

裸眼によるドーム映像生成のための奥行き知覚の検討

林 正紘^{*1} 妹尾 武治^{*2} 小木 哲朗^{*1,*3} 佐藤 隆夫^{*4}

Study on Depth Perception for Generating Non-Stereoscopic Dome Image

Masahiro Hayashi^{*1}, Takeharu Seno^{*2}, Tetsuro Ogi^{*1,*3} and Takao Sato^{*4}

Abstract - Recently, an increasing number of planetariums are using digital technology. In a fully digital planetarium, the dome image is generated by computers and it is projected onto the dome screen using projection system. In such an environment the observers see the non-stereoscopic image without using 3D glasses, so they can not use binocular depth cues to perceive the depth of the displayed image correctly. In this paper, we made experiments using an immersive curved display and evaluate the depth perception of the user of the non-stereoscopic image. The purpose of this study is to systematize properties of the depth perception of the observer in dome display and to make an effective content which control the depth perception of the observers by using the background knowledge, as well as motion parallax effectively.

Keywords : dome, non-stereoscopic, depth perception, motion parallax and curved immersive display

1. はじめに

近年、愛知万博の各展示で見られたような大画面スクリーンを利用した、高臨場感ディスプレイが利用されるようになってきた。特に全天周のドーム型ディスプレイの場合、利用者の視界はフレームレスな映像によって覆い尽くされるため、立体メガネのような特別な装置を利用することなく立体感を感じることがある。これまでの研究からドーム型ディスプレイ環境では、幾何学情報や運動視差を効果的に用いることで、両眼視差情報を用いなくても立体感のある映像表現ができることが知られている。

一方、最近のプラネタリウム施設では、高輝度プロジェクタ設備の導入とデジタル化によって、星座以外の映像コンテンツを提示することも可能になってきた[1]。プラネタリウムのスクリーンは360°の全天周映像を提示が可能なため、裸眼の状態でも大人数が同時に高臨場感映像を体験することが可能であり、新しい映像コンテンツによる利用率の向上が期待されるが、予算的な問題もあり、プラネタリウム業界のデジタル化への対応が遅れているというのが現状である[2]。

ドーム型ディスプレイにおける映像コンテンツは注目されつつあるが、現状のコンテンツのほとんどは作り手の経験則に基づいて作られている部分が多く、観測者が

実際にどのような立体感を感じているかの詳細は分かっていない。また、このような環境における幾何学情報や運動視差の効果に基づいた立体感の知覚は、現象としては知られているが、それを利用した映像制作についての研究はほとんど行われていない。

本研究では、広視野曲面ディスプレイにいくつかの映像パターンを投影することで、利用者の立体感の知覚に関する基礎実験を行った。特に、単眼映像のような奥行きを推測する手がかりが少ない環境において、利用者が感じる奥行き感について調べた。

本研究の目的は、被験者実験データの蓄積によって、ドーム型ディスプレイ環境における効果的な映像表現技法を体系化することである。そして、広視野ディスプレイという特殊な環境下で感じられる人間の立体感を積極的に利用した、ドーム映像の生成手法を確立することを目指している。

2. 実験環境

本実験ではドーム型ディスプレイ環境として、壁面を利用した曲面ディスプレイである CC Room[3](図 1(a))を使用した。また、曲面スクリーンとの比較実験を行うための平面スクリーンの環境として、3面の CAVE 型ディスプレイ CS Gallery(図 1(b))の正面スクリーンのみを使用した。

CC Room は、部屋のコーナー部分に発泡スチロールを埋め合わせた曲面スクリーンに、魚眼レンズを装着したプロジェクタによる広角映像を投影することで、広視野なディスプレイ環境を実現している。本研究の目的は単眼映像の利用であるが、システムそのものは 2 台のプロジェクタを備え、時分割立体視を可能にしている。図 2 は CC Room の構成を表している。

*1: 筑波大学大学院 コンピュータサイエンス専攻

*2: 東京大学 インテリジェント・モデリング・ラボラトリー

*3: 情報通信研究機構 つくばリサーチセンター

*4: 東京大学 人文社会系研究科

*1: Graduate School of SIE, University of Tsukuba

*2: Intelligent Modeling Laboratory, the University of Tokyo

*3: National Institute of Information and communications Technology, Tsukuba Research Center

