

文化遺産コンテンツの高臨場感表現と 人間工学的評価に関する研究

Presence Representation and
the Ergonomics Evaluation of Virtual Heritages

2014 年 2 月

尹 夏英

文化遺産コンテンツの高臨場感表現と 人間工学的評価に関する研究

Presence Representation and
the Ergonomics Evaluation of Virtual Heritages

2014 年 2 月

早稲田大学大学院国際情報通信研究科
国際情報通信学専攻 マルチメディアとヒューマンファクタ研究Ⅱ

尹 夏英

目次

第1章 序論.....	1
1.1 文化遺産のデジタルアーカイブ.....	1
1.2 文化遺産コンテンツの立体映像表現.....	2
1.3 文化遺産コンテンツの高臨場感表現.....	3
1.4 研究の目的.....	4
1.5 本論文の構成.....	5
参考文献.....	8
第2章 文化遺産コンテンツの立体映像表現と没入型ディスプレイ.....	10
2.1 はじめに.....	10
2.2 立体映像表現.....	10
2.3 文化遺産コンテンツの立体映像表現の先行研究.....	14
2.4 高臨場感表現のためのディスプレイ要件.....	16
2.5 高臨場感表現の没入型ディスプレイ.....	17
2.6 文化遺産コンテンツの高臨場感表現と人間工学的評価.....	21
参考文献.....	22
第3章 多面型ディスプレイにおける文化遺産コンテンツの表現.....	24
3.1 本章の目的.....	24
3.2 多面型ディスプレイ.....	25
3.3 文化遺産コンテンツの対象.....	26
3.4 文化遺産コンテンツの VR 制作.....	27
3.4.1 評価コンテンツの設計.....	28
3.4.2 人物モデルの作成.....	29
3.5 VR コンテンツの評価.....	30
3.5.1 実験方法.....	30
3.5.2 結果と考察 ー好ましさの尺度ー.....	34
3.5.3 結果と考察 ーインタビューー.....	34

3.6 まとめ.....	42
参考文献.....	44
第4章 頭部搭載型ディスプレイにおける文化遺産コンテンツの表現.....	46
4.1 本章の目的.....	46
4.2 頭部搭載型ディスプレイ.....	47
4.3 文化遺産コンテンツの対象.....	47
4.3.1 近代化産業遺産.....	47
4.3.2 立体視アーカイブの対象.....	48
4.4 文化遺産の立体視アーカイブ制作.....	49
4.4.1 視差角の設計と制御.....	50
4.4.2 平面設計図の立体視表現.....	55
4.5 立体視アーカイブの評価.....	56
4.5.1 実験目的.....	56
4.5.2 評価用コンテンツの制作.....	56
4.5.3 評価方法.....	57
4.5.4 結果と考察.....	60
4.6 まとめ.....	67
参考文献.....	69
第5章 大画面ドーム型ディスプレイにおける文化遺産コンテンツの表現.....	70
5.1 本章の目的.....	70
5.2 大画面ドーム型ディスプレイ.....	70
5.3 大型立体映像コンテンツの評価.....	72
5.3.1 実験目的.....	72
5.3.2 実験環境.....	73
5.3.3 実験方法.....	75
5.3.4 結果と考察.....	81
5.4 まとめ.....	86
参考文献.....	88

第6章 考察.....	89
第7章 結論.....	92
謝辭.....	93
研究業績.....	94

第1章 序論

1. 1 文化遺産のデジタルアーカイブ

人類の文化的活動によって生み出された歴史的な建造物や美術品、工芸品などの文化遺産は、経年の劣化に伴う情報消失、もしくは自然災害による破損、戦争やテロといった人的破壊など、様々な危険にさらされている^{1) 2)}。これらを守るため、これまでも多くの人々の努力で保存と保護が行われて、後世に継承する活動が積極的に行われてきた。これらに加え、近年、文化遺産をデジタル化し、修復活動の研究に活用し、さらに広く公開して多くの人々と共有することを可能とする手法の開発も進んできている^{3) 4) 5)}。このようなデジタル技術を使った文化遺産の継承や公開手法をデジタルアーカイブと呼ぶ。文化遺産のデジタルアーカイブの例として、川口らは、四川省の複数の石窟の3次元計測を行い、得られたCGモデルを石窟ごとにスケールを単一化した後、形状の比較を行い美術史的な検証に利用している⁶⁾。また、大石らは、奈良東大寺の現存していない大仏を用い、3次元デジタルアーカイブの作成を試みている⁷⁾。現存の奈良の大仏は、度重なる戦火や天災によって、創建当初とは異なる形状となっているが、3次元CGモデルを用い、創建当初の大仏の形状の復元を行っている。また、角田らは、奈良飛鳥京を3次元CGで復元し、複合現実感技術(MR: Mixed Reality)を用いて、遺構を現在の風景に合成表示を行うシステムを開発している⁸⁾。復元CGには陰影表現によるリアリティの高い演出を行うことで、より高い現実感やおもしろさを高める効果があることが示されている。さらに、安藤らは、一般公開を対象としてコパン遺跡をCGモデルで再現し、VR(Virtual Reality)コンテンツを制作し、シアター型とホーム型の両環境を並列に使用できる学習システムを構築し、学習支援効果について検証を行っている⁹⁾。このように、デジタルアーカイブの技術を用いることで、文化遺産を保存・保護して後世に継承することができる。また、デジタルアーカイブされたデータをコンテンツ化して現代に広く共有、公開するのが可能となった。さらに、教育や観光などの多様な分野への文化遺産コンテンツの活用が期待される。

本研究では、文化遺産コンテンツは、アーカイブ(記録、保存という資料価値)としての機能に加えて、実物感(本物らしさ)や臨場感(そこにいる感じ)のある表現、さらには文化遺産が持つ文化や歴史の理解を支援するものであることが重要と考えて、研究を進めた。

1. 2 文化遺産コンテンツの立体映像表現

本研究は文化遺産の中でも、遺跡や歴史的建造物のような 3 次元建造物を対象として、その文化遺産コンテンツについて研究を行った。

文化遺産の 3 次元建造物の視覚情報に関わるデジタルアーカイブは、大別して、3 次元スキャナやモーショキャプチャ、コンピュータグラフィックス(CG)を用いて、3 次元座標上に記録する方法と、2 眼式立体映像(以下、立体映像)やホログラフィなどを用いて、立体情報を記録する方法とに分類される。3 次元座標上に記録する方法ではレーザースキャナを用いた計測精度の向上や利活用を目的とした様々な検討が行われている。先行事例としては、スタンフォード大学のデジタル・ミケランジェロ・プロジェクトが有名で、対象物の 3 次元計測から、対象物の 3 次元データの閲覧に関する研究が行われている^{10) 11)}。一方の、立体映像による方法の特徴として、デジタルビデオテープなどのメディアに記録するため、基本的にカメラのレンズを通して撮像される被写体を全て記録することが挙げられる。特に、3 次元建造物などのように大きい対象物の記録や、多人数の動作の記録、風景などの空間の記録などに適していると言える。

