

令和 7 年 5 月 22 日現在

機関番号：32612

研究種目：若手研究

研究期間：2022～2024

課題番号：22K13614

研究課題名（和文）人・居住環境間の力学的インタラクションのモデル化による空間の歩行支援性能評価

研究課題名（英文）Evaluation of Walking Assistance Performance of Spaces by Modeling the Dynamic Interaction between People and the Living Environment

研究代表者

小川 愛実（Ogawa, Ami）

慶應義塾大学・理工学部（矢上）・講師

研究者番号：80844927

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：壁や家具に頼った伝い歩きなど、居住環境への接触を介して人が受ける動作補助は居住環境による人への自立支援と捉えることができる。本研究では、人と居住環境との間に生じる力の授受をモデル化することで空間による人の歩行支援性能の定量化を試み、既存の空間の歩行支援性能を評価することを目的とした。家具や建具などの居住環境を模擬した平行支持台を使用し、脳卒中片麻痺患者を対象とした伝い歩き動作計測を実施した結果、伝い歩き動作における伝う家具の高さが対象者の歩容と家具への荷重依存性に与える影響を明らかにした。さらに、居住空間の歩行支援性能評価アルゴリズムの構築とシステム化を実施した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、これまで人々が感覚的或いは経験的に認識してきた居住空間内における歩行しやすさを定量的に評価するシステムを開発した点で学術的意義が高い。また、人の住まい方に関連する空間の新たな評価軸となる点で社会的意義が高い。従来の住宅評価には断熱性能や耐震性能などの指標が用いられてきたが、これらはすべて建物側の性能のみに依存する指標であった。本研究で開発した歩行支援性能評価システムは、住まい手の特性によって空間の利用方法が異なる点に着目しており、住まい手個人にとって適切な住宅設計を実現することに貢献する点で社会的な意義があるといえる。

研究成果の概要（英文）：Walking support that a person receives through contact with the living environment, such as walking while touching walls or furniture, can be regarded as independence support for the person by the living environment. In this study, we aimed to quantify the performance of walking support by living space by modeling the transfer of force between a person and the living environment, and to evaluate the walking support performance of the living spaces. Using a parallel bar that simulates furniture, we measured the gait of stroke hemiplegic patients. We found that the height of the furniture during the gait affected the patients' gait and load dependence on the furniture. Furthermore, we developed and systematized an algorithm for evaluating the walking support performance of living spaces.

研究分野：建築工学・住居学・福祉工学

キーワード：伝い歩き 家具高さ 家具サポート力 歩行支援性能

1. 研究開始当初の背景

壁や家具に頼った伝い歩きなど、居住環境への接触を介して人が受ける動作補助は居住環境による人への動作支援と捉えることができる。世界的に高齢化問題が深刻化するなか、個人の身体機能に適した居住環境整備は、加齢や疾患などにより身体に障害を持つ人の生活動作の自立を促し、介護負担の軽減に貢献する。しかし、個人の状態や居住環境が多様であるため、現状の整備プロセスは試行錯誤的或いは経験に基づいて実施され、体系的な居住環境整備プロセスや空間の動作支援性能の定量的な評価手法が存在しない。

2. 研究の目的

本研究では最も基本的な日常生活動作である歩行に着目し、家具を伝いながら歩く伝い歩き動作を対象とした(a) 動作評価指標の開発、(b) 家具の高さ設計による動作への影響調査、ならびに(c) 空間の歩行支援性能評価システムの提案を目的とした。

3. 研究の方法

(a) 動作評価指標の開発および(b) 家具の高さ設計による動作への影響調査では、20名の脳卒中片麻痺患者を対象とし、家具の代用として平行支持台を用いた実験を行った。計測環境および被験者・介助者・計測者の位置関係を Fig. 1 に示す。平行支持台を複数の高さ条件に設定し、非麻痺側の手で平行支持台を伝いながら歩行する動作を計測した。自立歩行が可能であった場合、台を伝わない歩行も計測した。

