

大規模 3 次元実環境モデル内における人間行動シミュレーションと そのアクセシビリティ評価への応用

ーモンテカルロシミュレーションによるつまづきリスク定量推定とその妥当性検討ー

北海道大学 ○丸山翼, 金井理, 伊達宏昭

要 旨

本研究では、高齢者を含む誰もが屋内外環境を支障なく安全に利用できるかといった環境アクセシビリティの定量評価が可能な人間行動シミュレーション技術の開発を目的とする。本報では屋内外環境の 3 次元レーザ計測点群から自動抽出されたつまづきリスク潜在マップ上でのモンテカルロシミュレーションにより、そのリスクを定量推定可能な技術を開発し、さらにその妥当性・有効性を検討したので報告する。

1. はじめに

近年、身体能力差を持つ個人が日常生活において環境を負担なくかつ安全に利用できるかといった環境アクセシビリティ[1]の担保が社会的に強く要請されている。特に、厚生労働省の調査[2]によると、年間約 1400 件の転倒死亡事故が発生しており、実環境に内在する転倒・つまづきリスクの高い個所の発見とその予防が社会的に重要となっている。

そこで本研究では、実環境の 3 次元レーザ計測点群上でのデジタルヒューマンモデル(DHM)を用いた人間行動シミュレーションに基づき、つまづきリスクといった実環境のアクセシビリティを定量的・網羅的に評価できる手法の開発を目的とする。

これまで著者らは、3 次元レーザ計測点群から自動構築された実環境モデル上での DHM の適応的歩行シミュレーション機能[3]、および歩行面の凹凸度解析に基づくつまづきリスク潜在マップ自動生成機能[4]を開発してきた。このマップはつまづきリスクが潜む可能性のある領域を網羅的に示すが、各領域のリスクの定量推定は行っていなかった。

本報では新たに、高齢者や若年者の MoCap(モーションキャプチャ)データを用いたモンテカルロシミュレーションに基づき、指定された歩行面領域上でのつまづきリスクを定量推定可能な機能を開発し、その妥当性・有効性の検討を行った。

2. つまづきリスク定量推定手法

2.1 提案するつまづきリスク定量推定手法の概要

つまづきリスク定量推定手法の概要を図 1 に示す。図 1 に示すように、まず 3 次元レーザ計測点群から自動抽出された歩行面領域点群集合 W に対し 2 次元グリッドを当てはめ、各セルの凹凸度を解析することにより、つまづきリスク潜在マップ $M_R = \{m(i, j)\}$ を自動生成する[4]。ここで、 M_R の各セル (i, j) はセル内の歩行面点群の凹凸度 $m(i, j)$ を表し、 $m(i, j)$ が高いセル程リスクが潜在する可能性が高い。次に、このマップ上で一定値以上の凹凸度を持つセルの集合で表される評価対象領域 $A = \{(i_k, j_k)\}$ をユーザが手動により選択する。最後に、次節に述べるモンテカルロシミュレーションにより、 A におけるリスクを定量推定する。

2.2 モンテカルロシミュレーションによるリスク定量推定

図 2 に示すように、本研究におけるつまづきリスク $R_A(S_i)$ は「ある被験者 S_i が領域 A 上を歩いた時につまづく確率」、つまづきは「歩行中のつま先クリアランス C_t (遊脚つま先と歩行面の鉛直距離) が 0 以下となる状態」として定義し、モンテカルロシミュレーションに基づき、 $R_A(S_i) = (n_t/N) \times 100$ [%]により定量推定する。ここで、 N は総シミュレーション回数、 n_t はつまづき回数を表す。なお、実際の人間は段

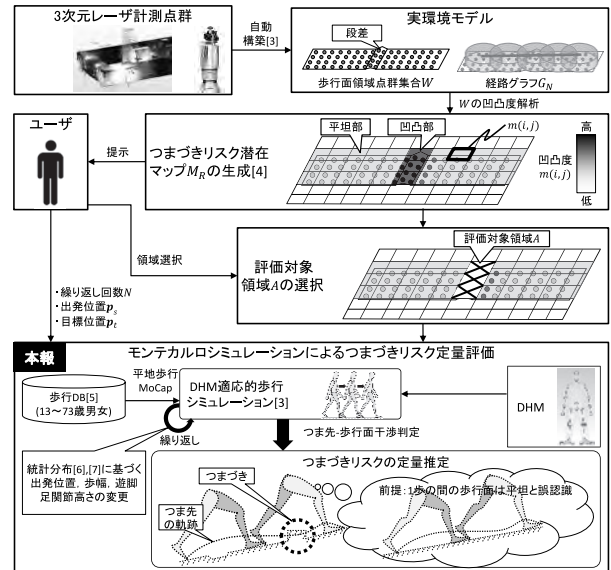


図 1 つまづきリスク定量推定手法の概要

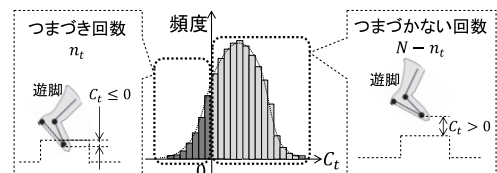


図 2 本研究におけるつまづきリスクの定義

差を知覚した際、段差につまづかないような歩行動作を取るが、本研究では図 1 に示すように 1 歩の間の段差を知覚せず歩行(歩行面が平坦であると誤認識)した場合のリスクを推定する。

