

スマートフォンを用いた冬期歩行危険箇所検出に向けた基礎的検討

A basic study for hazardous spot detection on winter walkway using smartphones

齊田光¹，徳永ロベルト¹，高橋尚人¹，佐藤昌哉¹，高野伸栄²

Akira. SAIDA¹, Roberto TOKUNAGA¹, Naoto. TAKAHASHI¹, Masaya SATO¹, Shin-ei TAKANO²

¹ 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

¹ Civil Engineering Research Institute for Cold Region, Public Works Research Institute

² 国立大学法人 北海道大学

² Hokkaido University

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，解決すべき課題の1つとなっている．例えば，札幌市では図-1に示すように冬期道路での転倒による救急搬送は年間数百件以上発生しており，かつその件数は増加傾向にある．

冬期に転倒事故が発生しやすい箇所(冬期歩行危険箇所)に関する情報提供は，外出時の歩行ルート選択や靴の変更と同様に歩行者自身が転倒を防止する効果があると推察されている¹⁾．さらに，冬期歩行危険箇所に関する情報は歩道の除雪や防滑剤散布を行う区間・タイミングの検討のような道路管理者の意思決定支援に対しても有用であると考えられる．冬期歩道危険箇所の検出に関する試みは札幌市などで実施され成果を挙げつつあるものの²⁾，時々刻々と変化する歩道の路面雪氷状態を把握するにあたり，雪氷状態計測ボランティアへの負担軽減や路面状態の計測地点数増加・計測精度向上等の面で解決すべき課題が存在する．

そこで本研究では，これらの課題を解決するため，近年になり急速に普及が進んでいるスマートフォンを用いて冬期歩行危険箇所を自動的，定量的かつ広範囲にわたり検出する手法について検討を行ったのでその結果を報告する．

2. スマートフォンを用いた歩行危険箇所検出の可能性

近年普及率が高まっているスマートフォンは様々な機能を有し，多分野での活用が期待されている．例えば，スマートフォンには様々なセンサが搭載されており，中でも加速度センサや照度センサはスマートフォンを動作させる上で

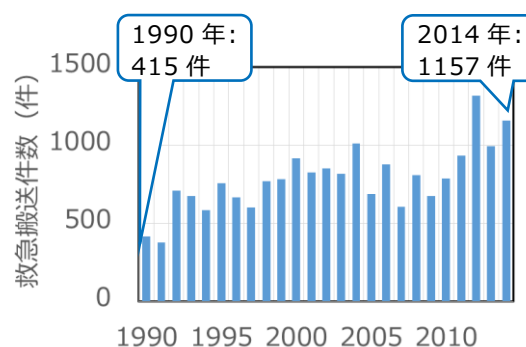


図-1 札幌市における冬期歩行者転倒による救急搬送件数の推移

基礎となる機能(端末の向きに合わせた画面回転機能や画面の明るさ調節機能)と深く関わるため多くの端末に搭載されている．また，スマートフォンは各種センサに加えて高度な計算処理能力および通信機能を有しており，センサにより得られた計測値をリアルタイムで処理・送信することが可能である．さらに，スマートフォンは持ち歩きに適しており，これらの特性からスマートフォンを活用すると各種センサから得られた様々な情報を手軽，リアルタイムかつ多人数から収集することも可能となる．

このようなスマートフォンの特性を用いた計測技術・計測結果の利活用手法は様々な分野で提案が行われており，土木分野では路面平坦性の計測³⁾やパーソントリップ調査を補完するための詳細な移動履歴収集⁴⁾などにスマートフォンが活用可能であることが報告されている．一方で，スマートフォンを活用した冬期歩行危険箇所の検出や転倒防止へ向けた取り組みは現時点では行われていないものの，

スマートフォンは冬期の歩行時を含め日常的に持ち歩く機会が多い機器であり、検討に値するものと考えられる。

冬期の歩行危険箇所を検出するにあたり、最も直接的な方法としては歩行者の姿勢変化から転倒やスリップ、歩行の不安定化を検出することが考えられる。例えば、積雪・凍結路面において転倒が発生した場合、歩行者には大きな衝撃が発生する。また、歩行中にスリップが生じた場合、歩行者は転倒を防ぐために平常歩行時とは異なるタイミングで足を出すなどの変化が生じると考えられる。さらに、歩行者は積雪・凍結路面では転倒を防ぐため無積雪時より慎重に歩行するため、転倒やスリップが生じない場合でも歩行加速度の傾向（歩容）に何らかの変化が生じるものと推察される。

