



# 手すりを用いた坂道を上る感覚の再現の研究

Reproduction of the sensation of climbing a slope  
using a handrail and investigation of grasp perception

大橋夢叶<sup>1)</sup>, 酒田信親<sup>1)</sup>

Yuto OHASHI, and Nobuchika SAKATA

1) 龍谷大学 (〒520-2194 滋賀県大津市瀬田大江町横谷 1-5)

概要：本研究の目的は、坂道に取り付けられているような傾斜を持つ手すりを把持した感覚を利用して平面を歩いているにもかかわらず、坂を上る感覚を再現することである。そこで、手すりに対しての人間の傾斜知覚の調査を行い、次に手すりの視覚情報と触覚情報によるクロスモーダル現象の調査をする。具体的には、(i)触覚のみでの手すりに対する傾斜知覚(ii)視覚変調を施した手すりに対する傾斜知覚(iii)視覚変調を施した坂に対する視覚の傾斜知覚について実験を行った。

キーワード：手すり, クロスモーダル現象, 坂道

## 1. はじめに

近年、Virtual Reality(VR)の研究分野において、クロスモーダル現象を利用した研究が数多く行われている。クロスモーダル現象とは複数の感覚が同時に提示された際に互いに影響を及ぼしあい、他の感覚から受ける刺激によって知覚が変化する現象のことである。人間の感覚は相互に関連しており、視覚を通じて触覚を提供することが可能であることが明らかとなっている。また、視覚と触覚の間には強い相互作用がある[1].

仮想環境内での水平方向の移動の研究は、数多く行われている。Narumi et al. は、視覚と触覚の相互作用により、曲がった壁に沿って歩いているにも関わらず直進歩行しているように感じるシステムの開発 [2] を行った。Frank et al. は、視覚情報の操作のみで、ある範囲以上ではユーザは曲線ではなく直線を歩いていると感じることを明らかとした[3].

しかし、仮想環境内では、坂道や階段といった垂直方向の移動の再現が困難なことが明らかとなっている。理由としては、物理的な傾斜を用いる場合 HMD を装着した状態では恐怖感により体験が困難であることが挙げられる。仮想環境内で垂直方向の研究を行った例として、Hoshi et al. は、物理的にトレッドミルに傾斜をつけることで仮想環境内での坂道を上る感覚を再現した[4]. ワイヤフレームによって踏み外しの無いよう考慮されていたにもかかわらず歩行時に恐怖感が生じてしまった。また、Dominik et al.

は、靴の底に垂直方向へ作動するアクチュエータを取り付けることにより、仮想環境内での段差を越える感覚の再現を行った[5]. しかし、取り付けたアクチュエータによって靴の底に高さが生じることでふらつき、歩きにくいという問題点があった。これらの研究は、物理的な手法で傾斜や段差を発生させて、それらを知覚させる手法を用いていた。発生した傾斜や段差は実物であるため、その再現性は高いものの、実物であるがゆえに危険が生じることや、恐怖感を使用者に抱かせてしまう欠点があった。

Narumi et al. は、クロスモーダル現象を利用し、仮想環境内で階段を上る感覚を再現する研究[6]を行った。視覚と触覚の同時提示により物理的な段差を用いずに階段の昇降感を再現した。クロスモーダル現象を利用した感覚提示の代表例である疑似触覚(Pseudo-Haptics)に着目し、視覚情報の操作により仮想環境内で椅子の柔らかさへの知覚変化を調べる研究を行った [7]. Nordahl et al は、仮想環境内でエレベータに乗った際に、振動触覚提示をすることで垂直方向の運動を錯覚することを明らかとした[8].

また、本研究では手すりの利用を前提としているために手の棒に対しての知覚も重要であると考えた。Ban et al. は、視覚情報の空間変調によって、棒の角度知覚の操作が可能であることを明らかにした[9]. Matsumoto et al. は曲率操作と Redirected Walking を用いることで仮想環境内での知覚の操作をおこなった[10]. 具体的には、実環境中の正方形のテーブルを、仮想環境内で五角形のテーブルに感じさ

