



THE VIRTUAL REALITY SOCIETY OF JAPAN

平衡計測実験におけるコントラスト, 表示輝度, 足元条件が HMD をつけたユーザーの平衡に及ぼす影響

Effects of contrast, display brightness and foot conditions on balance of users with HMD in balance measurement experiment

南部志門¹⁾, 木島竜吾²⁾

Shimon Nambu and Ryugo Kizima

1) 岐阜大学 自然科学技術研究科 (〒 501-1112 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, y4525058@edu.gifu-u.ac.jp)

2) 岐阜大学 工学部 (〒 501-1193 岐阜県岐阜市柳戸 1-1, kijima@gifu-u.ac.jp)

概要: HMD のリアリティに関して重心動揺実験を用いて靴下の有無, HMD のコントラストと輝度に注目し, これが人間の平衡感覚にどのような影響を与えるかを調べる. 結果, 足元条件に関しては人間の平衡感覚に影響は及ぼさないことと, HMD を用いた実験では全試行間でコントラスト倍率が 1/32 以上かつ輝度倍率が 1/10 以上あればコントラストと輝度の影響は考慮しなくても良いことが明らかになった.

キーワード: HMD, 視覚, 感覚, 知覚

1. はじめに

1.1 物理忠実度と受容忠実度

物理忠実度とは, ユーザーが仮想空間から受けた物理刺激が実空間から受けた物理刺激と比べてどの程度同一であることを表したものである. 仮想空間から受けた物理刺激と実空間から受けた物理刺激の比を物理忠実度と呼ぶことにする.

$$\text{物理忠実度} = \frac{\text{仮想空間から受けた物理刺激}}{\text{実空間から受けた物理刺激}} \quad (1)$$

物理忠実度=1 のとき, 仮想空間から受けた物理刺激 = 実空間から受けた物理刺激であるため, VR 空間に入ったユーザーは仮想空間と実空間の判別がつかないと言える. しかし, 物理忠実度を 1 にすることは容易ではなく現状では不可能である.

ここで, 意識を含む人間の内部的状態を内部状態とし, 仮想空間にいるときの人間の内部状態と実空間にいるときの人間の内部状態を比較したものを受容忠実度と呼ぶ. これは以下の関係にあると言える.

$$\text{受容忠実度} = \frac{\text{仮想空間にいる人間の内部状態}}{\text{実空間にいる人間の内部状態}} \quad (2)$$

受容忠実度=1 のとき, 物理忠実度=1 のときと同様に仮想空間と実空間の判別がつかないと言える. 物理忠実度=1 にすることはできないが, 人間の視覚や聴覚などの感覚機能には限度があるため, 1 を満たす必要はない. そのため受容忠実度さえ 1 にすることができれば人間は仮想空間と実空間の判別ができない. つまり, 受容忠実度は仮想空間の品質そのものと言ってもよい.

1.2 人間の平衡感覚

人間の内部状態を計測するための方法として重心動揺実験を用いて計測する. 重心動揺実験を用いる理由としては,

視覚は平衡を維持するために重要に作用しているため視覚による影響が出やすいと考えられること, また, 重心動揺実験は, 被験者が一定の秒数測定器具の上に片足立ちをするだけであるため実験を行うことが容易であることの 2 つである.

1.3 本研究の目的

HMD が提示する仮想環境の品質を評価する方法の一つは, 受容忠実度を反映している指標を計測することである. 筆者らは, この指標として, 片足立ちのユーザーに動きのない仮想世界を見せた場合の重心動揺を取り上げ, レイテンシ, 描画更新レート, 解像度の影響を実験により求めてきた [1][2][4]. その結果, 重心動揺は比較的感度の高い指標であり, HMD の提示品質を評価しようと考えている. 一方で, これらの制御量以外の基本条件, つまり, 足元条件やコントラスト, 輝度などもまた平衡に影響を及ぼしている可能性がある. 同一の HMD, コンテンツを用いた一連の実験のなかではこれらは一定であるが, 将来, 他の実験と比較することを考慮すると, 平衡に影響を及ぼさない基本条件の範囲を求め, 実験条件の標準として用いることが必要であろう. 以上のことから本研究では, 基本条件として靴下の有無, HMD のコントラスト, 輝度に注目し, これが人間の平衡にどのような影響を与えるかを実験により調べる.

