

閲覧環境を考慮した 3D 映像が持つ繊細な奥行きを感じさせる方法

鍛冶俊平¹⁾ (正会員) 長田茂美²⁾ (非会員)

1, 2) 金沢工業大学大学院工学研究科

How to Sense the Fine Depth

with the 3D Video in Consideration of the Viewing Environment

Shunpei Kaji¹⁾(Member) Shigemi Nagata²⁾(Non-Member)

1,2) Graduate School of Engineering, Kanazawa Institute of Technology

1) b7000029@planet.kanazawa-it.ac.jp

2) s.nagata@neptune.kanazawa-it.ac.jp

アブストラクト

本報告は、繊細な奥行きを感知させるために奥行感度に注目して、画面に出力する 3 次元 (3D) 映像の作成手法を提案する。3D 映像は、実空間の奥行きを映像から取得できる利点を有している。この利点は、奥行きを得られるだけでなく臨場感を得られることから、医療支援やエンターテインメントなど様々な場面で利用されている。しかし、画面に表示された 3D 映像を閲覧するとき、2 つの光軸を交差させた 3D カメラで撮影された映像によって奥行きは歪み圧縮されてしまう。この奥行きの歪みによって、人は箱庭効果や書き割り効果のような視覚的違和感を感じる。視覚的違和感を利用して、繊細な奥行きを感知させることができるが、違和感を抑制する必要がある。閲覧環境を考慮し、奥行感を評価する奥行感度を用いて違和感の抑制のための指標を作成し、実験を通して有効性を確かめた。

Abstract

This report proposes how to make a three-dimensional (3D) video to be displayed on the screen by focusing on the depth of sensitivity in order to sense the fine depth. 3D video has the advantage of obtaining the depth of the real space from the video. 3D videos are used for things such as entertainment and medical applications because it can show depth, in addition to providing high presence. When the 3D video displayed on the screen is viewed, the depths are distorted by the 3D video shot in 3D camera crossing the two optical axes and, as a result, depths are compressed. By this distortion of depth, people sense a visually uncomfortable feeling, such as the puppet theater effects and cardboard effect. It is possible to sense the fine depth using visually uncomfortable feeling, however, it is necessary to reduce the uncomfortable feeling. The index is created using the depth sensitivity to evaluate the sense of depth to reduce the uncomfortable feeling while the considering viewing environment. We confirmed the effectiveness of the created index by experiments.

1. はじめに

3次元(3D)映像は、実空間の奥行きを映像から取得できる利点を有している。この利点は、奥行きを得られるだけでなく臨場感を得られることから、医療支援やエンターテイメントなど様々な場面で利用されている。しかし、目の疲労感が増大することや子供に斜視が生じる恐れがあるなどの悪影響によって、一般への広がりが鈍っている。

3D映像から受ける疲労感を抑制するためのガイドラインが2010年に改訂され公開されている[1]。記述されている項目内容を以下に示す。

- 視聴者に周知すべき確認事項
 - (1) 立体視の成立の確認
 - (2) 逆視防止のための確認
 - (3) 視聴姿勢や位置、時間
 - (4) 低年齢層への配慮
 - (5) 視聴中の注意喚起
- コンテンツ制作者が行う事項
 - (1) 開散方向の視差制限と融合限界の考慮
 - (2) 快適視差範囲の設定
 - (3) ディスプレイサイズと視差
 - (4) 2視点のカメラ間の同一な設定および同期動作

奥行き感に注目した評価指標を用いることにより、これらを考慮し、疲労感の抑制と3Dらしさをさらに増加させることが可能となる。現在まで、撮影時の奥行きが画面に表示した時にどれくらいの奥行きになるか幾何光学により算出されている[2]。しかし、人の感性を考慮されていない。奥行き感度は、式(1)に示すように表され、各要因の奥行き知覚に対する効果の評価尺度として定義されている[3]。

$$\text{奥行き感度} = \frac{\text{視距離}(D)}{\text{奥行き弁別閾}(\Delta D)} \quad (1)$$

奥行き弁別閾は、その視距離における奥行きの最小刺激差である。この奥行き感度は、逆にカメラでの撮影環境、画面への表示環境を考慮していない。本報告では、これらを統合して考慮し、新たな評価指標を作成することを目的とする。そして、繊細な奥行きを感じさせる方法を作成した評価指標から提案する。本報告では、奥行き知覚の様々な要因のうち、両眼視差による奥行き感のみを考慮する。

2. 奥行き感度について

ある視距離での奥行き感度は、式(1)に示すようにその視距離における奥行きの最小刺激差との比で表される。奥行き感度は、ヴェーバー比の一種であるが、手がかりによって特性が異なる。両眼視差による奥行き感度の場合、両眼視差弁別閾は一定であるが、両眼輻輳の見込み角は視距離が大きくなると小さくなる。よって、両眼視差による奥行き感度は図 1のように反比例の特性

となる。図 1で示す特性は、瞳孔間距離が 0.065[m]、両眼視差弁別閾が 0.0053[°]の場合である。

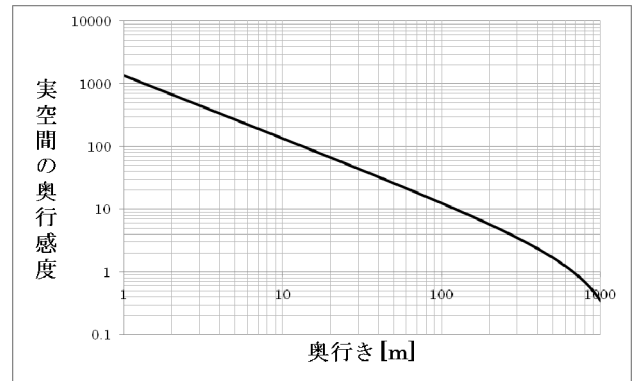


図 1. 実空間の奥行き感度特性。
(瞳孔間距離=0.065[m], 両眼視差弁別閾=0.0053[°])