今までに、3 次元計測や立体映像記録によって、3 次元建造物のデジタル化は着実に進み、データは蓄積されている^{12) 13) 14)}。蓄積されたデータは、保存するのみではなく、コンテンツ化して高臨場感ディスプレイで呈示する試みが行われている。

文化遺産の 3 次元建造物コンテンツの公開手法としては、図録などの印刷物や web による閲覧、画像上映などさまざまなタイプがある。さらに、近年は公開を効果的に促進する表現手法としての立体映像技術が挙げられる。これは、実物に近い空間の表現を可能とし、より多くの情報を呈示できる。そして、3 次元建造物の正しい形状情報を伝える点で、立体映像は 3 次元建造物の表現として適していると考えられる。

河合らの研究は、世界遺産である奈良薬師寺の薬師三尊像¹⁵⁾や、スペインの修道院¹⁶⁾の立体映像コンテンツを制作し、その造形や建築様式などを空間として表現するための検討を行っている。さらに、これらのもつ文化的価値の表現として、現地で録音されたバイノーラル 3D サウンドや、薬師三尊像のコンテンツではお堂で炊かれるお香の香りを同時に呈示して臨場感を向上させる表現手法として提案した。

筆者らも、破損してしまった 3 次元建造物をデジタルアーカイブする取り組みを行っている。2003 年の地震で崩壊してしまった、ユネスコの世界危機遺産であるイランの

バム遺跡を対象として、3次元CGを用いて実寸大で再現・復元を試みている。また、バムの3次元建造物内をウォークスルー可能なVRコンテンツを試作し、通常の立体ディスプレイを用いて呈示を行った¹⁷⁾。

しかし、通常の立体ディスプレイは、視野角が人間の視野に比べて小さく、コンテンツへの集中が難しく、没入感が十分でないという課題がある。また、空間をウォークスルーしても空間にいるような表現が難しく、今回の3次元建造物の場合では、その内部の構造の表現や理解が難しい。

本研究で対象とした没入型ディスプレイでは、コンテンツを広視野で表示することが可能で、没入感を向上させる表示が期待できる。さらに、ヒトの視野を覆うことで、空間にいるような感覚で体感、体験が可能で、文化遺産の3次元建造物の高臨場感表現ディスプレイとして期待される。

1. 3 文化遺産コンテンツの高臨場感表現

文化遺産の中でも、遺跡や歴史的建造物のような3次元建造物の文化遺産コンテンツでは、実物に近い表示として立体映像表現が用いられるが、文化遺産アーカイブ公開の観点では、これだけでは十分とは言えないだろう。先に述べたように、3次元構造の呈示というアーカイブとしての要件に加えて、その文化遺産を、あたかもその場にいるような感覚で体感、体験できるための臨場感の高い表現と呈示が期待される。

このような高臨場感表現が可能なディスプレイとして、没入型ディスプレイが期待されている。没入型ディスプレイとは、鑑賞者の視野を広く覆う立体視ディスプレイの総称であり、本研究でも用いた多面型ディスプレイ、頭部搭載型ディスプレイ、大画面ドーム型ディスプレイなどが代表的なディスプレイである。没入型ディスプレイの特徴として、視野を覆うことから映像コンテンツへの集中がしやすいことと、ヒトのもつ視野の機能を有効に利用した映像表現が可能なが挙げられる。

さらに、3次元建造物の大きさや形状を正確に表示するだけではなく、文化遺産の雰囲気表現する手法の取り組みが行われるようになってきている。例えば、建築外部の細かな形や色を表現するのみならず、普段は入れない内部の構造まで表現した制作手法の試みがある¹⁸⁾。このような制作手法や没入型ディスプレイ環境を用いた3次元建造物コンテンツの高臨場感表現が期待されている。

没入型ディスプレイに代表される高臨場感ディスプレイを用いて、さらに、文化遺産の3次元構造や内部構造を表現するコンテンツを呈示することで、一般的なコンテンツならば高臨場感呈示は可能となるが、文化遺産コンテンツを対象とする場合は十分とは言えない。文化遺産コンテンツの高臨場感表現では、先に述べたように、文化遺産のもつ歴史的、文化的な側面を理解することを支援する工夫が必要である。

例えば、エジプトのピラミッド遺跡の3次元アーカイブデータに基づいて立体映像コンテンツを作成・呈示することで遺跡の大きさ、形状などが理解できる（アーカイブとしての機能）。これを没入型ディスプレイで実寸大に再生して、遺跡内を動き回れるようにすれば、実際にその場に行って体験している感じが表現できるだろう（臨場感のある表現）。しかしこれだけではピラミッドという建物を理解できるだけであり、ピラミッドが建造された時代、ピラミッドの機能などの歴史的、文化的側面を理解することはできない。このためには、3次元建造物コンテンツの新しい表現手法としての歴史的、文化的理解を支援するコンテンツの工夫・表現が必要と考えられる。そして、3次元建造物の再現・復元だけではなく、歴史的、文化的理解の表現ができれば、より高い臨場感を得られると考える。

そこで本研究では、文化遺産の3次元建造物を用いて高臨場感表現の実現を目的に、歴史的、文化的理解の表現のアプローチを試みた。今後、これらの表現が可能であれば、文化遺産の3次元建造物の体験や鑑賞において、より高い臨場感が得られると予想される。

1. 4 研究の目的

本研究では、文化遺産の3次元建造物の没入型ディスプレイでの公開用コンテンツを対象として、「高臨場感表現」と「人間工学的評価」の観点からの検討を行ない、没入型ディスプレイ環境での効率的かつ効果的な文化遺産コンテンツの表現に関する知見を得ることを目的とした。

