



# 歩行に合わせて伸縮する杖型デバイスを用いた 仮想階段昇段手法

A Virtual Stair Ascension Method Using a Cane Device That Expands and Contracts in Sync with Walking

寺田淳之介<sup>1)</sup>, 岡嶋克典<sup>2)</sup>

Junnosuke TERADA, Katsunori OKAJIMA

- 1) 横浜国立大学大学院環境情報学府 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7, terada-junnosuke-kp@ynu.jp)  
2) 横浜国立大学大学院環境情報研究院 (〒240-8501 横浜市保土ヶ谷区常盤台 79-7, okajima@ynu.ac.jp)

**概要:** 実空間での平地歩行時に、視覚的に階段昇段する映像の提示に合わせて物理的に伸縮する杖型デバイスを用いることで、昇段感覚を向上させる手法を提案する。ユーザーは歩行中に体重をかけた杖が縮むと同時に視線が上昇することで、あたかも階段を昇段したように感じることを示す。これは、視覚、触覚、固有感覚間の相互的なクロスモーダル効果とマルチモーダル統合が生じたためと考えられる。

**キーワード:** 移動感覚, クロスモーダル効果, マルチモーダル統合, 力覚・体性感覚

## 1. はじめに

平地歩行中の視覚情報を変調させることで疑似的に異なる移動感覚を生成できる[1]が、主に平行移動を対象としている。しかし、VR空間においても階段や坂道といった高低差のある地形の再現は有意義であり、とくにゲームや建築設計、リハビリテーションなどにおいて「上る」や「下る」の感覚は重要である。

VR空間において垂直方向の移動感覚を生成するための研究は、主に実空間における身体の昇降を伴う手法と、視覚的操作によって錯覚的に昇降感を生起させる手法に大別される。前者には、低速のリフターを用いて繰り返し同じ階段を昇ることで無限の上昇感を与える手法 [2] や、アクチュエーターを内蔵した靴型デバイスによって足元を持ち上げ、段差を再現する手法 [3] などがある。しかしこれらは、装置の大型化や可搬性の低さといった課題があり、機動性や安定性に制限がある。

一方、実際の上下動を伴わず、視覚情報や軽微な触覚刺激によって昇降感を誘導する手法も提案されている。たとえば、床に設置した微小な突起物と階段映像の組み合わせにより視覚の相互作用を活用した手法 [4] や平地歩行における足の動きを仮想階段にマッピングし、視覚的ゲインを付与する手法 [5][6] が挙げられる。このような錯覚的手法は、比較的安全で高いユーザビリティを有し、自由度の高い移動体験を実現できるという利点がある。一方で、触覚や固有感覚といった昇降に関する身体的感覚の提示

が限定的であるため、移動感覚の現実感の向上には限界がある。

そこで本研究では、平地歩行に同期して縮む杖型デバイスを開発し、ユーザーにVR空間内で階段を上っているような感覚を与える手法を提案する。歩行動作と連動した杖の縮みと上昇映像によって階段昇段の知覚に参与している視覚・触覚・固有感覚・前庭感覚を適切に刺激し、階段を昇段しているかのような錯覚を誘発できることを示す。

## 2. 提案手法

### 2.1 階段昇段時の感覚情報

図1のように、杖を使って実空間で階段を昇段する際、4つの感覚が主として働き、これらがマルチモーダルに統合され、階段を昇段する感覚が生じると考えられる



図 1: 現実での階段昇段に関与する感覚情報

## 2.2 システム設計

図2のように、実空間で杖を使って階段を上る際、各部位が連動して上昇している。T2のように杖を上段に突いて前足を上段に乗せる。T3かT5にかけて、杖に力をこめて地面からの反力を得ることで、身体を押し上げ下半身の負担を減らして昇っている。この動きを頭部や胴体を中心とした座標系で見ると、杖を一度持ち上げてから力を込めて押し下げていることになる。平地歩行中にこの腕の動きを再現することで、階段昇段時の腕の感覚情報を擬似的に再現できる。

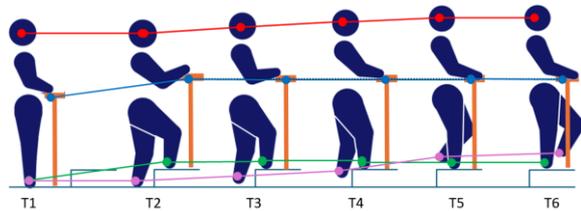


図2：階段昇段時の頭・杖・前足・後足の高さ変化

先行研究[5]では主に実空間での後足の上昇開始を入力として、仮想空間での身体上昇（視覚的上昇）を生じさせていた。これに杖の動きを連動させる場合、いくつかの連動方法が考えられる。今回は杖型デバイスによる腕の固有感覚再現の効果を検証するために、従来手法に加えて①後足の動作を入力として実空間の杖を縮め、②実空間の杖が縮んだ分、仮想空間内で身体を上昇させた。実空間の足の動きと杖の長さは Vive トラッカーを使用して取得し、現在の足の位置や杖の長さから伸縮を判定した。