また、歩行危険箇所の検出手法としては、転倒やスリップのような危険な事象を検出するだけでなく、潜在的に転倒発生に結び付くような危険な歩行環境を検出するという方法が考えられる。例えば、気温が低い、日射が到達しな

いなどのような路面凍結の可能性が高い環境の検出や、積雪による大きな段差や勾配のような転倒につながりやすい路面の発生をスマートフォン搭載センサにより検出することが出来れば、転倒による被害を未然に防ぐことが出来る可能性がある。

このようにしてスマートフォン搭載センサによって転倒・スリップ発生箇所や潜在的に危険な歩行環境となっている箇所の情報を得ることが出来れば、図-2 に示すように多数の計測者が所持する端末から情報を収集することで歩行危険箇所の把握を自動的、定量的かつ広範囲にわたり行うことが出来る可能性がある。

そこで本研究では、スマートフォンに搭載された3軸加速度センサを用いて歩行時の加速度を計測することで転倒時・スリップ時等に生じると考えられる歩容の変化を検出可能であるか、加速度センサ以外の各種センサを用いて潜在的に転倒の危険に結び付くような歩行環境の変化を検出可能であるかについてそれぞれ検証を行った。

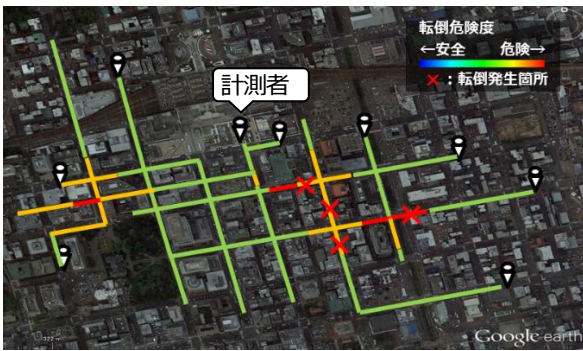


図-2 多数の計測者による歩行危険箇所の検出イメージ

3. スマートフォン搭載センサによる歩容および歩行環境の計測実験

本研究では歩行時の歩容を計測するために、スマートフォンに搭載された3軸加速度センサを用いて歩行者の前後、左右および上下方向の加速度を50Hzで計測するアプリケーションを開発した。本計測実験は2017年1月から3月の北海道札幌市豊平区の歩道上および苫小牧寒地試験道路で行った。実験ではスマートフォンを胸ポケットに入れた状態で計測アプリケーションを起動し、無積雪路面、積雪路面および凍結路面を歩行しそれぞれの路面で計測され

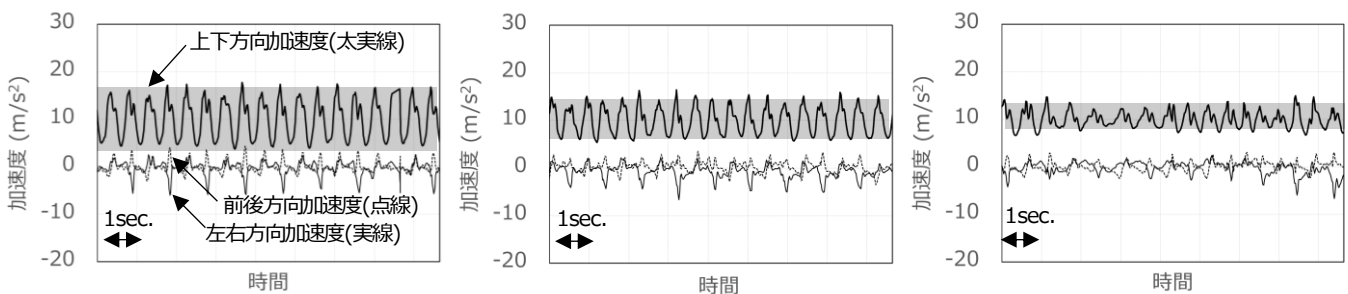


図-3 路面雪氷状態毎の歩行時加速度計測結果 (左：乾燥路面，中央：積雪路面，右：凍結路面)