具体的には、次の3つのコンテンツ制作と人間工学的評価を実施して、没入型ディスプレイでの表現が文化遺産コンテンツの臨場感表現に有効であるかを調べた。

- (1) 多面型ディスプレイを用いて、遺跡の実寸大のコンテンツを制作・表示して、文化遺産コンテンツのスケール感や雰囲気表現について検討

(2) 頭部搭載型ディスプレイを用いて、近代の建造物の立体視コンテンツを制作・表示して、通常のモニター型立体ディスプレイとの比較から高臨場感表現を検討

(3) 大画面ドーム型ディスプレイを用いて、複数の文化遺産建造物を紹介する立体映像作品を制作して、多人数向けに呈示した際の臨場感の検討

さらに、文化遺産の歴史・文化的な側面の理解を支援するコンテンツ表現として、次の試みを実施して、その有効性と課題を検討した。

(1) 遺跡コンテンツに、時代や文化を表現するための人物モデルを配置する試み

(2) 近代建造物の実際の平面設計図を 2D/3D 変換にて立体映像化して、建造物の構造や意匠の理解支援の試み

本研究では、文化遺産コンテンツの人間工学的評価については、文化遺産の 3 次元建造物の高臨場感表現について、主に主観評価（印象評定）による人間の感性的評価を行った。本研究の一部（3 章）では、さらに知覚、認知、心理面という多面的な検討と評価グリッド法を用いた印象評価の構造分析を実施して、これらの手法の有効性を示すことも目的とした。

1. 5 本論文の構成

本論文の構成は次に示す通りである（図 1.1）。

第1章 序論

本研究の背景として、文化遺産のアーカイブの必要性、3 次元建造物を対象とした場合の立体映像コンテンツの有用性と課題、高臨場感表現の必要性を説明し、本研究の目的を述べた。

第2章 文化遺産コンテンツの立体映像表現と没入型ディスプレイ

文化遺産コンテンツの制作に必要な立体映像について、その仕組みと特性を説明し、立体映像による文化遺産コンテンツの先行研究事例とその課題を述べた。また、本研究で用いる没入型ディスプレイに関連して、高臨場感の表現のための視覚要件とヒトの視野の特性について説明し、没入型ディスプレイの特徴を述べ、文化遺産コンテンツへの応用可能性を論じ、本研究の位置づけを行った。

第 3 章 多面型ディスプレイにおける文化遺産コンテンツの表現

文化遺産コンテンツの高臨場感表現のための没入型ディスプレイとして、実寸表示が可能な多面型ディスプレイの **CAVE** を用いた。また文化遺産として、ユネスコ世界遺産に登録され、かつ危機遺産にも登録されているイラン・バム遺跡を対象として、その文化遺産コンテンツを制作した。特に、文化遺産のもつ歴史や文化的側面を理解することを意図した、その当時の雰囲気再現するアプローチとして人物を配置して、3次元建造物の効果的な立体視表現や有効性に関して検討を行った。

第 4 章 頭部搭載型ディスプレイにおける文化遺産コンテンツの表現

文化遺産コンテンツの高臨場感表現のための没入型ディスプレイとして、頭部搭載型ディスプレイの **HMD** を用いた。また文化遺産として、日本の近代化産業遺産であり、昭和 5 年に竣工した工場ファサードを対象として、その文化遺産コンテンツを制作した。本章の目的は、文化遺産立体視アーカイブの構築を行い、建築構造やスケール呈示のアプローチとして設計平面設計図を立体化し、その有効性や違和感について明らかにすることである。そして、**HMD** を用いた文化遺産コンテンツの効果的な表示手法について人間工学的評価を通して検討を行った。

第 5 章 大画面ドーム型ディスプレイにおける文化遺産コンテンツの表現

文化遺産コンテンツの多人数呈示を対象とした、文化遺産コンテンツの印象と視環境について検討を行った。本章の研究では、文化遺産コンテンツの高臨場感表現のための没入型ディスプレイとして、多人数鑑賞が可能な大画面ドーム型ディスプレイの **DOVE** を用いた。2D、3D を交えた 4 種類のコンテンツを鑑賞した際の印象について 300 人規模の評価を行った。