計測には Azure Kinect DK(Microsoft, USA)、SR ソフトビジョン全身版(住友理工株式会社, 日本)および Pedar(novel GmbH, Germany)を使用し、各センサから動作中の関節位置座標、足底圧力および手元面圧を取得した。取得したデータを MATLAB 2023a(MathWorks inc., USA)によってコード化した分析プログラムにより処理し、時空間歩行パラメタ、関節運動学的パラメタ、足底圧力および手元負荷に関するパラメタを算出した。

日常生活動作の介助量を評価する機能的自立度評価法(Functional Independence Measure: 以下 FIM)の「移動」項目の評価、麻痺の程度を評価するブルンストロームステージ(BRS)、および歩行時の杖の使用有無によって被験者を群分けし、各群での各パラメタにおける高さによる傾向を分析した。さらに身体機能レベル間での差の検定により、動作評価指標の抽出と解釈を行った。

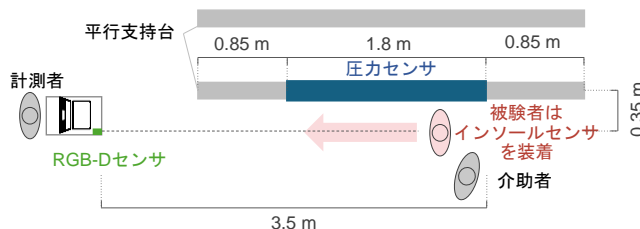


Fig. 1 実験環境<sup>[1]</sup>

(c) 空間の歩行支援性能評価システムでは、伝い歩き動作時を模擬した各地点での姿勢と足圧の値から身体負荷を算出し、これにより空間の歩行支援性能を評価することとした。評価値の妥当性を検証するため、複数の身体負荷推定モデルを提案し比較を行った。

身体機能の低下した男性1名(87歳、常時杖使用)を対象とし、被験者宅にて普段生活している1部屋を選定し、その部屋での伝い歩き計測実験を行った。福祉補助具の利用を含む経路の歩行を、Azure Kinect DK および Pedar で計測し、関節位置および足圧を取得した。対象とした部屋の3次元空間情報を LiDAR センサで取得した。また、上腕、前腕、体幹の可動域の計測、および身体バランステスト(BBS)と歩行評価テスト(G.A.I.T)を実施し、被験者の身体機能を評価した。

既往研究を参考に姿勢快適性スコア(REBA)、BBS および G.A.I.T の得点率を加味した身体負荷推定モデルを構築した。既往研究に倣ったモデル A(式(A))、実測歩行データの REBA を用いたモデル B(式(B))、両足総圧力を身体負荷と見做したモデル C(式(C))、モデル C に BBS テストおよび G.A.I.T テストの結果を統合したモデル D(式(D))、E(式(E))を構築した。この時 REBA スコアの値域に合わせて最大スコアを  $L = 15$  として正規化した。なお補助無で歩行中の平均 REBA を  $R_n$ 、補助有での平均 REBA を  $R_s$  とし、シミュレーションベースの REBA を  $R_{ss}$ 、補助具への推定支持姿勢を基に算出された平均 REBA を  $R'_{ss}$  とした。また補助有、無でのスコアをそれぞれ  $L_s$ 、 $L_n$ 、回帰係数を  $w_{1s}, w_{2s}, w_{1n}, w_{2n}$  と表し、モデル C, D, E での  $L_s$  は同じとした。

$$L_s = L_n = R_{ss} \tag{A}$$

$$L_s = (R_s/R'_{ss})R_{ss}, L_n = R_n \tag{B}$$

$$L_s = w_{1s} \times (R_s/R'_{ss})R_{ss} + w_{2s}, L_n = w_{1n} \times R_n + w_{2n} \tag{C}$$

$$L_n = w_{1n} \times R_n \times BBS + w_{2n} \tag{D}$$

$$L_n = w_{1n} \times R_n \times (1 - GAIT) + w_{2n} \quad (E)$$

各モデルで算出された身体負荷スコア $L$ に基づき、それぞれの「補助具最適設置場所」を算出した。補助具を設置していない場合と比較して①負荷スコア $L$ が減少した面積が最も広くなった補助具の位置、②負荷スコア $L$ が最も減少した補助具の位置の2通りで最適設置場所を定義した。実際の介護現場における福祉補助具の設置位置を「最適解」とし、最適設置場所と最適解との距離によってモデルの妥当性を評価した。

