

# スマートフォンを用いた実道における冬期危険度の評価実験

A field experiment for hazardous level estimation on winter walkway using smartphones

齊田光<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Akira Saida

<sup>1</sup> 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

<sup>1</sup>Civil Engineering Research Institute for Cold Region, Public Works Research Institute

## 1. はじめに

積雪・凍結路面における歩行者の転倒事故は積雪寒冷地域を中心に多数発生しており、高齢化の進展に伴い転倒事故件数は増加傾向にある。冬期の転倒事故を防止するためには冬期に転倒が発生しやすい箇所（転倒危険箇所）を把握することが有効であり、転倒危険箇所をあらかじめ把握することができれば出来れば重点的な除雪・防滑材散布による路面状態の改善や歩行時のルートや靴等の選定、転倒危険箇所での注意深い歩行などが可能になると考えられている<sup>1)</sup>。このような背景から、筆者らはこれらの課題を解決するためにスマートフォンに搭載された加速度センサを用いて歩行時の挙動を計測し、転倒危険度を定量的かつ自動的に計測する手法の開発を行っている<sup>2)</sup>。本手法により転倒事故を防止するためには多量の歩行挙動データを収集し転倒危険度に関する情報を効果的に配信する必要があるが、そのためには歩行挙動データ収集を促進するための動機付けが必要となるとともに、歩行者がどのような情報が必要としているかを把握する必要がある。

本研究では、転倒危険箇所の検出精度について検証を行うとともに歩行者が転倒防止のためにどのような情報を必要としているか、歩行挙動データの収集を促進するためにどのような手法が動機付けとして有効であるか検討を行ったので結果を報告する。

## 2. 実験の概要

本研究では、2019年12月上旬から2020年2月下旬の約3か月間にわたり、札幌市内の歩行空間を対象としてスマートフォンによる歩行挙動等の計測実験を行った。図-1は実験の概要を、図-2は本研究で用いた歩行挙動データ収集、集計および転倒危険箇所配信システムの概要をそれぞれ示す。本実験では20代から60代の男女27名の被験者から、歩行時における加速度および位置情報をスマートフォンを用いて収集した。各被験者は日常生活で屋外において歩行を開始する際に計測用Webアプリケーションを用いて計測開始操作を、歩行を終了する際に計測終了操作をそれぞれ行うことで、歩行中の加速度および位置情報の計測を行った。このようにして得られた歩行挙動データはスマートフォンのモバイル回線またはwifiによりデータ収集・結果配信サーバ（図-2(a)）に送信することでデータをリアルタイムに収集した。次に、収集された歩行挙動データをデータ処理用コンピュータ（図-2(b)）に転送し、約100m四方のエリア毎に歩行安定度<sup>2)</sup>の集計および転倒危険度の判別を5分毎に行った。転倒危険度の判別は、歩行安定度が有する特性（年齢、性別、端末機種および積雪寒冷地の在住年数などによらず路面雪氷状態の悪化が検出可能）に着目し、各エリアで計測された歩行安定度の最頻値を用いて表現した。その後、これらの結果をデータ収集・

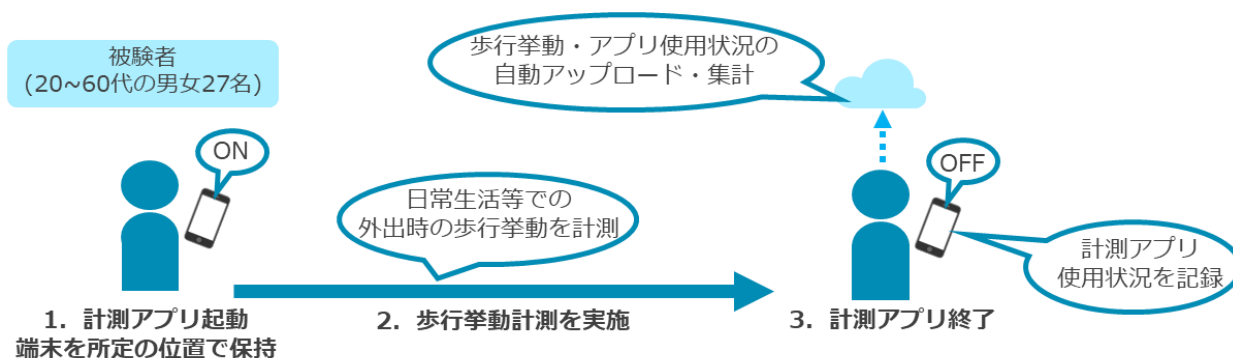


図-1 歩行挙動等計測実験の概要

結果配信サーバに転送することで Web アプリケーション上に転倒危険箇所を表示した。Web アプリケーションには不安定な歩行の出現率経時変化をグラフ形式で表示する機能や、転倒危険度の空間分布を地図上に表示する機能(図-3 参照)、被験者毎の計測実施距離をランキング方式で表示する機能や歩行挙動計測への貢献度合いを点数化して表示する機能などを実装した。

