慶應義塾大学学術情報リポジトリ
Keio Associated Repository of Academic resouces

Title	ドーム環境における空間映像コンテンツの制作手法に関する研究
Sub Title	A study on three-dimensional image contents creation method in the dome environment
Author	古山, 大輔(Furuyama, Daisuke) 小木, 哲朗(Ogi, Tetsuro)
Publisher	慶應義塾大学大学院システムデザイン・ マネジメント研究科
Publication year	2009
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2009年度システムエンジニアリング学 第17号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002009-0041

慶應義塾大学学術情報リポジトリ(KOARA)に掲載されているコンテンツの著作権は、それぞれの著作者、学会または出版社/発行者に帰属し、その権利は著作権法によって保護されています。引用にあたっては、著作権法を遵守してご利用ください。

The copyrights of content available on the KeiO Associated Repository of Academic resources (KOARA) belong to the respective authors, academic societies, or publishers/issuers, and these rights are protected by the Japanese Copyright Act. When quoting the content, please follow the Japanese copyright act.

修士論文

ドーム環境における空間映像コンテンツの制作手法に関する研究

80833505　古山 大輔

指導教員　小木哲朗 教授

2010 年 3 月

慶應義塾大学大学院

システムデザイン・マネジメント研究科

論　　文　　要　　旨

学籍番号	80833505	氏　名	古山大輔

論　文　題　目：

ドーム環境における空間映像コンテンツの制作手法に関する研究

（内容の要旨）

近年、プラネタリウム施設の中には、デジタル化の流れを受け高精細なプロジェクターを使って臨場感のある映像空間を楽しめる場として魅力を集めている施設がある。また、機器のデジタル化は、主であった星座コンテンツ以外の映像投影環境の場としても可能性を広げている。その際、コンテンツの充実を図るため以前にも増して他のメディアとの連携が強く望まれている。しかし、プラネタリウムのような全天周空間のコンテンツ制作は、専門的な知識を要する人員や三次元 CG モデリングにおける作業負荷が大きく、有効活用されていないのが現状である。

ドーム型ディスプレイ環境では、利用者の視界はフレームレスな広視野映像によって覆い尽くされる。そのため、幾何学情報や運動視差を効果的に用いることで、裸眼状態でも高臨場感映像を体験出来る。奥行き知覚は裸眼状態で知覚できるため、3D 眼鏡を掛けないで済み観客への負担は少ない。しかし、先にも述べたが特殊なスクリーンへの映像投影は歪みが生じるため、コンテンツ制作者には歪み補正を行う技術や映像コンテンツを制作するための専門知識が必要とされる。そのため、ドーム上でのコンテンツ制作は容易でない。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特性は、現象として知られているが、それを利用した映像制作についての研究はほとんど存在しない。

本論文では、視点移動や各レイヤに動きを加えることで積極的に運動視差の効果を利用する。それにより奥行き感のある仮想空間を構築するレイヤ分割法を提案している。奥行き情報を持ったレイヤを階層的に配置し、フレームレスな全天周空間映像を構築することでコンテンツ制作を容易とする。また、レイヤ分割法は、フレームレスな広視野空間上での奥行き知覚を最大限に利用する方法でもある。そのため、本研究で提案するレイヤ分割法は、主にドーム型ディスプレイ向けの技術として、多人数向けの高臨場感映像のコンテンツ制作への映像制作手法として位置づけしている。

これまでの被験者実験の結果から、ドーム環境で単純なレイヤを直線運動させると、その物体の奥行き知覚量に違いが感じられることが分かっている。これはレイヤの大きさ、テクスチャ、背景などの変化や位置が奥行き知覚に影響を及ぼすためである。それを踏まえ、仮想空間上にレイヤを配置する際、どのようなレイヤ間隔で配置すべきか、また配置の仕方によって視聴者に与える奥行き知覚は変化するのかを明確にする必要があった。本研究では、主にレイヤの配置と奥行き知覚の関係について主眼を置き被験者実験を行った。実験を行った結果、人間が感じる奥行き知覚に対する識別は、レイヤ間の幅が狭いときに既に飽和しているということが分かった。

SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	80833505	Name	DaisukeFURUYAMA

Title

A Study on Three-Dimensional Image Contents Creation Method in The Dome Environment

Abstract

In recent years, the planetarium has been becoming a more attractive place to enjoy a realistic image space using a high-definition projector by the digitalization.

In addition, digital devices have been expanding the possibilities of the planetarium as the spatial image projection environment besides displaying only constellation contents. In that case, the planetarium is desired strongly to cooperate with other media to enrich the content than ever. However, it is difficult to produce contents on a planetarium because it requires the expert that has specialized knowledge on 3D CG for large-screen display. Therefore, the current facility has not been effectively used.

In dome display environment, the user's view is covered with the frameless wide-field image. Therefore, the user can experience with the naked using the effect of geometry information and motion parallax realistic images. Since depth sensation can be perceived in the state of the naked eye in the dome environment, it is not necessary to wear three-dimensional glasses. Also, because the audience can experience the multiplayer at the same time, it is expected as new media representation. However, based on a special projection screen for images, content creators will be required to have the expertise to produce an image contents using distortion correction technology. Therefore, the production of content on the dome environment is not easy. In addition, the characteristics of three-dimensional perception base on the effects of motion parallax geometric information in such an environment have been known, dome contents production method based on this effect has not been studied enough.

The layer dividing method for building the virtual space which has a feeling of depth is proposed. This method utilizes the motion parallax aggressively by moving each layer and a viewpoint. In this paper,

In this method by arranging a layer with depth information hierarchical flameless 360 degree space, can be produced of content easily. Moreover, the layer dividing method is a method that utilizes the user's depth sensation effectively perceived from the image frameless. Therefore, the layer dividing method proposed by this research is though to be technology to generate for dome type displays high presence image contents for a lot of people.

From the results of previous experiments, it is known that adding linear motion to a simple layer image in the dome environment, makes the perception of the depth sensation. This is because change of the size of the layer, a texture, a background, etc. and the position influences depth sensation.

Based on them, when placed on a virtual layer, layer should be placed at any distance, depth vision to give the audience by way of placement is needed also to clarify whether the change. In this research, the aim was mainly placed about the relation between the arrangement of the layers and the perception of the user's depth sensation, and the subject experiment it was conducted. From the Results of the experiment, we can see that the perceived visual sensation four the depth resolution were saturated when four or five layers were used.

目次

第 1 章　序論 1

1.1　プラネタリウムの現状 1

1.2　研究背景 2

1.3　研究目的 3

第 2 章　ドーム環境における立体感 4

2.1　実験環境 4

2.2　歪み補正処理について 6

2.3　魚眼レンズにおける歪み 7

2.4　曲面スクリーンにおける歪み 8

2.5　歪み補正アルゴリズム 9

2.6　レイヤ分割法の概要 14

2.7　これまでに行った心理実験 19

第 3 章　レイヤ分割法の評価を行うための心理実験 30

3.1　奥行き解像度の定量化実験 (ベクション) 31

3.2　奥行き解像度の定量化実験 (奥行き解像度) 34

3.3　奥行き解像度の定量化追加実験 (奥行き解像度) 39

第 4 章　課題 45

4.1　視線計測実験 45

4.2　結論 46

謝辞 49

参考文献 50

付録 A　**プログラム** 52

第 1 章

序論

プラネタリウム白書 2005 によると、近年、国内のプラネタリウム施設は、国内景気に伴う予算・経費削減、少子高齢化、科学離れなどのなかで、地域住民との連携、異分野との交流、積極的な経営手法の導入などさまざまな試み、改革を行ってきている [1]。その結果、施設における観客数の低下による閉館は減少傾向にある。また、日本科学未来館「MEGASTAR-II cosmos」、東京池袋のサンシャインシティスターライトドーム「満天」などの脚光をあびるプラネタリウム施設も登場しつつある。一方で、国内では、やや遅れがあるとは言えプラネタリウムのデジタル化は世界的に行われつつある。本論文では、プラネタリウムのこのような動向の中で新たな活性化を目指す試みの一つである。

1.1 プラネタリウムの現状

全国のプラネタリウム館の総観覧者数を推定すると、2000 年度 660 万人、2001 年度 688 万人、2002 年度 673 万人、2003 年度 680 万人であった [1]。明らかにプラネタリウム観覧者数は下げ止まっており、横ばいの傾向で推移していることが読みとれる。しかし、予算、経費面では、ほとんどが公設公営のプラネタリウムは、地方財政を圧迫する長引く不況の影響を受け、全体として予算削減の傾向にある。特に自治体が出資する財団へ運営委託されているところの予算は 2000 年度から 2003 年度までの 4 年間で 25 %の大幅な削減になっている。

一方、番組制作費、保守点検費、消耗品費、広報費、講師謝礼等のプラネタリウム運営経費は全国平均で 1400 万円であった。内訳は投影機の保守・修繕費と管理維持費が 45 %、番組

制作費が 32 %、その他が 23 %であったが、この数字は美術館、動物園、水族館等と比較して非常に少ない金額になっており、少ない予算で頑張っているプラネタリウム界の実態が垣間見える。

プラネタリウム業界としては本体投影機を含め、デジタル化の進んでいる今日的な対応が遅れていると言える。プラネタリウム白書の著者らが実施したアンケートしたプラネタリウム担当職員によると、その職名及び雇用形態は多岐にわたっており、位置づけや地位が定まっていない。これは、プラネタリウム担当者は専門の職種として専門性を持った人が配属されることが望ましいが、現実はそうではないことを示している。このことはプラネタリウムのクオリティ維持に課題を与える。もっと足繁く通ってもらうには、それぞれのプラネタリウムがもっと個性を出し、差別化し、独自性を出し、あそこのプラネタリウムではこういう面白いものが見られる、こちらのプラネタリウムでは別の形の面白い投影が見られるというようにした方がよいと言われている。

1.2　研究背景

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、プラネタリウムのような全天周のドーム型ディスプレイの場合、立体眼鏡のような特別な装置を利用することなく、裸眼状態で立体感を感じられることが分かってきた。それは、一般的な四角形のディスプレイと違い、フレームがなく、スクリーン形状が三次元形状であり視野全体を映像で覆うことが出来ることから、素直に映像の世界に没入することが出来るためである。このような環境では、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出来ることが知られている。しかし、その効果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おらず、どのような絵作りをすればドームディスプレイ特有の立体感を生み出せるのかについての詳細は分かっていない。現在、この手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。

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り、星座以外の映像コンテンツを提示する施設も増えてきている。プラネタリウムでは全天周映像の提示が出来るだけでなく、裸眼状態で多人数が同時に高臨場感映像を体験することが可能な

ため、新しいメディア表現の媒体としても期待されている。その反面、プラネタリウムのコンテンツは星空映像が主であるため、長期間同一のコンテンツを上映しなければならない。コンテンツの 50 パーセント以上の上映期間は 2 ～ 3 ヶ月となっている。これにより、リピータ客の減少という問題が生じる。また、CG で全天周空間をモデリングするには熟練の技術と膨大な時間を要する。そのため、コンテンツを制作が容易に行える状態には至っていない。外部にコンテンツ制作を委託するにしても、そのコストは高く、それも影響して上映期間は必然的に長くなってしまう。この悪循環こそがコンテンツ制作を難しくしている要因に繋がっている。プラネタリウムの利用向上のためにも、誰もが手軽にコンテンツ制作を出来るような環境の整備が求められている。

1.3 研究目的

本研究の目的は、広視野曲面ディスプレイでの被験者実験の積み重ねにより、ドームディスプレイ環境における人間の知覚特性を調べ、それを積極的に利用した映像表現手法を体系化にある。事前にドームディスプレイ特有の表現手法の体系があれば、コンテンツ制作の経験が少ないユーザーでも制作は円滑に行えるはずである。また、本研究では、それらを容易とするための映像表現手法も提案する。本研究で提案するレイヤ分割法とは、実画像、実動画を組み合わせ、仮想空間を構築するというイメージベースの生成手法であり、この手法を用いることで CG モデリングのような特殊技能を持たなくともコンテンツ生成が容易に行える。これによって、コンテンツ制作の円滑化、コンテンツの充足を図ることで、プラネタリウムの利用率向上を期待している。

第 2 章

ドーム環境における立体感

プラネタリウムのようなドーム型ディスプレイに映像を投影する場合、観測者は両眼視差や運動視差による奥行き知覚が出来ないため、映像の奥行き幅は非常に曖昧なものとなる。しかし、そのような奥行きを推測する手がかりが極端に少ない環境においても、観測者は映像中のなんらかの情報を手がかりにして奥行きを知覚することが出来る。

2.1 実験環境

ドーム型ディスプレイ環境では、利用者の視野全体がフレームレスな大画面映像によって覆われるため、立体視眼鏡を使用しなくても、奥行き感のある空間映像表現を行うことが可能である。

2.1.1 北とぴあプラネタリウム

ドーム型ディスプレイ環境で実験を行うため、東京都北区王子にある北とぴあのプラネタリウムを借りて実験を行った。北とぴあのプラネタリウムは直径 18 メートル、傾斜角 20 度の傾斜型ドームである。傾斜型ドームとは、おわん型のドームスクリーンが水平から 5 ～ 30 度ほど傾いた状態で固定されているドームのことをいう。座席は一方向に向けて階段状に配置されている (図 2.1)。この座席配置は、視聴者がどの座席に座ったとしてもプラネタリウムの投影像を見やすくするという利点がある。ドームスクリーンへの投影は魚眼プロジェクタによって行った。プロジェクタには、NEC の NP2000J を使用し、プロジェクタ前方に RAYNOX

の全周魚眼レンズ DCR-CF185PRO を設置することにより魚眼プロジェクタとして機能させている。NP2000J は 4000 ルーメンの高輝度プロジェクタであり、プラネタリウムのような広い空間にも高精細映像を投影することが可能である。DCR-CF185PRO の魚眼レンズは全方向 185. の全周魚眼であり、NP2000J と DCR-CF185PRO を組み合わせることで超広角映像の投影が可能となる。一般的なドームディスプレイは、複数のプロジェクタを使用している。国立科学博物館のシアター 360 では、12 台のプロジェクタを使用している。複数台のプロジェクタ映像の投影により、映像の重なり領域を作って投影を行い、重なり領域にはエッジブレンディング処理を施して欽一かした巨大ドーム映像空間を実現している。それに対して、今回の実験では、実験環境として上述のプラネタリウム施設北とぴあでプロジェクタ一台のみを用いて投影環境を構築 4 第 2 章ドーム環境における立体感している。その理由としては、機材搬入、映像の歪み補正などの実験環境設定を短時間で行わなければならなかったためである。映像を生成するための計算機は、LinuxPC(OS:ubuntu8.04、CPU：Intel Centrino vPro、Graphics card：NVIDIA NVS420) を使用した。

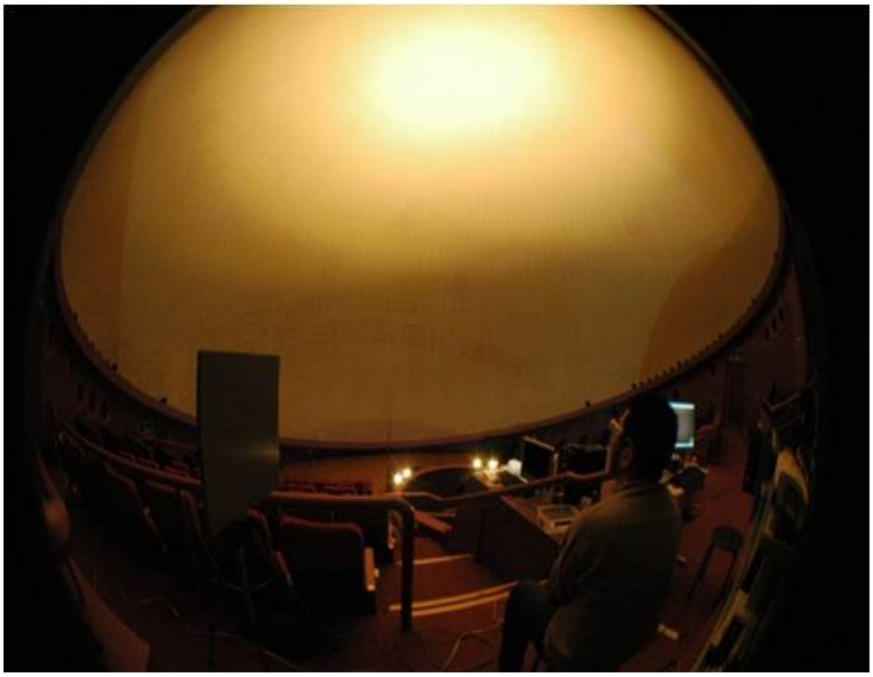

図 2.1. 北とぴあのプラネタリウム施設

2.1.2　慶應高等学校のプラネタリウム施設

本研究では新たに慶應高等学校のプラネタリウム施設を利用した (図 2.2)。環境構築の手順は従来の歪み補正処理を加える手順と変わらない。

図 2.2. 慶應高等学校のプラネタリウム施設

2.2　歪み補正処理について

全周魚眼プロジェクタを使用した投影方法を用いると、全周魚眼レンズと曲面スクリーンに歪みが生じてしまう。そのため、歪み補正処理は本実験環境を構築する際に重要な位置づけとなっている。今回使用する魚眼レンズは全方向 185. の全周魚眼であるため、、周辺部分は投影面に収まりきらない映像となってしまう。映像に掛かる歪みは、中心付近では圧縮された映像となり、周辺付近では伸縮された映像になる。つまり、中心映像と周辺映像とでは解像度が異なる。また、歪みが大きいと歪み補正処理を施すことは出来ないため、周辺映像の歪み補正を加えることが出来なかった。本章では、全周魚眼レンズ歪み、曲面スクリーン歪みについて説明した後、それらを同時に打ち消して補正を掛ける歪み補正アルゴリズムについて説明する。

