

修士論文

2012 年度

# 実写ベースのドーム映像コンテンツの 制作手法に関する研究

石山 友基

(学籍番号 : 81133079)

指導教員 小木 哲朗

2013 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  
システムデザイン・マネジメント専攻

# Research on Dome Contents Creation Technique based on Video Image

**Yuki Ishiyama**

(Student ID Number : 81133079)

Supervisor Teturo Ogi

March 2013

Graduate School of System Design and Management,  
Keio University  
Major in System Design and Management

# 論 文 要 旨

学籍番号	81133079	氏 名	石山 友基
論文題目：  実写ベースのドーム映像コンテンツの制作手法に関する研究			
(内容の要旨)			
<p>近年の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期待されている。その反面、プラネタリウムの映像コンテンツはCGで全天周空間をモデリングするため、熟練の技術と膨大な時間を要し、コンテンツ制作を容易に行える状態には至っていない。外部に委託するにしても、莫大な映像コストが影響しその上映期間は必然的に長くなってしまっている。この悪循環により、全国の多くのプラネタリウムが、デジタル型投影方式への移行に踏み込めないだけでなく、リピータ客が減少し、観客動員数の増加を見込めないのが現状である。デジタル化への移行の推進、利用率向上のためにも、誰もが手軽にコンテンツ制作を行えるような手法の体系化が求められている。</p> <p>このような背景を受け、コンテンツ制作の円滑化・コスト削減を目的として、レイヤ分割法が提案されてきた。ドーム環境においては、幾何学的補正や運動視差の効果を利用することで、裸眼状態でも奥行き感のある映像体験が可能である。</p> <p>レイヤ分割法とは、2次元映像要素のレイヤを3次元空間内に配置し、視点位置の移動や各レイヤ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、ドーム特有の映像効果を利用した制作手法である。従来、この手法はCGやアニメとして描かれた映像要素を用いることが多かったが、本研究では、より現実感を生み出すことを目的として2次元の実写画像・実写映像を用いた全天周映像コンテンツの制作手法について検討を行った。</p> <p>提案する映像システムでは、空間内の仮想球体の内側に360度パノラマ画像をテクスチャマッピングすることで背景レイヤを作成し、仮想球体の中心付近に観客の視点を設定することで、球体の内側からは360度の仮想世界を体感することが出来る。そして、実写画像・実写映像を仮想空間内に配置し動きを加え、視点移動させることで運動視差の効果を生み出し、奥行き感の表現を行う仕様になっている。</p> <p>本研究では提案方法の評価を行うため、360度パノラマ画像に運動視差の効果を与えることによって感じる奥行き感の定量化を目的とした評価実験を行った。結果、本研究で提案する映像システムは、被験者の感じる奥行き知覚に影響を与えることが示された。</p>			
キーワード (5語) プラネタリウム, ドーム映像, 運動視差, レイヤ分割法, 実写ベース			

## SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	81133079	Name	Yuki Ishiyama
<p>Title</p> <p style="text-align: center;">Research on Dome Contents Creation Technique based on Video Image</p>			
<p>Abstract</p> <p>In recent years, in order for the planetarium to not only realize full-dome video projection display, but also provided many people with high presence sensation experience. A new media displaying method was expected. However, due to the technical requirement and time needed by the planetarium to display by full-dome video projection CG modeling, the task proved to be a very difficult one. Even if the construction of the content is assisted by experts, the large production fee will have a huge impact during the running period. This not only resulted in the majority of planetarium in Japan to switch back to digital, but also stopped customers from coming in repeatedly, and the spectator number could not be increased in the current situation. Therefore, in order to facilitate digitalization and utilization rate, simple contents making method and systematization was proposed. In order to carry out contents making more smoothly, and to reduce the cost, layered imaging method was proposed. This is achieved by first taking in account the dome's environment, then using distortion correction and motion parallax. The projections of images which enabled the users to feel the depth could be recreated in front of bare eyes. Layered imaging method uses relay of two-dimension images in a three-dimension layout. The shift of one's view point and movement of the layers would cause motion parallax, which created a sense of depth. This research is about recreating realistic full-dome video projection by utilizing the contents making methodology with two-dimensional image and video. In this research, we proposed a system with an imaginary sphere in space, back grounded by a 360° panorama image's texture mapping background layer. The viewer's viewpoint is set at the center of the imaginary sphere. 360° imaginary world was then created from the inside of the sphere. The photographing image and video is designed to move within the imaginary world, so the view point can be shifted to recreate motion parallax affect, producing depth feeling. In order to verify the research proposal, the depth-feeling effect of motion parallax from 360° panorama is quantified and experimented. The results were that this video system provide a significant effect on the feeling of depth within good range.</p>			
<p>Key Word(5 words)</p> <p><i>Planetarium, Dome video, Virtual depth effect, Layered image</i></p>			

# 目次

第1章	序論	1
1.1	研究背景	1
1.1.1	プラネタリウムの投影機器の種類	2
1.1.2	国内で採用されている投影機器	2
1.1.3	投影方式の移行に伴う映像コンテンツの変化	4
1.1.4	全国で投影されている映像コンテンツ	4
1.1.5	プラネタリウムの現状（観客動員数・運営費・収益）	6
1.1.6	脚光を浴びるプラネタリウム施設	12
1.1.7	プラネタリウムのスクリーン特性	13
1.1.8	ドーム映像コンテンツのコスト	14
1.2	研究目的	19
第2章	関連研究	21
2.1	ドーム型ディスプレイ	21
2.2	映像コンテンツ制作に関する研究	23
第3章	ドーム映像の歪み補正処理	27
3.1	実験環境	27
3.1.1	五藤光学研究所 プラネタリウム	27
3.1.2	実験機材	29
3.2	歪み補正処理について	32
3.2.1	魚眼レンズにおける歪み	32
3.2.2	曲面スクリーンにおける歪み	32
3.2.3	歪み補正アルゴリズム	33
第4章	ドーム環境における立体感	42
4.1	レイヤ分割法の概要	43
4.1.1	レイヤ分割法の概要	43
4.1.2	レイヤ分割法における映像生成の流れ	45
4.2	実写ベースの全天周映像	46
4.3	実写画像・実写動画レイヤの作成	48
4.4	背景レイヤ（360度パノラマ画像）の作成	48
4.5	実写画像・実写映像を用いた360度パノラマコンテンツの評価実験	51
4.5.1	実験目的	51
4.5.2	実験環境	52
4.5.3	実験方法	52
4.5.4	実験結果	55
第5章	臨場感アーカイブへの応用	60
5.1	東日本大震災の被害状況のアーカイブ	60
5.1.1	臨場感アーカイブを行った映像コンテンツ	62
5.2	臨場感アーカイブの評価実験	64
5.2.1	実験目的	64
5.2.2	実験環境	64
5.2.3	実験方法	64
5.2.4	実験結果	66
5.2.5	実験結果まとめ	70
第6章	実写ベースのドーム映像コンテンツの制作手法の評価実験	71
6.1	実験目的	71
6.2	実験環境	72

6.3	実験方法.....	72
6.4	実験結果.....	74
6.5	実験結果 まとめ.....	79
第7章	結論.....	81
第8章	課題.....	85
8.1	ドーム映像コンテンツの視線計測.....	85
8.1.1	視線計測装置.....	86
8.1.2	実験環境.....	89
8.1.3	実験方法.....	89
8.1.4	実験結果.....	89
8.2	動画の背景レイヤ・超高解像度レイヤ.....	92
8.2.1	360度パノラマ動画の使用.....	92
8.2.2	超高解像度映像を用いたドーム映像.....	93
8.3	東日本大震災 臨場感アーカイブにおける課題.....	94
	謝辞.....	96
	参考文献.....	97
	外部発表.....	100
	付録.....	101

# 目次

図 1-1 : 全国に点在するプラネタリウム .....	3
図 1-2 : 日本科学未来館『ちきゅうをみつめて』 .....	4
図 1-3 : プラネタリウムの設置の目的 .....	5
図 1-4 : プラネタリウム設置の主体組織 .....	7
図 1-5 : プラネタリウム運営の主体組織 .....	7
図 1-6 : プラネタリウムの観覧者数の推移 (1965 年~1999 年) .....	8
図 1-7 : プラネタリウムの観覧者数の推移 (2004 年~2009 年) .....	9
図 1-8 : プラネタリウムの設置数の推移 .....	9
図 1-9 : プラネタリウムの座席数 .....	10
図 1-10 : プラネタリウム施設の利用料金収入 .....	11
図 1-11 : プラネタリウムの運営費の指数 (2004 年度が 100) .....	11
図 1-12 : 名古屋市科学未来館 プラネタリウムの観客動員数の推移 .....	13
図 1-13 : CG モデリングによる映像制作 .....	15
図 1-14 : 3 次元 CG 映像の映像コストの増大の流れ .....	16
図 1-15 : 多摩六都科学館「ハイブリッド・プラネタリウム」 .....	18
図 2-1 : CAVE .....	21
図 2-2 : OMNIMAX (左図), VisionStation (中央図), Cyber dome (右図) .....	22
図 2-3 : Ensphered Vision (左図), アークスクリーン (右図) .....	22
図 2-4 : 全周 360 度パノラマ画像と 3 次元 CG オブジェクトの合成 .....	24
図 2-5 : レーザーレンジファインダによる仮想空間の構築 .....	25
図 3-1 : 五藤光学研究所のプラネタリウム施設 .....	28
図 3-2 : 投影方式の変化による映像の投影領域 .....	30
図 3-3 : NP2000J (左図), DCR-CF185PRO (右図) .....	31
図 3-4 : NP2000J, DCR-CF185PRO, 三脚を組み合わせたプロジェクター .....	31
図 3-5 : 魚眼レンズの歪み (左図), ドームスクリーンの歪み (右図) .....	33
図 3-6 : 全周魚眼レンズによる歪み .....	34
図 3-7 : 心射方位の概念図 .....	35
図 3-8 : チェックボードパターン (左図), 投影の様子 (右図) .....	36
図 3-9 : パノラマ画像生成用の元画像 (左図), パノラマ画像 (右図) .....	36
図 3-10 : 歪み補正アルゴリズム .....	37
図 3-11 : チェックボードのコーナー検出の様子 .....	37
図 3-12 : チェックボードに列番号を割り当てた様子 .....	38
図 3-13 : チェックボードに行番号を割り当てた様子 .....	38
図 3-14 : チェックボードをドロネー分割した様子 .....	39
図 3-15 : メッシュ構造にテクスチャマッピングした様子 .....	39
図 3-16 : メッシュ構造が等間隔に並ぶように変換した様子 .....	40
図 3-17 : 歪み補正をチェックボードに適用した様子 .....	40
図 3-18 : 歪み補正をしたチェックボードをドームに投影した様子 .....	41
図 4-1 : ドームで感じる立体感 .....	43
図 4-2 : レイヤ分割法の概念図 .....	44
図 4-3 : レイヤのみで構成されたコンテンツ .....	44
図 4-4 : 360 度パノラマ画像をテクスチャマッピングする仮想球体 .....	47
図 4-5 : ブルーバック環境 (左図), 人物像の抽出 (中央, 右図) .....	48
図 4-6 : Nordal Ninja MKII (左図), パノラマ画像の撮影の様子 (右図) .....	49

図 4-7 : パノラマ画像生成用の元画像 (左図) , 360 度パノラマ画像 (右図) ...	50
図 4-8 : 仮想球体中心から見た映像 (左図:レイヤなし, 右図:レイヤあり) .....	51
図 4-9 : 仮想球体中心から見た映像 (右図:レイヤあり) .....	51
図 4-10 : 標準刺激 (モニタ画面) .....	54
図 4-11 : 画角 40 度の比較刺激(左図), 画角 55 度の比較刺激(右図).....	54
図 4-12 : 画角 65 度の比較刺激.....	54
図 4-13 : 評価実験の様子 .....	55
図 4-14 : 被験者による奥行き知覚の違い .....	57
図 4-15 : 人物像の大きさの変化による奥行き知覚.....	58
図 4-16 : 背景の速度の変化による奥行き知覚.....	58
図 4-17 : 実写動画・実写画像における奥行き知覚.....	59
図 4-18 : 人物の静止画・動画と背景の速度変化による奥行き知覚.....	59
図 5-1 : 被災地の撮影の様子 .....	60
図 5-2 : 東日本大震災マスメディア・カレッジ・マップ .....	61
図 5-3 : 被災地の全周映像のドーム投影 .....	61
図 5-4 : 未来へのキオク (右図:震災後 , 左図:震災前) .....	62
図 5-5 : 実写動画レイヤ (左図) ,2 次元 CG 画像レイヤ (右図) .....	63
図 5-6 : 360 度パノラマ画像を用いた被災地のドーム映像体験①.....	63
図 5-7 : 360 度パノラマ画像を用いた被災地のドーム映像体験②.....	63
図 5-8 : 歪み補正・レイヤありのドーム映像.....	66
図 5-9 : 歪み補正なしのドーム映像 (左図), モニタ画像 (右図) .....	66
図 5-10 : 『立体感があった.』に関するグラフ .....	68
図 5-11 : 『その空間, その場にいる感覚があった.』に関するグラフ .....	70
図 6-1 : 障害物のあるチェックボードパターンのパノラマ画像 .....	75
図 7-1 : 実写ベースのドーム映像コンテンツの制作手法の体系化.....	83
図 8-1 : 『ちきゅうをみつめて』の CG 映像 (左図) , アニメ映像 (右図) .....	86
図 8-2 : 視線計測機 (EMR9) .....	87
図 8-3 : EMR9 のキャリブレーションの手順 .....	88
図 8-4 : 視線計測の様子 .....	88
図 8-5 : ディスプレイ環境 (左図: CDF , 右図: 日本科学未来館) .....	89
図 8-6 : 視線計測の実験結果 .....	91
図 8-7 : 4K カメラ (左図) , 4K カメラでの撮影の様子 (右図) .....	93
図 8-8 : 被災前の宮城県石巻市門脇町門脇小学校前 .....	94
図 A : 臨場感アーカイブで使用した東日本大震災被災地の360度パノラマ画像	101
図 B : 臨場感アーカイブ評価実験でモニタ画面に表示した 360 度パノラマ画像の ワンシーン .....	103



# 表目次

表 4-1 : 提示した比較刺激の組み合わせ .....	53
表 4-2 : 被験者が感じた 18 パターンの人物像の奥行き知覚 (1 回目) .....	56
表 4-3 : 被験者が感じた 18 パターンの人物像の奥行き知覚 (2 回目) .....	56
表 4-4 : 奥行き知覚の平均値を昇順で表示したもの .....	57
表 4-5 : 被験者 分散分析結果.....	57
表 4-6 : 人物像の大きさ 分散分析結果 .....	58
表 4-7 : 背景の速度 分散分析結果 .....	58
表 4-8 : 実写動画・実写画像 分散分析結果.....	59
表 4-9 : 人物の静止画・動画と背景の速度変化 分散分析結果 .....	59
表 5-1 : 提示した映像のパターン .....	67
表 5-2 : 提示した映像のパターンのそれぞれのアンケート結果 .....	67
表 5-3 : 提示した映像のパターンのそれぞれの標準誤差と標準偏差 .....	67
表 8-1 : 注視点移動回数 .....	90
表 8-2 : 毎秒ごとの注視点移動回数.....	90
表 8-3 : 注視点移動回数 .....	91
表 8-4 : 毎秒ごとの注視点移動回数.....	91

# 第1章 序論

プラネタリウムの定義には、以下の3つの種類がある。

- 投影機器そのものを指す場合
- 投影機器・ドーム型ディスプレイを有する施設を指す場合
- 投影機器を使って表現された解説行為や映像番組を指す場合

本論文におけるプラネタリウムは、投影機器・ドーム型ディスプレイを有する施設のことと定義している。

## 1.1 研究背景

現在、全世界にプラネタリウムは約2700館あると言われている。ヨーロッパは約500館、日本を除くアジアでは約300館、アメリカは約1500館、日本は360館という内訳になっている。この数字を見ると、アメリカにはかなりの数のプラネタリウムがあるような印象を受けるが、日本の総面積を考えた場合、360館は相当な数のプラネタリウムが設置されていることになる。また、アメリカにおいて直径が15メートルを超えるプラネタリウムは、1500館の内、50館程しかない。それに比べ、日本は360館の内90館もある。このような直径の大きいプラネタリウムは世界で250館と言われており、規模の大きいプラネタリウムの40%の数は日本に集まっているということになる。これらのことからわかるように日本は、世界で稀に見るプラネタリウム大国であると言える。

プラネタリウム機器を開発・製造という側面から見ても、このことは言える。現在、プラネタリウム機器の開発・製造をしている企業は世界で数社しかなく、約70%の世界シェアを日本の企業が占めている。

しかし、そのようなプラネタリウム大国である日本のプラネタリウムは現在、観客動員数の増加を見込むことが出来ず、プラネタリウム全体として低迷が続いている状況である。

その状況を招いている原因について、以下、研究背景の節で、プラネタリウムの投影機器の種類、導入されている投影機器について触れた後、プラネタリウムの収益・運営費、投影されている映像コンテンツの観点から考察していく。

### 1.1.1 プラネタリウムの投影機器の種類

プラネタリウムの本体投影機器は様々な種類がある。デジタル式、光学式、ピンホール式の3つの種類がある。

光学式とは、ガラスや金属に刻まれた原版を使用し、光源とレンズを組み合わせた投影装置によって再現するプラネタリウムであり、天体現象は投影装置自体を回転させることで星空を投影する種類である。この光学式には、アナログ型とスペースシミュレータ型がある。アナログ型とは、天体の位置を歯車の組み合わせで再現する投影機で、日本で最も多く普及しているタイプである。スペースシミュレータ型とは、コンピュータの演算により天体の位置を再現するタイプである。このスペースシミュレータ型の投影機では、アナログ型投影機で設定していた天体の移動なども、コンピュータにより命令を瞬時に実行することが出来る。このスペースシミュレータ型により、星空の映像コンテンツの自由度が格段に上がった。

ピンホール式とは、球体や多面体の恒星球に小さな穴をあけ、内側にセットした電球を点灯し、穴を抜けた光がスクリーンに光点を映し出すことで星空を投影するタイプである。大きなドームでの投影や本物の星のような輝く星は映し出すことが出来ないが、手軽であるため、自作を行う小型プラネタリウムで使用されることが多い。

デジタル式とは、天体の位置を全てのコンピュータで計算し、1台もしくは複数台の高輝度デジタルプロジェクター設備から出力する映像によって星空を再現する投影機である。これは、小型のプラネタリウムにおいては、ドームの中央に置いた1台のプロジェクターにより投影が行われている。中型・大型のプラネタリウムにおいては、複数のプロジェクターにより全天周の投影が行われている。

### 1.1.2 国内で採用されている投影機器

プラネタリウムのスクリーンは360°の全天周映像の提示が可能のため、裸眼の状態でも多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ている。

しかし、全国に点在している公設公営のプラネタリウムは、予算的な問題に見まわられており、デジタル型投影方式への移行による3次元CG映像のドーム映像コンテンツの導入は極めて難しい状況である。現在、全国に360館プラネタリウムは点在している(図1-1)が、そのうち3次元CG映像を投影することが出来るデジタル型投影方式に移行しているプラネタリウムはわずか30館に留まっている。つまり、残りの330館である全国のほとんどのプラネタリウムがアナログ型投影方式を採用しており、

デジタル型投影方式への移行に足踏みしている状態である。

現在、プラネタリウムは、北海道及び関東圏、関西圏中心に集まっている（図 1-1）。デジタル型投影方式を採用しているプラネタリウムは、それらの大都市がほとんどを占めており、地方のプラネタリウムは、アナログ型投影方式を採用しているといった傾向がある。デジタル型投影方式の移行への障壁は、デジタルプロジェクターの導入コストももちろんであるが、3次元CG映像コンテンツによる映像コストが最大のボトルネックとなっている。その影響により、アナログ型投影方式からデジタル型投影方式への移行がプラネタリウム業界全体で遅れているのが現状である。

本論文では、プラネタリウムのこのような近年の動向の中で、ボトルネックとなっているプラネタリウムの映像制作費の低コスト化に取り組み、全国に点在するアナログ型投影方式を採用しているプラネタリウム施設をデジタル型投影方式への移行を促すことで、観客動員数の増加によるプラネタリウム業界全体の活性化を目指している。

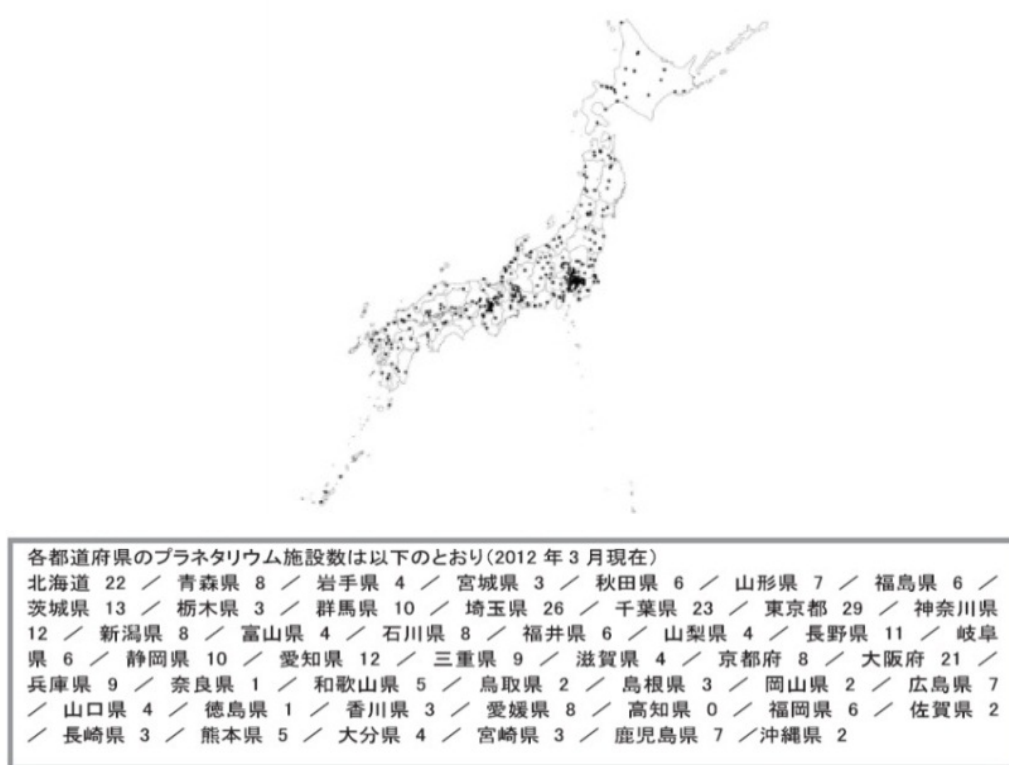


図 1-1：全国に点在するプラネタリウム<sup>1</sup>

<sup>1</sup> プラネタリウムデータブック 2010 : <http://shin-pla.info/documents/files/PDB2012.pdf>

### 1.1.3 投影方式の移行に伴う映像コンテンツの変化

近年のプラネタリウムの最大の特徴として、デジタルプロジェクターを使用したプラネタリウム映像の投影が挙げられるだろう。日本科学未来館「MEGASTAR-IIcosmos」、池袋のサンシャインシティスターライトドーム「満天」、六本木ヒルズ「スカイプラネタリウム」、名古屋市科学館のプラネタリウムといったプラネタリウム施設である。これまでのアナログ型投影方式のプラネタリウムでは、ドームスクリーンに星空を投影し、太陽・惑星・月などの天体の位置や動きといった天体現象の様子を表現してきた。しかし、デジタル型投影方式が主流となってきた近年のプラネタリウムでは、映し出される星の数が急増しただけでなく、星座の天体コンテンツ以外の様々な映像コンテンツを提示することが可能となっている。図 1-2 は、日本科学未来館の『ちきゅうをみつめて』の映像コンテンツである。この映像コンテンツは、アニメ映像や CG 映像が融合したものである。このような多様な映像コンテンツが、近年のプラネタリウムでは楽しむことができる。



図 1-2：日本科学未来館『ちきゅうをみつめて』<sup>2</sup>

### 1.1.4 全国で投影されている映像コンテンツ

日本プラネタリウム協議会が出版しプラネタリウムデータブック 2010（以下 データブック）[1]に基づいて、どのような目的でプラネタリウムが設置されているのかというアンケート項目について、まとめたものが図 1-3 である。データブックによれば、「科学・天文学の普及」、「青少年の育成」、「豊かな文化形成」、「学校教育の補助」と

<sup>2</sup> 日本科学未来館「ちきゅうをみつめて」：

<http://www.miraikan.jst.go.jp/dometheater/chikyuwomitsumete.html>

いった目的で、ほとんどのプラネタリウムが設置されている。しかし、ほとんどのプラネタリウムが教育目的であり、「娯楽・アトラクション」を目的として設置していないことがわかる。

これは、星座以外の映像コンテンツを投影することが出来ないアナログ型投影方式を採用しているプラネタリウム施設が多くを占めていることから起因していると考えられる。

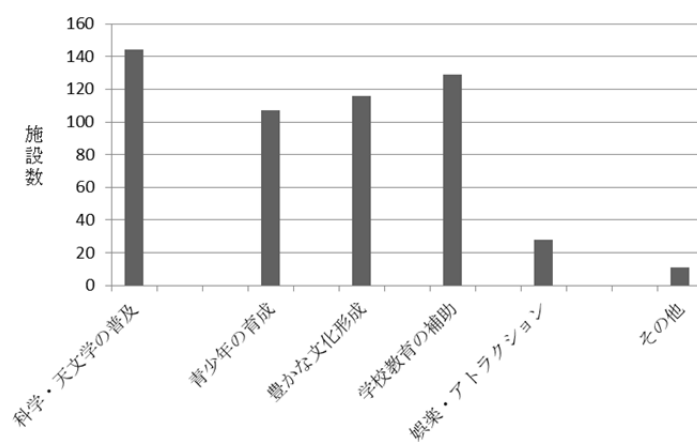


図 1-3：プラネタリウムの設置の目的<sup>3</sup>

ほとんどが教育目的で制作されているプラネタリウムの映像コンテンツだが、それらの映像は、各施設で企画し、自分たちで、あるいはプロダクションに依頼して作るオリジナル番組と、映像プロダクションが制作した映像作品をそのまま投影する配給番組がある。