また、実験で使用する計測用 Web アプリケーションにアクセス解析機能を付加し、各被験者の Web アプリケーションの使用状況(Web ページ毎のアクセス数や Web ページ内の特定コンテンツへのアクセス数など)を記録した。これにより、冬期歩行空間での転倒を防止するためにどのような情報が必要とされているか、どのような情報が計測の動機づけにつながるかを検証するためのデータを収集した。

### 3. 実験の結果および考察

#### 3.1 歩行挙動計測の実施状況

図-4 は実験期間中の札幌市における歩行挙動計測結果の空間分布を、図-5 は札幌駅付近における歩行挙動計測結果の空間分布をそれぞれ歩行安定度毎に色分けして示す。なお、計測結果空間分布の線の太さは計測データ数の概数を示す。本実験での有効計測距離は約 1400km であり、2018 年度に行った歩行挙動計測実験<sup>3)</sup>と比較すると、実験期間および被験者数は概ね同程度であったが有効計測距離は 100km 程度減少した。本実験では札幌市営地下鉄北 12 条駅～さっぽろ駅～大通駅付近、西 28 丁目駅～琴似駅付近や北海道大学構内などにおいて多数の計測が行われた。これらの地区では主に幹線道路において同一時間帯に複数の被験者による計測が行われたほか、生活道路などの歩行者交通量が少ない区間においても多くの計測が行われ、従来の手法と比較して非常に詳細なデータを得ることができた。

札幌駅付近の歩行安定度空間分布に着目すると、札幌駅南口から大通公園にわたる地区では他の地区と比較して歩行安定度が高い傾向にあった。この理由としては、上記の地区は札幌市内でも特に歩行者交通量が多い地区であることから大部分の区間でロードヒーティングが行われており、併せて冬期道路管理が重点的に行われたことにより滑りにくい路面状態が維持されたためと推察される。一方で、札幌駅北口から北 12 条駅付近にわたる地区では歩行安定度が低くなる傾向にあった。これは札幌駅北側では札幌駅南側と比較してロードヒーティングが稼働している区間が短く、滑りやすい路面が多く出現したためと考えられる。なお、これらの傾向は 2018 年度に行った歩行挙動計測実験の結果とほぼ同様であり、この結果からは歩行挙動計測を行う計測者の構成(年齢層や性別等の偏り方)が異なる場合でも転倒危険箇所の検出精度に大きな影響は生じないことがうかがえる。