2.3　魚眼レンズにおける歪み

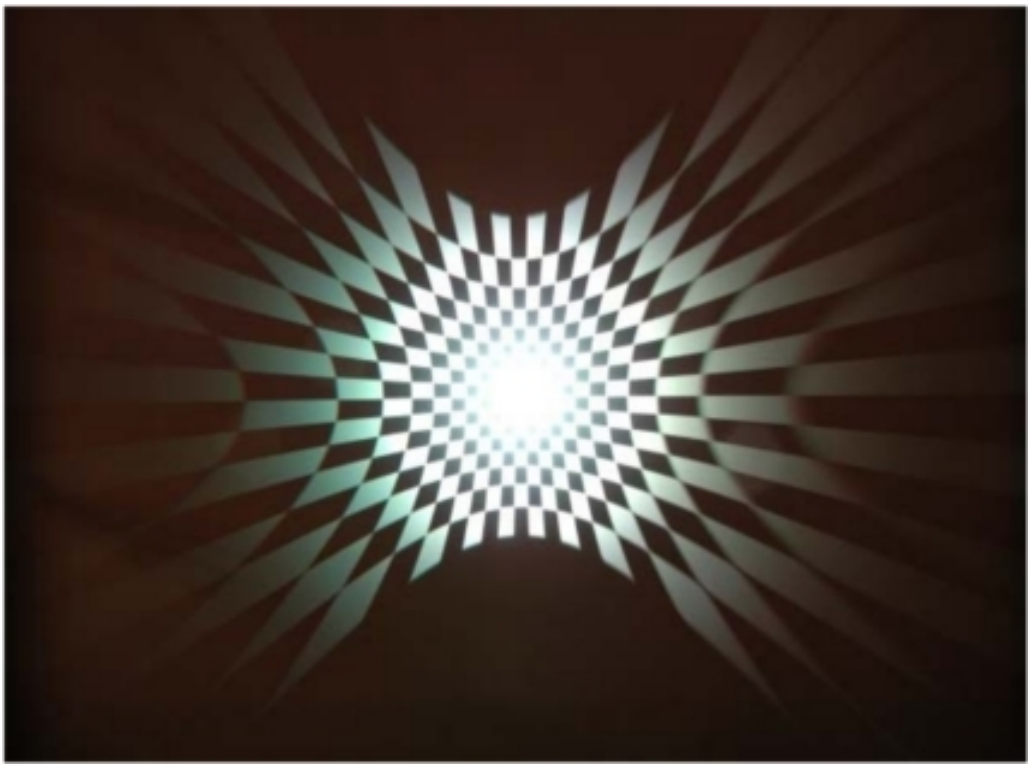

図 2.3. 全周魚眼レンズにおける歪み

魚眼レンズによる歪みは、プロジェクタと魚眼レンズの相対的な位置関係によってのみ決まる歪みであり、視点位置の影響を受けない。そのため、歪みの係数 (歪みパラメータ) は一意に決めることができるので、そのパラメータを事前に求めて置けば良いことになる。映像の歪み補正として、カメラキャリブレーションに関する研究が数多く行われている。[3] では、マルチプロジェクション方式により平面に投影した際の歪みを対象としているのだが、魚眼歪みに対してもカメラキャリブレーションは有効である。そこで、チェックボードパターンを使用するカメラキャリブレーションによって歪み補正を行うことにした。また、魚眼レンズ歪みの一例を図 2.3 に示す。

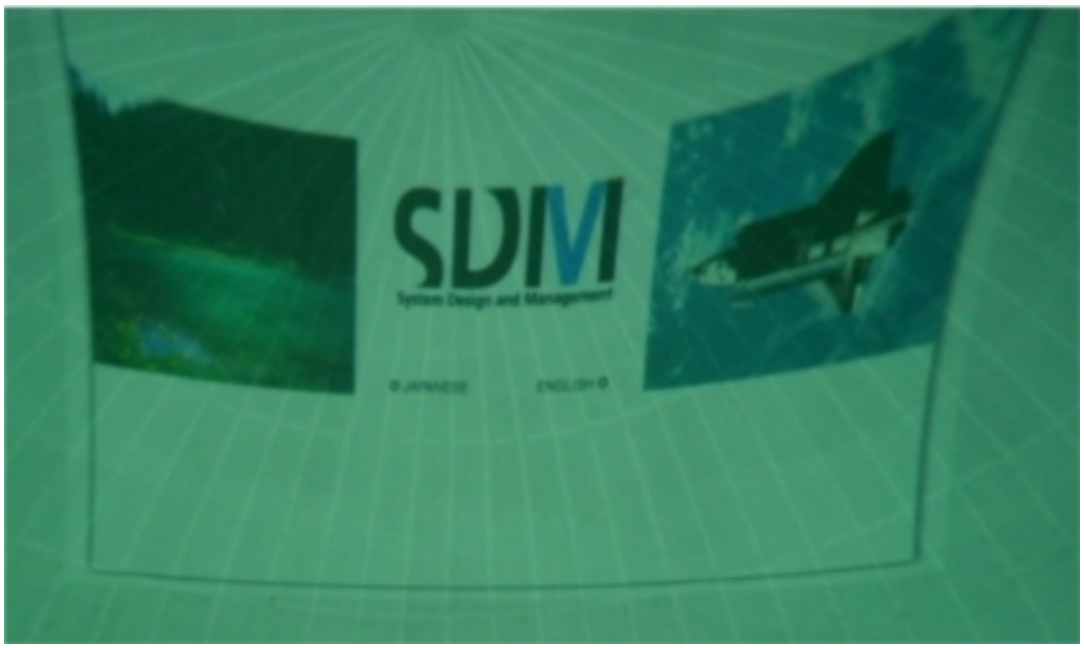

図 2.4. 曲面スクリーンにおける歪み

2.4　曲面スクリーンにおける歪み

魚眼歪みとは異なり、曲面歪みは視点位置と曲面スクリーンとの相対的な位置関係によって歪みパラメータが決まる。図 2.4 は、曲面スクリーンにおける歪みの一例である。動的に視点位置が変わる本システムでは、実時間で視点位置にあわせた補正パラメータを求め、補正を行う必要がある関連研究において、自由曲面への投影を考慮した歪み補正技術は研究されており，曲面のような任意の形状への映像投影手法も提案されている。[6][7] では、PC 内での画像の非線形な変形やプロジェクタ内蔵の微調整機能などを用いて、曲面での投影歪み補正を行っているが、正しい映像が観察できる視点位置は、例えば、スクリーン正面中央といった一点に限られる。従って、この方法では視点移動による運動視が実現できない。Fuch ら [8] は，凹凸のある壁に遠隔地の映像を投影する際に、2 重レンダリングを行うことで投射画像に歪みのキャンセルを施す手法を用いており、これは視点移動にも対応した歪み補正である。[9] で行われている双対レンダリングも基本点な原理は 2 重レンダリングと非常に似ている。ＰＣでレンダリングされる仮想空間と観客が存在する実空間とで、スクリーンの形状・観客の視点位置・プロジェクタの位置関係が正確に対応している場合、プロジェクタによる投影 ($2D!3D$)

と視点から見える映像 ($2D!3D$) とが逆の意味 (双対性) を持つことになり、その性質を利用して歪み補正を行っている。

2.5 歪み補正アルゴリズム

本研究では、魚眼歪みと曲面歪みを同時に補正するアルゴリズムを用いている。二つの歪みを補正する概念図を図 2.5 に示す。この時、二つの歪みを同時に補正する利点は二つ挙げられ

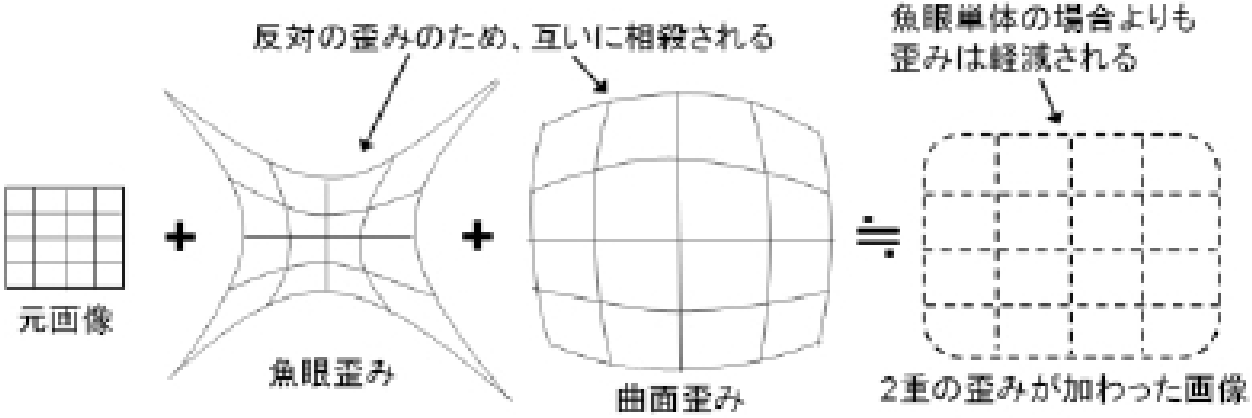

図 2.5. 本研究における歪み補正の概念図

る。一つ目に、スクリーン端部分が観客側に湾曲しているため、平面スクリーンに投影した際のような周辺部分の映像が発散することなく、必ず結像させることができることである。また、スクリーンが湾曲のおかげで、プロジェクタから映像の中心映像と周辺映像の結像面までの距離が均一になり易く、歪み補正の精度は上がる。二つ目に、魚眼レンズで加わる歪みは中心映像が圧縮され、周辺部分は伸縮される。それに対し、曲面スクリーンに加わる歪みは、その逆となる。そのため、両歪みを一度に処理することは、歪みの差分をとることになり別々で歪み補正を施すよりも歪みの軽減が期待できる。また、本実験では歪み補正処理を加えるため用意したカメラの撮影画角よりもプロジェクタの投影画角が大きいため、スクリーンの投影された映像を部分的に撮影することしかできなかった。[11] では、複数のプロジェクタを使用した巨大な映像の歪み補正を行うために、複数のカメラを使用して高解像度の映像を撮影し、それらを合成することで歪み補正を行っている。本研究では、投影された映像は水平方向が約 133.、垂直方向が約 100. の広角映像となるため、[11] と同じ撮影方法を行うとカメラの台数

は多くなってしまう。そのため、撮影方法は [11] と異なる。他の撮影方法として、水平方向、垂直方向を制御できる三脚にカメラを設置し、カメラのアングルを自動制御して複数枚の映像を取得するという撮影方法もある [12]。本研究の撮影方法は、それらと異なり撮影されたスクリーン映像を部分的に撮影し、全画像をスティッチングによりパノラマ写真にすることで、歪みパラメータを求めることにした。スティッチングとは、各画像間での同一の特徴点を調べていき、その特徴点に合わせて各画像を繋いでいく処理のことをいう。画像のパノラマ化には autopano.shift[13]、hugin[14]、enblend[15] というフリーの画像処理ソフトを使用して行った。パノラマ画像を作成する流れは、次のようになる。

[1]autopano.shift に撮影した画像を取り込み、パノラマ画像合成用の結像点認識に用いられる特徴点 (コントロールポイント) を検出する。

[2]hugin を使用し、検出されたコントロールポイントの位置調整を手動で行う。これにより、各画像が適切な位置で結像されるようにしている。

[3][3]hugin を使用し、画像をつなぎ合わせる。その際、投影法の選択肢として、心射方位、心射円筒、正距円筒という 3 つの投影法がある。今回の実験は、湾曲面に対して仮想的な平面をつくりだすことを想定している。そのため、投影法として、球体の中心に光源を置いて平面に投影する心射方位が適切な投影法と判断した。また、心射方位では半球以上画角を投影できないという制約があるが、投影された画角は水平方向約 133. であり問題はない。図 2.6 に、心射方位投影の原理を示した。

[4] つなぎ合わされた画像を、enblend を使用して任意の画像データとして保存する。この時、後の処理を考慮して JPEG 形式で保存する。このような流れで高解像度のパノラマ画像を作成している。歪み補正用の画像には、コントロールポイント抽出を行ない易くするためにチェックボードパターンの画像を使用している。図 2.7 は実際に歪み補正用に使用したチェックボードパターン画像である。

この画像は縦 23、横 31 でマスを区切り、各マスには単純は模様を配置している。また、実際のプラネタリウムで投影したパノラマ画像作成用の部分画像は図 2.8 となっている。パノラ

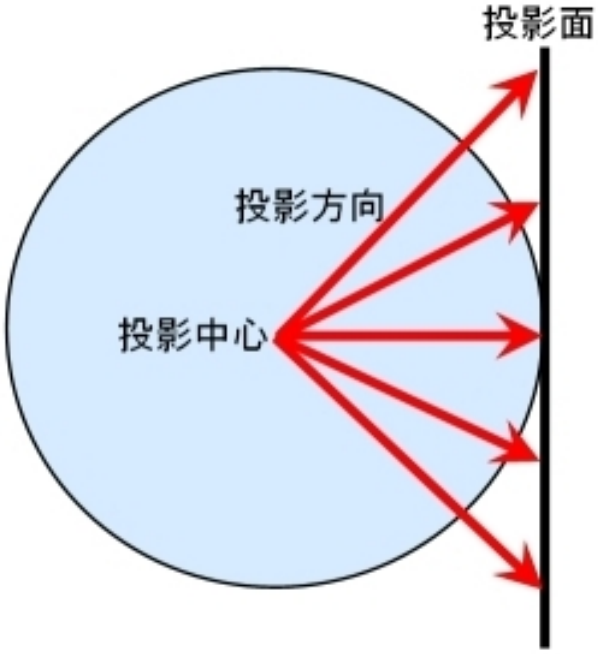

図 2.6. 心射方位投影の原理

マ画像を作成する際、各画像を一枚の画像として結像する。投影したチェッカボードパターンをパノラマ化した画像が 2.9 である。

パノラマ化した画像を縦 768、横 1024 の解像度で保存して、歪み補正プログラムで補正値を求める。歪み補正の簡単な流れを表したものが 2.10 である。

投影したチェックパターンのコーナー座標を求め、その座評点を均等な間隔になるように移動させる変換行列 R を求める。このとき、立方体内のピクセルは線形的に変換される。このようにして得られる補正 R を投影前の元画像に適用し、魚眼プロジェクタから投射されることで、補正された映像を見ることができる。歪み補正アルゴリズムの流れは以下のようになる。

[1] 画像内におけるチェックボード画像のコーナー座標を求める (図 2.11)。コーナー座標の検出には、OpenCV ライブラリを使用したサブピクセル精度の検出を行う。誤って検出したポイントや検出の見落としなどの修正を加えることができる仕様になっている。

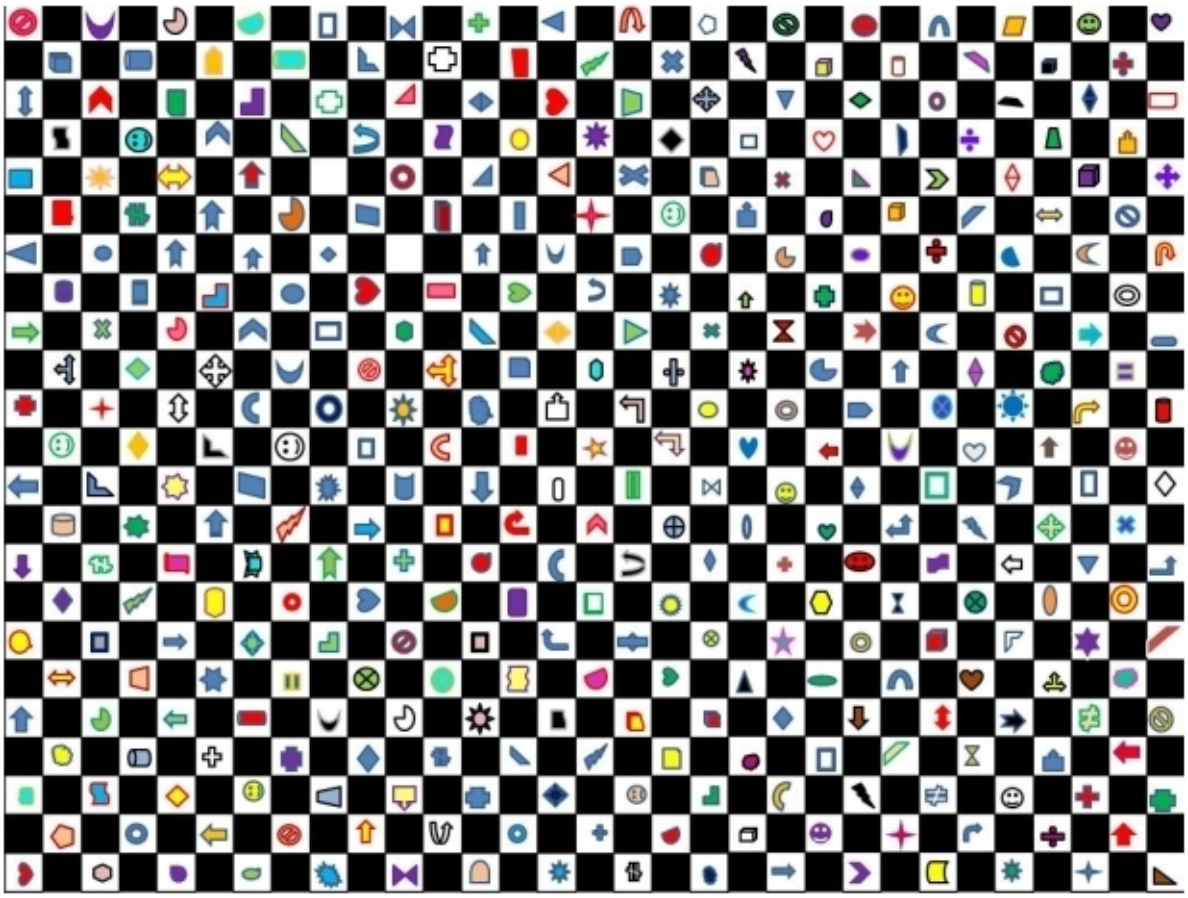

図 2.7. チェックボードパターン画像

[2] 求められたコーナーに行番号とれ列番号を割り当てていく。点群に列番号を割り当てたものが図 2.12、行番号を割り当てたものが図 2.13 である。

[3] コーナーの点群に対してドロネー分割を行うことにより画像の特徴点を重なりのない三角形パッチで分ける。ドロネー分割とは、与えられた点群から重なりのない三角形の集合を生成する分割手法である。図 2.14 は検出した特徴点に対してドロネー分割を適応した画像である。

[4] 三角形分割を行った画像に歪んだ画像をテキスチャマッピングを行い図 2.15 のような映像を生成する。コーナーの座標は既に検出しているため、それをテキスチャマッピングに使用する座標にする。

