

グラウンドチルト・ルームチルト混合 VR 環境における垂直認知 Subjective Visual Verticality Distortion in Mixed HMD Environments Containing Physical and Visual Tilt

元橋 洸佐[†], 佐藤 優太郎[†], 小鷹 研理[†]
Kousuke Motohashi, Yutaro Sato, Kenri Kodaka

[†]名古屋市立大学
Nagoya City University
k_moto2786@yahoo.co.jp

概要

仮想空間において、視覚的に、現実とは異なる空間の回転を作り出すと、通常、酔いなどのストレスが生じる。この際、体験者自身の身体の傾きを適切に考慮した多感覚システムを設計することで、適応性が高まると考えられる。筆者らが既に発表した HMD インタラクション「Room Tilt Stick」では、わずかに足場を傾斜させることによって、CG 空間において設計された仮想的な空間の回転（ルームチルト）に対する没入度が高くなる反応を得ていた。そこで本研究では、類似の HMD 空間において、視覚情報と足場の傾斜を要因とする被験者実験を行った。その結果、足場の傾斜と映像空間の回転の方向性が一致した場合に、地面の傾斜認知を大きく歪めることが示された。

1. はじめに

筆者らは、2020 年 11 月に開催された「注文の多い」からの錯覚」の研究室展」において、HMD を使用した重力変調体験装置《ROOM TILT STICK》（元橋洸佐・森光洋・小鷹研理）を発表した[1]。ROOM TILT STICK は、壁や床を杖で押し込むことによって空間の一部が切り取られ、押し込んだ力に応じて、最大 90 度まで切り取られた領域が回転するものである（図 1）。この HMD 体験においては、部屋が回転すると同時に、HMD の視点（一人称視点）もまた、部屋の回転に追従するように

回転しており、結果的に、体験者自身の足場を含む空間のルームチルトによって、体験者自身のセルフチルトの感覚を誘発する装置として機能している。この際、体験者が動き回る現実の足場に数度の傾斜を与えている（グラウンドチルト）。これは、設計段階において、わずかな物理傾斜を与えるだけで、セルフチルトの感覚がより強化される効果を見出していたためである。実際、展示では、足場の傾斜が徐々に大きくなる空間設計を行なったところ、傾斜の高いところでは、よろめきなどの重心動揺が極めて頻繁に観測された。こうしたことから、われわれの研究グループでは、「わずかな量の地面傾斜が、ルームチルトによって誘発されるセルフチルトの錯覚感度を非線形に増大させる」とする仮説を提起している。本研究は、この仮説を検証するための基礎実験として、グラウンドチルトとルームチルトの相互作用によって、垂直性に関わる指標にどのような影響が生じるかについて基礎的なデータを取集することを目的とするものである。

関連研究として、Rod and Frame Test (RFT) [2]や Visual Reorientation Illusion (VRI) [3]の実験パラダイムを挙げることができる。これらの研究は、極性のある視覚刺激を提示することによって、視覚レベルの重力



図 1 Room Tilt Stick

方向判断 (SVV: Subjective Visual Vertical) が、視覚情報の傾斜方向に 10%程度 (RFT) だけ傾斜しているように感じられることや (RFT), または、被験者と、被験者を囲む部屋を同時に 90 度単位で傾けると、物理的な傾きに関わらず、一定数の被験者が直立していると錯覚を得ること (VRI) が報告されている。これらの一連の研究では、足場の傾斜や頭部の傾斜を扱うもの[4][5][6]も存在するが、ほとんどの研究は SVV への影響を計測するものであり、足場の傾斜を直接に推測する課題は与えている試みは、我々の知る限り、行われていない。本研究では、グラウンドチルト (体性感覚+前庭感覚) とルームチルト (視覚) をそれぞれ要因変数とした際に、SVV のみならず、SVGT (Subjective Visual Ground-Tilt) への影響も同時に計測する被験者実験を以下の方法で行った。

