

冬期歩行空間における歩行挙動データと転倒による救急搬送発生状況の関係

奥村 航太*1, 齊田 光*1, 大廣 智則*1

1. はじめに

冬期の凍結・積雪路面における歩行者の自己転倒は高齢化の進行に伴い増加傾向にある。例えば、北海道札幌市では転倒による救急搬送が一冬期あたり800件以上発生しており、長期的な観測では増加傾向が続いている¹⁾。このため、冬期の転倒事故防止は道路を安全に保つうえで重点的に取り組む必要がある課題の一つである。

冬期の凍結・積雪路面における歩行者の転倒に関する分析はいくつか報告されている。永田らの報告²⁾では冬期の転倒による救急搬送者の発生状況の変化、特徴を整理した。当該報告では時期やイベント毎に整理した転倒多発地点において転倒防止の啓発活動が効果的と位置付けられている。また、高橋ら³⁾は2007年から12年間の冬期において、日毎に札幌市全域の転倒による救急搬送者数を目的変数とし、曜日や祝日の暦データと気象データを説明変数としたデータセットとニューラルネットワークを活用して約8割の精度で救急搬送者数の推定を可能にした。一方で、当該研究による救急搬送者数の推定では、救急搬送が発生した時刻や位置等の詳細な推定には至っていない。時空間的解像度が高い冬期歩行者転倒に関する報告としては、札幌市における事例⁴⁾が存在する。本事例ではボランティアの目視による路面状態データおよび路面状態撮影による画像データを収集・集計し、札幌市内歩道のすべり易さを区毎に算出することで転倒危険度のリアルタイム把握を可能としている。一方で、計測地点での手作業による路面状態の報告が必要でありボランティアの負担が大きいこと、報告される路面状態は各ボランティアの主観に左右されることや定点での路面状態報告結果を用いているため定量的かつ線的・面的な危険度評価は困難である点が課題として挙げられる。

また先行研究⁵⁾ではスマートフォンを用いて得られる歩行挙動データから冬期転倒危険度の定量評価手法に関する研究を行ってきた。当該手法はスマートフォンに搭載される加速度センサから周波数帯ごとの振幅の大きさを活用し歩行挙動の安定性を評価するものであり、リアルタイムな転倒危険度の把握が可能である。しかし、このような広域かつリアルタイムで取得できる歩行者の挙動データおよび転倒危険度データと、実際の自己転倒による救急搬送発生状況との関係性を調査した事例は見受け

られない。

そこで本研究では歩行者の所持するスマートフォンから得られた歩行挙動データと自己転倒による救急搬送発生状況データの組み合わせを行った。これにより、転倒による救急搬送が発生した条件下で得られた歩行挙動データの場合とそれ以外の場合における歩行挙動データの傾向を比較し、歩行挙動データから転倒による救急搬送が発生するような転倒リスクが大きい個所を検出可能であるか検証を行った。

2. 使用データ

本研究では被験者が所持するスマートフォンの加速度センサから算出された指標（歩行安定度）と札幌市消防局から提供を受けた自己転倒による救急搬送発生状況データを活用した。それぞれの概要を以下に示す。

2.1 スマートフォンから得られた歩行安定度

本研究では、先行研究で示した算出方法から得られるスマートフォン加速度センサを活用した歩行安定度の数値を分析に用いる。歩行安定度は0から1の範囲で表され、大きいほど規則的な歩行となる。歩行安定度を含むデータは1秒毎に記録され、その一覧を表-1に示す。

先行研究では、路面状況に応じて歩行安定度に有意差が生じたことが報告されている⁵⁾。図-1は、路面状態別の歩行安定度の数値とその出現度数を示す。同図からは、氷板路面のようなすべりやすい路面は歩行安定度が低いことがわかる。本研究では、2018年度から2020年度まで

表-1 実験対象

データ名	単位など
年月日時	
スマートフォンの所持位置	6種類
計測値ID	匿名化
緯度経度	世界測地系
地点高度	m
移動速度	km/h
X方向加速度	m/s ²
Y方向加速度	m/s ²
Z方向加速度	m/s ²
歩行安定度	無次元

* 1 国立研究開発法人 土木研究所 寒地土木研究所

の冬期に被験者実験として、冬期間において外出時にはスマートフォンを所持することで得られた歩行安定度の数値を用いて検証を行う。本研究の分析では、被験者実験により得られたデータのうち以下の条件を満たすデータのみを用いた。

