

# 自己アバタとのインタラクションが リュックサック着用中の歩行姿勢へ与える影響

Effect of Interaction with Self-Avatar on Walking Posture while Carrying a Backpack

大柴 雅基<sup>1</sup> 武藤 ゆみ子<sup>2</sup> 粕谷 譲<sup>3</sup> 山田 竜平<sup>1</sup> 鈴木 友菜<sup>1</sup> 萩原 瑞貴<sup>1</sup> 武藤 剛<sup>1</sup>

Masaki Oshiba<sup>1</sup>, Yumiko Muto<sup>2</sup>, Jo Katsuya<sup>3</sup>, Ryuhei Yamada<sup>1</sup>

Yuuna Suzuki<sup>1</sup>, Mizuki Hagiwara<sup>1</sup>, and Takeshi Muto<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 文教大学 情報学部 情報システム学科

<sup>1</sup> Department of Information Systems, Faculty of Information  
and Communications, Bunkyo University

<sup>2</sup> 玉川大学 脳科学研究所

<sup>2</sup> Tamagawa University, Brain Science Institute

<sup>3</sup> 有限会社テレビジネス

<sup>3</sup> TeleBusiness Inc.

**Abstract:** In this research, we are developing interface technology that can support correction of walking posture in various situations in daily life by promoting awareness of it. We evaluated the walking posture who is using a self-gait presentation system that uses a wearable motion capture system and MR goggles. As a result, we found a case that the walking posture was corrected even when wearing a backpack containing heavy objects.

## 1. はじめに

姿勢は、健康状態や加齢により変化し、転倒事故や、骨折や脳疾患等の疾患を引き起こす原因の一つになり得ることが知られている[1][2]。これまで、我々の研究グループでは、姿勢の変化と加齢の関係を調べ、静止時よりも動作時の姿勢の方が加齢の影響を受けることを示してきた (e.g, [3][4])。さらに、これらの知見に基づき、歩行時の姿勢の改善を支援することを目的とし、現実空間上に仮想的に物体を映し出し、人の動きに合わせてそれらの制御を実現する Mixed Reality (MR) 技術を用いて、自己歩容提示システムを構築した[5][6]。これにより、ユーザは、MR ゴーグルを装着することにより、現実空間上に可視化された自己の姿勢をリアルタイムで確認しながら、ワイヤレスで自由な歩行が可能となり、歩行中の姿勢が改善することが示された[5]。また、障害物を越えるなどの課題を課した場合には、MR ゴーグルを通して自己の歩容の変化を確認しながら、動作が可能になり、前傾姿勢改善の効果があることが明らかになった[6]。このように、実環境における歩

行では、周囲や外乱に向けて注意を向ける必要があり、そのような環境下の実証実験は、歩行時の姿勢の改善を支援する技術開発のために、不可欠である。

また、日常生活における歩行では、手提や鞆などの使用が一般的である。特にリュックサックは、それらの鞆のなかで、最も歩行エネルギー消費量が低く、低負荷であれば脊柱後弯者に対する姿勢矯正と腰痛軽減効果があると知られている[7]-[9]。そこで本研究では、荷物運搬において最も姿勢矯正や腰痛軽減効果のあるリュックサックを用いて、荷物運搬における姿勢における本システムの有効性を調べる。

従来、リュックサック着用の有無や重量の違い(体重に対する荷重 5%, 15%) により、若年者と高齢者に共通して、骨盤前傾角度の増加がみられることが明らかにされている[7]。これは、リュックサックによる体幹の重心の変化によるものと考えられる。以上から、このような重心の変化を伴う場合の歩行における姿勢への影響を調べることにより、日常生活を想定した歩行条件下における本システムの有効性を明らかにし、今後の高齢者を対象とした実験に向けた基礎的な知見を得ることを本研究の目的とする。