2. 実験手順

被験者はセンサーカメラの正面を向いて片足立ちをし, 重心動揺計に乗った. HMD には Oculus VR 社の Oculus Rift DK2 を用いた. 重心動揺計には任天堂社が販売していたバランス Wii ボードを使用した. また, 周囲の音による影響を避けるために被験者にはヘッドフォンを装着し, ホワイトノイズを流した (図 1). 被験者は全ての実験において 20 代の

男性 14 名である。

評価方法として、得られた CoP の総軌跡長を試行時間で割ることで正規化をし、平均 CoP 速度 [cm/s] を算出した。

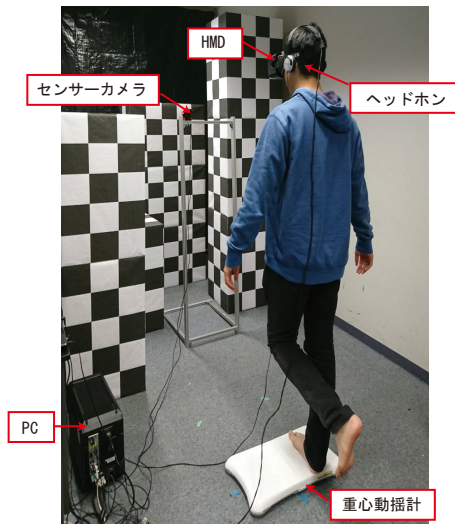


図 1: 実験環境

3. 実験 1: 靴下の有無が重心動揺へ及ぼす影響

3.1 足元条件

重心動揺には足元の条件が影響を及ぼす。例えば、より大きな重心動揺を引き起こすために、ラバーフォームを用いて足元を不安定にさせている例もある [3]。筆者らの実験のなかでも、靴下を履いて測定を行ったもの、裸足で測定を行ったものが混在しており、直接の比較ができない [1][2][4]。わずかな違いではあるが、靴下の有無は被験者の足裏感覚に影響を及ぼし、また、重心動揺が大きくなった際のグリップ力にも違いを生じる。このため、本章では靴下の有無が重心動揺へ及ぼす影響を調べる。

3.2 実験 1 の測定条件と結果

HMD も視野制限眼鏡も装着しない自然な裸眼状態、および閉眼状態で、靴下の有無を比較した。表 1 に実験条件を、図 1 に結果を示す。開眼の場合 (o_bare と o_sox)、閉眼の場合 (c_base と c_sox) について、靴下の有無の間で T 検定を行い、有意確率 p 値を求めたところ、5%水準では有意な違いは見られなかった。つまり、靴下の有無は重心動揺に影響を及ぼさないことがわかった。

表 1: 実験 1 の試行パターン

試行名	試行条件
o_bare	裸足で開眼
c_bare	裸足で閉眼
o_sox	靴下を履いて開眼
c_sox	靴下を履いて閉眼

被験者: 14 [人]

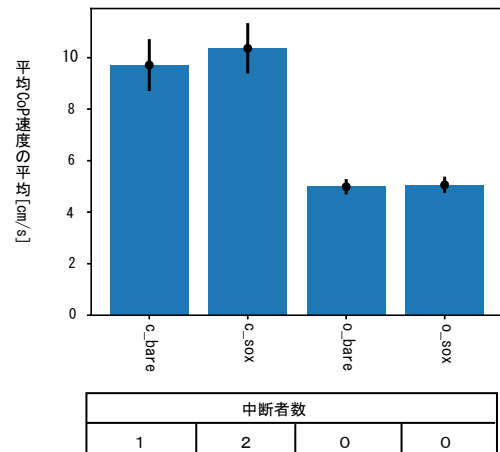


図 2: 実験 1 の結果

4. 実験 2: コントラストの違いが重心動揺へ及ぼす影響

4.1 コントラスト

コントラストは画像の表示における明暗の差のことを指す。本研究では、画像のコントラストを数値化するために、Michelson コントラストを用いる。Michelson コントラストとは、最大輝度値を L_{MAX} 、最小輝度値を L_{MIN} として、

$$C = \frac{L_{MAX} - L_{MIN}}{L_{MAX} + L_{MIN}} \quad (3)$$

と定義されるものである。

本実験では、レンダリングされた画像の画素値をシェーダーで変調し HMD に出力することで、コントラストを低下させ、比較した。変調を行わず、元の画素値のまま送出する場合をコントラスト倍率 1 とし、画素値 127.5 との差異を α 倍にして送出する場合をコントラスト倍率 α と呼ぶことにする (図 3)。