さらに、両眼輻輳の見込み角と両眼視差弁別閾が同一の時、奥行きを感じなくなることから、両眼視差による奥行き感度は式(2)のように表される。

$$\frac{D}{\Delta D} = \frac{de}{\Delta\theta \cdot D} - 1 \quad (2)$$

ここで、 $\Delta\theta$ は2つの異なった奥行きにおける輻輳角の差の両眼視差[°]である。

以上のことから、奥行き感度は、低ければ低いほど奥行きを感じなくなり、高ければ高いほど奥行きを感じる。特に、0 以下の場合には完全に奥行きを感じなくなる。実空間において、式(2)から奥行き感度が0になる場合は無限遠点であり、奥行き感度の変化と人の感覚が合致し指標として成り立つ。

本報告で使用される係数とその意味、単位を表 1に示す。

表 1. 使用係数と意味、単位。

係数名	意味
D	奥行き[m]
ΔD	奥行き弁別閾[m]
S	画面上の両眼視差[m]
dc	カメラのレンズ間距離[m]
de	瞳孔間距離[m]
Ls	視距離[m]
Lb	撮影距離[m]
Lc	コンバージェンス距離[m]
Ld	立体表示された物体の位置[m]
α	カメラのレンズの画角[°]
β	視野角[°]
W	画面幅[m]
W'	撮影モデル内の視距離における仮想画面幅[m]
S'	画面上に表示された両眼視差(位置差)[m]
S''	撮影モデル内の視距離における左右の位置差[m]
ps	画面のピクセルサイズ[m]

3. 画面上の奥行感度について

式(2)は、実空間での奥行感度である。図 2に示すように画面を通して 3D カメラで撮影した 3D 映像を閲覧した場合、撮影及び表示、閲覧環境を考慮する必要がある。まず、図 2から画面上に表示された両眼視差 S により奥行きを感じるため、式(2)は式(3)、(4)のように再定義される[4][5]。

$$\frac{D}{\Delta D} = \frac{de}{S} - 1. \quad (3)$$

$$\frac{D}{\Delta D} = \frac{de}{S} + 1. \quad (4)$$

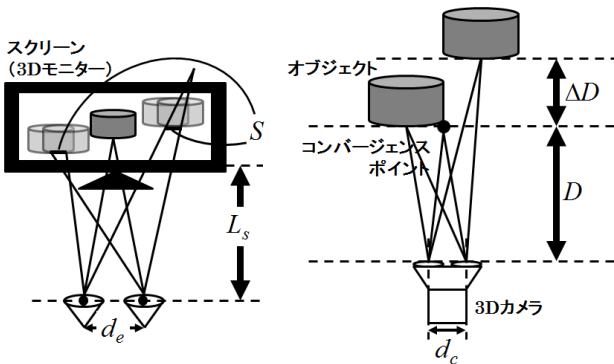


図 2. 撮影環境と表示環境, 閲覧環境.

式(3)、(4)は、視距離 D が画面までの距離であった場合の奥行感度となり、画面上を基準とした奥行感度である。式(3)は奥まり方向の奥行感度であり、式(4)は手前方向の奥行感度である。しかし、3D 映像を閲覧する場合、対象の奥行きまで視距離を調節する[6]。従って、視距離 D は画面までの距離で固定されおらず変動しており、式(3)、(4)をさらに再定義する必要がある。図 3に示す詳細な撮影及び閲覧環境を考慮したモデルは、すでに提案されており[2]、このモデルを用いて新たな画面上の奥行感度を計算し再定義する。以降、視距離 D は立体表示された位置までの距離 Ld を基準として奥まり方向に奥行弁別閾を設定して奥行感度を計算する。

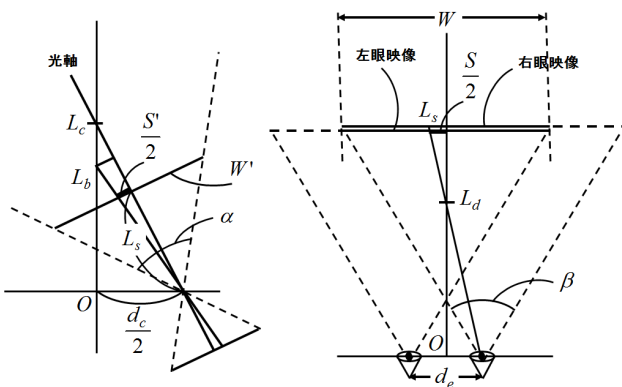


図 3. 撮影環境と表示環境, 閲覧環境.

画面上の視差量は、カメラで実空間を撮影する時点で決定されるため、実空間の奥行きが画面上の視差情報に再現されるとき、実空間の奥行きに対応する画面上の視差量は同一となる。従って、映像を閲覧する条件により書き割り効果や箱庭効果、歪みのない状態に分かれる。図 3に示した 3D カメラの右のレンズによって撮影した場合の Lb の奥行きにある物体をコンバージェンス距離 Lc でカメラのレンズ間距離 dc の 3D カメラで撮影した時、カメラから Ls の距離に投影される左右の位置差 S' は式(5)のように表される。

$$S' = \frac{(Lb - Lc) \cdot dc \cdot Ls}{Lb \cdot Lc}. \quad (5)$$

さらに、撮影モデル内の仮想画面幅と閲覧する画面幅の比を式(6)とすると、画面上に表示された両眼視差 S は式(7)のように表される。

$$a2 = \frac{W}{W'} = \frac{\tan \frac{\beta}{2}}{\tan \frac{\alpha}{2}}. \quad (6)$$

$$S = a2 \cdot S'. \quad (7)$$

式(7)に式(5)を代入すると、式(8)が得られる。

$$S = \frac{dc \cdot Ls \cdot a2}{Lc} - \frac{dc \cdot Ls \cdot a2}{Lb}. \quad (8)$$