- ・所持位置が胸ポケットであること
- ・移動速度が0 km/h超かつ8 km/h以下であること
- ・日時並びに緯度経度の欠損値がないもの

また、歩行挙動履歴には信号待ちや屋内での移動と推測されるものが一部観測されていることから、それらを除外する処理を行った。除外処理では、各被験者のs秒間毎に観測された全位置座標について、その緯度経度の中心点から半径d mの範囲内に移動が収まる場合に、滞留が発生したとみなし分析対象データからの除外を行った。本研究ではパラメータのチューニングの上、(s, d) = (60, 20), (5, 1.72)の二通りの条件内、どちらかに該当するデータを除外対象とした。図-2は除外処理によって得られた歩行挙動データの例を示す。以上の方法を用いることで、時間経過に対する移動距離が短く、歩行中の挙動とは言い難いデータを除外することに成功した。この処理後、有効被験者数と実験延長は表-2のようになった。

2.2 冬期の自己転倒による救急搬送者

自己転倒による救急搬送発生状況データは自己転倒の発生時間帯とその住所、年齢などが含まれた情報である。救急搬送要請の位置情報は住所による記録であったため、ジオコーディングを行い緯度経度のポイントデータ形式に変換し整理を行った。また、救急搬送発生状況データに記録されている救急搬送時刻は1時間単位の記録であるため、本検証では各時間帯の30分に救急搬送が発生したものと扱った。これは、自己転倒による救急搬送発生状況データに記録されている救急搬送発生時刻が12時であった場合に、救急搬送が12:30に発生したとみなしデータ処理を行うことを意味する。

3. 分析方法

3.1 分析範囲の選定

本研究の分析対象範囲は図-3に示す二つのパターンとした。双方とも、分析対象範囲の北東端は北5条東1条交差点である。分析対象範囲の南西端は、図中左のパターン（札幌一大通間）は北1条西7条交差点、図中右のパターン（札幌一すすきの間）は南4条西7条交差点とした。図示した範囲内における救急搬送数の推移は図-4に示す。2018年度は他の年度と比較してより多くの救急搬送が発生していたことがわかる。

3.2 使用データの対応

本研究の分析では、スマートフォンから得られた歩行

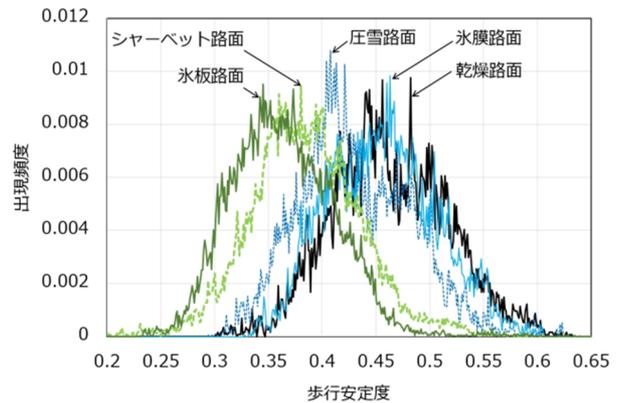


図-1 路面状態毎の歩行安定度の出現頻度
(計測位置：胸ポケット)

