

Title	ドームディスプレイ用実写映像コンテンツの撮影投影方法
Sub Title	Shooting and Production Technique of Video Contents for Dome Display
Author	濱口, 諒平(Hamaguchi, Ryohei) 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	2013
Jtitle	
JaLC DOI	
Abstract	
Notes	修士学位論文. 2013年度システムエンジニアリング学 第142号
Genre	Thesis or Dissertation
URL	<a href="https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002013-0054">https://koara.lib.keio.ac.jp/xoonips/modules/xoonips/detail.php?koara_id=KO40002001-00002013-0054</a>

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

2013 年度

# ドームディスプレイ用実写映像コンテンツの撮影投影方法

濱口 諒平

(学籍番号：81233545)

指導教員 教授 小木 哲朗

2014 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

# 論 文 要 旨

学籍番号	81233545	氏 名	濱口 諒平
論文題目：  ドームディスプレイ用実写映像コンテンツの撮影投影方法			
(内容の要旨)  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眼鏡無しの裸眼状態でも奥行き感のある立体的な映像体験が可能であり、フレームレスで湾曲したディスプレイの効果により視聴者がコンテンツに入り込むような没入感を得ることが出来ることが知られている。しかしながらこのようなドームの特性を用いた 360 度の全天周実写コンテンツ投影を行うためには、特殊な撮影装置が必要であり、コンテンツもドームディスプレイ投影用に撮影されたものである必要がある等の問題があり容易ではない。そのため、これまでの多くのドーム用コンテンツは 3DCG やアニメをベースにしたものが多い。また、過去に実写をベースにした全天周映像コンテンツを商業用に作成し投影した例があるが、通常の家用的ディスプレイにて視聴できるコンテンツと比較して明確に差別化出来るような魅力的なコンテンツ作成に至らなかったため衰退したという背景がある。 本研究では、実写をベースにした魅力的な全天周映像コンテンツの制作法を確立し、ドームを用いて、ドームの特性を活かした簡易的かつ魅力的な全天周映像コンテンツの制作を可能にすることを目的とした。 ドーム投影用の魅力的な全天周映像コンテンツを作成するために必要な仕様として、ドーム特有の効果である没入感、臨場感を最大限提供出来るコンテンツである必要がある。 没入感を高める条件の一つとして、映像視聴環境と実際に現地でそのコンテンツの素材となった風景、景色を見ている状況を極力類似させる必要がある。そこで本研究では水平感覚に着目した。体性感覚で感じる重力方向と映像感覚で感じる水平感が異なる時、人はドーム映像に対して床面がディスプレイに張り付いているように感じる違和感を覚える。本研究ではいくつかの映像コンテンツを用いて、人が許容できるドーム環境下における水平感の評価を大型ドーム、小型ドームとドームのサイズを変えて行いコンテンツ作成時に求められるカメラの傾きの許容範囲を明確化したことによって、様々なドーム環境下における実写映像コンテンツの作成方法確立に寄与した。			
キーワード (4 語) プラネタリウム, 実写コンテンツ, ドーム映像, 水平感			

## SUMMARY OF MASTER'S DISSERTATION

Student Identification Number	81233545	Name	Ryohei Hamaguchi
<p>Title</p> <p style="text-align: center;">Shooting and Production Technique of Video Contents for Dome Display</p>			
<p>Abstract</p> <p>In the dome environment, we can get three-dimensional movie experience with a feeling of depth even without glasses. This is done by utilizing geometric correction and the effect of the motion parallax, which is based on the camera work and movement of image elements. That way the viewer feels like being highly immersed into the projected scene through the effect of the curved frameless display. However, in order to perform all around non-animation content projection using the characteristics of the dome effect a specialized imaging device is required. Further it is desired to have the contents also being taken specifically for the dome projection display, which is complicated. Hence, almost all dome contents are based on 3DCG or animation. In the past dome-based non-animation content was created, however the contents unpopular with viewers, compared to the contents that can be viewed on 2D displays. The purpose of this study is to establish a production method for attractive all around video content, which is based on non-animation film. The production of simple and attractive all surrounding non-animation video that take advantage of the immersion effect of the dome by were created. In order to create attractive all surrounding video contents for dome projection, the content needs to provide a high presence sensation and immersive experience. As one of the terms to increase the high presence sensation and immersive sensation, it is necessary to be as similar as possible to the situation that would actually be seen by the viewer in the environment. Therefore the study focused on the horizontal sense of viewers. When the horizontal sense in the video and the viewers feeling of the gravitational direction are different, the viewer may feel uncomfortable. Evaluation of the study was performed by changing the size of the dome and by using the video content in order to clarify the horizontal sense in the dome environment. The study's contribution was to establish the filming and projection of non-animation video content in domes.</p>			
<p>Key Word(4 words)</p> <p><i>Planetarium, Dome video, non-animation content, Horizontal sense</i></p>			

# 目次

第1章 序論 .....	9
1.1 研究背景.....	9
1.1.1 本論文の構成 .....	9
1.1.2 プラネタリウム産業の現状 .....	10
1.1.3 国内で取り扱われているプラネタリウムコンテンツ .....	13
1.1.4 プラネタリウムでの実写映像 .....	14
1.1.5 プラネタリウム産業の展望 .....	15
1.1.6 ドームディスプレイの特性 .....	16
1.2 研究の目的.....	18
第2章 関連研究 .....	20
2.1 本研究のコンセプトや方針.....	20
2.2 映像コンテンツ作成に関する研究.....	20
第3章 ドーム実写映像の撮影と投影方法.....	23
3.1 魚眼カメラと魚眼プロジェクターを用いた方法 .....	23
3.1.1 システムの概要 .....	24
3.1.2 入力系の補正方法 .....	25
3.2 全周カメラと魚眼プロジェクターを用いた方法 .....	29
3.2.1 全周カメラについて .....	29
3.2.2 曲面スクリーンにおける歪み .....	31
3.2.3 全周カメラによる映像の生成方法 .....	32
第4章 ドーム用実写映像コンテンツのための予備実験 .....	34
4.1 新潟県長岡市アオーレ長岡での予備実験 .....	34
4.1.1 エアードーム .....	36
4.1.2 2Dディスプレイ用映像のドームへの投影 .....	36
4.1.3 実験の評価 .....	37
4.1.4 簡易的ドーム環境作成例 .....	41
4.2 ドーム環境下における水平感と臨場感.....	42
第5章 ドーム環境下での水平感許容実験.....	46
5.1 実験の目的.....	46
5.2 小型ドームでの水平感許容実験.....	46
5.2.1 実験環境・実写映像を用いた水平感評価 .....	47
5.2.2 実験目的 .....	48
5.2.3 実験環境、コンテンツ .....	48
5.2.4 実験方法 .....	52
5.2.5 実験結果 .....	54
5.3 大型ドームでの水平感評価実験.....	58
5.3.1 実験環境・実写映像を用いた水平感評価 .....	59
5.3.2 実験目的 .....	59
5.3.3 実験環境、コンテンツ .....	60
5.3.4 実験方法 .....	64
5.3.5 実験結果 .....	64
5.4 2Dディスプレイでの水平感評価実験 .....	72
5.4.1 実験環境・実写映像を用いた水平感評価 .....	72
5.4.2 実験目的 .....	72
5.4.3 実験結果 .....	73
第6章 応用例.....	75

6.1	学習目的のドームコンテンツ提示例 .....	75
6.2	プロバスケットボールをコンテンツとした映像 .....	75
6.2.1	コンテンツ選択理由 .....	75
6.2.2	撮影対象 .....	76
6.2.3	撮影方法 .....	77
6.2.4	コンテンツ作成方法 .....	77
6.2.5	ドーム環境下でのコンテンツ投影 .....	78
第7章	課題 .....	79
7.1	ドーム環境下での臨場感 .....	79
7.1.1	高輝度プロジェクター .....	79
7.1.2	ドームサイズによる投影環境 .....	81
7.1.3	全天周コンテンツの映像補正 .....	81
7.1.4	プロジェクションエリア .....	83
第8章	結論 .....	84
	謝辞 .....	85
	参考文献 .....	86
	外部発表 .....	88
	付録 .....	89

# 目次

図 1-1：日本全国に点在するプラネタリウム .....	11
図 1-2：日本国内におけるプラネタリウム観覧者数.....	13
図 1-3：プラネタリウムコンテンツ「ちきゅうをみつめて」 .....	14
図 1-4：各施設におけるプラネタリウムの設置目的.....	15
図 1-5：水平式ドームの概略図 .....	16
図 1-6：傾斜式ドームの概略図 .....	16
図 1-7：直径 3m の小型傾斜式ドーム .....	17
図 1-8：簡易型アーチドーム .....	17
図 2-1：CAVE の写真 .....	21
図 2-2：OMNIMAX Theater(左), IMAX 3D(右) .....	21
図 2-3：アーチスクリーン .....	22
図 3-1：魚眼レンズを装着したカメラの図(左), 映像投影の図(右) .....	23
図 3-2：CANON EOS 7D(左), RAYNOX DCR-FE180PRO(右).....	24
図 3-3：魚眼レンズを装着したカメラ .....	24
図 3-4：NEC NP2000J (左),RAYNOX DCR-CF185PRO(右).....	25
図 3-5：三脚を組み、魚眼レンズを装着したプロジェクター .....	25
図 3-6：魚眼プロジェクターでチェックボードを投影した図 .....	26
図 3-7：ドームのスクリーンの曲面歪み.....	26
図 3-8：箱型チェックボード .....	27
図 3-9：箱内部に設置したカメラから認識出来るチェック .....	28
図 3-10：魚眼カメラでチェックボードボックスを撮影した図 .....	28
図 3-11：360° 全方位動画撮影システム .....	30
図 3-12：HERO3.....	30
図 3-13：逆補正による元画像とドーム画像の比較 .....	31
図 3-14：大型ドームでのコンテンツ表示例 .....	32
図 4-1：新潟県長岡市「アオーレ長岡」 .....	35
図 4-2：アオーレ長岡のバスケットボールコート .....	35
図 4-3：エアードーム .....	36
図 4-4：長岡花火 .....	38
図 4-5：エアードームへのバスケットボールコンテンツの投影の様子 .....	40
図 4-6：ゴールを見上げている様子.....	40
図 4-7：花火コンテンツの様子 .....	41
図 4-8：アーチドームでの桜島のコンテンツ .....	42
図 4-9：カメラの角度を下方向に傾けて撮影したコンテンツ .....	43
図 4-10：カメラの角度を視線に対して水平方向に傾けて撮影したコンテンツ .....	43
図 4-11：カメラの角度を上方向に傾けて撮影したコンテンツ .....	43
図 4-12：重力方向の違いに関する図.....	44
図 4-13：水平式ドームと傾斜式ドームそれぞれの実写映像の水平感 .....	45
図 5-1：実験に用いた直径 3m のドーム .....	47
図 5-2：「集まれ！ “センター探検隊”」の紹介ページ .....	47
図 5-3：実験環境 .....	48
図 5-4：実験環境の概略図 .....	49
図 5-5：慶應義塾大学のキャンパス紹介コンテンツ .....	50
図 5-6：鹿児島県の紹介コンテンツ 1 .....	50

図 5-7: 鹿児島県の紹介コンテンツ 2 .....	50
図 5-8: 鹿児島県桜島のコンテンツ .....	51
図 5-9: カメラ角度の違い .....	54
図 5-10: 小型ドームでの水平感評価の結果 .....	58
図 5-11: 五藤光学が国内で占める投影機のシェア .....	59
図 5-12: 五藤光学研究所の 18m ドーム .....	60
図 5-13: 港から海を撮影したコンテンツ(左),川越まつりの様子(右).....	62
図 5-14: 京都・北野天満宮の紅葉の様子 .....	62
図 5-15: コートコーナー45°,距離 130cm,レンズ高さ 160cm(左), ハーフライン延長線 上,距離 145cm,レンズ高さ 160cm(右).....	62
図 5-16: ハーフライン延長線上,距離 145cm,レンズ高さ 84cm(左), ハーフライン延長 線上,距離 145cm,レンズ高さ 252cm(右) .....	63
図 5-17: ゴール下,レンズ高さゴールリング下 30cm(カメラワークあり)(左), ゴール下, 距離 80cm,レンズ高さ 160cm(右) .....	63
図 5-18: ゴール下,距離 80cm,レンズ高さ 84cm .....	63
図 5-19: 撮影位置による臨場感の変化 .....	68
図 5-20: 撮影位置による臨場感の変化 .....	69
図 5-21: コンテンツ「フェリー」の水平感評価結果.....	70
図 5-22: コンテンツ「港」の水平感評価結果 .....	71
図 5-23: 実験の様子 .....	72
図 5-24: 2D ディスプレイにおける水平感評価実験.....	73
図 5-25: ディスプレイ間における評価値の違い.....	74
図 6-1: 横浜ビー・コルセアーズと島根スサノオマジックとの試合風景 .....	76
図 6-2: 撮影イメージ .....	76
図 7-1: NP2000J .....	79
図 7-2: VPL-FHZ55 と NP2000J の比較 .....	80
図 7-3: GoPro HERO3 を用いた撮影による映像.....	82
図 7-4: 映像補正を行った映像.....	82
A.様々なドームコンテンツの撮影と投影.....	85



# 表目次

表 5-1：アンケート結果 2.5.① .....	55
表 5-2：アンケート結果 2.5.② .....	55
表 5-3：アンケート結果 2.5.③ .....	56
表 5-4：アンケート結果 2.5.④ .....	56
表 5-5：アンケート結果 3.5.① .....	65
表 5-6：アンケート結果 3.5.② .....	65
表 5-7：アンケート結果 3.5.③ .....	66
表 5-8：アンケート結果 3.5.④ .....	67
表 5-9：アンケート結果 3.5.⑤ .....	67
表 5-10：アンケート結果 3.5.⑥ .....	68

# 第1章 序論

## 1.1 研究背景

日本プラネタリウム協議会発行の「プラネタリウムデータブック 2010」によると、【一般にプラネタリウムという言葉は投影装置そのものを指す場合のほか、投影装置を有する施設を指す場合、投影装置を使って表現された解説行為や映像番組を指す場合の3つがある。】とある。本研究では投影機器や、ドームディスプレイを含めたプラネタリウムの施設そのものをプラネタリウムという言葉を使って表現する。

元々プラネタリウム施設では星を見るという目的の下施設に訪れる人がほとんどであったが、近年では星以外にも様々なコンテンツを投影できる環境が整いつつ有り、プラネタリウムは星だけに限らないコンテンツの提示を行なうことによって新たな映像提示施設となりつつある。

通常の平面ディスプレイでは得られないプラネタリウム施設に設置されている湾曲状のドームディスプレイによる特別な映像効果を最大限利用し、未だ踏み入られていない分野の開拓を期待して本研究を行った。

### 1.1.1 本論文の構成

本論文は序論である本章を含め、全6章から構成されている。

第1章では序論として本研究で用いている用語の説明、国内におけるプラネタリウム産業のあり方、近年のプラネタリウムにて用いられているコンテンツ、また、ドームディスプレイそのものの特性や、ドームディスプレイを用いて映像を視聴することで期待される効果等について述べる。また、それらを踏まえた上で本研究の目的を述べる。

第2章では関連研究として、ドームディスプレイ以外の没入型ディスプレイやコンテンツに関する事例を挙げる。

第3章では実際に自身がドームコンテンツを作成した、魚眼カメラと魚眼プロジェクターを用いた方法と全周カメラと魚眼プロジェクターを用いた方法の2つの方法論について述べる。その際にどのように撮影を行ったか、映像はどのように作成したか、投影はどのように行ったか、それぞれ述べる。

第4章ではドームに適したコンテンツについて、新潟県長岡市のアオーレ長岡での

予備実験を例に述べる。平面ディスプレイ提示用のコンテンツをドームに投影し、その実験から得られたドームコンテンツの特性について述べる。

第5章では本論文の主題でもある水平感の評価実験について述べる。水平感とは何か、また水平感がドーム環境下でどのように視聴者に影響を及ぼすのかについて、大型ドーム小型ドームでの実験の結果を元に述べる。

第6章では5章までの実験結果、知見を用いて実際に実写コンテンツの作成を行った経緯について述べる。スポーツ映像(バスケットボール)を一例として、プロバスケットボールのBJリーグの試合の撮影を行ってコンテンツ作りを行った。

第7章では結論、8章では研究を通して新たに分かった課題を今後の課題として述べた。

### 1.1.2 プラネタリウム産業の現状

現在、日本には360館のプラネタリウムがある。世界で見ると約2700館のプラネタリウムがあり、アメリカは約1500館、ヨーロッパは約500館、日本を除くアジア圏で約500館という内訳になっている。アメリカと比較した時、日本はプラネタリウムの数が少ない印象を受けるかもしれないが、学習環境の維持という点で各都道府県に少なくとも1つのプラネタリウムが設置されているため(図 1-1)広大な敷地を有するアメリカと比較した時に日本全国に点在している日本のプラネタリウムの設置環境はかなり優れていると言える。また、設置プラネタリウムのサイズに関しても、アメリカでは直径が15メートルを超えるプラネタリウムは、50館程しかない。それに比べ、日本は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。

プラネタリウムでの映像投影目的としては一般投影、学習投影、幼児投影、その他の投影、バリアフリー投影と5つの異なった目的での投影が行われている。一般投影とは広く一般の利用者を対象としたプラネタリウム投影であり、それぞれのプラネタリウム施設によってその特性やドームサイズ、ドーム形状を活かした様々なテーマを設定し投影されている。学習投影とは小学校や中学校の学習内容を取り入れたプラネタリウム投影であり、多くのプラネタリウム施設では学校や園が理科の学習や校外学習等でプラネタリウムを観覧する場合に投影される。幼児投影とは幼稚園や保育園の園児など、未就学児を対象としたプラネタリウム投影である。多くのプラネタリウム施設では学校や園が校外学習や遠足等でプラネタリウムを観覧する場合に投影される。

その他の投影では上記の投影以外にイベント等で行なう投影方法であり、上記のカテゴリーに当てはまらない工夫を凝らした投影を行っている。日食や月食など特別な天文現象に合わせて行なうもの、生演奏などの音楽をメインとしたコンサート形式、七夕やクリスマスなど時節に合わせた投影などがあげられる。バリアフリー投影とは障害の有無にかかわらずプラネタリウムを楽しめる様な工夫がなされている投影である。聴覚障害者向けに手話に映像や文字スーパーを乗じするもの、聴覚障害者向けに音像移動や補助ナレーションを導入したりしているものがこのバリアフリー投影である。このように様々なシチュエーションで適した投影方法がなされていることがわかる。