式(8)に示された画面上に表示された両眼視差 S は、撮影環境及び画面への表示環境が考慮されている。この両眼視差を表示された画面が閲覧される環境が考慮された奥行感度を導出する。両眼視差による奥行弁別閾は、画面上において位置差で表されるため、画面における弁別閾は画素の大きさ ps である。視距離 D は、瞳孔間距離から画面上に表示された両眼視差 S を引くことによって得られるため、画面上の奥行感度は式(9)のように計算される。

$$\frac{D}{\Delta D} = \frac{de - S}{ps}. \quad (9)$$

式(3)及び(4)は、画面上の距離における奥行感度のため、式(9)の画面上に表示された両眼視差 S が画面における弁別閾 ps となった場合である。式(9)に式(8)を代入し、カメラのレンズ間距離と瞳孔間距離の比を式(10)とすると、式(11)が導出される。

$$a1 = \frac{dc}{de}. \quad (10)$$

$$\frac{D}{\Delta D} = \frac{de}{ps} \left(1 - \frac{Ls \cdot a1 \cdot a2}{Lc} + \frac{Ls \cdot a1 \cdot a2}{Lb} \right). \quad (11)$$

新たに導出された画面上の奥行感度は、実空間の様々な奥行きが画面を通して感じられる度合いを表し、実空間の Lb の距離の奥行きが画面を通してどのくらい感じられるかを知ることができる。撮影と表示、閲覧の環境が考慮されており、奥行感度特性は、撮影の係数 Lc , dc , 表示の係数 $a1$, $a2$, ps , 閲覧の係数 Ls , de によって変化する。表 2に示す係数による奥行量特性を図 4に示し[2]、奥行感度特性を図 5に示す。

表 2. 奥行感の歪みにおける 3 パターンの係数例.

係数名	係数例 1	係数例 2	係数例 3
<i>dc</i>	0.042	0.02	0.07
<i>de</i>	0.058	0.07	0.04
<i>Ls</i>	2.180088	2.180088	2.180088
<i>Lc</i>	0.728727	0.287692	1.7587
<i>a1</i>	0.724138	0.285714	1.75
<i>a2</i>	0.461604	0.461604	0.461604
<i>ps</i>	0.000634	0.000634	0.000634

表 3. 無歪の奥行感で瞳孔間距離に差がある場合の係数例.

係数名	係数例 1	係数例 2	係数例 3
<i>dc</i>	0.042	0.042	0.042
<i>de</i>	0.058	0.05	0.07
<i>Ls</i>	2.180088	2.180088	2.180088
<i>Lc</i>	0.728727	0.845323	0.603802
<i>a1</i>	0.724138	0.84	0.6
<i>a2</i>	0.461604	0.461604	0.461604
<i>ps</i>	0.000634	0.000634	0.000634

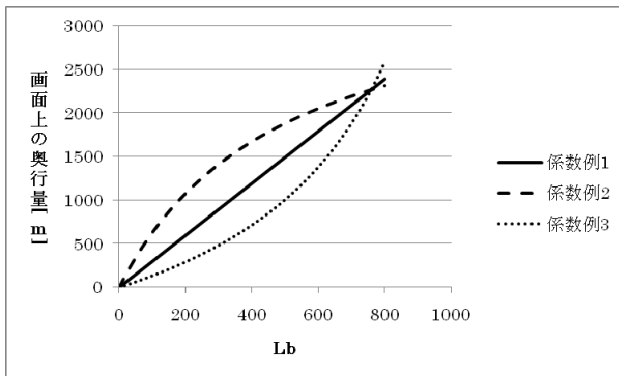


図 4. 奥行感の歪みにおける 3 パターンの奥行量特性.

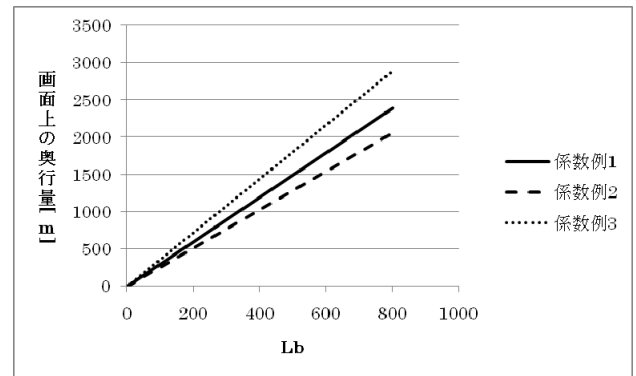


図 6. 無歪の奥行感で瞳孔間距離に差がある場合の奥行量特性.

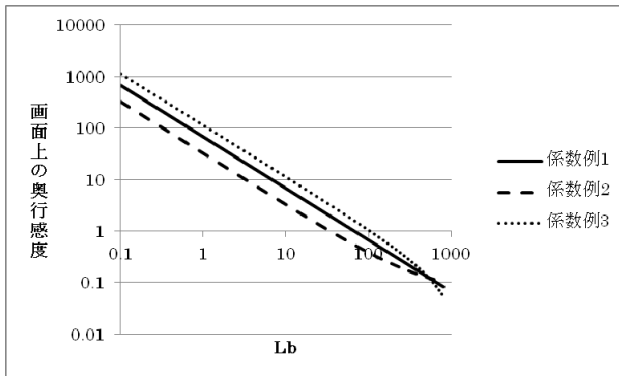


図 5. 奥行感の歪みにおける 3 パターンの奥行感度特性.

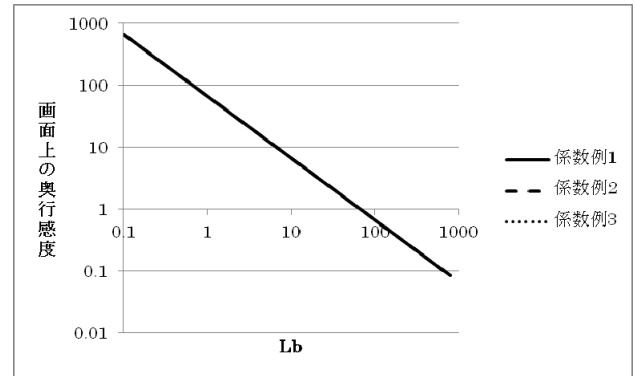


図 7. 無歪の奥行感で瞳孔間距離に差がある場合の奥行感度特性.