第 6 章 考察

各章における実験で得られた結果から考察を行い、今後の課題について述べた。

第 7 章 結論

本研究全体の総括を行った。

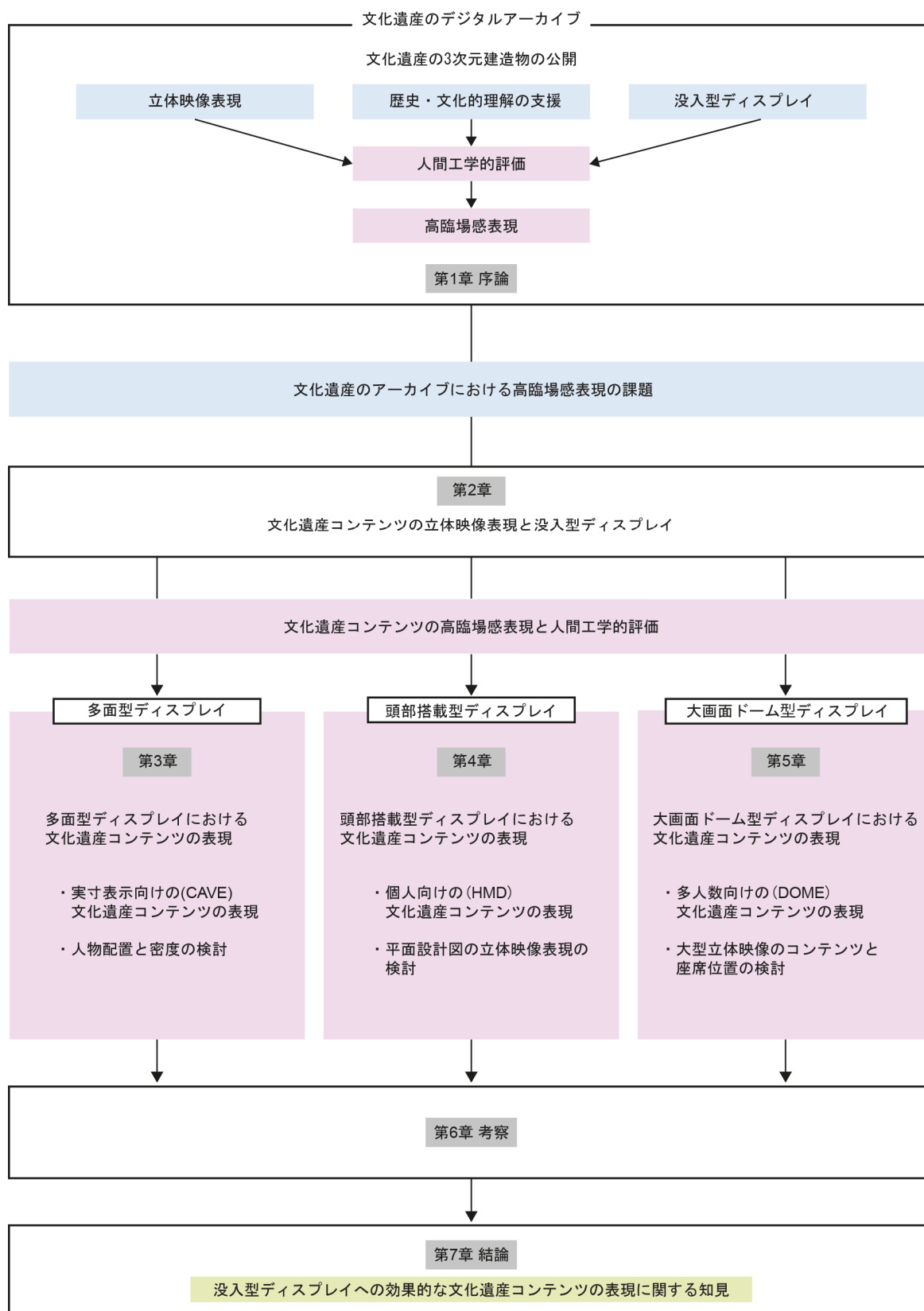


図 1.1 本論文の構成

参考文献

- 1) 笠羽晴夫：“デジタルアーカイブ基点・手法・課題”，水曜社（2010）
- 2) 笠羽晴夫：“デジタルアーカイブの構築と運用”，水曜社（2004）
- 3) 中山香一郎，山崎千代の：“文化材の計測データ取得と公開”，映像情報メディア学会誌，64(6)，pp.770-773（2010）
- 4) 池内克史，高松淳，岡本泰英，鎌倉真音：“大型有形文化財のモデル化とその利活用”，映像学誌 61(11)，pp.17-24（2007）
- 5) 中嶋正之：“22 世紀へ残せ，滅び行く映像・文化遺産”，映像情報メディア学会誌，55(1)，pp.2-4（2001）
- 6) Mami Kawaguchi, Hiroyuki Morikawa, Takashi Kawai, Tamami Hamada, Romi Hida : "3D Scanning and Use of Digital Data in Study of Grottos in Sichuan, China", Proceedings of the 10th International Conference on VIRTUAL SYSTEMS and MULTIMEDIA, pp. 179-187（2004）
- 7) 大石岳史，増田智仁，倉爪亮，池内克史：“創建期奈良大仏及び大仏殿のデジタル復元”，日本バーチャルリアリティ学会論文誌，10(3)，pp.429-436（2005）
- 8) 角田哲也，大石岳史，池内克史：“高速陰影表現手法を用いた飛鳥京 MR コンテンツの開発とその評価”，映像情報メディア学会誌，62(9)，pp.1466-1473（2008）
- 9) 安藤真，吉田和弘，谷川智洋，王燕康，山下淳，葛岡英明，廣瀬通孝：“スケーラブル VR システムを用いた教育用コンテンツの試作マヤ文明コパン遺跡における歴史学習”，日本バーチャルリアリティ学会誌，8(1)，pp. 65-74（2003）
- 10) The Digital Michelangelo Project : <http://graphics.stanford.edu/projects/mich/>（2013）
- 11) Marc Levoy, Kari Pulli, Brian Curless, Szymon Rusinkiewicz, David Koller, Lucas Pereira, Matt Ginzton, Sean Anderson, James Davis, Jeremy Ginsberg, Jonathan Shade, Duane Fulk : “The Digital Michelangelo Project”, 3D Scanning of Large Statues, Proc. Siggraph 2000, pp.131-144（2000）
- 12) 小沢一雅：“考古学的ビジュアルライゼーション”，情報処理学会誌，43(10)，pp.1046-1069，（2002）
- 13) 千原國宏，金谷一朗：“情報考古学：遺跡・遺物のデジタルアーカイブ”，日本バーチャルリアリティ学会誌，8(1)，pp. 6-9（2003）

- 14) 凸版印刷株式会社 VR 等文化事業: <http://www.toppan-vr.jp/bunka/> (2013)
- 15) Takashi Kawai, Hidenobu Takao, Tetsuri Inoue, Hiroyuki Miyamoto, Kageyu Noro: “Virtual museum of Japanese-Buddhist temple features for intercultural communication”, Proc. of SPIE 3295, pp.144-147 (1998)
- 16) Takashi Kawai, Takashi Shibata, Takayoshi Mochizuki, Kageyu Noro: “Production of stereoscopic 3-Dmovies of a Spanish monastery for a digital archive”, Proc. of SPIE 3957, pp.284-287 (2000)
- 17) M. R. Matini, E. Andaroodi, H.Y. Yoon, N. Abe, A. Kitamoto, T. Kawai, K. Ono, "Virtual 3DCG of the Citadel of Bam", Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology 2009 Demo paper, CD-ROM (2009)
- 18) 凸版印刷株式会社ニュースリリース :
<http://www.toppan.co.jp/news/2007/08/newsrelease606.html> (2013)

第2章 文化遺産コンテンツの立体映像表現と没入型ディスプレイ

2. 1 はじめに

文化遺産の3次元建造物を保存・保護するデジタルアーカイブについて、多くの先行研究がなされ、多様な文化遺産コンテンツが作成されている。その中で実物に近い体験を可能とし、より多くの情報を呈示できる可能性がある映像技術として、立体映像技術が挙げられる。また、立体化された文化遺産コンテンツの表現として、高臨場感の呈示が可能な没入型ディスプレイが多く使われている。

そこで本章では、立体映像による文化遺産コンテンツの制作事例について述べる。さらに立体映像については、2D映像とは異なる課題が知られているため、その原理について解説する。また、高臨場感観点から没入型ディスプレイを説明し、文化遺産の3次元建造物の高臨場感表現の課題について述べる。

2. 2 立体映像表現

文化遺産の3次元建造物を立体映像で呈示するためには、立体映像の原理やその表現方法、課題点について明らかにしておく必要がある。

1) 立体映像の原理

立体映像は、その呈示原理によりいくつかの方式に分類されるが、立体的に表示する基本原理において、人間の立体知覚の働きを利用していることが多い。人間が眼から得る情報は3次元画像であり、立体知覚の働きにより、物体を立体的に見ている。また、立体知覚の働きは、表2.1のように、単眼情報による作用と両眼情報による作用とに分けることができる¹⁾。

単眼による作用とは、片眼による立体情報の取得である。水晶体によるピント調節では、視対象を網膜上に鮮明に結像するために焦点調節機能を働かせ、奥行き情報の判断を行っている。その対象物体までの距離と眼球結像系の特性に応じて、その前後の物体はボケ像として知覚され、対象物体からの相対位置が識別できる²⁾。ピント調節による距離知覚効果は、対象物体までの距離が2~3mまでは特に有効に働く。その他、遠近法や陰影、物の重なりなどの経験的な知識も重要な要因となっている。