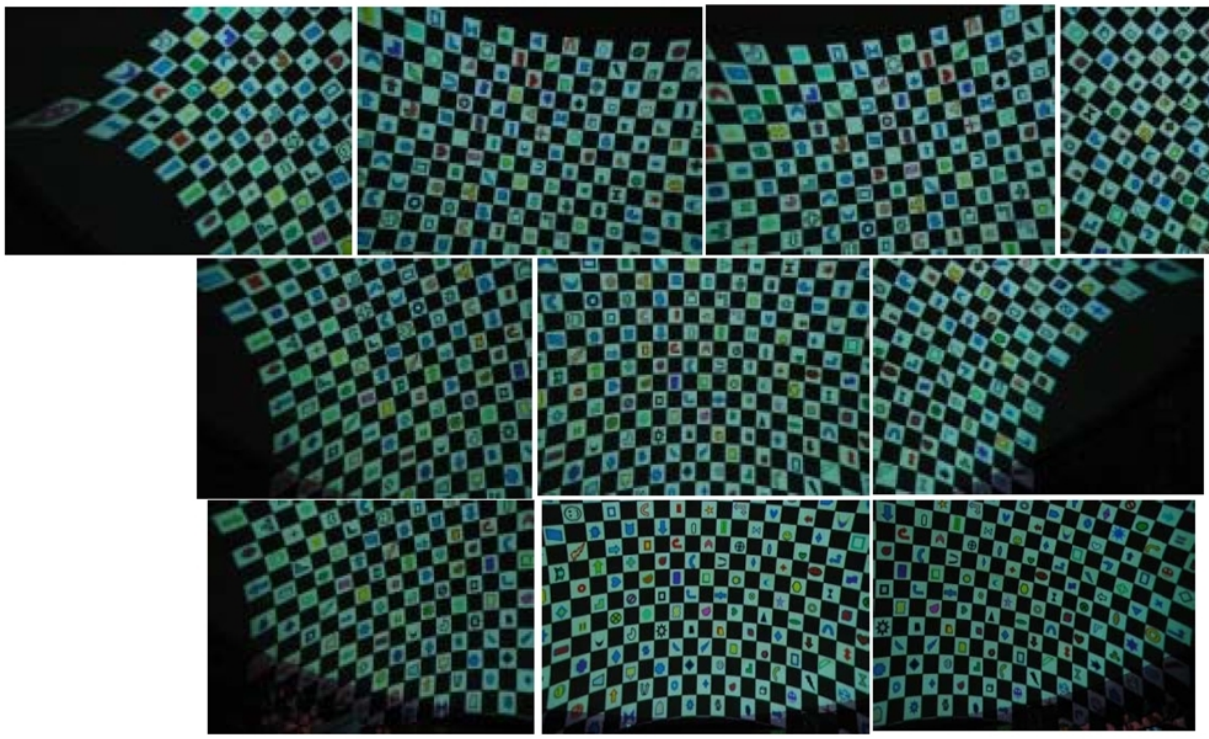

図 2.8. パノラマ画像のための部分画像

[5] 各コーナーの列と行番号は事前に求めているので、コーナーが等間隔で並ぶように列と行の番号に応じた座標変換を行う。チェックボード画像の特徴点が均一に配置されるよう変形させたものが?? である。この座標変換が魚眼と曲面歪みの逆歪みであり、この変換が変換行列 R を乗じたものにあたる。

[6] 求められた補正変換 R を画像に適用し、投影することでカメラの位置からは歪みのない映像を見ることが可能である。2.17 はチェックボード画像に補正変換 R を乗じたものとなる。また、2.17 は補正した画像をプロジェクタから投影したものである。以上の流れの処理を毎フレーム行うことで、歪みのない映像を実現している。しかし、仮想空間を一度テクスチャとしてから投影しているため、テクスチャマッピングを行わない場合よりも解像度が低下してしまう。本研究では、この処理を歪み補正処理として位置づけている。

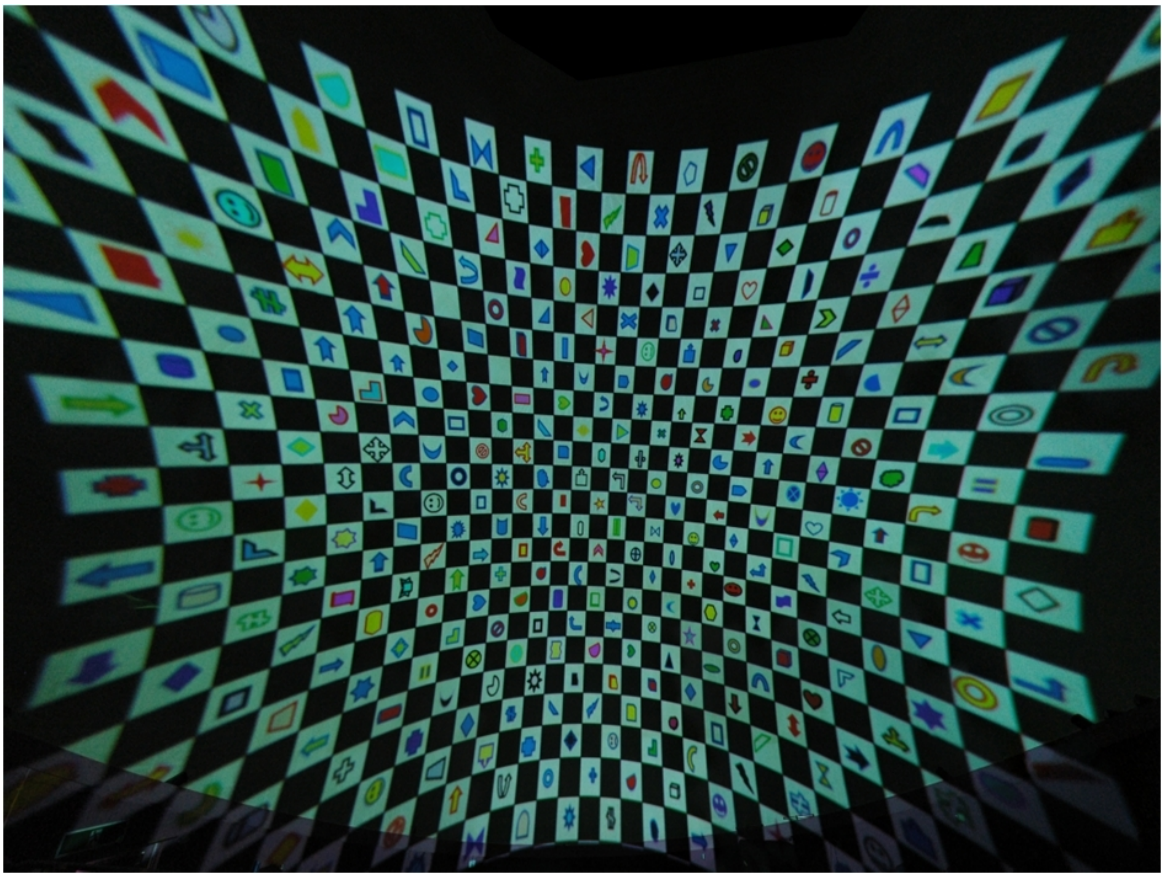

図 2.9. 部分画像から作成したパノラマ画像

2.6　レイヤ分割法の概要

ドームディスプレイ環境では、利用者の視界全体がフレームレスな高精細映像によって覆われるため、立体メガネのような特殊な装置を利用することなく没入感を感じることが可能である。被験者実験の結果から、板や動画を貼り付けたレイヤ単体でも、動きを加えることで、その物体に奥行きを感じられることがわかった。また、セルアニメーションにおいて、画像やテキストなどを独立したレイヤとして描き、それらを重ね合わせて奥行き感を表現する方法は昔から行われてきた。アニメーション (映像に視差がない) において有効であるレイヤ手法は、裸眼映像であるドームディスプレイにおいても有効であると考えられる。そこで、本章では、レイヤ (板) のみを使用することによって、仮想空間を構築するレイヤ分割法を提案する。レイヤ分割法とは、カメラで撮影した実画像、実動画をレイヤ化し、それを 3 次元空間に配置することで、イメージベースの仮想空間を構築する手法である。以下では容易にコンテンツの制

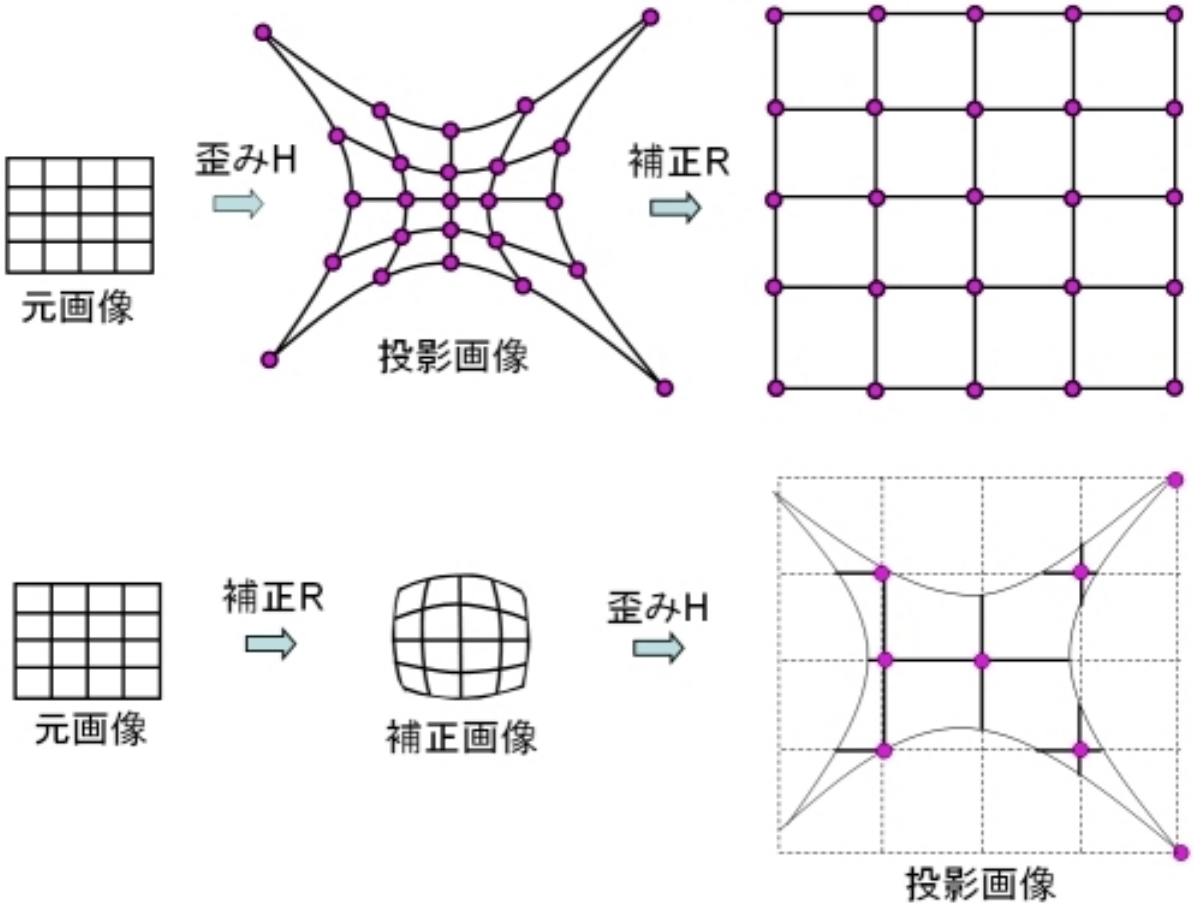

図 2.10. 歪み補正の流れ

作を可能にするレイヤ分割法とそれによって作られたコンテンツの評価実験について述べる。

2.6.1 レイヤ分割法の概要

レイヤ分割法とは、実画像、実動画をレイヤ化して 3 次元空間に配置し、各レイヤの動きやカメラワークにより、積極的に運動視差の効果を利用し、奥行き感のある映像表現を行う映像表現技法である。図 2.19 はレイヤ分割法の概要を表したものである。

奥行き情報を持ったレイヤを何層も重ねて配置することにより、複雑な奥行き表現も可能である。また、全天周空間をレイヤで埋め尽くすことにより、広視野角の映像に拡張することも可能なためドーム環境のコンテンツ作りに適している図 (2.20)。

本手法の強みは画像 (動画) であればどのような物体でも登場させられるということである。ＣＧでモデリングする必要はないため、短時間でコンテンツの制作が行え、3 次元形状の計測

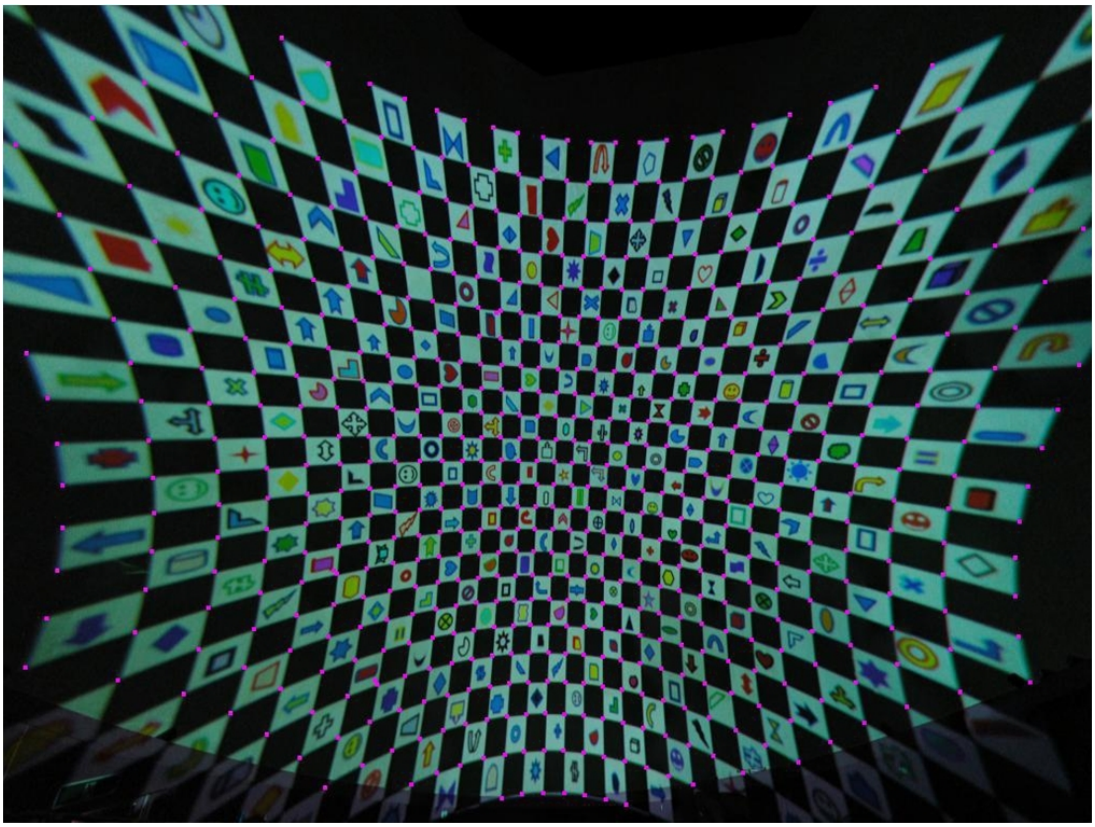

図 2.11. 編集中のチェックボードパターンのコーナー画像

できないアニメや漫画などのキャラクタも自由に登場させることができる。HMD を利用したＣＧと模型を合成するという研究 [15] が行われているが、本研究では模型だけに限定されず、実物体でも仮想物体でも画像化が可能な物体であれば、すべて組み合わせることができるのが最大の利点である。

2.6.2　レイヤ分割法における映像生成の流れ

レイヤ表現による映像生成の流れは以下のようになる。

[1] コンテンツ生成用の画像、動画を用意する。コンテンツ生成用の画像、動画には、ネット上の画像や、個人で撮影した画像を使用する。

[2] 用意した画像、動画から物体のみを抽出する。物体部分の抽出には、あらかじめ撮影しておいた背景画像と撮影画像を比較することにより物体を抽出する背景差分法や、青

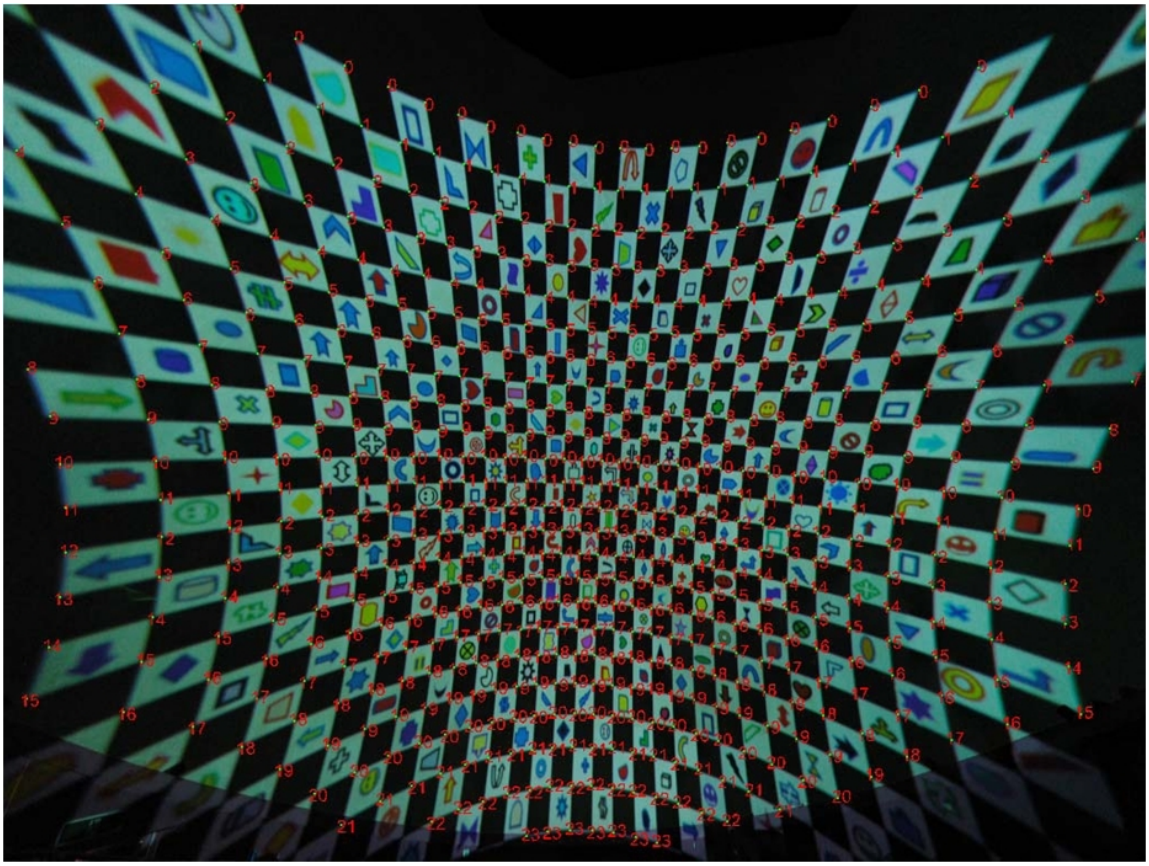

図 2.12. コーナーに列番号を割り当てた画像

色（緑色）背景を用いて撮影し、青色（緑）を背景として切り抜くブルーバック（グリーンバック）などを使用する。背景が存在しない画像に対しては、Photoshop(Adobe 社製) もしくは、GIMP 等の画像編集ソフトを使用して物体のみを抽出する。図 4-3 は背景差分された人物である。

[3] 全天周の背景画像を背景レイヤ (立方体 or 球体) にマッピングする。全天周の背景画像の生成には autopano-sift、hugin、enblend のようなパノラマ写真生成ツールを使用するか、CG でモデリングした空間をキャプチャする等の方法がある。背景に床面、天井等を配置することで、与える印象が変化する。図 2.21 は全天周背景をマッピングした映像である。