図 4, 図 5 の係数例 1 は奥行感に歪みがない特性で, 係数例 2 は箱庭効果における特性, 係数例 3 は書き割り効果における特性である. コンバージェンス距離と視距離の間の関係式 $Lc=Ls \cdot a1 \cdot a2[2]$ の場合, 係数例 1 のように歪みがない状態になる. 次に, $Lc > Ls \cdot a1 \cdot a2$ の場合, 書き割り効果が生じた状態になる. 最後に, $Lc < Ls \cdot a1 \cdot a2$ の場合, 箱庭効果が生じた状態になる.

表 3 に示すような映像の視差量と視力が同じで瞳孔間距離に差異がある場合の奥行量特性を図 6 に示し, 奥行感度特性を図 7 に示す. コンバージェンス距離 Lc が調整され奥行感に歪みがない状態の各距離における奥行感には人によって差がないはずであるが, 図 6 に示すように画面から得られる奥行量は人によって差がある. 図 7 に示す奥行感度は, 線が重なっており瞳孔間距離に差があった場合でも同じになる. よって, 画面上の奥行感度は人の閲覧環境を考慮した奥行感の特性が得られる.

4. 繊細な奥行きを感じさせる方法

撮影の係数 Lc , dc , 表示の係数 $a1$, $a2$, ps , 閲覧の係数 Ls , de により画面上の奥行感度に変化する. この画面上の奥行感度の様々な性質から繊細な奥行きを提案する.

4.1 画面上の奥行感度の様々な性質

視力が同じで瞳孔間距離に差がある被験者 3 人 (視力 1.0) に対してコンバージェンス距離を変化させた歪みのない状態の映像を用いて実験を行った. 実験内容を表 4 に示す. 実験 1 は, 視力が同じで瞳孔間距離に差がある被験者 3 人に対して画面上の奥行感度が同一になっているかどうかを確認した. 実験 2 は, 同じ被験者 3 人に対して同じ映像を用いて, 画面上の奥行感度がどのように変化するかを確認した. 実験 1 及び実験 2 により

撮影・表示環境の変化が奥行感度に与える影響を明らかにできる。実験3は、閲覧環境の影響を調べるために、実験2と同じ映像を用いるが、被験者の違う被験者に一人変更し実験を行い、他の結果と比較した。実験環境を図8に示し、用いた実験機材を表5に示す。実験では、明るさの影響を抑えるために、2つの黒色の平らな物体を対象物体として用いた。物体1を固定し、物体2を奥まり方向に少しずつ移動させて、物体1と比較して奥行きに変化があったと感じた間隔を奥行弁別閾として計測した。実空間の奥行きを計測する際のデータを取る時の刻み幅は5[mm]である。今回、視力1.0の時の視距離(およそ2.18[m])を基準とし、その手前方向及び奥まり方向の奥行きに変化があったと感じた10点を計測した。

表4. 実験内容.

実験名	実験内容
実験1	撮影・表示環境確認実験：Lcを変化させた場合
実験2	撮影・表示環境確認実験：Lcを同じにした場合
実験3	閲覧環境確認実験：実験2と同じ映像を用いて視力の違う被験者も加え行った場合

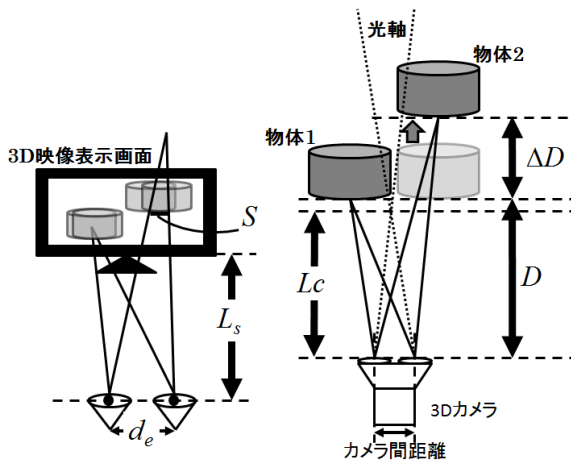


図8. 実験環境.

表5. 実験機材.

機材種類	機材名
3D カメラ	パナソニック製 3D 撮影デジタルビデオカメラ HDC-Z10000
3D 映像 表示画面	LG 製 55 インチ型 3D 表示テレビ 55LW6500

実験1の被験者のパラメータを表6に示し、結果を図9に示す。計算値は、表6の被験者パラメータを式(11)に代入し各Lbの画面上の奥行感度を計算したものである。今回、両眼視差のみを対象に実験を行ったが、実験環境において映像を閲覧して奥行弁別数居を計測する関係上、運動視差や相対速度、像の大きさの変化による手がかりも計測結果に含まれている可能性がある[7]。そのため、値にばらつきが生じてしまい、ばらつきの抑制のために3度同様な実験し平均を取ったが、完全に抑えることができなかった。そこで、各被験者における計測値による

近似曲線を追加したものを図10, 図11, 図12に示す。累乗近似を採用した理由は、奥行感度の特性に合わせたためである。遠距離において実験値と計算値の間に開きはあがるが、実験1によって被験者1と被験者3で似た傾向の特性が得られた。実験値と計算値の間に開きと被験者2で高めの奥行感度特性が得られた理由を示す。近距離では両眼視差の影響が大きいため、平均と計算値の差が少ないが、遠距離になるに従って差が増加している傾向が得られた。これは、遠距離になるに従って、両眼視差の影響が少なくなっていることを表している。各手がかりにおける奥行知覚の度合はすでに解析され[3]、近距離では両眼視差が一番影響し、遠距離では物体の大きさの違いによって奥行きを感じる手がかりが一番影響する。そして、10~30[m]付近では運動視差が一番影響する。被験者1は、図10に示すように、近距離では両眼視差を用い徐々に他の手がかりも併用し、被験者2は、図11に示すように初めから他の手がかりを用い、被験者3は、図12に示すように被験者1と同様な奥行知覚を行ったと考えられる。実験後、被験者も遠距離では両眼視差の違いを判別しづらいと回答しており、他の手がかりも併用していたと考えられる。

表6. 実験1の被験者パラメータ.