*4: Graduate School of Humanities and Sociology, the University of Tokyo

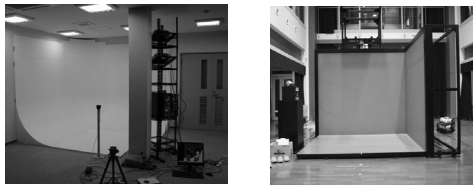


図 1 実験環境: (a) CC Room, (b) CS Gallery
Fig.1 (a) CC Room, (b) CS Gallery

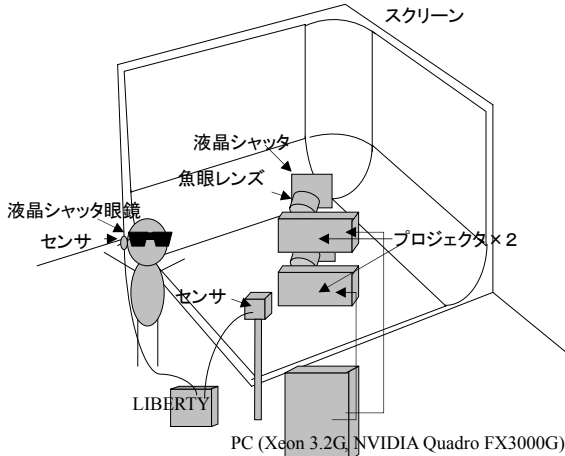


図 2 CC Room の構成
Fig.2 System configuration of CC Room

3. 奥行き感の定量化

3.1 視差がない映像の奥行き知覚

プラネタリウムのようなドーム型スクリーンに単眼映像を投影する場合、両眼視差や視点追従が使えないため一般に奥行き知覚は曖昧になる。しかし、このような環境においても、観察者は他の情報を有効に利用できればそれらのある程度の手がかりにして奥行きを知覚できることが知られている。

例えば、歪み補正を施した四角形の映像を曲面スクリーン上で移動させるとする。このとき、観客がスクリーン形状を認識する場合は、映像はスクリーンに張り付いて見えてしまうが、照明条件や映像の明るさがある条件を満たし、観客がスクリーン形状をまったく認識できなくなると、四角形の映像は横移動の直線運動として認識され、スクリーンから浮き出して見える(図 3)という現象が確認されている。このように単一物体のみでも、運動視差を組み合わせることで立体感を表現することができる。

ここでは横移動させた物体を直線運動と認識する際の観客が感じている立体感を定量化するため、視差を与えた立体映像を評価基準として実験を行った。実験 I は純粋な視差のみによる奥行き感の定量化、実験 II は視差+遠近法+床面による奥行き感の定量化を目的としている。

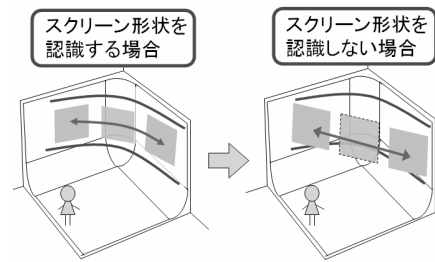


図 3 運動視差の効果による立体感の知覚
Fig.3 Acquired depth by motion parallax

3.2 実験 I : 純粋な視差のみによる奥行き感の定量化

実験 I では、立体視の映像の視差のみによって裸眼映像の立体感の定量化を行った。この実験では上下法を用いている。実験の流れは以下のようである。

- ① 被験者は立体メガネを装着し、イスに着座した状態で、テストイメージ(図 4(a),(b))を見る。テストイメージには視差がついていないため、立体メガネを装着した状態でも、裸眼映像と同様の映像を見る。図 5 は実験風景を表している。
- ② その後、被験者に視差情報のあるプローブ (図 4(c)) を見せ、プローブがテストイメージより手前に感じるか、奥に感じるかを強制二択で答えてもらう。
- ③ 被験者が手前と答えた場合、プローブを 10cm 奥に移動させ、再び①②を行う。また、被験者が奥と答えた場合は、プローブを 10cm 手前に移動させ、再び①②を行う。
- ④ ①②③の操作を数回繰り返すと、テストイメージよりも奥に見えていたプローブが手前に見えるようになる(もしくは、手前に見えていたプローブが奥に見えるようになる)。被験者の答えが奥→手前(手前→奥)に変わるのは、テストイメージとプローブとの奥行きが一致するポイントであると考え、その時のプローブの位置を記録する。
- ⑤ このような一連の操作(①~④)を数回繰り返し、被験者の回答が変わる(手前⇄奥)際のプローブの位置を 7 回記録し、その平均値を被験者が感じている奥行きとした。

