



HMD 装着時の主観的水平面に対する 視点の高さと地面の色の影響

Effect of viewpoint height and ground color on subjective horizontal plane while wearing HMD

須藤聡¹⁾, 中野拓哉²⁾, 柳田康幸²⁾

Satoshi SUDO, Takuya NAKANO, Yasuyuki YANAGIDA

- 1) 名城大学 理工学研究科 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501, 203426012@ccmailg.meijo-u.ac.jp)
2) 名城大学 理工学部 (〒468-8502 名古屋市天白区塩釜口 1-501, {133441503@ccalumni.yanagida@}meijo-u.ac.jp)

概要：リクライニング姿勢で提示映像から知覚する水平面の傾きは胴体角度に追従する事が判明している。過去研究で多くの被験者が水平面判断に地面の情報を利用していたことから、本研究では、視覚刺激内の視点の高さ・地面の色を変化させることで水平認識手掛かりを変化させ、リクライニング姿勢における視覚刺激に基づく水平知覚への影響を調査する。その結果、視点の高さを変化したことによる影響はない一方、地面の色を黒色に変化した事による視覚的水平面の認識角度は他の地面の色に比べて上り坂方向に認識されることが明らかになった。

キーワード：視覚的水平面, 水平面認識手掛かり, HMD

1. はじめに

現在の VR 体験では立位または着座状態で体験することが一般的である。立位でないより楽な姿勢での体験はユーザーの身体的負担を軽減でき、単独で立位を維持する事が難しい方など、ターゲットとなるユーザーの幅を広げることが期待できる。

立位以外の姿勢での VR 体験に関して、病床にある患者や高齢者の QOL(Quality of Life)の向上に貢献することを目的として開発されたベッドサイドウェルネスシステム[2]が挙げられる。これは上体が起こせる電動ベッド上で足踏みを行い自然の中を歩行しているような感覚を与える VR 提示システムであり、患者のケアに対して有効性の一端が伺えたことが報告されている。うつ伏せ姿勢で胸部をベッドから突き出し、手を重力方向に伸ばして VR 体験を行う手法も提案されている。この手法において、操作性は立位時と同程度であり、腕の疲労度が軽減したと報告している。一方で体験時に首や胸部に対する負担が増加し、全身の疲労度が増加したことも報告されている。

このように立位より楽な姿勢で行う VR 体験は身体的負担が少ないだけでなく、様々な用途に応用でき、体験者の幅を増加させることができる。

実際に立位での VR 体験を、首の可動域が制限される仰臥位やリクライニング姿勢に置き換えて体験する際には、視覚的水平面を HMD 上に体験者に違和感を与えない角度で提示することが必要になると考えられる。

立位より楽な姿勢での VR 体験における水平面知覚に関して、Kawai らは、リクライニング姿勢や仰臥位での頭部角度を変化させた際の視覚的水平面への影響を調査した。この研究ではリクライニング角度が垂直に近い場合、頭部角度が視覚的水平面に強い影響を及ぼしていること。また、リクライニング角度が大きい場合は胴体に対して垂直方向に視覚的水平面が存在することが報告されている[3][4]。

この研究を経て、我々は、背もたれを倒した状態でもヘッドレストによって頭を正面に向けることができる運転席のように、胴体角度と頭部角度の差が大きい場合のリクライニング姿勢において、頭部角度を変化させた際の視覚的水平面への影響を調査した[5]。この研究では胴体に対して垂直な方向を水平と知覚したことが報告されている。

これら過去研究で用いられている視覚刺激は、一般的な VR コンテンツの例として採用した、森林内を直進する映像である。被験者へ実施した VR 空間内での上向き下向きを判断する手掛かりを調査するアンケートから、映像内に見える空と地面の比率や視線の先に空と地面のどちらが存在するかで判断を行う被験者が多く、視覚刺激内で視認できる地面と空の見え方の重要性が示唆された。