表 2.1 立体知覚の要因

	単眼立体情報	両眼立体情報
網膜像による手がかり	隠蔽 相対的サイズ きめの勾配 視野内の高さ 空気透視 線透視 運動視差 陰影	両眼視差
筋肉制御系の手がかり	調節	輻湊

一方、両眼による作用とは、左右眼による立体情報の取得であり、輻湊と両眼視差がある。輻湊は、物体を注視するときに生じる、左右眼の内・外向きの眼球運動であり、物体までの距離に応じて変化する（図 2.1）。また、その変化量によって、物体間の相対的な距離も判断される。輻湊による距離知覚効果は、対象物体までの距離が約 4m 以内であり、ピント調節同様、近距離における立体知覚の重要な要素である。

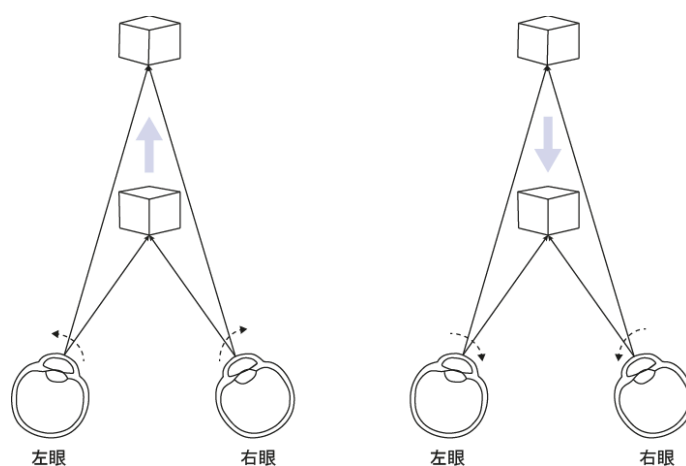


図 2.1 輻湊

両眼視差は、視対象の前後にある物体が、左右眼の網膜上の異なった位置に結像されることにより生じる視差であり、対象物体からの前後距離差でずれ量とずれ方向が変化する(図 2.2)。両眼視差による検出機構は非常に精度が高く、視角約 10 秒(秒は 1/3600 度)の僅かなずれ量でも検出する³⁾。

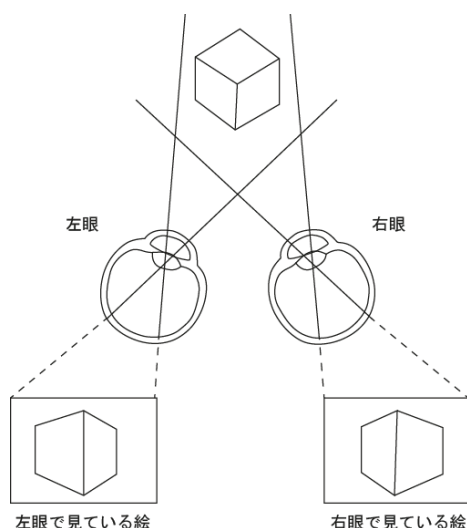


図 2.2 両眼視差

2) 立体映像ディスプレイの呈示

立体映像を呈示する立体ディスプレイは、ハードウェアの構成から、複数の視差映像を表示する視差情報方式、3次元座標空間を表示する奥行き情報方式、そして、ホログラフィに代表されるような波面情報方式に分類される⁴⁾。立体ディスプレイの種類は多種多様であるが、主に、立体観察用メガネの有無により、表 2.2 のように分類される。メガネ方式では、左右眼に対応した映像を、観察メガネを用いて分離する。HMD (Head Mounted Display) 方式とは、ゴーグルやヘルメットを頭部に搭載するタイプの表示方式であり、左右の眼前に別々の光学系とディスプレイを配置することで立体映像の表示を可能とする。アナグリフ方式とは、赤とシアンといったように、補色関係にある2色を用いて左右の映像を分離する方式である⁵⁾。簡易な方式であり、写真や印刷物において用いられることが多い。プルフリッヒ方式とは、輝度によって知覚反応時間に差があることを利用した表示方式であり、濃度差のあるメガネを用いて観察することで、左右に移動する被写体に立体感を生じさせる⁶⁾。偏光方式とは、偏光フィルタを用いて左右

の映像を分離する方式のパッシブ型があり、直線偏光フィルタと円偏光フィルタがある。通常、直線偏光フィルタが用いられることが多い。フルカラーの映像を多人数に呈示できるという特徴がある。シャッタメガネ方式とは、時分割立体映像において、左右の映像を観察するために、液晶シャッタメガネを用いるアクティブ型の方式である。これは、右目用の画像と左目用の画像を高速に切り替えて表示する方式である。

2013 年現在、家庭用に普及している立体テレビのほとんどは、アクティブメガネ型の立体ディスプレイであり、映画館ではアクティブメガネ型やパッシブメガネ型の立体映写システムが導入されている。

表 2.2 立体映像の呈示方式

視差情報を用いた 立体映像	メガネ方式	HMD 方式
		アナグリフ方式
		プルフリッヒ方式
		偏光方式 (パッシブ型)
		シャッタメガネ方式 (アクティブ型)
	メガネなし方式	パララックスバリア方式
		レンチキュラレンズ方式
		インテグラルフォトグラフィ方式

メガネなし方式では、左右の映像の呈示に観察メガネを必要とせず、裸眼による立体映像観察が可能である。パララックスバリア方式とは、等間隔に並んだ等しい幅の縦スリットにより、左右の映像を分離する方式である。観察者はある特定の場所から観察することで、立体観察が可能となる。右眼に対しては左の映像を、左眼に対しては右の映像をそれぞれ遮蔽する働きをするため、パララックスバリアと呼ばれる。レンチキュラ方式とは、半円筒型のレンズが連続的に多数並んだ、レンチキュラレンズを用いて、左右の映像を分離する方式である。パララックスバリアのように光を遮らないため、明るい立体映像を表示することができる。インテグラルフォトグラフィ方式とは、水平及び

垂直方向に多数並んだ凸レンズアレイを用いることで、水平方向だけでなく垂直方向の視差を呈示することも可能な表示方式である。観察者の位置によらず、被写体の空間像を再生するため、観察者の位置が変化しても、正しい立体像を見ることができる⁷⁾⁸⁾。

