

## 研究タイトル：「スマート杖の開発と高齢者の地域活動参加モデルの構築」

代表研究者：藤田 浩二（東京医科歯科大学大学院 医歯学総合研究科  
運動器機能形態学講座 講師）

### 1. 背景

超高齢化社会を迎え、今後さらなる高齢者増加が確実で高齢者率が上昇していく我が国では、高齢者が自ら積極的に運動参加し、地域で健康に暮らすモデルの構築が必須である。加齢や変形性疾患は筋力やバランス能力、空間認知能力低下につながり、それに伴って高齢者の歩行は不安定になり易転倒となる。さらに、高齢者の転倒は脆弱性骨折を惹起するとともに、その後のADLの低下につながる。このため、歩行の不安定性があり高齢者は転倒予防の観点で杖の使用が推奨されており、実際に75歳以上では30%が杖を常用している。一方で、杖を使用し始めると、さらに歩行量が低下し、筋力低下が進行するとともに活動範囲が縮小し、社会参加の機会も減少してしまうことが報告されている。転倒を予防するためには、筋力・バランス能力、心肺機能の維持が必要であり、歩行負荷の有用性が示されている。しかしながら、高齢者が、自身の健康状態にあわせた適切な歩行量を計測、決定することは難しい。

近年、各種センサは小型化して腕時計等の日常生活機器に導入されており、日常生活での身体情報のセンシングが可能になっている。申請者らはポールウォーキング用のポール内に各種センサを組み込み、データを可視化することで、参加者の運動意欲の向上と運動促進効果を示した。（VRSJAC 2018）そこで、本研究では、T字杖に各種センサと即時フィードバック機構を組み込んでIoT化した「スマート杖」を開発し、使用する高齢者の身体・運動情報を可視化し、さらに、歩行やつまずきデータを地域共有することで、“お散歩コース”や“ハザードマップ”等の地域情報も提示し、積極的な社会参加を促す。杖の開発だけでなく、杖の使用を介した身体情報把握、自発的な運動の誘発を目的とし、さらにその先の社会参加促進を見据えた実践的研究を行う。高齢者ができるだけ自立して生活できる新たな社会システムの構築を志向した。

医学、工学、地域活動実践のそれぞれの専門家の共同研究による実践的検討により、高齢者が日常的に使用する杖を介して、その日の体温や脈拍などの身体状況、歩行等の運動量を計測し提示することで健康状態把握と運動促進効果を目指し、さらに、地域情報の提供を通して自発的な社会参加を促し、健康寿命の延伸に寄与することを目標とした。

初年度のスマート杖開発と精度検証、歩行推定技術の開発は順調に推移した。しかし、2019年末からの世界的な新型コロナウイルス感染の拡大、それに伴う4回の緊急事態宣言（2020年4月～2021年9月）、まん延防止措置（～2022年3月）、さらに医療の逼迫に伴い、研究活動の停止、縮小を余儀なくされた。特に代表研究者が勤務している都内の大学病院は、新型コロナウイルス感染症患者の東京都の治療拠点となり、診療活動を優先するために研究活動はすべて停止となった。共同研究者の施設でも敷地内立ち入り禁止などの強い措置が取られており、実験のための機器作成やデータ解析が十分に行えない状況であった。また、調査拠点として予定していた大田区元気シニア・プロジェクトも状況が改善するまで閉鎖された。

初年度に開発したスマート杖を本研究用に量産することや、共同研究者や高齢者との対面での面談が

禁止されたために、スマート杖を地域高齢者に提供することができなくなった。また、研究参加予定であった高齢者は、そもそも新型コロナウイルス感染症の感染リスク、重症化リスクが高く、人との接触を極力避ける希望が強くあり、研究計画の継続は困難となった。このため、計画を大幅に変更し、対面しなくとも施行可能な運動誘発の検討を行った。