図 1 に示すように、モンテカルロシミュレーションでは、被験者 S_i の平地歩行 MoCap データを参照データとし、平地とは限らない A 上での歩行シミュレーション[3]を N 回繰り返す。1 回毎の各試行では、出発位置 p_s の進行方向成分 $(p_s)_v$ を一様分布 $U_D((p_s)_v, (p_s)_v + w_j)$ 、歩行中の歩幅と遊脚足関節高さをガウス分布 $G_D(\mu_w, \sigma_w)$ と $G_D(\mu_h, \sigma_h)$ に基づきそれぞれ変更する。ここで、 $G_D(\mu, \sigma)$ は平均 μ 、標準偏差 σ のガウス分布、 $U_D(p_1, p_2)$ は p_1 から p_2 までの一様分布を表し、 w_j は S_i の MoCap 計測時の歩幅を表す。出発位置の変更は A に対する足位置のずれを、歩幅の変更は歩行速度に応じた歩行の違いを、足関節高さの変更は年齢に応じた歩行のばらつきを再現するために行う。なお、各統計分布のパラメータは若年者・高齢者の歩行動作解析を行った既存研究[6],[7]に基づき表 1 のように設定した。

3. 計測点群上でのつまづきリスク定量推定結果

3.1 仮想的な段差の計測点群上でのリスク推定結果

提案手法の妥当性検討のため、仮説(1)「段差高さの増加に伴いリスク推定結果が増加する」と仮説(2)「若年者よりも高齢者の方がリスク推定結果は高い」を提案手法が満たすか否かを検証する。そこで、図3(a)に示すスキャンシミュレーションソフト Blensor[8]により生成された高さの異なる段差の仮想計測点群に対し、図3(b)に示す評価対象領域を設定し、そのリスクを定量推定した。なお、点群は平均点間距離が0.01mとなるようダウンサンプルした。

図4に若年者と高齢者に対するつまづきリスク定量推定結果を示す。ここでは、若年者7名(13~24歳)、高齢者7名(69~72歳)の平地歩行MoCapデータを用いてモンテカルロシミュレーションを行い、若年者7名、および高齢者7名に対するリスク推定結果の平均値を、それぞれ若年者、高齢者に対するつまづきリスクとして推定した。なお、1被験者あたりの総試行回数Nは500回と設定し、歩行シミュレーションを500回繰り返した時の処理時間は約3分30秒であった。

図4より、段差高さの増加に伴いリスク推定結果が増加していることが確認できる。また、若年者内、高齢者内でのばらつきはあるが、リスクの平均値・最大値・最小値はいずれも高齢者の方が若年者よりも高いことが確認できる。以上より、提案手法は仮説(1)、(2)を満たし、一定の妥当性を有することを確認できた。

3.2 屋外環境の計測点群上でのリスク推定結果

地上設置型レーザスキャナ RIGLE VZ-1000より得られた大学構内の屋外環境の計測点群上でのつまづきリスク推定結果を図5に示す。図5に示すように、凹凸はあるが段差高さは小さい環境Aに対しては若年者・高齢者ともに低いリスクを、明らかにつまづきやすい環境Bに対しては若年者・高齢者ともに高いリスクを推定できており、概ね妥当な結果が得られていると考えられる。一方で、環境Cは高齢者に対してはリスクが高く、若年者に対しては低いリスク推定結果が得られた。これは、若年者よりも高齢者の方が平均歩幅は約0.2m短いため、図6(a)に示すように凹部で両脚接地し、低い位置から高い位置への遊脚の移動が生じてつまづくことが原因である。若年者の場合は歩幅が長く、図6(b)に示すように高い位置から高い位置への遊脚の移動となるため、つまづきが生じにくい。以上より、提案手法が単に段差高さの情報からだけでは推定できないリスクも推定可能であり、一定の有効性を有することを確認した。

4. まとめと今後の課題

本報では、3次元レーザ計測点群上でのモンテカルロシミュレーションに基づき、つまづきリスクを定量推定可能な機能を開発した。さらに、段差の仮想計測点群上でのリスク推定実験より、提案手法が一定の妥当性を有することを確認した。また、実際の屋外環境に対し提案手法を用いることで、若年者と高齢者の歩行動作の違いや段差の形状等を考慮しつつ、そのリスクを定量推定できることを確認した。