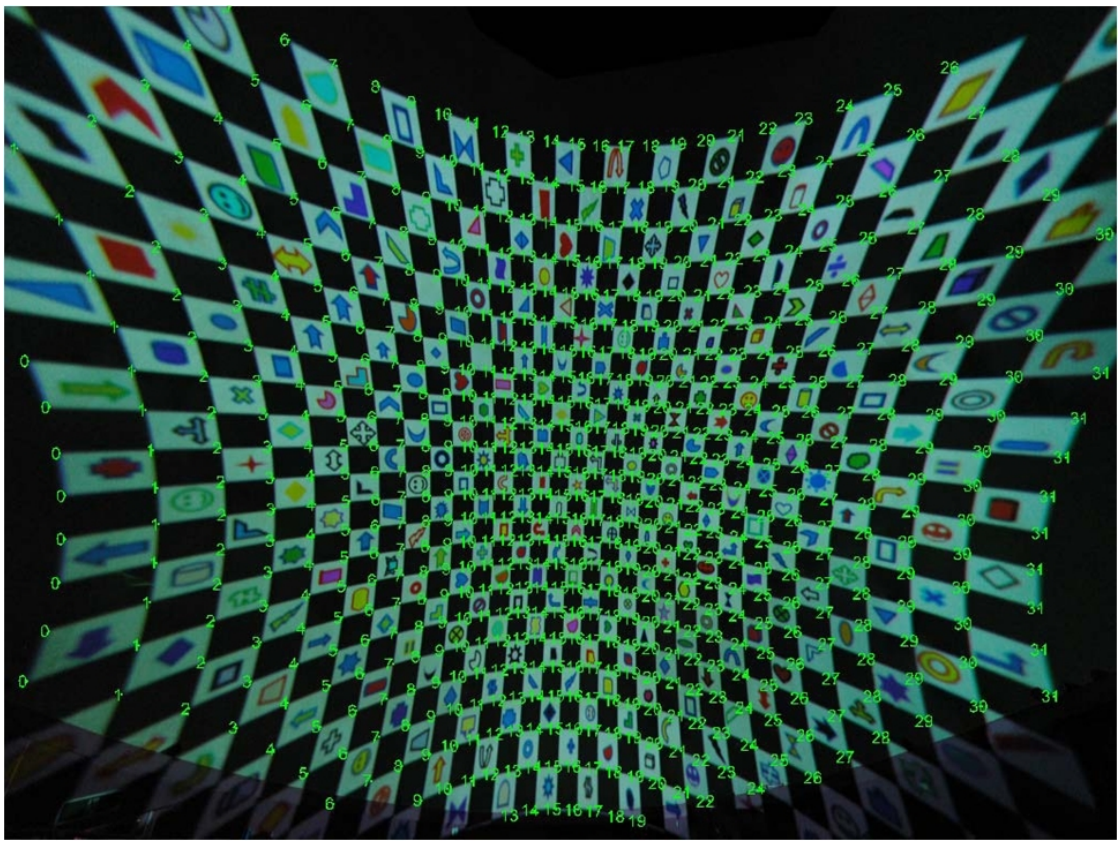

図 2.13. コーナーに行番号を割り当てた画像

[4] 全天周仮想空間にレイヤ化されたオブジェクトを配置する (図 2.22)。各レイヤのアニメーション、カメラワークはキーフレーム法により設定する。レイヤ、カメラワークの主要な変化点の座標、時間を指定し、キーフレーム間の映像を線形もしくは非線形に変化させることにより、レイヤに動きを与える。

[5] 映像効果（陰、フォグ等）を加え、仮想世界の空気感を表現する。コンテンツに使用されるレイヤ画像は撮影環境が異なる場合が多いのだが、このような映像効果をうまく利用することにより、全体の一体感を出すことができ、違和感のない仮想空間を構築することができる。

[6] 仮想カメラから見える映像をレンダリングする。以上のような方法により生成された仮想空間が図 2.23 である。この仮想空間には 40 枚程度のレイヤが使用されているの

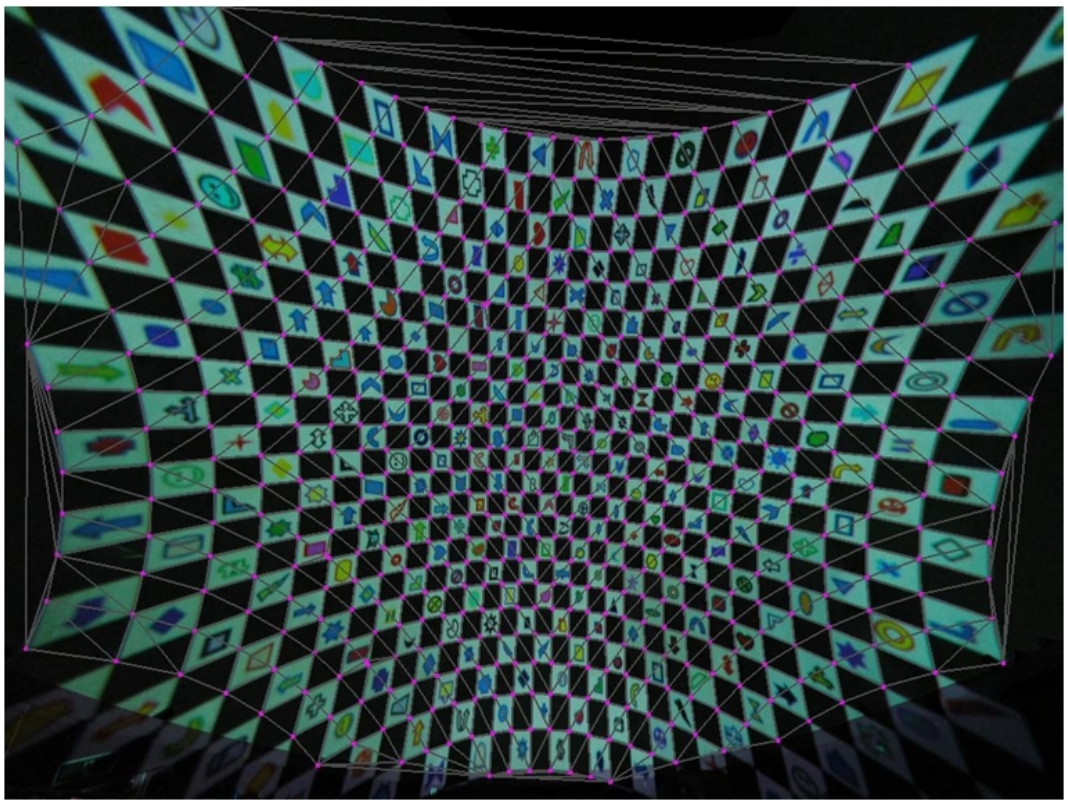

図 2.14. 検出した特徴点に対してドロネー分割した画像

だが、この程度のコンテンツであれば、画像の撮影も含めて 3 日程で作ることができる。この手法を使えば、熟練したモデリング技術を持たないユーザでも短時間で効果的なコンテンツ制作を行うことが可能である。

2.7　これまでに行った心理実験

この章ではこれまでに行われた実験、得られた知見について述べる。

2.7.1　奥行き感の定量化実験

ドームディスプレイに横移動するレイヤを提示し、観測者がどのような奥行きに物体を知覚するかを被験者実験によって調べた。ドーム環境では単眼投影しか行えないため、本実験では実物体をスクリーンの前に設置し、その物体の奥行きを 100 として、マグニチュード推定法

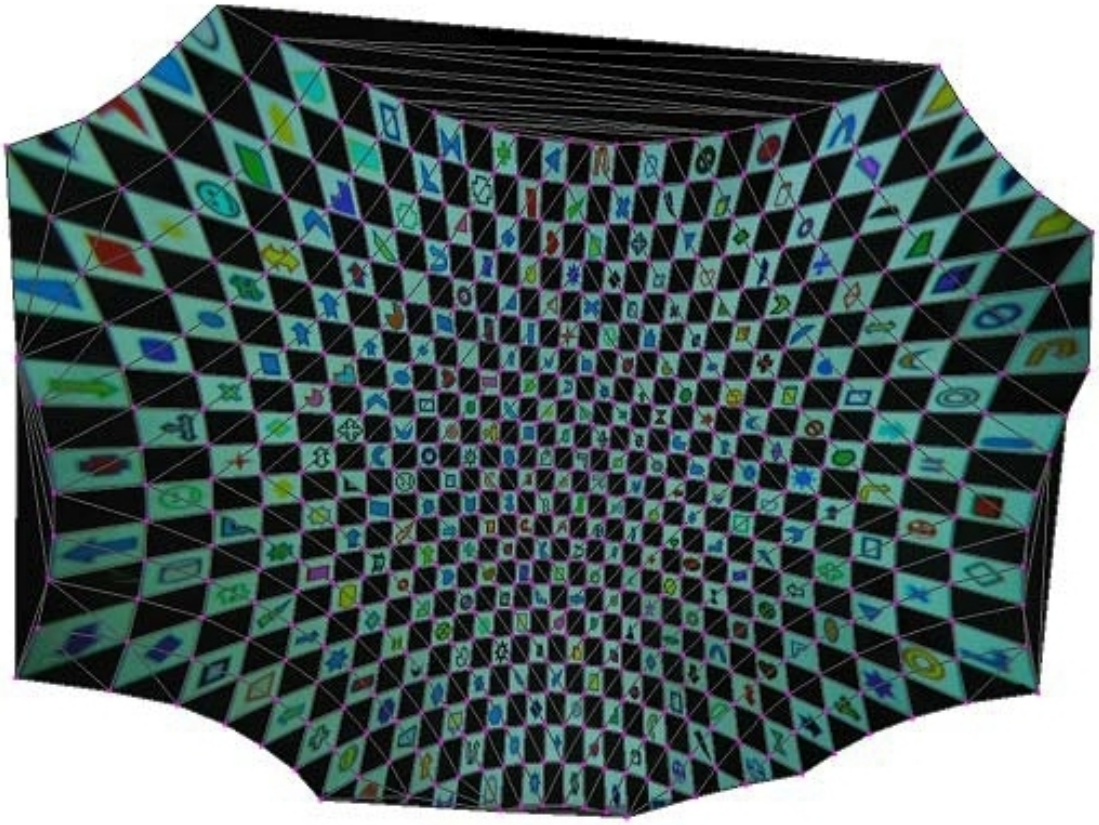

図 2.15. メッシュ画像に歪んだ画像をテキスチャマッピングした画像

を用いて奥行きの感覚量を数値化した。実験環境には北とぴあのプラネタリウム施設を利用した。

実験方法

この実験では実物体をスクリーンの前に設置し、その物体の奥行きを 100 としてマグニチュード推定法により数値化した。マグニチュード推定法とは、標準刺激と比較刺激を決め、標準刺激に対する比較刺激の比較量を記入してもらうという点数づけの仕方を行っている。この実験では、2.7m の棒をプラネタリウムのスクリーン正面部分に実際に設置して標準刺激としている。自分から棒までの奥行きを 100 として、比較刺激の奥行きを判断してもらった。標準刺激よりも手前に感じれば 100 より小さい数字、標準刺激より奥に感じれば 100 より大きくなる。標準刺激を見ている被験者の様子を表したものが 2.24 である。

実験の比較刺激は、2.25 のような映像を投影した。今回は合計 36 パターンの比較刺激を見

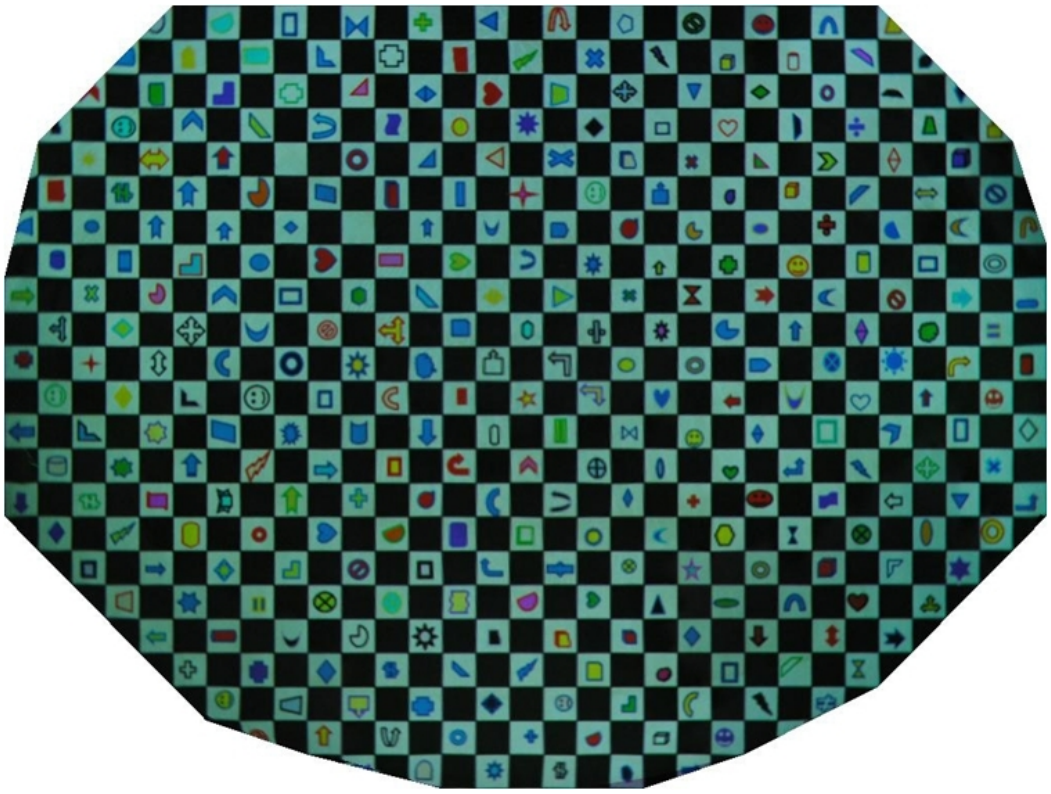

図 2.16. メッシュ構造が等間隔に並ぶように変換した画像

てもらった。

マグニチュード推定法はデータのばらつきが発生しやすいため、すべての比較刺激を 6 回ずつみてもらい、その平均値を被験者の感じている奥行きとして用いた。36 パターンの映像は乱数によってランダム順で提示される。被験者は大学生 11 名とし、最大 5 人まで同時に実験を行った。観測位置は 2.26 に示すように、中心に近く歪みの少ない位置から観測してもらった。

36 種類の比較刺激の組み合わせについては、4 つの要因 (四角形もしくは人、大きさ、背景、カメラ視点移動あるいはカメラ視点固定) について検討した。提示映像として四角形と人間を用いているのだが、これは網膜上の大きさから奥行きを推定することができるもの (人) とそうでないもの (四角形) とを比較するためである。四角形は白色の単純な板であり、人は歩行している動画から人間部分のみを切り出したものを、板にマッピングしたものである。その物体を 3 通りの大きさで提示しており、仮想空間における物体の大きさは小：1.0×1.0、中：2.0×2.0、大：3.0×3.0 とした (2.27)。実際にスクリーンに投影された映像の大きさを表し

図 2.17. 歪み補正をチェックボードパターンに適用した画像

たものが 2.28 であり、横移動の際の表示領域を表したものが 2.29 である。

横移動する物体は床面から $2.7m$ の高さを移動しており、標準刺激と比較刺激とが重ならないようにしてある。このようにしているのは、映像 (比較映像) と実物体 (標準刺激) との間にオクルージョンが発生してしまうとどうしても実物体のほうが手前にみえてしまうためである。背景に関しても、(なし、床面、天井) の 3 通りを用意した。このようにしたのは、ドームスクリーンには物理的な床面が存在しないことと、頭上に映像を投影できることから、床面や天井が存在する場合にどのような効果があるかを調べるためである。

カメラ視点固定あるいはカメラ視点移動というのは、仮想空間上で横移動する物体を止まって眺めるか、移動しながら眺めるかの違いである。カメラ視点が固定されている場合、ディスプレイ上の右端から左端までを物体が移動し、カメラ視点が移動する場合、見かけの物体の位置は止まって見える。仮想空間における比較刺激の横移動は右側から左側、左側から右側という往復運動となっており、それが往復 14 秒で行われるように設定してある。映像の提示時間が 14 秒なのは、画面の端から端まで人間が違和感なく歩行する速さにするためである。以上