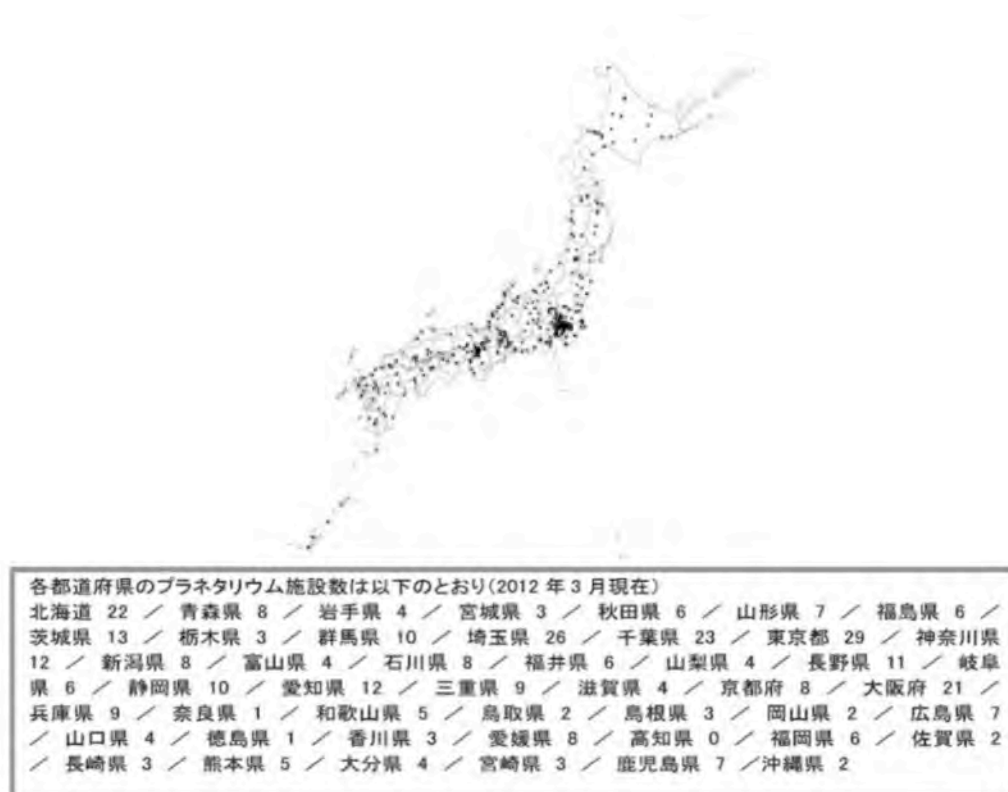


図 1-1：日本全国に点在するプラネタリウム

プラネタリウムの本体投影機器はデジタル式、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。大型ドームでの投影や実際の夜空の星のように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。

これらのような様々な機器や投影方法がある中、国内では予算的な問題に見まわられて、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。国内360館プラネタリウムのうち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。このことから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は中々進んでいない。

このようなデジタル型投影方式への遅れが出ているのはデジタルプロジェクターの導入コストに加え、3次元CG映像コンテンツによる映像作成コストがかかることが大きな要因となっている。

近年の国内におけるプラネタリウム観覧者数は2004年から2009年までほぼ横ばいで推移(図1-2)していて大きな現象は見られないものの、プラネタリウムの稼働率自体は決して高くない。プラネタリウム稼働率に関する質問の回答数155館の中で年間300回以上の投影を行っている施設は18館と全体の12%未満であることがわかる。このことから、稼働率をもっとあげることが可能な施設は多くあるにしても、観覧者の数が伸び悩んでいることから大規模なプラネタリウムを稼働せずに持て余している施設が多くあるということである。もっと施設を有効活用するためにも何らかのアプローチによって観覧者数の増加が急務であるのが国内におけるプラネタリウム産業の現状である。

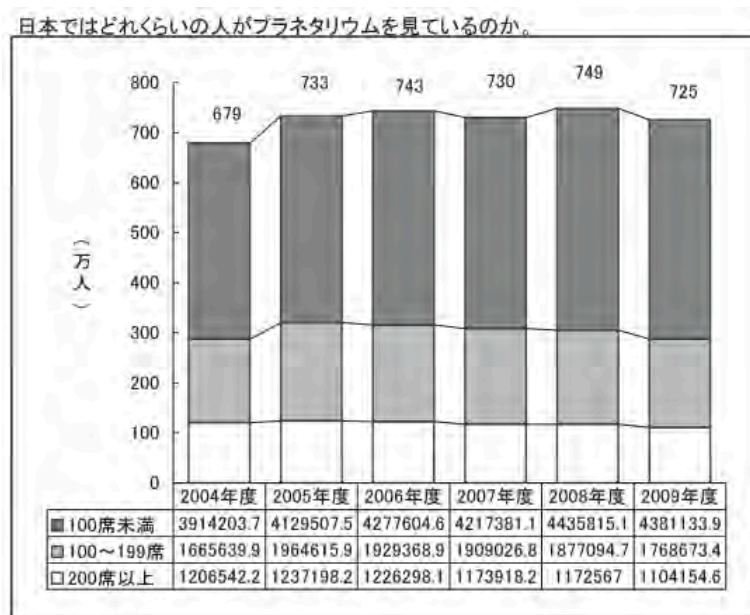


図 1-2：日本国内におけるプラネタリウム観覧者数

### 1.1.3 国内で取り扱われているプラネタリウムコンテンツ

国内で取り扱われているコンテンツについてここでは述べる。

近年のプラネタリウムは、デジタルプロジェクターを使用した 3DCG アニメーションのプラネタリウムでの投影が活発に行われ始めている。日本科学未来館「MEGASTAR-II cosmos」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を代表とするプラネタリウムでは高輝度デジタルプロジェクターを用いた様々なコンテンツ投影が行われている。これまでのアナログ型投影方式のプラネタリウムでは、星座や月などの天体の位置や動きといった天体現象の様子をドームスクリーンで表現してきた。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 1-3)が示すの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 1-3：プラネタリウムコンテンツ「ちきゅうをみつめて」

#### 1.1.4 プラネタリウムでの実写映像

1.1.3 で述べたように、国内のデジタルプロジェクター導入をしているプラネタリウム施設では高輝度デジタルプロジェクターによる 3DCG アニメーションや星をコンテンツとした上映が行われている。しかしながら実写映像の投影実績は殆ど無いのが現状である。

実写映像コンテンツが少ない理由として「ドームに適したコンテンツ作成のノウハウ」が確立されていないことがあげられる。平面ディスプレイ用に作成したコンテンツではカメラワークによる映像の酔いや対象物のサイズ感の違いなどから、娯楽・アトラクション目的になるようなコンテンツを作成することが難しい。しかし、アニメーションや 3DCG コンテンツでは、仮想カメラの視点の位置など製作者自身が自由に決められる要素が多いためコンテンツを作りやすいという実写コンテンツと比較して優れている点がある。

また、実写映像コンテンツの普及が進むことでコンテンツ作成の幅が広がり、国内にある多くのアナログ式投影を採用しているプラネタリウムでもデジタルプロジェクターの購入だけで新たなコンテンツの提供ができるようになる可能性がある。上で述べたように、デジタル化が進まない大きな理由の一つとしては「3DCG コンテンツの作成予算が非常に高い」事があげられる。それと比較して、実写映像コンテンツはモデリングをする必要性がなく、作成にかかる手間や時間を大きく削ることが出来る。実写映像はドーム形状に合わせた補正こそ必要になるが、映像の形状補正のみおこな

えば、そのままプロジェクションすることでコンテンツとして楽しむことが出来るためコンテンツ作成費が安く済む。

スポーツ映像や、自然の映像、学習目的でのコンテンツなど、デジタル 3DCG やアニメーションとはまた違った角度でのコンテンツ提供が期待される。

### 1.1.5 プラネタリウム産業の展望

1.1.2 で記したように学習目的等の教育目的でプラネタリウムを設置している点、また、プラネタリウムを設置している主体の 16%が都道府県、74%が市町村であり、民間法人は 5%ほどの割合でしかプラネタリウムの設置を行っていない。このことも関連して、プラネタリウムの設置目的に関する質問に回答のあった 172 施設のうち、最も多かったのが「科学・天文学の普及」目的であり約 140 館であった。「学校教育の補助」「豊かな文化形成」「青少年の育成」という目的がその後続き、「娯楽・アトラクション目的」での設置は約 30 館未満であった(図 1-4)。1.1.2 で述べたように、プラネタリウムの有効活用という点においては、上映するコンテンツによって集客数の増減が依存する。学習目的での利用というプラネタリウムの利用方法は今後も大きく増減はしないため、見込める潜在的な観覧者層はプラネタリウムデータブックで言うところの「一般の人」である。そのため「ドームに行っても見たくならないようなコンテンツ作り」を積極的に行っていく必要がある。

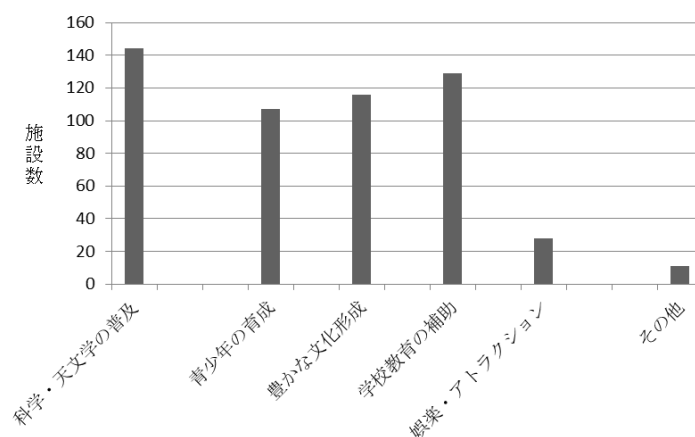


図 1-4：各施設におけるプラネタリウムの設置目的



### 1.1.6 ドームディスプレイの特性

ここではプラネタリウムで用いられている「ドームディスプレイの特性や性質」について述べる。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。愛知万博にて展示された大画面スクリーンを利用した高臨場感ディスプレイを用いた「地球の部屋」という展示があった。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、話題となった。通常の平面ディスプレイでは大きなものでも80インチほどであり、真上から真下まで360度全天周のディスプレイと比較すると、そのコンテンツに自分自身が入り込むような没入感を強く感じることは出来ない。自分の観覧している環境の周りを包み、臨場感、没入感を強く感じる事が出来るディスプレイとして潜在性を秘めている。

ドームディスプレイは大きく分けて2つのタイプがある。「水平式」と「傾斜式」である。

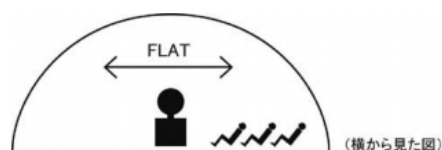


図 1-5：水平式ドームの概略図

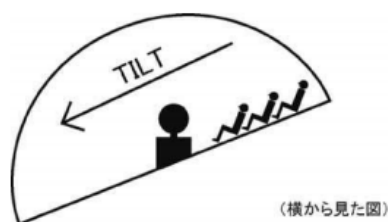


図 1-6：傾斜式ドームの概略図

水平式のドーム(図 1-5)は非常に大きなサイズになっている。その直径は約18mであり、多くのドームがそれと同等のサイズかそれ以上のサイズとなっている。対して

傾斜式のドームは様々なサイズが存在する。約 3m のサイズから存在し(図 1-7)、(図 1-6)のような角度のものもあれば、天井部にはディスプレイがなく、視線に対して約 45° 上方から床面下までディスプレイとなっているものも存在する。そのようなディスプレイでは観客の下方方向までディスプレイになっているため、実世界で見下ろすことが自然な景色などのコンテンツの投影もすることが出来る。

半球形のドームについて説明してきたが、その他にも円筒形のアーチディスプレイというディスプレイも存在する。

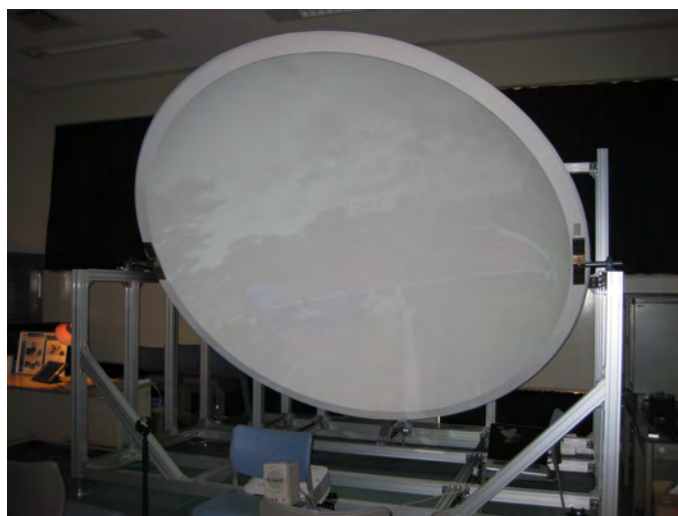


図 1-7：直径 3m の小型傾斜式ドーム



図 1-8：簡易型アーチドーム

図 1-8 で示した図は展示ブースの壁面を用いて作成した簡易型アーチドームであ

---

る。壁と壁の境目にボードを折り曲げて設置することでこのようなディスプレイを制作した。ドームディスプレイでコンテンツを観覧するにはプラネタリウム施設に視聴者が行く必要があり敷居が高く感じるかもしれないが、没入感という点ではこのような簡易的に作成したディスプレイでも、高視野角の映像提示が出来るためドームで映像を視聴している環境と近い映像を視聴することが出来る。

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とも裸眼状態で立体感を感じられることが分かっている。一般的なテレビのディスプレイのような平面ディスプレイとは異なり、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ほどの視野角の広い映像提示が出来ることから、映像の世界に没入することが出来、自分が映像を見ながらそのコンテンツの中に入り込むような感覚を得られるためである。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。

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り、脳が両眼視差によるズレを補正しひとつの映像に合成しようとすることによって、人間の目は立体感を得ることが出来る。現代の3次元映像はその両眼視差の特性を利用することで、右目用と左目用に作った別々の映像を振り分けて提示し、立体的な3D映像として見えるように制作されている。

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ため、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。

## 1.2 研究の目的

本研究では「ドーム環境における実写映像の制作手法の確立」を目的とした。これまで述べてきたように、費用や撮影方法の未確立といった理由から、現在のドームコンテンツはアナログ型投影機による星のコンテンツ、あるいは高輝度デジタルプロジ

ェクターによるデジタル 3DCG, アニメなどのコンテンツがほとんどである。ドーム空間では広視野の効果により映像への高い没入感・臨場感を得ることができる。特に、映像要素の動きやカメラワークにより、運動視差の効果を効果的に利用することで、眼鏡無しで立体感を生成できることが知られている。そこで、実写映像の中でもスポーツなどの動きのある現実世界のコンテンツを映像化した、効果的なドーム映像コンテンツになり得ると考えられる。特に、本研究ではバスケットボール等のスポーツをコンテンツとして取り上げることを想定している。バスケットボールなどのスポーツ実写映像はコンテンツ内の視聴対象となる選手がよく動くため、強い運動視差の効果を得られるのではないかと考えた。バスケットボールの撮影方法や投影方法を考え、それを体系化することによって、その他の実写映像コンテンツの作成にも応用が可能になることが期待される。

## 第2章 関連研究

### 2.1 本研究のコンセプトや方針

第一章で述べたように本研究では「ドーム環境における実写映像の制作手法の確立」を目的としている。特に本研究では人間がドームディスプレイに映した映像を視聴した時にどのように感じ、どのような印象を受けるかを評価することによって、ドームディスプレイに適したコンテンツを考え、実際にその知見に基づいたコンテンツづくりを研究の対象としている。

研究の方針としては、まずコンテンツ作りの撮影系の検討を行い、実際にどのようなドームに投影するかを検討する。その上で実際に被験者を集めて映像視聴の評価を行い、ドームに適したコンテンツのプロトタイプを作成を行う。

### 2.2 映像コンテンツ作成に関する研究

ここではドームディスプレイ以外のディスプレイや既存の本研究に関連するコンテンツの紹介を行なう。

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おり、ドームディスプレイ以外にも様々なディスプレイを用いて臨場感や没入感を体験することが出来る。

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設置されているCAVE (図 2-1) についての紹介を行う。CAVE は箱形のディスプレイで、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、スクリーン間が直角に接続されているためシームレスな形状には形成できず、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 の写真

それに対してプラネタリウムのようなドーム型スクリーンでは、球状であるためにシームレスなディスプレイ形状をしていて、見る角度や視点の位置といったものに映像に対する違和感は依存しないという大きなメリットが有る。しかし、設置するためには巨大な施設が必要となるため、比較的設置場所を取らない CAVE と比較するとこの点でデメリットとなっている

他にもドーム型ディスプレイとしては、OMNIMAX Theater (図 2-2 ) がある。カナダのアイマックス社が開発した、大型スクリーンを用いる映写システムある。通常の映画では 35 ミリフィルムを縦方向に送るが、この方式では 70 ミリフィルムを水平方向に送って大型スクリーンに映写する。通常の映画館と同程度の大きさのスクリーンを用いるデジタル方式の IMAX デジタルや、立体映画の IMAX 3D(図 2-3) などもある。また、アーチスクリーン (図 2-4 ) 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。

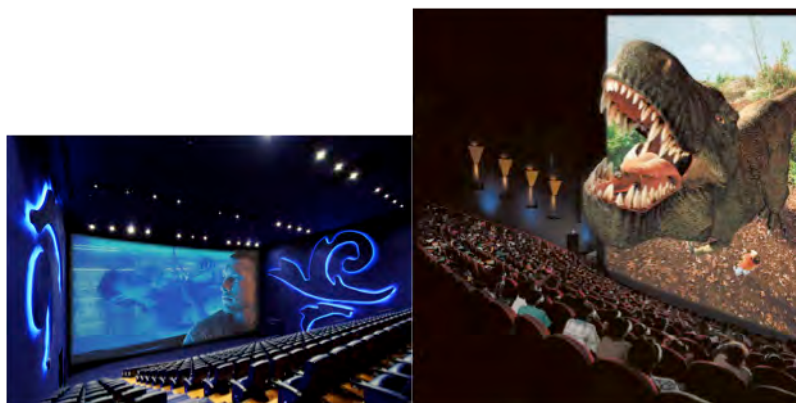


図 2-2 : OMNIMAX Theater(左), IMAX 3D(右)

第一章で紹介した展示会ブースの壁面を利用した簡易的アーチディスプレイもこれに含まれる。ドームのように巨大な設置場所は必要ではなく、水平方向の広い視野角で映像の投影が可能なディスプレイとなっている。

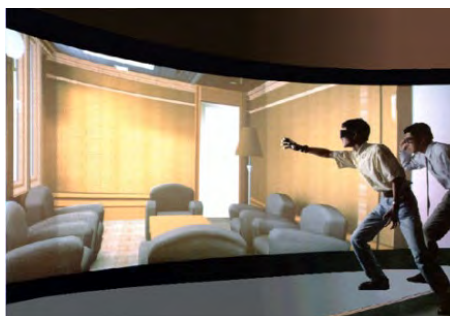


図 2-3：アーチスクリーン

## 第3章 ドーム実写映像の撮影と投影方法

ドーム用実写映像コンテンツを作成するために「撮影系」「投影系」をここでは考える。撮影系ではどのようなカメラを用いてどのような撮影方法を行なうのか(カメラの画角、撮影位置、カメラ角度、カメラワーク等)について検討する。投影系に関しては投影機材位置、投影機材の選択、投影画角等を検討する。

### 3.1 魚眼カメラと魚眼プロジェクターを用いた方法

ここでは魚眼カメラと魚眼プロジェクターを用いた方法について説明する。



図 3-1：魚眼レンズを装着したカメラの図(左)，映像投影の図(右)

撮影系には魚眼カメラを用いる(図 3-1)。通常の市販カメラに魚眼レンズを装着して広い画角で実写の映像を撮影する。これによって、平面ディスプレイ用コンテンツをドーム環境で投影するとき問題となっていた「映像酔い」の問題を解決しようと試みた。魚眼カメラの画角は約  $185^\circ$  の画角で撮影することが出来るため、カメラを固定してカメラワークをなくして撮影しても広い撮影エリアをカバーすることが出来る。これによって映像酔いの少ないコンテンツを生成する。その後既存の補正技術を用いて(参考:石山友基, 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,



