

令和 6 年 6 月 24 日現在

機関番号：30108

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19K12891

研究課題名（和文）足部の滑り感覚の定量化と冬季の転倒予防を目的とした注意喚起システムへの応用

研究課題名（英文）A Study on Quantifying Foot Slip Sensation and Its Application to an Alert System for Preventing Winter Falls

研究代表者

敦賀 健志（Tsuruga, Takeshi）

北海道科学大学・保健医療学部・教授

研究者番号：60337011

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：冬道などを歩行している際に足部がどのような動きをすると体勢を崩して転倒にいたるのかを調べるため、様々な加速度と移動距離を組み合わせた条件で被験者の足部を不意に動かし、転倒する条件を調べた。その結果、加速度に寄らず一定以上の移動距離によって体勢を崩すなど、転倒につながる条件を見いだした。また、転倒にいたる滑りを検出して注意喚起を行うシステムを作るため、歩行中の足部の加速度を計測するユニットを製作した。踏み出し動作を対象としてユニットの動作検証を行った結果、限定的な条件下ではあるが、路面に接地した瞬間における足部の加速度を計測することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究結果は冬道などで転倒する際のメカニズムを理解するための基礎的なデータとなる。また、滑りを検出するユニットを開発することは、転倒リスクが高い状況で注意喚起を行い転倒予防につなげることができることから、安全工学や福祉工学への貢献といった学術的意義がある。社会的意義としては、冬道や滑りやすい環境での転倒事故を減らすことができるため、特に高齢者や身体機能が低下している人々の安全を確保することで医療費の削減や生活の質を向上させることが挙げられる。

研究成果の概要（英文）：To investigate how foot movements lead to loss of balance and falls while walking on winter roads, experiments were conducted by unexpectedly moving the participants' feet under various combinations of acceleration and displacement. The results showed that certain conditions, such as a specific displacement distance regardless of acceleration, cause loss of balance and potential falls. Additionally, to develop a system that detects slipping leading to falls and issues alerts, a unit was created to measure foot acceleration during walking. Testing the unit during stepping motions showed that, under limited conditions, it could measure the foot acceleration at the moment of ground contact.

研究分野：福祉支援工学

キーワード：滑り 転倒予防 注意喚起 IoT

### 1. 研究開始当初の背景

北海道のような積雪寒冷地において、冬季の屋外歩行は転倒の危険と常に隣り合わせであるため、転倒による病院への搬送者数は極めて多く、平成 29 年度の札幌市では 1,321 名にのぼる(札幌市消防局、2018)。この傾向は年々増加しており、半数以上を高齢者が占めている。高齢者において転倒による外傷・骨折は日常生活活動 (ADL) を著しく低下させることから、保健・医療・福祉行政において深刻な問題となっている。従来、低摩擦路面における歩行安定性に関する研究では、路面との摩擦を向上させる素材の評価などが行われている。しかし、冬季路面は降雪状態や気温などの影響を受けて多種多様な状態に変化するため、対応が難しいのが現状である。また、転倒予防を目的とした歩行方法の講習会や防滑靴や滑り止め具の開発・販売が行われているが、転倒事故件数の減少には至っていない。このような現状を踏まえ、多種多様な状態に変化する冬季路面に対しては、滑り止め具等による防滑対策だけでは不十分ではないかと考えた。これに対し、歩行時の転倒要因として歩行者自身の油断や慢心による誤った判断があるという報告があることから、歩行者に対して路面状態に対応した注意喚起を行うシステムが、転倒予防を高める上で有効ではないかという着想に至った。

### 2. 研究の目的

本研究では、冬季路面を歩いているヒトが転倒に至る「滑り」を定量化し、それを計測するユニットを用いて発生場所をシステム利用者全員が共有し、滑りやすいエリアに近づいたときに注意喚起することで転倒防止を図るシステムを構築することを目的としている(図 1)。現代ではスマートフォンやスマートウォッチなどの情報端末が普及し、通信網の整備も進んでいる。さらに各種センサや小型マイコンの高性能化も著しく、本研究のようなシステムの構築が実現可能であると考えた。