## 2. 方法

### ① スマート杖の開発と精度の検証、歩行能力推定（初年度）

産業総合研究所との共同研究により、杖基部に慣性計測装置（IMU）を装着し歩行量や種々の歩行パラメータの計測を可能とするスマート杖の開発を行った。

#### <計測デバイス>

本研究では図 1 に示す産業技術総合研究所で開発された計測デバイスを使用した。ケースの中には IMU（MTi3、Xsens 社）、Wi-Fi、Bluetooth 通信が可能なマイコン（ESP-WROOM-02、Espressif Systems 社）、バッテリーが搭載されている。MTi3 では加速度と角速度を計測するだけでなく、カルマンフィルタをベースとしたアルゴリズムをもとに姿勢角も出力可能である。デバイスの固定にはマジックテープを使用した。計測デバイスの総重量は 19g であり、杖に装着しても使用者に負担を与えない重さである。

#### <計測対象>

変形性膝関節症、変形性股関節症、大腿骨頸部骨折により手術を受けた術後患者（人工膝関節全置換術 3 名、人工膝単顆置換術 4 名、人工股関節全置換術 3 名、人工骨頭置換術 2 名）で、2 動作歩行を行う 12 名を対象とした。全て女性であり、年齢  $74.4 \pm 9.4$  歳、身長  $148.2 \pm 5.6$  cm、体重  $63.8 \pm 17.1$  kg であった。術後からの経過期間は  $547 \pm 955$  日、杖を使用している期間は  $775 \pm 1100$  日で、杖の使用状況としては、「遠くに外出する時のみ使用する」や「常に使用する」など、杖の使用頻度は対象者により異なっていた。各対象者に、日常的に使用している杖について 6m の直線歩行路を自分が歩きやすい速さで歩行してもらい、その時のデータを計測した。杖先から 30cm の高さに計測デバイスを装着し、対象者の状態に合わせて 1~4 回歩行路を歩いてもらった。歩行路にはフォースプレートを設置したうえ、図 2 に示すように進行方向に対して垂直に 50cm 間隔でテープを貼付し、デジタルビデオカメラ（α6300、ソニー社）で歩行の様子を対象者の側面から撮影した。この時、地面に対して平行になるように注意してカメラを設置した。

#### <解析>

精度検証ではフォースプレートと撮影した動画から抽出した杖の接地、離地のタイミングを真値として、IMU で検出した杖の接地、離地の検出率、および検出誤差を算出した。さらに、歩行能力と関連する指標の探索では、歩行速度、ステップ長と IMU で算出可能な指標との関連性を相関係数により解析した。

### ② 非対面による運動誘発法の検討（2年度）

慶應義塾大学理工学部、東京都健康長寿医療センターとの共同研究により、新型コロナウイルス感染症リスクに配慮した、非対面方式による運動誘発法を検討することとした。運動の動画配信およびユーザの実践数記録／結果表示を行うための LINE BOT アプリ「運動カウンター」を開発した。運動カウン

ターで利用できる運動は、筋力運動5種類「つまさきあげ」「かかとあげ」「ももあげ」「ひざのばし」「スクワット」、腰痛予防のためのストレッチ「こしひねり」、口腔体操「あーんー体操」、ウォーキングの計8項目である（図10）。運動カウンターは、2020年4月1日にプロジェクトHPにて公開した。

更に、運動カウンターと連携したYouTube動画「ゆるっとスマホ体操」をLIVE配信し、情報提供による介入の検証と、新しい生活様式でのコンテンツ提供方法を検証した。ゆるっとスマホ体操は、フレイル予防のための体操動画である。ゆるっとスマホ体操では、30分程度の動画を月に2回、計5回配信した。配信では、健康運動指導士が音声にて指導を行い、遠隔にいるモデルが体操を実践、配信役が双方のコンテンツや効果音・補助コンテンツを合成し配信した。

### 3. 結果

#### ① スマート杖の開発と精度の検証、歩行能力推定（初年度）

##### <スマート杖の精度検証>

12名の対象者の計測データを用いて杖の接地と離地の検出率を評価した結果、杖の接地と離地の検出率は98.6%と97.6%であり、検出誤差は16msと41msであった。

##### <歩行能力推定>

歩行速度は杖の離地時における加速度（相関係数0.65）や躍度ノルム（相関係数0.61）、杖が接地している時間（相関係数-0.68）と関連があり、ステップ長は杖の接地や離地時における矢状面上の角度（相関係数0.47, -0.46）や杖の離地時の躍度ノルム（相関係数0.69）、杖振り上げ中の最大角速度（相関係数0.71）と関連があった。