2. 実験

10 人の大学生を対象に、HMD (VIVE) を用いた被験者実験を行った。HMD 内で左右どちらかに 45 度傾斜しているか、あるいはフラットな部屋を提示する (図 2, ROOM TILT) 。この際、被験者の足場の傾きは -12 度、-6 度、0 度、+6 度、+12 度のいずれかである (図

2, GROUND-TILT) 。この足場は 970×25×400mm の杉板に、38×89×400mm の木材を 6 度の場合 2 個、12 度の場合 5 個取り付け、スポンジテープで角度を調整したもの (図 2, 制作した足場) を使用した。各試行で自分自身の足場となる床面の向き (SVGT) 及び重力の垂直方向 (SVV) の向きを HMD 空間に配置したミニチュア (図 2, 回答用のミニチュア) をコントローラのボタンで回転させ、マッチングしてもらうことで回答してもらった。回答後、HMD 内は完全に黒の画面に暗転し、次の試行の足場を実験者が用意、口頭で被験者を次の足場まで誘導し、試行に移る。これら 15 (3×5) の条件における方向同定課題をそれぞれ 2 回、すなわち全 30 回の試行を行ったのち、最後に、HMD を通して、完全に白の画面を見せた条件 (WS: White Screen 条件) で、同じく SVGT と SVV を足場の数 (計 5 回) 回答してもらった。なお、SVGT と SVV を回答させる順番は試行ごとにランダムで、一度回答をした後から変更することはできない。

3. 実験結果

図 3 に実験の結果を示す。

図 3 左上は WS (前庭感覚・体性感覚要因のみ) 条件における SVGT 誤差を示したものである。具体的には、-12 度の際の SVGT 誤差は平均で -6 度であり、これは、SVGT が実際の -12 度から更に CCW に 6 度ずれ、-18 度周辺となっていることを意味している。このグラフにより、極性を示唆するような視覚的な情報が一切提示されない場合においてもなお、地面の傾斜を視覚的にマッチングさせようとする、1.3~1.5 倍程度、傾きが過大評価されて知覚されていることがわかる。本指標について、1 要因 5 水準の被験者内分散分析を行ったところ、地面傾斜の主効果が得られた ($F(4,9)=3.09$, $p<0.05$)。一方で、WS 条件における SVV の指標による評価 (図 3 左下) について、同様に分散分析を行ったところ、主効果は検出されなかった。

ついで、極性のある部屋の映像が提示されるとき、すなわち視覚要因 (-45 度、0 度、45 度) が与えられた時、SVGT、SVV の誤差から、WS 環境のそれぞれの誤差を差し引いた結果について、「視覚要因」(-45 度、0 度、45 度) と「前庭感覚・体性感覚要因」(-12 度、-6 度、0 度、6 度、12 度) の効果を検証するため、2×5 の 2 要因の被験者内分散分析を行なった。結果は、「視覚要因」の主効果が SVGT、SVV の両方で確認

