)

参考文献

- 1) S. Fritz *et al.*: White Paper: Walking Speed: The Sixth Vital Sign, *J. Geriatr. Phys. Ther.*, **32**-2, 2/5 (2009)
- 2) S. Studenski *et al.*: Gait Speed and Survival in Older Adults, *JAMA*, **305**-1, 50/58 (2011)
- 3) K. Fukushi, *et al.*: On-Line Algorithms of Stride-Parameter Estimation for In-Shoe Motion-Sensor System, *IEEE Sens. J.*, **22**-10, 9636/9648 (2022)
- 4) C. Huang *et al.*: Feature Selection, Construction, and Validation of a Lightweight Model for Foot Function Assessment During Gait With In-Shoe Motion Sensors, *IEEE Sens. J.*, **23**-8, 8839/8855 (2023)
- 5) C. Huang *et al.*: Healthcare Application of In-Shoe Motion Sensor for Older Adults: Frailty Assessment Using Foot Motion during Gait, *Sensors*, **23**-12, 5446 (2023)
- 6) C. Huang *et al.*: Assessment Method of Balance Ability of Older Adults Using an In-Shoe Motion Sensor, in *2022 IEEE Biomedical Circuits and Systems Conference (BioCAS)*, 448/452 (2022)
- 7) C. Huang *et al.*: Constructing and Testing a Lightweight Model of Converting Single Stride of In-Shoe Motion Sensor-Measured Foot Motion to TUG-Represented Mobility, *IEEE Sens. Lett.*, 1/4 (2023)

[著者紹介]

こう 黄 じん 農 き 暉 君

2009 年中国のハルビン工業大学工学部光工学科卒業。2015 年東北大学大学院医工学研究科博士課程修了。同年日本電気株式会社に入社。特別研究員、現在歩容計測、歩容解析 AI の研究に従事(医工学博士)。

E-mail: chenhuai.huang@nec.com

所属：日本電気株式会社バイオメトリクス研究所
千葉県我孫子市日の出 1131