本研究では、従来の実験で視覚刺激として用いてきた VR コンテンツの形式を維持しつつ、視認できる空と地面の情報に変化を与える。まず、視認できる空と地面の比率を変更する際に、空と地面の境目に存在する木々の葉に着目した。木々の葉の位置を自身の視点より低くすることで、

空の見える範囲が広くなり、木々の葉の位置を自身の視点より高くすることで、地面の見える範囲が広がる。すなわち、木々の高さもしくは視点の位置を変更することで空の見える範囲を変更できると考えられる。木々の高さを変化させた場合、本研究における視覚刺激内の木々の役割である水平線を隠す役割を果たさなくなる可能性があるため、本研究では視点の位置を変化させることによって視点と木々の葉の相対的な位置を変化させる。

次に、判断基準の一つと考えられる地面の見え方を変更する際に、地面の視認しやすさに着目した。視覚刺激内の地面を視認しやすくすることで視覚情報から地面の面積を得ることを簡単にする。視覚刺激内の地面を視認しにくくすることで視覚情報から地面の面積を得ることを難しくする。視覚刺激内で空と地面の境目に存在し水平面を隠している木々と地面の区別のしやすさを変更する。具体的には視覚刺激内での地面の色を、水平面を隠す木々に対して似た色もしくは異なる色に変更することで実現できると考えられる。以上の事から、視覚刺激内の地面と空の面積比、地面の視認しやすさを変更させる為に、視覚刺激内の視点の高さ、地面の色を変化させた視覚刺激をHMDで提示した際の視覚的水平面への影響を調査する。

2. 実験概要

こと各条件で被験者ごとの水平知覚に対する主観的等価点 (Point of Subjective Equality: 以下 PSE) と閾値 (Just Noticeable Difference: 以下 JND) を調べ、リクライニング姿勢における視覚刺激情報の変化による視覚的水平面認識への影響を検討する。本稿では、具体的な検証内容として、

- (I). 視覚刺激内の視点の高さを変更した際の視覚刺激に基づく水平知覚への影響
- (II). 視覚刺激内の地面色を変更した際の視覚刺激に基づく水平知覚への影響

という2点についてそれぞれのPSEとJNDを計測する実験を行った。

第3章では実験(I)について、第4章では実験(II)について記述する。

2.1 実験タスク

実験(I),(II)で共通の実験手順について示す。実験(I),(II)では、提示する視覚刺激の条件が異なるが、被験者に実施するタスクは同じである。

まず、被験者はリクライニングシートに着座し、HMDを着用する。リクライニングシートには、サンワサプライ製のバケットシートチェア(150-SNCL005)を使用した。HMDにはHTC Viveを利用した。標準でHTC Viveに付属するコントローラーを回答装置として使用した。実験中の被験者の姿勢を図1に示す。図1中の α はリクライニング角度であり、実験中は α を20度で一定とした。図1中の β は主観的水平面の角度でありPSEと同値である。図2に

示すように、各試行において被験者に提示する映像の水平面が物理的水平面となす角を γ とする。被験者はリクライニングシートに着座した状態で、HMDで提示される視覚刺激内で、自身が上を向いているか、下を向いているかをViveコントローラーを用いて回答を行う。被験者はコントローラーを目視せずに回答できる状況とした。

被験者に提示する映像は、 $\gamma = \alpha$ を中心に ± 20 度の範囲を2度刻みで傾斜を付け、ランダムな順に提示する。この時、プラス方向の傾きが登りの傾きになり、マイナス方向の傾きは下りの傾きになる。全ての γ について回答を得ることを1セットとし、実験(I),(II)どちらも各条件について10セットを実施した。

回答結果を被験者ごとに集計し、「上」と回答した割合からPSEとJNDを推定する。回答割合を正規分布の累積密度関数でフィッティングし、フィッティングした関数から確率0.5をPSEとし、幅0.25から0.75をJNDとした。PSE,JNDの推定にはMatlabを使用した。