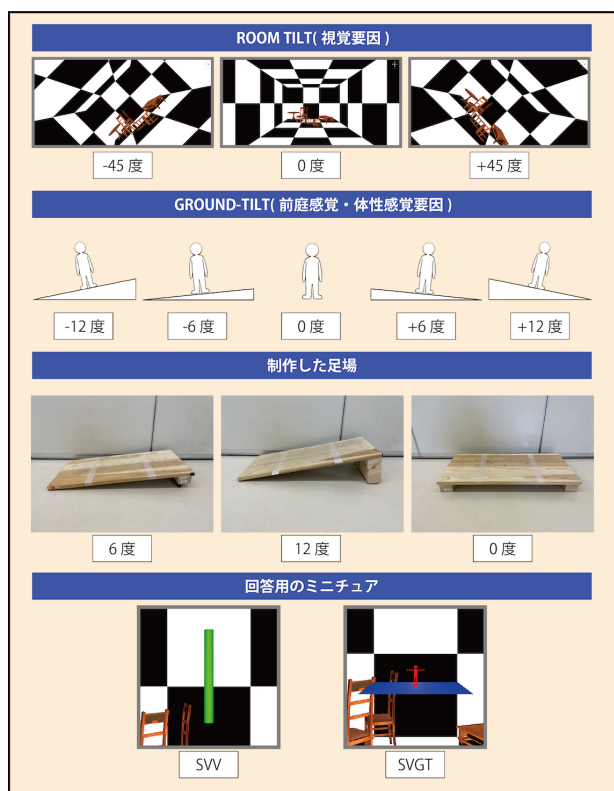


図 2 実験装置

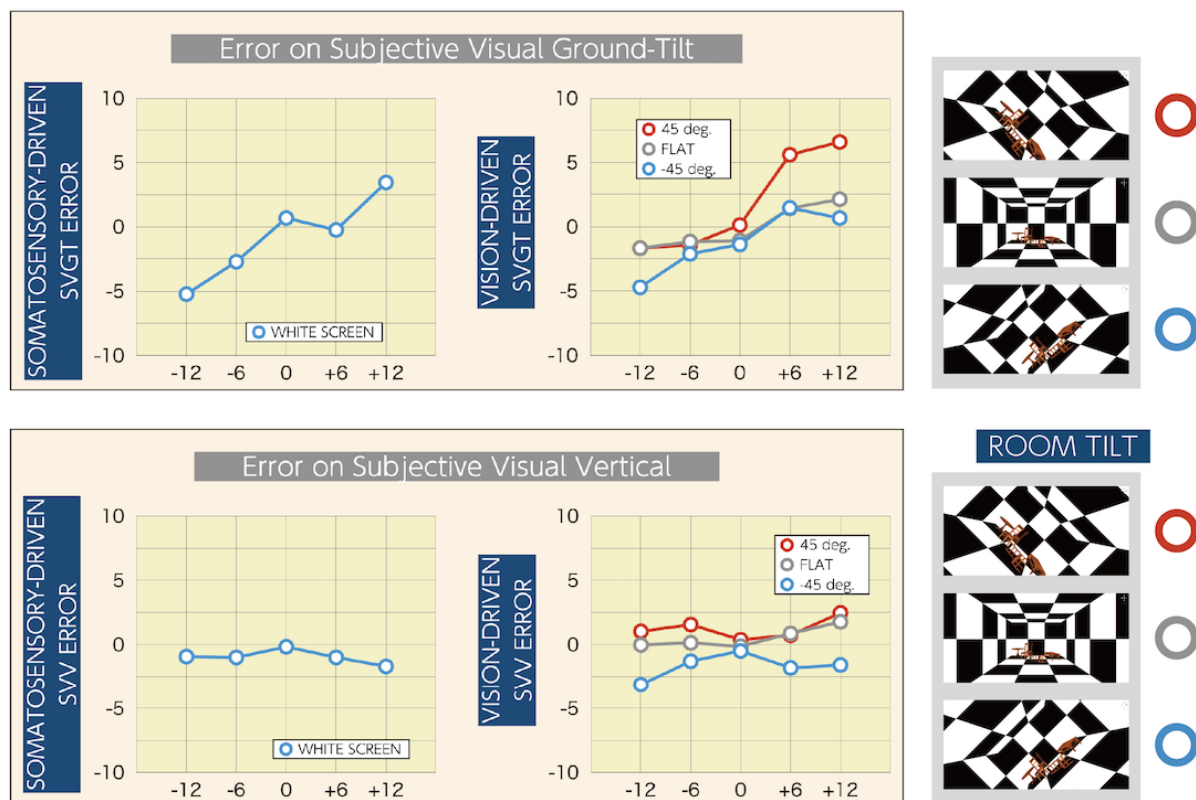


図3 実験の結果

された (SVGT: $F(2,9)=4.37, p<0.05$, SVV: $F(2,9)=6.04, p<0.01$)。 「前庭感覚・体性感覚要因」の主効果は SVGT のみで確認された ($F(2,9)=3.77, p<0.05$)。 交互作用は, SVGT においてのみ, 有意な傾向が示された ($F(8,36)=1.86, p=0.08$)。