2. 3 文化遺産コンテンツの立体視表現の先行研究

デジタルアーカイブの分類⁹⁾を、立体物のアーカイブという観点から考えると、まず、絵画や写真といったような平面形状を高精細に記録するというアプローチと、彫刻物や陶器などといったような立体形状を3次元的に記録するというアプローチに大別できる。さらに、後者においては、3次元スキャナやモーションキャプチャ、コンピュータグラフィックス(CG)を用いて、3次元座標上に記録する方法と、立体映像を用いて、立体情報を記録する方法とに分類される。立体映像による方法の利点としては、デジタルビデオテープなどのメディアに記録するため、基本的にカメラのレンズを通して撮像される被写体を全て記録でき、かつ、その記録や再生が容易であることがあげられる。

立体映像による文化遺産コンテンツの先行研究として、河合らの薬師如来の映像は、奈良県薬師寺を対象とした立体映像作品であり、境内や金堂内の仏像を仮想的に参拝するコンテンツである¹⁰⁾。また、スペインの修道院というコンテンツは、北スペインの修道院Santo Domingo de Silosを対象とした立体映像作品である¹¹⁾(図2.3)。



図2.3 左：薬師如来 右：スペインの修道院

上記の立体コンテンツは、建築物などのように大きい対象物の記録や、多人数の動作の記録、風景などの空間の記録などに適していると言える。

また、盛川らは、奈良平城宮遺跡を対象として、強化現実技術を活用した「フィール

ドミュージアム」の提案を行っている（図 2.4）¹²⁾。



図 2.4 ディスプレイを通して見える映像

これは、実際の風景と CG で復元された建築物とを、リアルタイムに立体映像で合成して呈示するシステムである¹³⁾⁻¹⁵⁾。

立体映像で呈示を行うことで、コンテンツへの興味が引かれるという評価、建造物の実際の大きさを感じられるといった評価など、立体映像を文化遺産コンテンツに適用することの有効性が示唆されている。

先行研究により、文化遺産コンテンツの立体映像表現の有効性が示されているが、呈示ディスプレイに関する事例は少ない。文化遺産の 3 次元建造物の高臨場感表現をするためには、立体映像だけではなく、広視野の表示も重要な要因と考える。近年、高臨場感ディスプレイと呼ばれる広視野の表示が可能な没入型ディスプレイが注目されている。これは、映像を広視野で覆うことで、空間に入ることができる表現が可能なディスプレイである。

文化遺産の 3 次元建造物を効果的に公開するため、空間の表現が可能な立体映像や、広視野の表示ができる没入型ディスプレイの呈示が必要と考えられる。

2. 4 高臨場感表現のためのディスプレイ要件

対象物の3次元表示が可能な立体映像は、今回の研究で対象にしている3次元建造物の文化遺産コンテンツの表現には適しているといえる。しかし、立体映像で表現できるのは、主に対象の立体構造であり、例えば、遺跡の大きさを感じさせる空間的な広がり、あるいは遺跡の内部にいるような臨場感の表現には十分とは言えない。

表2.3は、視覚工学分野の知見としての高臨場感を生み出す視覚要件をまとめたものである¹⁶⁾。2次元画像の高画質化はHDディスプレイで実現されているもので、今後4Kディスプレイ、8Kディスプレイとしてさらなる高画質化が実現されようとしている。立体映像化は2.2や2.3で述べたものである。表2.3に示された知見からは、高画質映像および立体映像に加えて、広視野映像が高臨場感に必要なことがわかる。映像の広視野化は特に映像の迫力や映像との融合など、映像への集中や没入感を高める上で重要な要件であることがわかる。

表 2.3 高臨場感を生み出す視覚要件 [畑田(1998)]

種類	要件	効果	関連する視覚特性
実在・自然感 (超高精細)	2次元画像の 高画質化	実物の忠実な 再現	視力 コントラスト弁別 色弁別など
立体感・操作性 (立体)	立体映像化	立体感, 空間操作性	奥行き知覚
融合・迫力感 (大画面)	広視野化	映像との融合, 迫力の増大	視野 情報受容野

広視野化は我々の視覚情報受容における視野の役割とも関係している。図2.5¹⁷⁾に我々の視野の分布と役割を示したが、視野全体で同じような役割をもっているのではなく、いくつかの役割をもった視野を使い分けることで、外界の情報を効果的かつ効率的に処理している。

通常のモニター型ディスプレイの多くは弁別視野内におさまる程度の大きさである。HDディスプレイでは水平方向30度が実現されているが、これでも有効視野の範囲であり、視野全体の一部でしかない。高臨場感表現の観点では、安定注視野はもちろん、

誘導視野や補助視野にも映像表示が可能なディスプレイが望まれる。

ディスプレイの広視野化のためには、一般的にはディスプレイを大型化することが必要であるが、誘導視野以上の広がりをもったディスプレイの実現は現実的には容易なことではない。そこで近年のディスプレイ技術を用いて、広視野を実現したディスプレイとして、没入型ディスプレイが開発されて、利用されるようになった。

本研究でも、広視野を実現する没入型ディスプレイとして、次のものを用いて研究を行った。

- ① 多面型ディスプレイ (3章)
- ② 頭部搭載型ディスプレイ (4章)
- ③ 大画面ドーム型ディスプレイ (5章)