テストイメージとして視差のない四角形と CG で描画した犬(図 4(a),(b))の 2 種類を用意した。CG の犬を提示したのは、対象自体が大きさに関する情報や意味を持つ物体(犬)の場合、奥行き知覚に変化があるかを調べるためである。四角形、犬ともに、小:0.3m×0.3m、中:1.0m×1.0m、大:1.5m×1.5m の 3 種類の大きさの映像を用意し、それぞれ図 6 の直線(b)上を一定速度で往復運動させた。CG で描画した犬はアニメーションによって 4 足歩行するため違和感を覚えない。プローブとしては、視差情報だけを与えたバー(図 4(c))を用いた。このバーは図 6 の直線(a)

上を 10cm 刻みで移動する。バーが手前もしくは奥に移動する場合も、被験者から見たバーの大きさは一定に統一しているため、大小遠近法による効果を除いてある。視差をつけたバーのみでは奥行き知覚が困難だったため、ランダムドットを常にスクリーン上に表示させることで、バーの位置を知覚しやすくしている。

被験者は立体視に慣れている大学生 5 人とした。視点位置は図 6 の①②③の 3 箇所とし、スクリーンまでの距離に依存して感じられる立体感に変化が表れるかを調べた。図 7 は 5 人の被験者の平均値と標準偏差を表したものである。図 7 における奥行き感(m)はスクリーンからの距離によって表している(図 8)。

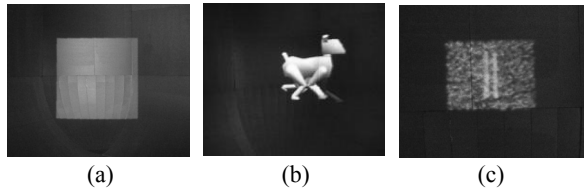


図 4 (a) テストイメージ (四角形: 視差なし)
 (b) テストイメージ (犬: 視差なし)
 (c) プローブイメージ (バー: 視差あり)

Fig.4 (a) Test Image (Square: Non-stereoscopic)

(b) Test Image (Dog: Non-stereoscopic)

(c) Probe Image (Bar: Stereoscopic)