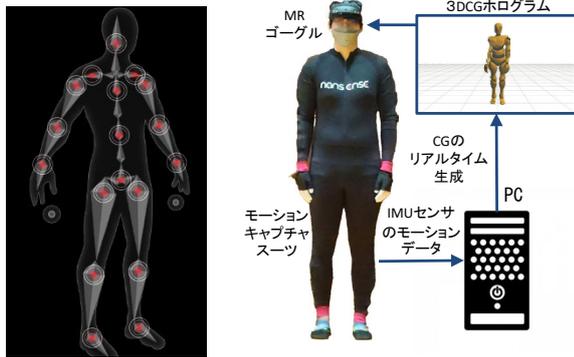


図 1: 自己歩容提示システム

## 2. 自己歩容提示システム

自己歩容提示システム[5]を図 1 に示す. このシステムは, スーツ式のモーションキャプチャ (ENETERPRSE BioMed Suits, NANSENSE Inc.製) に内蔵されている 22 個の IMU センサーにより計測された着用者の動作データが, 無線 LAN により PC 上で動作する動作解析ソフトウェア (NANSENSE STUDIO, NANSENSE Inc.製) にリアルタイムで送信することができる. そして, そのデータは, 同ソフトウェアにより, 計測開始位置を原点として, 36 か所の骨格位置の座標データ及び, 角度データに変換され, FBX 形式及び, CSV 形式のデータとして記録される. また, FBX 形式の同データは無線 LAN により, 着用者の装着している MR ゴーグル上へリアルタイムで送信することができる.

MR ゴーグル上では, その送信されたデータに基づき, Adobe 社が公開している 3DCG キャラクターデータのサイト Mixamo に掲載されている人型のアバタ (Y-bot, walking, Adobe 社製) の CG ホログラムとして再構成され同システムの利用者の前方に提示される (図 2). その際, Meerhoff らの報告[10]に基づき, 提示されるアバタへ追従しやすいように, 利用者の視座から, 一定の距離を保ち, アバタが常に使用者に背中を向けながら歩行するように設定され



図 2: アバタの位置イメージと視座映像

ている. また, アバタの大きさや提示位置に関しては, 使用者が自身の視座から任意で設定できるため, 自身の歩行をできるだけ妨げない形式で映像を提示できるように調整が可能となっている. このような, CG や MR 技術を用いた歩行運動の支援技術に関しては, 提示映像との距離や動きを制御することで, 主に使用者の下肢運動を誘導する手法[11]や, 歩行能力の評価テストに使う手法が提案されている [12][13]. 一方, 本提案システムでは, 自由歩行中の全身の動きをスーツ式のモーションキャプチャを用いた計測によって記録するとともに, 全身の動作を歩きながら視認することを通して, 自分の歩行姿勢への気づきをリアルタイムで促すことができる.

## 3. 実験手法

自己歩容提示システムを使用している際の歩行姿勢の確認を目的とした実験を行った. 自己歩容を提示しない条件 (Non-3DCG 条件) と, 自己歩容を提示する条件 (3DCG 条件) に関し, 直井らの手法[7]を参考に, 以下の課題を対象とした計測を行った. 参加者は, 各実験間には十分な休憩を取ることができた. また, 本実験は, 文教大学の「情報学部研究倫理審査委員会」の承認のもとで実施された (承認番号 2016-1).

**Free 課題:** 体育館内に作成された半径 7 メートルの円形トラックを, 同システムを装着し, 反時計回りで 5min, 普段の自分のペースで歩行する. (図 3(a))

**5%負荷課題:** 自由歩行課題に加え, 5%の質量の荷物を入れたリュックサックを背負いながら歩行する. (図 3(b))

**15%負荷課題:** 5%負荷課題の荷物の質量を利用者の体重の 15%へ変更した課題.



図 3: (a) Free 課題, (b) {5%, 15%}負荷課題

## 4. 評価方法

自己歩容提示システムにより得られたデータには、計測を開始した地点を原点として 36 か所の骨格位置の座標データの位置座標  $(x, y, z)$  及び、各軸のオイラー角  $(\varphi, \theta, \psi)$  の時系列データとして、120Hz のサンプリングレートで記録された。そして、歩行開始直後の 30sec を除いた、120sec を評価対象として分析が行われた。特に、その評価指標として、体幹の前後と左右の傾き、及び上下動に着目して分析を行った。