係数名	被験者1	被験者2	被験者3
<i>dc</i>	0.042	0.042	0.042
<i>de</i>	0.058	0.062	0.065
<i>Ls</i>	2.180088	2.180088	2.180088
<i>Lc</i>	0.728727	0.681712	0.650249
<i>a1</i>	0.724138	0.677419	0.646154
<i>a2</i>	0.461604	0.461604	0.461604
<i>ps</i>	0.000634	0.000634	0.000634

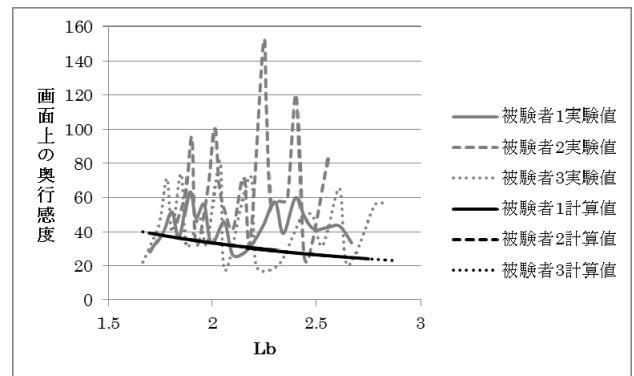


図9. 実験1の結果.

次に、実験1と同じ被験者3人に対して、コンバージェンス距離を固定にして撮影した同じ映像用いた実験2を行った。被験者パラメータを表7に示し、実験結果を図13に示す。コンバージェンス距離が固定されているため、画面上の奥行感度は被験者ごとに異なる。図13の結果を更に被験者ごとに分け、計測値による近似曲線を追加したものを図14, 図15, 図16に示す。図14に示すように被験者1は、3人の被験者のうち一番低い特性が得られた。図15で示す被験者2で他の被験

者と比べ高めの特性が得られた。図 16で示す被験者 3 は、特に両眼視差による奥行感度特性がよく得られており、他の奥行きを得る手がかりをあまり用いずに奥行きを感じていた。

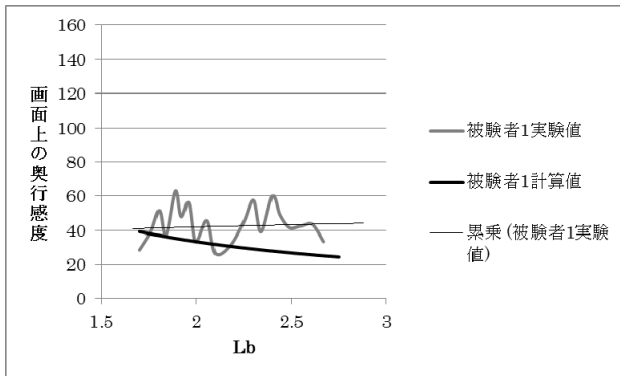


図 10. 実験 1 の被験者 1 の結果.

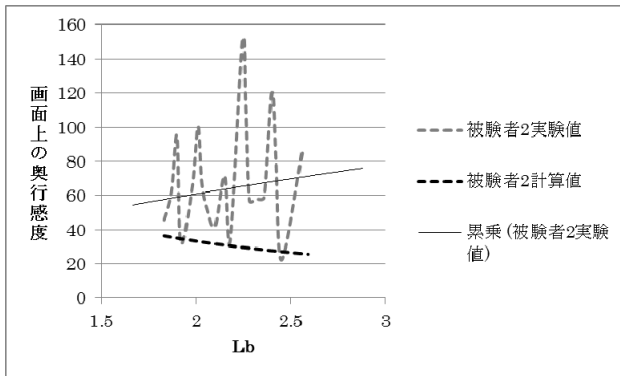


図 11. 実験 1 の被験者 2 の結果.

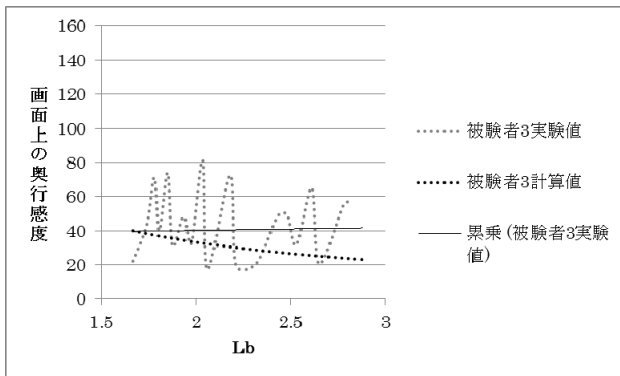


図 12. 実験 1 の被験者 3 の結果.

表 7. 実験 2 の被験者パラメータ.

係数名	被験者 1	被験者 2	被験者 3
<i>dc</i>	0.042	0.042	0.042
<i>de</i>	0.058	0.062	0.065
<i>ls</i>	2.180088	2.180088	2.180088
<i>lc</i>	0.7	0.7	0.7
<i>a1</i>	0.724138	0.677419	0.646154
<i>a2</i>	0.461604	0.461604	0.461604
<i>ps</i>	0.000634	0.000634	0.000634

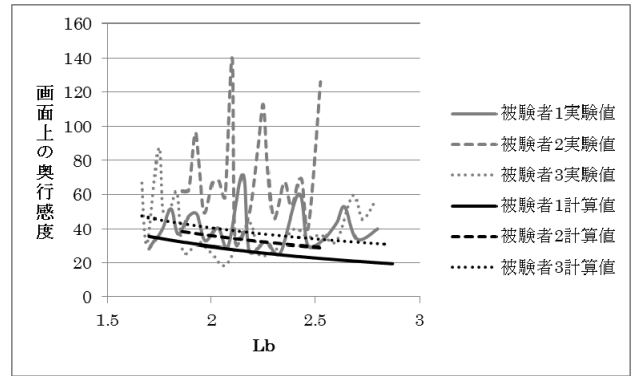


図 13. 実験 2 の結果.