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, 2013)魚眼レンズでの撮影による映像の歪みを補正する。その映像をプロジェクターで投影するのだが、ドームの局面に対する補正もここで行って自然なプロジェクションを実現する。

### 3.1.1 システムの概要

ここでは魚眼カメラと魚眼プロジェクターを用いた方法に関するシステムの概要を記述する。撮影時に用いたカメラは CANON EOS 7D(図 3-2 左)でカメラに装着した魚眼レンズは RAYNOX DCR-FE180PRO HIGH DEFINITION FISH-EYE CONVERSION LENS(図 3-2 右)を用いた。このシステムを用いて主に撮影した対象はバスケットボールの練習風景、試合である。撮影方法としてはカメラを固定して撮影対象(バスケットボールコート中央、ゴール下などその都度変更)をレンズの延長線上の中央に合わせて、撮影を行った。



図 3-2 : CANON EOS 7D(左), RAYNOX DCR-FE180PRO(右)



図 3-3 : 魚眼レンズを装着したカメラ

このように撮影した映像をプロジェクションすることで映像をドームに投影する。用いた機材は NEC の NP2000J (図 3-4 左) を使用し、プロジェクターのレンズ前方に RAYNOX の全周魚眼レンズ DCR-CF185PRO (図 3-4 右) 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た。



図 3-4 : NEC NP2000J (左),RAYNOX DCR-CF185PRO(右)



図 3-5 : 三脚を組み、魚眼レンズを装着したプロジェクター

### 3.1.2 入力系の補正方法

関連研究において確立されているプロジェクション時の魚眼レンズの歪み補正について説明する。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るため、視聴者の視点位置には依存しない。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くことで、投影するたびにパラメータを求める必要性は無い。

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。関連研究ではマルチプロジェクションにより平面ディスプレイに映像を投影した際の歪み補正を対象としているが、魚眼の歪み補正に対してもカメラキャリブレーションは有効であるため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。また、魚眼歪みとは異なり、スクリーンの曲面の歪みは観覧者の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3-6は魚眼レンズの歪みの程度を、図3-7はドームのスクリーンそのものの曲面の歪みを示した図である。

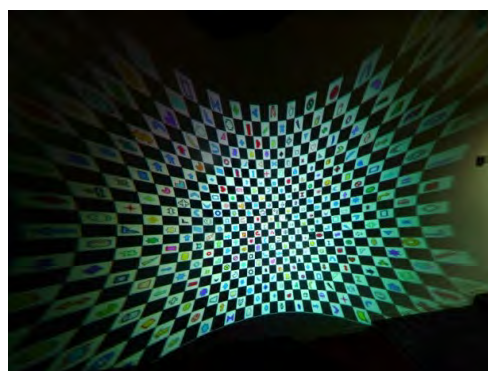


図 3-6：魚眼プロジェクターでチェックボードを投影した図



図 3-7：ドームのスクリーンの曲面歪み

本研究ではこれらの歪み補正は既存の研究結果を元に映像の補正を行ったため、研究のバウンダリーに投影系の映像補正は入っていない。

次に入力系の映像補正理論について説明する。

既存の研究では実写映像に関する映像素材そのものは通常のカメラで撮影したものや、通常のカメラでいくつかのポイントを撮影し、それらをステッチングすることでパンラマ映像を生成し投影している例がほとんどである。しかし、本研究では映像の入力系でも魚眼レンズを用いている為、入力系における補正も必要となる。入力系の補正理論そのものは投影系のチェックボードを用いた補正方法を採用しているため、カメラでチェックボードを撮影して、入力系の魚眼によって歪んだチェックボードを生成することで映像の補正ができる。そのため、魚眼レンズを装着した魚眼カメラで正方形のチェックボードを撮影すればよいのだが、7Dに装着した魚眼の画角は $185^\circ$  とかなりの画角をカバーするため、それを撮影するには理論上無限大のチェックボードを用意する必要性があり、それは現実的ではない。そのため箱型チェックボード(図 3-8)を用いて無限大のチェックボードを撮影している環境と酷似した環境を整えることを検討した。



図 3-8：箱型チェックボード

図3-8に示した箱型チェックボードを用いて入力系の魚眼の歪を求める。箱のサイズは高さ20cm, 幅20cm, 奥ゆき約17.5cmとなっている。正面には正方形のチェックの格子を配置し(一つ一つの正方形のサイズ:縦横4cm)、壁面には、カメラのレンズをこの箱の奥側の壁面から17.5cm, 高さ10cm, 幅10cmの位置に置くとその視点位置から正方形のチェックに見られるようにチェックのボードを配置した。



図 3-9：箱内部に設置したカメラから認識出来るチェック

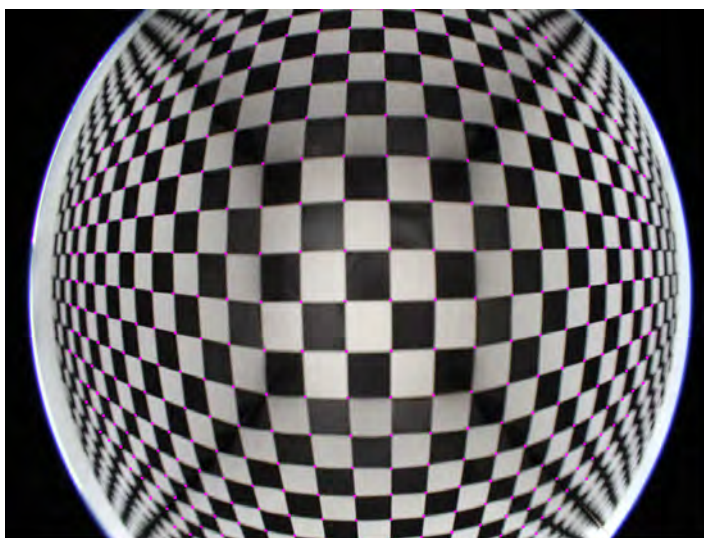


図 3-10：魚眼カメラでチェックボードボックスを撮影した図

図3-9は魚眼ではなく通常のカメラで撮影した図になるが、このように仮想的に無限大のチェックを見ているような箱型チェックボードを作成した。広角の魚眼でもこの箱を用いることで、巨大なチェックボードを用意すること無く魚眼のひずみを求めることが出来る。

図3-10でわかるように、実際には箱内にカメラを設置して撮影することで魚眼の歪みがわかる画像の生成に成功した。魚眼の歪み補正理論は以下のとおりである。

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 3-10 ピンクのポイント)。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った。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。求められたコーナーに行番号と列番号を割り当てていき、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。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う。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。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。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 $\mathbf{R}$ を乗じたものにあたる。求められた補正変換 $\mathbf{R}$ を画像に適用して、投影することによって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。以上の手順を踏むことによって魚眼のひずみの補正が可能となる。(参考:石山友基, 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, 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, 2013)

## 3.2 全周カメラと魚眼プロジェクターを用いた方法

3.1 では魚眼カメラと魚眼プロジェクターを用いた実写映像コンテンツの作成手法について述べた。ここでは実際に研究内のプロトタイプとしてのコンテンツ作成を行った、全周カメラと魚眼プロジェクターを用いた実写映像作成方法について述べる。

### 3.2.1 全周カメラについて

ここでは撮影に用いた全周カメラについて述べる。





図 3-11：360° 全方位動画撮影システム

図 3-11 が本研究で用いた全周カメラである。この全方位動画撮影システムは GoPro, Hero3 (図 3-12 ) を立方体の枠組みに 6 台装着し、真上、真下も含んだ 360° 全周撮影を可能にしたシステムである。



図 3-12：HERO3

GoPro, HERO3 について説明する。このカメラは軽量・コンパクトなボディーで、様々な場所に設置したり製品そのものを身につけて撮影することが出来る。本体サイズは幅 59mm×高さ 40.5mm×奥行 30mm(ハウジングサイズ:幅 72mm×高さ 66mm×奥行 37mm) のと非常にコンパクトなサイズになっている。本来はスポーツをする際に体に装着して撮影を行ったり、レジャーなどに持って行きやすいコンパクトなカメラ特有の用途がある。

このコンパクトさから6台を立方体状に組み込んでも比較的手軽に撮影を行なうことが出来、撮影も非常にしやすいという大きな利点がある。更に立方体の枠組み自体に簡単につけることのできる三脚もあり、三脚の足の部分だけが取り外し可能になっているため、手で持って本来撮影が難しい軒下の奥や低い家の屋根の上、ビルの吹き抜けの下の部分が撮影したければ手すりからカメラだけを飛び出す形で撮影するなど、撮影が幅広く出来るシステムとなっている。本研究では撮影を行うことは出来なかったが、HERO3 や Hero3+ という最新型には防水のカバーが付いており、このカバーを装着し専用の立方体の枠組みに装着すれば海の中や川の中など水の中の全周映像コンテンツが手軽に作成することが出来る。

この HERO3 を用いた全周動画撮影用システムを全周カメラとして撮影を行い、撮影した素材をパノラマ映像に加工して専用の viewer を通して見ることによって画角の広い映像を生成することが出来る。

映像の編集には AUTO PANO VIDEO PRO, AUTO PANO GIGA というソフトウェアを用いた。

### 3.2.2 曲面スクリーンにおける歪み

本研究のコンテンツ投影時における、曲面スクリーンにおける歪みとプロジェクターの魚眼の歪み補正は厳密に行っていない。曲面スクリーンの歪みと魚眼の歪みはそれぞれ逆の歪みになっているため、魚眼の歪みを持った映像を曲面スクリーン(ドームディスプレイ)に投影した時、互いの歪みが相殺され元画像と近い(歪みの少ない)映像を提示することが出来る。更に映像を提示する際に用いる viewer の仕様として画角の変更ができるため、画角調整を実験のたびに行なうことによってほぼ歪みのない映像を生成することが可能であり、本研究においてはコンテンツ評価という点に重きを置いているため、観覧者が視聴した時に違和感を感じない程度の歪みは厳密に補正する必要がないと考えた。

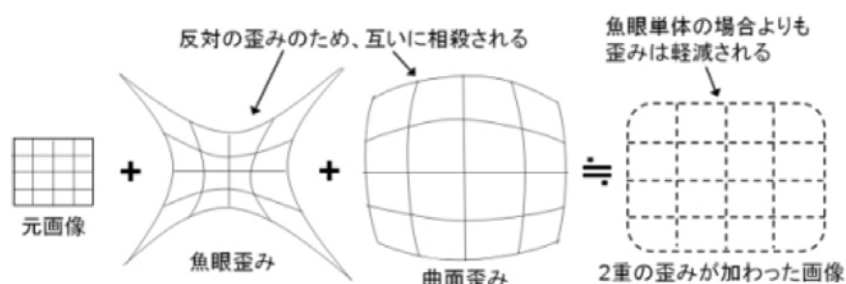


図 3-13：逆補正による元画像とドーム画像の比較



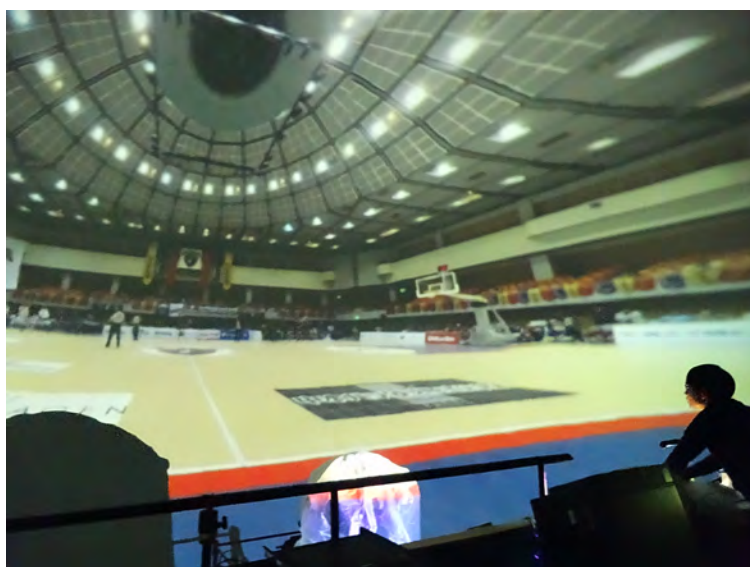


図 3-14：大型ドームでのコンテンツ表示例

### 3.2.3 全周カメラによる映像の生成方法

撮影を行いドーム用に投影するまでの流れを説明する。

まず、撮影対象を撮影したい距離を決め、撮影対象から設定した距離の離れた場所に全周カメラを設置する。平らな地面ならば安定しておくことが出来、歩行時の映像を生成したい場合は三脚の足の部分を取り外し専用のおもりを装着して手に持って撮影を行うことも可能である。撮影開始は、付属のリモコンを用いて行なう。HERO3 を 6 台用意したらリモコンも 6 つ手に入ることになるが使用するの是一個だけで、その他のリモコンは使用しない。カメラ本体とリモコンは Bluetooth による近距離無線で通信が行われる仕様となっており、一つのリモコンに対して 6 台のカメラすべてを認識させるように設定を行うことで、マスターのリモコンですべてのカメラを同時に操作することが出来る。これによってカメラの電源 ON, OFF の切り替え、録画のスタート等を同時に行い、実写の撮影を行う。

上記の手順を踏むことで、それぞれのカメラで撮影した 6 つの映像が生成される。次にこれらの動画をスティッチングし、パノラマ動画を生成する。

AUTO PANO VIDEO PRO を起動させ、6 つの動画の開始の同期を取る。これは、同時に録画をスタートしたからといって、1 つ 1 つの録画スタートが厳密に行われているわけではないため動画内のある 1 点の音を検出し、その音のタイミングを合わせることで同期をとる作業である。これによって厳密に動画の開始時間を合わせる。次

に隣り合ったカメラ(映像)同士を繋ぎあわせ、メルカトル図法の世界地図のように動画同士を繋ぎ合わせる。繋ぎあわせた動画は水平方向や垂直方向がバラバラになっているため、手作業で水平方向、垂直方向を合わせてパノラマ動画を生成する。

このように生成した動画を球の内側から見ているようにディスプレイ上に表示する viewer を用いることで動画の作成が完了する。Viewer は画角の設定、拡大縮小、視点移動等の機能が備わっているためその都度見せたい方向や距離感などを指定できる。本研究では画角設定をコンテンツ提示毎に変更させて自然な映像となるように調整して観覧者に提示する手法を取った。

## 第4章 ドーム用実写映像コンテンツのための 予備実験

### 4.1 新潟県長岡市アオーレ長岡での予備実験

ドーム環境における実写映像コンテンツを作成するために、平面ディスプレイ用コンテンツをドームに投影した時にどういった映像になるのかを調べるために予備実験を行った。

実験場所は新潟県長岡市のシティホールプラザ「アオーレ長岡」(図 4-1)である。JR長岡駅前に位置し、市役所の総合窓口や市議会場とイベント施設が併設されている施設となっているため、さまざまな年代の老若男女の市民が集まる市の集いの場となっている。

実験日当日は日本のプロバスケットボールリーグの BJ リーグの試合が行われていた。BJ リーグはリーグを設立するにあたって他の国内のプロスポーツ団体とは少し異なったリーグの形態を想定していた。日本でメジャーなスポーツというと「サッカー」や「野球」を上げる人が多いと思う。実際に観客動員数やそれに伴う経済効果は BJ リーグのそれとは比較にならないほど多い。このことはまた第六章似て詳しく述べるが、バスケットボールへの認知は国内で高いにしろ、プロリーグとなるとあまり認知が高くないのが現状である。そこで BJ がとった他のプロスポーツとは少し異なったリーグの形態とは「サッカーや野球の本拠地が無いエリアにホームチームを設置する」ということであった。BJ リーグは地域密着型のプロスポーツを目指していて、従来のように東京や地方主要都市にばかりプロチームの本拠地をおいても、サッカーや野球にサポーターが流れると考え、そういったプロチームのホーム出ない地域に積極的に BJ のチームを設置している。こうすることで、今までスポーツのプロチームがなかった場所の住民にとっては親しみやすく、一度ファンになれば長く、熱心にそのチームを始め BJ リーグを愛し応援してくれるという考えである。実際に、BJ リーグがホームチームを置いている地域の例を挙げると、別府、松江、高松、沖縄、香川、長岡、宮崎などの地域がある。



図 4-1：新潟県長岡市「アオーレ長岡」

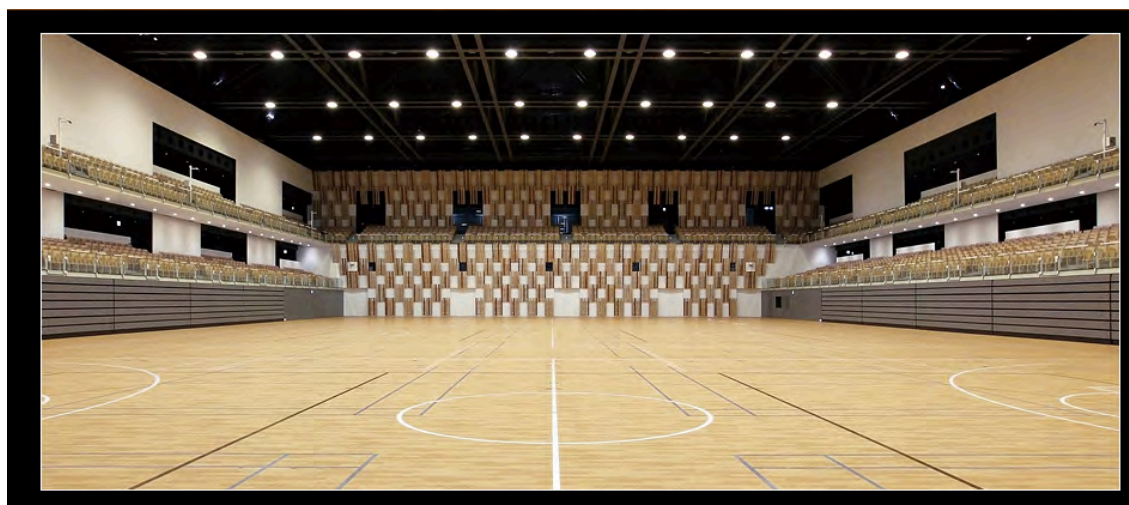


図 4-2：アオーレ長岡のバスケットボールコート

予備実験を行った長岡にもホームチームがあり「新潟アルビレックス BB」という。実験日にはその新潟アルビレックス BB の試合があり、ホームゲームというところで多くの地元サポーターが集まっていた。そのため大人から子供まで様々な属性の観覧者にコンテンツを見ていただくことが出来、その結果をインタビュー形式で感想を聴き、コンテンツの評価を行った。

### 4.1.1 エアードーム

実験を行うにあたってエアードームというプラネタリウムを利用した。(図 4-3)



図 4-3：エアードーム

直径約 6m の小型ドームであり、ドーム内に空気を常に外部から供給し続けることによって膨らませている水平式ドームである。通常のプラネタリウム施設とは異なり、こういったイベントなどにも持ち込んで設営することが出来、プラネタリウム施設と非常に近い環境をどこでも作ることができるという特徴がある。ドーム内には通常の家用途用プロジェクター(NEC NP2000)を設置した。XGA の 4000 ルーメンというスペックであり、今回利用したドームのサイズ感から考えて十分な照度を保っていたと考えられる。ドーム内には約 30 名同時に観覧できるスペースが有り、バスケットボールを観戦しにきたサポーターや、行政手続きを行いに来た市民など様々な年代と属性の方にコンテンツを観覧してもらった。