具体的な手順として、体幹の前後と左右の傾きについては、評価対象のデータに対し、参加者の腰 (Hip) の座標の垂直軸周りのオイラー角  $(\theta)$  に基づき、計測開始地点での向きを基準として、各時刻における歩行している向きを推定し、その腰の向きを  $z$  軸とした相対座標系への変換を行った。そして、図 4 に示すように、首の付け根 (Neck) の位置を原点とした座標上の頭頂 (HeadTip) の位置の前後 ( $z$  方向) と左右 ( $x$  方向) の時系列データ (Head) を評価対象とした。

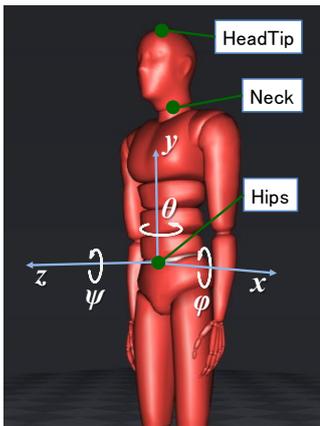


図 4: 姿勢評価における座標点の位置

## 5. 結果

図 5 に、各実験条件における実験参加者の Head の位置の軌跡を示す。横軸は、Neck に対する、HeadTip の  $x$  方向での位置を示しており、値が正であれば頭頂部が首元よりも右に位置する体幹が右に傾いた姿勢であることを示している。また、縦軸は、 $z$  方向の頭頂部の位置を示しており、値が正であれば頭頂部が首元よりも前に位置する体幹が前傾した姿勢であることを示している。図中の赤ドットは各実験の評価対象データ  $Head_x$ ,  $Head_z$  のそれぞれの平均値の座標を示している。これらの結果から、全ての課題で Non-3DCG 条件よりも 3DCG 条件のほうが、頭頂

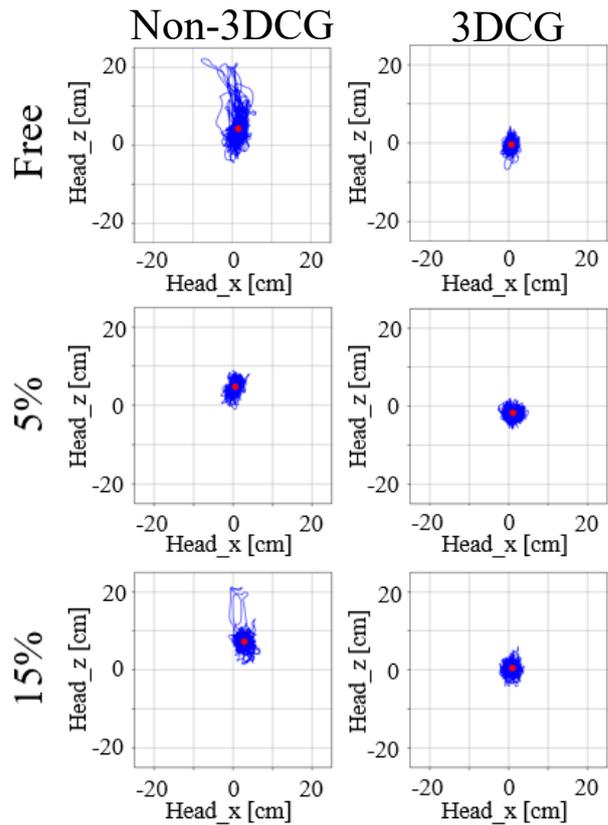


図 5: Head の軌道

部が後方に位置していることが確認できた。また、軌道の大きさについては、5%負荷課題、15%負荷課題ともに、Free 条件と比べ、小さくなっていった。また、全ての課題で、Non-3DCG 条件よりも 3DCG 条件の場合の方が前後方向に軌道の大きさが小さくなっていった。