今後は、他の屋外環境の計測点群に提案手法を適用し、提案手法の妥当性・有効性の検討を進めていく予定である。

参考文献

- [1] ISO21542, Building construction - Accessibility and usability of the built environment, (2011).
- [2] 政府統計の総合窓口(e-Stat) 平成21年度 不慮の事故死亡統計, (2009).
- [3] T. Maruyama, S. Kanai, H. Date, Motion-capture-based walking simulation of digital human adapted to laser-scanned 3D as-is environments for accessibility

表1 統計分布のパラメータの設定値

統計分布	若年者	高齢者
出発位置 (一様分布)	$(p_s)_v$	ユーザ入力
歩幅 (ガウス分布)	w_f	MoCap 計測時の歩幅
遊脚足関節高さ (ガウス分布)	μ_w	MoCap 計測時の足関節高さ
	σ_w	
	μ_h	
	σ_h	

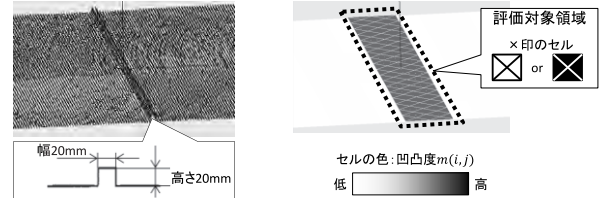


図3 高さの異なる段差上でのつまづきリスク定量推定

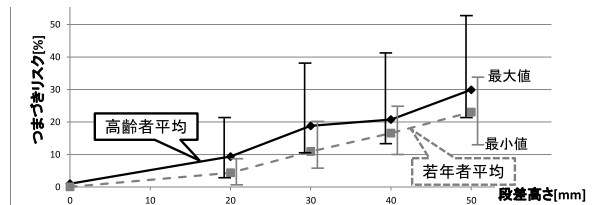


図4 異なる段差高さにおけるリスク定量推定結果

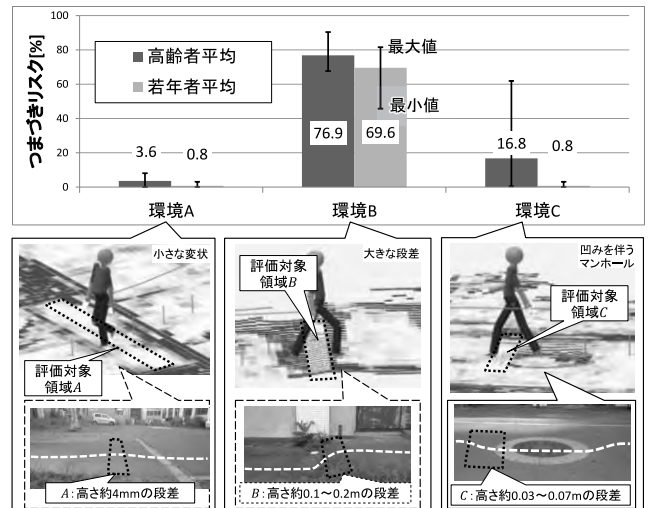


図5 屋外環境の計測点群上でのリスク定量推定結果

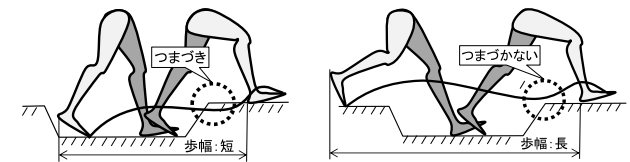


図6 環境Cにおけるつまづきの原因

- evaluation, Journal of Computational Design and Engineering, 3 (3), pp.250-265, (2016).
- [4] 丸山翼, 金井理, 伊達宏昭, 大規模3次元実環境モデル内における人間行動シミュレーションとそのアクセシビリティ評価への応用—3次元レーザ計測点群からのつまづきリスク潜在領域の抽出—, 2016年度精密工学会秋季大会講演会講演論文集, (2016).
- [5] 小林吉之, 持丸正明, AIST歩行データベース2013, <http://www.dh.aist.go.jp/database/gait2013/>
- [6] 関屋昇, 長崎浩, 伊東元, 古名丈人, 正常歩行における歩行速度, 歩行率, 歩幅の相互関係, 理学療法学, 21, p.416, (1994).
- [7] Mills P. M., Barrett R. S., Morrison S., Toe clearance variability during walking in young and elderly men, Gait Posture, 28 (1), pp.101-107, (2008).
- [8] Blensor, <http://www.blensor.org/>