### 4.1.2 2D ディスプレイ用映像のドームへの投影

本来、コンテンツをドーム空間に投影する際にはドームの形状に合わせた映像の補正が必要となる。プロジェクターは本来、平面ディスプレイに映像を投影する為の機器であるため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

い映像として見える。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形状になっているため、プロジェクター位置や視点位置といった投影系の問題や視聴者の視点位置の問題に関係なく、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ため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は必ず歪み補正処理は必要となる。

コンテンツ作りの際にはこの要素はある程度考慮する必要があるが、今回は実写映像の投影手法確立の足がかりとして「歪補正」という要素は考えず、単純に 2D ディスプレイ用の映像をそのまま投影することを行った。

その理由としてはドームサイズが小さく、視聴者の視点からディスプレイまでの距離が近く、プロジェクションするエリアもドームのプロジェクション可能エリア一杯まで用いらずに狭い範囲での投影を行なうという理由がある。プロジェクションするエリアが広ければ広いほど画角が大きくなるため歪みも大きくなる。しかし今回のプロジェクションエリアは平面ディスプレイ用の映像をそのままプロジェクションするのでそれほど大きい投影は必要ないと判断した。

また、もう一つの大きな理由として、今回の実験では「撮影方法の問題点」を探ることを実験の目的としていたからである。実際に、過去の先行研究からドーム形状に合わせた補正方法といった投影系の問題点は解決されており、自分の研究でフォーカスしている点は実際映像をどのように撮影するかという点である。そのため、投影系はそのまま(平面ディスプレイと同じ方法)で、コンテンツそのものにどのような問題があるかを確認する予備実験としてこのような実験方法をとった。

### 4.1.3 実験の評価

ここでは実験の概要と結果について述べる。ここで提示したコンテンツは BJ リーグのプロの試合を撮影し、試合すべてを淡々と流したコンテンツではなく、ダンクシーンなどの得点シーンや、試合の中で注目すべきに値するグッドシーンを編集でつなぎ合わせ、サポーターがその試合の概要をつかめる、あるいは一般の観覧者がバスケットボールに興味を持てるような派手なシーンを集めたアミューズメントコンテンツとなっていた。また、新潟県長岡市は信濃川河川敷で見ることが出来る「長岡の大花



火(図 4-4 )」が有名ということで、長岡の祭りの花火の映像をコンテンツとして用意した。こちらのコンテンツは打ち上がる間隔が近い花火の最後の盛り上がるのシーンをまとめたものとなり、プロジェクターの位置を上げ天井付近にコンテンツの投影を行った。



図 4-4：長岡花火

上記二点のコンテンツを投影した。

バスケットボールのコンテンツ(図 4-5 )に関しては「映像の酔い」という問題が顕著に現れた。実験前の結果予想では、ドーム形状に合わせた映像の補正を行っていなかったため映像の歪みが、映像視聴している観覧者にとっての没入感や臨場感に影響を与えると考えていたが、それ以上に「カメラワークによる映像酔い」の影響が強く出た。

スポーツの試合を撮影する時、そのスポーツによって様々な撮影方法をとる。野球の場合は注目すべきポイントとして投手とバッターを撮る必要が有るため、投手の後方からカメラを固定して撮影し、バッターが球を打った時にその球の軌道をカメラで追うような撮影方法で撮影する。サッカーの場合は、コート自体が広いため全体を俯瞰した映像を作るために観客席の二階からコート全体の撮影を行なう。このように、スポーツによって映像の撮影方法は様々である。バスケットボールの試合は比較的狭いコートで選手が素早く動くため、早いカメラワークが必要となる。選手から選手へのパスやシュートの軌道を画角の狭いカメラで追った時、画面全体のシーンが素早く切り替わる。このような映像は、平面ディスプレイでは特に違和感なく見ることができるが、ドーム環境ではフレームのないディスプレイで視聴者がそのコンテンツの中に没入するような感覚を得られるため、シーンの切り替わりが早いと空間そのものが

動いているように感じて強い映像酔いを引き起こす。

逆にドーム特有の映像効果も判明した。映像の中でのゴールの位置がドームの真上にあり、選手がシュートを決めた時にボールがまるで真上から落ちてくるような効果が得られる(図 4-6)。これは実世界で本当にゴールの真下に立っている時に得られる効果と似ていて、強い臨場感を得られて興奮した。画角が狭く、通常は目線の高さの付近に設置する平面ディスプレイでは得られない特殊な効果であったため、これをコンテンツづくりの際に利用することで魅力的な実写映像コンテンツを作成するための一つの要素となりうると考える。

以上のことから、バスケットボールの実写映像コンテンツを作るときには、平面ディスプレイ用に撮影したものではなくドームコンテンツ用に撮影する必要があることがわかった。また、その際には映像酔いを引き起こす事のないように早いカメラワークで撮らないなどの撮影方法にも留意する必要がある。また、ボールが落ちてくるように見える映像など、ドーム特有の効果も期待されるため、実際にドームで移すことを想定して撮影位置や撮影方法を考える必要がある。

花火の映像(図 4-7)に関しては、バスケットボールの映像よりもコンテンツとして高い評価を得ることが出来た。映像の補正を指定なかったにもかかわらず魅力的なコンテンツとなった理由としては二つ考えられる。

ひとつはドーム空間内の照度が低いことである。通常花火は夜空に打ち上がる。ドーム空間では暗い空間内の一部にプロジェクションを行うため、使っていないディスプレイエリアとプロジェクションエリアの境目をはっきりと意識してしまう。しかし、花火の場合は、コンテンツの映像そのものが花火の筒所以外は夜空なので暗い。そのため、映像と使っていないディスプレイエリアとの境目がわかりにくくなった。これにより、ドームすべてが夜空であるような感覚を得ることが出来たことがひとつの理由としてあげられる。ディスプレイ全てに映像をプロジェクションすればこのような映像とプロジェクションを行っていない箇所都の境目について考える必要性は無いが、どのドームでもそのようなマルチプロジェクションが確実にできるとは限らないということと、手軽さということを考えて、一部のエリアへの映像投影は家庭用プロジェクター一つでできるため、今挙げたような効果は利点の一つと考えられるだろう。

もう一つは花火そのものが見上げることが自然なコンテンツということである。実際の花火は空に打ち上がるものを見るため、首を傾けて見上げる姿勢になる。ドームでの実写映像としての花火も同様に見上げる状態で観覧するため、実際の視聴環境と類似した環境になる。このことから自然に映像を見ることが出来たのではないかと考



えた。

以上二点から花火は実写ドーム映像コンテンツに非常に適していると考えられる。



図 4-5：エアードームへのバスケットボールコンテンツの投影の様子



図 4-6：ゴールを見上げている様子



図 4-7：花火コンテンツの様子

#### 4.1.4 簡易的ドーム環境作成例

ここでは、ドーム環境を簡易的に作成し没入感や臨場感を手軽に体感できる例を紹介する。第一章で紹介したように、半球状のプラネタリウムのディスプレイだけでなく、円筒形のアーチディスプレイを展示会のブースに設営することで、わざわざプラネタリウムまで行かなくても、広画角ディスプレイを体感できる環境を作った。

2013年11月9,10日に東京都お台場で行われた「サイエンスアゴラ 2013(独立行政法人 科学技術振興機構(JST) 科学コミュニケーションセンター主催)」にてアーチディスプレイを用いた没入環境でのコンテンツ提示を行った(図 4-8)。ここで提示したコンテンツは鹿児島県の桜島をフェリーの船上から撮影したものを用意し、コンテンツ内の桜島が丁度視線の中央に見えるように設定した。広い画角で投影するため周りの海も見えるようなコンテンツを作成することによって、実際に自分がフェリーの上にいるような感覚を味わうことが出来る。第一章で書いたように展示スペースのブースのコーナーを利用し、曲面体のディスプレイに近い環境を作ることでこのような展

示を可能にした。このように、小さいサイズではあるが手軽にドーム環境を体感できるようにすることによって、今までプラネタリウムに行ったことがなくドーム環境を体感したことがない人が、ドームディスプレイに興味を持ってもらうことがこの展示の目的の一つである。繰り返しにはなるが、ドーム環境による没入感覚は決して特別なものではなく、手軽に設営し体験することが出来るということをここでは示す。

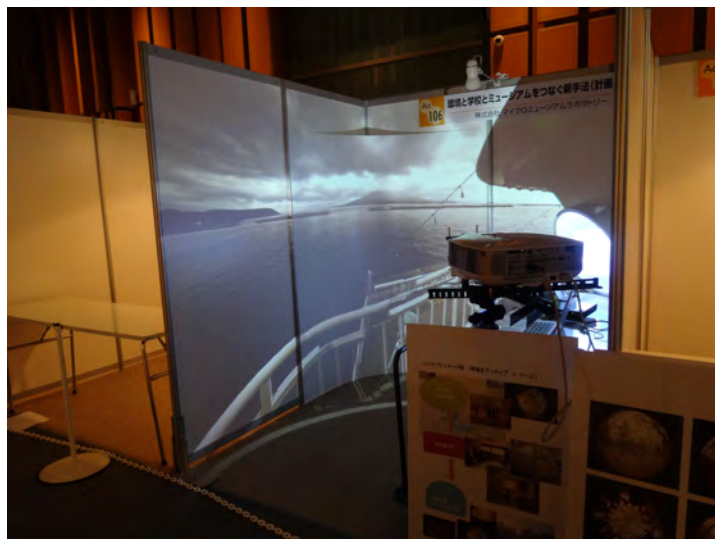


図 4-8: アーチドームでの桜島のコンテンツ

## 4.2 ドーム環境下における水平感と臨場感

長岡での実験によって、ドーム用実写映像コンテンツづくりの際のカメラワークが重要であることがわかった。更に、ドーム用実写映像コンテンツ作成のための重要な要素をここでは挙げる。

以下の三枚の図は、同じコンテンツを撮影する際に、撮影カメラの角度をそれぞれ変えた図である。



図 4-9：カメラの角度を下方向に傾けて撮影したコンテンツ



図 4-10：カメラの角度を視線に対して水平方向に傾けて撮影したコンテンツ



図 4-11：カメラの角度を上方向に傾けて撮影したコンテンツ

それぞれ、全周カメラで撮影した映像を viewer で角度を変え視聴者から見て視線の角度を変えたような映像になっている。

「カメラのレンズの角度を下向きに向けた映像」(図 4-9)

「カメラのレンズの角度を地面に対して水平方向に向けた映像」(図 4-10)

「カメラのレンズの角度を上向きに向けた映像」(図 4-11)

となっている。それぞれの映像をドームディスプレイに投影し、印象の違いを評価した。その結果として、「カメラのレンズの角度を下向きに向けた映像」は床面が天井に張り付いているような不自然な映像となることがわかり、これは映像の重力方向と視聴者の重力方向の違いが生まれるためだと仮定した(図 4-12)。

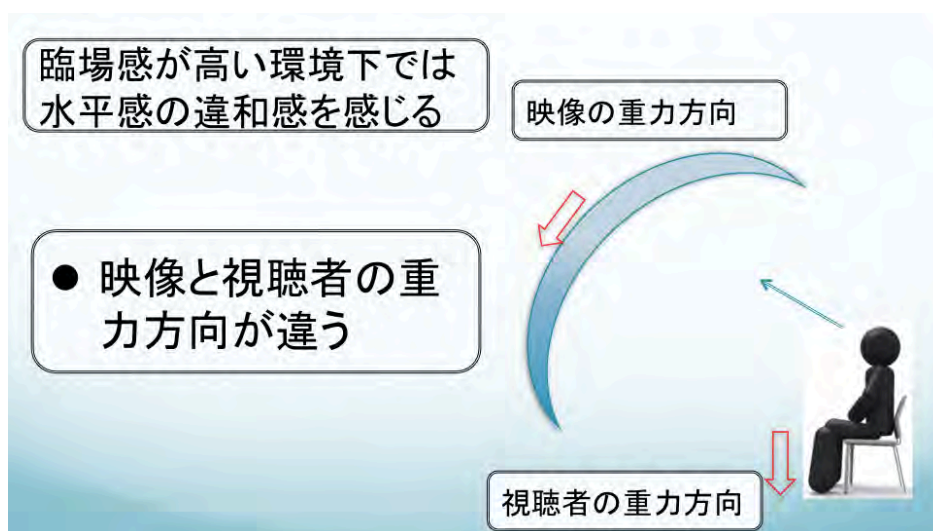


図 4-12：重力方向の違いに関する図

傾斜型のドームにコンテンツを投影する際は、映像の見せたい部分(人物、建物など)を一番見やすい位置に配置する。その場所はディスプレイの中央位置となるため、映像内の水平線がディスプレイの中央に来る。この場合、図のように映像の重力方向は実世界から見ると斜めの方向になる。視聴者は映像を視聴する時、首の角度を変化させはするが、体の位置は大きく変えることはないため視聴者の重力方向は視聴者の体に対して真下に来る。これによって映像の重力方向と視聴者の重力方向にずれが生まれて実際に見ている環境と比較した時に違和感のある映像となってしまうのではないかと考えた。これによって、映像内の地面や床がディスプレイの天井部に張り付いているような映像となったり、逆に映像内の天井部が、ディスプレイの正面に来たりするなどの不自然さが生まれる。



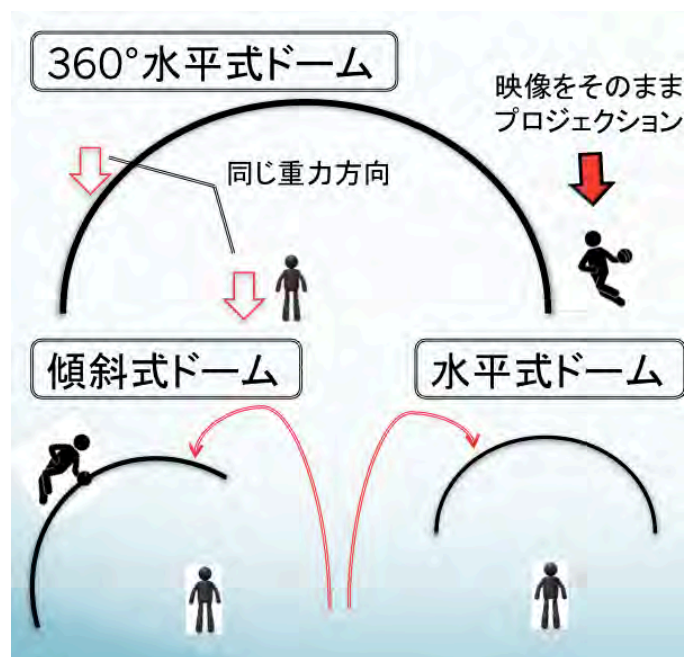


図 4-13：水平式ドームと傾斜式ドームそれぞれの実写映像の水平感

図 4-13 をもって、水平式ドームと傾斜式ドームにおける実写映像コンテンツの水平感について述べる。360° 全天周のドームのすべてのエリアにプロジェクションを行なう場合は、自分の足元から上側がすべてディスプレイになっているため実写の映像をいくつかのカメラで撮影し、それぞれの映像をスティッチングすることで全天周の映像を生成する。それをディスプレイにそのままプロジェクションすることによって実際に見ている環境と非常に類似した空間ができる。その際の映像の重力方法は実際の世界(撮影を行った環境)と同じ重力方向になるため、映像に対する違和感は生まれない。しかし、傾斜式ドームや水平式ドームの一部のエリアを使って投影を行なう場合では、プロジェクションのエリアが限られているため上記のような 360° 全天周ドームのプロジェクションは出来ない。そのため図 4-13 のような重力方向の違いが生まれ、その重力方向のズレが映像に対して視聴者が違和感を持ってしまう原因の一つになると仮定した。

この仮定から、本当に映像の重力方向が映像の違和感に繋がるのか、また重力方向のズレが違和感に繋がるとしたらどの程度のカメラの角度の変化までが視聴者にとって許容されるのかを実験で評価した。

## 第5章 ドーム環境下での水平感許容実験

### 5.1 実験の目的

本実験の目的は第四章で述べた「水平感のズレが視聴者に映像の違和感を与えるのか否か」という点と「違和感を与えるとしたらどの程度のカメラの角度の変化が水平感の変化として許容されるのか」という点を明らかにすることにある。

また、ドームのサイズによって水平感の許容量が変化するか否かを調べるために直径 3m の小型ドーム(図 5-1)と、直径 18m の大型ドームで実験を行う。実験場の環境によってすべての実験条件を全く同じに合わせることは困難であるが、今回の実験を行なうにあたってその結果に影響が出ないように出来る範囲で同じ環境を整え、実験を行った。

### 5.2 小型ドームでの水平感許容実験

ここでは小型ドームで行った水平感の許容実験について述べる。

ドームのサイズは様々ではあるが、ここではその中でもかなり小型の直径 3m のドームを利用した。プラネタリウムしか見たことのない人にとってはプラネタリウムで用いられているような大型ドームとのギャップをかなり感じるかもしれないが、湾曲した形状から、映像の中に入り込むような臨場感を得られるという点においては大型ドーム同様の効果を得られる。ただし、視野角のすべてをカバーできるほどのサイズではないため、その点における大型ドームとの環境の差が水平感に影響を与える可能性を考えて小型のドームでの実験を行った。

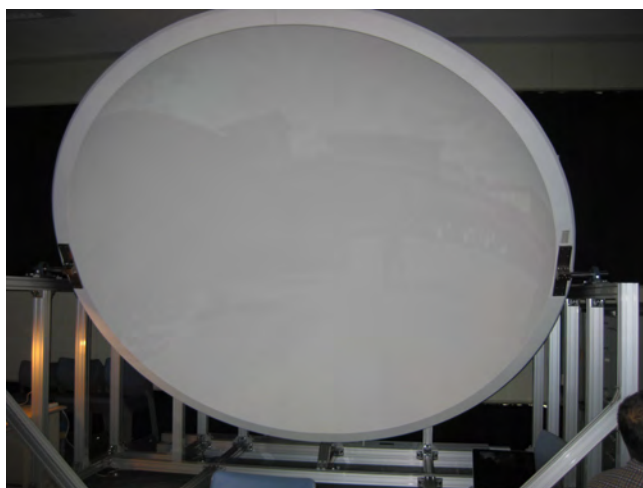


図 5-1：実験に用いた直径 3m のドーム

### 5.2.1 実験環境・実写映像を用いた水平感評価

実験は埼玉県立総合教育センターにて行った。2013年10月19日に、埼玉県立総合教育センターの一般公開の場として「集まれ！“センター探検隊”（図 5-2）」という催しがあり、その中の映像メディア活用ブースで展示を行い、そのコンテンツ提示の場でアンケート調査を行なうことで小型ドームでの水平感評価を行った。



図 5-2：「集まれ！“センター探検隊”」の紹介ページ



## 5.2.2 実験目的

実験の目的は第五章冒頭で書いたように「小型ドームにおける水平感評価」という目的と、「ドームに適したコンテンツ評価」「教育目的としてのドームコンテンツ評価」という三つの目的を持って実験を行った。

教育センターでの展示は水平感を評価するコンテンツだけではなく「学生のための教育コンテンツ」を用意し、ドーム環境での学習を実現するための足がかりとしてのコンテンツも提示した。そのコンテンツが埼玉県 of 学生たちの目にどのように映るのかという評価を行なうと同時に、学習コンテンツとしてドームで視聴するのならばどのようなコンテンツを見てみたいか、また、その保護者がどのようなコンテンツを自分たちの子供に見せたいかというアンケートを取った。