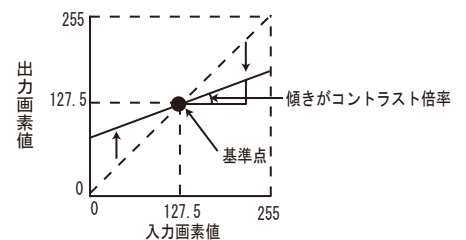


図 3: コントラストを低下させる処理

4.2 実験 2 の測定条件と結果

実験 2 では、コントラスト倍率を変化させて重心動揺を計測した。コントラスト倍率 1 の場合の最大輝度は $47.446(\text{cd}/\text{m}^2)$ であった。表 2 に実験条件を、図 4 に結果を示す。コントラスト倍率を落とすにつれ、被験者の平衡は悪化した。Holm 法による多重比較を行った結果、コントラスト倍率 1 から $1/32$ までは有意差は見られなかった。また、コントラスト倍率 0

つまり灰色一色から、倍率 1/128 までは閉眼の場合と差がなく、被験者は映像から姿勢の手がかりをえていなかった。

表 2: 実験 2 の試行パターン

試行名	試行条件
real	視野制限眼鏡を装着して開眼
con α	コントラスト倍率 α
close	閉眼

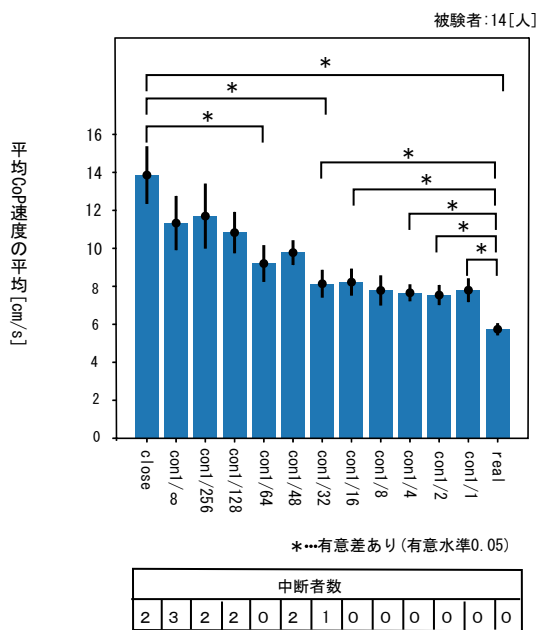


図 4: 実験 2 の結果

5. 実験 3: 輝度の違いが重心動揺へ及ぼす影響

5.1 輝度とその影響

輝度 L_{θ} (cd/m^2) とは、光源や照明された物体表面などを観察したときの明るさを表す値である。特にベクシオンに関して、輝度の影響が調べられている。視覚誘導自己運動感覚(ベクシオン)とは、静止状態の人間に、視点、が運動した場合に見える画像を与えることにより自己運動感覚が引き起こされる現象のことである。呉らは、直線運動を知覚するリニアベクシオンと輝度との関係性を調べ、中心視野の平均輝度が増加するほどリニアベクシオンの発生率は増加する傾向があると報告している [5]。また、Darja Rugelj らは通常の照度 215(lx) 下と、照度 0.25(lx) の非常に暗い条件下での被験者の重心動揺を比較し、両者の平均 CoP 速度に有意差があることを示した [6]。これらの照度は、完全拡散反射面を用いて換算すると、各々、通常時では $34.2(cd/m^2)$ 、非常に暗い条件下では $0.039(cd/m^2)$ である。コントラストを変えずに輝度全体を落とすためにソフトウェアで画素値を変調した。図 5 に示すように原点を通るグラフの傾きが 1

の時輝度倍率 1 と呼ぶことにする。グラフの傾きが輝度倍率であり、傾きが緩やかになれば、画像の輝度も下がる。

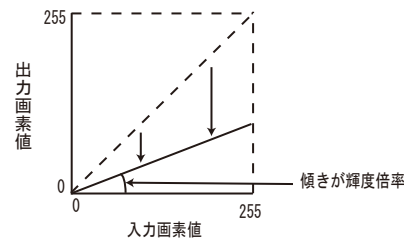


図 5: 輝度を低下させる処理

5.2 実験 3 の測定条件と結果

レンダリングされた画像の画素値に、シェーダーにより輝度倍率 β をかけて HMD に送出することで、輝度を落とした(図 5)。輝度倍率 1 の場合の最大輝度は $47.446(cd/m^2)$ であった。なお、この処理ではコントラストは変化しない。輝度倍率 β を変更して重心動揺を計測した。結果を図 6 示す。lum- β は輝度倍率 β の場合の結果である。輝度倍率を下げるにつれ、被験者の平衡は悪化した。Holm 法による多重比較の結果、輝度倍率 1 と 1/10 では有意差が見られなかったが、1 と 1/50 には有意差が見られた。