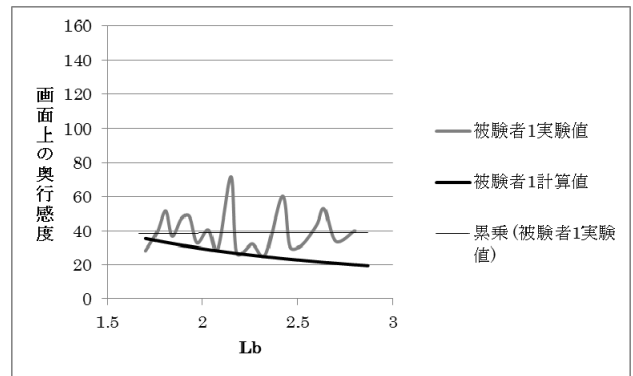


図 14. 実験 2 の被験者 1 の結果.

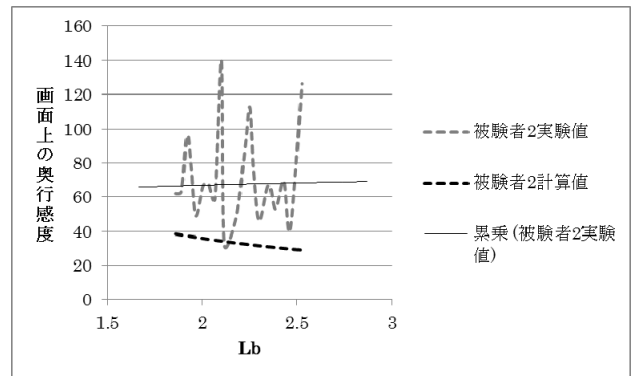


図 15. 実験 2 の被験者 2 の結果.

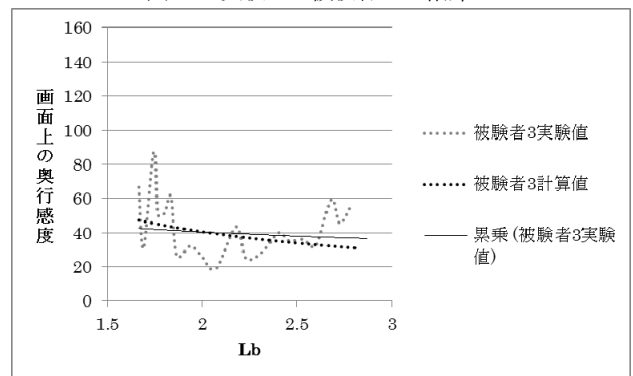


図 16. 実験 2 の被験者 3 の結果.

実験 1 の被験者 1 と被験者 3 の結果を比較すると、双方とも同様な結果が得られた。これは、無歪の奥行感度特性の傾向と合致している。そして、実験 2 の被験者 1 と被験者 3 の結果を比較すると、被験者 3 のほうが被験者 1 より高い値が得られた。これは、奥行きが歪んだ奥行感度特性の傾向と合致している。

これらの結果と実験 1 と実験 2 の間の差異から、提案する奥行感度は、撮影・表示環境が考慮されていることが実証でき、その有効性を確認できた。

最後に、実験 2 の映像を用いて視力の違う被験者に一人変更した実験 3 を行った。視力の違う被験者 4 の視力は、2.0 であり、視距離 L_s が 1.0 と比べ 2 倍になる[8]。被験者パラメータを表 8 に示し、実験結果を図 17 に示す。図 17 の結果を更に被験者ごとに分け、計測値による近似曲線を追加したものを図 18、図 19、図 20 に示す。図 20 に示す被験者 4 の結果で計算値とかなり差がある。これは、視距離がおおよそ 4.36[m] で、さらに物体の位置が奥まり方向に配置されているため、物体を遠く感じてしまい、他の手がかりをさらに用いてしまうことになったと考えられる。しかし、視力が違い視距離 L_s に変化があった場合でも、計算値と傾向は同様であり、両眼視差による奥行知覚を基に奥行きを感じたと考えられる。以上の結果から、提案する奥行感度の式(11)の有効性を確認できたといえる。

表 8. 実験 3 の被験者パラメータ.

係数名	被験者 1	被験者 3	被験者 4
dc	0.042	0.042	0.042
de	0.058	0.065	0.063
L_s	2.180088	2.180088	4.360177
L_c	0.7	0.7	0.7
$a1$	0.724138	0.646154	0.666667
$a2$	0.461604	0.461604	0.230802
ps	0.000634	0.000634	0.000634

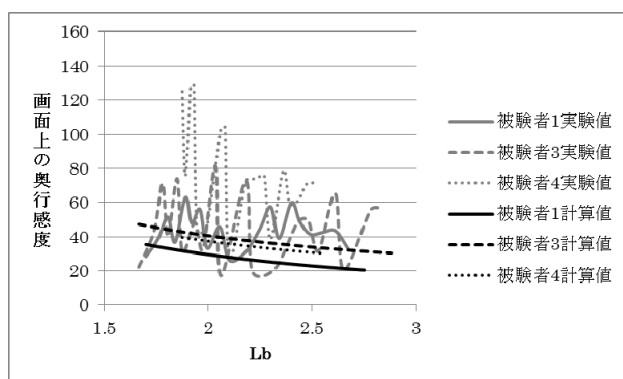


図 17. 実験 3 の結果.