## 5.2.3 実験環境、コンテンツ

ここでは実験の環境と実験で用いたコンテンツについて説明する。

実験場所は埼玉県立総合教育センターの映像メディア活用ブースで、そこに 3m の小型ドームを設置した。ドームに提示したコンテンツが見えるようにドームの正面に合計 10 席の視聴席を用意し、教育コンテンツの評価などは特に座席指定をせずに行い、水平感の評価は実験環境を固定するためにドーム正面のプロジェクターから一番近い位置に座ってもらって評価を行った。



図 5-3：実験環境

図 5-3 のようにプロジェクターの後ろの後ろに座った状態でコンテンツを視聴できるように環境を作った。以下、水平感評価実験のための実験環境について図 5-4 を用いて説明する。

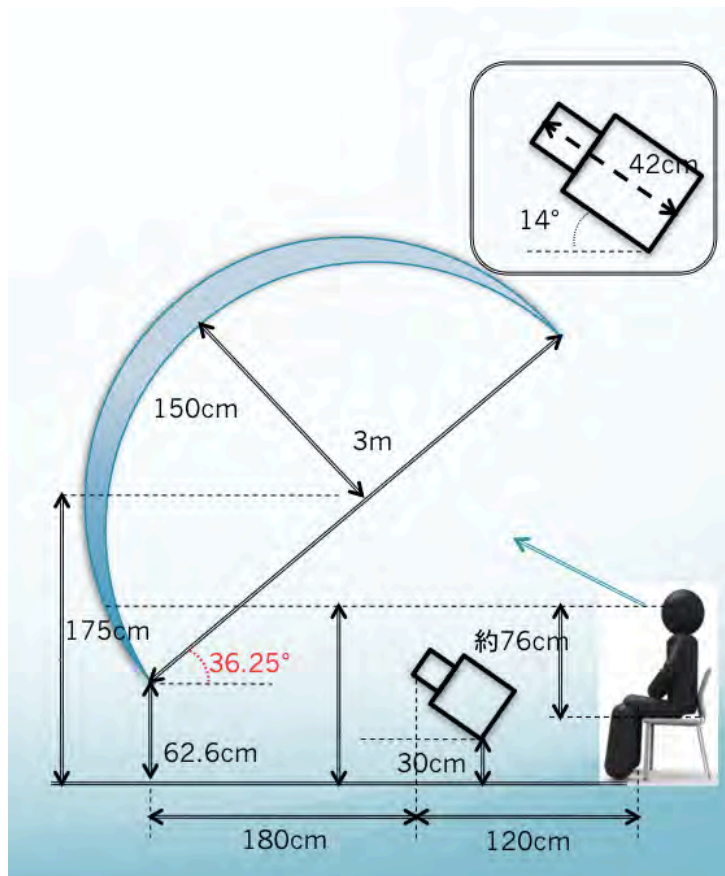


図 5-4：実験環境の概略図

ドームのサイズは直径 300cm、半径 150cm、視聴者からドームの床側の縁との距離は 300cm、ドームの傾斜角は  $36.25^\circ$ 、ドームは床面から 62.6cm 離れた状態で設置を行った。

プロジェクターはプロジェクターを支える台に乗せ、床面から 30cm、角度  $14^\circ$  で上向きに傾けてプロジェクションを行った。次に用いたコンテンツについて説明する。



図 5-5：慶應義塾大学のキャンパス紹介コンテンツ



図 5-6：鹿児島県の紹介コンテンツ 1

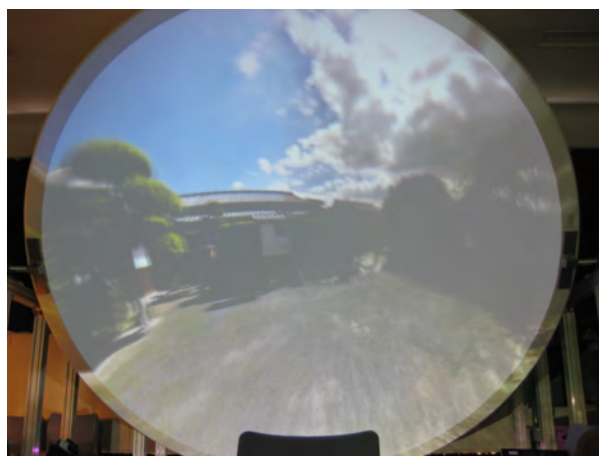


図 5-7：鹿児島県の紹介コンテンツ 2

教育用コンテンツとして図 5-5～5-7 のコンテンツを用意した。(図 5-5)は

慶應義塾大学日吉キャンパスのキャンパス内に関するコンテンツである。キャンパスの入り口や、生協の前、キャンパス裏の谷や応援団が応援している様子など、キャンパスの様子や慶應大学の学生が普段どのような場所でキャンパス生活を送っているのかがよく分かるコンテンツとなっている。長さはおおよそ3分ほどで作成した。コンテンツを観覧してきた高校生が、これから大学に入った後にどのような生活をおくるのかをイメージできるだけでなく、その保護者にとっても大学紹介のコンテンツは大学の校風や普段の学生の姿を知るいい機会になると考えてこのようなコンテンツを学習目的コンテンツとして作成を行った。

図 5-6～図 5-7 は鹿児島県の様子を編集した映像コンテンツとなっている。学会で鹿児島に行った際に撮影した多くの映像を編集し3分ほどのコンテンツとして作成した。鹿児島の有名な著名人の西郷隆盛像周辺の映像や知覧の武家屋敷、桜島の映像などを編集してコンテンツにしてある。こちらは鹿児島の有名な観光地を中心に作成しており、鹿児島県の様子のおよび概要がわかるコンテンツとなっている。

以上2つのコンテンツを繋ぎあわせて長さ6～7分ほどのコンテンツをループ再生して観覧者に提示した。

次に水平感評価のためのコンテンツについて述べる。



図 5-8：鹿児島県桜島のコンテンツ

(図 5-8)は鹿児島県桜島の映像をフェリー船上から撮影した映像コンテンツとなっている。水平感評価を行うため、水平線が見られるコンテンツとしてこのコンテンツを用意した。ドームの中央に桜島が見え、上のエリアには雲掛かった空、下方向には

海と、フェリーの手すりや船体そのものが見える。映像自体は固定した状態の全周カメラで撮影を行った。

被験者の属性は自由記述の属性項目に記述した被験者だけを挙げると、10代が2名、20代が1名、30代が4名、40代が8名、50代が2名であり、男性8名、女性10名、職業はパート、学生会社員、教員、主婦と様々であった。

## 5.2.4 実験方法

ここでは実験の方法について述べる。

まず、「ドームに適したコンテンツ評価」「教育目的としてのドームコンテンツ評価」という2つの評価のために、ドームを展示しているブースに来た観覧者に慶應義塾大学日吉キャンパスの映像コンテンツと鹿児島県の映像コンテンツを視聴してもらった後に以下の質問項目を含んだアンケートに5段階評価で答えてもらい定性的な評価を行った。

- ・ ドーム映像は立体感があった…ドームの特性である立体感を視聴したコンテンツに対して感じたかどうかの評価
- ・ ドーム映像は集中して見る事が出来た…コンテンツによってはその長さや内容によって、つまらないなどの負の印象を受けることがあるという点からこの項目を入れ、集中して見る事が出来たならコンテンツとして魅力的であるという評価を行った。
- ・ ドーム映像は興奮した…ドーム映像は集中して見る事が出来たという評価と同様に、コンテンツが興奮するものであったかどうかで魅力的なコンテンツであると位置づける一つの要因としてこの項目を入れて評価を行った。
- ・ ドーム映像は疲労を感じた…ドーム映像のコンテンツとして疲労を感じるコンテンツでは長時間の視聴に向いていないため、実際にプラネタリウムなどでコンテンツを投影するときにはこの項目の評価が低い値である必要性があり、そういった意味でドームに適したコンテンツであるかどうかを評価する指標としてこの項目を入れた
- ・ ドームはその空間にいる、その場にいる感じがかった…これは本研究の目的の一つである「魅力的なドームコンテンツ作成」のための重要な指標である。この聞き方は「視聴したドーム映像は臨場感を感じたか否か」という質問項目を噛み砕いたもので、通常、予備知識のない視聴者にとっては臨場感という言葉はあまり聞かないため、だれでも同じ評価基準で評価させるためにこのような表現に置き換えてアン

ケートを行った。平面ディスプレイと異なるドームディスプレイならではの特性として、視野角の広さから自分が実際にその空間に入り込んだような感覚を得ることが出来るとこれまで述べてきたように、視聴したコンテンツでも同じような「没入感」「臨場感」を得られたか評価するためにこの項目をアンケートに入れた

- ・ ドーム映像は映像酔いを感じた…第4章で述べた新潟県長岡市のアオーレ長岡での予備実験にてわかったこととして、ドーム用実写コンテンツ作成の際には、カメラワークが激しいと空間そのものが揺れ動いているように見えて激しい映像酔いを引き起こす。そのため、カメラを固定して撮影したコンテンツを用意したが、そのコンテンツで映像酔いを本当に感じないのか否かを評価するためにこの項目を入れて評価を行った。
- ・ テレビなどの2Dディスプレイと比べドーム映像は学習効果が高いと思う(記憶、印象深さ)・・・この項目はテレビなどの平面ディスプレイとドームディスプレイのそれぞれでコンテンツを視聴した時に学習効果に差が出ると思うか否かを評価するためにこの項目を入れた。観覧者の多くは現役の学生や教育機関の教諭など、普段から学習というものが身近にある属性の人であるため、その人達に評価をしてもらうことによってディスプレイそのものに関する平面とドームの差を評価した。
- ・ 家族に学習コンテンツをドームで見せたいと思う…ドーム実写映像の学習効果の高さの評価に近いが、観覧者がどのように感じ、更に家族や近い人にも勧めたいと思うかどうかを評価するためにこの項目を追加した。
- ・ ドームに投影する場合に見たい学習コンテンツを挙げて下さい(自由記述)…最後にドームディスプレイで実際に作成するならばどのようなコンテンツを見たいかという自由記述方式の項目を入れた。これにより、子供から大人までそれぞれの視点に立った「ドームに適した実写映像コンテンツ」を挙げてもらえる事を期待した。

上記10個のアンケートを「ドームに適したコンテンツ評価」「教育目的としてのドームコンテンツ評価」のために用意し評価を行った。

次にドーム環境下での水平感評価の評価について記述する。

被験者に対して座った状態でドームに提示した映像の評価をしてもらう。評価内容は「その場で見ていると仮定した時に映像に違和感があるか否か」という評価の項目で評価をしてもらう。具体的な評価項目は以下のとおりである。

1. 1枚目の映像は水平感に違和感を感じた。
2. 2枚目の映像は水平感に違和感を感じた。
3. 3枚目の映像は水平感に違和感を感じた。
4. 4枚目の映像は水平感に違和感を感じた。

5. 5 枚目の映像は水平感に違和感を感じた。

同じ鹿児島県の桜島をフェリー船上から撮影した映像を用いたが、それぞれ撮影時のカメラの角度を変えたコンテンツ(図 5-9)を5つ用意しそれらをランダムに表示した。

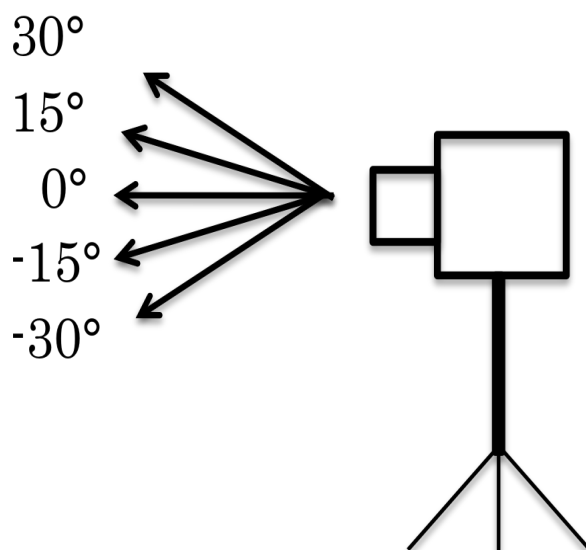


図 5-9：カメラ角度の違い

カメラはそれぞれ  $30^\circ$  ,  $15^\circ$  ,  $0^\circ$  ,  $-15^\circ$  ,  $-30^\circ$  で変化させた。カメラを上向きに向けた ( $30^\circ$  ,  $15^\circ$  )コンテンツは映像投影時には水平線が下がる(地面が見えにくくなり、空が広く映る)コンテンツとなる。逆にカメラを下向きに向けた ( $30^\circ$  ,  $15^\circ$  )コンテンツは映像投影時には水平線が上がる(地面が広く映り、空が見えにくくなる)コンテンツとなる。

被験者にはそれぞれのコンテンツを 10 秒から 20 秒の間で見てもらい、ひとつのコンテンツを視聴するごとに 5 段階の評価をしてもらう。評価が終了し次第次のコンテンツを視聴するという流れでアンケート記入をしてもらった。

### 5.2.5 実験結果

実験の結果について記述する。

はじめに「ドームに適したコンテンツ評価」「教育目的としてのドームコンテンツ評価」それぞれの評価の結果について述べる。アンケート調査を行った結果以下の様になった。



表 5-1： アンケート結果 2.5.①

アンケート項目	平均
1:立体感がなかった ↔ 5:立体感があった	4.29
1:集中して見られなかった ↔ 5:集中してみられた	3.76

- ・ ドーム映像は立体感があった…平均値 4.29 と高い値でドームディスプレイの立体感という特性を感じさせることが出来た。標準偏差は 0.956 という値になった。
- ・ ドーム映像は集中して見る事が出来た…平均値は 3.76 となり比較的高い評価ではあるがこれはコンテンツに依存し易い評価項目である。観覧者は子供から大人まで様々な年代がいたため、コンテンツによっては面白い面白く無いと感じるのはそれぞれで異なるため多少の評価のばらつきがあった。

表 5-2： アンケート結果 2.5.②

アンケート項目	平均
1:興奮しなかった ↔ 5:興奮した	3.86
1:疲労を感じなかった ↔ 5:疲労を感じた	2.76

- ・ ドーム映像は興奮した…平均値 3.86 であり、「ドーム映像は集中して見る事ができた」という項目同様に多少の評価のばらつきがみられるが、比較的高い評価を得ることが出来た。
- ・ ドーム映像は疲労を感じた…平均値 2.76, 標準偏差 1.04 であった。これも被験者によって疲労の感じ方はバラバラでドームディスプレイそのものの効果に加えてコンテンツ内容やコンテンツの長さにも依存したと考えられる。



表 5-3：アンケート結果 2.5. ③

アンケート項目	平均
1:いる感じがしない ↔ 5:いる感じがする	4.33
1:酔わない ↔ 5:酔う	2.67

- ドームはその空間にいる、その場にいる感じがあった…臨場感や没入感というドームの一番大きな特徴の一つについての評価は平均値 4.33 とかなり高い評価を得ることが出来た。標準偏差は 0.7 と比較的ばらつきが少なく、性別、年代、職業などは評価の値にあまり依存しない傾向が見られた。
- ドーム映像は映像酔いを感じた…映像用意に関しては平均値 2.67, 標準偏差 1.35 であった。慶應義塾大学日吉キャンパス紹介のコンテンツの中に、一部カメラを持って歩行しながら撮影したシーンが有るのだが、自由記述欄にて「カメラが動いていた映像では映像酔いをした」という意見を頂いた。映像酔いに関しては予備実験の結果通り、カメラワークを少なくする事によって解決できると考える。

表 5-4：アンケート結果 2.5. ④

アンケート項目	平均
1:学習効果が低いと思う ↔ 5:学習効果が高いと思う	3.86
1:家族に見せたくない ↔ 5:家族に見せたい	4.19

- テレビなどの 2D ディスプレイと比べドーム映像は学習効果が高いと思う(記憶、印象深さ)・・・学習効果に関する評価は平均値 3.86, 標準偏差 0.96 であった。あまり高いとはいえない数値ではあるため、ドームに適した学習コンテンツの考察が重要である。
- 家族に学習コンテンツをドームで見せたいと思う…平均値 4.19, 標準偏差 0.9 であった。ドームコンテンツの学習効果に関する評価と反して非常に高い評価を得た。このことから、ドームに対する興味や真新しさといった潜在的な数値は高く、ハードウェアとしての可能性は感じられる結果となった。重要なのはどのようなコンテンツがドームに適切であるかという点であると考察する。

- ・ ドームに投影する場合に見たい学習コンテンツを挙げて下さい(自由記述)
  - 大自然のコンテンツ
  - 深海の映像や空を飛んでいる映像
  - 英会話の練習
  - バルーン気球からの景色
  - 水中、海中
  - スポーツ
  - 海外観光地など 360° 見えるといい
  - 宇宙
  - 森

上記のような意見をもらった。自由記述欄の中で多かったのは自然に関するコンテンツであり、実際に海や空が見える桜島のコンテンツに関しては高い評価であったため、画角が広いというドームの利点を活かすには自然に関するコンテンツが比較的あっていると考えられる。その他に、「子供は少し熱が有り映像に驚いたのか映像酔いがした」「映像の粗さが多少気になった」「スピーカーを変えて音の質をもっと良い物にすると臨場感が高まると感じる」という自由意見を得た。

次に水平感評価に関する結果を記述する。

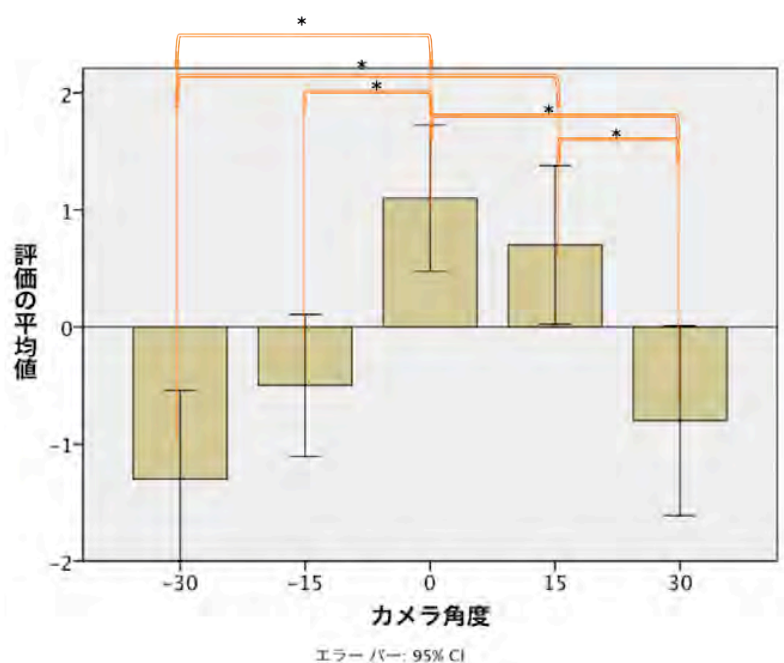


図 5-10：小型ドームでの水平感評価の結果

水平感評価の結果として図 5-10 の結果が得られた。結果として「 $0^{\circ}$ 、 $15^{\circ}$ 、 $30^{\circ}$ 」のカメラの傾きを与えたコンテンツそれぞれと「 $-30^{\circ}$ 、 $-15^{\circ}$ 」の傾きを与えたコンテンツの間に 5% で有意の差が見られた。評価の値は「映像に違和感を感じるほど高い評価を行なう」という回答形式にしたため、結果から「 $0^{\circ}$ 、 $15^{\circ}$ 、 $30^{\circ}$ 」の映像は違和感が少なく、「 $-30^{\circ}$ 、 $-15^{\circ}$ 」の映像は違和感があったという結果となった。また、「 $0^{\circ}$ 、 $15^{\circ}$ 、 $30^{\circ}$ 」のそれぞれの間と「 $-30^{\circ}$ 、 $-15^{\circ}$ 」のそれぞれの間に有意差は見られなかった。このことから、カメラの傾きを上方方向に傾けて撮影したコンテンツは、カメラの傾きを下方方向に傾けて撮影したコンテンツと比較して映像の違和感、水平感を許容しやすいという結果と、上向きのコンテンツは  $30^{\circ}$  までは少なくとも水平感に違和感を感じないという結果を得た。