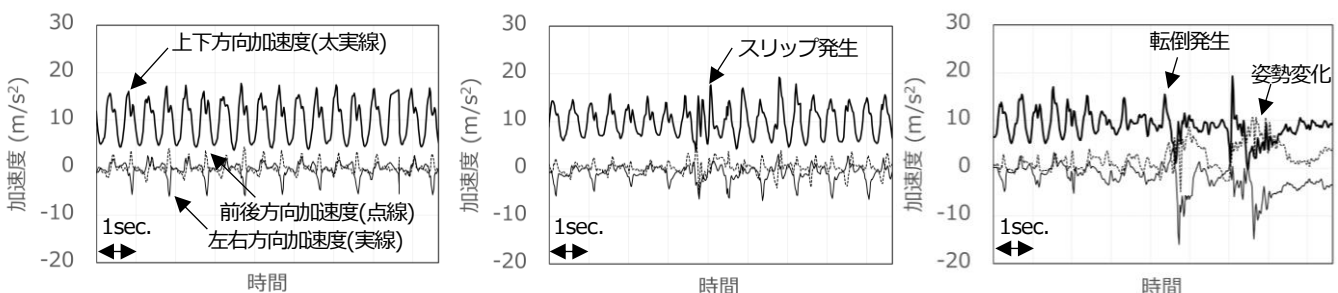


図-4 歩行状態毎の歩行時加速度計測結果 (左：乾燥路面平常歩行時，中央：スリップ時，右：転倒時)

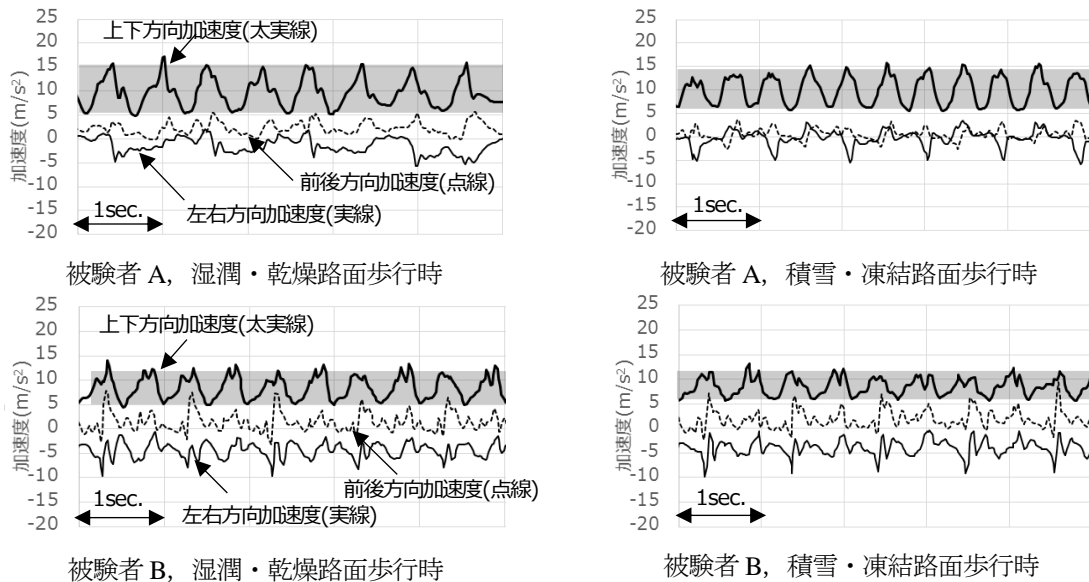


図-5 同一路面における被験者毎の歩行時加速度計測結果 (2017/2/28 8:20, 札幌市豊平区中の島駅付近)

た加速度の傾向を比較した。また、計測中に転倒およびスリップが発生した場合は発生位置および時刻を記録し、平常歩行時とスリップ発生時・転倒発生時の加速度の傾向についても比較検証を行った。なお、歩行時の加速度計測は30代～50代の男性6人を対象として行い、歩容の個人差が冬期歩行危険箇所の検出精度に与える影響についても検討した。