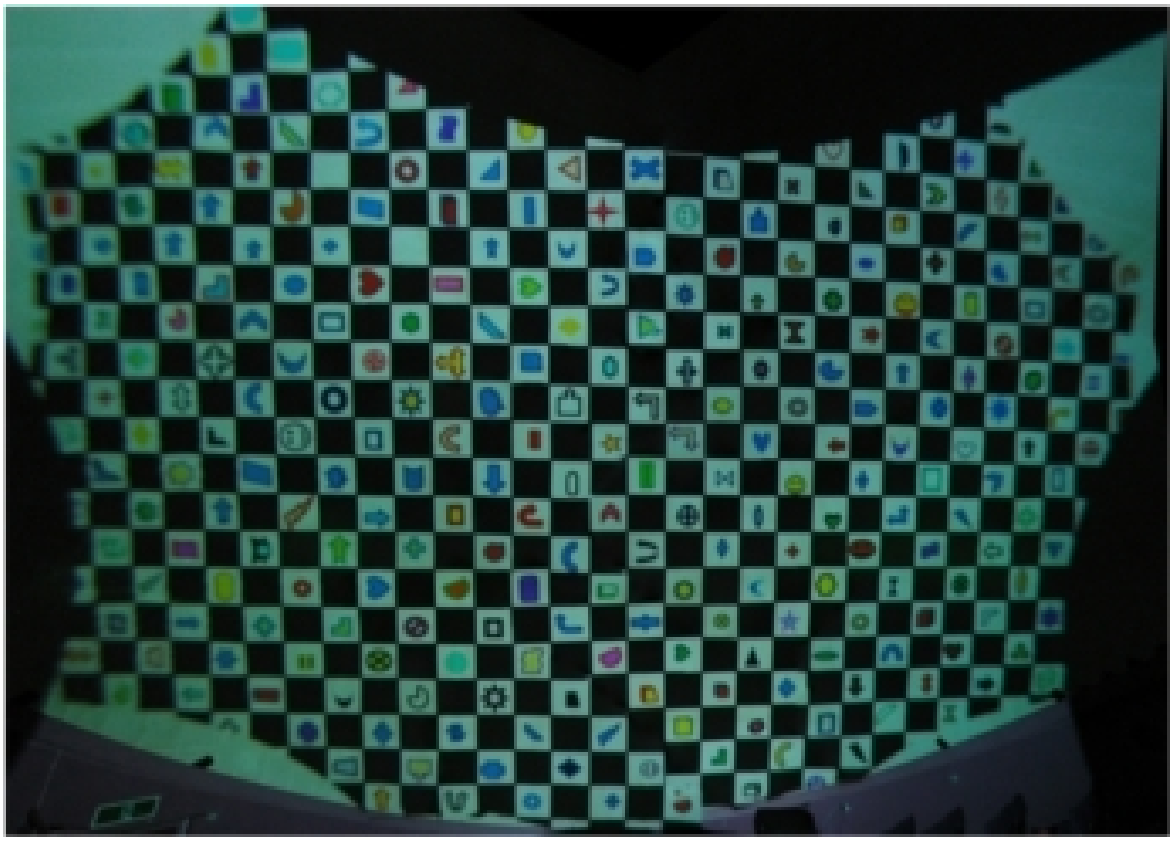

図 2.18. 歪み補正処理を掛けて実際に投影した画像

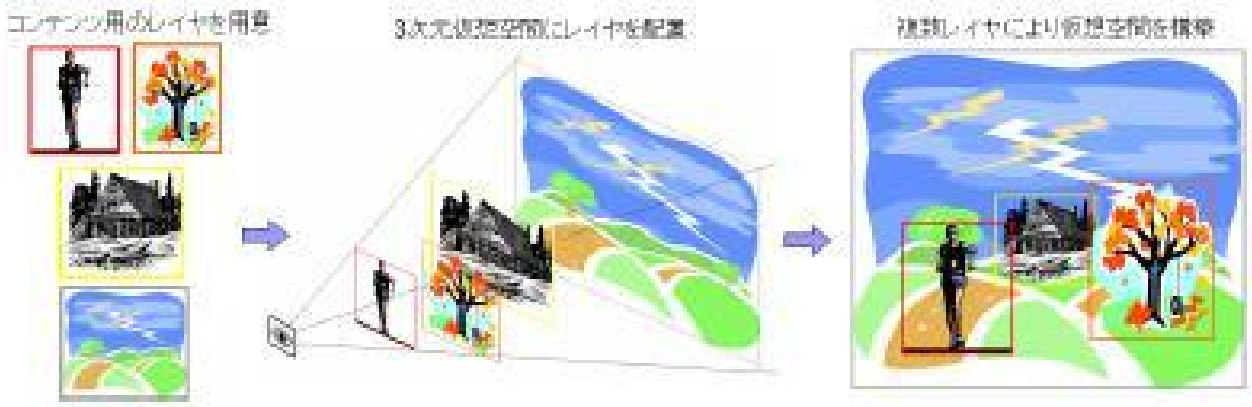

図 2.19. レイヤ分割法の概要

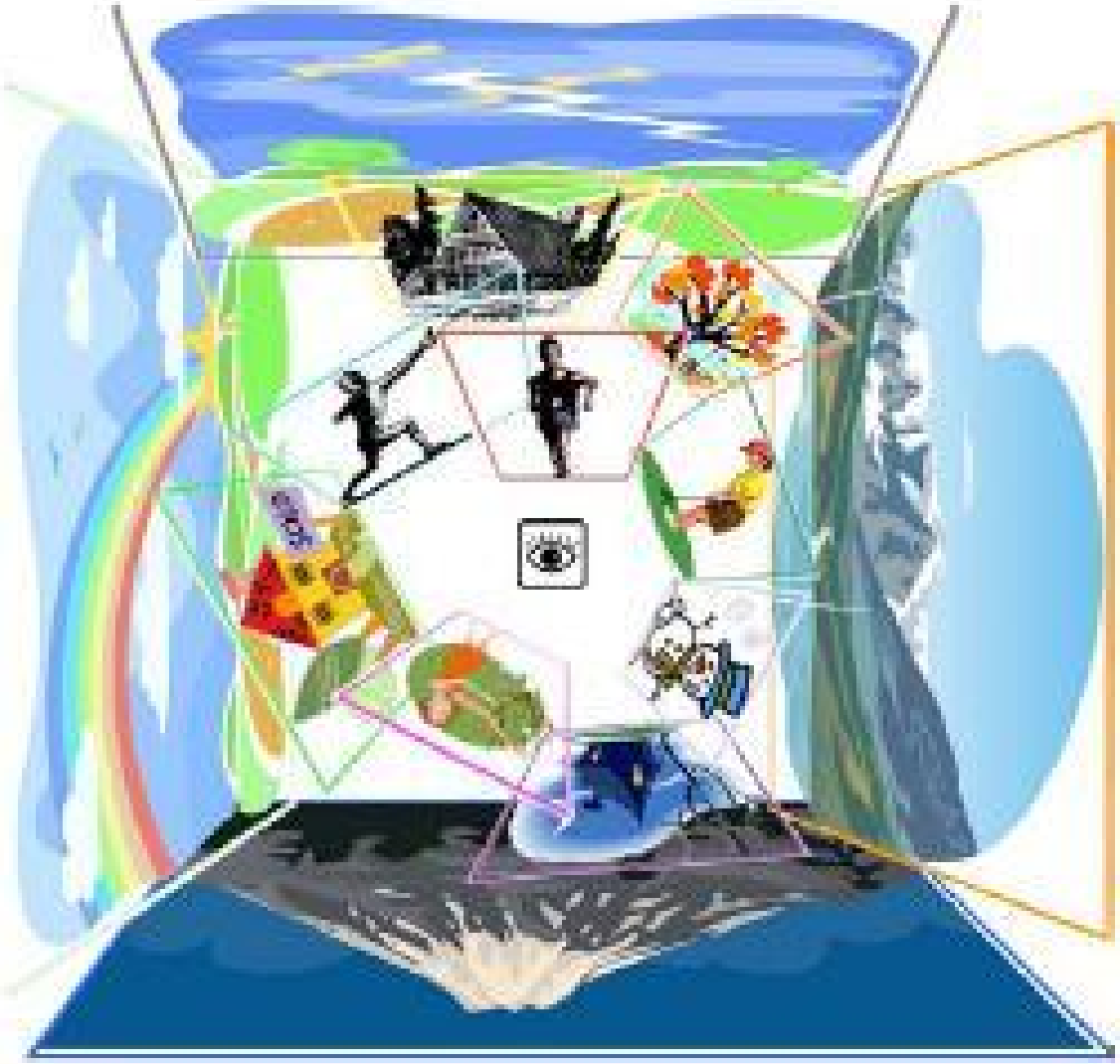

図 2.20. レイヤ分割法による広視野映像の概念図

のような条件で実験を行った。

実験結果

実験結果として、要因 (大きさ) に注目すると、大、中、小の大きさによって奥行き値に変化が表れている。多重比較を行った結果、大と中、中と小の間に 1% 有意差が見られた。この結果から、大きさが大きいと手前に見え、大きさが小さいと奥に見えることが分かった。しかし、大きさが小の場合の平均値は 110 前後であり、単一物体のみではそれほど奥に見えないと

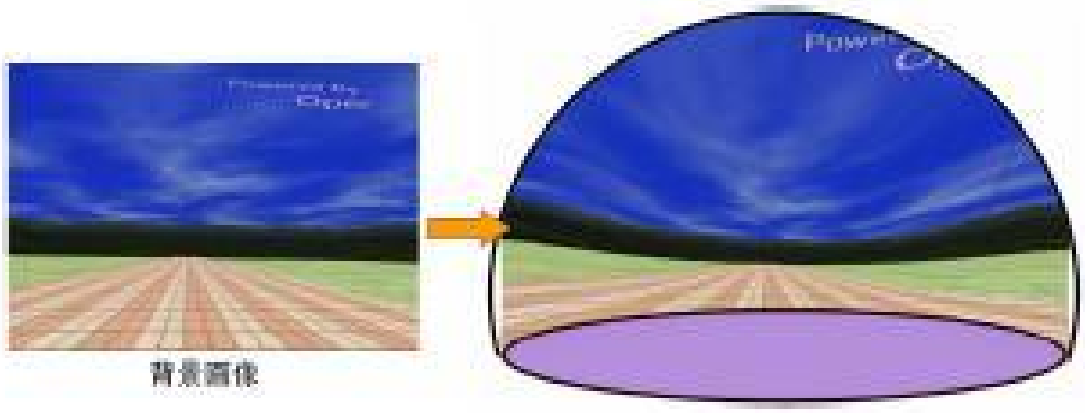

図 2.21. 全天周に背景をマッピングしたイメージ図

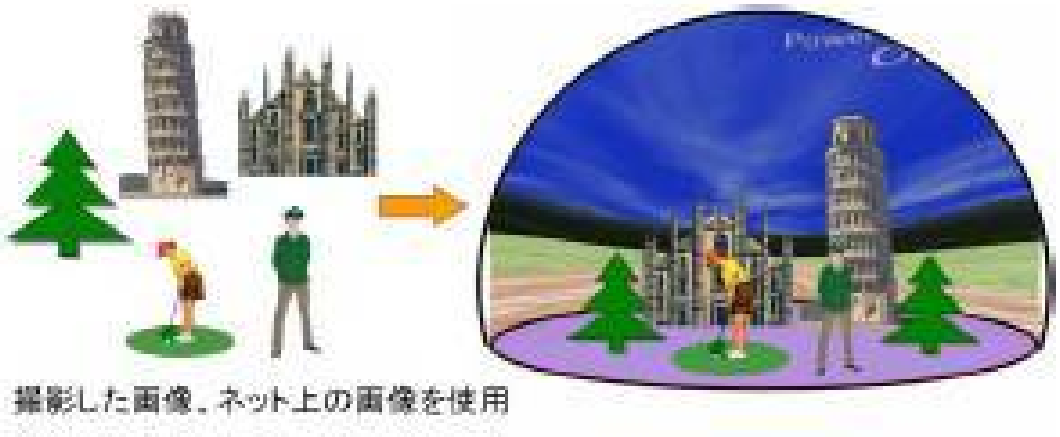

図 2.22. 全天周空間にレイヤを配置したイメージ図

いえる。

次に、2 要因 (大きさ、背景) から、大きさ大、中の条件において、背景が天井、なし、床の順に手前に感じていることが分かる。多重分析を行ったところ、大きさが大の時、背景が天井と床の奥行きには有意水準 1% の差があった。この結果から、ある程度物体の大きさが大きい場合、天井を設置すると手前に見え、床面を設置すると奥に見えてしまうということがいえた。床面が存在する場合、どうしてもスクリーンの下部分に注意がいってしまいプラネタリウムのフレームが気になってしまう。そのため、奥に見えてしまうのではないだろうかと推測される。また、天井が存在する場合は、視線が上方向に誘導されやすくなるため、観客とスク

図 2.23. レイヤ分割法により生成した仮想空間

リーンとの距離が近くなり、それが影響して手前に見えやすくなるのではないかということが推測される。また、視線が上方向に引きつけられれば、スクリーンの外周を取り巻くフレームがまったく気にならなくなり、それが没入感を促進させているのかもしれない。

2 要因 (大きさ、人/四角形) の結果から、大きさが小の場合、人と四角形の奥行きに差があることが分かる。また、多重分析を行った結果、大きさが小の場合の人と四角形の間に有意水準 1% の有意差があった。大きさが小さくなると、四角形と人の奥行き感に差が表れるのは、人は大きさによって奥行きを推測することが出来るため、小さい人間 ≒ 遠くを歩いていると認識したためであると考えられる。

2 要因 (大きさ、カメラ視点移動/カメラ視点固定) では、物体の大きさ、大、中、小すべての条件、カメラ視点移動とカメラ視点固定のデータに差はほとんどない。これより、物体が