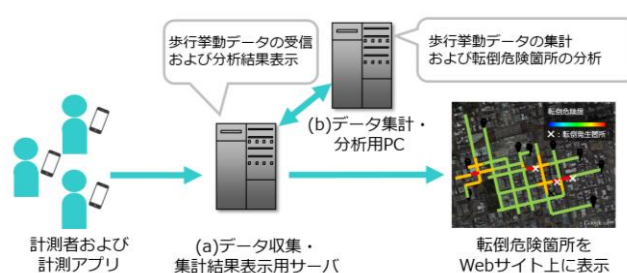


図-2 本研究で用いた歩行挙動データの収集、集計および転倒危険箇所の配信システム



図-3 Webアプリケーション上での転倒危険度地図表示機能



図-4 札幌市における歩行挙動計測結果の空間分布

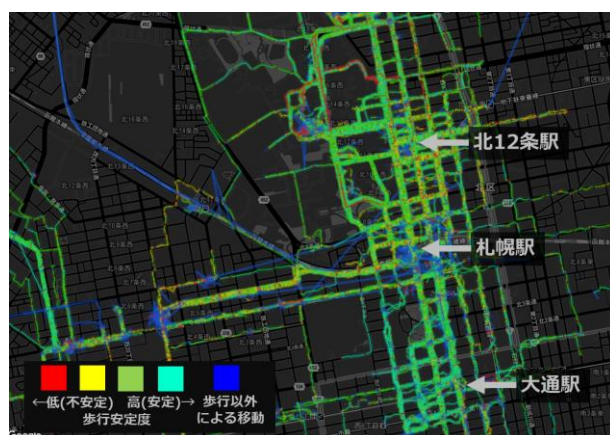


図-5 札幌駅付近における歩行挙動計測結果の空間分布



### 3. 2 歩行挙動計測アプリケーションの利用状況

図-6 は実験期間中の日降雪深および積雪深と計測用 Web アプリケーションのページビュー数 (PV, Web アプリケーション内のページが表示された回数) の関係を示す。PV 数は 2019/12/13 に最大となり、それ以降は徐々に減少する傾向にあった。特に、2020 年 2 月上旬以降は新型コロナウイルスの感染拡大等の影響を受け、PV 数が大きく減少した。PV 数は降雪が生じた日やその翌日に増加する傾向にあり、2019 年 12 月上旬から中旬の間では降雪量がわずかであっても PV 数が大幅に増加した。上記の期間は初冬期であり、滑りやすい路面での歩行に慣れていないことや日中に融解した雪氷が夜間に再凍結することで非常に滑りやすい路面が出現しやすい環境下にあるために PV 数が増加したものと推察される。

図-7 は実験期間中の計測用 Web アプリケーションの PV 数をページ毎 (計測用 Web アプリケーションの機能毎) に示す。PV 数はこれまでの歩行挙動計測結果や転倒危険度を地図形式やグラフ形式で表示するページ (計測実績表示ページ) で最も多くなった。また、計測結果等の概要が表示されるメインページ、歩行挙動の計測を行う際に表示される歩行挙動計測ページおよび各被験者の総歩行距離などが表示される計測距離等ランキングページの PV 数が概ね同程度となった。この結果からは、本研究に参加した被験者が転倒危険度に関する情報に頻繁にアクセスしており大きな需要があること、転倒危険度の把握や転倒防止とは直接関係がない計測距離等ランキングページにも多数のアクセスがあることが明らかとなった。

図-8 は実験期間中に計測用 Web アプリケーション内で検出されたイベント (同一ページ内の特定コンテンツが表示された回数やアプリケーション内のボタン等が押された回数など) のうち、発生回数が多い上位 25 件を示す。本実験期間で最も多く検出されたイベントは、被験者毎の計測貢献度 (歩行挙動計測への貢献度合いを点数化したもの) のランキングを表示した際に記録されるイベントであった。当該イベントの発生回数は 5736 回であり、リアルタイムな転倒危険度を地図形式で表示した際に記録されるイベントの回数 (2046 回) や過去の転倒危険度地図を日別に表示した際に記録されるイベントの回数 (1267 回) を大きく上回った。他にも、本実験期間中には転倒危険度の把握や転倒防止とは直接関係ない情報へのアクセス時に発生するイベント (図-8 のうち塗りつぶし棒グラフで示すイベント) が多数検出された。

以上の結果から、少なくとも本実験に参加した被験者は転倒危険箇所が「どこで」発生しているかを把握するための情報を特に必要としていることが推察される。また、本実験では転倒防止とは直接関係ない情報 (被験者間の計測状況ランキングなど) に多数のアクセスが発生した。実験

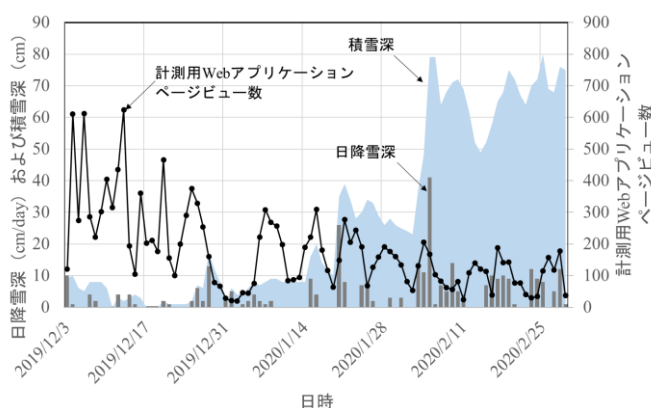


図-6 転倒危険箇所検出実験期間中の日降雪深および積雪深と計測用 Web アプリケーションへのアクセス状況の関係

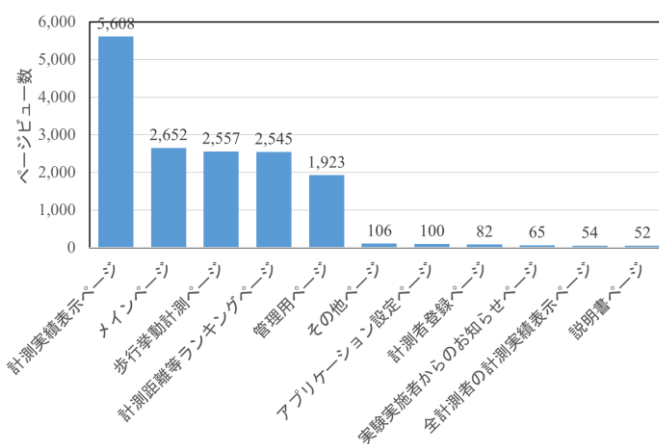


図-7 実験期間中における計測用 Web アプリケーションへのアクセス状況 (ページ毎 PV 数)