せることに成功した。これらの関連研究より本研究の目的である、クロスモーダル現象を利用した坂道の再現の可能性は高いことが示唆される。

## 2. 手すりをを用いた仮想環境内での坂道の再現

### 2.1 提案手法の概要



図 1: 提案手法の概要図

平坦な空間に取り付けられた手すりは、地面と平行に取り付けられている。一方で、上下方向へ移動する際に使われる手すりは、坂道や階段やエスカレータの傾斜に合わせて取り付けられている。これらの状況下で、傾斜に合わせて取り付けられた手すりは、上下方向への移動への補助として用いられる。このように手すりが傾斜をもって取り付けられている場合は、坂道や階段といった上下方向へ移動する必要があるのがほとんどであることから、人間が手すりを斜めであると知覚すると現在傾斜のある場所にいると錯覚するのではないかと考えた。

本提案手法では、平面移動が可能で歩行者に追従する機能を有する手すりに手をそえながら、歩行者に装着させたHMDに歩行するシーンを提示する。また、本提案手法の手すりデバイスは、手すり自体が回転する機能を実装することで、坂を上り続けることや下らせ続けている感覚を与えることを可能にする予定である。この手すりデバイス使用時は、平面を歩行するので転倒の恐れはなく、安全に坂道の歩行感覚を提示可能であると考えている。

図1上の「手すりが地面と平行」では、手すりデバイスの回転モータの制御によって手すりは地面と平行である。また、HMDには視覚情報として手すりを持ちながら平面を歩行するシーンが提示されている。この状態では、被験者は手すりを持ちながら平面を歩行する感覚を得る。

図1下の「手すりが上向き斜めするとき」では、実環境中の手すりデバイスは回転したことで傾むいており、手から

得る感覚が図1上の時に比べ、手すりの傾斜を感じるようになっている。くわえて、視覚情報として手すりをつかんでいる手と坂道を上る映像を提示する。この状態では、被験者に手すりが斜めであると知覚させるのと、坂道を上る映像を同時に提示することで、平面を歩いているにもかかわらず坂道を上っている感覚を与える。

### 2.2 手すりデバイス

本提案手法に用いる手すりデバイスを図2に示す。手すりをモータで制御し、任意の傾斜の手すりを再現可能となっている。図2の様に、手すりを円形台の外側に設置し、円形台の下部に車輪を取り付けることで、被験者の歩行に合わせて安定して移動可能な設計を考えている。

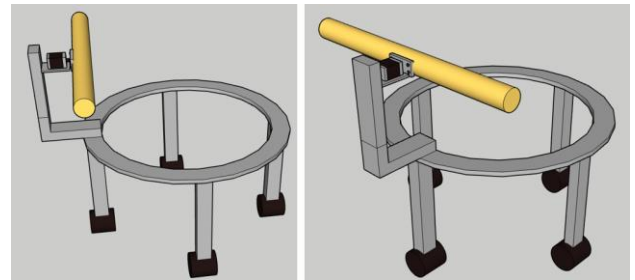


図 2: 手すりデバイスの概要図

## 3. 実験

最初に本研究では、手すりの傾きの推定には視覚と触覚のどちらが優先して作用するのかを調査するための実験を設定した。手すりに対しての人間の傾斜知覚の調査を行い、次に手すりの視覚情報と触覚情報によるクロスモーダル現象の調査をする。これらの実験を通して、最も効果のある手すりの提示方法を調査したうえで、本提案手法における手すりの提示方法を決定する。

### 3.1 触覚のみによる手すりの傾斜知覚の調査

本実験では、被験者は目隠しをした状態で実環境中の手すりを把持する。提示する手すりの傾きは0~50度の範囲内で5度刻みである。この範囲内からランダム5パターンを被験者に提示し、把持した手すりの傾きを口頭で回答してもらう。

本実験により、触覚のみで手すりの傾きをどれだけ正確に知覚することが可能かを調査する。視覚情報なしで、棒の角度を知覚する場合には、正確な角度推定が行えないことが明らかとなっている[9]。このことから、視覚情報なしの場合、0~20度の範囲ではほぼ0度付近であると錯覚すると予想している。

### 3.2 視覚変調を施した手すりに対する傾斜知覚

本実験では、視覚情報として実環境とは異なる手すりの角度を提示する。その際に、どの程度の角度まで実環境中の手すりに対して仮想環境内の手すりの角度を誇張して提示可能かを調査する。