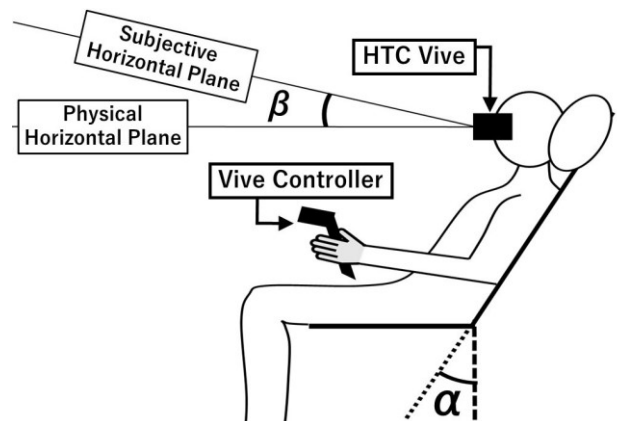


図 1: 実験環境

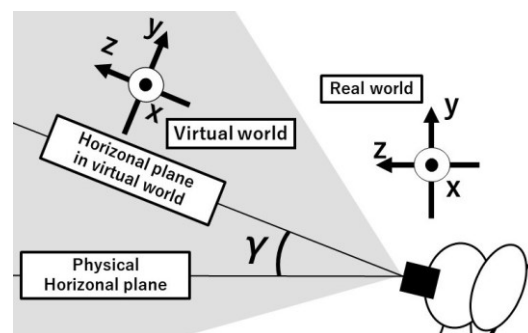


図 2: 視覚刺激内の地面の角度と物理的水平面の関係

3. 実験(I)

HMDで提示する視覚刺激の視点の高さごとの水平知覚に対するPSEとJNDを調査する。

3.1 実験方法

本実験は視知覚や平衡覚に障害の無い20代男性10名で行われた。被験者はそれぞれ、リクライニング姿勢でHMDを装着し2.1節で記述している実験を行った。本研究において、リクライニング姿勢を楽な姿勢とする主張を一貫するため、被験者に対して顎を上げるなどの指示を与えず、

リラックスした姿勢で行った。視点の高さが 50 cm, 120 cm, 240 cm の 3 条件でそれぞれ 10 セットを行う。

3.2 提示映像

本研究の実験で被験者に提示する映像は Unity を用いて制作した、また、映像の内容は森林を等速に直進するものである。等速に進むことで、加速に伴う前庭器官の知覚と視覚刺激による移動方向が矛盾せず、違和感を与えないようにした。提示する映像において水平線が視認できる場合、被験者は水平線の地位を手掛かりとして観察できる為、実験に適さない。そのため、本研究で用いる視覚刺激では水平線を木々で隠した。

提示する各条件の視覚刺激を図 3 に示す。



図 3: 実験(I)における提示映像 左から視覚刺激内の視点の高さが 50 cm, 120 cm, 240 cm

4. 実験(II)

HMD で提示する視覚刺激内の地面の色ごとの水平知覚に対する PSE と JND を調査する。

4.1 実験方法

本実験は視知覚や平衡覚に障害の無い 20 代男女 10 名(男性 8 名,女性 2 名)で行われた。

被験者はそれぞれ、リクライニング姿勢で HMD を装着し 2.1 節で記述している実験を行った。本研究において、リクライニング姿勢を楽な姿勢とする主張を一貫するため、被験者に対して顎を上げるなどの指示を与えず、リラックスした姿勢で行った。

被験者に提示する映像は、実験(I)と内容、順番共に同様である。視点の高さは 120 cm を採用した。地面の色をデフォルト(芝生)、白色、黒色の 3 条件でそれぞれ 10 セットを行う。

4.2 提示映像

本研究の実験で被験者に提示する映像は Unity を用いて制作した、また、映像の内容は森林を等速に直進する物である。提示する映像において水平線が視認できる場合、被験者は水平線の位置を手掛かりとして観察できる為、実験に適さない。そのため、本研究で用いる視覚刺激では水平線を木々で隠した。