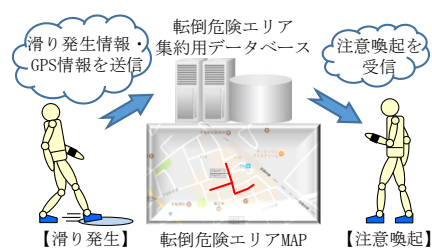


図 1 IoT を用いた転倒予防注意喚起システムのイメージ図

### 3. 研究の方法

(1) ヒトが「滑り」と感じ、転倒に至る足部の動きの要因を調べる実験を行った。具体的には、立位状態の被験者が片方の足を前方に配置された可動路面に踏み出し、その足が接地した瞬間、可動路面を前方に移動させることで、低摩擦路面で足部が滑った状態を再現する。そしてどのような加速度と移動距離を呈示することで、被験者が姿勢を崩すのかを定量的に検証した。可動路面には、以前の研究(基盤研究(C):平成 26~28 年度)で自作した外乱刺激呈示システムを利用した(図 2)。これは安川電機製リニアサーボモータを挟むように 2 本のリニアガイドを設置し、その上にジュラルミン製の板材(500×440×9.5mm)を取り付け、さらにその上に床反力計(日本キスラー:9260AA3)を固定した構成である。これにより床反力計は 1 方向の直動運動が可能となり、これを可動路面とした。可動路面の有効ストロークは 550 [mm] である。システムのフレームはミスミ製のアルミフレームを組み合わせて製作した。



図 2 外乱刺激呈示システムの外観

実験では、まず木製のステージ上に、両足をそろえた状態で被験者に立位をとってもらおう。この時、視覚の情報を統一するため、被験者には前方を見るように教示した。さらに被験者にはハーネスを取り付けて転倒防止に配慮した。この立位状態を初期姿勢とし、実験者の合図に従って、初期姿勢から右足を踏み出してもらい、床反力計の上に接地させた。歩幅は 600 [mm] となるように規定した。踏み出した右足によって可動路面に 250 [N] の荷重がかかった瞬間、被験者に予告することなく可動路面を前方に動かすように設定した。可動路面の加速度は 4~20 [m/s<sup>2</sup>] を 2 [m/s<sup>2</sup>] 刻みの 9 通りとし、移動距離は 10~80 [mm] を 10 [mm] 刻みの 8 通りとした。組み合わせは全 72 通りとなり、呈示する順番はランダム化した。可動路面の移動完了後、被験者には自発的に初期姿勢に戻ってもらい、転倒に至る外乱刺激であったかを口頭で確認した。被

験者は 20 代の健常男性 12 名とし、確実に可動路面に接地させるため十分な練習を行った後、計測を開始した。本来であれば、高齢者も被験者とするところであるが、コロナ禍の影響により、高齢者の協力を得られなかったため、今回は若年者のみを被験者とした。

(2) ヒトが転倒に至る足部の動きの要因(加速度)を計測することを目的として、足部が接地した時点の加速度(歩行進行方向)を計測するモバイル計測ユニットの開発および性能評価を行った。加速度の計測には Arduino Nano 33 BLE sense (以下、Nano33) を使用した。Nano33 は小型軽量であり、3 軸の加速度、角速度、地磁気計測に加え、Bluetooth 通信も可能である。しかし、Nano33 は直接的に角度を計測することができない。センサの角度は足部の接地角度を計測および進行方向加速度を算出するうえで必要な情報である。そこで、まず 3 軸の加速度と角速度から角度の算出を試みた。角速度を積分することで角度の算出は可能であるが、積分誤差の累積によるドリフトが発生しやすい。そこで加速度の情報も加味したセンサフュージョンにより角度の算出を行った。鉛直方向を 0 [deg] とし前後方向±40 [deg] の範囲に 10 [deg] 刻みでユニットを傾けて、誤差の検証を行った。