図 5 実験風景

Fig.5 Overview of Experiment 1

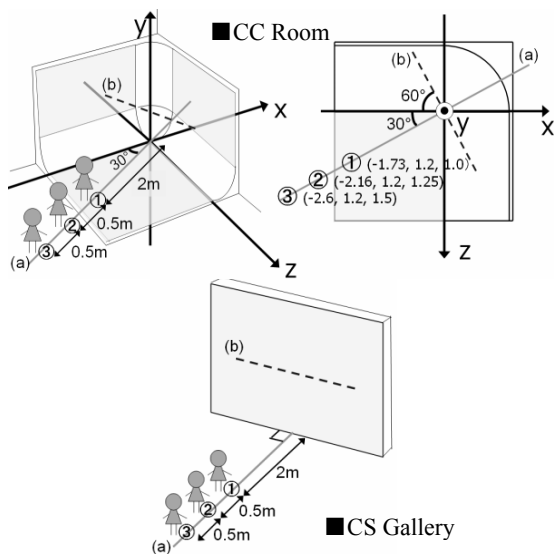


図 6 被験者の視点位置

Fig.6 Viewpoints of the Subjects

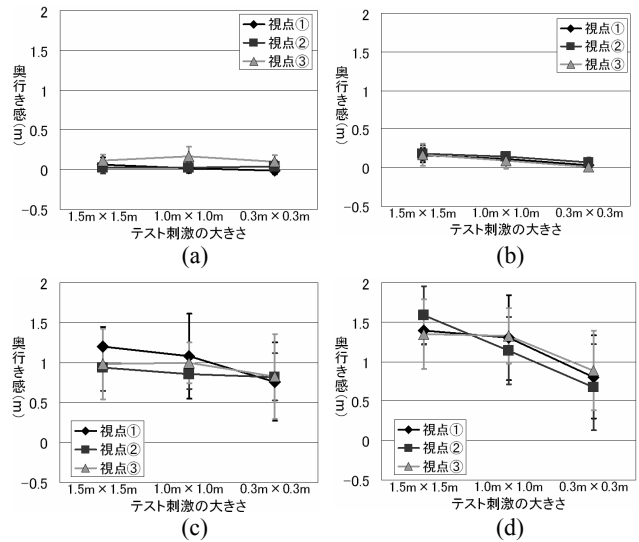


図 7 奥行き感の平均値と標準偏差

(a) 四角形: 平面スクリーン, (b) 犬: 平面スクリーン

(c) 四角形: 曲面スクリーン, (d) 犬: 曲面スクリーン

Fig.7 Average and Standard Deviation

(a) Square: Flat Screen, (b) Dog: Flat Screen

(c) Square: Curved Screen, (d) Dog: Curved Screen

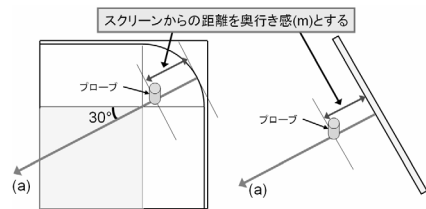


図 8 実験 I の評価基準

Fig.8 A Valuation Basis of Experiment 1

グラフより、平面スクリーンでは映像の種類、大きさ、視点位置に関わらず、奥行き感はほとんどゼロになっているため、スクリーンとはほぼ同じ距離に感じていることがわかる。平面スクリーンで単眼映像によって感じられる立体感は少なく、このような結果になったと思われる。これに対し、曲面スクリーンでは奥行き感の平均値がすべて 0.5 以上になっていることから、被験者は物体がスクリーン面から飛び出して見えていることが分かる。また、平面スクリーンの結果と同様に、視点位置と奥行き感の間には依存関係はほとんどないことがわかる。図 7(c)(d)の結果より、犬のほうが四角形よりも大小関係による奥行き感の変化量が大きいことがわかる。しかし、曲面スクリーンにおけるデータは被験者間の分散が非常に大きく、被験者によっては実験中データがうまく収束しないケースもあった。分散が大きくなってしまった原因は、プローブとして用いたバー刺激が、スクリーン面から 50cm の範囲に存在する場合は、奥行きをある程度正確に認識できるが、それ以上バー刺激がスクリーン面から離れるとバーの奥行き知覚が極端に困難だったことが原因の一つと考えられる。

3.3 実験Ⅱ 視差+遠近法+床面による奥行き の定量化

実験Ⅰでは純粋な視差のみによる奥行き
の定量化を目的としたため、プローブの奥行きを
知覚するための補助情報は視差のみであった。
そのため、スクリーンからの飛び出し量が大
きい曲面スクリーンでは、バー刺激により
正確な奥行きを知覚することはできなかった。

そこで、実験Ⅱではプローブとして直径
10cm、高さ60cmの円柱(図8)を用いて、
実験Ⅰと同様の上下法による実験を行った。
円柱は地面に直立しており、実験Ⅰと同様
に図6の直線(a)上を10cmの間隔で前後移
動する。

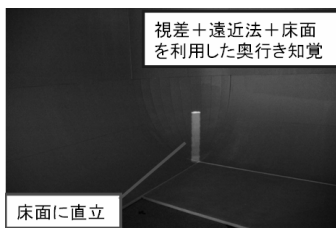


図8 プローブイメージ(円柱・視差あり)

Fig.8 Probe Image (Cylinder: Stereoscopic)

この円柱は大小遠近法により大きさが変
化するため、奥行きを知覚しやすくなっ
ている。このように、実験Ⅱでは床面、
大小遠近法、視差による奥行き知覚が可
能であるため、実験Ⅰよりも正確な奥
行きを計測することができる。被験者
の数、視点位置、テスト刺激はすべて
実験Ⅰと同一である。実験Ⅱの結果の
平均値と標準偏差を表したものが、
図9のグラフである。