図 2.24. 標準刺激を見ている被験者

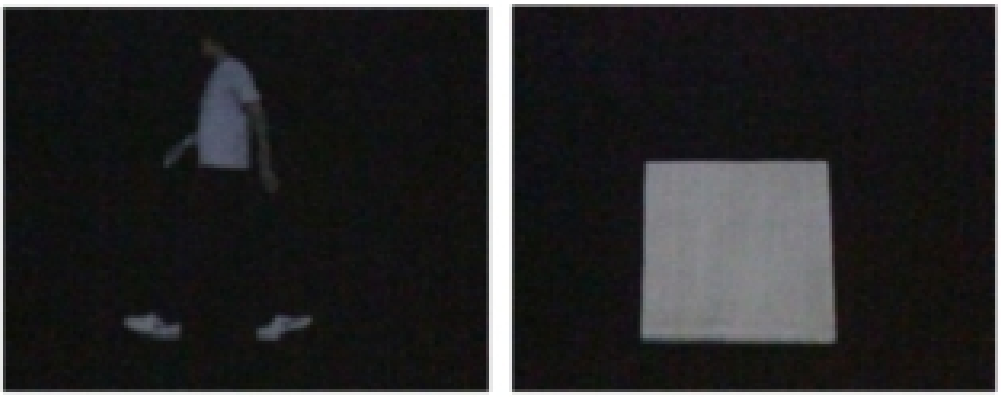

図 2.25. 比較刺激映像の一例

ディスプレイ上を移動しなくても、背景が動いていれば物体が移動しているのと同等の奥行き効果を得られることが分かった。

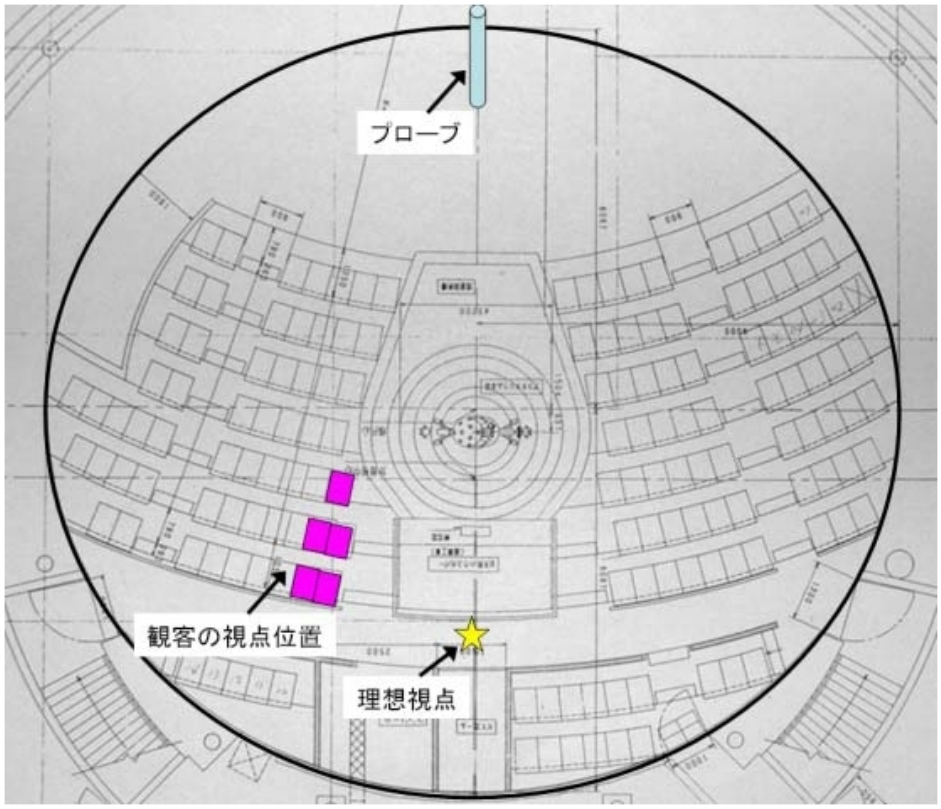

図 2.26. 被験者の視点位置と標準刺激の位置

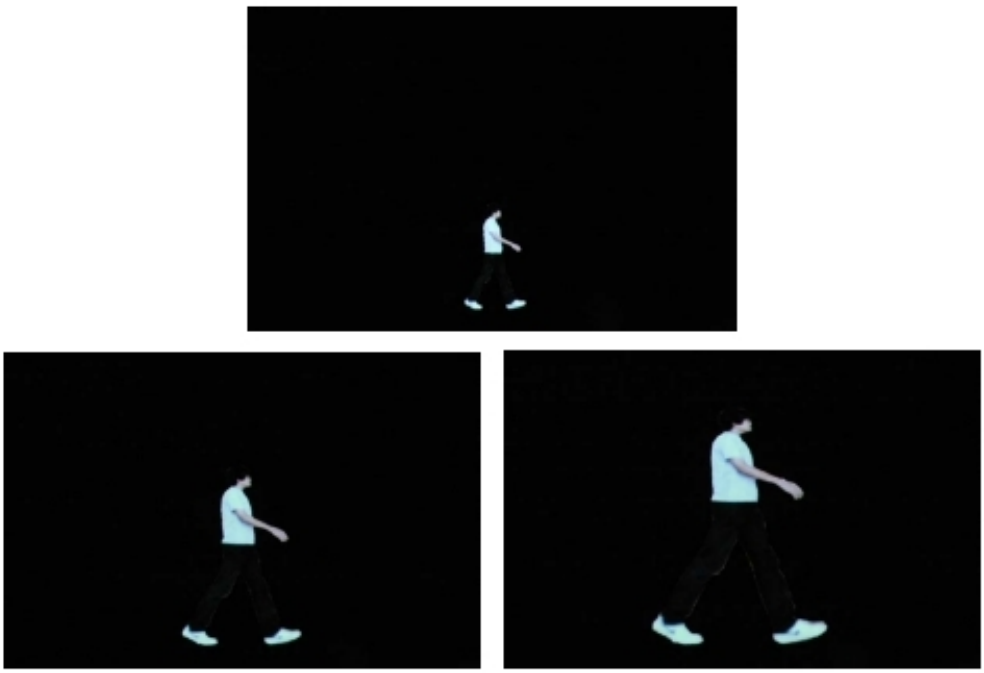

図 2.27. 比較刺激の大きさ

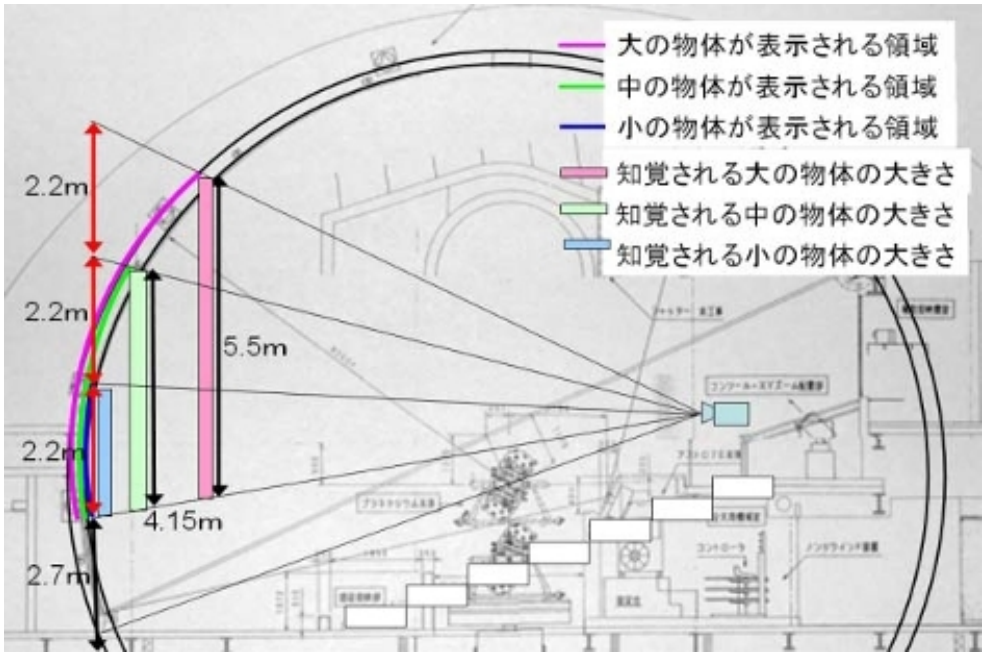

図 2.28. 比較刺激の表示領域

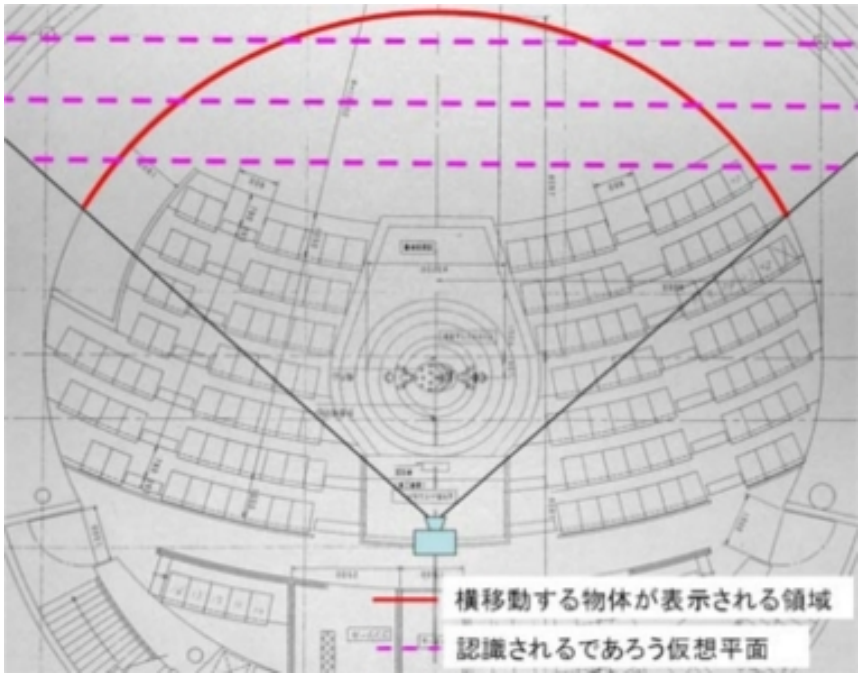

図 2.29. 横移動する比較刺激の表示領域

第 3 章

レイヤ分割法の評価を行うための心理実験

裸眼の状態でドーム映像を見る場合、両眼視差や輻輳による奥行き知覚は出来ないが、遠近法による幾何学情報や運動視差を効果的に利用することで奥行き感のある映像体験を行えることが知られている。例えば、ドーム環境で動きのない静止画を見る場合は、ユーザはスクリーン形状を認識してしまい、映像はスクリーン上に張り付いて見えてしまうが、提示映像に動きが加えられると、ユーザはスクリーン形状を意識しなくなり、空間上に映像が浮き上がって知覚される事が、これまでの被験者実験から確認されている。特に映像が相互に移動する場合は、映像同士のオクルージョンの変化により奥行き知覚が効果的に働く。本研究では、このような知見をもとに実画像、ビデオ映像、CG 等の映像要素をレイヤ化して 3 次元空間に配置し、視点位置や各レイヤの位置に動きを加えることで運動視差の効果を利用し、奥行き感のある仮想空間を構築するレイヤ分割法の提案を行っている (3.1)。

この方法では、奥行き情報を持ったレイヤを幾層か用意し、全天周空間の中に 3 次元的にレイヤを配置する事で奥行き感の高い空間映像を構築する事が出来るが、レイヤを細かく増やしすぎることは 3 次元モデリングを行うことと変わらなくなるため、レイヤ化のメリットが損なわれてしまう。そのため本報告では、奥行き情報を持ったレイヤを幾層か用意した際に感じる奥行き感や没入感を、心理物理実験によって定量化することで、最適なレイヤ数に関する評価を試みた。コンテンツを制作する上で、最適なレイヤ分割数の把握は、空間映像のデザインを行う上で重要である。そのため、本研究では以下の心理物理実験を行った。

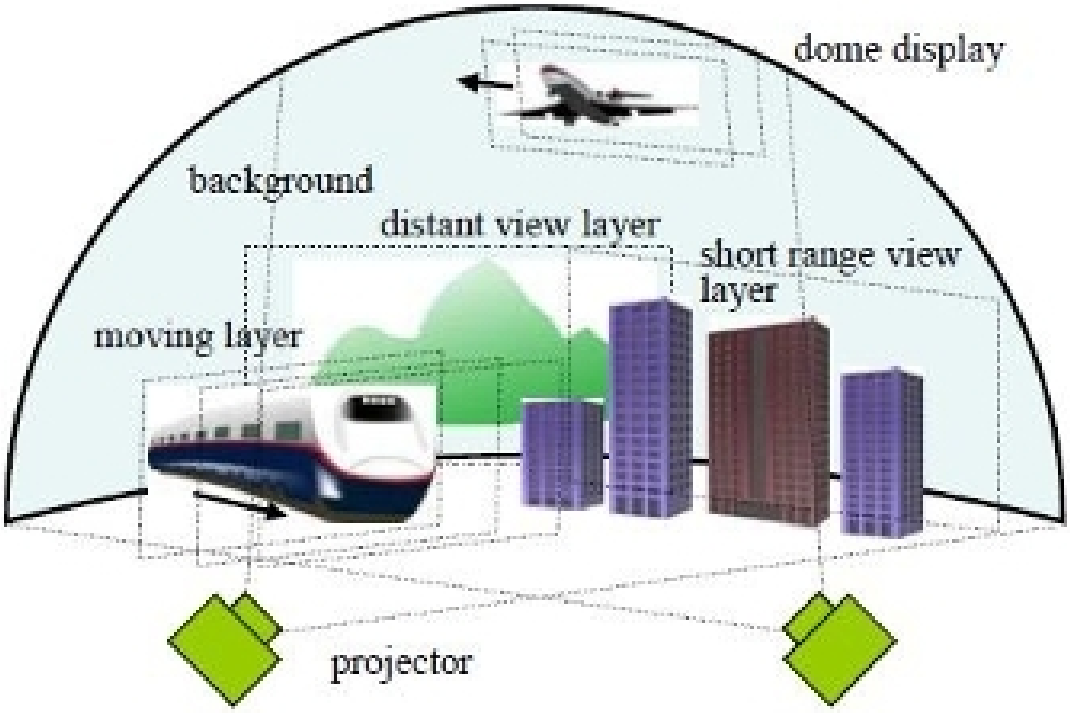

図 3.1. レイヤ分割法の概念図

3.1　奥行き解像度の定量化実験 (ベクション)

コンテンツを制作する上で、最適なレイヤ分割数の把握は、空間映像のデザインを行う上で重要である。そのため、本研究では以下の心理物理実験を行った。

3.1.1　実験目的

実験としては、ドーム環境下において提示映像に運動視差を与える事によって感じる奥行き感を定量化することを目的とした。

3.1.2　実験環境

本実験では、北とぴあプラネタリウム (図 3.2) を利用した。北とぴあプラネタリウムの特徴として、スクリーンが真正面から天井にに位置しているため、被験者は見上げることなくスク

リーンを見ることできるという点である。また、スクリーンの大きさも後ろで説明する慶應高等学校のプラネタリウムより大きなものとなっている。これにより、被験者はスクリーン形状を認識することなくコンテンツを見ることができるということも特徴として挙げられる。

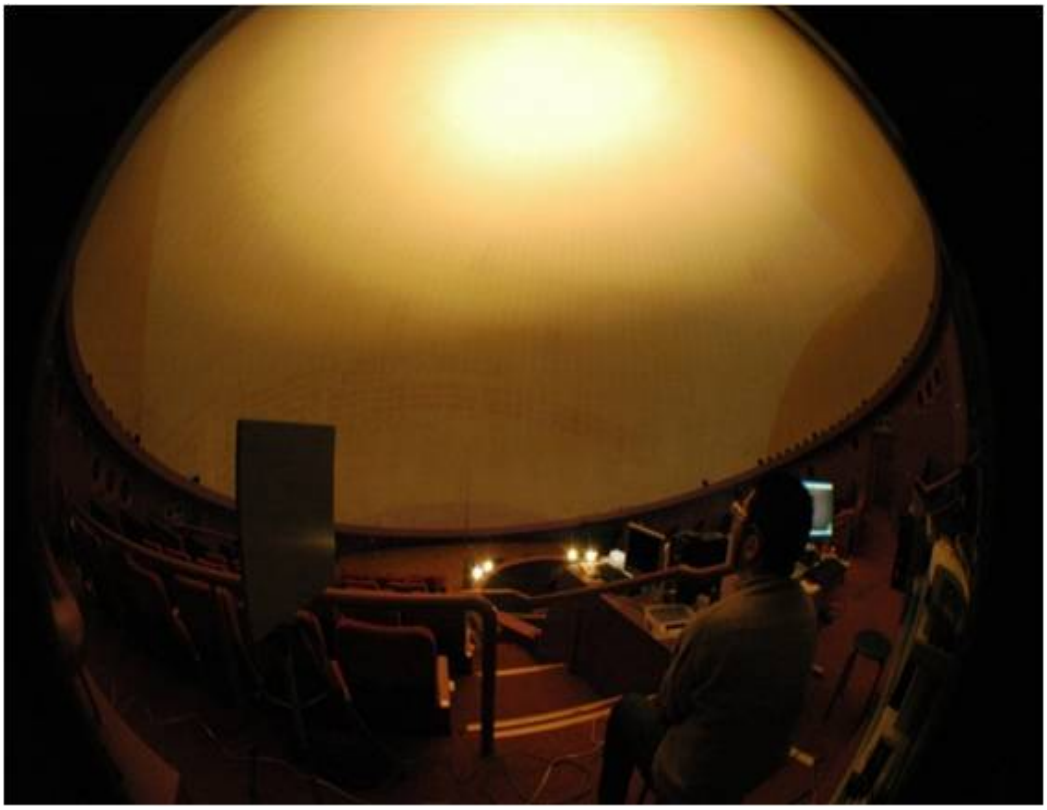

図 3.2. 北とぴあのプラネタリウム施設

3.1.3　実験方法

実験では、仮想空間内に奥行きが等間隔に複数のレイヤを設定し、各レイヤ上を左から右へ横方向に移動する複数の四角形の映像を描画した。映像を横移動させる事により運動視差が与えられるため、被験者は奥行き感を感じることができるが、このときに被験者が感じるベクション (視覚誘導性自己運動感覚) をマグニチュード推定法によって数値化した。マグニチュード推定法では、レイヤ数 2 の時に感じる移動感覚を 50 の標準刺激とし、比較刺激としてレイヤ数を 4, 8, 16, 32, 64 と変化させて提示し、被験者が感じる移動感覚を数値で答えてもらった。この際、四角形の出現数は、各レイヤ上で一定としたため、レイヤ数が増えるに

従って映像の密度は大きくなる。また被験者の回答としては、移動感覚を答えてもらったが、被験者がスクリーン面を意識せずに奥行きを伴った空間性を知覚することで、この移動感覚すなわち没入感覚は増加するものと考えられる。提示映像としてはレイヤ数の異なる 5 種類の映像があり、それぞれ、15 秒間隔でランダムに切り替わるようにした。また比較刺激の提示の間は、白色のブランクの画面を表示した。各レイヤ数の映像提示は 10 回ずつとし、合計 50 回の試行を繰り返し行った。被験者数は 8 人である。3.3 は、実験で用いた提示映像の例を示したものである。

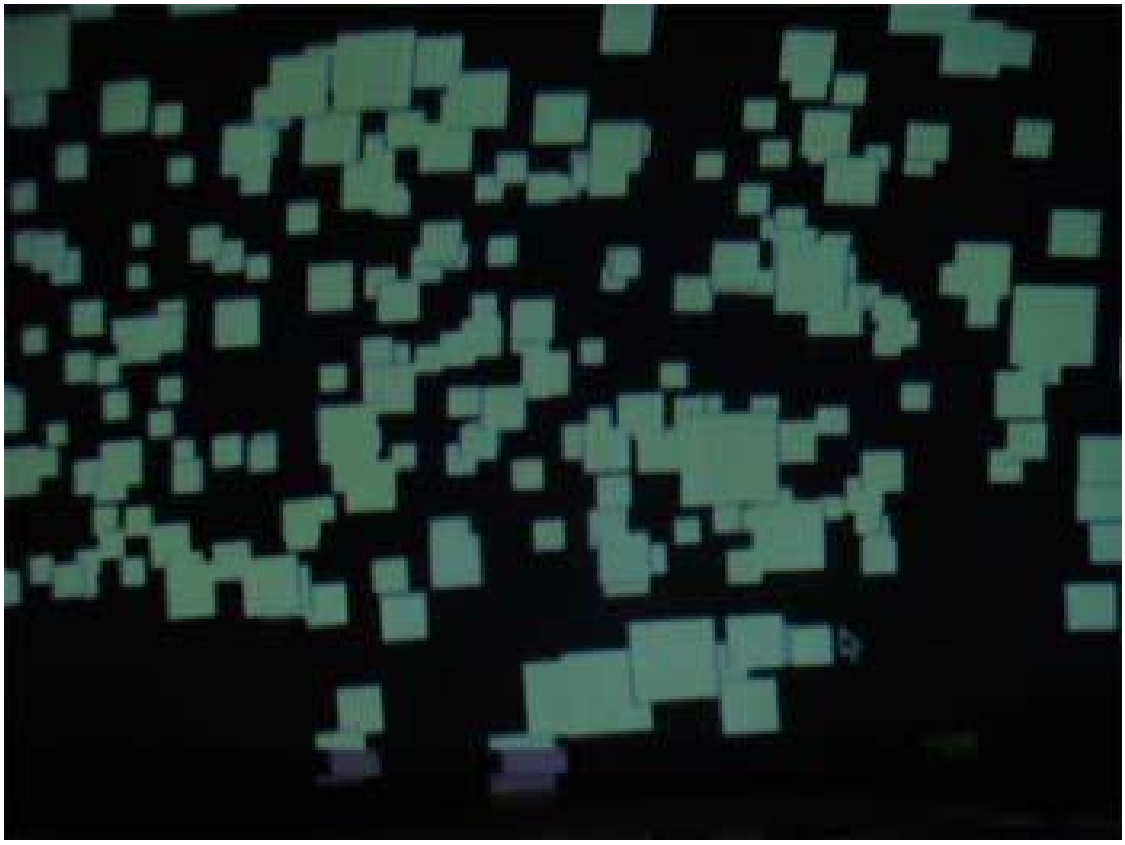

図 3.3. 奥行き感の定量化実験の映像

3.1.4 実験結果

以上の実験結果について、平均値と標準偏差を 3.4 に示す。

この結果、レイヤ数 16 で移動感覚の平均値は最も大きな値をとったが、分散分析の結果ではレイヤ数による有意な差は認められなかった。このことは、レイヤ数による若干の増加はあ

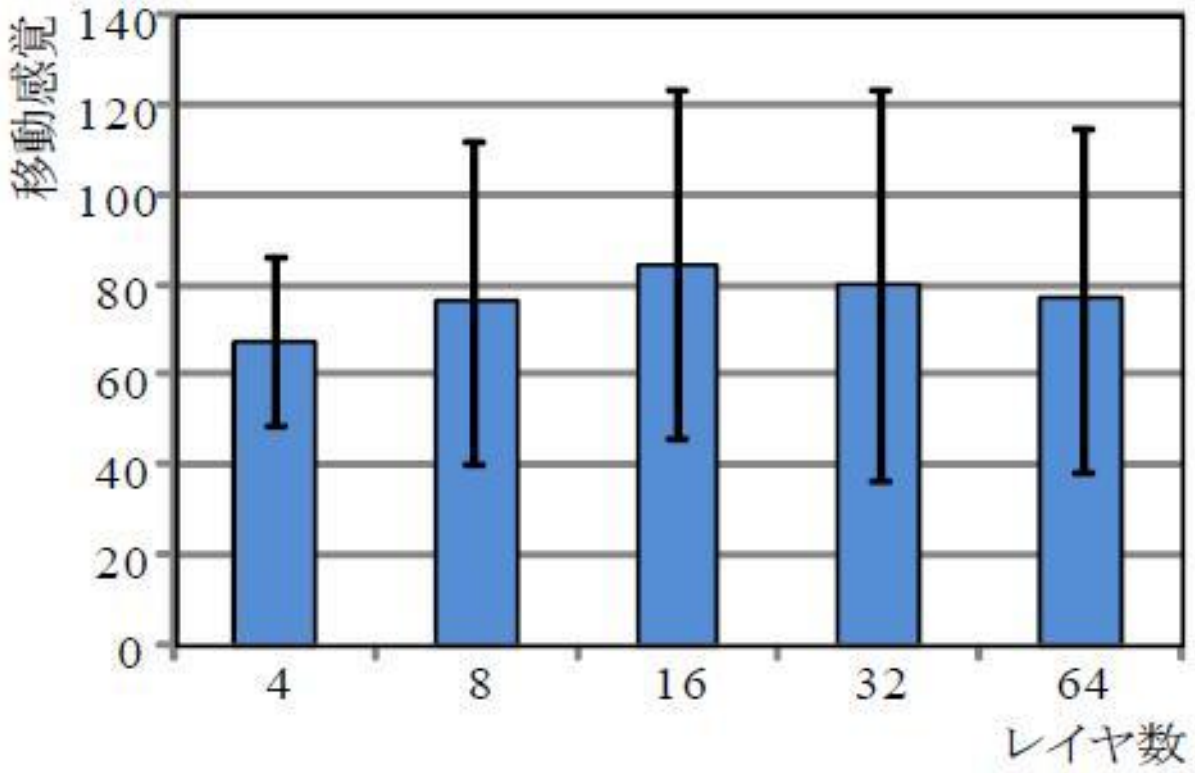

図 3.4. 奥行き感の定量化実験の映像

るものの、レイヤ 4 枚で移動感覚はほぼ飽和していると考えられ、あまり多くレイヤ数を増やしても効果は少ないということが分かった。個人ごとの傾向を見ると、レイヤ数 32 枚までは少しずつ上昇して飽和した被験者もいたが、レイヤ数 4 枚が最大でそこから移動感覚が順に減少していった被験者も認められた。今回の実験では、レイヤ数の増加によって映像の密度も増加してしまったため、このことがベクションの効果を減少させる働きを及ぼしたことも考えられる。実際、数人の被験者からは、レイヤ数の多い条件では奥行き感が弱くなったという感想が得られた。そのため、レイヤ数の少ない 4 枚以下の部分について、追加実験を行った。

3.2　**奥行き解像度の定量化実験** (奥行き解像度)