#### 4. 研究成果<sup>[1][2]</sup>

##### (1) 自立度に基づく被験者分類の必要性

欠損などを除きデータ解析可能であった被験者は計18名であった。被験者の基本情報は、年齢が65.8±10.6歳、身長が1.60±0.11m、体重が57.0±10.7kgであり、女性が10名、男性が8名であった。FIMは7が3名、6が6名、5が7名、4が2名であった。FIMの評価結果をもとに、自立群：FIM5～7点（16名）と要介助群：FIM4点（2名）に分類した。自立群に対して反復測定による台高さの分散分析を行ったところ、手元負荷に有意な差はなかった。つまり、必ずしも介助が必要ではない場合は台高さの変化、すなわち家具への体重のかけやすさの変化に関わらず、実際に家具に預ける荷重は有意に変化しないことが示された。一方で、要介助群は台高さが低いほど手元負荷が大きくなり、台高さの変化に伴い手元負荷が変化した。今回は2名の被験者であり限定的であるが、台高さとの相関分析の結果、-0.666と有意な相関を示した。以上の結果から、伝い歩き動作分析における被験者分類の重要性が示唆された。

##### (2) 台の動作支援効果

自立群に対して、台を伝う場合と伝わない場合の対応のあるt検定を行った結果、時空間歩行パラメータ、関節運動学的指標および足底圧力の3項目全てに有意な差が見られた指標があった。特に、台を伝う場合の方が麻痺側足底圧力（%体重）、麻痺側足へ体重移動する両脚支持期割合（%歩行周期）および体幹前屈平均角度が有意に小さかった。また、台を伝う場合の方が麻痺側の歩幅（%身長）および遊脚期の膝関節屈曲角度が有意に大きかった。これは台を伝い、麻痺側への負担が減少することで、両脚支持期割合の減少、体幹前屈の減少、歩幅の増加および遊脚期膝屈曲角度の増加が見られる正常パターンに近い動作が可能になった結果であると推測される。以上より、台の動作支援効果は以下の4項目に表れると考えられる：(i)麻痺側脚への負荷、(ii)麻痺側脚の動き、(iii)姿勢、(iv)歩行効率。(i)、(iv)の傾向については、既往研究で得られている手すりや杖の効果と一致する結果となった。一方で、台を伝う場合の方が体幹および骨盤の台への傾きが大きかったことから、台を伝う悪影響として左右非対称性の助長が挙げられることが示唆された。

##### (3) 動作評価指標の提案

自立群に対して多重比較を行った結果、FIM間で2対以上有意な差が見られた指標は手元負荷（%体重）、麻痺側へ体重移動する際の両脚支持期割合（%歩行周期）、歩行速度および体幹前屈平均角度であった。各指標の値の分布を確認したところ、FIMが高く正常動作に近いほど、手元負荷が小さく、麻痺側へ円滑に体重移動する傾向があった。また、体幹前屈角度が小さく、歩行速度が大きかった。以上の結果は、下記4つの動作評価項目に大別可能であった：(I)台への依存度の低さ、(II)リハビリ効果の高さ、(III)姿勢の良さ、(IV)効率の良さ。これは(2)で示した台の動作支援項目と関連があり、本研究で抽出された指標の伝い歩き動作評価指標としての有用性を示唆した。

##### (4) 空間の歩行支援性能評価システムのための身体負荷推定モデルの検証

被験者のBBSとG.A.I.Tの得点率はそれぞれ66%、29%であった。上述の5つのモデルで算出された各定義での最適設置場所と最適解との距離は表1のようになった。なお複数場所算出されたものは最短距離のみ記載する。結果から定義①ではモデルBが、定義②ではモデルDおよびEが最適解と最も近くなった。しかしながら、補助無の方が補助有よりも負荷スコアが低い場合も考慮可能な定義②での結果の方が、より被験者の身体機能に沿っていると考えられる。