オリジナル番組は、各施設がアイデアを出し提案するため、一から制作するものである。そのため、その施設の特徴を強く打ち出すことが可能となる。天文や科学の話題を独自の視点で深く掘り下げることがあれば、地元に関する話題を盛り込む映像コンテンツを制作し、それぞれの地域の独自性を活かした映像コンテンツの投影も可能である。また、オリジナルという言葉どおり、「そこでしか見られない番組」となるため、そのプラネタリウムの独自性による観客増加が見込めるだけでなく、プラネタリウム職員も映像コンテンツ制作に携わるため、映像コンテンツを解説するナレーションの質が上がる。これにより、プラネタリウム施設としての質の向上に繋がることも可能となっている。

<sup>3</sup> プラネタリウムデータブック 2010 : <http://shin-pla.info/documents/files/PDB2012.pdf>

一方配給番組は、映像プロダクションなどが制作した映像作品を各地のプラネタリウム施設で投影するものである。番組・ストーリーとして完成度が高いものが多く、また単独館では制作が難しい大がかりな作品も投影することが出来る。夏休みなど子どもが多い季節には、アニメなどのキャラクターを登場させる配給番組が投影されることが、近年の傾向としてある。その他、人気のある作品は、日本中のプラネタリウムで上映されることもある。全作品をオリジナルで制作する施設もあるが、年に数回はオリジナル、数回は配給作品を投影している施設もあり、オリジナル番組と配給番組の割合はプラネタリウムによって様々である。

しかし、オリジナルの番組と言えど、現在の日本中のプラネタリウムの傾向としては、前述の通り教育目的の映像コンテンツを提示するケースがほとんどである。また、配給番組においては、コストがオリジナル番組に比べ、安く済むため、日本各地のプラネタリウムで同様の映像番組を導入している状況である。そのため、視聴者には、どこのプラネタリウムにおいても、オリジナル番組、配給番組共に似通った映像コンテンツであるといった印象を与えがちであり、それぞれのプラネタリウムが独自性をあまり出せていない。

### 1.1.5 プラネタリウムの現状（観客動員数・運営費・収益）

国内のプラネタリウム施設では、国内景気に伴う予算・経費削減によって、プラネタリウム施設における観客動員数は、減少傾向にあった。しかし、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、改革を行い、施設における観客数の減少という傾向は緩和しつつある。しかし、未だに観客動員数が伸び悩んでいるのが現状である。

データブックにより集計されたデータに基づいて、プラネタリウムの設置及び運営の主体組織を表したものが図 1-4、図 1-5 である。これらからわかるように、プラネタリウムは民間法人による設置及び運営は少なく、ほとんどが、市区町村が主体となってプラネタリウムを設置及び運営を行っている。

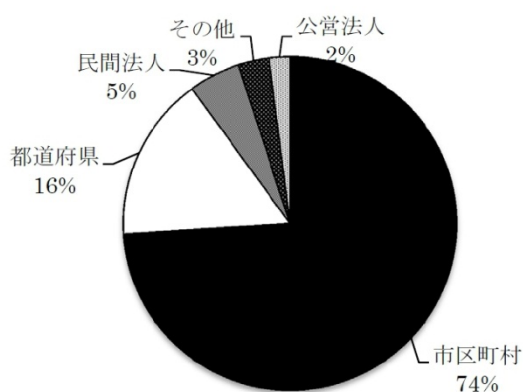


図 1-4：プラネタリウム設置の主体組織<sup>4</sup>

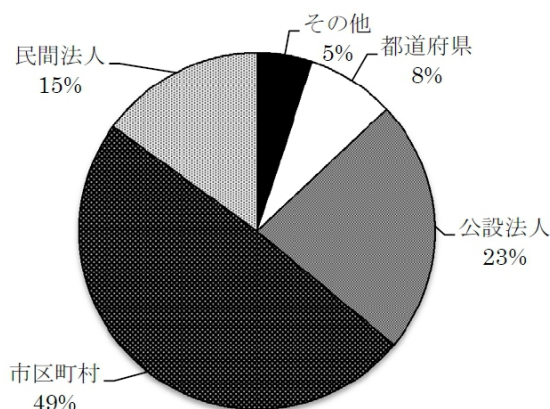


図 1-5：プラネタリウム運営の主体組織<sup>5</sup>

また、それらの全国のプラネタリウム施設の総観覧者数は、図 1-6、1-7 のようになっている。これは、「プラネタリウム国勢調査」の検討[3] 及び、日本プラネタリウム協会が出版するプラネタリウム白書[4] (以下 白書)、データブックの総観覧者数のデータをまとめたものである。1990 年頃までは館数の増加と総利用者数の増加が対応しているが、児童数が減少に転ずると、それに流されるように利用者数も減少している。

1999 年以降のプラネタリウムの総観覧者数を示した白書のデータでは 2000 年度 660 万人、2001 年度 688 万人、2002 年度 673 万人、2003 年度 680 万人となっている。また、データブック の近年のデータでは、2004 年度 679 万人、2005 年度 733 万人、2006 年度 743 万人、2007 年度 730 万人、2008 年度 749 万人、2009 年度 725

<sup>4,5</sup> プラネタリウムデータブック 2010 : <http://shin-pla.info/documents/files/PDB2012.pdf>



万人となっている。1990年度から、2000年度まででプラネタリウム観覧者数は下げ止まり、2004年まで650万人前後の横ばいの傾向となっていた。そして、2005年度からは若干の上昇が見られたが、750万人前後の再度横ばいの傾向が続いていることがわかる。2000年度までプラネタリウムの館数は伸びておりそれに伴って観客動員数は増加していたが、現在に至るまでプラネタリウム人気の低迷が続き、各地の閉館も相次ぎ、観客動員数で伸び悩んでいるものと考えられる。

このような観客動員数の伸び悩みがあるプラネタリウムだが、プラネタリウム設置数の推移については現在、若干ではあるが上昇傾向にある（図1-8）。プラネタリウムの設置数は1993年度をピークに減り始め、2003年度には最も少ない1館の設置のみになっている。そして、2004年度から若干上昇し、2010年度から再びかなりの増加に転じている。2010年度と2011年度はリニューアル館と新規館を合わせると、1年間で10館ずつオープンしている。これは1995年度以降では最多となる数になっている。その2010年度2011年度にリニューアル館、新規館としてオープンしたプラネタリウムは、大都市圏のみの設置となっている。これらの大都市圏のプラネタリウムが観客動員数をけん引しているが、地方のプラネタリウムは観客動員数を確保出来ず、低迷が続いているため観客動員数が頭打ちになり横ばいになっているものと考えられる。

このように、デジタルプロジェクター設備を完備している大都市圏のプラネタリウムは、迫力のある多様なコンテンツで人気を集め、メディアにも取り上げられているが、地方のプラネタリウムはデジタルの波に乗り遅れてしまっていると言う地方と大都市圏のプラネタリウムの二極化が進んでしまっている。

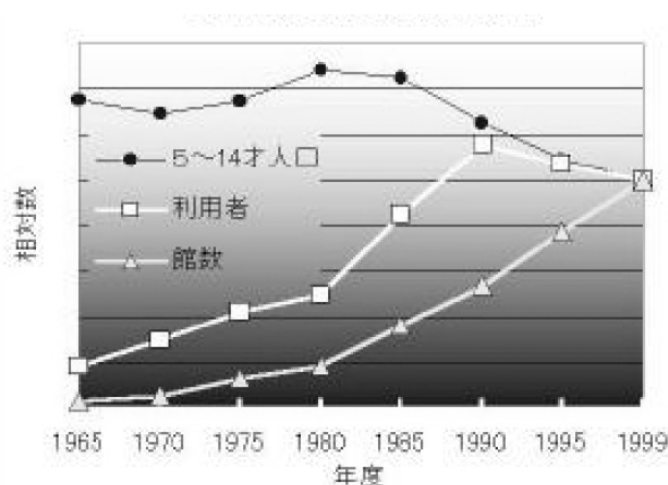


図 1-6 : プラネタリウムの観覧者数の推移 (1965年～1999年) <sup>6</sup>

<sup>6</sup> 「プラネタリウム国勢調査」の検討：<http://shin-pla.info/documents/files/PDB2012.pdf>

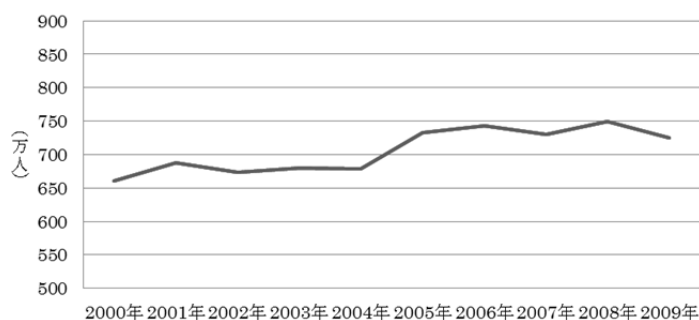


図 1-7 : プラネタリウムの観覧者数の推移 (2004 年～2009 年) <sup>7</sup>

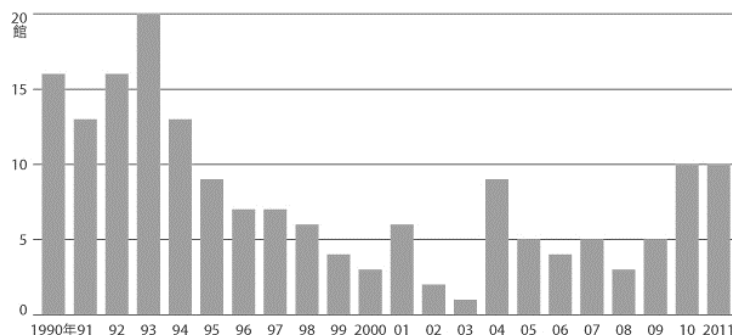


図 1-8 : プラネタリウムの設置数の推移 <sup>8</sup>

なぜ、プラネタリウム全体でデジタル化の波に乗ることが出来ないのか、利用料金収入と運営費の観点から考察していく。プラネタリウム施設の座席数の割合を示したものが、図 1-9 及びプラネタリウム施設の利用料金収入を示したものが図 1-10 である。200～299 席のプラネタリウムは、300 万円前後であるが、300 席以上のプラネタリウムは、年間 3000 万円弱もの収入がある。

ここまで、利用料金収入に差があるのは、座席数の影響のみだけでなく、デジタルプロジェクターの導入による映像コンテンツの多様化の影響であると考えられる。300 席以上のプラネタリウムは、大都市圏のプラネタリウムであり、プラネタリウムのリニューアルに伴い、ドームスクリーンの規模を大きくし、座席数を増やしているだけでなく、高輝度のデジタルプロジェクターを複数台導入しているケースが多い。そのため、300 席以上あるプラネタリウムの多くは、全天周 360 度の多様な映像コンテンツを上映し、観客動員数を伸ばしている。しかし、このような高い収入を得ているプラネタリウムは、全体の 6%

<sup>7</sup> プラネタリウムデータブック 2010 : <http://shin-pla.info/documents/files/PDB2012.pdf>

<sup>8</sup> 日経ビジネス, 本物を越えた“夜空” : <http://business.nikkeibp.co.jp/>

であることがわかる。それに比べ 200 席未満のプラネタリウムの収入は、年間 100 万円弱であり、このようなプラネタリウム施設は、全体の 68%であることがわかる。つまり、半数以上のプラネタリウムは収入が極めて少ないという状況が続いている。

図 1-6 において、5～14 歳の児童の観客動員数が減少し、それに応じて総観客動員数が減少しているが、これは、プラネタリウムのターゲットとする顧客層を増やしていく必要性を示していると考えられる。これまで、児童をターゲットとした映像コンテンツのみが上映されてきたが、今後は、児童をターゲットとした教育目的の投影だけでなく、娯楽・アトラクションを目的とした多様なジャンルの全天周映像の投影が、観客動員数の増加による収益の増加の鍵になっていくと考えられる。

また、上記の収益の面だけではなく、予算・経費面では、公設公営のほとんど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、白書によれば、2000 年度から 2003 年度までの 4 年間で 25 %の大幅な削減がされている。

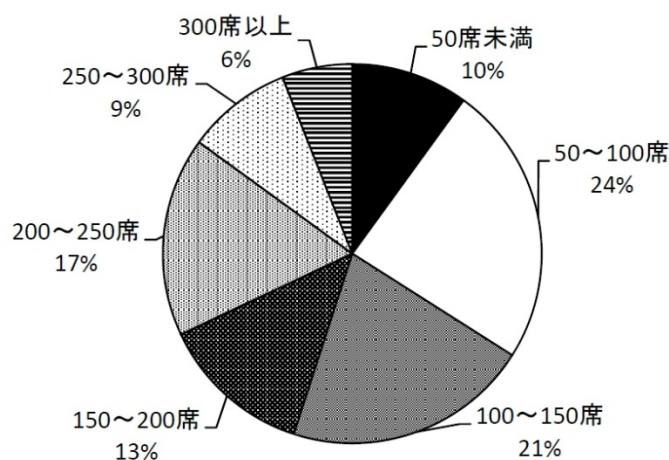
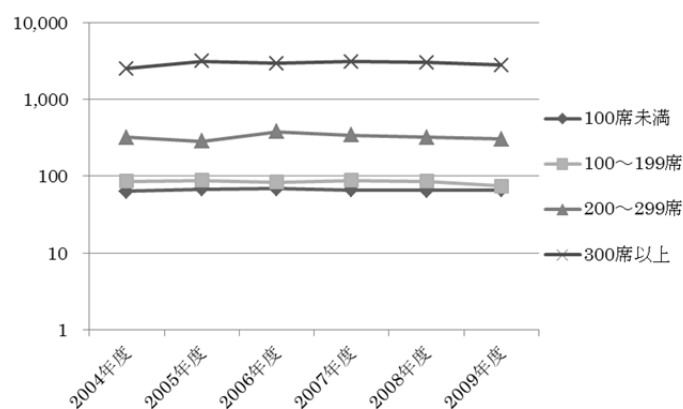


図 1-9 : プラネタリウムの座席数<sup>9</sup>

<sup>9</sup> プラネタリウムデータブック 2010 : <http://shin-pla.info/documents/files/PDB2012.pdf>



100席未満	63.708333	68.437500	68.629167	66.645833	65.616667	66.420833
100～199席	86.275588	88.273284	83.967304	88.745147	85.550784	74.175245
200～299席	321.63663	285.87185	377.63297	341.62902	320.54005	305.49698
300席以上	2500.039400	3119.917400	2950.490600	3092.840000	3033.752500	2782.946900

図 1-10 : プラネタリウム施設の利用料金収入 <sup>10</sup>

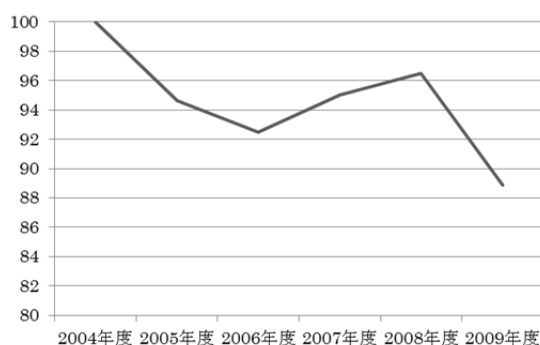


図 1-11 : プラネタリウムの運営費の指数 (2004 年度が 100) <sup>11</sup>

一方、白書のデータでは、2004 年において、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。また、その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いる。この数値からわかるように、プラネタリウムの維持管理は、約 50%の運営費を占めてしまう程高額であり、ただでさえ少ない運営費の中で、番組制作費を捻出しなければならない。

<sup>10,11</sup> プラネタリウムデータブック 2010 :  
<http://shin-pla.info/documents/files/PDB2012.pdf>

運営費の削減は、2004年以降も進んでいる。図1-11は、2004年度～2009年度のプラネタリウムの運営費の削減を示している。2007年度と2008年度において、若干の上昇が見られたが、2009年度においては、過去最低の運営費を記録しており、2004年度に比べ、11.1%の削減がされている。

このような状況では、全天周3次元CGモデリングされた莫大なコストが掛かる映像コンテンツをプラネタリウムに導入することは極めて困難である。そのために、プラネタリウム全体として本体投影機を含め、デジタル化の進んでいる今日的な対応が遅れてしまっていると言える。

やはり、プラネタリウムの活性化のために、オリジナル番組を教育コンテンツ以外でも多様化し、施設ごとのオリジナリティを出していくことが、今後必要である。しかし、低迷している収益を含む運営費の中から、オリジナル番組の制作費用を捻出することは、現在厳しい状況が続いている。

### 1.1.6 脚光を浴びるプラネタリウム施設

日本科学未来館「MEGASTAR-IIcosmos」、池袋のサンシャインシティスターライトドーム「満天」、六本木ヒルズ「スカイプラネタリウム」、名古屋市科学館プラネタリウムなどの近年、設置されたプラネタリウム施設では、星座を学ぶことが出来る天体のコンテンツのみではなく、独自のアニメのコンテンツや科学の学習コンテンツといった様々な娯楽・アトラクション要素の強い映像コンテンツが多く上映され、観客動員数を伸ばしている。

その中でも特に脚光を浴びている施設として、2011年3月19日、世界最大のドームスクリーンとしてリニューアルオープンした名古屋市科学館のプラネタリウムが挙げられるだろう。当初の年間予想入場者数100万人を約半年で達成し、2011年末までの来場者127万人と好評を博している。図1-12は、この目覚ましい観客動員数の推移を示したものである。

このような近年の傾向からも、全国に点在するプラネタリウムも、投影機のデジタル化を進めることで、臨場感の高い星座に限らない多様な映像コンテンツの投影が可能になり、活性化していくことが可能であると考えられる。

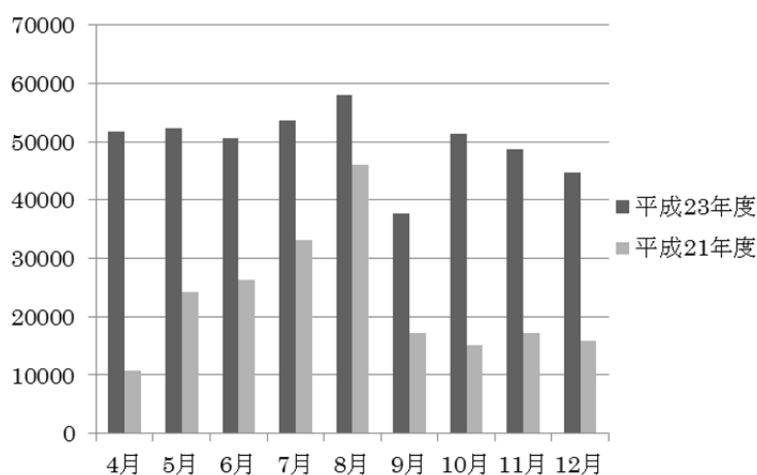


図 1-12：名古屋市科学未来館 プラネタリウムの観客動員数の推移<sup>12</sup>

### 1.1.7 プラネタリウムのスクリーン特性

近年、大きなスクリーンに高精細・広視野角な映像を投影する高臨場感ディスプレイが注目されつつある。その皮切りになったのが、2005年に行われた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である。この愛知万博では、『地球の部屋』という360度の天井だけでなく、床面まで視聴者の体全体を覆ったディスプレイが展示され、話題になった。

そのようなプラネタリウムに代表される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いる。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。そのため、プラネタリウムの視聴者は家庭用テレビや映画館のスクリーンで見るような映像とは異なった迫力のある臨場感の高い映像を楽しむことが出来る。

プラネタリウムに限らないドーム環境のスクリーンでは、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。両眼視差とは、右目と左目で見える像の位置あるいは視方向における差異のことである。脳が両眼視差によるズレを補正しひとつの映像に合成することで、人間の目は立体感を掴むことが出来るようになっている。現代の3次元映像

<sup>12</sup>名古屋市科学未来館リニューアルのねらい：  
[http://www.jcsm.kahaku.go.jp/files/pdf/data/case19\\_base.pdf](http://www.jcsm.kahaku.go.jp/files/pdf/data/case19_base.pdf)

は、その両眼視差の特性を利用し、右目用と左目用に作った別々の映像を振り分けて見せることで、立体的な 3D 映像として見えるように制作されている。3 次元映像は、3 次元メガネを掛けることで、両眼視差の効果をいなければ見ることが出来ないと思われがちであるが、プラネタリウムのようなドーム環境では、運動視差の効果を利用することで、裸眼で 3 次元映像を見ることが可能である。運動視差とは、観察者が身体を移動させると、視空間にある対象相互の位置が一定方向に規則的に変化しているように見える現象のことを言う。近年、裸眼で楽しむことが出来る 3 次元テレビが商用化されているが、それらの映像に比べ、プラネタリウムでは映像として自然な立体感を体感し、楽しむことが可能である。

しかし、そのような視覚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のが現状である。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。このようなドームディスプレイ特有の映像効果を積極的に利用した映像コンテンツの制作手法の体系化が求められている。

### 1.1.8 ドーム映像コンテンツのコスト

最近のプラネタリウム施設では、これまで述べてきたように、高輝度プロジェクター設備の導入とデジタル型投影方式への移行により、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、これまで述べてきたように、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。映画の映像コンテンツの上映期間は 50 パーセント以上は 1 か月強であるが、プラネタリウムの映像コンテンツの 50 パーセント以上の上映期間は約 3 ヶ月となっている。この約 3 ヶ月とは、季節の変わり目であることがほとんどである。

映画の場合であると、シネマコンプレックスの映画館が増えてきており、一つの映画館に幾つものスクリーンが準備されているケースがほとんどである。そこでは、映像コンテンツのジャンルも豊富であり、視聴者は自分の気分に合わせてどのような映像を見るのか選択することが出来る。また、一つのスクリーンごとに投影されている映像コンテンツも当然異なっているため、多くの映像作品が速い周期で切り替わるこ

とが可能となっている。

これにより、映画に比べ、プラネタリウムのリピータ客は減少しやすいという問題が生じる。また、3次元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。映画の映像コンテンツのような全周映像でない映像コンテンツのCGモデリングであれば図1-13の示す黄色の領域のような一部分の必要な領域のみのモデリングで済む。

しかし、プラネタリウムのようなドーム型ディスプレイの全天周空間をモデリングする場合、図1-13の黄色の領域だけでなく、茶色の領域、つまり全天周360度の空間のモデリングも必要となる。映像コンテンツのワンシーンを準備するのにも、一部の領域だけでなく、全周の領域でモデリングしなければならない。この影響により、3次元CGモデリングの領域が増えた分、さらにプラネタリウムの映像制作コストは莫大なものになる。



図 1-13 : CG モデリングによる映像制作

その全天周空間をモデリングしなければならないという点で、コンテンツの制作が容易に行える状態には至っていない。一般的な3次元CGモデリングによる映像制作について述べる。映像制作の分野でよく用いられているソフトウェアとしては、3ds Max, MAYA, SOFTIMAGE などがある。これらのソフトウェアは多様な機能を持ち、レンダリングをトータル的にサポートしているものである。以下に3次元CGソフトウェアを用いた映像制作について示す。



まず、3次元CG映像コンテンツとは、スクリーンにコンピュータによって、自由な視点から眺めた写真のようにリアルに物体や風景を描くものであり、それが最大のメリットである。3次元CG映像コンテンツにおける技術に関わる問題は、3次元CG映像に関する技術を理解しなければならないことである。日本国内では、大半を占めている2次元映像のクリエイターが3次元CG映像コンテンツを制作する際の障壁は大きく、3次元CG映像コンテンツの制作は、2次元の映像コンテンツ制作とは全く異なるため、2次元の映像コンテンツの熟練者が3次元CG映像コンテンツの制作を行うには、3次元CGに関するノウハウを新たに習熟しなければならないといった問題が存在するのである。この障壁により、3次元CG映像に関する技術を学ぶ2次元映像のクリエイターは少なくなってしまう。

これまで述べてきたように、プラネタリウムで上映される3次元CG映像コンテンツの最大の問題は、映像コンテンツの制作コストの高コスト化である。

次に、プラネタリウムの映像コンテンツが高コスト化してしまう仕組みについて、述べる。3次元CG映像の映像コストの増大の流れを示したのが図1-14である。高輝度プロジェクターの性能の向上が主要因としてあり、それに続くように緻密な質感表現、形状表現、運動表現の必要性に繋がり、それによりデザイン作業量・プログラム作業量が増え、高コスト化していくといった大まかな流れになっている。

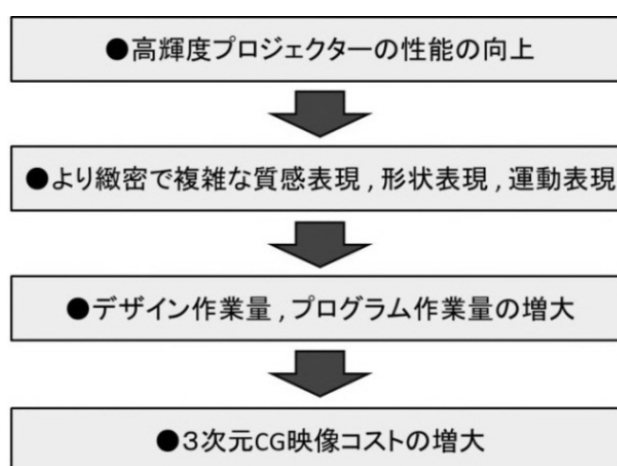


図 1-14 : 3次元CG映像の映像コストの増大の流れ<sup>13</sup>

主要因として、高輝度プロジェクターといった映像表示デバイスの高性能化がある。

<sup>13</sup> 法人デジタルコンテンツ協会, 3D コンテンツに関する調査研究:  
[http://www.dcaj.org/report/2006/data/dc07\\_12.pdf](http://www.dcaj.org/report/2006/data/dc07_12.pdf)