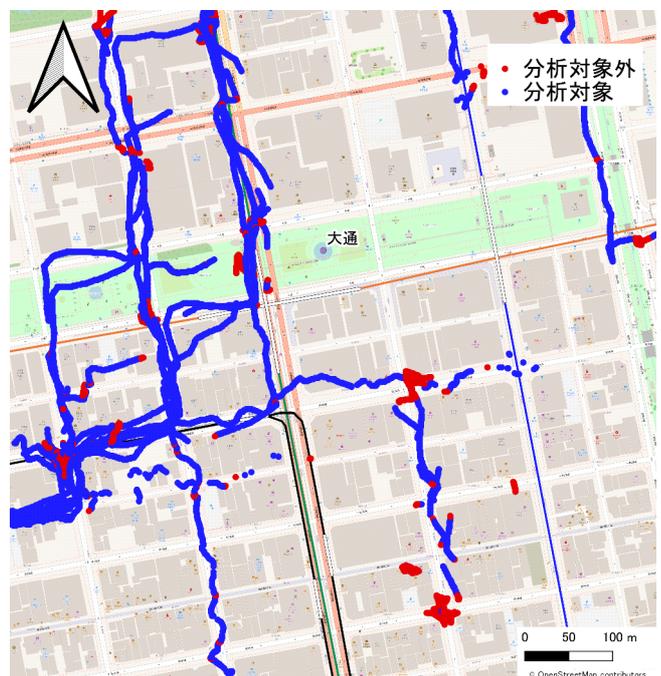


図-2 滞留時のデータを除外した歩行データの例

表-2 実験対象

年度	被験者数[人]	有効実験延長[km]
2018	28	1056.0
2019	31	1136.1
2020	40	3319.6

挙動データと自己転倒による救急搬送の時刻と位置情報の結び付けを行う。具体的には、歩行安定度のポイントデータが救急搬送の発生時刻に対して60分以内、かつ救急搬送の発生地点から150 m以内に観測されたもの、つまり時空間的近傍に救急搬送事例がある場合(以下、A群とする)と、それ以外(以下、B群とする)に判別した。その後、表-3に示すA群およびB群の二群間について、歩行挙動データの統計的な分析を行った。

3.3 被験者の抽出

本研究の分析では、3.2で説明した時空間的近傍を通過したか否かで歩行挙動データの分類を行い、その後被験者によって分析対象を絞り込んだ。具体的には、実験に参加した被験者のうち、A群およびB群の双方に該当するデータを有する被験者を抽出して歩行安定度の比較を行った。なお、ここまでの絞り込みによって、得られた歩行挙動データの数を表-3に示す。なお、A群に該当するデータ数はB群の1~3%の範囲となることから、同一被験者において時空間的近傍に救急搬送事例があり、かつ他の日時で歩行挙動データを得られているケースが稀であることを留意する必要がある。

4. 分析結果および考察

表-4と図-5, 6に札幌—大通間および札幌—すすきの間の分析対象範囲で計測された歩行安定度の統計的指標と出現頻度分布をA群およびB群のそれぞれの群について示す。札幌—大通間および札幌—すすきの間の分析対象範囲では、時空間的近傍に救急搬送事例があるA群とそれ以外であるB群の二群間のT検定から求めたP値は共に0.01未満であり、二群間の歩行安定度には有意な差がみられた。歩行安定度の平均値はA群はB群に対して、札幌—大通間で0.043、札幌—すすきの間で0.032ほど小さな値となった。同様に、A群はB群に対して歩行安定度の出現分布は全体的に低い傾向を示していることがわかる。一方で、歩行安定度の標準偏差はA群よりもB群が大きくなった。救急搬送事例がなかったB群については、転倒に大きな影響を与えないシャーベット路面や乾燥路面などが出現していたと予想される。図-1で示したように、シャーベット路面や乾燥路面における歩行安定度は差が大きくなるため、すべりやすい氷板路面が主に出現していたA群と比較し標準偏差が大きくなったと考えることができる。以上の結果より、救急搬送者が出るような、すべりやすい路面においては、スマートフォンの加速度センサから得られる歩行安定度は有意に低下することが示された。

一方、図-6に示した札幌—すすきの間の年度別歩行安定度出現頻度に着目すると、2020年度のA群の歩行安定度はB群と比較して低い傾向にあるが、2019年度では二群間の歩行安定度に大きな差は見られない。さらに、2018年度ではA群の歩行安定度はB群と比較して高い傾向にあることが読み取れる。このように、サンプル数や被験者数が少ない場合はスマートフォンで計測した歩行安定度を用いて転倒危険箇所の検出を行うことが困難であることが明らかとなった。