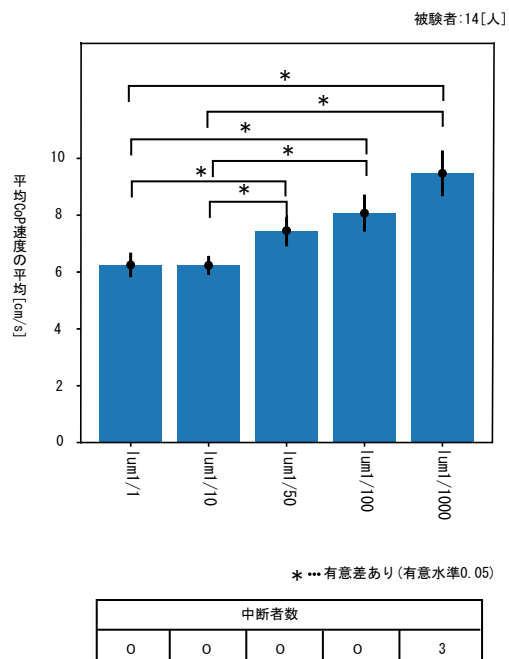


図 6: 実験 3 の結果

6. 結論

被験者の重心動揺を計測し、これを指標として、HMD の提示品質を評価する方法について述べた。レイテンシーや解像度などの制御量とは別に、足元条件(靴下の有無)、コントラスト、輝度などの基本条件が実験結果に影響を及ぼす可

能性を指摘し、この3点について、実験結果を左右しない範囲を求めた。実験から判明したのは以下の点である。

1. 靴下の有無は開眼時と閉眼時にも、有意差がなく重心動揺に影響を及ぼさない。
2. コントラストを 1/32 まで低下させても、重心動揺は変わらない。それ以下では重心動揺は増大する。
3. 輝度を 1/10 まで低下させても、重心動揺は変わらない。それ以下では重心動揺は増大する。

HMD に Oculus Rift DK2 を用い、画像変調を行わない場合の最大輝度は $47.446(\text{cd}/\text{m}^2)$ であった。したがって、重心動揺実験の基本条件の幅は、表示最大輝度範囲としては $47.446(\text{cd}/\text{m}^2)$ から $4.745(\text{cd}/\text{m}^2)$ の間、最大輝度 $47.446(\text{cd}/\text{m}^2)$ の下でコントラストとしてはコントラスト倍率 1 から 1/32 までの間である。また、靴下の有無には留意する必要はない。この範囲であれば、異なる条件における実験結果を比較することができる。

参考文献

- [1] 河邑壮馬, 木島竜吾: 河邑壮馬, 木島竜吾: HMD の遅れが人間の平衡に与える影響, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 21(1), pp.101-108, 日本バーチャルリアリティ学会, 2016.
- [2] 尾山拓也, 太田泰樹, 木島竜吾: 頭部搭載ディスプレイに必要なリフレッシュレート-ユーザーの平衡計測に基づく推定, 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 33B-3, 日本バーチャルリアリティ学会, 2018.
- [3] 藤本 千里, 岩崎 真一, 山嵜 達也: ラバー負荷重心動揺検査による末梢前庭障害の予備的診断 Equilibrium Research 71(6), pp. 472-477, 日本めまい平衡医学会, 2012.
- [4] 三輪光一郎, 木島竜吾: 頭部搭載型ディスプレイに必要な解像度 - ユーザーの平衡計測に基づく推定, 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 33B-2, 日本バーチャルリアリティ学会, 2018.
- [5] 呉景龍, 于英花, 楊家家: 視覚誘導自己直線運動感覚の空間特性の輝度依存性 人間工学, 49(1), pp.18-24, 日本人間工学会, 2013.
- [6] Darja Rugeļj, Gregor Gomis c ek, France Sevs ek: The Influence of Very Low Illumination on the Postural Sway of Young and Elderly Adults PLoS One. 9(8), PROS 2014.