### 5.3 大型ドームでの水平感評価実験

ここでは大型ドームで行った水平感の許容実験について述べる。

また小型ドームでの水平感実験を行った結果、小型ドームではカメラの傾きを上方向に傾けて撮影したコンテンツは、カメラの傾きを下方向に傾けて撮影したコンテンツと比較して映像の違和感、水平感を許容しやすいという結果と、上向きのコンテンツは 30° までは少なくとも水平感に違和感を感じないという結果を得ることが出来た。その結果を元に、大型ドームでは小型ドームと比較して、映像の画角や視聴環境が異なるため水平感の評価は同様の結果が出るのか、あるいは異なった結果が出るのかを検証するためにこの実験を行った。

### 5.3.1 実験環境・実写映像を用いた水平感評価

実験は東京都府中市の株式会社五藤光学研究所にご協力いただき行った。先の実験で用いた 3m ドームは慶應大学 SDM 研究科小木研究室の所有物であり、埼玉県総合教育センターに設置させていただいたものを使ったが、大型のドームを所有している機関や会社は国内でも少なく、その多くは商業用利用されているため実験のために用いることは難しい。五藤光学は国内でも有数のプラネタリウムメーカーであり、国内 163 施設のうち 53%が五藤光学の投影機を採用している(図 5-11)。そのため、社内にも大型ドームを有しておりそのドームをお借りして実験を行った。しかし、観覧者席等は実験用設備のためある程度決められており、投影場所、観覧席、投影ポイントなどはその施設で可能な範囲で設定して実験を行った。

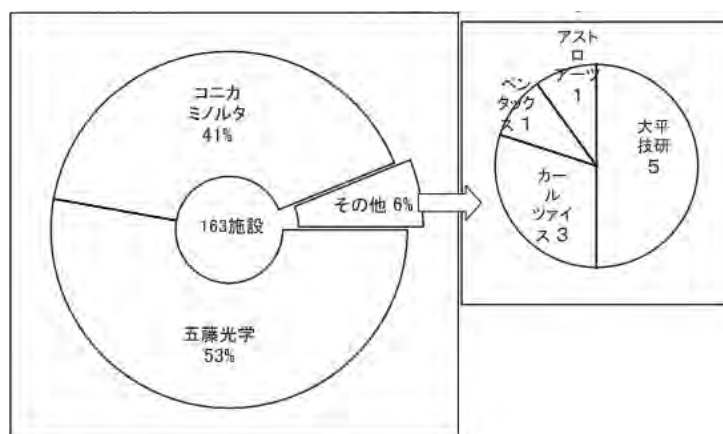


図 5-11：五藤光学が国内で占める投影機のシェア

### 5.3.2 実験目的

実験の目的は「大型ドームにおける水平感評価」という目的と、「ドームに適したコ

コンテンツ評価」という二つの目的を持って実験を行った。

小型ドームでの実験同様、ドーム環境下における水平感評価を行う。小型ドームでの実験と違う点としては、小型ドームでの実験と同じコンテンツを視聴させ、更に別のコンテンツを用意して、コンテンツによって水平感覚が変化するか否かを判定する。

ドームに適したコンテンツ評価は、二つのそれぞれ違った観光地(アミューズメント用)のコンテンツを用意してコンテンツの評価を行った。また、本研究で最終的に対象としているバスケットボールのコンテンツを用意した。これは、ゴール下やゴールの横など様々な場所からバスケットボールの練習の風景を撮影し、それぞれ異なる視線位置からみたコンテンツを用意した。それぞれのコンテンツの評価を行うことで、臨場感や没入感、そのコンテンツに対する魅力度といったものは撮影の位置に依存するか否かを判定する。

### 5.3.3 実験環境、コンテンツ

実験を行ったドームは株式会社五藤光学の 18m ドーム(図 5-12)で行った。国内では比較的大きな傾斜式ドームであり小型ドームでの実験の比較として実験を行うにあたって適したドームとなっている。



図 5-12：五藤光学研究所の 18m ドーム

実験に用いたコンテンツは以下のとおりである。

- ・ 鹿児島県桜島をフェリー船上から撮影したコンテンツ

小型ドームで提示しコンテンツと同じコンテンツで、小型ドームでの実験と同様にカメラの角度を変えたコンテンツを五つ用意して水平感の評価を行なうことを目的にしたコンテンツ。

- ・ 港から海を撮影したコンテンツ(図 5-13 左 )

ゆりかもめ「船の科学館駅」周辺の港から撮影したコンテンツで、桜島のコンテンツ同様に水平感の評価を行なうことを目的としている。

- ・ 川越まつりの様子(図 5-13 右 )

埼玉県川越市の「川越まつり」の夜の様子を撮影したコンテンツ。夜や暗闇のコンテンツがドーム内でどのように見えるかというドームコンテンツ評価のために提示を行った

- ・ 京都・北野天満宮の紅葉の様子(図 5-14)

これは紅葉の様子を撮影したコンテンツであり、川越まつりとは違い昼間の明るい時間帯に撮影を行った。このコンテンツもドームコンテンツ評価のために提示を行った。

- ・ バasketボールの練習の様子

本研究で対象としているコンテンツのBasketボールの映像コンテンツの提示を行った。撮影位置はそれぞれ七箇所で、

- コートコーナー45° , 距離 130cm, レンズ高さ 160cm(図 5-15 左)
- ハーフライン延長線上, 距離 145cm, レンズ高さ 160cm(図 5-15 右 )
- ハーフライン延長線上, 距離 145cm, レンズ高さ 84cm(図 5-16 左 )
- ハーフライン延長線上, 距離 145cm, レンズ高さ 252cm(図 5-16 右 )
- ゴール下, レンズ高さゴールリング下 30cm(カメラワークあり)(図 5-17 左 )
- ゴール下, 距離 80cm, レンズ高さ 160cm(図 5-17 右 )
- ゴール下, 距離 80cm, レンズ高さ 84cm(図 5-18 )

となっている。

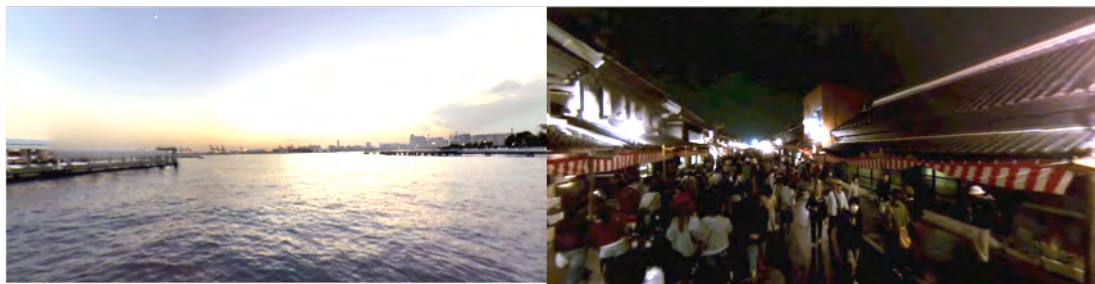


図 5-13： 港から海を撮影したコンテンツ(左),川越まつりの様子(右)

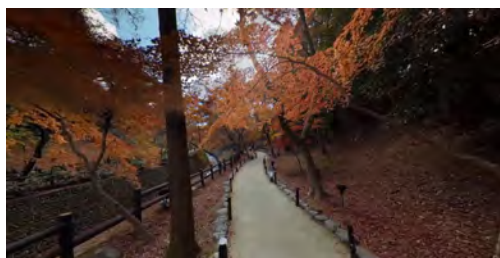


図 5-14： 京都・北野天満宮の紅葉の様子



図 5-15： コートコーナー $45^{\circ}$  ,距離 130cm,レンズ高さ 160cm(左), ハーフライン延長線上,距離 145cm,レンズ高さ 160cm(右)





図 5-16： ハーフライン延長線上,距離 145cm,レンズ高さ 84cm(左), ハーフライン延長線上,距離 145cm,レンズ高さ 252cm(右)



図 5-17： ゴール下,レンズ高さゴールリング下 30cm(カメラワークあり)(左), ゴール下,距離 80cm,レンズ高さ 160cm(右)



図 5-18： ゴール下,距離 80cm,レンズ高さ 84cm

被験者とドームとの位置関係は、五藤光学研究所のドーム設置室で可能な位置関係でしか設置できないため、ある程度の制約がかかり、小型ドームでの位置関係の拡大版にすることは出来なかった。しかし、プロジェクションのエリアを観覧者正面の中央に置き、小型ドームでの環境に類似した環境であるため水平感実験への影響はないと考える。



### 5.3.4 実験方法

鹿児島県桜島のコンテンツと港のコンテンツそれぞれ5つのカメラ角度を変えた合計 10 のコンテンツの水平感評価実験方法は小型のドームで行った方法と同じ方法で実験を行なう。新たに評価を行うコンテンツの川越まつり、北野天満宮に対する視聴印象のアンケート項目を以下に挙げる。

1：ドーム映像はその空間にいる、その場にいる感じがあった
2：ドーム映像は実際に見ている感覚に近い
3：ドーム映像は興奮した
4：ドーム映像は迫力がある
5：ドーム映像は暗く感じた(またその感覚量)※川越のみ
6：ドーム映像は酔いを引き起こした

上記 6 つの項目について 5 段階評価で評価を行った。5 番目の項目は、川越コンテンツそのものが夜に撮影したコンテンツのためかなり暗く、ドームで投影する際にはこの暗さが許容されるのか否かを評価するために項目に追加した。

次にバスケットボールの撮影位置の評価に関するアンケート項目を挙げる。

1：n 番目の映像は実際に見ている環境と近かった
2：n 番目の映像は迫力があつた
3：n 番目の映像は興奮した
4：n 番目の映像は映像酔いを感じた

以上 4 項目を提示したコンテンツ 7 つそれぞれについて質問をした。アンケート項目内の「n 番目の映像は実際に見ている環境と近かった」という項目は、臨場感や没入感が高いか否かという項目を観覧者が理解しやすいように言い換えた項目となっている。

水平感覚の評価方法は小型ドームでの実験と同じ方法で行った。

### 5.3.5 実験結果

実験の結果について記述する。

始めに「ドームに適したコンテンツ評価」について川越まつりのコンテンツの評価の結果について述べる。アンケート調査を行った結果以下の様になった。

表 5-5: アンケート結果 3.5.①

アンケート項目	平均
1:いる感じがしない ↔ 5:いる感じがする	2.9
1:実際に見ていない ↔ 5:実際に見ている	2.2

- ドーム映像はその空間にいる、その場にいる感じがあった…平均値は 2.9 と、小型ドームで行った慶應大学キャンパス紹介のコンテンツと比較して非常に低い値になった。これは「コンテンツそのものの影響」が理由として考えられる。後に記述するように、コンテンツがかなり暗位という評価からコンテンツそのものの悪影響がおおきかった。ドームのサイズが大きくなると視野を包むディスプレイが増えるため、本来は没入感や臨場感が高くなるはずであるが、それ以上にコンテンツの明るさの影響が顕著に出た結果となった。標準偏差は 1.1 であった。
- 実際に見ている感覚に近い…平均値 2.2, 標準偏差 1.13 という結果が出た。これも「ドーム映像はその空間にいる、その場にいる感じがあった」という質問項目とほぼ同義の質問であるため、同じ理由が考えられる。

表 5-6: アンケート結果 3.5.②

アンケート項目	平均
1:興奮しない ↔ 5:興奮する	2.5
1:迫力ない ↔ 5:迫力ある	3.4

- ドーム映像は興奮した…興奮したという評価項目も平均値 2.5 と低い値をつけた。標準偏差は 1.08 であった。
- ドーム映像は迫力がある…平均値 3.4, 標準偏差 1.17 という結果になった。興奮などの質問項目と比較した時に比較的高い評価であったが、これはカメラの視点位置が祭りの屋台などに近い位置にあったため、目の前に屋台があるような感覚を観覧

者が得たためと考えられる。このことから、コンテンツ内の視点市がどこにあるのかということも迫力という項目に対しては大きな影響を与えることがわかる。

表 5-7: アンケート結果 3.5.③

アンケート項目	平均
1:暗く感じない ↔ 5:暗く感じない	4.1
1:酔わない ↔ 5:酔う	2.9

- ・ ドーム映像は暗く感じた…平均値 4.1, 標準偏差 1.45 となった。暗さはプロジェクターの影響も関係しているが、他のコンテンツではこれほど顕著に暗さを感じたという意見はでなかったことから、コンテンツそのものの明度に大きく依存していることがわかる。川越まつりは夜のコンテンツであったことから、その暗さが許容できるレベルではないことがわかった。また、プロジェクターの性能にも依存する項目なので違うプロジェクターを使った時にどのようなアンケート結果が出るかを調査する必要がある。基本的にはドームコンテンツは朝や昼間の情景を映した実写コンテンツを作成するほうが観覧者に与える悪影響が少ないことがこの結果からわかる。
  - ・ ドーム映像は酔いを引き起こした…この項目の平均値は2.9, 標準偏差1.5であった。比較的低い値になったのは臨場感との関係性がある。このコンテンツは固定ではなく撮影者が手にカメラを(正確にはカメラに接続されている撮影用三脚棒)を持ちながら歩行したコンテンツである。通常、歩行しながら撮影したコンテンツは映像酔いを強く感じるため、評価も高くなるのだが、映像コンテンツそのものが暗く臨場感にかけたためその影響が出にくかったものと考えられる。
- 次に「ドームに適したコンテンツ評価」について北野天満宮のコンテンツの評価の結果について述べる。アンケート調査を行った結果以下の様になった。

表 5-8：アンケート結果 3.5.④

アンケート項目	平均
1:いる感じがしない ↔ 5:いる感じがする	3.2
1:実際に見ていない ↔ 5:実際に見ている	3.3

- ・ ドーム映像はその空間にいる、その場にいる感じがあった…平均値 3.2, 標準偏差 0.91 と川越まつり同様低い評価となった
- ・ 実際に見ている感覚に近い…平均値 3.3, 標準偏差 1.15 という評価になった。こちらも比較的低い評価となった

表 5-9：アンケート結果 3.5.⑤

アンケート項目	平均
1:興奮しない ↔ 5:興奮する	2.8
1:迫力ない ↔ 5:迫力ある	3

- ・ ドーム映像は興奮した…興奮したという評価項目も平均値 2.8 と低い値をつけた。標準偏差は 1.14 であった。
- ・ ドーム映像は迫力がある…平均値 3, 標準偏差は 0.94 という評価を得た。

表 5-10：アンケート結果 3.5.⑥

アンケート項目	平均
1:酔わない ↔ 5:酔う	3

- ドーム映像は酔いを引き起こした…平均値 3, 標準偏差 1.49 であった。酔いに関して川越まつりのコンテンツ同様、手に持って歩行しながら撮影を行ったため映像の揺れによって映像酔いを強く引き起こしたと考えられる。

次にバスケットボールコンテンツを作る際の撮影位置についての結果を記述する。

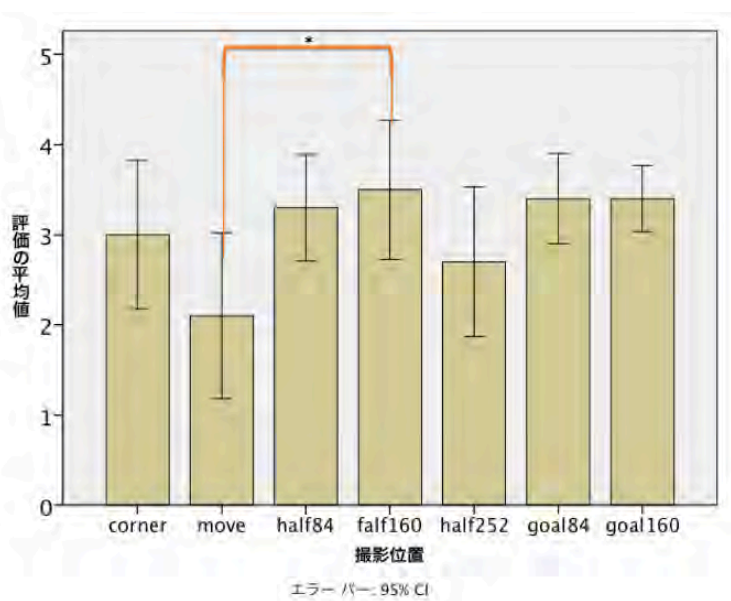


図 5-19：撮影位置による臨場感の変化

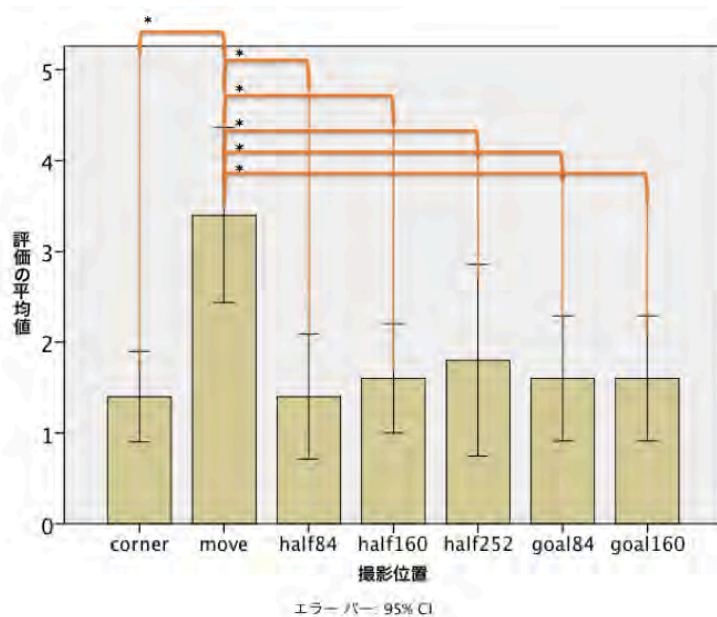


図 5-20: 撮影位置による臨場感の変化

図 5-19 は撮影位置による臨場感の変化の結果である。結果として、ゴールの下でカメラワークを使って撮影したコンテンツとハーフライン延長線上、高さ 160cm で撮影したコンテンツ間にものみ 5%で臨場感の有意差が見られた。このことからゴール下の真下で撮影したような実際に見たことがない位置からのコンテンツはハーフライン延長線上に 160cm という成人の目線の高さくらいで撮影したコンテンツと比較した時に臨場感をあまり感じない可能性がある。

図 5-20 は撮影位置と撮影方法による酔を感じたか否かという評価結果である。やはり、固定ではなく手に持った状態で撮影したコンテンツは揺れが大きく他のすべてのコンテンツと比較して 5%有意で酔いやすいという結果が出た。