地面色を白にすることによって地面を視認しやすい状態にし、視覚情報に基づく水平面判断の手掛かりとなる地面の情報を変化させた。同じく、地面色を黒にすることによって地面を視認しにくい状態にし、視覚情報に基づく水平面判断の手掛かりとなる地面の情報を変化させた。

提示する各条件の視覚刺激を図 4 に示す。



図 4: 実験(II)における提示映像 左から視覚刺激内の地面の色が芝生、白色、黒色

5. 結果

多重比較に用いる手法を決める為、各条件で推定した被験者ごとの PSE, JND に対して、標本分布が正規分布に従うことを帰無仮説として Shapiro-Wilk 検定を実施した。その結果、実験(I)の視点の高さ 50 cm の JND ($p = 0.000013$) と実験(II)の地面の色が白色の際の JND ($p = 0.010$) において帰無仮説が棄却され正規性が認められなかった。

次に実験(I),(II)の結果から得た PSE, JND の平均値が各条件の間に差が生じているか検定を行う。全群において、帰無仮説が棄却されなかった実験(I),(II)の各条件の PSE に対して、Bonferroni の補正によって補正した有意水準 $0.05/3 = 0.017$ の条件の下、それぞれに対して t 検定を行った。なお、実験(II)の PSE データにおいて各条件に 1 つずつ外れ値が認められた。外れ値を出した被験者は同一の者であった為、被験者のデータを除外し、9 名のデータで検定を実施した。

一部の郡において正規性が認められなかった実験(I),(II)の各条件の JND に対しては Steel-Dwass 法を用いて多重比較を行った。実験(II)は外れ値のデータを含んだ状態で検定を実施した。実験(I)の JND データにおいて、通常の外れ値以外にも、極めて大きい外れ値が認められた為、外れ値を出した被験者のデータを除外し、外れ値も含む 9 名のデータで検定を実施した。

その結果、実験(I)における PSE, JND の各条件の間に有意な差は認められなかったまた、実験(II)における JND の各条件の間に有意な差は認められなかった。実験(I)における PSE, JND の結果を図 5 に示す。実験(II)における JND の結果を図 6 に示す。PSE の結果を外れ値も含め図 7 に示す。

その一方で実験(II)での PSE には、黒色の地面と白色の地面、黒色の地面と芝生の地面の間に有意差が確認できた。白色と芝生の間には有意な差は無かった。(芝生—黒色: $p < 0.01$, 白色—黒色: $p < 0.001$)