また、本研究ではこれに加えて多数の機種に搭載されている照度および気圧センサの計測値を取得し、路面の凍結発生に影響する日陰・日向の判別および転倒の要因となる段差・勾配の有無の判別が可能であるか検証を行った。歩行環境データの計測では、照度センサが露出するようにスマートフォンを胸ポケットに入れ、歩行時の照度および気圧を50Hzで計測した。

なお、これらの計測はSamsung Galaxy note 2およびGalaxy S7 edgeを用いて行った。

4. 計測結果

4.1 加速度センサによる歩容計測結果

図-3は無積雪路面、積雪路面および凍結路面で計測された同一被験者の歩行時加速度経時変化の例を示す。無積雪路面において、3軸加速度のうち上下方向加速度の振幅(図中黒帯)は12~13m/s²であり、0.4秒間隔で規則的に変化しており歩行時の接地・離床による加速度変化が明確に現れた。積雪路面では、上下方向の加速度変化は無積雪時と比較してやや不規則になり、加速度のピーク間の時間(ステップ間隔)は0.4~0.5秒とばらつきが生じるとともに加速度振幅も8~9m/s²と小さくなった。このような加速度変化の不規則化は歩行時に滑りにくい部分を選択して歩くことで歩幅が不安定になったこと、加速度振幅の減少は無積雪時より慎重に歩いたことで接地・離床時の衝撃が小さく

なったことがそれぞれ主要な要因として考えられる。これらの傾向は凍結路面でより顕著となり、上下方向加速度の振幅は6~8m/s²まで減少するとともにステップ間隔は0.3~0.6秒と大きくなつて見られた。

図-4は平常歩行時、スリップ発生時および転倒発生時における同一被験者の歩行加速度経時変化の例を示す。スリップ発生時はステップ間隔が0.1~0.2秒と非常に短くなり、その後平常歩行に移行するとステップ間隔は再び約0.4秒間隔で一定となった。この結果から、歩行時のスリップ発生はステップ間隔の大幅な変化を検出することで把握できる可能性がある。また、転倒発生時は3軸全ての加速度が大きく変化した後、上下方向加速度に代わり前後方向加速度が最も大きくなる期間が出現した。これは転倒により被験者の姿勢が立位からうつ伏せに変化し、スマートフォンの前後方向軸に重力加速度が生じたことに起因するものである。なお、このような歩行時の加速度は被験者毎にやや異なる傾向が見られた。その一例として、図-5に同一時刻・同一地点(2017/2/28 8:20, 札幌市豊平区中の島駅付近)における被験者毎の歩行時加速度を示す。上下方向加速度の振幅(図中黒帯)は積雪・凍結路面において被験者Aでは7~10m/s²、被験者Bでは5~8m/s²であり両者の振幅には差が生じた。また、湿潤・乾燥路面においても被験者Aの上下方向加速度の振幅は被験者Bと比較して大きくなった。他方、被験者Aの上下・左右方向加速度の振幅は被験者Bと比較して小さくなる傾向にあった。このように同一の路面状態でも被験者間で歩行時加速度の傾向が異なる理由としては、体格や歩き方などに個人差があるためと考えられる。一方で、湿潤・乾燥路面と積雪・凍結路面における歩行時加速度の傾向に着目すると、被験者A・Bともに積雪・凍結路面における上下方向加速度の振幅が小さくなった。これらの結果より、路面状態悪化に伴う上