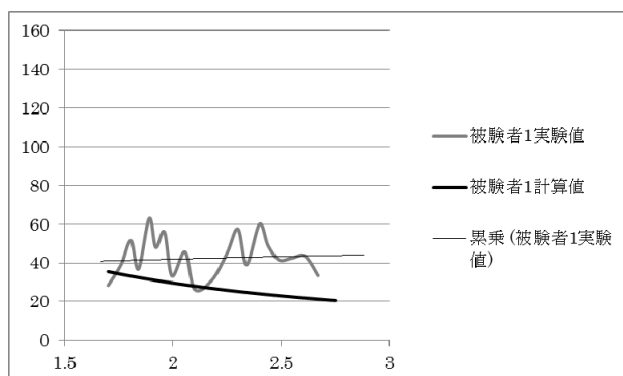


図 18. 実験 3 の被験者 1 の結果.

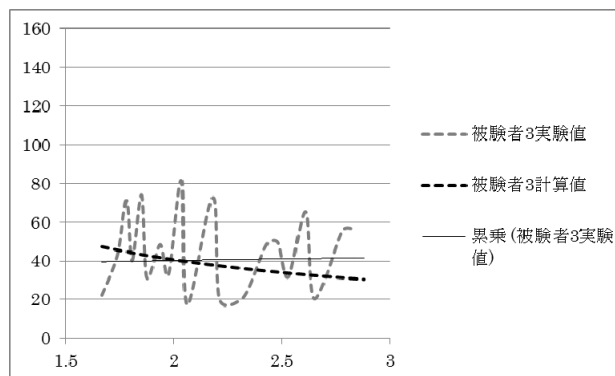


図 19. 実験 3 の被験者 3 の結果.

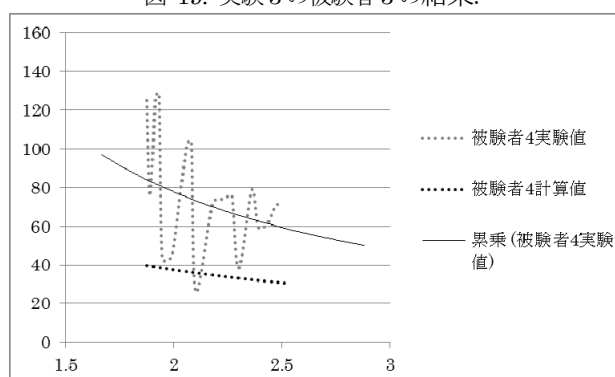


図 20. 実験 3 の被験者 4 の結果.

4.2 繊細な奥行きを感じさせる手法

前項で示したように、式(11)の有効性が確認され、画面から得られる奥行感を評価することができるようになった。画面上の奥行感度が高いとより繊細な奥行きを感じることができるため、撮影の係数 L_c , dc , 表示の係数 $a1$, $a2$, ps , 閲覧の係数 L_s , de を調整し、各個人に対しての最適な映像を作成する。指標の係数の調整方法は、提案した奥行感度の式(11)をより高める必要がある。実空間と同一な奥行感にするには、コンバージェンス距離 L_c を無限大にし視距離 L_s と撮影距離 L_b を同じにする。さらに奥行感を高めるには、式(11)の第 2 項の負の項を小さくし、第 3 項の正の項を大きくすればよい。具体的には、まずコンバージェンス距離 L_c を撮影距離 L_b より大きくし、次に視距離 L_s , $a1$, $a2$ を大きくする。コンバージェンス距離 L_c を撮影距離 L_b より大きい場合、撮影される物体は、飛び出し方向に配置される。コンバージェンス距離が無限大の場合、カメラの両方のレンズの光軸は平行な状態である。

例として、画面までの視距離を固定にした被験者が、同じカメラを用いて撮影しコンバージェンス距離を変動させることが可能な 3D 映像を閲覧した場合を挙げる。3 つのコンバージェンス距離 L_c を変動させて、被験者 1 に映像を提示した時の被験者パラメータを表 9 に示し、計算結果を図 21 に示す。コンバージェンス距離 L_c が 3 の場合がその他の場合より画面上の奥行感度が高い。この場合、書き割り効果が生じており、 L_b が大きい場合、奥行きが薄く感じられる。しかし、 L_b が小さい場合、奥行きが薄さが軽減され、奥行感が高まる。実際に被験者 1 に対してそれぞれの映像を閲覧させた場合、1[m] に配置した繊細な奥行きのある物体の奥行感度は $L_c=3$ の場合に最も得ら

れたと答えた。しかし、奥行感を得るまでに時間がかかったとも回答した。コンバージェンス距離 L_c と物体を配置した位置を比べると、飛び出し方向に奥行感を得ることから、左右の目からの像を融合させるのに時間がかかったと考えられる。よって、ガイドラインのコンテンツ制作者が行う事項(1)によって、開散方向の視差制限と融合限界の考慮し超過しないようにする必要があり、注意する必要がある。

表 9. 被験者パラメータ.

(被験者 1 に対しての L_c を 3 段階変化させた場合)

係数名	$L_c=0.7287$	$L_c=3$	$L_c=0.7$
dc	0.042	0.042	0.042
de	0.058	0.058	0.058
ls	2.180088	2.180088	2.180088
Lc	0.728727	3	0.7
$a1$	0.724138	0.724138	0.724138
$a2$	0.461604	0.461604	0.461604
ps	0.000634	0.000634	0.000634

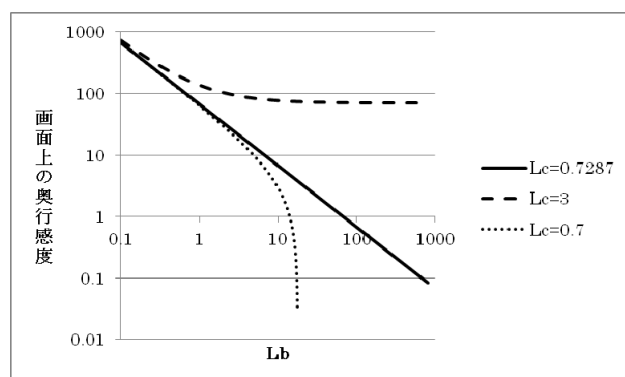


図 21. 実験結果.