表1 各モデルでの各定義での最適解との距離

モデル	定義①での距離	定義②での距離
A(REBA)	0.939 m	1.04 m
B(実測歩行)	0.195 m	3.36 m
C(総圧力)	0.939 m	1.47 m
D(BBS)	0.939 m	0.939 m
E(G.A.I.T)	0.939 m	0.939 m

- [1] 小川愛実, 岩見萌希, 高橋正樹, 柴田昌知, 小川健治, 栗原正紀, 長岡浩, 山崎寿周, 脳卒中片麻痺患者を対象とした家具の伝い歩き動作分析, LIFE2024, 東京, 2023.9.14 口頭発表.
- [2] Keisuke Miyaoka, Takayuki Ando, Ami Ogawa, A Physical Load Estimation Model of Assisted Walking for Welfare Aid Placement, The 18th International Conference of the Association for the Advancement of Assistive Technology in Europe (AAATE), Nicosia, Cyprus, 2025.9, Oral.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 MOTOYAMA Ryosuke, KONDO Masayoshi, OGAWA Ami, MITA Akira	4. 巻 89
2. 論文標題 生活空間を想定した歩行時90度方向転換動作の解析とリアルタイム予測	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Journal of Environmental Engineering (Transactions of AIJ)	6. 最初と最後の頁 222 ~ 233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3130/aije.89.222	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計7件（うち招待講演 0件/うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Moeko Yamane, Yosuke Kawasaki, Masaki Takahashi, Ami Ogawa
2. 発表標題 Verification of Optimal Sensor Placement System for Gait Assessment in Living Space
3. 学会等名 The 17h International Conference of the Association for the Advancement of Assistive Technology in Europe (AAATE) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mone Iwami, Masaki Takahashi, Masatomo Shibata, Kenji Ogawa, Masaki Kurihara, Hiroshi Nagaoka, Hisanori Yamazaki, Ami Ogawa
2. 発表標題 A Pilot Study on the Relationship Between Hand Load and Gait During Walking While Holding on to Furniture in Patients with Hemiplegia Stroke
3. 学会等名 The 17h International Conference of the Association for the Advancement of Assistive Technology in Europe (AAATE) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Ami Ogawa, Mone Iwami, Masaki Takahashi, Masatomo Shibata, Kenji Ogawa, Masaki Kurihara, Hiroshi Nagaoka, Hisanori Yamazaki
2. 発表標題 Gait Analysis while Holding onto Furniture with Hemiplegic Stroke Patients
3. 学会等名 the 17th International Conference on Motion and Vibration Control (MoViC2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小川愛実, 岩見萌希, 高橋正樹, 柴田昌知, 小川健治, 栗原正紀, 長岡浩, 山崎寿周
2. 発表標題 脳卒中片麻痺患者を対象とした家具の伝い歩き動作分析
3. 学会等名 LIFE2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 斎藤真優, 小川健治, 長岡浩, 篠藤博憲, 小川愛実
2. 発表標題 脳卒中片麻痺患者を対象とした手すり高さが階段歩行動作に与える影響
3. 学会等名 2023年度日本建築学会大会(近畿)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Mahiro Saito, Kenji Ogawa, Masatomo Shibata, Masaki Kurihara, Hirokazu Shinoto, Hiroshi Nagaoka, Ami Ogawa
2. 発表標題 Estimating ground reaction force during walking in patients with knee osteoarthritis
3. 学会等名 The 15th International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics (AHFE 2024) (国際学会)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 岩見萌希, 高橋正樹, 柴田昌知, 小川健治, 栗原正紀, 長岡浩, 山崎寿周, 小川愛実
2. 発表標題 脳卒中片麻痺患者を対象とした家具高さに関連する伝い歩き動作評価指標パイロット研究
3. 学会等名 LIFE2022
4. 発表年 2022年

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------