解像度の点において目覚ましい進化をしている。そのような映像表示デバイスの解像度・色再現性が向上するほど、3次元CG映像コンテンツにも高い映像品質が求められるようになる。それにより、デザインの作業量やプログラム作業量が莫大な量になる。次に、それによって3次元CG映像の制作のどこに一番負荷が掛かるのか、一般的な3次元CG映像の制作のフローに基づいて述べる。3次元CG制作において、一般的に、モデリング⇒シーンレイアウト⇒レンダリング⇒レタッチといった流れで行われる。

モデリングでは、コンピュータの中に、オブジェクトの形状に関する3次元的な情報及び、物体のマテリアルに関する情報を生成する。形状や質感は、時間と共に変化するように設定する。光源に関する情報を生成する。

次に、シーンレイアウトでは、コンピュータの中に、カメラに関する情報を生成する。そして、コンピュータの中にある3次元的なシーンにモデリングした物体、光源、カメラを配置する。それぞれの配置については、時間と共に変化するように設定する。そして、レンダリングでは、設定したカメラで撮影される映像をレンダリング、つまり映像の生成を行う。計算時間はシーンの複雑さ、映像の品質に依存する。映画やCMレベルの品質が要求される場合は、1枚の映像の生成に数時間から数日かかることもある。最後に、レタッチでは、3次元CGとして生成した映像を2次元CGの映像として修正する。色味やコントラストの修正など、様々な画像処理が行われる。フォトショップなどの専用のフォトレタッチソフトが利用される。

この工程は、図1-14の緻密で複雑な質感表現、形状表現、運動表現によるデザイン作業量、プログラム作業量を示したものである。制作される映像にもよるが、最も時間や費用を要する部分は、モデリングの工程である。このモデリングの工程が、高輝度プロジェクターの導入といった映像表示デバイスの高性能化の最も影響を受ける工程であり、膨大な人件費の要因である。

4Kプロジェクターといった高性能映像表示デバイスの普及に伴って、今後さらに3次元CG映像の高コスト化の傾向が強まると考えられる。現在、電機メーカーやNHKで8K、16K等の超高解像度のデジタルプロジェクターが開発されつつある。そのような中で、4Kプロジェクターの低コスト化が進み、プラネタリウムへの導入は、進みつつある。2012年7月にリニューアルオープンした多摩六都科学館のハイブリッド・プラネタリウムでは、4Kプロジェクターが4台使用され、世界最先端の高精細映像が楽しむことが出来る(図1-15)。この多摩六都科学館のハイブリッド・プラネタリウムのように、4Kプロジェクターを導入するプラネタリウムは、少しずつではあるが今後増えていくことが予想される。

そのため、高輝度プロジェクターといった映像表示デバイスの高性能化により、今後も 3 次元 CG 映像コンテンツにも高い映像品質が求められるようになり、デザインの作業量やプログラム作業量が莫大な量になることが予想される。

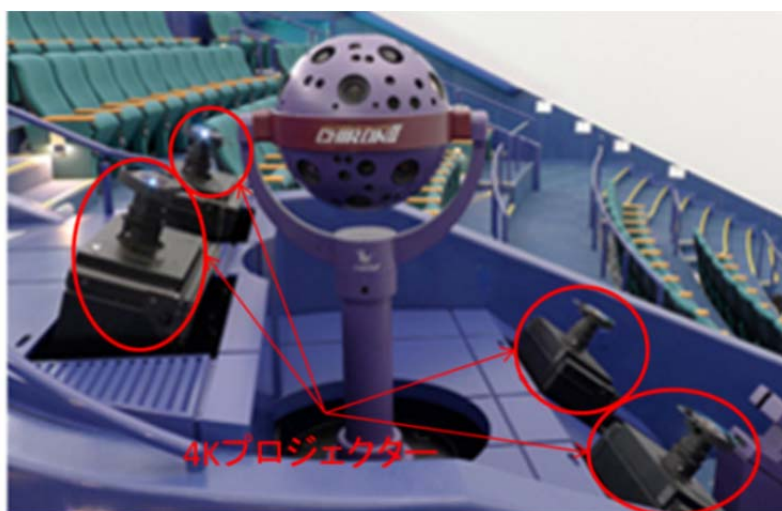


図 1-15：多摩六都科学館「ハイブリッド・プラネタリウム」<sup>16</sup>

これまで述べてきたような 3 次元 CG 映像コンテンツは、外部にコンテンツ制作を委託した場合、30 秒で約 800 万円（2 次元要素なしの 3 次元 CG モデリングのみを利用した映像コンテンツ）という莫大なコストが掛かると言われている。それぞれの映像コンテンツごとのコストについては、映像制作会社の各社全てブラックボックスとなっている。これは、ドーム直径や、プラネタリウムシステムでもコストは増減し、プラネタリウムごとに異なっているためであると考えられる。

日本科学未来館で投影されている『ちきゅうをみつめて』の映像コンテンツ（約 30 分）の場合、3 次元 CG モデリングされた全天周空間は、別のコンテンツでモデリングされたものをカメラワーク等の視点の設定を変更し使用しているため、3 次元 CG モデリングに関してほとんどコストが掛かっていないが、約 1000 万円のコストが掛かったと言われている。現在、使用されている映像コンテンツはピンキリであり、数億円掛けられた映像コンテンツもあれば数百万円程の映像コンテンツもある。プラネタリウム大手企業が手掛ける映像コンテンツは高価格の映像コンテンツであり、その企業が運営するプラネタリウムでは、莫大なコストで制作された迫力のある 3 次元 CG

<sup>16</sup> 五藤光学研究所，多摩六都科学館「ハイブリッド・プラネタリウム」：  
<http://www.goto.co.jp/planetarium/index.html>

映像コンテンツを視聴することが可能である。

そのような莫大な映像コストの影響により、一つのドーム映像コンテンツの上映期間は必然的に長くなってしまっている。また、モデリングされた CG オブジェクトにおいても、1 つの映像コンテンツ内だけでなく、映像コンテンツを跨いで使い回しされることが多く、映像制作の幅が必然的に狭くなってしまっている。

全国のプラネタリウムにおいて、配給番組である天体コンテンツを中心とした似通ったドーム映像コンテンツが投影されていることがほとんどである。これまで背景の節で述べてきたプラネタリウムの観客動員数の減少、それによる収益の減少、財政難による運営費の削減、3次元 CG 映像コンテンツの高コスト化、これら全ての悪循環こそがプラネタリウム全体の低迷に繋がっていると考えられる。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整備、つまり、新しい映像コンテンツの制作手法の体系化が求められていると考えられる。

## 1.2 研究目的

本研究の目的は、プラネタリウム施設の利用率向上、つまり観客動員数の増加によるプラネタリウム業界全体の活性化である。そのために、近年、観客動員数として減少しつつある児童をメインターゲットとした天体の映像コンテンツに限らない、多様な顧客層をターゲットとした多様な映像コンテンツの充足が必要となる。

そこで、本研究では、全天周のドーム映像コンテンツ制作の低コスト化、円滑化、多様化が可能となる新しいドーム映像コンテンツの制作手法の体系化に取り組む。そうすることで、全国に点在しているアナログ型投影方式を採用しているプラネタリウムのデジタル型投影方式への移行を促していくことを目指している。

本研究では、新しいドーム映像コンテンツの制作手法として、レイヤ分割法の考え方に基づいた実写ベースのドーム映像コンテンツの制作手法を提案する。レイヤ分割法とは、2次元の映像要素を組み合わせ、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る。レイヤ分割法による映像コンテンツの制作手法については、第4章でドーム環境において具体的に述べる。第4章では、まず2次元映像要素のみの映像でも立体感を生み出すことが出来るドーム環境のスクリーン特性について述べる。そして、レイヤ分割法による映像コンテンツ制作手順について、これまで行われてきたレイヤ分割法に関する先行研究について述べる。

レイヤ分割法を用いることで3次元 CG モデリングのような特殊技能を持たなくと

もコンテンツ制作が容易に行うことが可能であり、2次元映像要素を映像コンテンツ用素材として使用しているため、それぞれのオブジェクトについて、3次元モデリングを行う必要がなく、映像制作の円滑化・低コスト化が見込める。

これまで、レイヤ分割法の研究では、2次元映像要素として、2次元CG映像やアニメ映像をレイヤとして空間内に配置し、レイヤの移動による奥行き感の知覚変化を調べてきた。本研究では、実写ベースの映像コンテンツ制作にフォーカスしているが、その理由は2点ある。1点目として、より映像のリアリティを追求するという点である。実写であれば、2次元CG画像・映像に比べ、当然リアリティが増す。2点目として、映像コンテンツ制作の更なる円滑化が見込めるという点である。2次元CG画像・映像に比べ、実写の画像・映像であれば、カメラ・ビデオカメラで撮影したものを、ほとんど手間を掛けず映像コンテンツ用の素材として使用することが出来る。

実写画像・実写映像の2次元映像要素をベースにしたレイヤ分割法の提案を行うことで、よりリアリティのある、より円滑に臨場感の高いドーム映像コンテンツ制作が可能となる。

## 第2章 関連研究

本章では、これまで開発されてきた様々な種類のドーム型ディスプレイについて述べる。そして、それらのドーム型ディスプレイを用いられ研究されている映像コンテンツ制作について述べる。

### 2.1 ドーム型ディスプレイ

映像を投影するディスプレイは、現在まで箱形、多面体形、円筒形、球面形と様々な形状が開発されている。スクリーン形状の影響が大きい要素としては、スクリーン繋ぎ目と視距離の問題が挙げられる。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にある CAVE のような箱形のディスプレイでは、視聴者の床面まで立体感のある 3 次元映像を見ることが出来るといったメリットがあるが、スクリーン間をシームレスな形状には形成できず、またスクリーンの隅に視点が近づくほどスクリーンまでの視距離が遠くなるというデメリットもある。

そのデメリットにより、視聴者の視点方向によって視距離が異なってくるため観察者に違和感を生じさせる原因となる。



図 2-1 : CAVE

その反面、プラネタリウムのようなドーム型スクリーンでは、球状で大型であるため、設置の面で大きな問題はあるが、スクリーンをシームレスに加工することが可能である。そのため、視点をスクリーン球の中心とした場合、見る角度・方向によらず視距離が一定となるため没入型ディスプレイとしては好ましいと考えられている。

本研究では、プラネタリウムの活性化を目的としており、ドーム型ディスプレイとしてプラネタリウムにフォーカスしているが、プラネタリウム以外にも球面状のドーム型ディスプレイは、様々なタイプのものがある。前面投写を行うドーム型ディスプレイでは、OMNIMAX Theater (図 2-2 左図) や、VisionStation (図 2-2 中央図)、CyberDome (図 2-2 右図)、Ensphered Vision (図 2-3 左図) などが挙げられる。これらのスクリーンは全て球面状であり、Ensphered Vision は全周の球面スクリーン、その他では半球面スクリーンとなっている。また CyberDome と Ensphered Vision では映像をプロジェクターからそのままスクリーンに直接投影しソフトウェアで幾何学的な補正をしているのに対し、その他は魚眼レンズなどの特殊な広角レンズを用いて広い視野領域に映像を投影している。また、アーチスクリーン (図 2-3 右図) といったドームスクリーンではないが、曲面型スクリーンで視聴者の水平方向に視野を覆う没入型ディスプレイもある。



図 2-2:OMNIMAX (左図)<sup>17</sup>, VisionStation (中央図)<sup>18</sup>, Cyber dome (右図)<sup>19</sup>



図 2-3 : Ensphered Vision (左図)<sup>20</sup>, アーチスクリーン (右図)<sup>21</sup>

<sup>17</sup> OMNIMAX Theater : <http://www.thetech.org/imax/about-imax>

<sup>18</sup> Cyber dome: [http://panasonic.biz/solution/press/case/case\\_0912.html](http://panasonic.biz/solution/press/case/case_0912.html)

<sup>19</sup> Vision Station: <http://www.vrealities.com/visionstation.html>

<sup>20</sup> Ensphered Vision:

[http://intron.kz.tsukuba.ac.jp/enspheredvision/enspheredvision\\_j.html](http://intron.kz.tsukuba.ac.jp/enspheredvision/enspheredvision_j.html)

<sup>21</sup> アーチスクリーン:

<http://www.solidray.co.jp/data/product/screen/arch/archscreen2.htm>

## 2.2 映像コンテンツ制作に関する研究

本節では、ドーム型ディスプレイの節で例に挙げたようなドーム型ディスプレイを用いて研究開発されている映像コンテンツ制作について述べる。ここで述べる映像コンテンツ制作とは、仮想空間の構築手法でもある。

これまで、ドーム型スクリーンにおける仮想空間の構築手法の研究は、主に景観シミュレーションの分野で研究されている。景観シミュレーションに伴う現実環境の三次元 CG モデリングの研究は、ナビゲーション・ウォークスルーへの応用が考えられている。

しかし、3次元 CG モデリングされた仮想環境の構成を行う場合、対象とする現実環境が広域になるとその3次元 CG モデリングは難しくなる。景観シミュレーションやナビゲーション、ウォークスルーで3次元 CG モデリングを行う場合、対象とする現実環境は広大な領域となる。その広大な領域を3次元 CG モデリングする際、ほとんどの場合がモデリングソフトを用いて手動で作成されているが、制作コストが膨大になるという問題がある。この問題は、プラネタリウムの映像コンテンツ制作の問題点と同様の問題である。そのような背景を受け、景観シミュレーション、ナビゲーション、ウォークスルーの分野においては、仮想空間の構築コストを削減する多様な研究がされている。例として、全周360度パノラマ画像と3次元 CG オブジェクトの合成による仮想環境の構築の研究[4]が挙げられる。実験において、全周360度パノラマ画像と3次元 CG オブジェクトの合成により作成される複合現実環境をアーチスクリーンを用いた全周型景観提示システムに立体映像で提示している。アーチスクリーンといった視野角を広げる没入型ディスプレイに提示することにより、利用者に高い臨場感を与えることが確認されている。

本研究では、3次元 CG モデリングの知識を持たない一般的なクリエイターでも、ドーム映像コンテンツを制作可能となる2次元 CG 映像要素のみを用いたコンテンツ制作手法の提案を行っている。しかし、このような3次元 CG モデリングされたオブジェクトとのレイヤの融合についても、検討が必要である。

コンテンツを制作していく中で、レイヤのみではなく、3次元 CG オブジェクトとレイヤを組み合わせることも十分可能である。レイヤの長所は簡単にリアルな映像を登場させられることであり、短所は板であるため、近づきすぎるとレイヤであることがばれてしまう点である。3次元 CG の長所は3次元形状をもっているため、近づいて様々なアングルから眺めることができることであり、短所はモデリングに時間がか



かるという点である。遠景，近景はレイヤによって構築し，近くの物体のみを 3 次元 CG モデリングを使用することで，お互いの長所を生かした効果的なコンテンツ作りについても検討する必要がある。



図 2-4 : 全周 360 度パノラマ画像と 3 次元 CG オブジェクトの合成<sup>22</sup>

また，複数の静止画像や動画像から 3 次元 CG モデリングされた仮想空間を自動構築する手法が盛んに研究されている。静止画像や動画像を用いる三次元復元法では，画像上に存在する自然特徴点を自動追跡することにより，撮影時のカメラパラメータと自然特徴点の 3 次元位置を自動的に復元することが可能である。しかし，それにより自動構築された 3 次元モデルは，モデルの精度や信頼性に課題が残されている。現状，広範囲の現実環境を安定して 3 次元モデル化し，仮想空間を構築することは困難である。

そのような背景の中，レーザーレンジファインダを用いることにより，現実環境の 3 次元情報を広範囲及び高精度に得ることが可能となってきた。全周の 3 次元形状を容易に計測することが出来るレーザーレンジファインダを用いて，仮想空間を 3 次元モデル化する研究<sup>[5]</sup>も行われている。レーザーレンジファインダとは，赤外線レーザーを発振してそれを目標物に照射，その反射の度合いで目標物までの距離を一瞬で測定出来るという光学機器のことである。そのレーザーレンジファインダにより，取得した多地点における全周レンジデータと全方位画像を統合することにより仮想空間を構築することが出来る。実験において，レーザーレンジファインダにより生成された仮想空間を利用してウォークスルーシステムに表示し，臨場感の高い映像を提示出来ていることが確認されている。

<sup>22</sup> 島村潤，山澤一誠，武村治雄，横谷直和: 全天周実画像と CG モデルの合成による仮想環境の構成と提示，PRMU，パターン認識，メディア理解．vol.pp463-467,2000

しかし、テクスチャマッピングを行う画像の位置合わせの精度といった点で課題があるのが現状である。また、レーザーレンジファインダを用いているため、現実空間に存在するものしか自動生成することが出来ない。本研究で用いているレイヤ分割法であれば、アニメや2次元CG画像といった本来現実空間にないものまで、仮想空間上に表現することが出来る。そのため、多様なプラネタリウムの映像コンテンツを制作するといった目的に沿った仮想空間の構築手法は、レイヤ分割法が最も適していると考えられる。また、実写画像・実写映像のテクスチャマッピングを行い、レイヤとして空間内に配置するのみであるため、レーザーレンジファインダといった特別な装置を使用することなく、さらに円滑に仮想空間を構築することが出来る。

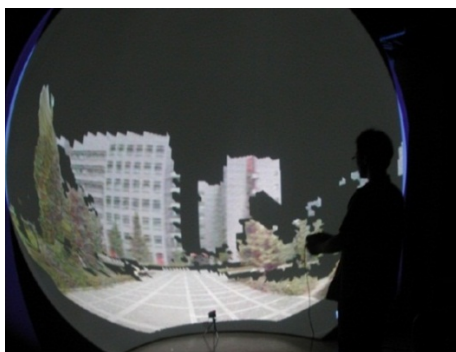


図 2-5：レーザーレンジファインダによる仮想空間の構築<sup>23</sup>

現在、3次元CGモデリングを円滑化し、仮想空間を構築する研究として、上記のような研究は行われている。また、映像の解像度による立体感・臨場感の向上を目指したプラネタリウムの映像コンテンツの研究としては、4Kカメラで撮影した高臨場感映像をドームに投影する取り組みが挙げられる。[6]

ここでの取り組みの事例として、2009年7月22日に奄美大島で起こった皆既日食の生中継について紹介されている。プラネタリウムに4K映像を投影した場合、高精細映像により、かなりの臨場感・没入感を視聴者に与えることが期待出来る。しかし、4K映像には現状で、様々な問題がある。例えば、コンピュータでの処理の問題である。解像度で考えた場合、単純計算でフルHDの4倍の処理能力が必要になるため、処理速度が現在の2倍以上にならなければ、4K映像を快適に扱えるようにはならない。ま

<sup>23</sup> 浅井俊弘, 神原誠之, 佐藤智和, 横谷直和: ウォークスルーのための全周レンジファインダと全方位カメラを利用した現実環境の三次元モデル化, 情報科学フォーラム, pp639-640, 2003

た、4K で撮影された映像コンテンツを誰もが扱えるようになるには、通信の問題でまだ考えにくい。フル HD の 4 倍の容量が必要になり、光回線は必須である。これから 4K 映像が普及していくまでには時間がかかると考えられる。

そして、最大の問題は、4K 撮影用の機材のコスト・運搬の面である。4K カメラでの撮影は、機材の運搬で多くの人手を必要とするだけでなく、調整がかなりの時間を要し、撮影は困難である。4K カメラ等の撮影機材の低コスト化や持ち運びやすさ等が改善されれば、本研究で提案しているレイヤ分割法に基づいたコンテンツ制作手法にも超高解像度のレイヤを使用するといった形で応用可能である。

## 第3章 ドーム映像の歪み補正処理

プロジェクターは、本来、平面に映像を投影する為の機器である。プロジェクターで投影した映像を正面から見た場合、長方形の歪みのない映像として目に映る。しかし斜めから見ると、手前が大きく、奥は小さく、台形の歪んだ映像として見えてしまう。正面から見たとしても、プロジェクターを斜めに置くと、同様に歪んだ映像として見えてしまう。また、プラネタリウムのようなドーム型ディスプレイは、投影面自体が曲面の様に歪んでいる場合、プロジェクター位置・視点位置に関係なく、どこから投影しても、どこから見ても、投影される映像は歪んで見えてしまう。

この歪みを取り除くことができれば、人間の目には歪みの無い自然な映像が映る。プラネタリウムのようなドーム形状のスクリーンにおいて、必ず歪み補正処理は必要となる。歪み補正処理をする手段として、大きく分類して、以下の2パターンがある。

- ハードウェアによる方法（プロジェクター組み込みの歪み補正機能を利用する）
- ソフトウェアによる方法（ソフトウェアで歪みを補正した映像を出力する）

本研究では、ソフトウェアで歪みを補正した映像を出力するソフトウェア的な手段を用いている。

本章では、本研究で施したプラネタリウムのようなドーム型ディスプレイ環境での、映像の歪み補正処理の詳細について述べる。まず、歪み補正処理を行う際に使用した計算機やプロジェクター、プラネタリウムといった映像投影を行う際の実験環境について、そして、次に歪み補正処理のアルゴリズムについて述べる。

### 3.1 実験環境

#### 3.1.1 五藤光学研究所 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、東京都府中市にある五藤光学研究所のプラネタリウムを借りて実験を行った。プラネタリウムには、水平型ドームと傾斜型ドームがあり、五藤光学研究所のプラネタリウムは、傾斜型ドームである。なぜ、このような傾斜角度の異なるプラネタリウムがあるのか、理由は以下に述べる。

水平型ドームとは、お椀を逆さにしたような形のドームのことを言う。また、傾斜型ドームとは、比較的新しい大型施設に多い、お椀を斜めにしたような形のドームのことであり、水平型ドームが水平から5～30度ほど傾いた状態で固定されているドームの

ことを言う。この2つのタイプのドーム形状がある理由は、地球上で見た星空映像と宇宙空間で見た星空映像を再現するためであると言われている。水平型ドームの場合、地球上で見た星空を再現しており、地平線より上の星をドームでは見ることが出来る。それに比べ、傾斜型ドームの場合は、宇宙空間で見た星空を再現しており、地平線より下の星を見ることが出来る。映像の視聴者の足元より下の領域を星で埋め尽くすことが出来るため、視聴者の没入感の高いものになる。このような星空を足元まで映し没入感を高めるといった目的の傾斜型ドームであるが、この映像効果は、一般的な風景の映像においても、水平型ドームに比べて、生み出すことが可能である。この傾斜型ドームが、比較的新しい近年のプラネタリウムに多いのは、没入感を高めるといった理由もあるが、プラネタリウムを星空を投影するためだけのスクリーンとしてだけでなく、様々な映像投影コンテンツを投影するスクリーンとして考えられているためである。つまり、プラネタリウムを天体映像にとらわれない映画館のような劇場として考えられ始めたためである。

五藤光学研究所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。(図3-1) このプラネタリウムの座席は、ドームの中心より下に設置されていたため、本研究で映像を視聴者に見てもらった際、図3-1の赤丸で囲まれた場所が一番、中心に近かった。そのため、歪み補正をすることで最も映像の歪みを感じないこの位置に椅子を設置し、視聴者に映像を見てもらった。



図 3-1 : 五藤光学研究所のプラネタリウム施設

### 3.1.2 実験機材

ドームスクリーンへ映像を投影する際、最も重要となるのが、使用するデジタルプロジェクターの投影方法である。現在、デジタルプロジェクターを用いて様々な方法でプラネタリウムへの投影が行われている。

アナログ型投影方式を採用しているプラネタリウムでは、プラネタリウムの中心にプロジェクターを設置しなければならないが、デジタル型投影方式を採用しているプラネタリウムでは、プロジェクターはほとんど自由に設置することが出来る。これは、プロジェクターの重なった領域においても、コンピュータにより、エッジブレンディング処理することが可能であるためである。

現在、デジタル型投影方式を採用しているプラネタリウムにおいて、最も用いられている投影方法は、領域を2分割した投影である。4Kプロジェクターを2台使用し、ドームスクリーンを2分割で覆う投影方法である。繋ぎ目が一つの領域しかないため、調整が行いやすく、比較的到高輝度・高解像度な映像を投影することが出来る。そのため、近年では、4Kプロジェクター2台を使用した4Kデジタルプラネタリウムの主流として導入されている。さらに、3台以上のデジタルプロジェクターを使用した投影方法があり、プロジェクターを多く用いただけ高輝度・高解像度が期待出来るが、その分だけ輝度調整やPCなどの複雑さやコストも掛かる。複数のプロジェクターを使用している例として、「国立科学博物館 シアター360」が挙げられる。このシアター360では、12台のプロジェクターが使用されている。また、複数の4Kプロジェクターでの投影は、第一章の研究の背景で述べた多摩六都科学館「ハイブリッド・プラネタリウム」が挙げられる。このハイブリッド・プラネタリウムでは、4台の4Kプロジェクターが使用されている。これらの複数台のプロジェクター映像の投影においては、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。それらの複数台のプロジェクターに比べ、1台のデジタルプロジェクターと魚眼レンズを用いたドーム映像の投影は、設置から投影まで簡単に行うことが出来る。1台のデジタルプロジェクターを用いた投影については、2通りの方法がある。まず、1つ目の投影方法として、ドームの中央に魚眼レンズ付きプロジェクターを配置し、1台で全天周360度の投影を行う方法がある(図3-2左図)。全天周360度の投影を最も簡単に実現可能であるため、座席数の少ない小規模のドームスクリーンで多く用いられている。輝度が少ないため、中規模のドームスクリーンに投影を行う場合は、4Kプロジェクターといった高い輝度の明るさを持ったデジタルプロジェクターが必要になる。2つ目の投影方法として、1台のプ