この実験にて、視覚と触覚のどちらが手すりの角度推定に優先して働くのかを調べる。また、視覚と触覚の相互作用も存在するのかも調べる。もし、視覚と触覚の相

相互作用があるならば、視覚情報と実環境中の手すりの傾きに変化を与えることで、実環境中はわずかな傾きであっても急激な坂道の傾斜感覚を提示可能であると想像される。

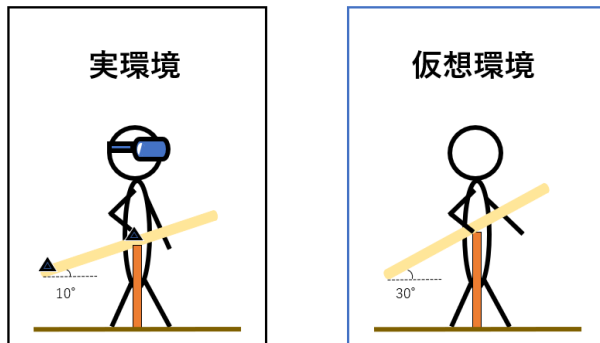


図 3: 実験概要図

### 3.3 視覚変調を施した坂に対する傾斜知覚

本実験では、視覚的に坂の傾斜を増幅する手法を用いて、坂の傾斜の知覚の変化を調査する。具体的には、都市の中と山の中で、どちらのほうが傾斜を感じる事が可能か、手すりの角度と坂の傾斜角はどの組み合わせが坂道を上っている感覚を再現できるかを調査する。

## 4. おわりに

本稿では、手すりを用いることによる新たな仮想環境内での坂道上昇感覚の手法を提案した。また、手すりや坂に対しての知覚を調査するための実験設定を行った。今後はこの実験設定に基づいて実験を行い、視覚や把持知覚に対する検証を行う予定である。

### 謝辞

本研究の一部は JSPS 研究費(課題番号 21H03483)の助成を受けたものである。

### 参考文献

- [1] M. Ernst, and M. Banks, Humans integrate visual and haptic information in a statistically optimal fashion. *Nature* 415, 6870, 2002.
- [2] K. Matsumoto, Y. Ban, T. Narumi, Y. Yanase, T. Tanikawa,

and M. Hirose. Unlimited corridor : redirected walking techniques using visuo-haptic interaction. in Proc. ACM SIGGRAPH Emerging Technol, pp. 20:1-20:2, 2019.

- [3] S. Frank, B. Gerd, J. Jason, F. Harald, and L. Markus. Estimation of Detection Thresholds for Redirected Walking Techniques. *IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS*, VOL. 16, NO. 1, pp. 17-27, 2010.
- [4] R. Ishikawa, A. Inoue, and T. Hoshi. Investigating perceived slope gradient in virtual environment with visuo-haptic interaction. in Proceedings of the 30th Australian Conference on Computer-Human Interaction, pp. 559-562, 2018.
- [5] D. Schmidt, R. Kovacs, V. Mehta, U. Umapathi, S. Kohler, L. Cheng, and P. Baudisch. Level-Ups: Motorized Stilts that Simulate Stair Steps in Virtual Reality. *CHI 2015*, pp. 2157-2160, 2015.
- [6] R. Nagao, K. Matsumoto, T. Narumi, T. Tanikawa, and H. Michitaka. Ascending and Descending in Virtual Reality: Simple and Safe System using Passive Haptics. *IEEE Transactions on Visualization & Computer Graphics*, vol. 24, no. 4, pp. 1584-1593, 2018.
- [7] 五十嵐 郁瑛, 松室 美紀, 柴田 史久, 木村 朝子. VR 空間での視覚刺激が着座面の柔らかさ知覚に与える影響. *インタラクション 2020*, pp. 702-706, 2020.
- [8] R. Nordahl, N. C. Nilsson, L. Turchet, and S. Serafin. Vertical illusory selfmotion through haptic stimulation of the feet. *2012 IEEE VR Workshop on Perceptual Illusions in Virtual Environments, PIVE 2012*, pp. 21-26, 2012.
- [9] Y. Ban, T. Kajinami, T. Narumi, T. Tanikawa, and M. Hirose. Modifying an identified curved surface shape using pseudo-haptic effect. *Haptics Symposium 2012, HAPTICS2012-Proceedings*, pp. 211-216, 2012.
- [10] K. Matsumoto, T. Hashimoto, J. Mizutani, H. Yonahara, R. Nagao, T. Narumi, T. Tanikawa, and M. Hirose. Magic Table: Deformable Props Using Visuo Haptic Redirection. *SA '17 Emerging Technologies*, 2017.