次に、 $Head_z$  の平均値を図 6 に示す。実験条件と課題を固定因子とした二元配置分散分析 (Two-way Factorial ANOVA) を行った結果、交互作用があった

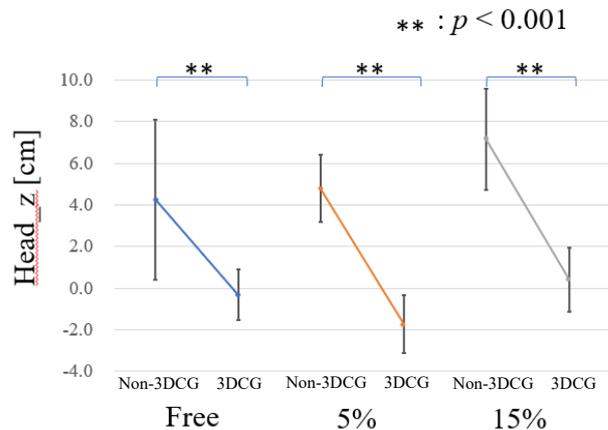


図 6:  $Head_z$  の平均値の比較

表 1: Head\_z の分散値の比較

Condition	Task	Variance of Head_z
Non-3DCG	Free	14.72
	5%	2.57
	15%	5.94
3DCG	Free	1.46
	5%	1.92
	15%	2.35

( $F(2,125905)=3015.61, p<0.001$ ). Bonferroni 法による多重比較を行い、どの実験課題においても Non-3DCG 条件と 3DCG 条件の間に有意差があった ( $p<0.001$ ). また、表 1 に Head\_z の分散値を示す。この結果から、全ての実験課題に関し、Non-3DCG 条件よりも 3DCG 条件のほうが、分散値が小さいことがわかる。

## 6. 考察

5 章より、Head に関しては、全ての課題で、Non-3DCG 条件よりも 3DCG 条件の場合のほうが、Head\_z の平均値が小さくなっていった。このことから、自由歩行時だけでなくリュックサック着用時においても、提案手法を用いた歩行のほうが、頭部がより後方に位置する、体幹の前傾度合いの少ない歩行姿勢となっていることがわかる。また、Head\_z の分散値に関しても同様に、Non-3DCG 条件よりも 3DCG 条件の場合のほうが小さかったことから、リュックサック着用時においても、提案手法を用いた歩行のほうが体幹の前後動揺のより少ない歩行姿勢となっていた。

本研究の結果から、荷物運搬における姿勢においても本システムが有効である可能性が示された。しかしながら、本研究は一例での結果であり、今後は、これらの実験結果に基づき高齢者と若年者を対象とした比較実験を行い、有効性を明らかにする。また、歩行時の姿勢への影響に加え、リュックサックの荷重による重心変化などの影響について、関節角度も調べることにより、どのような仕組みで効果が生じているのかを調べていく。

## 7. おわりに

本研究では、荷物運搬において最も姿勢矯正や腰痛軽減効果のあるリュックサックを用いて、荷物運搬における姿勢における本システムの有効性を調べ

た。その結果、提案システムにより、自由歩行時だけでなく、リュックサック着用時も、体幹の前傾及び前後動揺の少ない安定な歩行姿勢となる補正効果が得られる可能性を示した。今回は一例での結果ではあるが、最も姿勢矯正や腰痛軽減効果のあるリュックサックを用いた場合の若年者の歩行においても、姿勢改善の傾向が得られていることから、障害物を越える課題を用いた結果[6]と同様に MR ゴーグルで自己歩容の変化を確認できることの効果が得られている可能性があると考えられる。

今後は、さらに高齢者と若年者の比較実験を行い、歩行時の姿勢への影響に加え、リュックサックの荷重による重心変化などの影響について、関節角度も調べることにより、どのような仕組みで効果が生じているのかを調べていく。