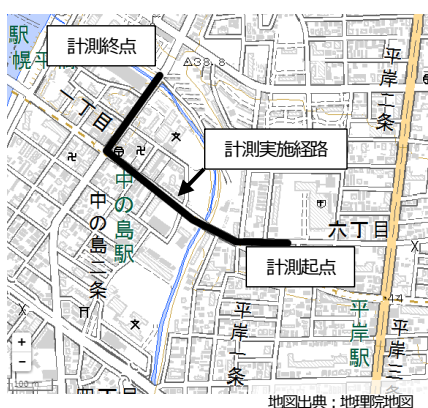


図-6 歩行時周辺照度および気圧計測の実施経路

下方向加速度の振幅の減少は計測者によらず生じることが示唆された。

4. 2 照度および気圧センサによる歩行環境計測結果

照度および気圧センサによる歩行環境計測の一例として、図-6に示す経路(札幌市豊平区平岸駅~中の島駅~寒地土木研究所)を2017/8/4に歩行したときの照度センサおよび気圧センサの計測結果を図-7に示す。なお、計測時の天候は晴であり、計測中に雲による日射遮蔽は生じなかった。周辺照度は地点により異なり、建築物や街路樹等によって日陰となる区間では日向区間と比較して照度が大きく減少した。この結果からは、照度センサの計測データを多数収集することで長時間日陰となる箇所(潜在的に路面凍結の可能性が高い箇所)を高い空間分解能で明らかにできる可能性があることが示唆される。また、気圧は標高と逆相関を示し、8:10から8:12の区間では標高が約7m変化する間に0.8hPaの気圧上昇が観測された。気圧計測値は標高および計測日時が同じ場合でも0.1hPa程度(標高約1mに相当)の変動が生じるが、多数の計測データを用いるなどの方法により計測値の変動を取り除くことで積雪に伴う段差の出現のような詳細な高さ変化を検出できる可能性がある。

5. おわりに

以上の結果より、スマートフォンに搭載された加速度センサを用いることで転倒、スリップおよび歩行の不安定化の検出が、照度センサを用いることで日陰・日向の検出が、気圧センサを用いることで段差や勾配の検出が可能となるものがそれぞれ示唆された。一方で、本研究で目標とするスマートフォンを活用した冬期歩行危険箇所の自動的、定量的かつ広範囲にわたる検出を実現するためには、計測者や計測環境によらず転倒やスリップ、歩行の不安定化を検出できる必要がある。本検証では、計6名の被験者および2種類の端末によって様々な路面状態における歩行時加速度データを収集し、その結果路面状態悪化に伴う上下方向加速度振幅の減少(歩行の不安定化)は複数の被験者に共

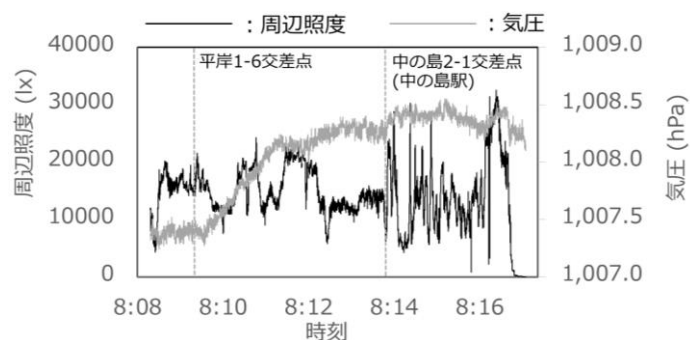


図-7 歩行時の周辺照度および気圧計測結果

通して見られる傾向であることを示唆している。しかしながら、本検証は性別・年齢ともに限られた範囲の被験者による計測結果を基としており、本検証で得た結果が全ての年齢層・性別で見られるかは不明である。本研究で提案する手法では多数の計測者による歩容計測結果を基に歩行危険箇所の検出を行うため、歩行危険箇所を精度良く検出するためには、路面状態悪化に伴う歩容の変化や転倒・スリップ時の挙動変化が年齢・性別を問わず生じるかを検証することが必要である。また、不特定多数の計測者によって歩行危険箇所の検出を行う際には、計測に用いるスマートフォン端末機種は多岐にわたることが想定される。加えて、スマートフォン端末は胸ポケットやズボンポケット、ハンドバッグ内など様々な位置で保持されることとなるため、スマートフォンの機種や保持位置に依存せず歩行危険箇所を検出できる必要がある。今後はこれらの点について検証を進めるとともに、危険箇所検出結果の活用方法についても検討を行う。

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) 紺野ら : 住民との協働による冬期歩道路面情報収集・提供システムの構築について, 雪氷研究大会講演要旨集, 2010.
- 3) 八木浩一, 牧内穂高 : スマートフォンのみでのばね下推定による路面縦断プロファイル計測, 第30回日本道路会議講演要旨, 2013.
- 4) 井上晴可, 今井龍一, 窪田諭, 田中成典, 津川昌隆 : 歩行者トリップデータのリアルタイムノイズ除去を実装したスマートフォンアプリケーション, 土木情報学シンポジウム講演集, Vol.42, pp.253-256, 2017.