実験Ⅰの結果と同様にすべての条件
で奥行き感が正になっていることから、
被験者は横移動する物体をスクリーン
より手前に感じている。また、視点位
置によって物体の奥行き感はほとんど
変化しない。四角形の場合、大きさ
を変化させても奥行き感にあまり変
化がないが、犬の場合、大小関係に
よって大きな変化が表れている。犬
の大きさを要因として多重比較を行
ったところ、中と大の間には差が現
れなかったが、小と中の間には有意
水準5%の差があった。被験者が予
備知識として、犬の大きさに関する
情報を持っていたため、小さい犬=遠
くを歩いていると認識し、このような
結果になったと予測される。これよ
り、意味情報を持たない物体(四角形)
と運動視差を組み合わせた場合、大
きさを変えてもさほど奥行き感を
変化させることはできないが、意味
情報を持った物体(犬)では運動視
差を組み合わせることで、見かけの
映像の大きさによって、ある程度
の定量的な奥行き表現をすることが
分かった。

しかし、実験Ⅱで用いた円柱もスク
リーンより奥にある場合、その奥行
きを知覚させるのは困難であった。円
柱が手前にあるときは床面によって
奥行きを知覚しやすいが、円柱が奥
にある場合、視差は小さくなり、床
面による奥行き判断もできないため
である。より正確に奥行きを計測
できるプローブが望まれる。

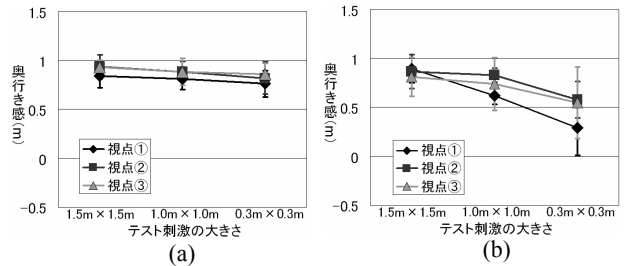


図9 立体感の平均値と標準偏差

(a) 四角形: 曲面スクリーン, (b) 犬: 曲面スクリーン

Fig.9 Average and Standard Deviation

(a) Square: Curved Screen, (b) Dog: Curved Screen

4. 考察

本研究では、プラネタリウムのようなド
ーム型ディスプレイ環境における効果
的な映像表現を調べるために、まず、
没入型曲面スクリーン CC Room にい
ろいろな映像パターンを投影して被
験者の奥行き知覚を調べた。実験Ⅰ
では純粋な視差のみにより奥行き
の定量化を試み、実験Ⅱでは視差、
遠近法、床面を利用した奥行き
の定量化を行った。実験Ⅰの結果
より、平面スクリーンでは物体の
大きさを変化させても奥行き感に
変化はほとんど変化せず、スク
リーンとほぼ同じ距離に感じるこ
とが分かった。これに対し、曲面
スクリーンではスクリーンから飛
び出して感じる事が確認された。ま
た、実験Ⅱの結果より、犬のよう
なそれ自体が大きさに
関する意味情報を持つ物体の場合、
大きさを変化させることで奥行き
感を
変化させることができることが分
かった。また、視差のある立体映
像を評価基準とした上下法により、
定量的な奥行きが測定できること
も分かった。

今回は横移動の奥行き知覚について
実験を行なったが、今後は前後移
動によってどれだけ手前に物体を
感じさせることができるかを調べ
ていく予定である。これらの実験
データを基に整理していくことで、
プラネタリウム環境における立体
感のある映像制作法として体系化
していきたいと考えている。

謝辞

本研究は、総務省戦略的情報中心
研究開発推進制度(SCOPE 06130334)
の一部として行われた。また実験
環境として NICT つくば JGN II
リサーチセンターの支援を受けた。
ここに深く感謝いたします。

参考文献

- [1] バーチャリウム, 五藤光学: <http://www.goto.co.jp/>
- [2] プラネタリウム白書, 第4章: 今後の課題と展望
<http://planetarium.jp/pub/wbook2005/documents/WP4.pdf>
- [3] 小木, 林, 藤瀬: 簡易没入型ディスプレイ CC Room の開発と映像生成手法, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 Vol.11, No.3, pp.387-394, 2006