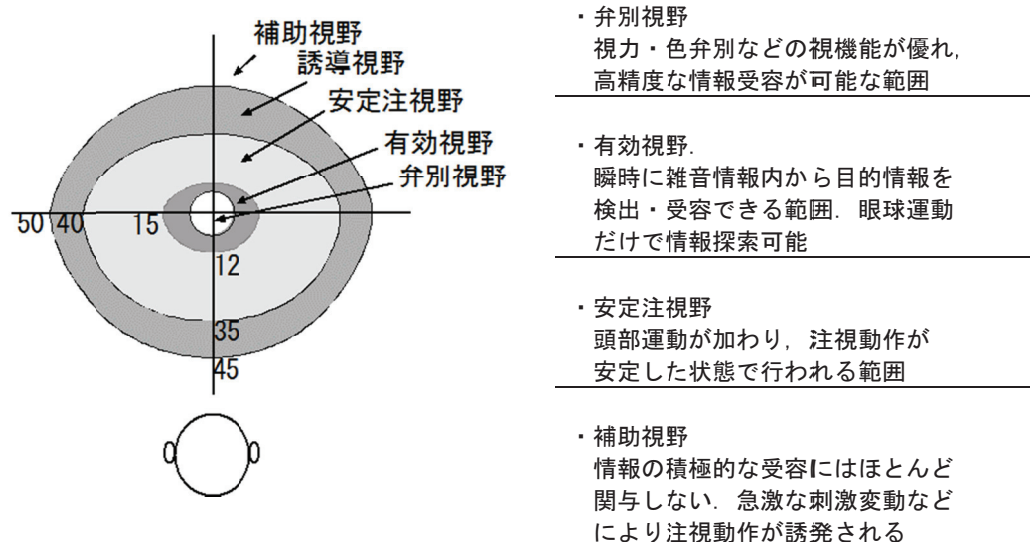


図 2.5 ヒトの視野の分布と役割

2. 5 高臨場感表現の没入型ディスプレイ

高臨場感表現とは、利用者が映像世界の中に入り込んでいるかのような感覚を得られることである。先に述べたように、人間の視野角は、水平約 200 度、垂直約 125 度（下 75 度、上 50 度）に達する¹⁸⁾。しかし、例えば HDTV（ハイビジョンテレビ）では水平 30 度、垂直 20 度程度の有効視野（眼球運動で情報探索が可能な視野範囲）への映

像提示に過ぎず、映画館の大型スクリーンでも水平に 60～90 度、垂直に 45 度～70 度程度で、注視点が迅速に安定して見える安定注視野の範囲程度の映像提示である¹⁹⁾。

近年、没入型プロジェクション技術（IPT、Immersive Projection Technology）によるディスプレイでは、有効視野のさらに周辺にある誘導視野や補助視野に映像を提示することが可能な技術である²⁰⁾。これは、高精細の立体視プロジェクタを複数台用いることで、没入感が高い広視野の仮想世界を呈示する技術である。

そして、高臨場感システムと呼ばれるものには、この IPT ディスプレイを含み、以下の 3 点の没入型ディスプレイが挙げられる。

1) 多面型ディスプレイ

大規模なスクリーンで利用者を取り囲むことによって、高度な没入感覚を生成することが可能になる。この種の技術が注目されるきっかけになったのは、CAVE（Cave Automatic Virtual Environment）（図2.6）と呼ばれるディスプレイの影響が大きい。



図 2.6 CAVE の外観（出典：神奈川工科大学）

CAVEに代表される多面型の没入型ディスプレイの特徴は、高精細の大画面スクリーンを用いて視点に追従したインタラクティブな立体視映像を提示することで、利用者が実寸感覚を伴った没入感の高い仮想世界を体験できる点である。近年使われている多面型の没入型ディスプレイは、スクリーン構成等によってCAVE型、Wall型等、幾つかの種類に分類される。1992年イリノイ大学で開発されたCAVEは正面、左右、床面の4面スクリーンの構成であったが、東京大学のCABINは天井を加えた5面、岐阜県のCOSMOSは更に背面スクリーンを加えた6面構成の装置である^{21)・23)}。これらの特徴は、ディスプレイが、利用者を取り囲むことで広視野の映像空間を容易に体験できることである。一方、多面型のスクリーンではスクリーン境界でスクリーン面の角度が急激に変化するため、輝度の変化等少なからず映像に不自然さが生じる問題がある。

2) 頭部搭載型ディスプレイ

頭部搭載型ディスプレイは、バーチャルリアリティの代表的なディスプレイ装置でありHMD（Head Mounted Display）と呼ばれる。HMDは、利用者の身体に装着して使用することで、没入感を表現するディスプレイである（図2.7）。



図2.7 ヘッド・マウント・ディスプレイ（eMagin, Z800）

HMDでは、一般に、光学系が左右眼用に別々に存在するので、立体映像表示に必要な、左右像の分離が容易に実現できるという特徴がある²⁴⁾。

経験や体験と情報の相互作用を引き出すために、HMDは常に視野内にディスプレイを置き、呈示される視覚情報を連続的に映し出すことを目的としている。この目的の実現のために、HMDは眼前にディスプレイが固定して配置されている。そのため、視線

を変更してもディスプレイの視覚情報を見失うことがない特徴をもつ。この特徴を実現するには、常に眼部の直前に保持するために、視野内のどこかにディスプレイ部分を配置し、さらにディスプレイ部を保持するための支持体を必要とする²⁵⁾。

3) 大画面ドーム型ディスプレイ

これまでに述べてきたディスプレイ装置は、平面スクリーンの立体視没入型ディスプレイであった。これに対して、曲面スクリーンを用いる方法もある。例えば、ソリッドレイ社のアーチスクリーンやPanoramTechnologies社の曲面スクリーンでは、プロジェクタを横方向に2台あるいは3台用いて円筒形の大画面スクリーンを構成している。また更に大規模なものとして、航空宇宙技術研究所で開発されたハーフドームや松下電工で開発されたドーム型スクリーン等があげられる²⁶⁾²⁷⁾。これらのディスプレイは上下方向にも曲率を持った球面形のスクリーンを使用し、2段に並べた6台のプロジェクタを用い、垂直方向に70～90度の視野角を実現している。