ロジクターに魚眼レンズを装着し，ドームスクリーンの見やすい範囲を出来るだけ広く覆うように投影する方法がある（図 3-2 右図）．全天周の投影にはならないが，設置や運用もシンプルであるため簡易式プラネタリウムの投影方法として広がりつつある．魚眼レンズを用いているため，広範囲に投影することが可能であるが，領域の端の部分は解像度が落ち，映像も伸びてしまう．歪み補正処理を行うことでそれらを抑えることは可能である．

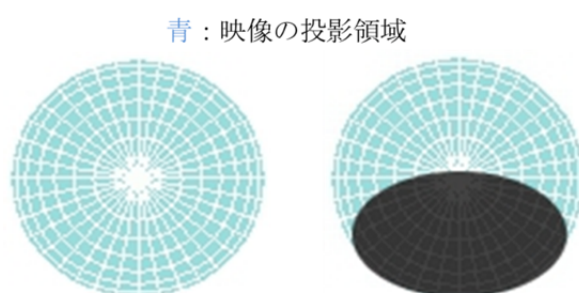


図 3-2：投影方式の変化による映像の投影領域

プラネタリウムでは，前述のような多様な投影方法が取られているが，本研究では魚眼レンズと1台のプロジェクターを組み合わせた映像の拡張の投影方式を採用した（図 3-2 右図）．

プロジェクターには，NEC のNP2000J（図3-3 左図）を使用し，プロジェクター前方にRAYNOXの全周魚眼レンズDCR-CF185PRO（図3-3 右図）を設置することにより魚眼プロジェクター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ーであり，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度の全周魚眼であり，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．また，三脚を組み合わせることで，自由な角度，自由な方向への投影が可能となっている．NP2000J とDCR-CF185PROと三脚を図3-4のように組み合わせてドームスクリーンへの投影を行った．

今回の実験環境である上述の五藤光学研究所のプラネタリウム施設では，プロジェクター1台のみを用いて投影を行っている．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。また、1台の魚眼レンズとプロジェクターを用いた映像の投影は、全周魚眼レンズを用いることで、図3-2 左図のように全周360度の投影が可能となるが、NP2000JとDCR-CF185PROを直接繋ぐアダプターがなかった、また、NP2000Jには4Kプロジェクター程の高い輝度・解像度がなかった、プラネタリウムの中心にプロジェクターを置く事が出来なかったため、本研究では図3-2 右図の投影方法を採用した。

映像を生成するための計算機としては、LinuxPC(OS:Red Hat 4.0 , CPU : Intel Pentium4 3.80GHz, Graphics card : NVIDIA NV41GL) を使用した。



図 3-3 : NP2000J (左図)<sup>24</sup>, DCR-CF185PRO (右図)<sup>25</sup>



図 3-4 : NP2000J, DCR-CF185PRO, 三脚を組み合わせたプロジェクター

---

<sup>24</sup>NEC Display Solution , NP2000j : [http:// www.nevt.co.jp/press/06pjs/np2000j.html](http://www.nevt.co.jp/press/06pjs/np2000j.html)

<sup>25</sup>Raynox, DCR-CF185PRO :

<http://www.raynox.co.jp/japanese/dcr/dcrcf187pro/index.html>



## 3.2 歪み補正処理について

全周魚眼プロジェクター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よる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。

本研究において使用する魚眼レンズは、全方向185度の全周魚眼であるため、周辺部分は投影面に収まりきれ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。

### 3.2.1 魚眼レンズにおける歪み

魚眼レンズによる歪みは、プロジェクター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。[7]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3-5 左図に示す。

### 3.2.2 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3-5 右図は、曲面スクリーンにおける歪みの一例である。この図3-5 右図は、ドームの中心付近に正方形の画像を投影したものである。ドームの曲面形状に沿って、正方形が歪んでいるのがわかる。

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。PC 内での画像の非線形な変形やプロジェクター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研究もあるが、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差が実現できない。

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・プロジェクターの位置関係が正確に対応している場合、プロジェクターによる投影と視点から見える映像とが逆の意味(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。

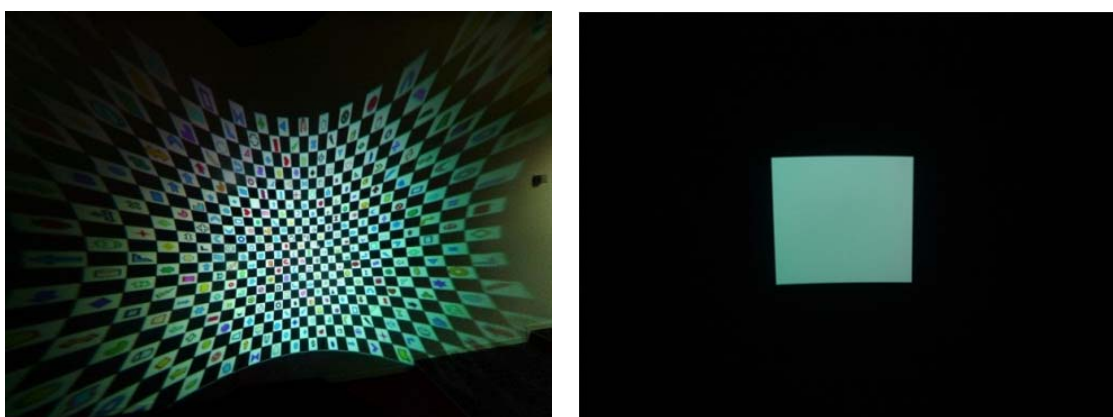


図 3-5 : 魚眼レンズの歪み (左図), ドームスクリーンの歪み (右図)

### 3.2.3 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。2つの歪みを補正する概念図を図3-6に示す。

この時、2つの歪みを同時に補正する利点は2つ挙げられる。1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出来ることである。また、スクリーンが湾曲のおかげで、プロジェクター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。2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出来る。

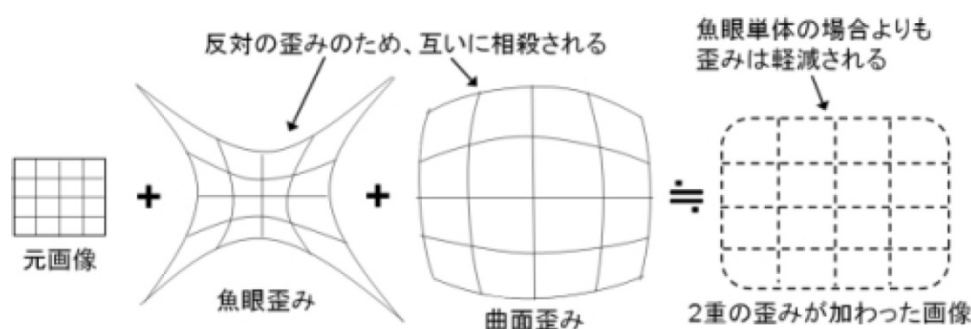


図 3-6 : 全周魚眼レンズによる歪み

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ー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。[10] では、複数のプロジェクター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度、垂直方向が約100度の広角映像となるため、[10]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[10]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。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。画像のパノラマ化を行う際、Microsoft Image Composite Editor[11] というフリーのパノラマ合成用の画像処理ソフトを使用した。Microsoft Image Composite Editor は、静止画からパノラマ画像を作成することが出来るソフトである。

この画像処理ソフトを使用することで、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)を自動で検出し、自動で繋ぎ合わせることが出来る。

画像のコントロールポイントの自動検出及び、自動でスティッチングを行った後、パノラマ画像を任意の画像データとして保存する際、投影法として、心射方位、心射円筒、正距円筒という3つの選択肢がある。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度であり問題はない。図3-7に、心射方位投影の原理を示した。

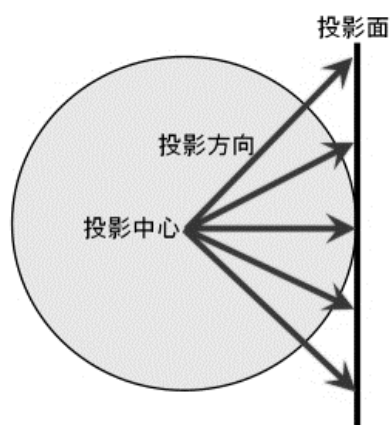


図 3-7 : 心射方位の概念図

そして、この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。歪み補正用のパノラマ画像を作成する際及び歪み補正用の画像を作成する際、チェックボードの画像を投影するが、この画像では、それぞれの画像に特徴が少なく、コントロールポイントの抽出が難しい。そこで、本研究ではコントロールポイント抽出を行い易くするためにチェックボードパターン画像を使用している。図 3-8 左図は実際に歪み補正に使用したチェックボードパターン画像である。図 3-8 右図はチェックボードパターンをプラネタリウムに投影した様子である。

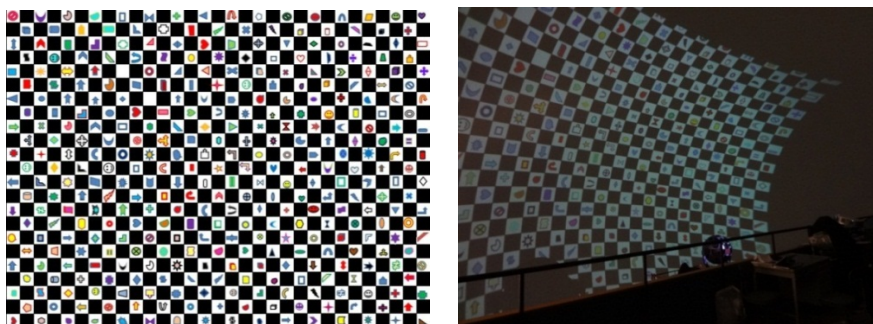


図 3-8 : チェックボードパターン (左図), 投影の様子 (右図)

この画像は縦23, 横31 でマスを区切り, 各マスには単純な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3-9 左図となっている.

パノラマ画像を作成する際, 各画像を一枚の画像として結像し, パノラマ化したチェックボードパターン画像が3-9 右図である. 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. 投影したチェックボードパターンのコーナー座標を求め, その座標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, 魚眼プロジェクター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 (図3-10) .

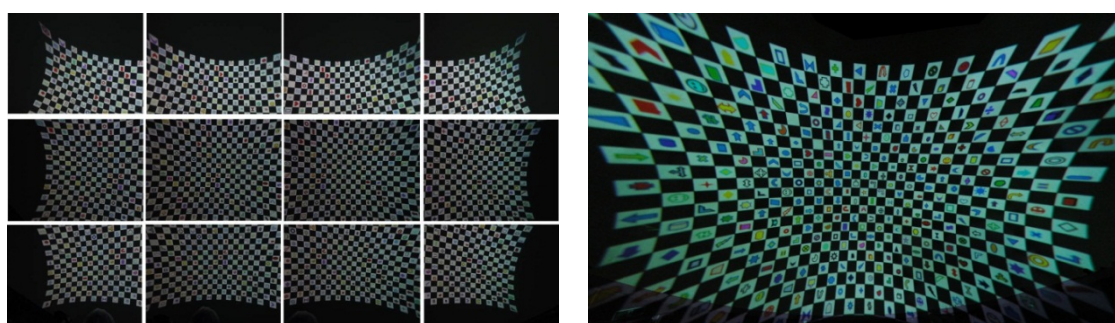


図 3-9 : パノラマ画像生成用の元画像 (左図), パノラマ画像 (右図)

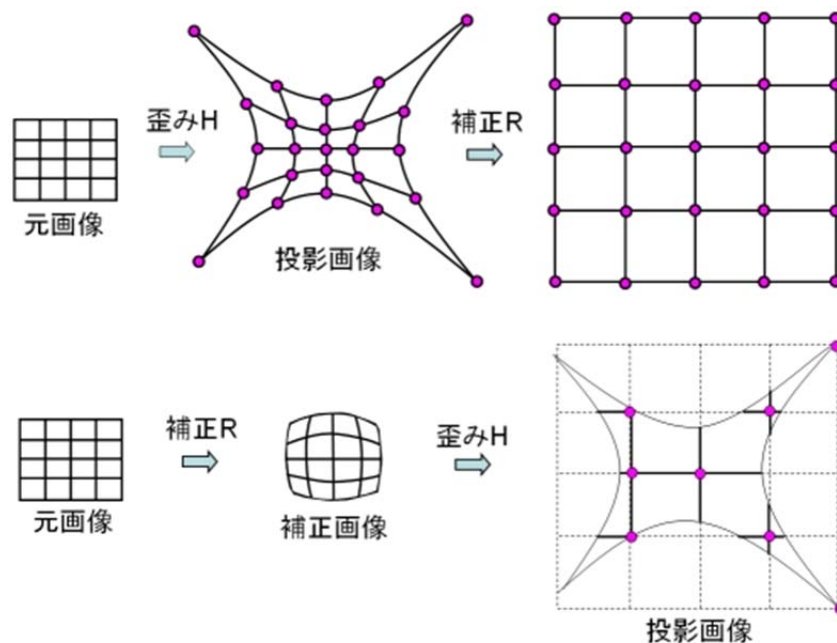


図 3-10 : 歪み補正アルゴリズム

歪み補正アルゴリズムの流れは以下ようになる。

[1]画像内におけるチェッカーボード画像のコーナー座標を求める(図3-11)。コーナー座標の検出には、OpenCV ライブラリ[12]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。

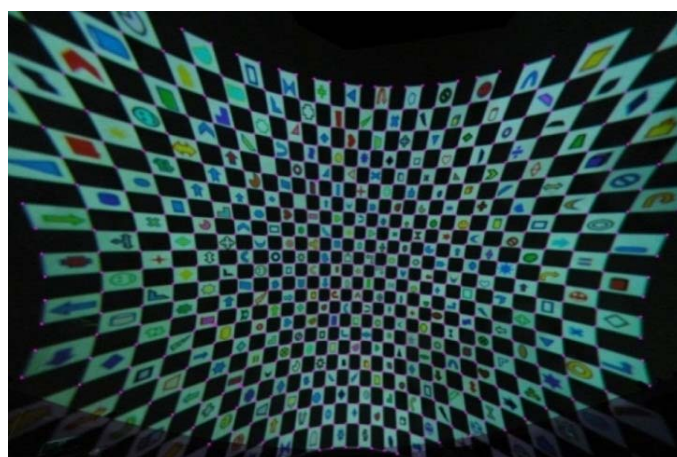


図 3-11 : チェッカーボードのコーナー検出の様子

[2] 求められたコーナーに行番号と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3-12，行番号を割り当てたものが図3-13である．

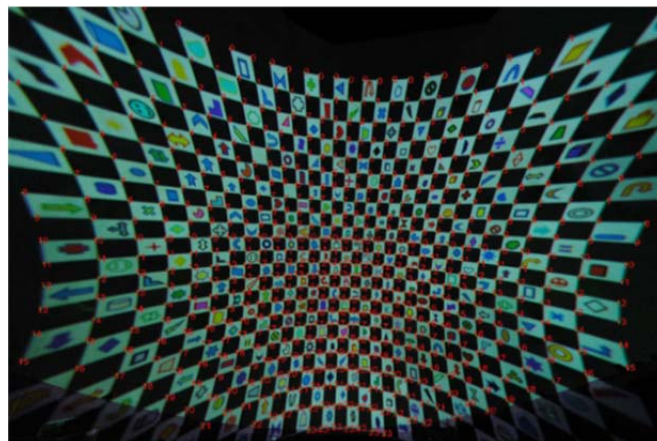


図 3-12 : チェックボードに列番号を割り当てた様子

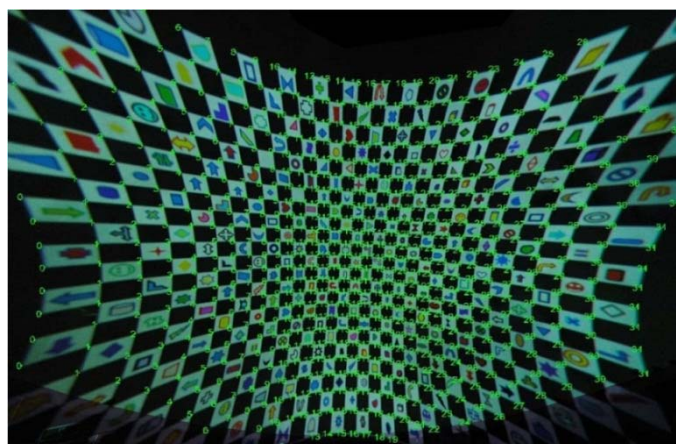


図 3-13 : チェックボードに行番号を割り当てた様子

[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3-14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．

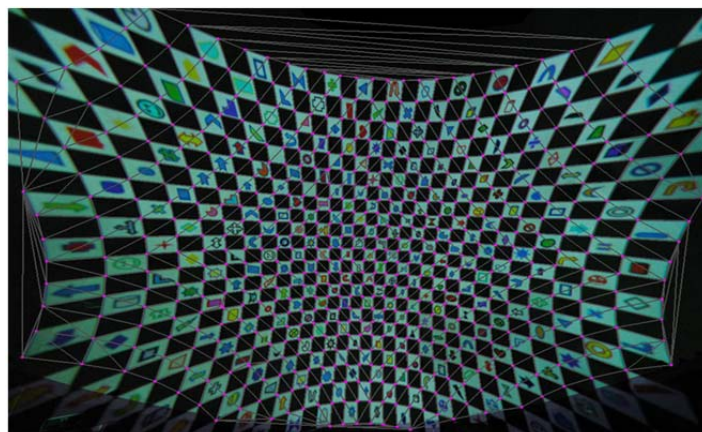


図 3-14 : チェックボードをドロネー分割した様子

[4] 三角形分割を行った画像に歪んだ画像のテクスチャマッピングを行い図3-15 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，それをテクスチャマッピングに使用する座標にする．

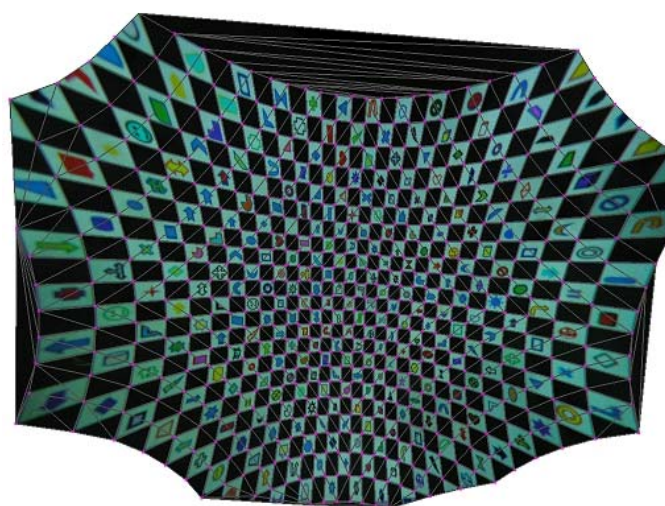


図 3-15 : メッシュ構造にテクスチャマッピングした様子

[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図 3-16 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．

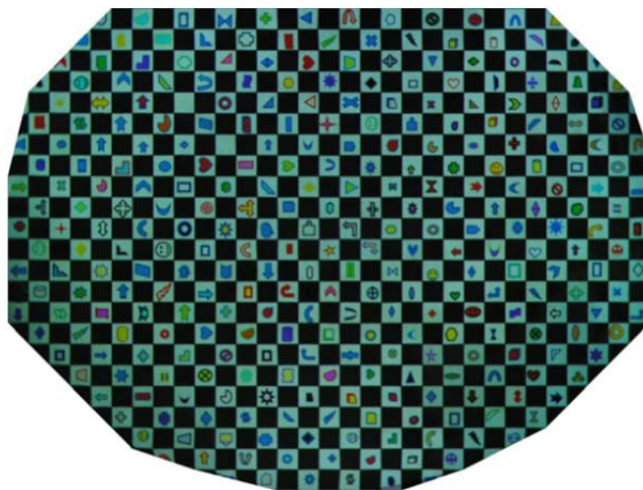


図 3-16 : メッシュ構造が等間隔に並ぶように変換した様子

[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．図3-17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，図3-18は補正した画像をプロジェクターから投影したものである．



図 3-17 : 歪み補正をチェックボードに適用した様子

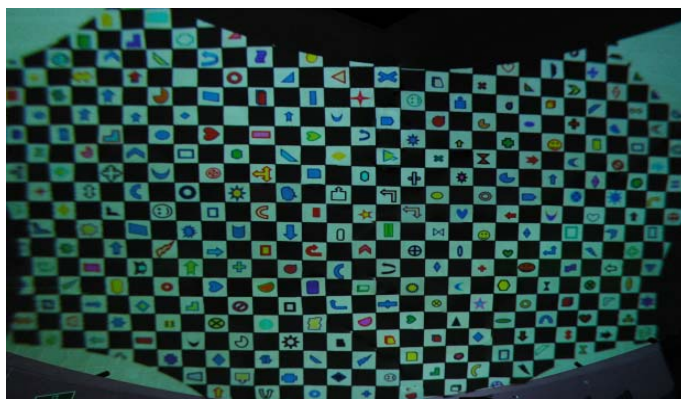


図 3-18 : 歪み補正をしたチェックボードをドームに投影した様子

以上の[1]～[6]流れの歪み補正処理を毎フレーム行うことで、歪みのない映像を投影している。

1台のプロジェクターと魚眼レンズを組み合わせで投影している映像の投影画角は133度である。視聴者がドーム映像を見るドームの中心付近において、確認を行ったが、人間の視野全体を覆うことが出来ており、十分な広角映像であった。

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。

## 第4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単眼映像を投影する場合、観測者は両眼視差や運動視差（頭部移動）による奥行き知覚ができないため、映像の奥行き感是非常に曖昧なものになる。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可能である。

実際の映像はスクリーン表面に映っているはずであるが、観客はスクリーン表面とは異なる奥行きに物体を感じている。このような裸眼状態での奥行き知覚は、平面スクリーンでも知覚可能なのだが、ドームスクリーンの特性である、フレームレス、広視野、スクリーン形状が3次元形状であることから、観客はスクリーンの存在をほとんど知覚できなくなり、平面スクリーンよりも強く奥行き知覚の効果が働くことが分かっている。

ドームディスプレイにおける奥行き知覚は映像コンテンツによって様々に変化しますが、実はドームディスプレイ上では簡単な物体のみを動かすだけでも奥行きをもって感じる事が出来る。例えば、図 4-1 にあるように広視野曲面スクリーンで単純な四角形が横方向に直線移動する映像を提示したとする。理想視点から外れた位置から映像を観測する場合、曲面歪みが影響して四角形が曲面上を移動していると知覚され、四角形はスクリーンに張り付いて見える。理想視点から観測し、歪み補正が完璧な場合でも、映像の背景色、投影時の環境光等の影響により観測者がスクリーンを意識してしまうと、四角形は曲面上を移動していると感じられてしまい、スクリーンに張り付いて見える。しかし、歪み補正が完璧に行われ、観客がスクリーン形状をまったく知覚できない環境下では、四角形が（スクリーンに沿ってではなく）実空間上を直線運動しているように感じる事ができる。その際、スクリーン中心部分（一番凹んでいる部分）では、四角形がスクリーン面よりも手前に浮き出しているように感じられる。

アニメーションや映画などで見られるように、平面ディスプレイにおいても遠近法、運動視差、影の効果を利用することにより奥行き感のある映像表現は可能である。しかし、裸眼状態でスクリーン表面から浮き出して見えるのは、スクリーンが観客に向かって湾曲している広視野曲面スクリーン特有の効果であり、この効果はドームディスプレイでも確認出来る。

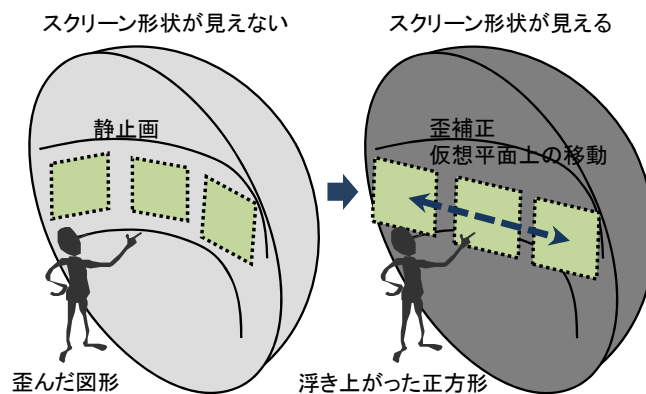


図 4-1：ドームで感じる立体感

## 4.1 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。これまでの先行研究の結果から、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ている。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。

そこで、本節では、レイヤ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について述べる。レイヤ分割法とは、2次元CG映像要素の動画像をレイヤ化し、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。映像の歪み補正を行うことで、空間内に配置した正方形も浮き上がって感じることが出来る。以下では容易にコンテンツの制作を可能にするレイヤ分割法について述べる。

### 4.1.1 レイヤ分割法の概要

レイヤ分割法とは、2次元CG要素の動画像をレイヤ化して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 4-2 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（図 4-3 左図）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 4-3 右図を見れば，全天周空間がレイヤで埋め尽くされていることがわかる．