次に、Nano33 を組み込んだモバイル計測ユニットを製作し(図 3)、被験者の下腿部に取り付け、滑りを模擬した環境において足部の加速度の計測を行った。Nano33 を小型のブレッドボード上に配置し、起動スイッチやパイロットランプ用 LED、データ記録用 MicroSD カードなど必要な部品と接続した。そしてブレッドボードに幅 50mm のマジックテープを取り付け、下腿部に巻き付けることで固定できるようにした。マジックテープと下腿部との間には厚さ 5mm の EVA シートを挟み、取り付け時の安定性向上を図った。計測は一軸方向にスライドする着地板を有する計測器上で行った。まず、被験者は靴を履いた状態で木製のステージ上で立位をとる(図 4)。その後、着地板に片足を踏み出すが、着地板はリニアガイド上に設置されているため、足部接地後、被験者前方へ滑らかにスライドする。これにより滑りを模擬する構造となっている。また、着地板上には加速度を計測するための Nano33

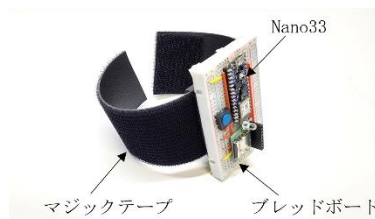


図 3 モバイル計測ユニットの外観



図 4 モバイル計測ユニットの外観

(以下、子機)を配置し、下腿部の Nano33 とシリアル接続することで、下腿部の加速度や傾斜角度などと同期計測を行った。このため今回は計測ユニットが有線接続されているが、実際の使用時は、電源もブレッドボード上に配置し、無線化することが可能である。さらに、下腿部傾斜角度を記録するために、被験者の動作を矢状面から動画撮影を行った。計測は 50 代の健常男性 1 名とし、被験者の転倒に配慮して手すりに手を添えた状態で 15 回の踏み出し動作を実行してもらった。

#### 4. 研究成果

(1) ヒトが転倒に至る外乱刺激を調べた結果、横軸は加速度、縦軸は可動路面の移動距離として、被験者が姿勢を崩すに至ると判断した刺激をプロットした。被験者間でプロットされた領域に違いが見られたが、被験者全体で見た場合、加速度に寄らず一定以上の移動距離によって体勢を崩すに至ることなど、加速度や移動距離から転倒につながる条件を見いだせる可能性が示唆された。

(2) まず、モバイル計測ユニットによる計測角度の誤差については 1 [deg] 未満であった。また、60 [min] の間、ランダムに傾けた際の積分誤差の累積は 0.1 [deg] 未満であった。これらのことから、Nano33 は足部の角度を計測する上で、精度および計測時間において有用であることが示唆された。

次に、歩行時における足部接地時の下腿部傾斜角度については、加速度のみを利用した場合、接地時の衝撃のため算出角度が大きく乱れた。これに対し、今回、相補フィルタを利用して角度を算出したところ、接地時に大きく算出角度が乱れることはなく、センサフュージョンの有用性が確認できた。この結果を受けて、歩行時の足部加速度の検証を行った。相補フィルタによって算出した動作中の下腿部傾斜角度を用いて、計測後にオフラインで Nano33 によって計測した加速度から重力加速度成分を除去し、接地後の進行方向加速度を算出した。子機で計測した水平加速度は概ね  $19.6\text{m/s}^2$  (2G) 程度であり、算出値と比較したところ、誤差の SD は 18%程度であったものの、平均誤差は-8%程度であった。限定的な条件ではあったが、接地直後の足部の加速度を計測することができ、一定の成果は得られたものと考えられる。

今後は、足部の加速度などから移動距離を算出する方法を検討し、モバイル計測ユニットからサーバー用 PC への通信を行うアプリ開発などを行っていく。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計0件

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	田中 敏明  (Tanaka Toshiaki)  (40248670)	北海道科学大学・保健医療学部・教授    (30108)	
研究分担者	加藤 士雄  (Kato Norio)  (40760260)	北海道科学大学・保健医療学部・准教授    (30108)	
研究分担者	野村 知広  (Nomura Tomohiro)  (90593492)	北海道科学大学・保健医療学部・准教授    (30108)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関