次に水平感評価に関する結果を記述する。

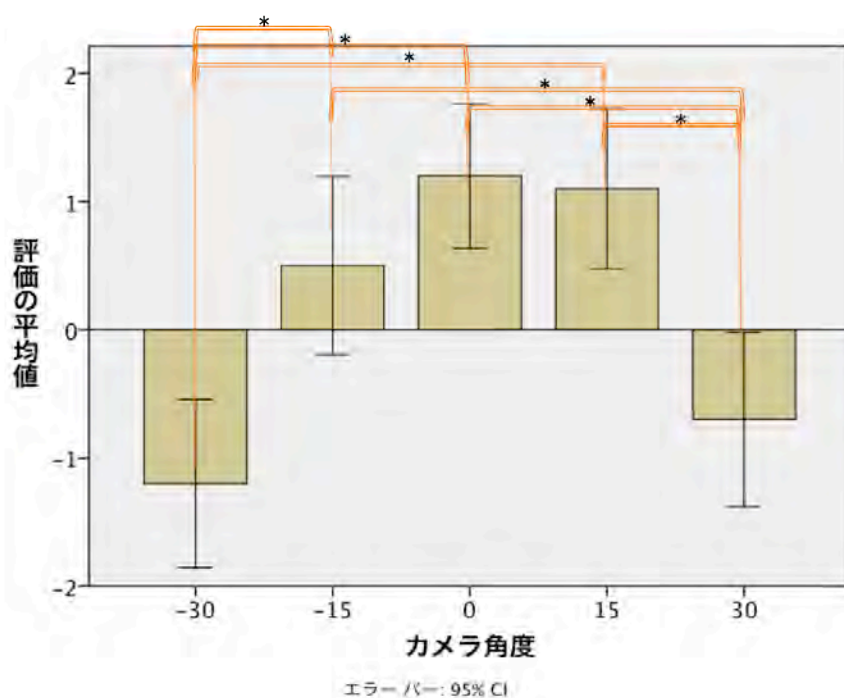


図 5-21: コンテンツ「フェリー」の水平感評価結果

図 5-21 はフェリー船上から桜島を撮影したコンテンツの水平感評価実験の結果を示している。結果として「 $0^{\circ}$ 、 $15^{\circ}$ 、 $-15^{\circ}$ 」のカメラの傾きを与えたコンテンツと「 $-30^{\circ}$ 、 $30^{\circ}$ 」の傾きを与えたコンテンツの間に 5%で有意の差が見られた。評価の値は「映像に違和感を感じるほど高い評価を行なう」という回答形式にしたため、結果から「 $0^{\circ}$ 、 $15^{\circ}$ 、 $-15^{\circ}$ 」の映像は違和感が少なく、「 $-30^{\circ}$ 、 $30^{\circ}$ 」の映像は違和感があったという結果となった。

この結果から、小型ドームの実験との違いとして「 $30^{\circ}$ 」のカメラの傾きで撮影したコンテンツの違和感が小型ドームでの実験と比較して大きく上昇している点、 $-15^{\circ}$ の映像の違和感が少ないことである。 $30^{\circ}$ の映像については、ドームのサイズが大きくなることによって臨場感、没入感を強く感じるため水平線の位置判定が厳しくなっているためと考えられる。また、五藤光学研究所ではディスプレイが広いのに対し、小型ドームではドームのサイズが小さいためドームのフレームが視点に入る。そのためカメラが下がる（ $-15^{\circ}$ 、 $-30^{\circ}$ ）の映像では水平線が多少上がっても虚勞できるのではないかと考察した。少なくとも、小型、大型共に  $15^{\circ}$  以内の範囲ならば許容できる可能性がわかる。

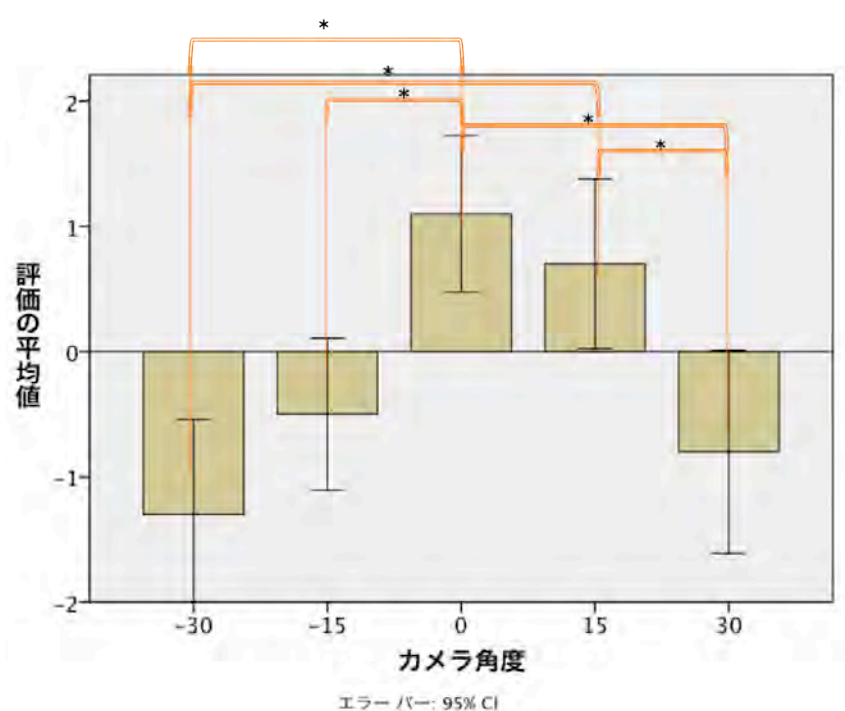


図 5-22: コンテンツ「港」の水平感評価結果

図 5-22 は港から撮影したコンテンツの水平感評価実験の結果を示している。結果として「0°」のカメラの傾きを与えたコンテンツと「-30°、-15°、30°」の傾きを与えたコンテンツの間、「15°」のカメラの傾きを与えたコンテンツと「-30°、30°」の傾きを与えたコンテンツの間に 5%で有意の差が見られた。評価の値は「映像に違和感を感じるほど高い評価を行なう」という回答形式にしたため、結果から「0°、15°」の映像は違和感が少なく、「-30°、-15°、30°」の映像は違和感があったという結果となった。

フェリーのコンテンツとの違いは-15°が許容できているかできていないかという違いだが、これはドームのサイズは同じでもコンテンツの違いによって水平感の許容量が変わる可能性を示唆している。

3 回の実験から、ドーム環境下では水平線の位置の影響というものは大きく、コンテンツ作成の際には必ず留意する必要がある。また、ドームのサイズによって水平感の許容量が変化する可能性がある。



## 5.4 2D ディスプレイでの水平感評価実験

ここでは 2D ディスプレイを用いた 5.2,5.3 同様の水平感評価実験の内容を述べる。ドームではなく、画角が狭く、ドーム特有の奥行き感や臨場感の効果が無いディスプレイにおける水平感許容実験によってどのような結果が出るかについて調べた。

### 5.4.1 実験環境・実写映像を用いた水平感評価

実験環境について述べる。用いたディスプレイは mac book air の 11.6-inch(1366 × 768)のディスプレイで(図 5-14)のような環境で実験を行った。



図 5-23：実験の様子

被験者には椅子に座った状態でディスプレイに表示されるコンテンツの水平感評価を行ってもらった。表示するコンテンツは小型ドームでの実験と同様の桜島のコンテンツを用い、桜島の映像素材を $-30^{\circ}$  ~ $30^{\circ}$  まで  $15^{\circ}$  ずつカメラ角度を変化させた合計 5 つのコンテンツをランダムで表示、評価内容等も小型ドームの実験と同様に行った。

### 5.4.2 実験目的

2D ディスプレイを用いた実験の目的は「ドーム間の水平感覚の違いについての評価」

を行なうためである。先の 2 回の実験の結果、水平感を許容出来る撮影カメラの角度やその結果の評価値などに違いがあることが判明した。これは同様のコンテンツを用いて実験を行ったため、評価値の変化に影響を与える因子はドームのサイズナノではないかという仮説に基づいている。2D ディスプレイで同様の実験を行うことで用いるディスプレイのサイズによって水平感覚が変化するという可能性があるためこの実験を行った。

### 5.4.3 実験結果

実験結果について述べる。

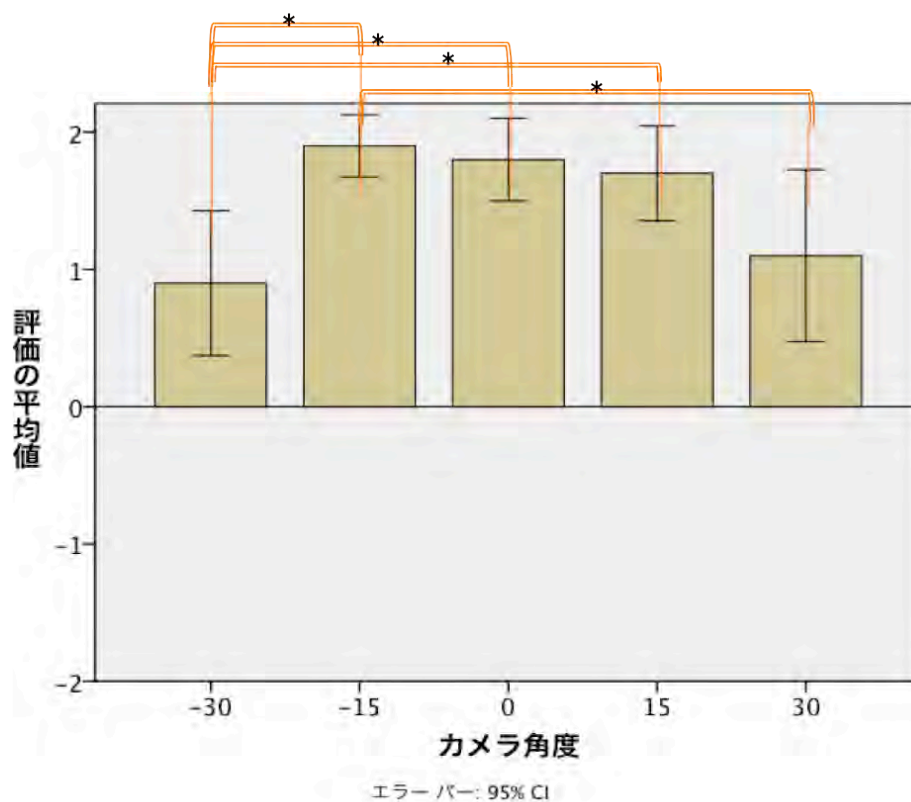


図 5-24 : 2D ディスプレイにおける水平感評価実験

1 元配置の分散分析の後に多重比較を行った結果が(図 5-24 )である。-30° と -15° ,0° ,15° 都の間に、30° と-15° との間にそれぞれ有意差が見られた。この結果から言えることは各カメラ角度の映像間での有意差は見られたものの、どのカメラ角度の映像においても高い評価(違和感が少ない)という結果である。2D ディスプレイで

は当初の仮定通り水平感の許容量が大きいことがわかった。

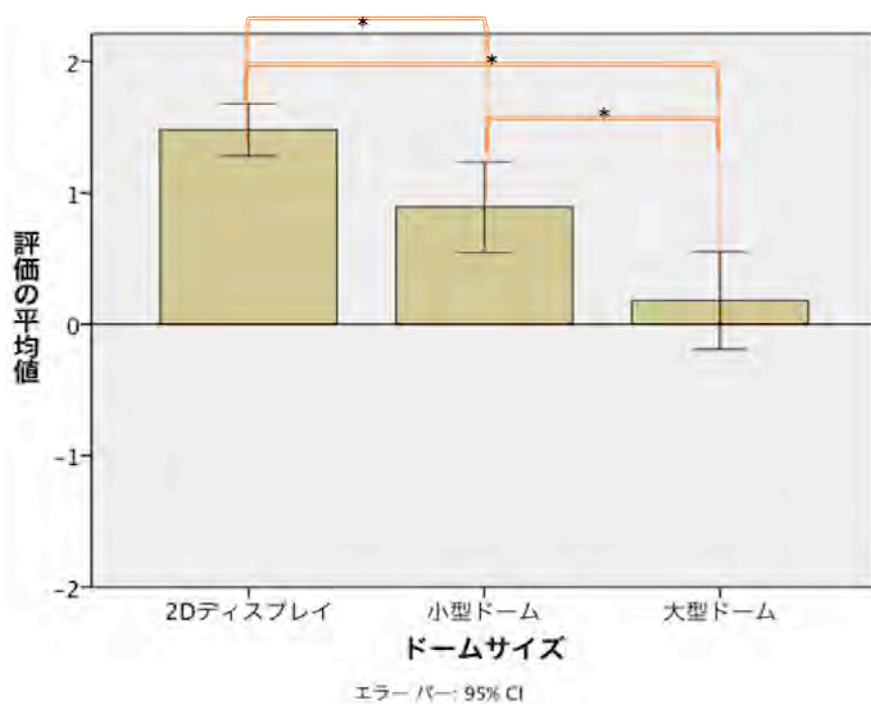


図 5-25: ディスプレイ間における評価値の違い

図 25 は因子をドームサイズとカメラ角度とし、2 元配置分散分析を行った結果である。各ドーム間に有意差が見られた。この結果から、ドームサイズが大きくなるに連れて水平感の許容に対し敏感に反応することがわかった。

## 第6章 応用例

### 6.1 学習目的のドームコンテンツ提示例

五章で述べたように、学習目的のドームコンテンツについて述べる。埼玉県総合教育センターでの提示の結果、ドームに適したコンテンツとして自然などの広い画角を活かしたコンテンツが適している可能性がある。観覧者がコンテンツ内で注視する対象物が絞られないようなコンテンツを今後実験的に検証していく必要がある。

### 6.2 プロバスケットボールをコンテンツとした映像

五章までに書いてきたように、ここでは本研究がドームコンテンツとしてメインに考えているバスケットボール映像コンテンツについて述べる。水平感実験の結果から、ドームに投影する際のコンテンツの撮影時のカメラの角度を考え、今までにないドーム用のバスケットボール映像コンテンツを作成することを目的とした。

#### 6.2.1 コンテンツ選択理由

コンテンツの選択理由は「運動視差の効果」「多人数での視聴に適したコンテンツ」「モデリングの不必要性」の三点である。

運動視差とは観覧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。ドームコンテンツの場合、視聴対象となるバスケットボールの選手が素早く動くため、スクリーン形状の立体感の効果に加えてより立体的に近くして見えるため、ドームのコンテンツとして有効であるといえる。

国内のプロバスケットボールリーグのBJリーグは、第一章で述べたように地域密着型のプロスポーツを目指している。スポーツバーの店内ディスプレイや自分の家のテレビでの視聴と比べて、ドームは収容人数が多いためブースター(サポーター)同士が同じ空間で自分の最親にするチームを応援することができ、より熱中してその場の空気感や喜びの共有がしやすい。

また、モデリングの不必要性についてはバスケットボールコンテンツだけに限らないが、実写映像は3DCGに比べて比較的簡単にコンテンツ化して投影できる。3DCG

の一番の問題点はそのコストの高さである。モデリングをしてドーム形状に合わせたコンテンツを作成するのは非常に手間がかかるのだが、実写映像ではそのモデリングの必要が無いため、投影時の補正を行うだけで簡単に、安価にコンテンツの提示が可能となっている。

これらの理由からバスケットボールコンテンツを実写ドームコンテンツの一例として採用した。

## 6.2.2 撮影対象

撮影の対象はBJリーグのプロバスケットボールの試合である。



図 6-1：横浜ビー・コルセアーズと島根スサノオマジックとの試合風景



図 6-2：撮影イメージ

横浜ビー・コルセアーズと島根スサノオマジックとの実際の試合を、特別に許可をいただき撮影を行った。その際に、撮影した箇所としては通常の試合の他に練習風景(アップ、選手たちが試合前に体を暖め、シュートフォームの確認などを行なう)や試合のハーフタイムなどに行われる観客向けのショー、試合後のインタビューなども撮影した。試合前のアップは試合で撮影するときと比べて撮影ポイントがある程度自由になるために、選手にできるだけ近づいて撮影するのに適していたために撮影を行った。撮影はゴールの真下を中心に行った。ハーフタイムのショーは、撮影した素材を編集して一つのコンテンツにするときに時間の流れなどが分かりやすいようにコンテンツに組み込むことを想定していたため撮影を行った。試合後のインタビューも同じ理由であり、ただ試合のみを流すコンテンツでは無く「練習風景から試合後の選手の表情までを含んだプロバスケットボールの試合全体」を観覧者に伝えることが娯楽用のドーム用コンテンツとして重要な要素の一つであると考え、このような撮影対象を選定した。

### 6.2.3 撮影方法

撮影の方法は5章での知見を活かして、原則選手と同じ高さ、あるいはそれよりも低い視点位置からの撮影を行った。2階席からの撮影も2箇所ほど行ったが、撮影を行った全24シーンのうちほとんどはゴールの下、あるいはハーフラインの延長線上で撮影した。5章のバスケットボールの撮影位置の実験から、撮影位置が観覧者に強い影響を与えるという結果は出なかったため、同じ高さのポイントという点に重点を置き、撮影位置の平面での変化については特に制約を与えずに撮影を行った。

### 6.2.4 コンテンツ作成方法

コンテンツの作成方法は以下のようにになっている

#### 1.映像の編集作業

動画をスティッチングし、パノラマ動画を生成する。

AUTO PANO VIDEO を起動させ、シンフォニゼーションを用いて6つの動画の開始の同期を取る。次に隣り合ったカメラ(映像)同士を繋ぎあわせ、メルカトル図法の世界地図のように動画同士を繋ぎ合わせてパノラマ動画を生成する。繋ぎあわせた動画は水平方向や垂直方向がバラバラになっているため、手作業で水平方向、垂直方向を合わせている。

## 2.生成したいコンテンツの動画時間策定

生成した動画を時系列順に並べて、それぞれの録画時間を記録する。その後、作成するコンテンツの動画予定時間を考慮して採用する動画を選び、それぞれどのくらいの時間と時間帯を抽出して編集に書けるかを策定する。その際に留意すべきポイントはそれぞれの動画で撮影ポイントが異なるため、コンテンツ化する際にどの撮影位置のものをどれくらい使うのかを考えて採用動画を決めなければならないという点である。

## 3.コンテンツの編集

それぞれの採用動画を Adobe Premiere Pro を用いて編集を行う。作成予定コンテンツの予定動画時間に合わせて、選出した動画を繋ぎ合わせる。また、動画の各クォーター毎に文字表示で動画内に今何クォーター目なのかを表示する。

## 6.2.5 ドーム環境下でのコンテンツ投影

本論文執筆時にはドーム環境下でプロバスケットボールのドーム用実写コンテンツの投影までには至らなかったが、今後の展望としてその投影方法についてまとめる。

試合の撮影にはHERO3を用いて全周の映像を撮影し、撮影の場所は選手と同じ高さのポイントを多く撮った。これは水平感の実験の結果から「上向きのカメラの角度の変化（視聴時には水平線が下がる映像）」は許容し易いという結果が出たため、プロバスケットボールのドーム用実写コンテンツの投影時にもこの結果を用いて視線に対して $0^{\circ}$  ～  $15^{\circ}$  の変化まででカメラの角度変化を抑えるようにするためである。全周映像をパノラマ化して書く撮影素材を繋ぎあわせてviewerを通して提示する。その際にカメラの角度を(viewerで変化させる仮想的なカメラの角度)調整し、水平感覚に違和感のないであろう角度での映像提示を想定している。映像観覧のステークホルダーは実際のサポーターはBJリーグの関係者であり、コンテンツ作成後に視聴してもらいコンテンツの評価をってもらうことで、魅力的な娯楽目的のドームコンテンツとなるかどうかを考察する必要がある。