これらのように救急搬送事例の組み合わせにより、詳細な時空間単位での転倒危険箇所の検出が可能であり、

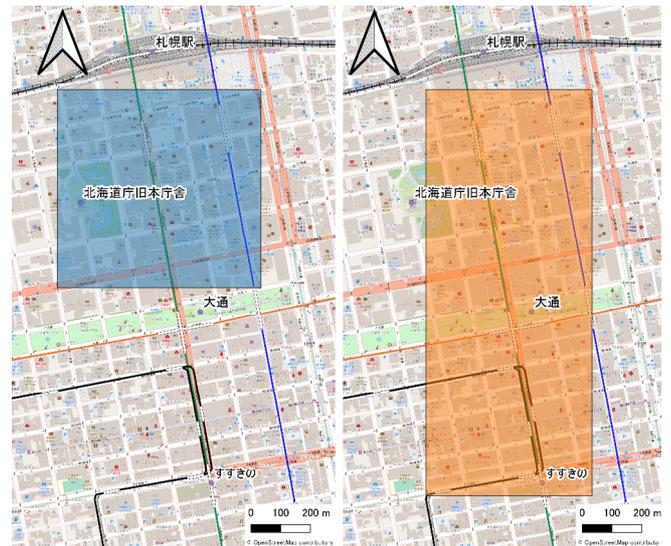


図-3 分析対象範囲

左：札幌—大通間, 右：札幌—すすきの間

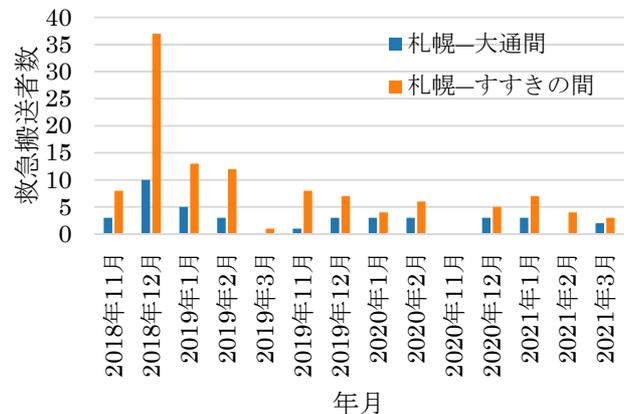


図-4 分析範囲内の救急搬送者数

表-3 挙動データのポイント数

エリア	A群	B群
札幌—大通間	558	22931
札幌—すすきの間	849	83955

表-4 二群間の統計的指標

エリア	代表値	A群	B群
札幌—大通間	平均値	0.474	0.517
	標準偏差	0.0608	0.0756
	中央値	0.471	0.513
札幌—すすきの間	平均値	0.489	0.5203
	標準偏差	0.0705	0.0781
	中央値	0.489	0.516

二群間に有意な差を確認することができた。

5. まとめ

本研究では歩行挙動データと救急搬送発生状況データ

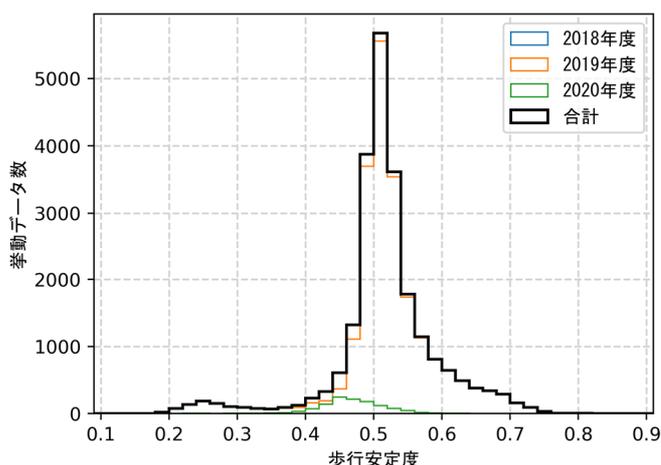
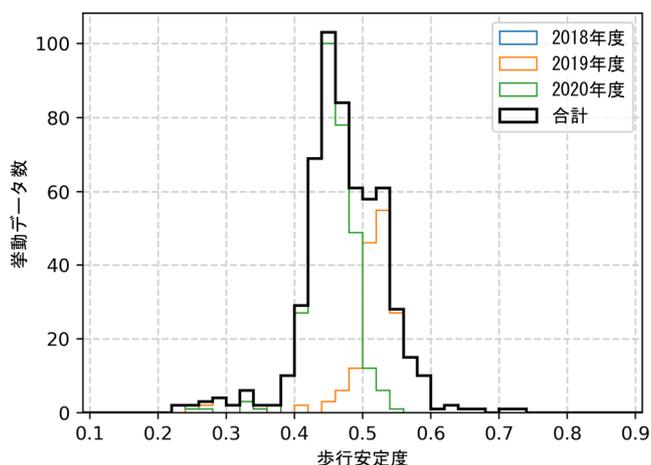