## 8. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP 21H03857 の助成を受けたものです。

## 参考文献

- [1] Kado, D., Huang, M., Nguyen, C., Barrett-Connor, E., Greendale, G.: Hyperkyphotic Posture and Risk of Injurious Falls in Older Persons: The Rancho Bernardo Study, *The Journals of Gerontology: Series A*, Vol. 62, No. 6, pp. 652-657, (2007)
- [2] 武藤 芳照, 太田 美穂, 長谷川 亜弓, 山田 有希子, 杉山 明希: 総説・転倒予防, *臨床整形外科*, Vol.40, No.5, pp.537-548, (2005)
- [3] 武藤ゆみ子, 菅生誠, 伊藤穂南, 圓井楓, 細野雄一郎, 武藤剛: 高齢者の姿勢の歪み評価のための Kinect 活用手法の提案, *ヒューマンインタフェース学会論文誌*, Vol.19, No.3, (2017)
- [4] Muto, Y., Sugou, M., Tsumurai, K., Ito, H., Hosono, Y., Muto, T.: Posture Analysis and Evaluation for Modeling in Elderly Adults, *Human Computer Interaction, User Interface Design, Development and Multimodality, Lecture Notes in Computer Science*, Springer, Cham, Vol. 10271, pp. 506-521, (2017)
- [5] 武藤 ゆみ子, 粕谷 譲, 大柴 雅基, 鈴木 友菜, 山田 竜平, 萩原 瑞貴, 武藤 剛: MR 技術を活用して投影された自己との協調歩行が歩容に与える影響, *日本ロボット学会学術講演*, 4D3-06, (2022)
- [6] 武藤 剛, 粕谷 譲, 大柴 雅基, 鈴木 友菜, 山田 竜平, 萩原 瑞貴, 武藤 ゆみ子: 自己歩容とのインタラクションによる歩行姿勢の補正手法の提案; *ヒューマンインタフェースシンポジウム 2022*, pp.330-332,

(2022)

- [7] 直井 俊祐, 勝平 純司, 丸山 仁司: リュックサック使用が歩行動作の運動学・運動力学的変化に及ぼす影響—若年者と高齢者を対象として—, 理学療法科学, Vol.29, No.6, pp.923-926, (2014)
- [8] 田中 貴子, 北川 知佳, 朝井 政治, 川俣 幹雄, 土屋 弦子, 岩永 起代子, 千住 秀明: 荷物運搬方法の相違による歩行時エネルギー消費と換気機能の変化, 長崎大学医療技術短期大学部紀要, Vol. 7, No. 3, pp. 129-132, (1994)
- [9] 山田太智: 荷物の運搬方法と酸素需要量の変化, 山形理学療法学, Vol. 3, pp. 25-28, (2006)
- [10] Meerhoff, L.A., Poel, H.J.D., Jowett, T.W.D., Button, C.: Walking with avatars: Gait-related visual information for following a virtual leader, Human Movement Science, Vol. 66, pp. 173-185, (2019)
- [11] Miller, D.A., Ogata, T., Sasabe, G., Shan, L., Tsumura, N., & Miyake, Y.: Spatiotemporal Gait Guidance Using Audiovisual Cues of Synchronized Walking Avatar in Augmented Reality, IEEE Access, Vol. 10, pp. 90498-90506, (2022)
- [12] Geerse, D.J., Coolen, B., Roerdink, M.: Quantifying Spatiotemporal Gait Parameters with HoloLens in Healthy Adults and People with Parkinson's Disease: Test-Retest Reliability, Concurrent Validity, and Face Validity, Sensors, Vol. 20, No. 11, pp.3216, (2020)
- [13] Koop, M., Rosenfeldt, A.B., Owen, K., Penko, A.L., Streicher, M.C., Albright, A., Alberts, J.L.: The Microsoft HoloLens2 Provides Accurate Measures of Gait, Turning, and Functional Mobility in Healthy Adults, Sensors, Vol. 22, No. 5, pp. 2009, (2022)