続けて, 得られた主効果について多重比較 (Ryan 法) を行なったところ, 「視覚要因」では, SVGT において, 「45 度」-「45 度」間に有意な差が得られた。 SVV においては, 「-45 度」-「45 度」, 「0 度」の間に有意な差が得られた。 「前庭感覚・体性感覚要因」では, SVGT において 「-12 度」-「12 度」の間に有意な差が得られた。

最後に, 「わずかな量の地面傾斜が, ルームチルトによって誘発されるセルフチルトの錯覚感度を非線形に増大させる」とする仮説を検証するため, 地面傾斜 0 度に対して, 個々の地面傾斜による SVGT または SVV が有意に上昇する組み合わせがあるかを対応のある t 検定で調べた。 その結果, ルームチルト 45 度において, 地面傾斜 0 度に対して, 地面傾斜 6 度 ($p<0.04$) および地面傾斜 12 度 ($p<0.08$) の SVGT が有意 (または有意傾向) に上昇していることが示された。

4. 考察

以上の実験結果より, 1) SVGT は視覚情報の有無に関わらず, 実際の地面傾斜の傾きを過大評価する傾向にあること, 2) SVGT は, グラウンドチルトとルームチルトの方向が一致した時に限って, 視覚による SVGT の歪み効果が観測される傾向にあること, 3) SVV は視覚的な極性情報からの影響を受け一方で, 体性感覚・前庭感覚要因の影響を受けない傾向にあること, の三点が示唆されている。

1 点目について, WS 条件においてグラウンドチルトの存在しない足場の場合 SVGT 誤差がほとんど無く, 前述の通りグラウンドチルトが発生している場合のみ傾斜の大きさに比例して誤差が広がるため, 人間が正確に SVGT を判断できるのは傾斜が存在しない場合のみで, それ以外では傾斜の大きさを過大評価すると推測できる。 次に 2 点目について, これは以前《Room Tilt Stick》を制作したときに立てた「わずかな量の地面傾斜が, ルームチルトによって誘発されるセルフチルトの錯覚感度を非線形に増大させる」という仮説を支持するものである。 3 点目について, 前庭感覚・体性感覚と

視覚情報が矛盾する際には, SVGT よりも SVV によって安定した認識が保たれることを示唆している. これは, 知覚の志向性を自らの足場に向けるか, 世界に向けるかの違いと関係している. この事実は, 例えば, 自己回転錯覚をより強く誘発させるためには自らの足場の感覚に注意が向くように仕向けること, あるいは, 酔いを軽減させるためには, 外界に注意を向けることが有効であることを示唆するものである.

文献

- [1] 《Room Tilt Stick》 <https://vimeo.com/507896364>
- [2] Goodenough, D. R., Nowak, A., Oltman, P. K., Cox, P. W., & Sigman, E. (1982) . A visually induced illusion of body tilt in a horizontal plane. *Perception & Psychophysics*, 31 (3) , 268–272.
- [3] Howard, I. P., & Hu, G. (2001) . Visually induced reorientation illusions. *Perception*, 30 (5) , 583–600.
- [4] Groen, E. L., Jenkin, H. L., & Howard, I. P. (2002) . Perception of self-tilt in a true and illusory vertical plane. *Perception*, 31 (12) , 1477–1490.
- [5] Poulain, I., & Giraudet, G. (2008, January 1) . Age-related changes of visual contribution in posture control. *Gait and Posture*. Elsevier.
- [6] 和田佳郎, 長谷川達央: 下肢の体性感覚入力が自覚的視性垂直位 (SVV) に及ぼす影響, 宇宙航空環境医学, Vol.43, No.4, 2006