## 第7章 課題

### 7.1 ドーム環境下での臨場感

この章では今後の展望、今後の課題について述べる。本研究で扱えなかった、より高い臨場感をもたらすであろう要素である、プロジェクターの輝度、解像度やドームそれぞれに適した投影機材の選択方法、全天周コンテンツの映像補正、マルチプロジェクションによる投影エリアの拡大に就いて述べる。

#### 7.1.1 高輝度プロジェクター

ここではプロジェクターの明るさが臨場感に及ぼす影響について述べる。

本研究では研究室の保有機材の問題から小型ドーム、大型ドーム共に NEC の NP2000J というプロジェクターを用いて実験を行った(図 8-1)。



図 7-1 : NP2000J

このプロジェクターは 4000 ルーメンの XGA 対応という仕様になっている。

小型ドームでの実験の際に実験者として感じたのは映像の解像度の低さであった。



3m の小さなドームに 180cm と近い距離からプロジェクションしたため、ルーメン数の問題は全く感じなかったが、ドームのスクリーンと観覧者の距離がおよそ 3m と近い距離であったため映像の粗さを若干感じた。観覧者から回収したアンケートの自由記述欄にも同様の意見があった。今回の実験は水平感の評価が中心であったが、実際に娯楽用コンテンツの評価を小型ドームで行う際には、映像の粗さが観覧者の臨場感や没入感を損なう可能性が考えられる。

しかし、大型ドームの実験の際にはまた違った問題点が上がった。プロジェクターからスクリーンまでの距離はおよそ 12m で、映像の暗さが気になるという結果が出た。観覧者からスクリーンまでの距離も同様に約 12m であったため、スクリーンに映る映像の粗さは小型ドームほど気にならず、明るさが足りないことが臨場感や没入感に大きく影響している可能性が考えられた。

以上のことから、プロジェクターが映像に与える影響は非常に大きく、かつドームのサイズによって求められるプロジェクターの性能が変わることがわかる。

次に以上の問題点を踏まえてプロジェクターの投影試験について記述する。

明るさや、解像度が NP2000J よりもよいプロジェクターは世の中にいくつもあるが、より良い性能を求めれば求める程に非常に高価になってしまう。そのため、購入が可能な範囲のプロジェクターと NP2000J との比較試験を行った。

比較対象に選んだプロジェクターは SONY の VPL-FHZ55 である。仕様は、有効光束:4000 ルーメンと NP2000J と同じではあるが、高原がレーザーダイオードというレーザーで打ち出すタイプのもとなっており、それが同じルーメン数でどれだけの違いが出るかをテストした。



図 7-2 : VPL-FHZ55 と NP2000J の比較

図 7-2 が 2 つのプロジェクターで同じシーンを投影した際の映像の違いである。NP2000J では VPL-FHZ55 と比べた時に白が綺麗に出るため明るく映っている様な印象を受けるが、レーザーでのプロジェクションは赤が綺麗に出るという特徴を持っているため、映像内の色が綺麗にでてるように感じたのと同時に、NP2000J よりも現実の世界の色に近い色合いである印象を受けた。

今後、このようなプロジェクターの選択が観覧者に与える影響の大きさを考慮して実験を行っていく必要がある。

### 7.1.2 ドームサイズによる投影環境

ここではドームのサイズによる投影環境について述べる。7.1.1 と重複する点もあるが、ドームのサイズによってプロジェクターや被験者の位置といったものに留意する必要があるのと同時に、ディスプレイ以外の点も実験環境として留意する必要がある。

小型ドームでの実験環境ではドームのサイズが小さいことから、ディスプレイの端の部分が視線に入る。これによって、ディスプレイそのものを多少なりとも意識してしまう場合がある。大型ドームではそれがなく、視聴対象物を見ている時はドームの端の部分が見えないために小型ドームでの問題点はない。このことから、投影するコンテンツなどにもよるが、そういったディスプレイが見える、見えないといったところにも没入感や臨場感の影響があるのではないかと考えた。

また、ドームでの実験環境を理想通りに整えることは難しいことを先に記述した。これは、実験施設に限られるということや、実験を行う場所そのものが企業なのか、商業施設なのか、国や市町村の持ち物の場所なのかということである。映像投影時に部屋の照明を落とすという基本的なこともままならない場合があり、これは明らかに実験を行う時には、ドームディスプレイやコンテンツの影響以外の外的影響を視聴者の評価に及ぼすこととなるため、こういった点にも注意して実験を行う必要がある。

### 7.1.3 全天周コンテンツの映像補正

次に全天周コンテンツの映像補正について述べる。

本研究の実験においては画角の調整によって映像の補正を行った。映像投影方法の「魚眼カメラと魚眼プロジェクターを用いた方法」では、チェックボードを用いた映

像補正によって、ほぼ完全に魚眼の歪みやスクリーン形状の歪みを考慮した補正を行うことが出来るのだが、画角の調整だけでは印象として歪みが消えているように感じるが、完全に映像の補正ができているかどうかはわからない。



図 7-3：GoPro HERO3 を用いた撮影による映像



図 7-4：映像補正を行った映像

図 7-3,7-4 を比較すると図 7-4 に対して図 7-3 は多少歪みがあることがわかる。GoPro で撮影したものは専用の viewer を通して投影を行なうため既存のチェックボードによる補正は出来ないのだが、今後は映像を完全にスクリーン形状に合わせたり、魚眼

の歪みを考慮した補正を行ってコンテンツを作る必要がある。

#### 7.1.4 プロジェクションエリア

プロジェクションのエリアについての今後の課題を述べる。

本実験においては高画角の魚眼レンズを用いて画角を広げ、プロジェクター1台によるシングルプロジェクションでコンテンツの投影を行った。しかし、魚眼レンズを通すことによって映像が広がるため、明るさもかなり暗くなり 7.1.1 で述べたようなプロジェクターの輝度の問題が発生する。そのため、マルチプロジェクションを用いてこの問題を解決する方法を考慮するべきである。

マルチプロジェクションとは航空機や船舶などの操縦訓練用のシミュレータやバーチャル・リアリティの研究で、球面や円筒形のスクリーンに複数のプロジェクターで投影し、臨場感のあふれるバーチャル空間を演出するための、さまざまなマルチ投影技術（マルチ・プロジェクション）のことであり、プロジェクター2台以上を用意して、投影エリアを拡大する方法である。この方法を用いれば、それぞれのプロジェクターに装着する魚眼レンズをより画角の狭いものにして、それぞれ隣り合ったエリアにプロジェクションを行なうことで同じ画角をより明るいルーメン数を保ったままプロジェクションすることが出来る。これによって現状の性能のプロジェクターでも2大用いることで明るい映像を投影することが可能になる。

視点を変えると、今回の実験ではドームの一部の部分への投影を行っており、半球形のドームすべてのエリアへのプロジェクションは行っていない。そのため、マルチプロジェクションにおいて、それぞれのプロジェクターに今用いている魚眼レンズを装着して投影することによって、より広いエリアへの投影が可能になる。

## 第8章 結論

本研究ではドーム環境における水平感の評価を行ない、実写ドームコンテンツとして許容できる水平線の位置を小型、大型ドームそれぞれで判定した。その知見を用いてドーム型ディスプレイという特殊なディスプレイに適したコンテンツの提案を行った。

本研究では以下の4つの実験に取り組んだ。その結果は以下の通りである。

1. 小型ドームでの実写ドーム用コンテンツの水平感評価
2. 小型ドームでの実写ドーム用コンテンツの学習利用評価
3. 大型ドームでの実写ドーム用コンテンツの水平感評価
4. 大型ドームでの娯楽・アトラクション目的での実写ドームコンテンツ評価

3回の水平感実験から、ドーム環境下では水平線の位置の影響というものは大きく、コンテンツ作成の際には必ず留意する必要性があり少なくとも  $0^{\circ}$  ~  $15^{\circ}$  のカメラの傾きで撮影されたコンテンツはどのサイズのドームにおいても許容されることがわかった。また、ドームのサイズが大きくなるにつれて水平感の許容量が変化するという結果から、 $2D >$  小型ドーム  $>$  大型ドーム という水平感許容量の関係性が見られたため「水平感はドームのサイズ、ひいては臨場感に依存する」可能性があるということがわかった。

ドームに適したコンテンツは「環境」に則したコンテンツが良い可能性がアンケート等からある事がわかった。ドームの画角の広さという特性を最大限活用することが出来るためであると考えられる。

## 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教授、副査の教授である当麻准教授、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、研究員の栗田祐輔さんに多くのご指導を頂きました。また、Micro Museum Lab. 近清武さんにはコンテンツ撮影のご機会や研究に対する助言等を頂きました。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関口健太郎さん、松田侑己さん、伊藤研一郎さん、熊迪さん、中田剛さん、その他システムデザイン・マネジメント研究科関係の方々にご協力をして頂きました。

多くの方々に研究を行う上で多大なるご協力を頂いたことで、このような研究成果がでたと思っております。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] 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.
- [5] 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
- [6] 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
- [7] bj league OFFICIAL BASKETBALL RULES, 2013
- [8] 財団法人 デジタルコンテンツ協会:e!プロジェクト「高速衛星通信を利用した高精細頂戴画面映像システムの実証実験」(経産省委託事業), 2002
- [9] Nagataka OGASAWARA: 大型映像の現状と今後の展開について-本館におけるサイエンスドーム活用可能性を中心として-, 「平成23年度千葉県現代産業科学館研究報告」18,(2012)
- [10] 古山茂和・筒井道弘: 千葉県立現代産業科学館におけるプラネタリウム上映会について「平成 23 年度千葉県立現代産業科学館研究報告」18, (2012)
- [11] 佐藤 仁: 当館における大型映像の足跡と今後「平成 17年度千葉県立現代産業科学館研究報告」12, pp.23-40 (2006)
- [12] E. Lantz: The Digital Planetarium, Proc. of 2002 International Planetarium Society Conference, 2002
- [13] E. Lantz: Large-Scale Immersive Displays in Entertainment and Education, 2nd Annual Immersive Projection Technology Workshop, 1998.

- [14] Takeshi Chikakiyo, Tetsuro Ogi: Evaluation of Super High Definition Stereo Dome Environment in Science Museum, ASIAGRAPH 2009 in Tokyo Proceedings, Vol.3, No.1, pp67-70, Tokyo, 2009.
- [15] 古山大輔、立山義祐、小木哲朗、妹尾武治：ドーム環境における空間知覚特性の検討、第10回レイマージョン技術研究会、日本バーチャルリアリティ学会研究報告、Vol.014、No.03、TTS09-3-3、東京、2009.10.09
- [16] Takeharu Seno, Masahiro Hayashi, Tetsuro Ogi, Takao Sato: Virtual Depth Effects for Non-Stereoscopic Dome Images -The Estimation of the Depth Effects of the Dome Image by Psychophysics, 2008 ASIAGRAPH Proceedings, Vol.2, No.1, pp.121-126, Shanghai, 2008.6.27-7.1



## 外部発表

1. Ryohei Hamaguchi, Yoshisuke Tateyama, Tetsuro Ogi: Production Technique of Omnidirectional Video Contents for Dome Display, Asiagraph 2013 Forum in Kagoshima Proceedings, Vol.8, No.2, pp.111-112, Kagoshima, 2013.9.27-29
2. 濱口諒平, 立山義祐, 小木哲朗: 全天周カメラを用いたドーム映像の水平感評価, 日本バーチャルリアリティ学会第21回テレ-immージョン技術研究会, 2013

## 付録

### A.様々なドームコンテンツの撮影と投影

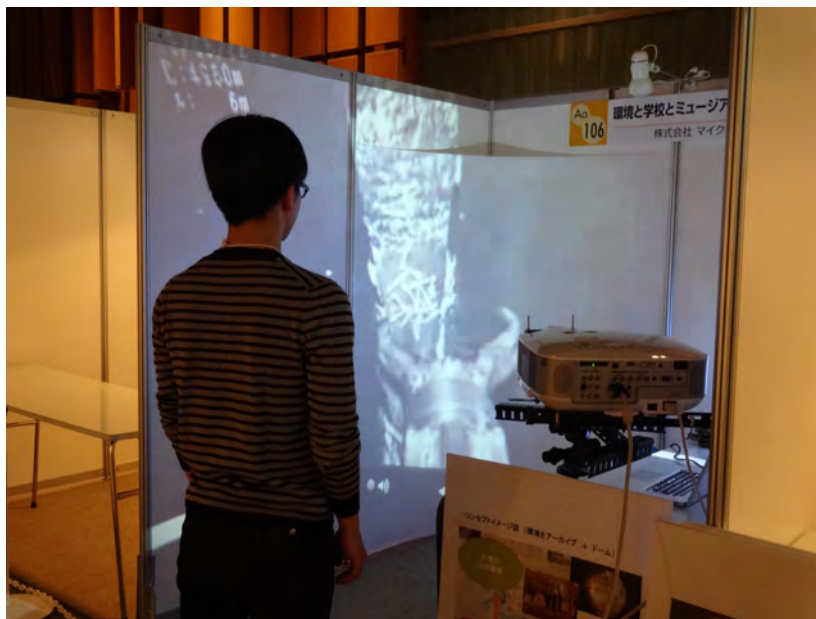


図 A-1：サイエンスアゴラでの投影の様子

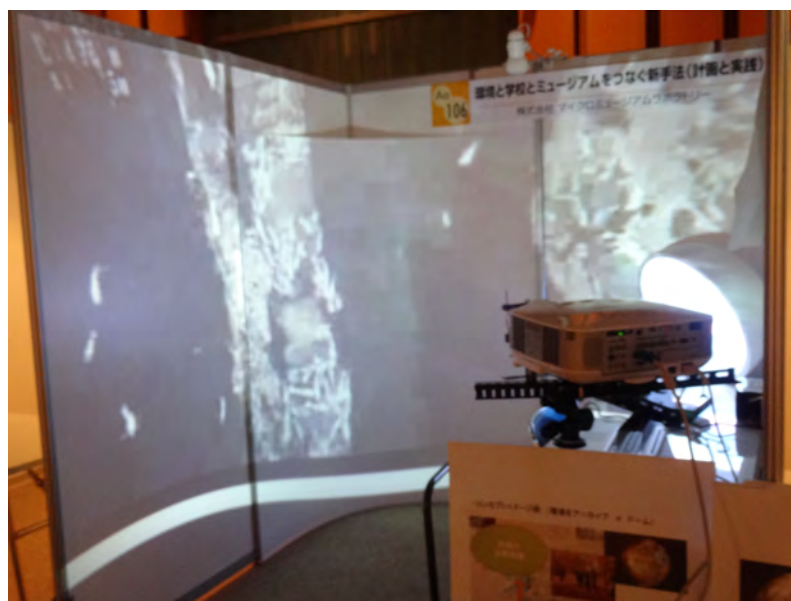


図 A-2：コンテンツ「深海 6500」



図 A-3：魚眼カメラシステムでの撮影の様子



図 A-4：大型ドームでの水平感評価実験の様子①

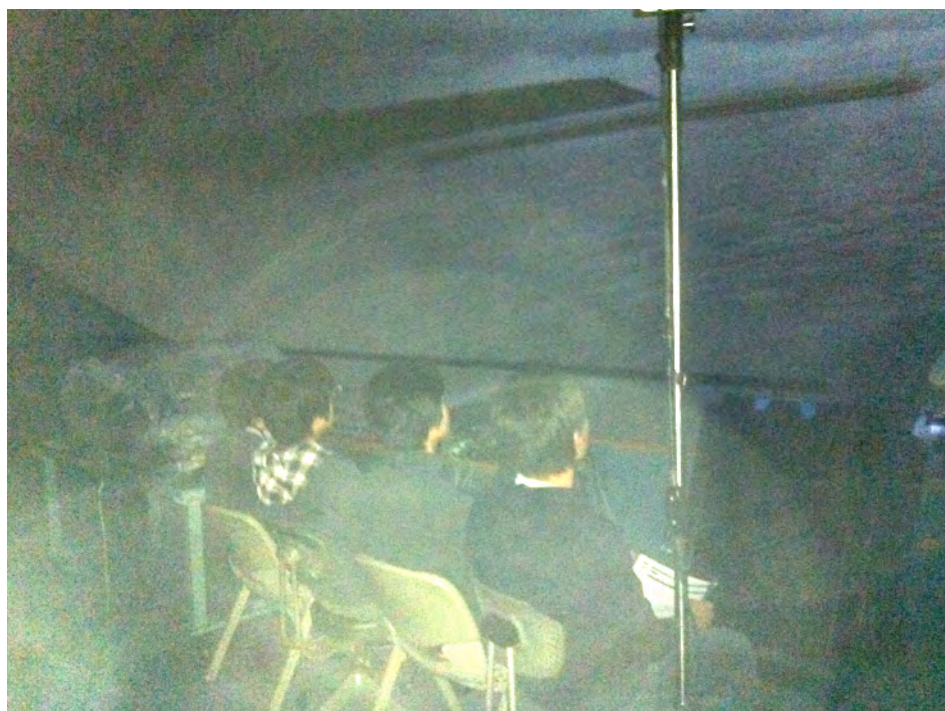


図 A-5：大型ドームでの水平感評価実験の様子②

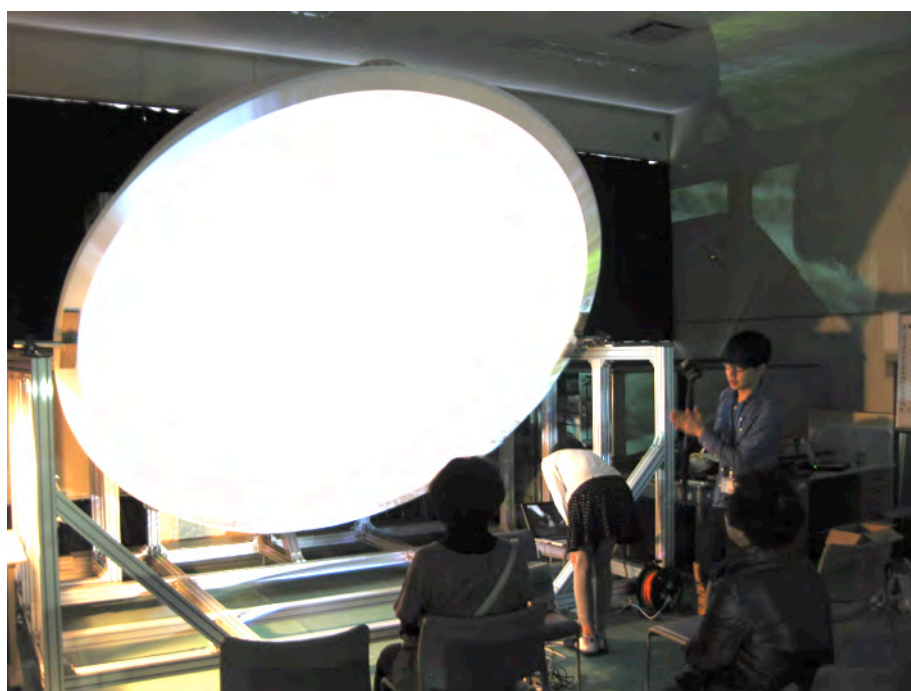


図 A-6：埼玉県総合教育センターでの投影実験の様子