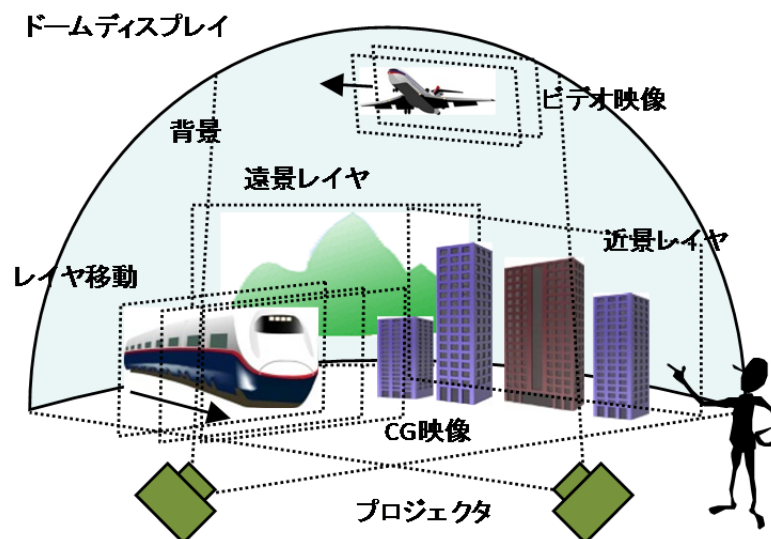


図 4-2：レイヤ分割法の概念図

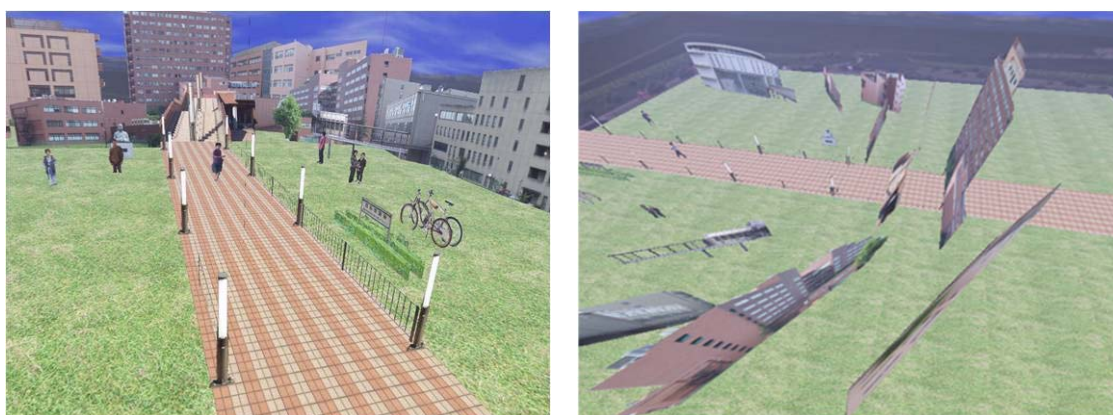


図 4-3：レイヤのみで構成されたコンテンツ

レイヤ分割法の強みは画像・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。3次元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次元形状の計測できないアニメや漫画などのキャラクター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[13]が行われているが、レイヤ分割法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。

本研究では、実写画像・実写映像をベースとしたレイヤ分割法によるコンテンツ制作手法の提案を行う。そのため、次節の映像生成の流れについては、実写でのレイヤ作成、そのレイヤを用いた仮想空間の構築について述べる。

#### 4.1.2 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ようになる。

- [1] コンテンツ生成用の静止画像、動画を用意する。
  
- [2] 用意した静止画像、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）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。
  
- [3] 用意した背景画像を背景レイヤ(立方体 or 球体) としてテクスチャマッピングする。
  
- [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。各レイヤのアニメーション、カメラワークを設定し、各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ため、特に明度の違いにより、それぞれの画像が孤立して見えてしまう場合が多い。しかし、陰・フォグ等の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] 仮想空間内の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[1]～[6]の方法により映像コンテンツを作成する。この手法を使えば、静止画像、映像を撮影する時間を含めても短時間で作成することができる。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ーでも短時間かつ低コストで効果的なコンテンツ制作を行うことが可能である。

## 4.2 実写ベースの全天周映像

これまで、レイヤ分割法の研究において、レイヤの直線移動による奥行き知覚の変化に関する実験や人の感じる奥行き知覚量を調べる奥行き解像度の定量化実験が行われている。

前者の実験では、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ることが行われている。ここでの実験結果により、ドーム環境で単純なレイヤを直線運動させると、その物体が奥行きをもって感じられることが分かってきている。また、移動させるレイヤの大きさ及び背景などの要因を変更することで、知覚される奥行きに変化が表れることも分かっている。ここでの実験は、ドーム環境に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ることを示した実験であり、つまりドーム環境で感じるレイヤの奥行きの知覚の定量化を行っている。この実験は、レイヤ分割法の考え方の基礎実験である。

前者の実験を通して、ドーム環境でのレイヤが生み出す奥行き感について示されたが、後者の実験は、レイヤの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かを明確にするために行われている。実験では、人の感じる奥行き知覚量を調べるために、何層にもわたって空間内にレイヤを配置し、被験者の感じる奥行き知覚量を調べている。この実験結果により、人の感じる奥行き知覚量は空間分割を多く行わなくても飽和しているということが分かっている。つまり、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ている。

これらの研究のようにレイヤ分割法に関する実験が行われてきたが、あくまで四角形のレイヤなどの 2 次元 CG 画像をベースにしたレイヤ分割法の基礎的な評価実験であり、レイヤ分割法の有効性を示すものであった。しかし、レイヤ分割法を利用した映像コンテンツのリアリティをより追求していく、実写画像・映像が使用可能による映像コンテンツ素材制作の円滑化を目指す場合、実写画像・実写映像をベースにしたコンテンツ制作の体系化が必要である。しかし、実写画像・実写映像のレイヤをベースとした評価実験はこれまで行われていなく、それらの実写レイヤが生み出す奥行き知覚についてはわかっていないのが現状である。

それらの知見を明らかにし、実写画像・実写映像をコンテンツに組み込むことが出来れば、よりリアリティの高い映像を制作することが出来るだけでなく、ドーム環境での映像コンテンツの制作の幅が格段に広がると考えられる。実写であるため、カメラやビデオカメラ等で撮影された画像・映像を組み込むことが可能であり、コンテンツ素材が簡単に入手することが出来る。そのため、コンテンツ制作の円滑化の面でも有効であると考えられる。

そこで、本研究では、実写画像・実写映像をベースにした全天周映像コンテンツの評価実験を行い、その結果に基づいた制作手法について提案を行う。本研究の提案方法では、360 度のパノラマ画像を用いて背景とし、この上に前景となる映像要素を実写画像・実写映像を用いて配置する。これらの映像要素に動きや視点位置の変化を加えることで奥行き感を生成する。

具体的には、仮想空間内に仮想の球体レイヤ（図 4-4）を想定し、その球体の内側に 360 度パノラマ画像をテクスチャマッピングすることで、背景を作成した。仮想球体の中心付近に観客の視点を設定することで、球体の内側からは 360 度の仮想世界を体感することが出来る仕様になっている。

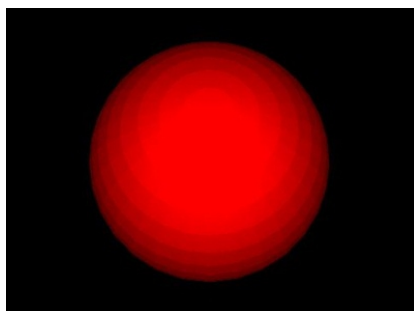


図 4-4 : 360 度パノラマ画像をテクスチャマッピングする仮想球体



### 4.3 実写画像・実写動画レイヤの作成

カメラ・ビデオカメラを使用して、実写画像・実写映像の撮影を行う。実写動画については、図のようなブルーバック環境（図 4-5 左図）で撮影を行った。そして、実写画像については、Photoshop(Adobe 社製)，GIMP を用いて、実写動画については Premiere Pro (Adobe 社製) を用いて物体のみの抽出を行った。（図 4-5 中央・右図）実写動画については、映像をフレームごとに書き出しを行った。実写動画をフレームごとに書き出し、そのフレームごとにレンダリングを行うことで、実写動画の映像表示を行った。

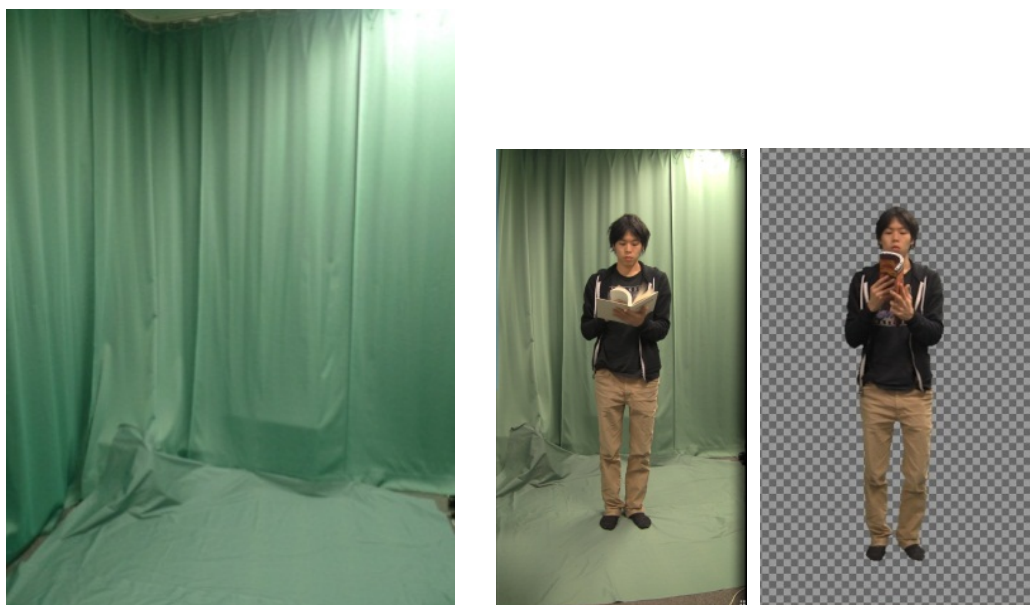


図 4-5：ブルーバック環境（左図），人物像の抽出（中央,右図）

### 4.4 背景レイヤ（360度パノラマ画像）の作成

背景レイヤを実現するにあたり、360度のパノラマ画像を作成した。実写の全周映像を撮影するために2つのアプローチが考えられる。

複数の画像を統合する方法と、光学系を工夫する方法である。画像を統合する方法では、大きく分類して1台のカメラを回転させる手法と、複数台のカメラで同時に全

周方向を撮影する手法とに分けられる。

カメラを回転する手法では、垂直な回転軸周りにカメラを回転し、例えば画像面の中央に設けた十分細いスリットを通して得られる画像を水平方向に整列させることによって全周映像を得る。

製品例では Nordal Ninja 社の Nordal Ninja MKII や、Spheron 社の SpheroCam がある。複数台のカメラを使う手法では、1 台のカメラでは画角が足りないため、複数台のカメラを周りの風景を見渡すように配置し、取得した映像を画像処理によりつなぎ合わせて全周映像を生成する。製品例では PointGreyResearch 社の Ladybug がある。

これらの長所は、高解像度の全周映像が得られること、CG 用の補正テーブルが転用できること、前処理なしに現在行われている画像認識処理がそのまま応用できることがある。短所としては、複数台のカメラを同時に制御するため同期を取る煩雑さ、一枚の全周画像を生成するための画像処理に時間がかかること、カメラ画像同士の繋ぎ目の領域が不自然に見えることが挙げられる。Ladybug が使用されている Google Street View においても、全周パノラマ表示をした場合、繋ぎ目が不自然に見えることがある。

本研究では、360 度パノラマ画像を作成するにあたり、1 台のカメラを回転させる手法を使用した。本研究では、パノラマ画像撮影用の雲台として、Nordal Ninja MK II (図 4-6 左図) を使用した。



図 4-6: Nordal Ninja MK II (左図) ,パノラマ画像の撮影の様子 (右図)

Nordal Ninja MKII を使用することで正確に一定の領域をオーバーラップさせて撮影することで出来る。本研究では、0 度 12 枚、45 度 16 枚、90 度 2 枚の計 30 枚を使用した (図 4-7 左図)。

これらの画像を全周パノラマ画像合成ソフトである **Stitcher** を用いてステッチングを行った。Nordal Ninja MKII を使用することで、レンズの中心をしっかりと固定出来るため、図 4-7 右図のような正確な 360 度パノラマ画像を作成することが可能である。



図 4-7: パノラマ画像生成用の元画像 (左図) , 360 度パノラマ画像 (右図)

Nordal Ninja MKII は、三脚を利用するため 90 度の領域において、雲台を固定した撮影が出来ず、その領域においてはステッチングを行う際、不自然な画像を生成しがちだが、Stitcher を用いることにより、高度なブレンディングが行われ、不自然な繋ぎ目を生むことなく綺麗な 360 度パノラマ画像を作成することが出来る。

そして、ステッチングした 360 度パノラマ画像を仮想球体 (図 4-4) の内側にテクスチャマッピングを行い、カメラの視点を中心付近に設定することで、図 4-8 のような 360 度の仮想空間を体感することが出来る。この空間内に 2 次元 CG 要素のレイヤを配置したものが図 4-9 である。



図 4-8 : 仮想球体中心から見た映像 (左図:レイヤなし, 右図:レイヤあり)



図 4-9 : 仮想球体中心から見た映像 (右図:レイヤあり)

## 4.5 実写画像・実写映像を用いた 360 度パノラマコンテンツの評価実験

### 4.5.1 実験目的

ドーム型ディスプレイ環境下において、360 度パノラマ画像に運動視差の効果を与えることによって感じる奥行き感の定量化を目的とした評価実験を行った。これによ

り、実写映像・実写画像のみの 2 次元 CG 映像要素を用いて空間表現することが出来るのかを調べた。

## 4.5.2 実験環境

本実験では、ドーム環境として五藤光学研究所のプラネタリウム施設を利用した。利用したプラネタリウムは、直径 18m、傾斜角 30 度の傾斜型ドームである。スクリーンへの投影は、液晶プロジェクター NEC NP2000J に全周魚眼レンズ RAYNOX DCR-CF185PRO を取り付けて行った。

## 4.5.3 実験方法

この実験では歪み補正をしていないモニタ画面（図 4-10）を提示し、その物体の奥行きを 10 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、スクリーンに歪み補正をしていないプログラム実行前のモニタ画面を提示して標準刺激としている。自分からスクリーンまでの奥行きを 10 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 10 より小さい数字、標準刺激より奥に感じれば 10 より大きくなる。

実験の比較刺激として、実写ベースの背景の上にブルーバックで切り抜いた人物像を 2 次元映像要素のレイヤとして配置した。この際、背景映像を回転移動させることにより、人物像がどれくらい浮き上がって見えるかをマグニチュード推定法で計測した。

人物像については、実写の静止画像と実写の動画映像の 2 パターン、人物像の大きさについては、高さ方向の画角 40,55,65 度（図 4-11,12）の 3 パターン、背景の回転速度については、秒速 4,6,8 度の 3 パターンで計 18 回パターンの映像（表 4-1）を準備した。標準刺激としては、スクリーンに歪み補正をしていないモニタ画面を 10 秒間投影し、その後比較刺激としてそれぞれのパターン映像をランダムに 10 秒間投影した。

この手順で 6 名の被験者に 2 度ずつ実験を行った。回答については、被験者からスクリーンまでの距離を 10 として、知覚された人物像までの距離を数値で答えてもらった。3 名を 1 組として、2 度行い、観測位置は図に示すように、中心に近く歪みの少ない位置から観測してもらった。（図 4-13）

実験の流れをまとめると以下のようなになる。

1. 座席に着席した状態で、標準刺激（図 4-10）10 秒間を見てもらう。
2. 比較刺激を提示し、被験者の感じる奥行きを答えてもらう。
3. 1.2 を繰り返し行う。18 パターンを 2 度行うため、計 36 回、被験者には奥行きを答えてもらう。

表 4-1：提示した比較刺激の組み合わせ

	人物像の 高さ方向の画角	背景の回転速度	実写の 静止画像・動画映像
1	40	4	静止画像
2	40	4	動画映像
3	40	6	静止画像
4	40	6	動画映像
5	40	8	静止画像
6	40	8	動画映像
7	55	4	静止画像
8	55	4	動画映像
9	55	6	静止画像
10	55	6	動画映像
11	55	8	静止画像
12	55	8	動画映像
13	65	4	静止画像
14	65	4	動画映像
15	65	6	静止画像
16	65	6	動画映像
17	65	8	静止画像
18	65	8	動画映像

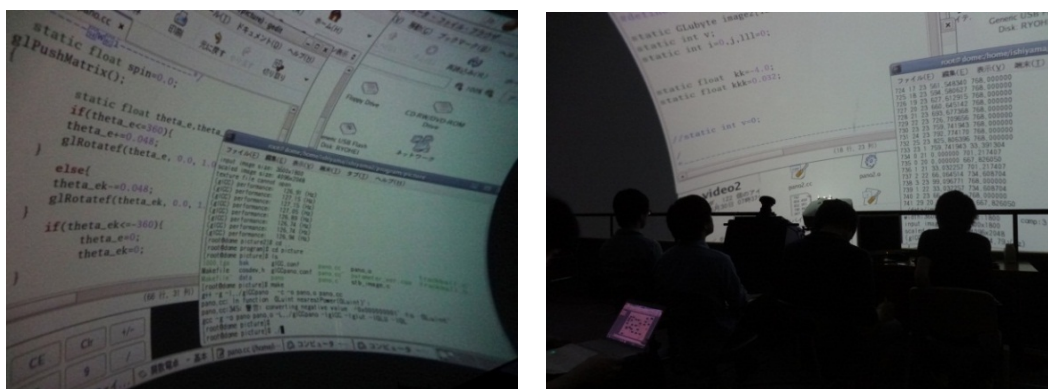


図 4-10 : 標準刺激 (モニタ画面)

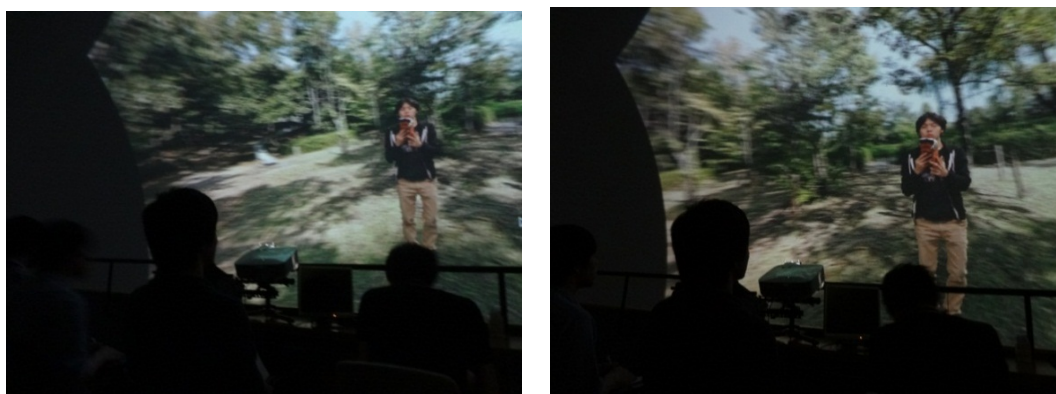


図 4-11 : 画角 40 度の比較刺激(左図), 画角 55 度の比較刺激(右図)



図 4-12 : 画角 65 度の比較刺激



図 4-13：評価実験の様子

#### 4.5.4 実験結果

得られたデータについて、被験者、人物像の大きさ、人物の静止画・動画、背景の速度を要因とした4元配置分散分析を行った。その結果を示したものが、図4-14～図4-18及び表4-2～表4-9である。

背景の速度及び、実写動画・実写画像については、有意差は見られなかった。つまり、背景の速度、実写動画・実写画像それぞれ単独の要素を変更しても、奥行き感の差として知覚されないことがわかった（図4-16,17）。

しかし、被験者( $p<0.001$ )、人物像の大きさ( $p<0.001$ )、交互作用である被験者×人物像の大きさ( $p<0.001$ )、人物の静止画・動画×背景の速度( $p=0.05$ )について有意であった。

つまり被験者による個人差は大きいですが、人物像の大きさの変化が奥行き感の差として知覚されることが分かった（図4-15）。また、この奥行き感には背景の移動速度と人物像の動きの関係によって影響を受けることが分かった（図4-18）。

これらの結果より、実写映像・実写画像のみの2次元CG映像要素を用いて空間表現することが出来ることがわかった。



表 4-2：被験者が感じた 18 パターンの人物像の奥行き知覚（1 回目）

1 回目	人物像の 高さ方向の画角	背景の 回転速度	静止画像 動画映像	被験者A	被験者B	被験者C	被験者D	被験者E	被験者F
1	40	4	静止画像	9.0	8.0	7.0	6.0	9.5	9.0
2	40	4	動画映像	9.0	7.0	5.0	6.0	9.5	6.0
3	40	6	静止画像	8.0	8.0	6.0	7.0	9.5	7.0
4	40	6	動画映像	8.0	8.0	7.0	6.0	10.0	6.0
5	40	8	静止画像	7.0	7.0	8.0	8.0	9.5	10.0
6	40	8	動画映像	9.0	8.0	6.0	6.0	10.0	8.0
7	55	4	静止画像	9.0	9.0	8.0	8.0	9.0	9.0
8	55	4	動画映像	9.0	8.0	8.0	7.0	9.5	8.0
9	55	6	静止画像	10.0	9.0	10.0	8.0	9.0	9.0
10	55	6	動画映像	10.0	10.0	9.0	7.0	9.5	6.0
11	55	8	静止画像	9.0	8.0	9.0	7.0	10.0	8.0
12	55	8	動画映像	9.0	9.0	10.0	8.0	8.0	7.0
13	65	4	静止画像	10.0	12.0	11.0	8.0	10.0	10.0
14	65	4	動画映像	10.0	10.0	12.0	8.0	9.0	9.0
15	65	6	静止画像	10.0	10.0	10.0	8.0	9.0	8.0
16	65	6	動画映像	10.0	13.0	13.0	8.0	8.0	8.0
17	65	8	静止画像	10.0	11.0	12.0	8.0	9.5	11.0
18	65	8	動画映像	10.0	12.0	14.0	6.0	9.5	8.0

表 4-3：被験者が感じた 18 パターンの人物像の奥行き知覚（2 回目）

2 回目	人物像の 高さ方向の画角	背景の 回転速度	静止画像 動画映像	被験者A	被験者B	被験者C	被験者D	被験者E	被験者F
1	40	4	静止画像	9.0	7.0	9.0	7.0	8.0	7.0
2	40	4	動画映像	9.0	6.0	4.0	6.0	9.5	6.0
3	40	6	静止画像	8.0	7.0	7.0	7.0	8.0	7.0
4	40	6	動画映像	8.0	7.0	7.0	9.0	9.0	9.0
5	40	8	静止画像	8.0	8.0	7.0	7.0	5.0	7.0
6	40	8	動画映像	8.0	7.0	5.0	7.0	8.0	6.0
7	55	4	静止画像	10.0	11.0	10.0	8.0	8.0	8.0
8	55	4	動画映像	10.0	10.0	11.0	8.0	9.0	8.0
9	55	6	静止画像	9.0	11.0	9.0	8.0	8.0	8.0
10	55	6	動画映像	10.0	9.0	11.0	7.0	9.5	8.0
11	55	8	静止画像	10.0	9.0	11.0	8.0	7.5	8.0
12	55	8	動画映像	9.0	10.0	9.0	8.0	9.5	8.0
13	65	4	静止画像	10.0	13.0	14.0	9.0	10.0	9.0
14	65	4	動画映像	10.0	11.0	13.0	8.0	8.5	10.0
15	65	6	静止画像	11.0	12.0	12.0	9.0	6.0	11.0
16	65	6	動画映像	10.0	12.0	13.0	9.0	7.0	11.0
17	65	8	静止画像	10.0	13.0	11.0	8.0	7.0	11.0
18	65	8	動画映像	10.0	11.0	14.0	8.0	7.0	9.0

表 4-4：奥行き知覚の平均値を昇順で表示したもの

	人物像の 高さ方向の画角	背景の回転速度	実写の 静止画像・動画映像	全データの平均	標準偏差	標準誤差
13	65	4	静止画像	10.50	1.50	0.43
17	65	8	静止画像	10.13	1.54	0.44
14	65	4	動画映像	9.88	1.43	0.41
18	65	8	動画映像	9.87	2.33	0.67
15	65	6	静止画像	9.75	1.41	0.41
9	55	6	静止画像	9.00	0.71	0.20
7	55	4	静止画像	8.92	0.67	0.19
10	55	6	動画映像	8.83	1.31	0.38
8	55	4	動画映像	8.79	0.77	0.22
11	55	8	静止画像	8.63	0.86	0.25
12	55	8	動画映像	8.63	0.76	0.22
16	65	6	動画映像	8.63	1.99	0.58
1	40	4	静止画像	7.96	0.82	0.24
4	40	6	動画映像	7.83	0.80	0.23
5	40	8	静止画像	7.63	0.40	0.12
3	40	6	静止画像	7.46	0.74	0.21
6	40	8	動画映像	7.33	1.18	0.34
2	40	4	動画映像	6.92	1.77	0.51

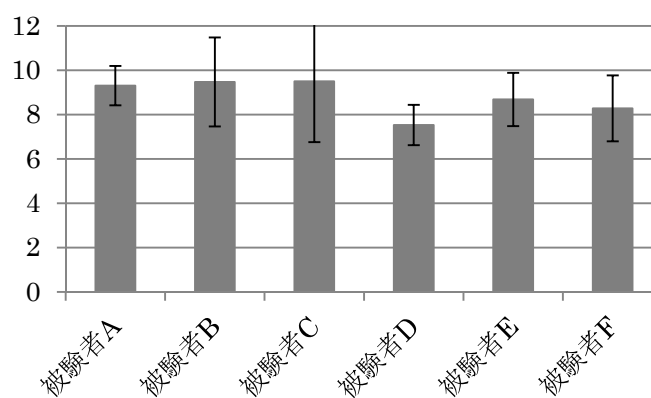


図 4-14：被験者による奥行き知覚の違い

表 4-5：被験者 分散分析結果

	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確立
被験者	112.552	5	22.510	23.942	0.000