(被験者 1 に対しての L_c を 3 段階変化させた場合)

4.3 違和感及び悪影響を生じる視差の抑制について

最後に、提案した指標を用いて視覚的違和感及び閲覧環境によって人に対する悪影響をどのように抑制するかを説明する。

視覚的違和感である箱庭効果および書き割り効果は、3章で示したコンバージェンス距離と視距離の関係式を用いて評価が行われている[2]。本報告で提案した式(11)は、この関係式による評価も盛り込んでおり、被験者 1 に対する図 21 の奥行感度の計算結果から、無歪な場合は、奥行感度は一次関数的に減少し、箱庭効果の場合、無歪な場合と比較して急激に減少し、書き割り効果の場合、無歪な場合と比較してある値に向かって緩やかに減少する。この値は、 L_b が無限遠点の場合の奥行感度であり、無歪な場合は 0、箱庭効果の場合は負、書き割り効果の場合は正の値となる。さらに、書き割り効果の場合、この値の最大は瞳孔間距離 de と画面における弁別閾である画面のピクセルサイズ ps の比率となる。この結果は、箱庭効果の場合すぐに奥行きを感じなくなることと、書き割り効果の場合実空間の奥行きが圧縮され L_b が無限遠点であっても奥行きを感じてしまうことのような人間の感性に合致している。よって、視

覚的違和感の評価は、提案した奥行感度の L_b を無限大にした時の値を確認すればよく、視覚的違和感の度合も値の絶対値の大きさによって得られる。

次に、閲覧環境によって人に対する悪影響を防ぐための評価について説明する。画面上で表現される両眼視差量 S は瞳孔間距離 de を超えてはならないとガイドラインで定められている。画面上で表現される両眼視差量 S が瞳孔間距離 de と同一になる場合は、奥行知覚において無限遠点の場合である。この場合、提案する式(11)の奥行感度は 0 となる。平行の視線が発散した場合 ($S > de$) は、奥行感度は負の値となるため、式(11)において負の値にならないように両眼視差を調整すればよい。

5. まとめ

本報告では、奥行感度に着目して繊細な奥行きを感じさせる方法について提案した。今回提案した手法の効果を確認するために、繊細な奥行きを表現した映像を作成し、撮影時の奥行きより映像を通して得た奥行きのほうが細かいことを確認する必要がある。本報告で提案した幾何光学的観点から繊細な奥行きを感じさせる方法を用いることにより、例えば伝統工芸品のような様々な質感を持つものの魅力を遠隔地に 3D 映像表示画面を通して届けることが可能になる。さらに、VR 技術を用いた機器に 3D 映像を表示することで、より臨場感を創出することができ、本報告による手法によって 3D 映像の魅力を効果的に伝えることができる。

参考文献

- [1] 3Dコンソーシアム安全ガイドライン部会, 人に優しい3D普及のための3DC安全ガイドライン, 2010.
- [2] H.Yamanoue, The Differences between Toed-in Camera Configurations and Parallel Camera Configuration in Shooting Stereoscopic Images, ICME 2006, pp.1701-1704 (2006).
- [3] 長田昌次郎, 視覚の奥行距離情報とその奥行感度, テレビ誌, vol. 31, no. 8, pp. 649-655, 1977.
- [4] 鍛冶俊平, 渡辺弥寿夫, 3D映像表示画面上の両眼視差における奥行感度についての考察, 研究報告コンピュータビジョンとイメージメディア (CVIM), Vol. 192, No. 1, pp. 1-5, 2014.
- [5] S. Kaji, Y. Watanabe, Evaluation Using Indexes by Depth Sensitivity on Screen, Program and Proceedings of The 1st International Conference on Advanced Imaging (ICAI 2015), pp. 636-639, 2015.
- [6] 芳川毅也, 本田悠真, 小島健仁, 森田一三, 吉川一輝, 木下史也, 杉浦明弘, 采女智津江, 山川達也, 金子央, 宮尾克, 前後運動する3D映像とタブレット上の2D映像の水晶体調節の比較, 映像情報メディア学会技術報告 38(46), pp.45-48, 2014-11-21.
- [7] 鍛冶俊平, 渡辺弥寿夫, 画面上における相対速度から得られる奥行感度と運動視差による奥行感度, 映像情報メディア学会技術報告, Vol. 38, No. 46, pp. 29-32, 2014.
- [8] 江本正喜, 山之上裕一, 野尻裕司, 立体ハイビジョンの研究, 映像情報メディア学会技術報告, Vol.36, No.43, pp.1-8, 2012.

鍛冶 俊平



2003 東京農工大・工・電気電子卒. 2005 同大学院工学教育部前期課程了. 会社員を経て, 2010 金沢工科大学院工学研究科博士後期課程に, 2013 同大臨時職員に在籍. 3D映像の評価システムの研究や組み込みシステム教材開発補助, 同教材を用いた講座運営補助に従事. 3D映像技術が持つ魅力の解析や組み込みシステムに関する教材開発に興味. 情報処理学会, 映像情報メディア学会, 芸術科学会会員.

長田 茂美



1975 東京工業大学工学部機械物理工学科卒. 1977 同大学大学院総合理工学研究科システム科学専攻修士課程了. 同年 (株)富士通研究所入社. 2009 東京大学大学院情報理工学系電子情報学専攻博士後期課程了. 2011 金沢工業大学情報学部情報工学科教授. 2012 同大学工学部情報工学科教授. 現在に至る. パターン認識, コンピュータビジョン, 機械学習などの研究に従事. 電子情報通信学会, 情報処理学会, 人工知能学会, 日本ロボット学会, 日本データベース学会, 映像情報メディア学会, 看護理工学会, IAPR会員. 博士 (情報理工学) .