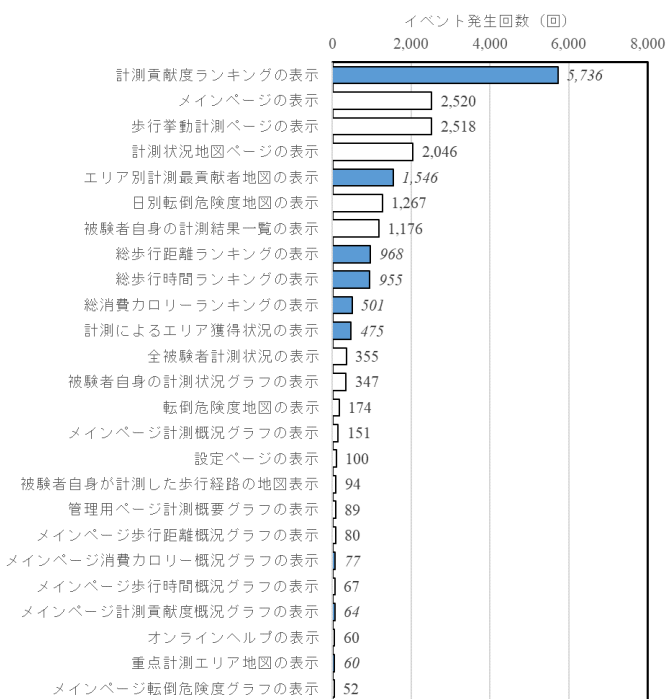


図-8 実験期間中に計測用 Web アプリケーション内で検出されたイベントの回数 (上位 25 件)

期間終了後に数名の被験者を対象として行った聞き取り調査では、被験者間で歩行距離や計測貢献度などを競い合うなどの行動をとったことが確認されており、計測状況ランキングの表示機能などがこれらの行動を促進した可能性がある。他にも、本実験では計測貢献度などのランキングで上位となるために積極的に計測を行う、特定の地区をくまなく歩行しデータを収集するなどの行動が複数の被験者で見られた。これらの結果は、歩行挙動の計測にゲーム性を持たせること（ゲーミフィケーション<sup>4)</sup>）で歩行挙動計測を促進することが可能であることを示唆している。加えて、特定の地域や時間帯で歩行挙動計測を行った場合のゲーム内報酬を増やすなどのようなゲーム要素を歩行挙動計測に加えることで、歩行挙動計測が行われる地域や時間帯をある程度制御できる可能性があることも明らかとなった。

- 4) 井上明人：ゲーミフィケーション—<ゲーム>がビジネスを変える，NHK 出版，ISBN 9784140815168，2012.

#### 4. おわりに

本研究では、スマートフォンを用いて歩行挙動を計測することで冬期の転倒危険箇所や転倒危険度を検出可能であるかを検証するとともに、歩行者が転倒を防ぐためにどのような情報を必要としているか、歩行挙動計測を促進するためにどのような手法が有効であるか検討を行った。その結果、本研究で提案した手法を用いることで計測者の年齢層や性別等の構成によらず地域ごとの転倒危険箇所を検出できる可能性が示された。また、転倒危険箇所歩行者は転倒を防止する上で地域ごとの転倒危険度情報に注意を向けていること、歩行挙動計測を促進する手法として計測にゲーム性を持たせる（ゲーミフィケーション）ことが有効である可能性が示唆された。今後はゲーミフィケーションによる歩行挙動計測の促進効果を被験者の属性ごとに評価するなどの詳細な検証を行うとともにゲーミフィケーション以外の歩行挙動計測促進手法についても検討を行うことで、より広範囲にわたる地域の転倒危険度情報を収集・配信可能なシステムを構築することを目指す。

#### 参考文献

- 1) Anttila, V.: Pedestrians during wintertime-slippery conditions, slipping accidents and information service, Technical Research Center of Finland (VTT) Tiedotteita-Meddelanden 2119, 2001.
- 2) 齊田光, 徳永ロベルト, 高橋尚人, 渡部武朗, 高野伸栄：スマートフォンを用いた冬期転倒危険度の定量評価手法に関する研究, 土木学会論文集 D3, Vol.75, No.5, pp.999-1008, 2019.
- 3) 齊田光, 徳永ロベルト, 高野伸栄：スマートフォンを用いた冬期転倒危険箇所の検出に関する研究 —住民協働を想定した転倒危険箇所検出実験—, 第 63 回北海道開発技術研究発表会論文集, 2020.