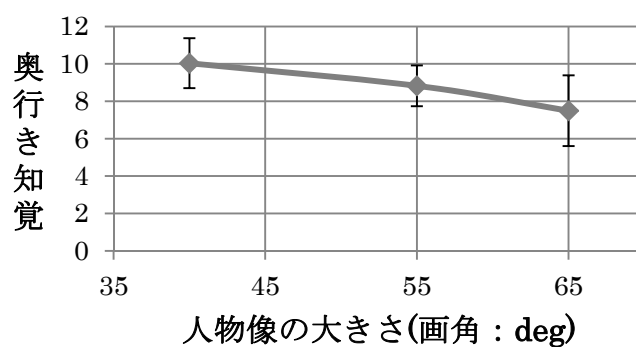


図 4-15：人物像の大きさの変化による奥行き知覚

表 4-6：人物像の大きさ 分散分析結果

	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確立
人物像の大きさ(画角:deg)	228.526	2	114.263	121.530	0.000

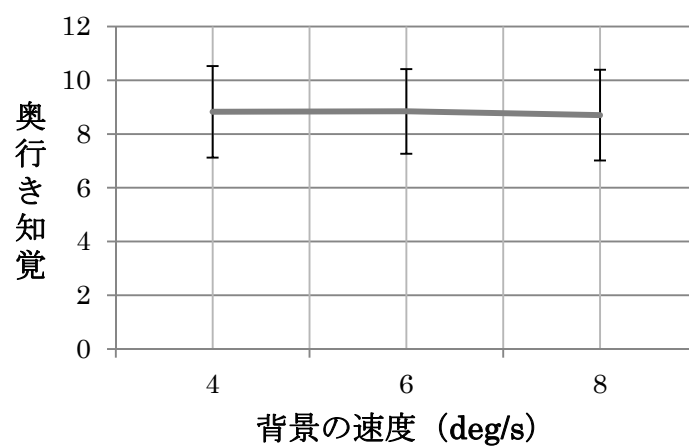


図 4-16：背景の速度の変化による奥行き知覚

表 4-7：背景の速度 分散分析結果

	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確立
背景の速度(deg/s)	0.391	2	0.196	0.208	0.812

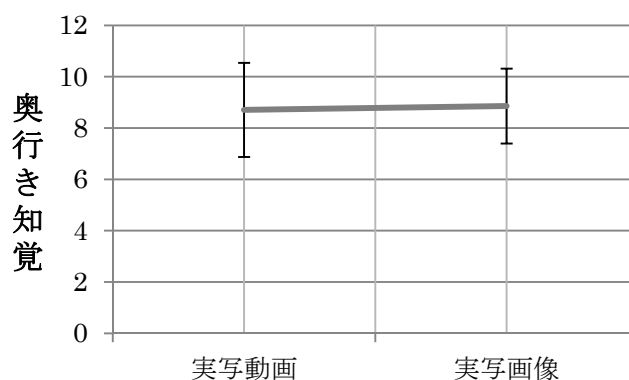


図 4-17：実写動画・実写画像における奥行き知覚

表 4-8：実写動画・実写画像 分散分析結果

	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確立
実写画像・実写動画	1.552	1	1.552	1.651	0.201

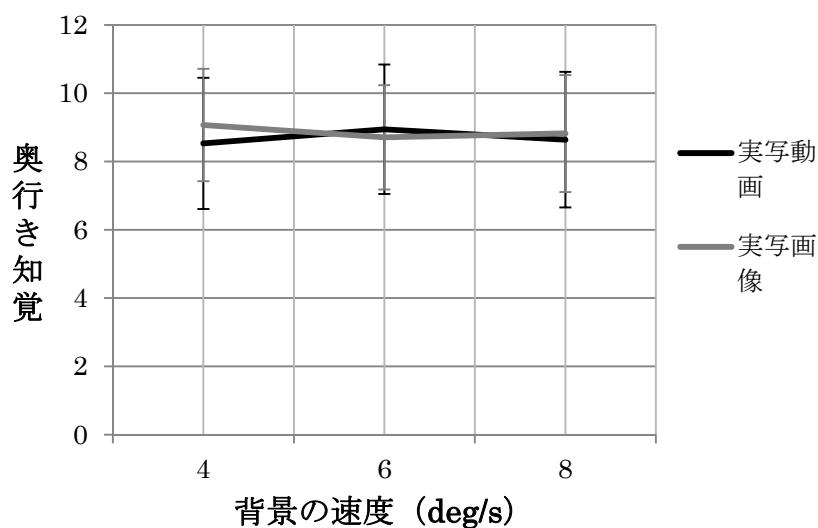


図 4-18：人物の静止画・動画と背景の速度変化による奥行き知覚

表 4-9：人物の静止画・動画と背景の速度変化 分散分析結果

	平方和	自由度	平均平方	F値	有意確立
背景の速度(deg/s) 実写画像・実写動画	5.741	2	2.870	3.053	0.500

## 第5章 臨場感アーカイブへの応用

### 5.1 東日本大震災の被害状況のアーカイブ

本研究で提案した実写ベースのドーム映像コンテンツの制作手法は、現実世界の臨場感アーカイブに応用することが出来る。本研究では応用例として、東日本大震災の被害状況のアーカイブを行った。被災地の撮影の様子は図 5-1 である。プラネタリウムのようなドーム形状のスクリーンで立体感・臨場感のある映像を体感してもらい、今回の惨事の教訓を記録として残し、のちの世代の知恵として伝承すること、防災意識の向上に繋げることを目的とした。今回、行った撮影では、宮城県石巻市、仙台市、陸前高田市、南三陸町を撮影スポットとして挙げた。



図 5-1：被災地の撮影の様子

多くの人は、テレビや youtube などの様々なメディアを通して、東日本大震災の画像・動画を見ることがあると思われる。しかし、実際に現地に訪れないと伝わらない自然の恐ろしさがあると撮影を通して感じた。やはり、様々なメディアを通して見ている被害状況の画像・動画だけではなく、臨場感を生み出す VR 技術によって、現実味を帯びた映像を体感してもらうことによって、自然の恐ろしさを視聴者に訴えていく必要があると考えている。

東日本大震災の被害状況のアーカイブの取り組みとして、google map, google earth を活用して、震災の記録、様々な情報を地図上に表示すると取り組みも行われている。google map 上にマスメディアの報道や、ネット上にある様々な画像情報、twitter の情報などをマッピングしていくサイト『東日本大震災マスメディア・カレッジ・マップ』(図 5-2) がある。

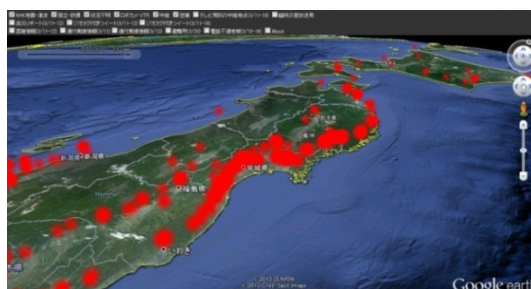


図 5-2 : 東日本大震災マスメディア・カレッジ・マップ

その他にも、関連研究の節で挙げた和歌山大学のドーム施設においても、東日本大震災の被害状況の全周映像のプラネタリウム投影も行われている。(図 5-3) プラネタリウムといったドーム型ディスプレイを利用した防災教育コンテンツの資料映像として撮影が行われた。全方位カメラを乗用車の屋根に取り付け、岩手県釜石市や大槌町などの被災地で、全天周映像の取得を行い、プラネタリウムへの投影が行われている。



図 5-3 : 被災地の全周映像のドーム投影

東日本大震災マスメディア・カレッジ・マップ: <http://media.mapping.jp/>  
 朝日新聞 2011 年 12 月 21 日『被災地の動画, プラネタリウムで』:  
<http://www.asahi.com/special/10005/TKY201112210135.html>

Google が公開している『未来へのキオク』では、東日本大震災で被害を受けた施設の様子を記録・保存する震災遺構デジタルアーカイブプロジェクトに取り組んでいる。被災地の各地の街並みの写真を公開するサービス「ストリートビュー」の技術を使い、実際にその場に立っているような感覚で 360 度の全周パノラマ画像が見ることが出来る。公開している 360 度の全周パノラマ画像は、震災前と震災後で比較出来るようになっている。(図 5-4)



図 5-4 : 未来へのキオク (右図:震災後 , 左図:震災前)

本研究では、実写ベースのドーム映像コンテンツの制作手法の提案を行っている。これまでの評価実験の結果に基づいた映像づくりをすることで、被災地の全周映像の提示だけでなく、仮想空間内にレイヤを加え更なる立体感・臨場感が期待出来る。

### 5.1.1 臨場感アーカイブを行った映像コンテンツ

映像コンテンツの制作にあたって、360 度のパノラマ画像を作成した。宮城県石巻市、仙台市、陸前高田市、南三陸町で撮影した画像を `stitcher` を用いてスティッチングを行った。今回、映像コンテンツとして使用した 360 度のパノラマ画像は、付録に掲載している図 A-1～図 A-7 である。これらの画像を仮想球体にテクスチャマッピングし、背景レイヤを作成した。これらの 7 つの背景レイヤを切り替えることで、シーンの変化を表現した。そして、その仮想球体の空間内に図 5-5 のような、ブルーバックで切り抜いた人物像の実写動画レイヤ及びその背景レイヤを撮影した場所を示す 2 次元 CG 画像のレイヤを準備し配置した。2 次元 CG レイヤについては、左右に直線移動を行うようアニメーションを設定した。また、これらの運動視差の効果により、レイヤを浮き出させることを目的としているため、背景を左右に動くようにアニメーションを設定した。その際、視聴者が酔いにくくするために、7 つのシーンごとに背景レイヤの動きを逆に設定した。360 度パノラマ画像を用いた被災地のドーム映像体験の様子は、図 5-6,7 である。



図 5-5 : 実写動画レイヤ (左図) ,2次元 CG 画像レイヤ (右図)



図 5-6 : 360 度パノラマ画像を用いた被災地のドーム映像体験①



図 5-7 : 360 度パノラマ画像を用いた被災地のドーム映像体験②



## 5.2 臨場感アーカイブの評価実験

小画面における被災地の映像及び、360度パノラマ画像の評価実験の実験結果に基づいた360度パノラマ画像を用いた被災地のドーム映像を、プラネタリウムで被験者に見てもらった。そして、臨場感アーカイブの有効性の検証を行った。

### 5.2.1 実験目的

臨場感アーカイブの有効性を、被災地のドーム映像を見た被験者が追体験が出来ているのかと定義した。追体験とは、他人の体験や作品を通して自分の体験として捉えることである。東日本大震災の臨場感アーカイブの目的は、今回の惨事を後の世代の知恵として伝承すること、防災意識の向上に繋げることであり、この追体験が出来ていればこれらに繋がると考えたためそのように定義した。

この追体験が出来ているのかを調べるためのアンケートを作成し、臨場感アーカイブによる映像を視聴者した被験者に答えてもらった。

### 5.2.2 実験環境

本実験では、ドーム環境として五藤光学研究所のプラネタリウム施設を利用した。利用したプラネタリウムは、直径18m、傾斜角30度の傾斜型ドームである。スクリーンへの投影は、液晶プロジェクターNEC NP2000Jに全周魚眼レンズRAYNOX DCR-CF185PROを取り付けて行った。

### 5.2.3 実験方法

この実験では、3パターンの映像を被験者に見てもらった。一つ目に歪み補正を行った被災地の360度パノラマ画像を用いたドーム映像を見てもらった(図5-8)。このドーム映像は、前回の実験結果に基づき実写映像及び2次元CG映像を2次元要素のレイヤとして空間内に配置している。前回の実験と同様に、それらの2次元要素のレイヤは、実写の背景レイヤの手前にブルーバックで切り抜いた実写の人物像やPhoto Shop及びGIMPを用いてくり抜いた2次元CG映像の位置情報を示したレイヤを配置した。

ドーム映像の比較対象として、テレビやパソコン、雑誌で見るような映像、写真を想定している。そのため、被験者にドーム映像を見てもらった後に、ノートパソコン

のモニタ画面に表示した被災地の画像を見てもらった（図 5-9 右図）。このパソコンのモニタは、12.1 型（1600×900 ドット）のサイズである。このモニタ上で表示している画像（図 5-11～5-14）は、レイヤを全て省き、ドーム映像で使った 360 度のパノラマ画像のワンシーンを切り抜いたものを使用している。

そして、三つ目にドームスクリーンに被災地の画像を歪み補正を行わない状態で投影し、被験者に見てもらった（図 5-9 左図）。歪み補正を行わないことで、スクリーンには、張り付いたような平面的な映像が映る。この映像を対象にした理由は、大画面のスクリーン及び小画面のスクリーンとのディスプレイサイズによる比較を行うためである。ディスプレイサイズが大きくなることで、映像の視聴者が感じる臨場感が高まると言われている。このパターンを比較対象とし、ディスプレイサイズによる影響についても、考慮しておく必要がある。

ドームに投影した 2 つの映像及びモニタ画面の画像について、それぞれ背景の 1 つのシーンごとに 15 秒間提示した。7 つのシーンの提示を行ったため、計 1 分 45 秒の映像をそれぞれ提示した。そして、それらの映像を見てもらった後にアンケートに答えてもらった。

この手順で、大学院生 5 人を被験者に 2 度ずつ実験を行った。それぞれの映像の提示については、1 人ずつ行った。観測位置は、ドームの中心に近く歪みの少ない位置から観測してもらった。

被験者に答えてもらったアンケートは、立体感があったか及び、その空間、その場にいる感覚があったかを 5 段階の数値で答えてもらった。それぞれの評価項目では、値が 5 に近い、つまり値が高ければ高い程、評価が高く、好ましいといった評価になる。実験の流れをまとめると以下のようなになる。

1. 座席に着席した状態で、歪み補正を行ったドーム映像（レイヤを配置したもの）を 1 分 45 秒の間見ってもらう。
2. 歪み補正を行っていない画像を 1 分 45 秒の間見ってもらう。
3. パソコンのモニタ画面の映像を 1 分 45 秒の間見ってもらう。
4. 繰り返し 1,2,3 を行う。
5. 被験者にアンケートを答えてもらう。



図 5-8：歪み補正・レイヤありのドーム映像



図 5-9：歪み補正なしのドーム映像（左図），モニタ画像（右図）

#### 5.2.4 実験結果

それぞれの映像パターン（表5-1）における被験者のアンケート結果は、表5-2のようになった。（以下、パターン①・パターン②・パターン③）

表5-3は、被験者全員の平均値及び標準偏差，標準誤差を示したものである。標準誤差とは標準偏差を $\sqrt{\text{被験者数}}$ で割ったものである。これらのデータに基づいて、t検定による統計解析を行った結果が図5-10～図5-11である。

表 5-1：提示した映像のパターン

	映像のパターン
パターン①	映像の歪み補正・レイヤありの動画(ドーム)
パターン②	歪み補正なしの静止画(ドーム)
パターン③	静止画像(パソコンのモニタ画面)

表 5-2：提示した映像のパターンのそれぞれのアンケート結果

	アンケート項目	被験者A	被験者B	被験者C	被験者D	被験者E
パターン①	立体感があった。	4	5	4	4	4
パターン①	その空間、その場にいる感覚があった。	4	4	4	5	5
パターン②	立体感があった。	2	2	2	2	3
パターン②	その空間、その場にいる感覚があった。	2	2	3	2	3
パターン③	立体感があった。	1	1	1	2	1
パターン③	その空間、その場にいる感覚があった。	1	1	1	2	1

表 5-3：提示した映像のパターンのそれぞれの標準誤差と標準偏差

	アンケート項目	全データの平均	標準偏差	標準誤差
パターン①	立体感があった。	4.20	0.40	0.18
パターン①	その空間、その場にいる感覚があった。	4.40	0.49	0.22
パターン②	立体感があった。	2.20	0.40	0.18
パターン②	その空間、その場にいる感覚があった。	2.40	0.49	0.22
パターン③	立体感があった。	1.20	0.40	0.18
パターン③	その空間、その場にいる感覚があった。	1.20	0.40	0.18

#### 5.2.4.1 『立体感があった.』項目のアンケート結果

アンケート項目『立体感があった.』において、t検定による統計解析を行った結果が、図5-16である。図5-16からもパターン①②③によって値が変化しているのが明確である。t検定による統計解析を行ったところ、パターン①とパターン③、パターン①とパターン②においては、 $p < 0.001$  の有意差が得られ、パターン②とパターン③においては、 $p < 0.005$  の有意差が得られた。

この結果から、それぞれのパターン映像の平均値と比較をすると、

- パターン①のドーム映像は、パターン②のドーム映像に比べて、立体感を生み出していること。

- パターン①のドーム映像は、パターン③のモニタ上の映像に比べて、立体感を生み出していること。
- パターン②のドーム映像は、パターン③のモニタ上の映像に比べて、立体感を生み出していること。

以上の3点が言える。

つまり、パターン①の本論文で提案している実写ベースのドーム映像コンテンツの制作手法に基づいて制作された映像コンテンツが、最も立体感を生み出していることが言える。これは、前回の実験結果通りにレイヤを加えることで奥行き階層を感じることで、映像の歪み補正をすることで被験者にスクリーン面を意識しない映像を見せることが出来たためであると考えられる。

また、パターン②とパターン③にも有意差があることから、ドーム環境という巨大なスクリーンの影響、つまりスクリーンサイズの影響によって、広角のドーム映像は被験者の視野を覆ったため、立体感を感じられたと考えられる。歪み補正を行っていないにも関わらず、立体感を強く感じたのは、屋内で撮影された画像を背景レイヤに用いた場合、空といった歪みがわかりづらい領域がないため、スクリーンに張り付いたような印象を受けるが、背景レイヤに用いている屋外で撮影された画像は、本来魚眼レンズによる強い歪みが表れる端の領域において、歪みを感じにくかったためであると考えられる。

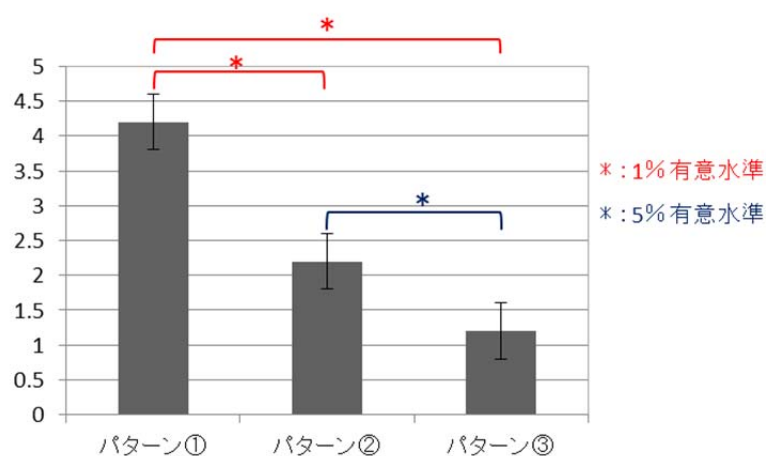


図 5-10: 『立体感があった.』に関するグラフ

#### 5.2.4.2 『その空間，その場にいる感覚があった.』項目のアンケート結果

アンケート項目『その空間，その場にいる感覚があった.』において，t検定による統計解析を行った結果が，図5-17である．図5-17からもパターン①②③によって値が変化しているのが明確である．t検定による統計解析を行ったところ，パターン①とパターン③，パターン①とパターン②においては， $p<0.001$  の有意差が得られ，パターン②とパターン③においては， $p<0.005$  の有意差が得られた．

この結果から，それぞれのパターン映像の平均値と比較をすると，

- パターン①のドーム映像は，パターン②のドーム映像に比べて，その空間，その場にいる感覚を生み出していること．
- パターン①のドーム映像は，パターン③のモニタ上の映像に比べて，その空間，その場にいる感覚を生み出していること．
- パターン②のドーム映像は，パターン③のモニタ上の映像に比べて，その空間，その場にいる感覚を生み出していること．

以上の3点が言える．

パターン①とパターン②において， $p<0.005$  の有意差が得られたのは，プラネタリウムという巨大なドームスクリーンの影響により，視野が覆われ、『立体感があった.』項目同様に，屋外の映像は歪みを感じにくく，スクリーンサイズの影響により，その空間・その場にいる感覚が生まれたと考えられる．

パターン①とパターン②，パターン①とパターン③，パターン②とパターン③で有意な結果となったことから，パターン①の本論文で提案している実写ベースのドーム映像コンテンツの制作手法に基づいて制作された映像コンテンツが，最もその空間，その場にいる感覚を生み出していることが言える．歪み補正を行うことによって，素直にドーム映像に没入出来たこと，また『立体感があった.』項目と同様の結果となっていることから，パターン①の映像はレイヤによって更なる奥行き階層，立体感を感じ，ドーム映像への没入感に効果を示したものと考えられる．

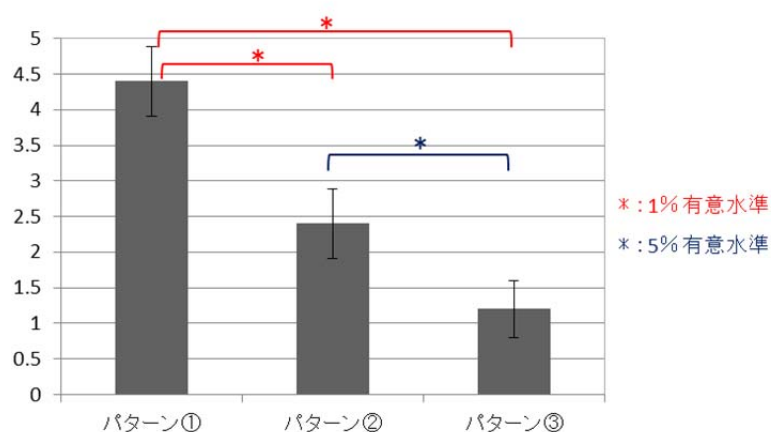


図 5-11 : 『その空間, その場にいる感覚があった.』に関するグラフ

### 5.2.5 実験結果 まとめ

パターン②やパターン③に比べ、パターン①の映像を視聴した被験者は最も、映像に立体感を感じ、その空間、その場にいる感覚があり、映像に没入していることがわかった。また、この効果は単なるディスプレイサイズによるものでないことについても示すことが出来た。

この2つのアンケートの分析結果から、今回行った東日本大震災の全周360度の臨場感アーカイブは、2次元的な映像表示よりも、立体感・その空間、その場にいる感覚を与えることが出来、ドーム映像の視聴者に追体験を行うことが可能であると言える。

そのため、通常触れる機会の多いテレビやyoutubeなどの様々なメディアを通した東日本大震災の画像・動画を見ることに比べ、今回行ったプラネタリウムでの臨場感アーカイブは、有効なアーカイブ方法であると言える。

## 第6章 実写ベースのドーム映像コンテンツの制作手法の評価実験

これまで述べてきたように、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。本研究では、そのようなドームディスプレイのスクリーン特性を利用したレイヤ分割法の考え方に基づいたドーム映像コンテンツの制作手法の提案を行ってきた。

これまで、アニメ映像や2次元CG映像をベースにしたレイヤ分割法が提案され、評価実験が行われ、その有効性が確認されてきた。本研究においては、実写画像・実写映像レイヤを使用することによって、仮想空間を構築する実写ベースのレイヤ分割法を提案し評価実験を行ってきた。結果、実写映像や実写画像の2次元映像要素のみでも空間表現出来ることがわかり、立体感・空間表現といった面の有効性を確認してきた。

本章ではこれまでの項目だけでなく、視聴者は、映像コンテンツに興味を持ったか、映像の見え方といった視聴者の視点に立った項目についての評価を行った。

### 6.1 実験目的

本研究の目的はドーム映像コンテンツにおける効果的な映像表現手法を確立し、そして、特殊技能、予備知識などを持たない人でも簡単にコンテンツ制作が行える、更に低コスト及び手軽にドーム映像を制作することが出来る環境の整備である。この制作手法をプラネタリウムに導入していく場合、映像が生み出す立体感の評価だけでなく、視聴者の視点に立った映像の見え方といった評価が必要となる。その評価を行うことを目的とした主観実験を行った。

今回の実験では、アンケート項目として内容に興味を湧いたかといった映像コンテンツの内容に関する項目が含まれているが、このアンケート項目は映像コンテンツ及び年齢層や性別といった被験者の属性に関する要因に大きく左右されることが考えられる。



しかし、今回の主観実験は、映像コンテンツ及び被験者による依存の少ない観点、つまりレイヤ分割法による VR 酔い（コンピュータ等によって作られる仮想的な現実感を視聴・体験することにより、酔った様な感覚・影響を受けること）・レイヤの違和感といった視聴者の視点に立った映像の見え方に関する項目を調べることを目的としている。

## 6.2 実験環境

本実験では、ドーム環境として五藤光学研究所のプラネタリウム施設を利用した。利用したプラネタリウムは、直径 18m、傾斜角 30 度の傾斜型ドームである。スクリーンへの投影は、液晶プロジェクター NEC NP2000J に全周魚眼レンズ RAYNOX DCR-CF185PRO を取り付けて行った。

## 6.3 実験方法

実写ベースのレイヤ分割法による映像コンテンツの評価を行うために、実写ベースのレイヤによって構築された映像コンテンツに関する主観実験を五藤光学のプラネタリウムで行った。映像コンテンツとして提示したのは、臨場感アーカイブで使用した約 1 分 45 秒のドーム映像コンテンツである。この映像コンテンツは、映像のほとんどが左右のカメラワークによって全周の情報を提示するコンテンツであり、ブルーバックで切り抜いた人物像の実写映像、場所の情報を示した 2 次元 CG 画像などの 2 次元 CG 要素のレイヤを仮想空間内に配置したものである。

被験者は大学院生 5 名で、評価項目は表 6-1 とし、左側に近い場合は 1、右側に近い場合は 5 とする 5 段階評価で評価してもらった。それぞれの項目の数値は 5 に近い程好ましく、1 に近い程好ましくないものになっている。