#### ② 非対面による運動誘発法の検討（2年度）

LINE BOT アプリ「運動カウンター」の登録者数は、2842人であった。YouTube動画「ゆるっとスマホ体操」の視聴数は、第1回：1117回、第2回：661回、第3回：219回、第4回：209回、第5回：285回であった。情報提供をした組織（地域を含む）は12であった。運動カウンターの登録人数・利用のべ人数（利用回数）・実利用人数の推移を表したグラフを図に示す。

### 4. 考察

杖に装着したIMUにより接地、離地を非常に高い精度で検出することができた。これにより、つまずきや転倒などの歩行リズムの乱れを、杖に装着したIMUで検出できると考えており、現在試行している。さらに、杖の加速度や躍度ノルム、接地時間により歩行速度、ステップ長を推定することができたことから、杖使用者の歩行能力を算出し、さらにその日の歩行状態を可視化することができる。普段より歩行が不安定であれば早期にアラートを鳴らす、歩行が安定していてより長距離の歩行が可能であれば歩行を促す、といった運動誘発につなげる予定である。

非対面による運動誘発では、LINEやYouTubeという広く普及している伝達手段を用いた。一人では継続することができない運動習慣を「他の人と一緒に運動している」「誰かと競争している」という意識づけを行うことで継続することができるかを検証した。しかしながら、徐々に参加者は減少する傾向があり、メディアの掲載や配信すると一時的に利用が回復するが、持続しないことがみてとれた。非対面での運動誘発にはさらなる方策が必要であると考えている。

#### 4. 結語

本研究助成により、スマート杖の開発と地域における高齢者の運動量把握、運動誘発による地域参加を促すシステムの構築を目指した。スマート杖の開発と杖による歩行パラメータの推測研究が完了し、地域における高齢者への研究参加依頼を行う段階で、新型コロナウイルス感染症による研究状況の変化があり、やむを得ず方針変更を行った。結果的には、非対面方式でも高齢者の運動誘発がある程度可能であることを示すことができたと考えている。一方で、徐々に参加者が減少する、という課題にも直面し、より持続可能な介入策の検討を行う必要があると考えている。今後、今回の研究で得られた知見をもとに、新型コロナウイルス感染症の状況を見ながら、再度スマート杖による地域高齢者の運動誘発効果の検証を行いたい。

今回は、このような歴史ある研究助成を頂き、また事務局の皆様にはコロナ禍にも関わらず研究をサポート頂いたことに心から御礼申し上げます。

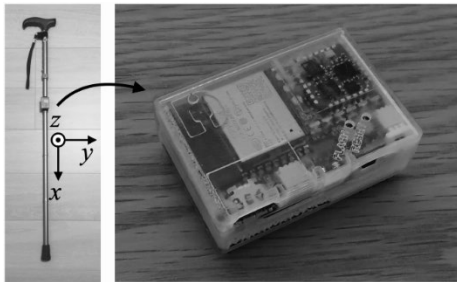


図1 計測デバイス

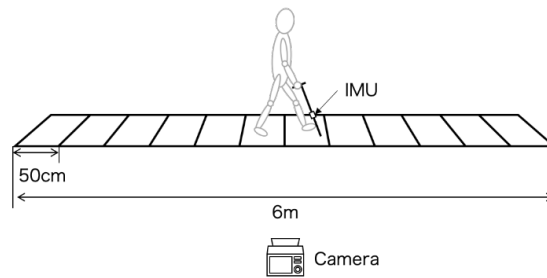


図2 計測の様子



図3 運動カウンター

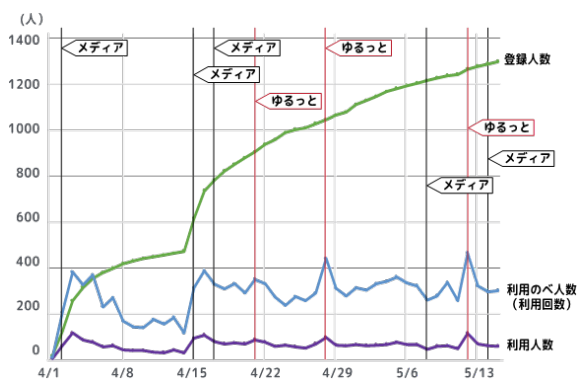


図4 利用者数推移