## 3. 実験

### 3.1 目的

本実験では従来手法と比較して、杖型デバイスを用いた本提案手法が仮想階段昇段時の移動感覚に与える影響を検証した。

### 3.2 条件とタスク

提案手法と比較する従来手法として、実空間における足の動作を入力とし、仮想空間での身体上昇（視覚的の上昇）をマッピングする手法を設定した。それ以外の要素は、両条件間で可能な限り統一した。1 試行内で、参加者は VR 空間内で高さ 10cm の階段を 3 段分昇段する。昇段完了後、以下の 2 項目について、7 段階のリッカート尺度（1: 全くそう思わない ～ 7: 非常にそう思う）で回答を求めた。

項目 1：階段を昇った感覚に近いと感じた（昇段感）

項目 2：自身が上昇したと感じた（上昇感）

これらの評価は、視覚情報および身体動作を含めた総合的な感覚に基づいて判断するよう指示した。各条件につき 5 回の試行を行い、計 10 回の試行をランダムな順序で行った。全試行終了後、聞き取り形式でいくつかの質問への回答と、自由回答で参加者のコメントを収集した。

## 4. 結果と考察

図3に8名の評価スコアの平均値を示す。左は昇段感、右は上昇感である。提案手法は従来手法に比べて、昇段感も上昇感も有意に高い評価が得られた。実験後の参加者コメントに「杖がない条件では視覚的上昇が「自身の上昇」か「環境の下降」かわからなくなる」があった。これは、腕からの触覚・固有感覚が視覚情報と統合されることで「自分が昇っている」という感覚が強化されたクロスモーダル効果が生じていたことを示唆する。

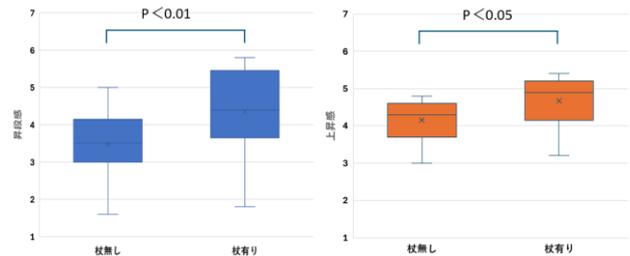


図3：提案手法と従来手法における主観評価結果

同様に、杖操作に対する主体感も視覚および足の固有感覚とのクロスモーダル効果によって生じており、他の感覚情報が前庭感覚に影響を及ぼし、クロスモーダル効果の一種であるベクシオンも誘発していた可能性もあり、これら複数の感覚情報の統合（マルチモーダル統合）も生じていたと考えられる。

## 参考文献

- [1] Razzaque, S., Kohn, Z., & Whitton, M. C. (2001). Redirected walking. *Proceedings of EUROGRAPHICS*, 9, 105–106.
- [2] Nagao, R., Matsumoto, K., Narumi, T., Tanikawa, T., & Hirose, M. (2017). Infinite stairs: Simulating stairs in virtual reality based on visuo-haptic interaction. *ACM SIGGRAPH 2017 Emerging Technologies (SIGGRAPH '17)*, Article 14, 1–2. Association for Computing Machinery.
- [3] Cheng, J.-H., Chen, Y., Chang, T.-Y., Lin, H.-E., Wang, P.-Y., & Cheng, L.-P. (2021). Impossible staircase: Vertically real walking in an infinite virtual tower. *Proceedings of IEEE Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR)*, 50–56
- [4] Schmidt, D., Kovacs, R., Mehta, V., Umapathi, U., Köhler, S., Cheng, L.-P., & Baudisch, P. (2015). Level-Ups: Motorized stilts that simulate stair steps in virtual reality. *Proceedings of the 33rd Annual ACM Conference on Human Factors in Computing Systems (CHI)*, 459–462.
- [5] 叶谷弘介, 岡嶋克典. (2022). 仮想空間内の疑似階段における階段歩行感の評価手法と非整合な身体動作の効果. *日本バーチャルリアリティ学会大会論文集*.
- [6] Seo, M., & Kang, H. (2021). Toward virtual stair walking. *The Visual Computer*, 37(9–11), 2783–2795.