表 6-1 は、アンケート項目を示したものである。それぞれのアンケート項目については、以下の観点を調べることを目的として設定した。

- ① スクリーン形状が気になった・画面が歪んでいたに関する項目  
⇒ドームの曲面・魚眼レンズによる映像の歪み補正が適切に行われ、ドーム型ディスプレイのスクリーン特性を利用出来ているのかに関する評価

- ② もう見たくない、内容に興味湧かなかったに関する項目  
⇒制作した映像コンテンツの内容の評価
  
- ③ 臨場感があった・迫力があったに関する項目  
⇒レイヤによる空間表現が行われているかに関する評価
  
- ④ 一度に見れる情報量が少なかったに関する項目  
⇒レイヤ分割法はドーム映像の広視野特性を利用出来ているか、全周情報の提示が出来ているかに関する評価
  
- ⑤ 不快だった・疲れた・気分が悪くなったに関する項目  
⇒VR 酔いといった映像の見え方に関する評価
  
- ⑥ 違和感を感じた・動きが不自然だった・画像が不自然だった・レイヤを意識したに関する項目  
⇒レイヤ分割法でのレイヤの見え方・映像の見え方に関する評価

①～⑥の計 6 の観点でレイヤ分割法による映像の見え方を調べるため、これらの項目を設定した。

実験の目的でも述べたが、あくまで今回の主観実験は、映像コンテンツ及び被験者の属性による依存の少ない観点、つまりレイヤ分割法による VR 酔い・レイヤの違和感といった、特に⑤⑥の視聴者の視点に立った映像の見え方に関する項目を調べることを目的にしている。

プラネタリウムのようなドーム映像は没入感が格段に高いことから、視聴者への映像提示が長時間行われていない。これは、ドーム型ディスプレイの映像特性である。映画のような 2 時間に渡る長編の映像を提示しているプラネタリウムは存在しなく、現在普及している最も長編の映像コンテンツも約 40 分といった短い時間での映像提示に留まっている。これは、映像コンテンツのコストが高コスト化しているといった要因もあるが、主要因は、没入感が高いことによる視聴者への配慮である。

そのため、レイヤ分割法を用いた映像コンテンツにおいても、このようなドーム環境特有の不快感であったり、気分が悪くなったといった VR 酔いの詳しい観点での評価が必要である。そのため、⑤ではそのようなアンケート項目を設定している。

表 6-1：実写ベースの映像コンテンツの評価項目

アンケート項目
1:スクリーン形状が気になった ⇔ 5:気にならなかった
1:画面が歪んでいた ⇔ 5:歪んでいなかった
1:臨場感がなかった ⇔ 5:臨場感があった
1:もう見たくない ⇔ 5:もう一度見たい
1:内容に興味湧かなかった ⇔ 5:興味湧いた
1:迫力が欠けた ⇔ 5:迫力があった
1:一度に見れる情報量が少なかった ⇔ 5:多かった
1:不快だった ⇔ 5:快適だった
1:疲れた ⇔ 5:疲れなかった
1:気分が悪くなった ⇔ 5:悪くならなかった
1:違和感を感じた ⇔ 5:感じなかった
1:動きが不自然だった ⇔ 5:自然だった
1:画像が不自然だった ⇔ 5:自然だった
1:レイヤを意識した ⇔ 5:意識しなかった

## 6.4 実験結果

①～⑥の観点ごとに、それぞれのアンケート結果及びその考察を行っていく。

表 6-2：ドーム映像コンテンツの制作手法の主観実験アンケート結果①

アンケート項目	平均
1:スクリーン形状が気になった ⇔ 5:気にならなかった	4.20
1:画面が歪んでいた ⇔ 5:歪んでいなかった	4.00

これらの得点が低い場合、第3章で述べた歪み補正アルゴリズムを通して求めた歪み補正パラメータが間違っていることが考えられる。この歪み補正パラメータが間違っていると、ドームのスクリーンに映像が張り付いたように見えてしまうため、これまで実験で示してきたドーム特有の立体感を生み出すことが出来ない映像となってしまふ。そのため、そもそも今回のアンケートが、実験データとして使用出来ないものとなってしまふ。

しかし、今回の主観実験では、表 6-2 のように得点が 4.0 を超えていることから、歪み補正が問題なく行われていたことがわかる。それにより、スクリーン面をほとんど意識することなく、映像を視聴することが出来たことがわかる。そのため、360 度

パノラマ画像の評価実験で示した立体感を生み出すことが出来ていると考えられる。

このアンケート項目で、満点に近い数値で歪み補正を行うことが出来なかったのは、障害物により映像の領域の一部分において歪み補正が適切に行えなかったためであると考えられる。その障害物によるチェックボードパターンへの影響を図 6-1 に示す。コーナー座標の検出は、本来、自動で検出出来るが、この領域においては、コーナー座標の検出が行えなかった。この領域のコーナー座標については、手作業で入力を行った。そのため、この領域の手作業による映像の歪みを視聴者は感じ、評価数値が若干下がったものと考えられる。



図 6-1：障害物のあるチェックボードパターンのパノラマ画像

表 6-3：ドーム映像コンテンツの制作手法の主観実験アンケート結果②

アンケート項目	平均
1:もう見たくない ⇔ 5:もう一度見たい	4.60
1:内容に興味湧かなかった ⇔ 5:興味湧いた	4.00

表 6-3 の評価が 4 点代であったことから、実写のレイヤのみのコンテンツでも視聴者の興味を引いていることがわかる。

今回、投影を行ったドーム映像コンテンツは東日本大震災の被災地の映像であったため、視聴者に与える衝撃は大きくなると考えられる。臨場感アーカイブの評価実験の結果が示しているように、その空間・その場にいる感覚を視聴者に与えている。普段、東日本大震災の被害状況を見るのは youtube やテレビであり、そのため被験者は、

今回提示したような立体感のある被害状況の映像は見たことがなかったため、このような結果になったと考えられる。上記でも述べているが、この項目は、被験者の属性や映像コンテンツに依存するため、アミューズメントの要素の強い映像コンテンツなどの多様な映像コンテンツで評価を行っていく必要があると考えられる。

表 6-4：ドーム映像コンテンツの制作手法の主観実験アンケート結果③

アンケート項目	平均
1:臨場感がなかった ⇔ 5:臨場感があった	4.20
1:迫力が欠けた ⇔ 5:迫力があった	4.20

表 6-4 の評価が 4.2 であったことから、実写のレイヤのみのコンテンツでも十分な臨場感や迫力を表現していることがわかる。

今回、投影を行ったドーム映像コンテンツは東日本大震災の被災地の映像であったため、視聴者に与える衝撃は大きくなると考えられるため、迫力・臨場感の点で項目が高くなったのかもしれない。

しかし、レイヤのみの映像コンテンツで臨場感や迫力を演出出来たというのは、3次元 CG オブジェクトを用いることなく、十分な空間表現が出来たということが、この結果から言える。

表 6-5：ドーム映像コンテンツの制作手法の主観実験アンケート結果④

アンケート項目	平均
1:一度に見れる情報量が少なかった ⇔ 5:多かった	3.80

表6-5からわかるように、一度に見ることが出来る情報量の項目について得点が高かったのは、全周画像を提示したことによる情報量の増加が要因であると考えられる。

写真といえば狭い画角の 1 枚の写真が一般的だが、1 枚の写真では表せない表現が全周映像では可能である。プラネタリウムといったドーム型ディスプレイで特徴的な

のは、映像の裏側・反対側を連続的に見ることが出来る点にある。

また、ドーム映像の視聴者が自分の見たい方向を選んで見られるというインタラクティブ性に特徴がある。一般的な写真，あるいはビデオにおいてはカメラマンが決めた撮影角度を視聴者は見ることは出来ないが，このような全周映像であれば，見たい領域を好きな時に選んで見ることが出来る。

そのような点で，全周映像による情報量の増加がこのような結果に結び付いたと考えられる。今回の映像は，投影方式の関係上，プラネタリウムのディスプレイ全体に投影することが出来ていないが，背景レイヤを回転させることで，全周情報の提示を行っている。そのため，今回の実験結果から，採用している投影方式においても問題がなく，プラネタリウムの形状を活かした全周投影が行えたと考えられる。

今回は，映像のシーンごとにレイヤを 2 つしか仮想空間内に配置していないが，今後は，レイヤで全周を埋め尽くすような映像コンテンツの制作をすることで，更なる情報量の提示が見込むことが出来る。

表 6-6：ドーム映像コンテンツの制作手法の主観実験アンケート結果⑤

アンケート項目	平均
1:不快だった ⇔ 5:快適だった	3.00
1:疲れた ⇔ 5:疲れなかった	2.40
1:気分が悪くなった ⇔ 5:悪くならなかった	2.80

表6-6の項目で，全体的に低い得点となった。これらの得点は，カメラワークを設定する際に，左右の回転運動を連続で常時行ってしまったことが主な原因であると考えられる。

実験の際，被験者に感想を聞いてみたが，少し目が回ったとの意見もあった。視聴者が酔いにくいよう，背景の動きをシーンごとに逆にしていたが，映像コンテンツ制作者が思っていた以上に，背景の回転速度が視聴者には速く，映像の視聴者は酔ってしまったと考えられる。このように，映像コンテンツの制作者と映像の視聴者とは，感覚的な差異が生まれてしまう。

前もってこのような注意点を知っていれば，背景映像の動きを視聴者が注視したいと考えられる，予測出来るシーンで一時的に止めたり，背景映像の動き・速度を大幅

に落とすといった工夫により、この問題はかなり改善されるのではないかと考えられる。

また、今回の映像コンテンツは、背景レイヤに 360 度のパノラマ画像を使用しているため、背景を左右に動かすことで運動視差の効果を生み出している。背景レイヤに 360 度のパノラマ動画を使用することで、背景を左右に動かすといった極端なカメラワークをすることなく、自然に運動視差の効果を生み出すことが出来ると考えられる。360 度のパノラマ動画を使用することで、自然な映像を視聴者に提示し、視聴者の VR 酔いによる疲労も軽減出来ると考えられる。

しかし、このような VR 酔いになったとの結果が出たが、VR 酔いを視聴者に与えたということは、その映像に没入したと言い換えることも出来る。本論文で提案している実写ベースのドーム映像コンテンツの制作手法は、高い没入感を視聴者に与えることが出来ているとも考えられる。

表 6-7：ドーム映像コンテンツの制作手法の主観実験アンケート結果⑥

アンケート項目	平均
1:違和感を感じた ⇔ 5:感じなかった	3.60
1:動きが不自然だった ⇔ 5:自然だった	3.20
1:画像が不自然だった ⇔ 5:自然だった	3.80
1:レイヤを意識した ⇔ 5:意識しなかった	3.20

表 6-7 で、得点が 3 点代とあまり高い得点でなかったのは、主に近景・中景レイヤとして配置しているブルーバックで切り抜いた人物像の実写映像レイヤが同じ動きの繰り返しだったのが要因であると考えられる。

今回は、10 秒程度の長さのものを繰り返しレンダリングしていたのだが、さらに長い時間撮影し、様々な動きをした実写映像レイヤを加えることでこの点は、改善されると考えられる。

また、視聴者のドームの視線の角度と、ドームに投影された映像の仮想空間内のカメラの角度のズレが生じていたことも要因であると考えられる。今後は、水平線の感覚を映像の視聴者の視点と並行にすることで、違和感・不自然さを軽減出来るのではないかと考えられる。それぞれの傾斜型や水平型といったそれぞれのプラネタリウムや設置さ

れている座席によってこの水平線は変わるが、それに対応させたプログラム修正を行っていく必要がある。

レイヤの意識の項目においては、それぞれのレイヤにおける撮影環境の違いにより、レイヤごとの明度やコントラストの違いが発生したことが要因であると考えられる。レイヤを準備する際、レイヤごとに撮影環境を揃えることは難しいため、フォトタッチソフトを使用した映像・画像の適切な加工が必要になると考えられる。

被験者から、「配置している人物像の実写レイヤの解像度が低い」という意見があった。これは今回の、 $512 \times 512$ ピクセルで実写映像レイヤのレンダリングを行っているためである。今後は、高解像度で撮影することが出来るカメラで撮影を行い、レイヤを準備する必要がある。また、背景のレイヤの解像度は、 $3600 \times 1800$ ピクセルにリサイズしたものを使用しているが、`stitcher`で全周パノラマ画像を作成した際、30枚の画像を使用しているため、一辺10000ピクセルを超える解像度のものが準備することが出来る。プログラム上の問題で、今回は画質を落としたものを使用している。

より解像度の高いプロジェクターや投影方式の変更が必要になるが、今後は超高解像度で背景レイヤをテクスチャマッピングしていくことによりこの問題は改善出来ると考えられる。

## 6.5 実験結果 まとめ

今回の実験で行った歪み補正に関してはしっかり出来ていたと考えられるが、映像酔いの観点で低い評価であった。今後は、それぞれのアンケート項目の結果で述べた課題について取り組んでいく必要がある。

プラネタリウムは図書館など公共施設との複合施設として設置されているケースが特に地方のプラネタリウムの場合が多い。そこでのプラネタリウムは、複合施設であるため、地域住民も集まりやすく、地域住民の憩いの場となっている。そのため、プラネタリウムは老若男女楽しむことが出来る施設であることが望まれている。

このような傾向から考えて、今後、レイヤ分割法による映像コンテンツの評価を行っていく際、様々な年齢層の被験者で主観実験を行っていく必要があると考えられる。この手の主観実験は、映像コンテンツによる影響がかなり強い。今回の主観実験においては、被験者の属性に依存しにくい観点のVR酔いやレイヤの違和感といった映像の見え方に関する項目の調査を目的としていたため問題はなかったが、今後は、ターゲットにする被験者の属性に合わせた映像コンテンツの制作を行い、興味が湧いたかや楽しめた



かといった観点で、レイヤ分割法の映像の内容に関する主観的評価を行っていく必要があると考えられる。

レイヤ分割法であれば、天体の映像コンテンツに限らず、多様な映像コンテンツの制作が可能である。そのため、その年齢層に合わせた映像コンテンツ、例えば、児童向けの映像コンテンツであれば、アニメのキャラクターを多様に使用した映像コンテンツ、若者向けの映像コンテンツであれば、アトラクション的要素の強い映像コンテンツといった具合に、それぞれターゲットを絞った映像コンテンツ制作を行い、その映像の評価をしていくことが必要である。

## 第7章 結論

本研究では、ドーム映像コンテンツ制作の低コスト化・円滑化を目的とした実写ベースのドーム映像コンテンツの制作手法の提案を行った。そこで、ドーム型ディスプレイという特殊な環境下で感じられる立体感を利用したレイヤ分割法の考え方に基づき、実写ベースの映像コンテンツの制作手法について検討を行った。

本研究では、以下の3つの実験に取り組んだ。その結果は、以下の通りである。

- 実写画像・実写動画を用いた360度パノラマコンテンツの評価実験

実験では、360度パノラマ画像をテクスチャマッピングした背景映像に、実写画像・実写映像を空間内に配置することで感じられる奥行き知覚について実験による評価を行った。その結果、前景映像のレイヤのサイズを変えることや、背景画像を移動させることで、運動視差の効果を生み出し、被験者の感じる奥行き知覚に影響を与えることがわかった。本実験により実写映像・実写画像レイヤでも空間表現が可能であることが示された。

- 臨場感アーカイブの評価実験

実写ベースのドーム映像コンテンツの制作手法の応用である臨場感アーカイブについて東日本大震災の被害を例に挙げ、実験による評価を行った。その結果、被験者は臨場感の高いドーム映像を体験することで、スクリーンサイズの大小に関わらず、実写ベースのレイヤ分割法に基づいて制作されたドーム映像コンテンツは立体感を生み出していること、その空間、その場にいる感覚を視聴者に与えていることがわかった。本実験により、本研究で提案しているドーム映像コンテンツの制作手法は、臨場感アーカイブに応用可能であることを示した。

- 実写ベースのドーム映像コンテンツの制作手法に関する評価実験

臨場感アーカイブで制作した映像コンテンツを使用して、実写ベースのドーム映像コンテンツの制作手法について、立体感に関する評価だけでなく、視聴者の視点に

立った映像の見え方に関する評価を行った。その結果、迫力や臨場感に関する項目では、高い評価が得られたが、VR 酔いによる疲労等の改善が必要であることがわかった。しかし、実写ベースのドーム映像コンテンツの制作手法は、カメラワークやレイヤの解像度といった点の工夫次第では、高臨場感を実現出来る可能性を持っていることを示した。

第 5 章において、実写ベースのレイヤ分割法による仮想空間の構築を東日本大震災の被災地の被害状況を伝える映像コンテンツの制作を行ったが、この手の全天周映像コンテンツは 2 週間程度で、コストがほとんど掛からず手軽に制作することが出来る。これは現在、ドーム映像制作で行われている全天周の 3 次元 CG モデリングに比べ、遥かに低コストかつ短期間で制作が出来ているということになる。

このような短い制作期間で済む理由については、実写による映像コンテンツ素材を利用しているため、映像の背景については 360 度パノラマ画像を準備するだけであり、仮想空間内に配置するレイヤについては背景を切り抜くといった短時間で済む単調な作業であるためである。

また、映像コストをほとんど掛からず抑えることが出来る理由については、映像内に使用したレイヤは実写であるため特別な装置を使用することなく、一般的なカメラやビデオカメラで撮影が可能であり、その撮影は自分で撮影を行えるためである。しかし、本研究内で制作した映像コンテンツは、映像制作経験のない筆者が制作したため、クオリティーの面で課題がある。実写ベースのレイヤ分割法により、映像コンテンツ制作の低コスト化・円滑化出来ることは間違いないが、今後はレイヤ分割法による高クオリティーの映像制作に取り組み、3 次元 CG モデリングとの制作期間・コスト比較を行い、その低コスト化・円滑化について定量的に示していく必要がある。

図 7-1 は、実写ベースのドーム映像コンテンツの体系化に必要な要素をまとめたものである。本研究により、制作期間の円滑化・コスト・立体感について示すことが出来たと考えられるが、酔いにくいカメラワークや映像ストーリーといった感性的評価の部分の検討がまだ出来ていない（図 7-1 の赤丸内）。やはり、映像はストーリー性が大事であり、それによって視聴者の感じる印象も変わってくる。今後は、ドーム環境で立体感を生み出すことを目的とした被験者実験を更に積み重ねるだけでなく、映像コンテンツのストーリーなどの視聴者の視点に立った感性的な評価を行うための被験者実験に取り組んでいく必要があると考えられる。

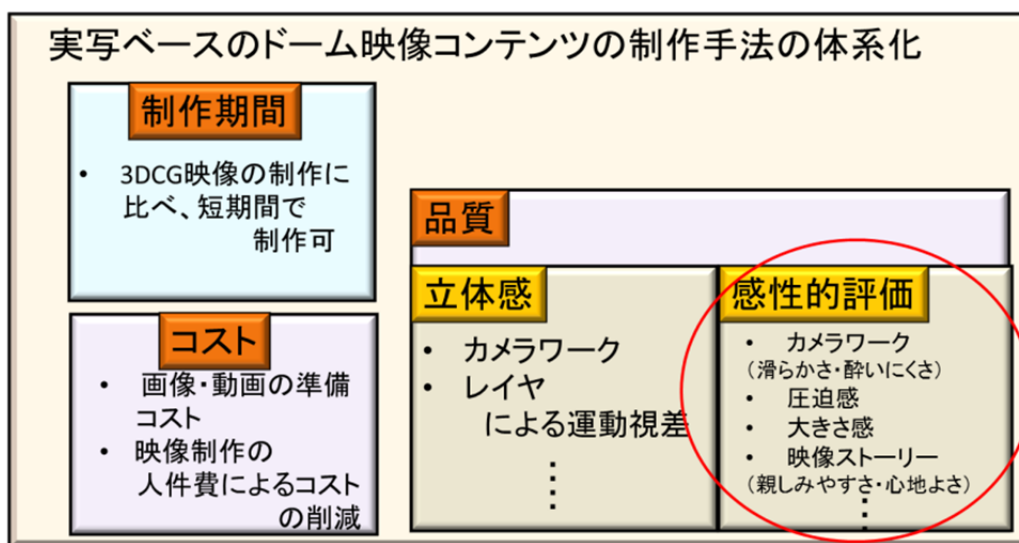


図 7-1：実写ベースのドーム映像コンテンツの制作手法の体系化

研究の背景の点で挙げたプラネタリウムの観客数の減少についてだが、既存のプラネタリウム自体の魅力の低下が観客動員数数の低迷の要因であると考えられる。それは、これまで述べてきたように、映像コンテンツの不足が主要因であるが、外注制作の番組導入によるスタッフの質の低下も少なからず影響していると考えている。

スタッフの質が下がれば当然番組の質も下がる。番組が自作できないスタッフは番組を外注せざる得なくなり、その結果ますますスタッフの質が下がってしまう。

こういった状況の変革を行うために、本研究で提案している誰でも映像コンテンツの制作が行えるような環境の整備、つまりレイヤ分割法といった円滑なドーム映像コンテンツの制作手法が必要であると考えられる。確かに異分野・他業界との連携、地域との連携も重要な点である。しかし、プラネタリウム自体の魅力の回復こそがプラネタリウム業界活性化の鍵になると考えられる。

プラネタリウム自体の魅力の回復のために、それぞれのプラネタリウムがオリジナル番組の中で、娯楽・アトラクションの要素で強い個性を出し、差別化し、独自性を出していくべきであると考えられる。スタッフが自力で映像コンテンツを制作出来るようになれば、プラネタリウムのナレーションによる解説も質が向上する。つまり、スタッフの質の向上に取り組むことが出来る。

そのために、本研究で提案しているレイヤ分割法といった映像コンテンツを低コスト化・円滑化する、また、3次元CGモデリングなどの特別な知識を持たない人でも映像制作が可能なコンテンツ制作手法が必要となる。また、提案手法では、莫大な制

作期間・コストが掛かる映像コンテンツを円滑化し、低コストに抑えることが出来るため、多様な映像コンテンツを普及させ、それらの映像コンテンツの上映周期をはやめていくことが可能となる。それにより、プラネタリウムのリピータ客を増やし、多くの観客に足繁く通ってもらうための重要な要素となりえる。

そのために今後は、多様なレイヤコンテンツの制作に取り組み、この手法を用いて制作された映像コンテンツの普及に努めていくことが必要であると考えている。

## 第8章 課題

本章では、今後の課題について述べる。第7章の結論において、本研究の実写ベースのレイヤ分割法における課題として、感性的評価を挙げた。この感性的評価の領域については、本研究では取り組んで来なかったため、本論文内では、これまで取り組んできたドーム映像における視聴者の視線運動や4Kカメラによる全周映像の撮影や、東日本大震災の臨場感アーカイブについての研究課題を述べる。

### 8.1 ドーム映像コンテンツの視線計測

プラネタリウムのようなドーム型ディスプレイでは、コンテンツを上映している際に観客は一瞬全体を見るかもしれないが、ほとんどの時間はじっとどこかを見つめているはずである。プラネタリウムのようなドームディスプレイにおいて観客は大半、正面方向の映像を見ることが予想されるが、ドーム映像は全周映像であるため、様々な角度の映像に目を向けるだろう。ドーム環境における視線の法則性を見つけることができれば、作り手が意図的に視線を誘導し、それに応じたレイヤのアニメーションを行うことで、伝えたい映像を的確に見せることも可能である。

そこで、コンテンツを鑑賞している際の視線移動を計測した。その際、本研究で使用している実験環境では、プロジェクターの輝度の問題により、視線計測機による映像の録画が出来なかった。そのため、被験者の視線は計測されているが、被験者が映像のどこを見ているのかわからなかったため、実写ベースのレイヤ分割法により制作した映像コンテンツにおいて、視線計測をすることが出来なかった。ここで録画された映像は、Premiere Pro (Adobe 社製) によって、映像コントラスト・明るさのパラメータを変更しても、映像を確認することが出来なかった。

そのような背景があり、本論文では、日本科学未来館で行った『ちきゅうをみつめて』という映像コンテンツで行った視線計測について述べる。日本科学未来館のプラネタリウムは、マルチプロジェクション方式を採用している。そのため、輝度が高く、視線計測機も問題なく録画が可能であり、被験者がどこを見ているのか、Premiere Pro による映像コントラスト・明るさのパラメータを変更することで解析が可能であった。この映像コンテンツ『ちきゅうをみつめて』は、CG 映像とアニメ映像を融合したドーム映像コンテンツである (図 8-1)。

今回の視線計測では、ドーム型ディスプレイと平面ディスプレイとの注視点移動回数の違いは示すことが出来たが、本来目的としていた上下左右といったドーム環境特有の視線の動き方、視線の動きの法則性を見つけ出すことが出来なかった。

そのため、本論文では、今回行った実験を踏まえ視線移動に関する今後の課題について述べる。



図 8-1:『ちきゅうをみつめて』の CG 映像 (左図) , アニメ映像 (右図)

### 8.1.1 視線計測装置

代表的な視線計測の手法には、EOG 法、リンバストラッカー法、角膜反射法による方法がある。本研究における視線計測では、角膜反射法の 1 つの手法である瞳孔/角膜反射法を採用している。眼前に赤外線 LED を配置し、それを光源として角膜に反射させ、角膜と眼球の回転中心の違いにより、眼球運動に伴って並行移動するのを赤外線カメラによって検出する。また、瞳孔の中心も同時に検出し、それを基準とするため、センサが多少動いても検出が可能となっている。搭載したビデオカメラで視野映像を記録し、視聴者がどこを見ているのか把握するために、視線計測情報を重ね合わせた視野映像を記録する。

視点計測では、株式会社ナックイメージテクノロジーの視点計測機 (EMR-9) を使用し、被験者が映像を視聴する際の注視点移動回数に注目して分析を行った。視点計測機器 (EMR-9) のヘッドユニットは帽子タイプ、グラスタイプがあるが、本研究では、帽子タイプの視線計測機器 (EMR-9) を使用した。視点計測機器 (EMR-9) の仕様の詳細は、表 8-1 のようになっている。