本実験では、奥行き解像度の定量化実験 (ベクション) の実験結果より、あまり多くレイヤ数を増やしても効果は少ないということが分かった。そのため、空間分割数を 2, 3, 4, 5, 6 で押さえて被験者実験を行った。

3.2.1 実験目的

実験としては、ドーム環境下において提示映像に運動視差を与える事によって感じる奥行き感を定量化することを目的とした。

3.2.2 実験環境

本実験では、プラネタリウム環境に慶應義塾高等学校のプラネタリウム施設 (図 3.5) を利用した。慶應高等学校の施設を利用した一番の理由として、立地が良いということが挙げられた。また、慶應高等学校のプラネタリウム施設は、北とぴあと比べてスクリーンが小さいため、被験者はドーム形状を認識してしまう傾向にある。また、被験者の視点位置が見上げるようにスクリーンを見ることになる。

図 3.5. 慶應高等学校のプラネタリウム施設

3.2.3　実験方法

実験方法は奥行き解像度の定量化実験 (ベクション) とほとんど同じである。仮想空間内に奥行きが等間隔に複数のレイヤを設定し、各レイヤ上を左から右へ横方向に移動する複数の四角形の映像を描画した。3.6 は、実験時に投影した映像である。

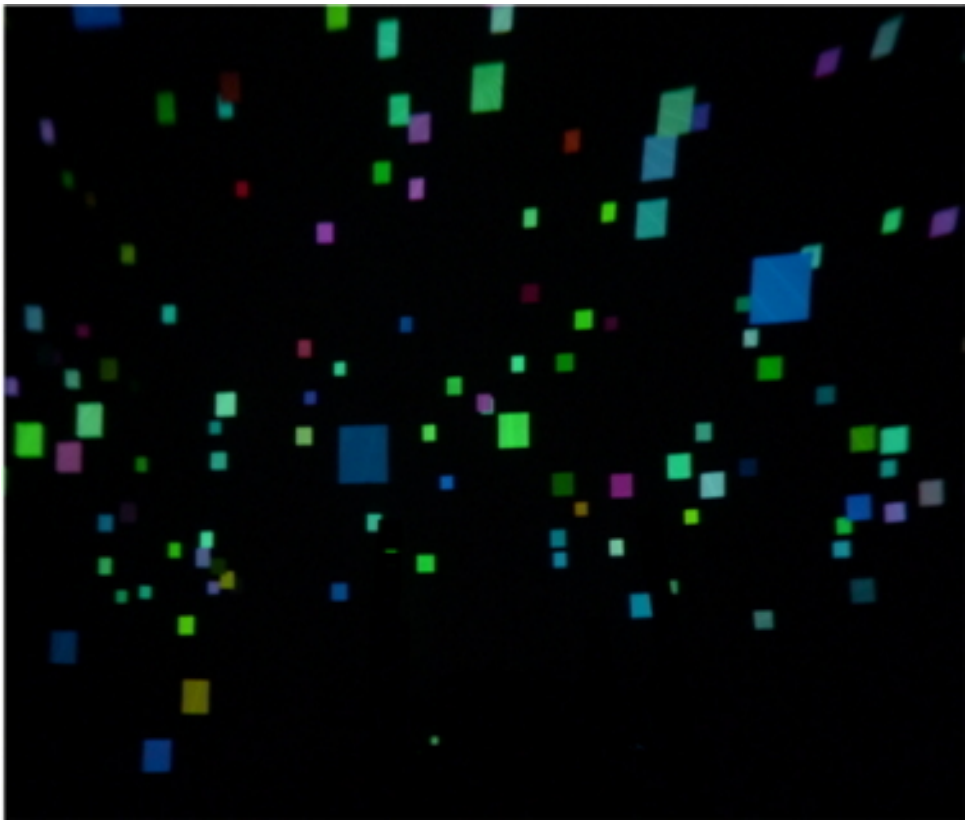

図 3.6. 奥行き解像度の定量化実験の映像

変更した点が二点ある。それについて以下に列挙する。

[1] 尺度の変更

実験では、マグニチュード推定法によって奥行き解像度を数値化した。奥行き解像度とは、奥行きに対する映像の粗さを示す尺度である。

[2] 空間分割数の変更

前の実験では空間分割数を 2, 4, 8, 16, 32, 64 と 6 段階で提示しているが、この実験で

は空間分割数を 2, 3, 4, 5, 6 の 5 段階で実験を行った。

その際、標準刺激を空間分割数 2 とし、比較刺激を提示し標準刺激に対する比較量を記入してもらった。投影の流れは、[1] 標準刺激を 15 秒提示する。

[1] 空白映像を 5 秒提示する。

[2] 比較刺激を 10 秒提示する。

[3] 空白映像を 5 秒提示する。

以上の流れで、各比較刺激に対して 10 回、計 50 回提示した。

3.2.4 実験結果

マグニチュード推定法により定量化した被験者データの散布図、記述統計を図 3.7 と 3.8 に示す。

また、図 3.9 は平均値と標準偏差のグラフを示している。このグラフから空間分割数が多くなるにつれて被験者の感じる奥行き解像度が増加しているということが分かる。

次に、得られたデータから多重比較を行った。表 3.10 は奥行き解像度の多重比較の結果を示している。その際、有意差ごとにグループ分けしたものを表 3.11 に示す。この表 3.11 から、空間分割数 4 と 5 で有意差が認められた。また、サブグループごとの奥行き解像度は変化しないということであり、被験者は空間分割数 3 と 4、空間分割数 5 と 6 は同じ奥行き解像度の映像として知覚している。ただし、被験者が感じる奥行き解像度は徐々に大きくなるにが、空間分割 3 と 4 ではこれらデータ分析を踏まえた実験結果として、仮想空間上に配置する空間分割の数はあまり多くなくて良いということが分かった。ただ、本実験では、逆に空間分割数を少なく見積ったため、分割数 4 ～ 18 の傾向を把握するための実験を行う必要がある。そのため、次の章で述べる追加実験を行った。

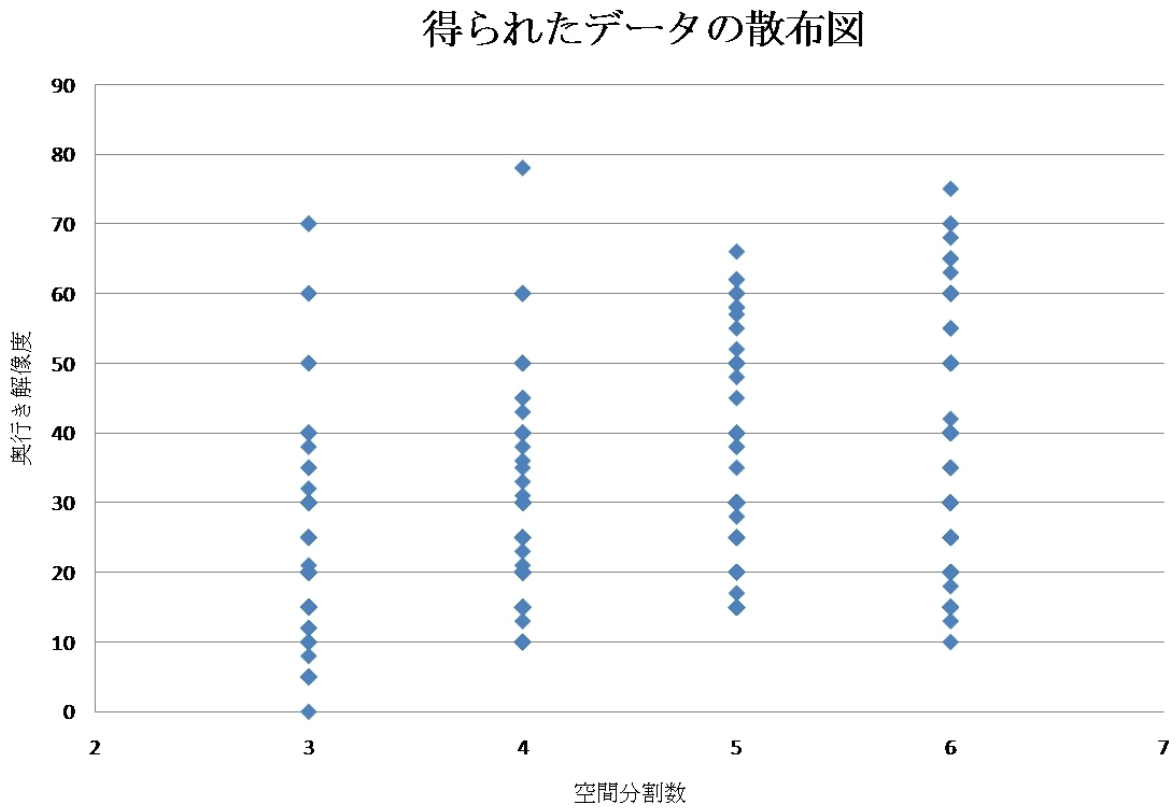

図 3.7. 得られたデータの散布図

記述統計

奥行き解像度

	度数	平均値	標準偏差	標準誤差	平均値の 95% 信頼区間		最小値	最大値
					下限	上限		
3	160	23.29	11.474	.907	21.50	25.09	0	70
4	160	26.94	12.281	.971	25.03	28.86	10	78
5	160	31.86	12.678	1.002	29.88	33.84	15	66
6	160	35.46	15.838	1.252	32.99	37.94	10	75
合計	640	29.39	13.938	.551	28.31	30.47	0	78

図 3.8. 得られたデータの記述統計

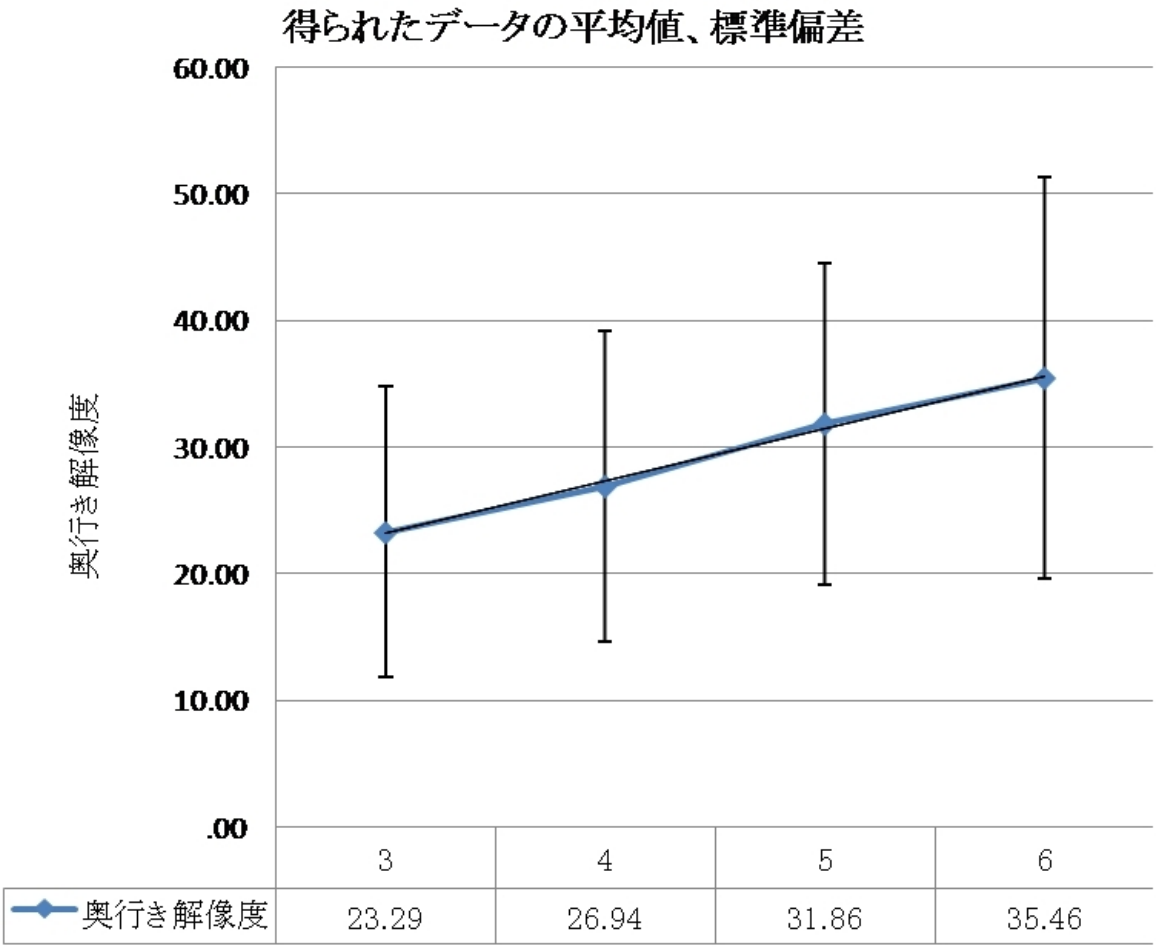

図 3.9. 得られたデータの平均値と標準偏差

3.3 奥行き解像度の定量化追加実験 (奥行き解像度)

本実験では、分割数 4 ～ 18 の傾向を把握するため、奥行き解像度の定量化の追加実験を行った。前の実験と変わった点は、空間分割の数、実験条件である。

3.3.1 実験目的

前の実験と同じである。

多重比較

奥行き解像度
Tukey HSD

(I) 空間分割数	(J) 空間分割数	平均値の差 (I-J)	標準誤差	有意確率	95% 信頼区間 下限	95% 信頼区間 上限
3	4	-3.650	1.473	.064	-7.44	.14
	5	-8.563*	1.473	.000	-12.36	-4.77
	6	-12.169*	1.473	.000	-15.96	-8.38
4	3	3.650	1.473	.064	-.14	7.44
	5	-4.912*	1.473	.005	-8.71	-1.12
	6	-8.519*	1.473	.000	-12.31	-4.73
5	3	8.563*	1.473	.000	4.77	12.36
	4	4.912*	1.473	.005	1.12	8.71
	6	-3.606	1.473	.069	-7.40	.19
6	3	12.169*	1.473	.000	8.38	15.96
	4	8.519*	1.473	.000	4.73	12.31
	5	3.606	1.473	.069	-.19	7.40

*. 平均値の差は 0.05 水準で有意です。

図 3.10. 奥行き解像度と空間分割数の多重比較の結果

奥行き解像度

Tukey HSD[a]

空間分割数	度数	α= 0.05 のサブグループ 1	2
3	160	23.29	
4	160	26.94	
5	160		31.86
6	160		35.46
有意確率		.064	.069

等質なサブグループのグループ平均値が表示されています。

a. 調和平均サンプルサイズ = 160.000 を使用

図 3.11. TuckyHSD 検定の結果

3.3.2 実験環境

本実験の実験環境として、慶應高等学校のプラネタリウムを使用している。

3.3.3 実験方法

本実験の実験が 3.12 である。

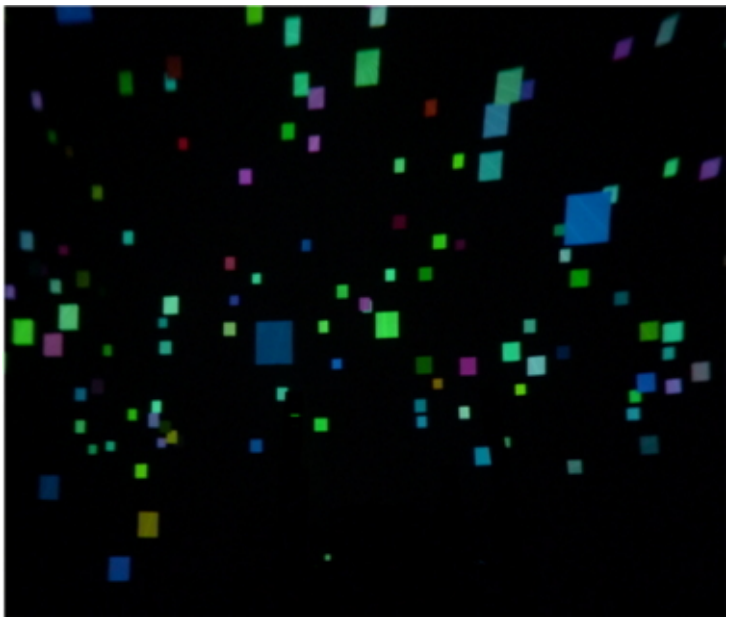

図 3.12. 奥行き解像度の定量化実験の映像

前の実験とほぼ同じであるが、変更している点もある。以下に変更した点を列挙する。

[1] 空間分割数の変更

本実験では、空間分割を $2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12, 14, 16, 18$ としている。変更した理由は、上述の通りである。

[2] 比較映像の提示時間の変更

前の実験では 10 秒であったのに対して、本実験では 5 秒に変更した。変更した理由として、比較刺激が多くなったことで実験時間が伸びてしまったため、実験時間短縮のた

めに変更を行っている。その際、適切な時間短縮の幅は、前の実験結果からの分散値の変化のない時間幅で考慮した。

[3] 標準刺激を提示する際の挿入箇所の変更

本実験では 0, 6 倍数でで標準刺激が提示されるように変更した。その理由は、提示が 12 試行でワンセットになっているため、その区切れ目として標準刺激を流している。

3.3.4　実験結果

本実験から得られたデータの散布図と平均値と標準偏差のグラフを、図 3.13 と図 3.15 に示す。

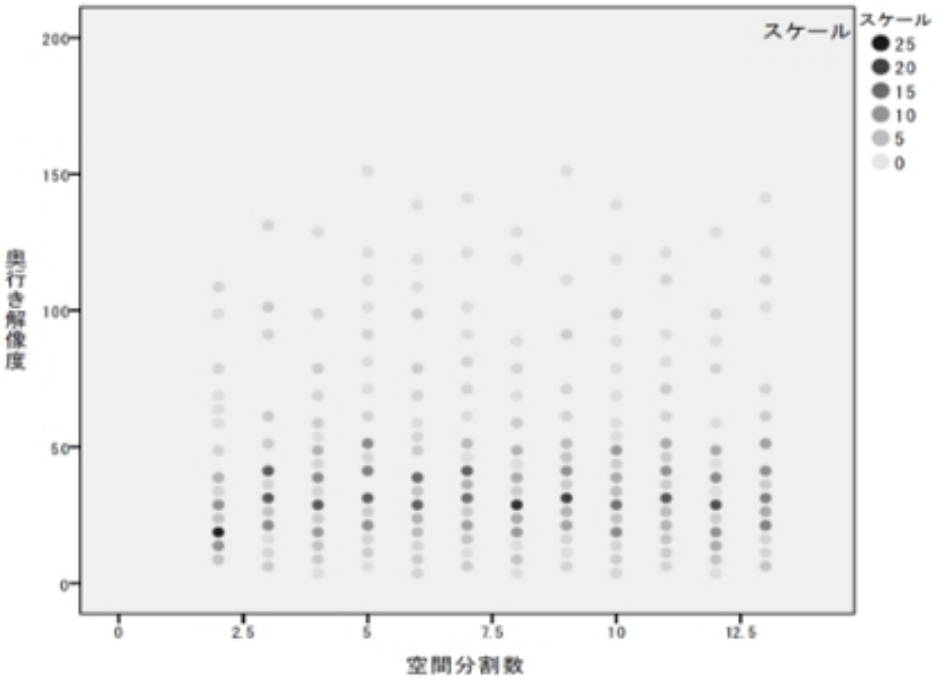

図 3.13. 空間分割数別の奥行き解像度の散布図

奥行き解像度の平均のグラフ (図 3.15) を見ると、空間分割の少ない地点から、それよりも多い空間分割数の地点まで奥行き解像度は増加している。点数づけによる分散を考慮して空間分割数と個人差を要因として取り上げ二次元配置の分散分析を行った結果をに示す。この分散分析から、個人間と空間分割数の間で奥行き知覚感に有意差が認められた。すなわち、この表 3.14 から空間分割数の変化が被験者が感じる奥行き解像度に影響を与えることが確認された。