図-5 札幌一大通間における歩行安定度の出現頻度 (左：A群, 右：B群)

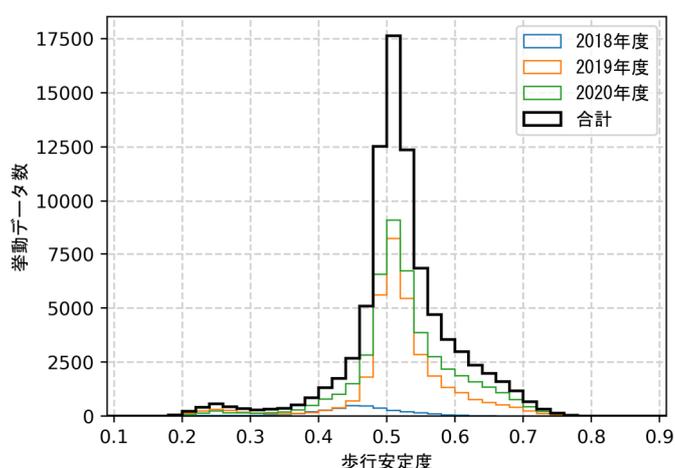
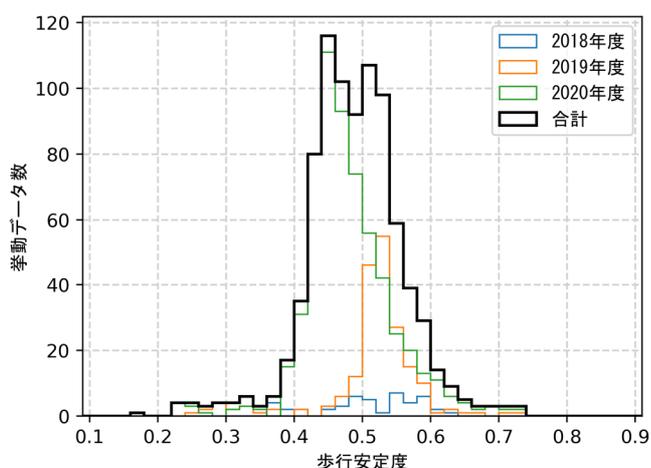


図-6 札幌—すすきの間における歩行安定度の出現頻度 (左：A群, 右：B群)

の組み合わせを行い、転倒の危険性が高い場合とそれ以外の場合における歩行挙動データの傾向の違いについて考察を行った。その結果、救急搬送が時空間的に近傍で発生していた場合の歩行安定度はそれ以外の場合と比較して有意に低いことが示された。一方で、歩行挙動データ数や救急搬送発生状況データ数が少ない場合は歩行安定度の大きさと救急搬送発生状況の間に関係性を見出すことは困難であることが明らかとなった。以上の結果から、スマートフォンに搭載された加速度センサ計測値から算出された歩行安定度データを大量に収集することができれば、転倒の危険性が高い箇所の検出が可能であることが知れる。今後の展望として、より多くの救急搬送発生状況データと歩行挙動データを収集し、異なるエリアや被験者を対象として両データの関係性を調査する。

謝辞

札幌市消防局様には冬期自己転倒による救急搬送者数データの提供を受けた。ここに深く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 「雪道の自己転倒」救急搬送 / 札幌市, <https://www.city.sapporo.jp/shobo/kyukyu/yukimiti/yukimiti.html>, (2021年10月19日閲覧)
- 2) 永田泰浩, 金田安弘. (2020): 令和元年度冬期の札幌市における転倒による救急搬送者の状況, 寒地技術論文・報告集 寒地技術シンポジウム, 36, 169-172.
- 3) 高橋尚人, 丹治和博, 小松麻美 (2020): ニューラルネットワークを用いた冬期の歩行者転倒事故の予測に関する研究, 雪氷研究大会講演要旨集 雪氷研究大会 (2020・オンライン), p. 30.
- 4) 紺野裕乃, 富田真未, 川村文芳, 金田安弘, 星野洋, 金村直俊, 高野伸栄 (2010): 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, p. 46.
- 5) 齊田光, 徳永ロベルト, 高橋尚人, 渡部武朗, 高野伸栄 (2019): 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 (土木計画学), 75(5), I_999-I_1008.