図 8-1 に示す帽子タイプの視線計測機を装着し、視線移動を計測する。視線計測機

器 (EMR-9)を用いて記録した視線移動データは、csv ファイルに変換することで、被験者の視線位置の  $x,y$  座標を解析することが出来るが、今回の実験では、注視点移動回数に着目しているため、この csv ファイルを使用しなかった。



図 8-2 : 視線計測機 (EMR9)

2 点キャリブレーションの実装、アイマークオフセット機能の実装により短時間でセッティング (30 分程度) が可能であるが、被験者がメガネをかけている場合や、眼球の大きさの影響により、キャリブレーションの時間が 1 時間程度掛かることもある。

キャリブレーションの手順について以下に示す。

1. 被験者に視線計測装置EMR-9の装着をする。被験者の眼球をカメラが捉えられるように、帽子の深さ・角度の調整を行う。
2. 的確に被験者の瞳孔を捉えられるようカメラの角度の調整を行う。
3. カメラキャリブレーションを開始する。
4. 左右の目それぞれで、二値化の調整を行い、瞳孔のトラッキングが出来ているのかを確認する。



5. 田の字がモニタに綺麗に表示されるとキャリブレーションは成功である。キャリブレーションが成功すると、被験者が映像のどこを見ているのかを確認することが可能である。

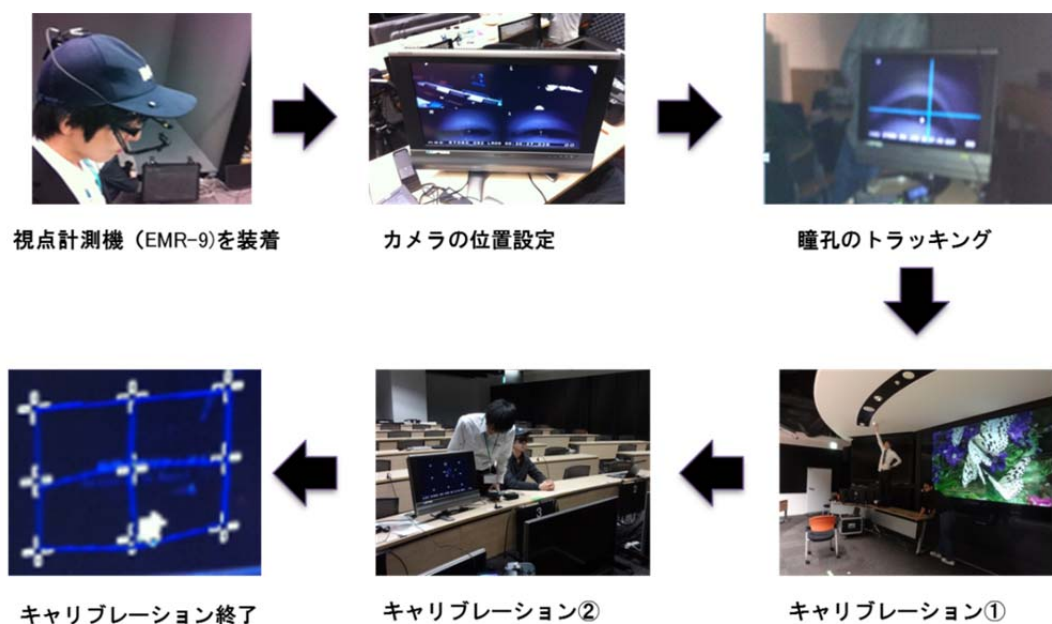


図 8-3 : EMR9 のキャリブレーションの手順

このような手順で視線計測機のセッティングを行い、視線計測を行う。図 8-3 の十は、左目を示し、□は右目を示し、○は右目と左目の中央を示している。左右の目の瞳孔を捉え、被験者がどこを見ているのかわかる。そして、検出された被験者の視点の停留回数である注視点移動回数のカウントを行う。



図 8-4 : 視線計測の様子

## 8.1.2 実験環境

本実験では、ドーム環境として日本科学未来館のプラネタリウム施設を利用した。利用したプラネタリウムは、直径 15.24m、傾斜角 23.5 度の傾斜型ドームである。スクリーンへの投影は、フル HD8 倍相当の高精細な映像を高輝度プロジェクター4 台で行っている。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にある CDF は、180inch の平面ディスプレイである。この際の視野角は、CDF で 36[deg]、ドームで 180[deg]である。

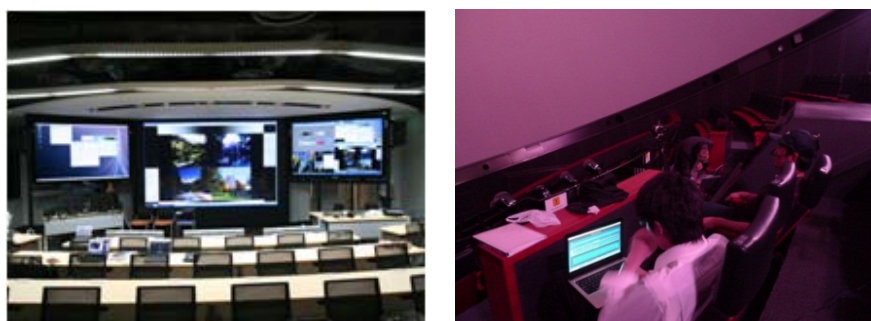


図 8-5 : ディスプレイ環境 (左図: CDF, 右図: 日本科学未来館)

## 8.1.3 実験方法

スイートスポットであるドーム中心に被験者に座ってもらい、映像コンテンツ（ちきゅうをみつめて）を流す。ここでの映像は、6分17秒見てもらった。そして、同じ条件で、CDFのスイートスポット（180インチディスプレイから、6.2m離れた2列目中央の席）に座ってもらい、同様の映像コンテンツを見てもらった。CDFで見てもらった映像は、日本科学未来館のプラネタリウムと映像自体は同じであるが、ドーム映像を平面ディスプレイ用映像に落とし込んだものを使用している。被験者は大学院生5名で、ドーム映像とCDFの映像をそれぞれ見てもらい視線計測を行った。

## 8.1.4 実験結果

まず、ドーム映像の視線計測データに注目し分析を行った。『ちきゅうをみつめて』の映像を3DCG映像とアニメ映像に分類し、それぞれの注視点の移動回数の比較を行

った。それぞれ分類した映像の時間としては、4分の3DCGで描かれた立体感を強く感じるシーンと2分17秒のアニメの要素が強いシーンで分けている。そして、それぞれの視線の停留回数を数え、t検定を行った。

それぞれの被験者において、それぞれのシーンごとの注視点移動回数を示したものが図?であり、毎秒あたりの視点移動回数を示したものが図?である。それぞれの映像要素の投影時間が異なるため、毎秒あたりの注視点移動回数に着目し、解析を行った。

表 8-1：注視点移動回数

注視点移動回数	被験者A	被験者B	被験者C	被験者D	被験者E
3DCG	225	355	274	345	346
アニメ	109	203	173	206	193

表 8-2：毎秒ごとの注視点移動回数

/sec	被験者A	被験者B	被験者C	被験者D	被験者E
3DCG	0.95	1.50	1.16	1.46	1.46
アニメ	0.81	1.50	1.28	1.53	1.43

ここでの結果を基にt検定による統計解析を行ったが、有意差はなかった。つまり、CGとアニメでは視聴者の注視点移動回数にそれほど違いはないことがわかった。この結果から、3次元要素の強いものと2次元要素の強いものという映像要素の違いによって、プラネタリウムの視聴者は映像の見方は変わるのではなく、プラネタリウムというドームディスプレイ特有の視線誘導の効果があると考えた。

そこで、次にドームスクリーンの特徴を把握するために、視野角（スクリーンサイズ）に注目した。そこで、ドーム映像とCDFでの映像との比較を行った。

ここでも注視点移動回数に着目し、解析を行った。それぞれのディスプレイごとの注視点移動回数を示したものが図?であり、毎秒あたりの視点移動回数を示したものが図?である。

表 8-3 : 注視点移動回数

注視点移動回数	被験者A	被験者B	被験者C	被験者D	被験者E
慶應CDF	403	312	431	445	350
プラネタリウム	539	334	558	468	551

表 8-4 : 毎秒ごとの注視点移動回数

/sec	被験者A	被験者B	被験者C	被験者D	被験者E
慶應CDF	1.08	0.84	1.16	1.20	0.94
プラネタリウム	1.45	0.90	1.50	1.26	1.48

結果, ドーム映像は, CDF での映像に比べて視線移動回数が多く, ドーム映像の視聴中は, じっと一つの領域を見つめているのではなく, 様々な領域を見ていることがわかった. ( $P=0.05$ )つまり, 当初考えていた視聴者は一つの領域をじっと見つめることはドーム環境では少ないことが示された.

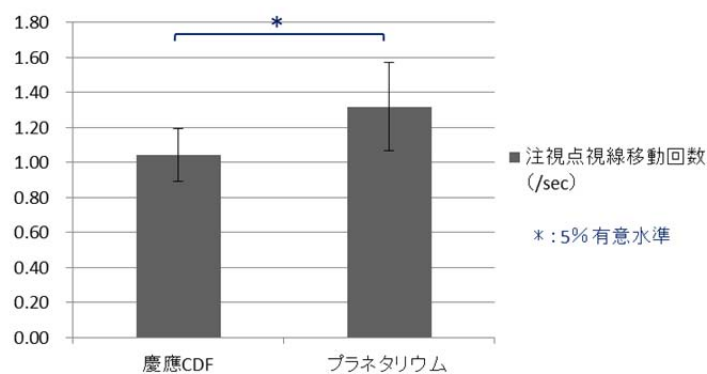


図 8-6 : 視線計測の実験結果

今回の実験では, 映像要素による視線移動の傾向は, 掴むことは出来ず, ドーム型ディスプレイと平面ディスプレイの視聴者の注視点移動回数の違いの傾向しか掴むことしか出来なかった.

今後は、よりドーム映像コンテンツ制作にフィードバック出来るレベルの視線移動解析を行っていく必要がある。今回の実験で明らかになったドーム環境下において回数が多い注視点移動回数について、その注視点移動はどのような映像要素の条件下で、変化するのかといった視線運動の傾向を具体的に明らかにしていく必要がある。

そのために、マルチプロジェクション方式による投影や、4K プロジェクターといった輝度の高いプロジェクターでの投影をすることで、視線計測機 (EMR9) が映像認識を出来るように輝度を高める必要がある。

そして、レイヤを上下左右同時かつ連続的に移動させる映像コンテンツを制作し、ドーム環境における映像の視聴者はどのレイヤに目を向ける傾向があるのか、空間内に配置する様々なレイヤの種類 (人物像や幾何学的な情報など) を提示し、どのレイヤに目を向ける傾向があるのかといった具体的な解析が今後必要になると考えている。

## 8.2 動画の背景レイヤ・超高解像度レイヤ

### 8.2.1 360 度パノラマ動画の使用

本研究では、Nordal Ninja MKII を使用し、360 度のパノラマ画像を作成し背景レイヤとして使用した。また、その背景レイヤを左右に動かし、中景レイヤ・近景レイヤを空間内に配置することで運動視差の効果を生み出した。これは、360 度パノラマ動画を撮影するカメラを準備することが出来なかったため、ドームスクリーン全体を覆った投影が出来なかったためである。

今後の課題として、360 度パノラマ動画を背景レイヤとして使用し、中景レイヤや近景レイヤに実写レイヤを空間内に配置することで、生まれる運動視差の効果を調べる必要がある。

現在、360 度パノラマ動画を撮影するカメラとして最も用いられているのが、Point Grey 社製 Lady bug である。このカメラを使用することで、同期動作する 6 台のカメラが取得した画像をリアルタイムにパノラマ合成し、出力することが出来る。このような Lady bug を使用した 360 度のパノラマ動画の取得に取り組む必要がある。

全方位型マルチカメラシステムである Lady bug を用いた研究として、様々な取り組みが行われている。[18]では、LadyBug を用いて、LadyBug 内の複数のカメラ間の幾何学的及び光学的なキャリブレーションを行っている。そして、そのキャリブレーション結果を基にして全周 360 度パノラマ動画を作成する手法を提案している。その取得された 360 度パノラマ動画をドーム型ディスプレイに表示し、テレプレゼンス

に利用可能であることを確認している。

今後の課題として、このような 360 度パノラマ動画の取得に取り組み、背景レイヤとして、表示する映像システムを構築していく必要がある。そして、実写ベースのレイヤ分割法の背景レイヤとして応用していく必要がある。

## 8.2.2 超高解像度映像を用いたドーム映像

本研究において、図 8-7 左図の 4K カメラを使用し、第 5 章で挙げた東日本大震災の全周魚眼レンズを用いて、4K 解像度の全周映像の撮影を試みている。今後、この映像のような超高解像度の全周映像を背景映像として、使用していく必要があると考えられる。

関連研究で皆既日食のプラネタリウムの 4K 映像投影で触れたが、撮影の様子（図 8-7 右図）からわかるように 4K 映像の撮影は、パソコン・ハードディスクの持ち運びや電源プラグの確保等で撮影は困難であった。将来的に、持ち運び易さの点で、現在の市販されている一般的なカメラと変わらなくなった時、映像コンテンツへの応用が考えられる。

今後は、4K 映像を背景レイヤとして使用し、超高解像度による視聴者の奥行き知覚変化や臨場感等を調べていく必要がある。本研究では、4K プロジェクターといった超高解像度のデジタルプロジェクターを準備することが出来なかったため、レイヤの解像度の変化によるドーム映像の視聴者の知覚特性については、調べてこなかった。そのため、今後は解像度の変化によるドーム映像視聴者の奥行き知覚変化について、調べていく必要があると考えられる。



図 8-7 : 4K カメラ (左図) , 4K カメラでの撮影の様子 (右図)

### 8.3 東日本大震災 臨場感アーカイブにおける課題

Google が公開している「未来へのキオク」では、同じ地点で震災前後のストリートビューを切り替えて表示することが出来る。視線の設定を震災前後で合わせてあるため、街並みであったり、立ち並んでいる家やビルが、震災後の表示に切り替えると跡形もなくなってしまう。漠然と被害状況を映像として提示するのではなく、震災前後でどのようになってしまったのか比較出来るものを提示することで、より津波による被害を視聴者に伝えることが出来ると考えられる。また、それにより津波の恐ろしさを伝えることが出来、更なる防災の意識の向上に繋がると考えられる。津波によって、周辺の町ごと全て津波に飲まれさら地になってしまっている地域も多い。このような地域の被害を、伝えていく場合、震災前後の映像で比較した方が、明らかに被害状況は伝わる。そこで、今回は「未来へのキオク」を使用し、震災前の 360 度パノラマ画像を作成した。「未来へのキオク」は、Google ストリートビューと同様に操作者がインタラクティブに全周パノラマ画像を見ることが出来る。

今回はストリートビュー内で、カメラ位置を変えずに角度のみを変更し、スクリーンキャプチャを行い、全周の画像の取得を行った。そして、スクリーンキャプチャによる画像を約 40 枚程準備し、stitcher によりスティッチングを行った。図 8-8 は、その方法で作成した宮城県石巻市門脇町門脇小学校前の被災前の 360 度パノラマ画像である。第 5 章で挙げた被災地の臨場感アーカイブの際に撮影した震災後の宮城県石巻市門脇町門脇小学校前の 360 度パノラマ画像と図 8-8 を映像によって比較し、津波によりどれだけの被害があったのか、それぞれの背景レイヤを切り替えることで直感的にわかりやすい映像コンテンツを制作した。



図 8-8：被災前の宮城県石巻市門脇町門脇小学校前

今後の課題として、多くのスポットで震災前後の比較が行えるような映像コンテンツを制作し、被害状況がどれだけ伝わったかといった点や、防災の意識が向上したかといった点を調べ、更に有効な臨場感アーカイブについて検討・応用していく必要がある。

今回、第5章の臨場感アーカイブで取り組んだ被災地の360度パノラマ画像の撮影において、それぞれの画像の撮影スポットの緯度経度を記録してある。そこで、その同じ撮影スポットで、震災から復興していく現地の撮影も行い、現地の復興の様子も映像コンテンツに組み込み、ドーム映像の視聴者に現地の復興の様子をアーカイブし伝えていくことも今後必要になってくると考えられる。



## 謝辞

本論文の執筆にあたり、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小木哲朗教授，副査の教授である手嶋龍一教授，神武直彦教授，ビジュアル・シミュレーション研究室所属の立山義祐研究奨励助教，Husup Lee 特任講師，研究員の栗田祐輔さん，醍醐博明さん，近清武さん，宮城大学の茅原拓朗教授から多くのご指導を頂きました。また，実験を行うにあたり，プラネタリウム施設を提供して頂いた五藤光学研究所の高橋由昭様には大変お世話になりました。被験者としてご協力頂いたビジュアル・シミュレーション研究室の濱口諒平さん，関口健太郎さん，陸瀬さん，久保田曜丞さん，伊藤研一郎さん，松田侑己さん，佐久間悠さん，その他システムデザイン・マネジメント研究科の学生の方々にご協力頂きました。ここに深く感謝致します。

最後になりましたが，有意義な大学生活を送らせていただいた，私の家族に深く感謝し御礼申し上げます。

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  
システムデザイン・マネジメント専攻  
石山 友基

## 参考文献

- [1] 日本プラネタリウム協議会.” プラネタリウムデータブック 2010” :  
<http://shin-pla.info/documents/files/PDB2012.pdf>, (参照 2012-11-29).
- [2] 渡部義弥 大阪市立科学館.” 「プラネタリウムの国勢調査」の検討” :  
<http://www.sci-museum.kita.osaka.jp/~yoshiya/kanpopla.pdf>, (参照 2012-11-29).
- [3] 日本プラネタリウム協議会.” プラネタリウム白書 2005 年版” :  
<http://planetarium.jp/pub/wbook2005/documents/WP2a.pdf>, (参照 2013-02-01).
- [4] 島村潤, 山澤一誠, 武村治雄, 横谷直和:全天周実画像と CG モデルの合成による  
仮想環境の構成と提示, PRMU, パターン認識, メディア理解 . vol.4  
pp463-467, 2000
- [5] 浅井俊弘, 神原誠之, 佐藤智和, 横矢直和:ウォークスルーのための全周レンジフ  
ァインダと全方位カメラを利用した現実環境の三次元モデル化, FIT(情報科学  
技術フォーラム), pp639-640, 2003
- [6] 吉住千亜紀, 尾久土正己. 和歌山大学観光学部紀要『観光学』・和歌山大学観光デ  
ジタルドームシアターの構築と実践. 2010, 第 3 号, P. 31-36 :  
<http://repository.center.wakayama-u.ac.jp/metadata/583>, (参照 2012-12-27) .
- [7] R. Raskar, J. van Baar, and J. Chai : A Low Cost Projector Mosaic with Fast Registration,  
Proc. Fifth Int'l Conf. Computer Vision(ACCV '02), 2002
- [8] 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 andSpatially Immersive Displays” , Proc. of SIGGRAPH Vol.98 , pp.  
179-188.
- [9] 近藤大祐木島竜, 双対レンダリングを用いた自由曲面ディスプレイ, 日本バー  
チャルリアリティ学会第 7 回大会論文集 , pp.465-468.2002
- [10] H.Chen , R.Sukthankar , and G. Wallace , ” Scalable Alignment of Large- Format  
Multi-Projector Displays Using Camera Homography Trees” ,*Proc. IEEE Visualization*  
Vol.2002, pp.339-346, 2002.
- [11] Microsoft Image Composite Editor :  
<http://research.microsoft.com/en-us/um/redmond/groups/ivm/ice/>
- [12] OpenCV(Open Source Computer Vision) : <http://opencv.jp/opencv/document/>

- [13] 大野隆造, 青木宏文, 添田昌志: 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.
- [14] 林正紘, 妹尾武治, 小木哲朗, 佐藤隆夫: 裸眼によるドーム映像生成のための奥行き知覚の検討, ヒューマンインターフェース学会研究報告集, Vol.9, No.3, pp101-104, 2007.
- [15] 古山大輔, 妹尾武治, 茅原拓朗, 立山義祐, 小木哲朗: ドーム映像制作法のための空間知覚特性の検討, 日本バーチャルリアリティ学会VR心理学研究委員会, 第13回研究会論文集, 2009
- [16] 池田聖, 佐藤智和, 横矢直和: ”全方位型マルチカメラシステムによる全天球動画像の生成とテレプレゼンスへの応用”, VR学研報 サイバースペースと仮想都市研究会, Vol. 8, No. 2, pp. 31-36, 2003.
- [17] 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 の開発と映像制作手法」, 『日本バーチャルリアリティ学会論文誌』 Vol.11 No.3, pp.387-394.
- [18] 天沼はるか, 星野洋, 柴野伸之, 澤田一哉, 李永雨, 佐藤優: 半球ドーム型映像表示システムにおける表示映像の印象評価—CyberDome における長さ感・奥行き感の検証—, 日本バーチャルリアリティ学会第11回大会論文集, 2006.
- [19] プラネタリウム・ガイド. ”プラネタリウムも色々” : <http://www.planetarium-guide.net/>, (参照 2012-12-26).
- [20] 日本科学未来館. ”大型映像作品「ちきゅうをみつめて」” : <http://www.miraikan.jst.go.jp/dometheater/chikyuwomitsumete.html>, (参照 2012-11-29).
- [21] 財団法人デジタルコンテンツ協会, ”3D コンテンツに関する調査研究” : [http://www.dcaj.org/report/2006/data/dc07\\_12.pdf](http://www.dcaj.org/report/2006/data/dc07_12.pdf), (参照 2012-12-26).
- [22] 五藤光学研究所. ”多摩六都科学館「ハイブリッド・プラネタリウム」” : <http://www.goto.co.jp/planetarium/index.html>, (参照 2012-12-26).
- [23] The tech Museum of Innovation. ”About The Hackworth IMAX@ Dome Theater” : <http://www.thetech.org/imax/about-imax>, (参照 2013-01-12).
- [24] Panasonic. ”パナソニック リビング ショールーム東京- 汐留 Cyber Dome” : [http://panasonic.biz/solution/press/case/case\\_0912.html](http://panasonic.biz/solution/press/case/case_0912.html), (参照 2013-01-12).
- [25] Elumens. ”Vision Station” : <http://www.vrealities.com/visionstation.html>, (参照 2013-01-12).
- [26] 筑波大学バーチャルリアリティ研究室. ”EnspheredVision” :

- [http://intron.kz.tsukuba.ac.jp/enspheredvision/enspheredvision\\_j.html](http://intron.kz.tsukuba.ac.jp/enspheredvision/enspheredvision_j.html),  
(参照 2013-01-11).
- [27] ソリッドレイ研究所.” アーチスクリーン” :  
<http://www.solidray.co.jp/data/product/screen/arch/archscreen2.htm>  
(参照 2013-01-11).
- [28] NEC Display Solution “NP2000J” :  
<http://www.nevt.co.jp/press/06pjs/np2000j.html>, (参照 2013-01-11).
- [29] Raynox.” DCR-CF185PRO” :  
<http://www.raynox.co.jp/japanese/dcr/dcrcf187pro/index.html>, (参照 2013-01-11).
- [30] Nordal Ninja.” Nordal Ninja MK II” :  
<http://www.nodalninja.com/products/about-nn3-mkii/3/>, (参照 2013-01-03).
- [31] Stitcher : <http://usa.autodesk.com/adsk/servlet/pc/index?id=11390049&siteID=123112>
- [32] 渡邊英徳.” 東日本大震災マスメディア・カバレッジ・マップ” :  
<http://media.mapping.jp/>, (参照 2013-01-03).
- [33] 朝日新聞 2011 年 12 月 21 日.” 被災地の動画, プラネタリウムで” :  
<http://www.asahi.com/special/10005/TKY201112210135.html>, (参照 2013-01-02).
- [34] Google.” 未来へのキオク” :<http://www.miraikioku.com/>, (参照 2013-01-02).
- [35] 日経ビジネス,” 本物を越えた“夜空”” :  
<http://business.nikkeibp.co.jp/article/NBD/20120224/228982/?ST=pc>,  
(参照 2013-01-03).

## 外部発表

- [1] 石山友基, 醍醐博明, 立山義祐, Husup Lee, 小木哲朗, 茅原卓朗: ドーム環境における効果的な空間ビデオコンテンツ, 日本バーチャルリアリティ学会第15回レイマージョン技術研究会
  
- [2] 石山友基, 醍醐博明, 立山義祐, Husup Lee, 小木哲朗: 実写ベースのドーム映像コンテンツの制作手法に関する研究, 第15回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, pp.243-244, 2012.

## 付録

### A. 臨場感アーカイブで使用した東日本大震災 被災地の 360 度パノラマ画像



図 A-1 : 宮城県石巻市石巻湾沿岸



図 A-2 : 宮城県南三陸町戸倉小学校体育館



図 A-3 : 宮城県南三陸町戸倉小学校校舎



図 A-4 : 宮城県石巻市門脇町 がんばろう石巻看板



図 A-5 : 宮城県石巻市門脇町門脇小学校前



図 A-6 : 宮城県石巻市桃生町和湊駅



図 A-7 : 宮城県石巻市日和が丘鹿島御児神社

**B. 臨場感アーカイブ評価実験でモニタ画面に表示した  
360度パノラマ画像のワンシーン**



図 B-1 : 宮城県石巻市石巻湾沿岸



図 B-2 : 宮城県南三陸町戸倉小学校体育館





図 B-3 : 宮城県南三陸町戸倉小学校校舎



図 B-4 : 宮城県石巻市門脇町 がんばろう石巻看板



図 B-5 : 宮城県石巻市門脇町門脇小学校前



図 B-6 : 宮城県石巻市桃生町和湊駅



図 B-7 : 宮城県石巻市日和が丘鹿島御児神社