分散分析表						
変動要因	変動	自由度	分散	観測された分散比	P-値	F 境界値
標本	4726.291026	11	429.6628205	3.908189266	1.70479E-05	1.803987789
列	153217.5949	12	12768.13291	116.1382311	3.9547E-150	1.767689814
交互作用	15692.95897	132	118.8860528	1.081380965	0.270513527	1.23875092
繰り返し誤差	68602	624	109.9391026			
合計	242238.8449	779				

図 3.14. 二元配置分散分析の結果

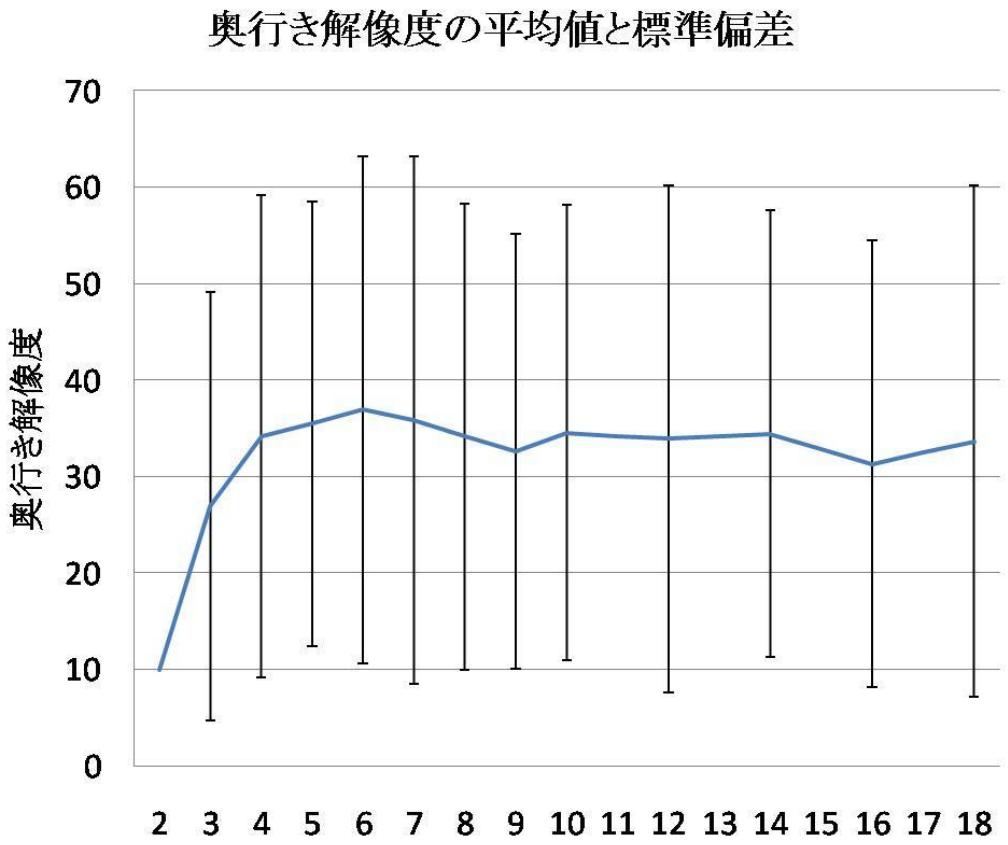

図 3.15. 奥行き解像度の平均値と標準偏差のグラフ

また、図 3.15 から、空間分割 4 と空間分割 6 の間では奥行き解像度は増加するが、空間分割 6 を境目としてその後の分割数では奥行き解像度は緩やかな増減を繰り返す。このことから、奥行き解像度は空間分割数 6 で飽和していると言える。そのため、実験結果から、奥行き解像度は少ない分割数で飽和しており、仮想空間上でのレイヤ配置間隔は細かに構築する必要はない。また、仮想空間構築に際して、近景、遠景、背景などとして配置してやることが、視

聴者にとって臨場感ある映像として知覚されると言える。

第 4 章

課題

本研究において、実験自体は行ったがデータ出力を行っていない実験について述べる。

4.1 視線計測実験

最近では、ドームコンテンツにおいて全天周をモデリングを行うため、視聴者の視線をコンテンツ制作者の意図した箇所に向ける技術が必要となっている。本実験は視聴者の視線が、どのような映像効果で視線が移動していくのかを傾向を把握することを目的として行った。

4.1.1 視線計測実験の概要

本実験では、視線計測器を使用して、比較刺激を観測している際の被験者の視線方向を計測することにした。視線計測にはゴーグル型視線計測器 $TalkEyeII$ (竹井機器製) を使用した。視線の検出原理は以下のようになっている。

眼球に微弱な赤外線を照射すると、角膜や水晶の屈折面に光源の反射像が生じる。プルキンエ・サンソン像と呼ばれるこの反射像をカメラで撮影しその位置関係から [眼球運動角] を算出する。$TalkEyeII$ では、眼球運動角から求められる視線の軌跡を、CCD カメラによって撮影される外界映像に重ねて表示してくれるため、ユーザが何を見ているかを一目で理解できる。4.1 は $TalkEyeII$ の表示画面である。

$TalkEyeII$ を簡単なオプティカルフローを提示し、そのオプティカルフローの拡散中心の移動により被験者の視線方向が、それに引きずられるかを計測した。被験者の数は 5 名とし t

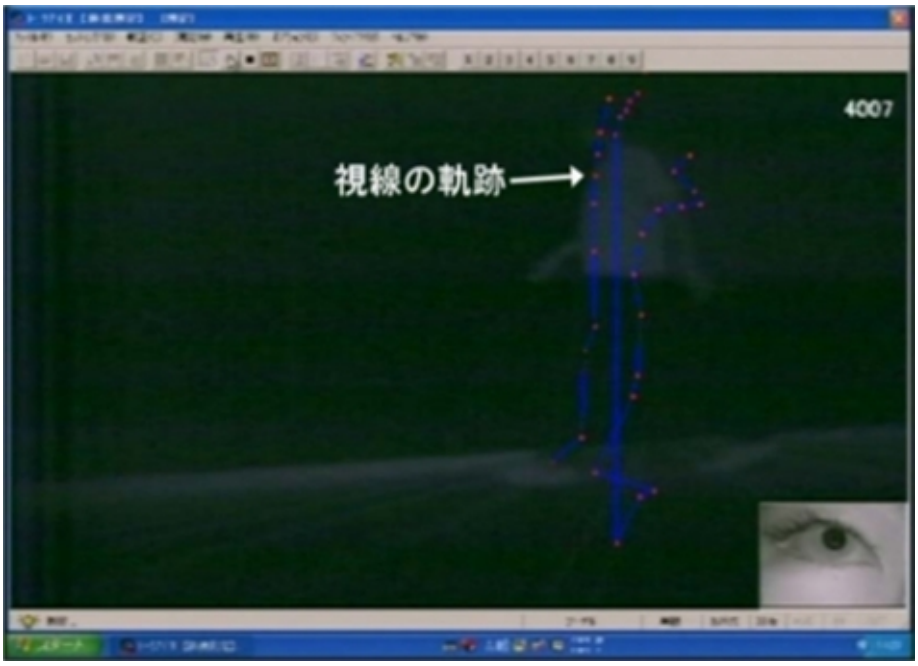

図 4.1. $TalkEyeII$ の視線計測画面

実験を行った。4.2 は、視線計測実験の実験映像である。

4.1.2　視線計測実験の結果

今回の実験では、プログラムにデータ出力の処理を持たせていなったため、視線計測中の映像を目視で確認しての傾向把握となっている。目視での確認からすると、拡散中心の移動に伴って被験者の視線が引きずられる傾向にあると判断した。しかし、きちんとしたデータを取る必要があり、今後、データ出力を行った視線計測実験を行う必要がある。

4.2　結論

本研究では、ドーム型ディスプレイのような特殊な環境下で感じられる立体感を調べるため、ドームディスプレイ環境で被験者実験を行ってきた。実験では、レイヤを動かすという単純な動きによって感じられる奥行き知覚とレイヤの配置について注目してきた。その結果、仮想空間上のレイヤの配置は被験者の感じる奥行き知覚に影響を与えるということが示された。また、レイヤの配置と奥行き知覚の関係から、人の感じる奥行き知覚量は空間分割を多く行わ

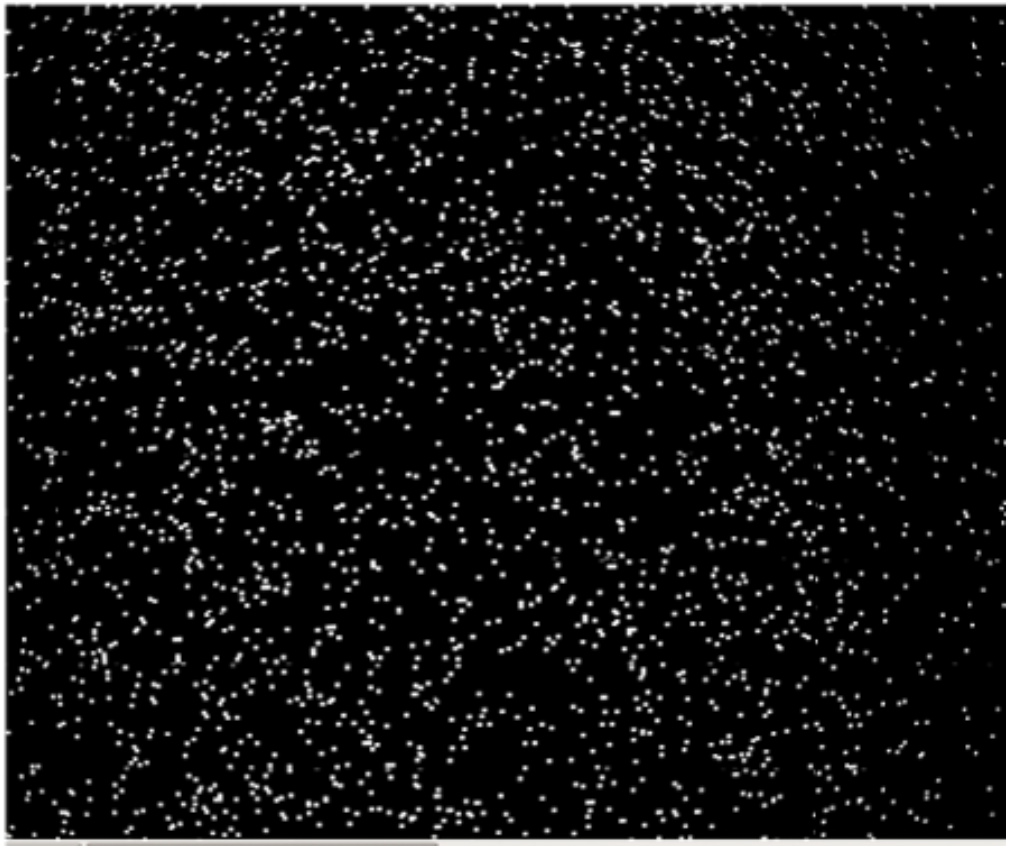

図 4.2. 視線計測実験の映像

なくても飽和しているということが示された。

フレームレスで広視野な巨大なドームスクリーンでは、観客はスクリーン形状をまったく意識することなく、映像に没入できるため、レイヤ構成のコンテンツでも十分な臨場感を感じさせることができる。今後は観客に優しいカメラワークとは何かについて研究してきたい。今回のコンテンツにはカメラワークによる動きが多かったのだが、アニメーションなどにおいて一番楽しいのは、オブジェクトが動く瞬間であると考えている。今後はオブジェクトの動き (奥から近づいてきて自分をすり抜ける等) のあるコンテンツも制作していきたい。

これから先、プラネタリウムと他のメディアが連携していくことを強く望んでいる。その理由として、プラネタリウム施設のデジタル化が挙げられる。デジタル化に伴い他のメディアで用いられているその道における制作法を、プラネタリウム上でも応用することができると考えている。そのため、本研究では他のメディアとの連携を意識した上でレイヤ分割法を提案している。そもそも、レイヤ分割法は、アニメ制作時に用いられるセルアニメの制作手法が原理で

ある。セルアニメを用いた制作には、一枚の絵を制作する際、部分的な絵を多人数に振り分けて、背景知識は異なる人間同士でも一つの絵を生み出すこと可能と制作手法であると考えられる。それを VR 分野に応用したコンテンツ制作手法がレイヤ分割法であると考えている。そのため今後、プラネタリウムのコンテンツ制作にレイヤ分割法が普及するようになれば、専門知識の持たない人でも手軽にドームコンテンツが作れるようになったり、多人数で一つのコンテンツを制作することが容易となるだろう。また、先で述べたように他のメディアとの連携を意識しているため、アニメ制作に携わる方々がプラネタリウム上のコンテンツ制作に携わることを積極的に促していきたい。レイヤ分割法によって自主制作された番組が、YouTube などの動画ポータルサイトで公開され、面白いと認められたコンテンツは、全国各地のプラネタリウムで上映される時代が来るかもしれない。レイヤ分割法を元にした番組制作ソフトが普及すれば、学校の天文部の子供達が、子供たちだけでドーム環境番組制作をすることも夢ではなくなる。

このように、コンテンツを制作する人口が増えていけば、コンテンツ数も増え、プラネタリウムの活性化が期待される。同時に、多くのユーザの経験と積み重ねにより、ドーム環境における効果的な映像技法も洗練され、体系化されていくに違いない。プラネタリウムは、小学生の学習のために使われることが多く、市民にとって魅力のある場である。そして、プラネタリウムは単に星空を見せ天文情報を発信するだけでなく、地域の人々の集い合う「場」の一つである。レイヤコンテンツによってプラネタリウムが活性化され、いつまでもみんなに愛される空間であり続けてくれることを願いたい。

謝辞

この論文のために慶應義塾大学の小木教授、副査の先生である手嶋龍一教授や前野隆司教授、同じ研究室所属の立山義祐先生から多くの御指導をいただきました。また、実験施設を提供していただいた慶應高等学校の松本直樹先生や被験者実験の実験計画、評価についてご助言いただいた九州大学の妹尾武治先生、被験者として協力いただいた慶應義塾大学大学院システムデザイン・マネジメント研究科の瀬戸寿之さん、山本高士さん、松尾康弘さん、辻英美子さん (佐々木研究室所属)、伊東恭子さん (狼研究室所属)、佐藤創さん、栗田裕輔さん、資延香里さん、河崎純一さん、Hasup Lee 先生 (小木研究室所属)、 船山道彦さん、渡辺翼さん (高野研究室所属)、 野中朋美さん、中野友道さん、羅宏勝さん (中野研究室所属)、大橋隆太さん、ファンポウジュンさん (当麻研究室所属)、加藤貴則さん、西澤希緒さん (手嶋研究室所属)、成川理優さん、 渡辺一仁さん (西村研究室所属)、松本直仁さん (前野研究室所属)、このように多くの方々に研究を進める上で多大なる協力をしていただきました。ここに深く感謝いたします。

参考文献

[1] 日本プラネタリウム協会 (2005) ,「プラネタリウム白書 2005 年度版」.

[2] 小木 哲朗 林 正紘 藤瀬 哲朗 (2006) ,「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.

[3] R.Raskar , J.van Baar , and J.Chai (2002) , ″A Low Cost Projector Mosaic with Fast Registration” , *Proc. Fifth Int ’ l Conf. Computer Vision(ACCV ’ 02)*

[4] OpenCV , Open Source Computer Vision , http://opencv.jp/opencv/document/

[5] 矢川元基 他 (1998) ,「超並列有限要素解析」, 朝倉書店.

[6] Noriyuki Shibano , Hareesh.P.V , Masanori Kashiwagi (2001) , ″Development of VR Experiencing System with Hemi-Spherical Immersive Projection Display for Urban Environment Design” , *Proceedings of International Conference on Virtual Systems and MultiMedia* , pp.499 − 505.

[7] Masami Yamasaki , Tsuyoshi Minakawa , Haruo Takeda , Shoichi Hasegawa , and Makoto Sato (2002) , ″Technology for Seamless Multi-Projection onto a Hybrid Screen Composedof Differently Shaped Surface Elements” , *proceedings of the 7th Annual Immersive Projection Technology (IPT)Symposium.*

[8] 近藤大祐 木島竜 (2002) ,「双対レンダリングを用いた自由曲面ディスプレー」,『日本バーチャルリアリティ学会第 7 回大会論文集』, pp.465 − 468.

[9] Ramesh Raskar , Greg Welch , Matt Cutts , Adam Lake , Lev Stesinand , Henry Fuchs (1998) , ”The Office of the Future: A Unified Approach to Image-Based Modeling and Spatially Immersive Displays” , *Proc. of SIGGRAPH* Vol.98 , pp. 179 − 188.

[10] H.Chen , R.Sukthankar , and G. Wallace (2002) , ″Scalable Alignment

of Large-Format Multi-Projector Displays Using Camera Homography Trees"′ , *Proc. IEEE Visualization* Vol.2002, pp.339 − 346.

[11] Y.Chen , D.Clark , A.Finkelstein, T.Housel, and K.Li (2000) , ″Automatic Alignment of High-Resolution Multi-Projector Displays Using an Un-Calibrated Camera" , *Proc. IEEE Visualization* 2000, pp.125 − 130.

[12] autopano-shift：http://user.cs.tu-berlin.de/ nowozin/autopano-sift/

[13] hugin：http://hugin.sourceforge.net/

[14] enblend：http://enblend.sourceforge.net/

[15] 大野隆造 青木宏文 添田昌志 (2001 年),「CG 画像と模型画像の合成による視覚シミュレーション」,『日本建設学会技術報告集』 , 第 12 号 1 月 , 135 − −138.

[16] 添田昌志 米本由香 大野隆造 (2002) ,「視覚的な意識の広がりと街路空間との評価の関係」,『日本建築学会大会学術講演梗概集』 8 月.

付録 A

プログラム

本研究で作成、使用したプログラムを小木研究室のサーバーにアップロードした。