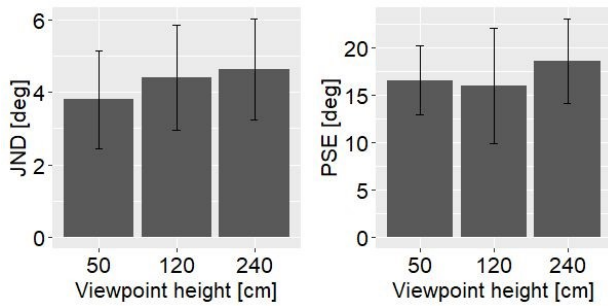


図 5: 実験 (I) の各条件における結果 (左: JND の平均値, 右: PSE の平均値). エラーバーは標準誤差

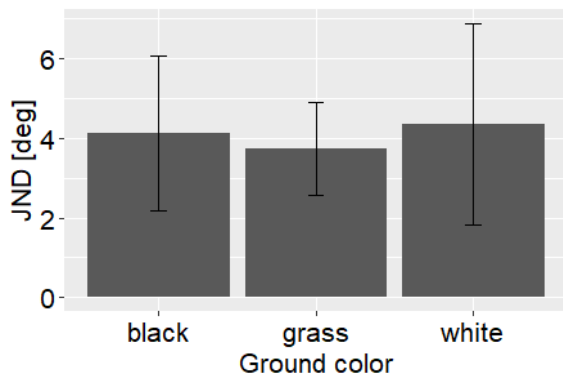


図 6: 実験 (II) の各条件における JND の平均値. エラーバーは標準誤差

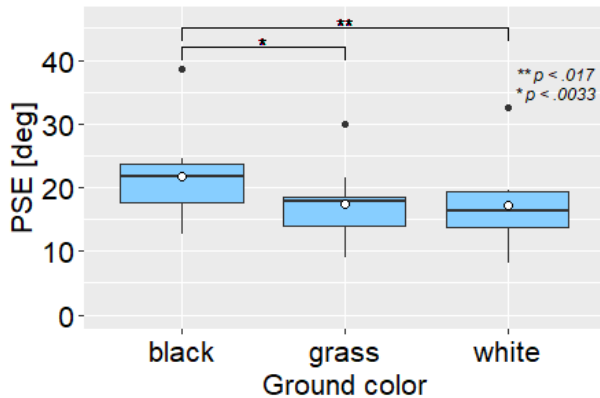


図 7: 実験 (II) の各条件における PSE

6. 考察

本研究では、視覚刺激内での視点の高さ、地面の色を変更した際の視覚情報から得られる水平認識への影響を調査した。その結果、視覚刺激内の視点の高さを変更した際に、PSE, JND への影響は認められなかった。この実験では、視覚刺激内の視点の高さを変更した際に視覚刺激内の空を視認できる領域に変化が生じなかったため、PSE への影響が生じなかった可能性がある。

視覚刺激内の地面の色を変更し地面の視認しやすさを変更した際に、JND への影響は認められなかった。しかし、視覚刺激内の地面の色を黒色に変更した際に、他条件に比

べ PSE が増加し、胴体角度に対して垂直な方向に近付くことが認められた。この結果は、視覚刺激内の地面色を黒色に変更した際に生じた PSE への影響に対して、

- PSE の値が増加する
- PSE の値が胴体角度に対して垂直な方向に変化するという 2通りの解釈ができる。この 2つの解釈のどちらが適当であるかは不明である。

これらの結果から、視覚刺激内の視点の高さを VR 空間内で視認できる地面と空の比率を変更することで視覚情報から得られる水平認識へ影響が生じないこと、地面の視認性を減少させることで視覚情報から得られる水平面の角度に影響が生じることが示された。

地面の視認性を減少させることで、テクスチャの勾配やオプティカルフローの認識が難しくなり、視認できる情報の減少が PSE に影響を及ぼした可能性が考えられる。また、地面と木々の境目の認識が難しくなり、地面がどのように消失点から広がっているのか認識できず遠近感の認知が難しくなったことで PSE に影響を及ぼした可能性も考えられる。

7. 結論

本研究では、視覚刺激内の地面を黒色に変化させ、視認を難しくすることで、視覚情報から得られる水平認識の角度が胴体角度に対して垂直な方向に変化することが確認された。

本稿で行った実験では、地面の色を黒色に変化させたことで PSE に影響を与えた具体的な要因は何か、PSE の変化は胴体角度に対して垂直な方向への変化であるか値の増加であるかの疑問を解決できない。今後は上記の疑問を一つ一つ精査する必要がある。

参考文献

- [1] 櫻木 怜, 梶本 裕之: うつぶせ姿勢での VR 体験手法の提案, 第 21 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, T-21, 2016.
- [2] 大須賀 美恵子, 達野 陽子, 下野 太海, 平澤 宏祐, 小山 博史, 岡村 仁: 病床の患者のメンタルケアをめざした-ベッドサイドウエルネスシステム-の開発, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 3, No. 4, pp. 213-220, 1998.
- [3] 河合 秀樹, 柳田 康幸: HMD 装着時の姿勢と視覚刺激による水平知覚の関係, 第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 22B-5, 2017.
- [4] H. Kawai, H. Hara, and Y. Yanagida: Effect of change of head angle on visual horizontal plane, VRST'18, Article No. 82, 2018.
- [5] 須藤聡: 令和 2 年度電気・電子・情報関係学会 東海支部連合大会論文集, F6-3, 2020.