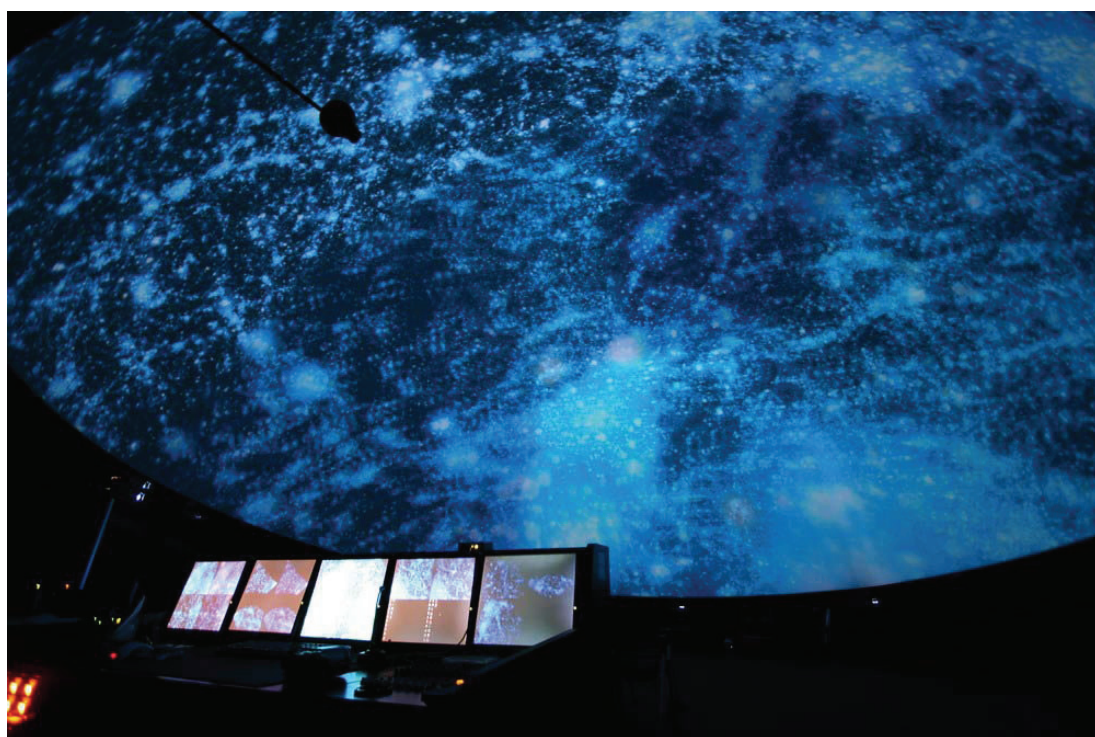


図 2.8 ドーム型ディスプレイ（出典：国立天文台）

ドーム型に代表される没入型ディスプレイの特徴は、1面に並べることで、高解像度の大画面を構成する(図 2.8)。また、CAVE のような方式と比較すると、スクリーンの繋ぎ目に極端な曲りが無いため、複数で体験する際にも、違和感の少ない立体映像呈示が可能である。一方、ドーム型ディスプレイで再生される立体映像は、鑑賞位置によって再生像に歪みを生じることが知られている²⁸⁾。通常の立体映像は、スクリーン面に対して真正面で最適な距離で鑑賞する場合に、制作者が意図した正しい再生像を結ぶように設計されている。その反面、プロジェクタに対するドームシアターの中央部分と周辺部分では、プロジェクタからの距離が異なることや、光の入射角が異なることから、周辺部で映像がぼやけ、暗くなるという問題が生じる。そのため、立体映像を見る位置、つまり座席位置によって見え方が大きく異なる可能性がある。これに対して、曲面ディスプレイで呈示された立体映像コンテンツを鑑賞した際の座席位置に関する影響についての報告は少ない。

2. 6 文化遺産コンテンツの高臨場感表現と人間工学評価

文化遺産の3次元建造物の立体映像表現と没入型ディスプレイにより、高臨場感を向上させる効果が期待できることが、先行研究より示されている。

本研究では、立体映像表現や臨場感の向上、さらに文化的理解の支援という目的のもと、文化遺産の3次元建造物の高臨場感表現を試みた。

まず、文化遺産のアーカイブの観点からコンテンツを再現・復元し、文化的理解の表現のアプローチにより、歴史的な雰囲気再現を試みた。また、没入型ディスプレイを用いて、臨場感を向上させるという着想を得た。しかしながら、文化遺産の立体映像コンテンツを没入型ディスプレイで呈示する取り組みは、十分になされておらず、没入型ディスプレイで呈示されることで得られる効果と影響については、未だ明らかにされていない部分が多い。

また、立体映像表現と没入型ディスプレイだけではなく、今回は新たな表現手法として文化的理解を向上させるコンテンツ表現を試みた。そこで本研究では、立体映像表現や呈示環境、歴史的理解について、いくつかの課題が考えられた。それぞれの検証の具体的な取り組みについては次章以降に述べる。

参考文献

- 1) 河原哲夫：“奥行きの知覚”，眼科，Vol.40，pp.161-168 (1998)
- 2) 畑田豊彦：“奥行き知覚特性”，O plus E，No.71，pp.108-118 (1985)
- 3) Scott B. Stevenson, Lawrence K. Cormack, Clifton M. Schor, Christopher W. Tyler: “Disparity tuning in mechanisms of human stereopsis”, Vision Research, Vol.32, No.9, pp. 1685-1694 (1992)
- 4) 谷千束責任編集：“高臨場感ディスプレイ”，共立出版 (2001)
- 5) 河合隆史，田中見和：“次世代メディアクリエイター入門 1 立体映像表現”，カットシステム (2003)
- 6) 原島博，元木紀雄，矢野澄男：“3D 映像表現の基礎”，オーム社 (2000)
- 7) 河合隆史，盛川浩志，太田啓路，阿部信明：3D 立体映像表現の基礎，オーム社 (2010)
- 8) 泉武博：“3 次元映像の基礎”，オーム社 (1995)
- 9) 中嶋正之：“22 世紀へ残せ，滅び行く映像・文化遺産”，映像情報メディア学会誌，55(1)，pp.2-4 (2001)
- 10) Takashi Kawai, Hidenobu Takao, Tetsuri Inoue, Hiroyuki Miyamoto, Kageyu Noro: “Virtual museum of Japanese-Buddhist temple features for intercultural communication”, Proc. of SPIE 3295, pp.144-147 (1998)
- 11) Takashi Kawai, Takashi Shibata, Takayoshi Mochizuki, Kageyu Noro: “Production of stereoscopic 3-Dmovies of a Spanish monastery for a digital archive”, Proc. of SPIE 3957, pp.284-287 (2000)
- 12) Hiroyuki Morikawa, Mami Kawaguchi, Takashi Kawai, Jun Ohya, “Development of a stereoscopic 3D display system to observe restored heritage”, Proc. of SPIE, 5291, Stereoscopic Displays and Virtual Reality Systems XI, pp.415-422 (2004)
- 13) 小黒久史：“PC による高リアリティ VR 文化財アーカイブへの応用”，電子情報通信学会技術研究報告，102(433)，EID2002 37-52，pp. 61-64 (2002)
- 14) Holger Schnadelbach, Borianna Koleva, Martin Fintham, Mike Fraser, Shahram Izadi, Paul Chandler, Malcolm Foster, Steve Benford, Chris Greenhalgh, Tom Rodden : “The Augurscope: A Mixed Reality Interface for Outdoors”, Proc. CHI2002, pp.1-8 (2002)

- 15) Ronald T. Azuma : “The Challenge of Making Augmented Reality Work Outdoors”, In
“Mixed Reality: Merging Real and Virtual Worlds”, Springer-Varlag, pp. 379-390 (1999)
- 16) 畑田豊彦: “高臨場感を生み出す視覚特性”, 映像情報メディア学会技術報告, 22(56), pp.7-11
(1998)
- 17) 畑田豊彦: “情報受容と視野特性の計測”, 日本人間工学会, 29, pp.86-88 (1993)
- 18) 増田千尋: “3次元ディスプレイ”, 産業図書 (1990)
- 19) 3次元画像用語事典, 新技術コミュニケーションズ (2000)
- 20) C. Cruz-Neira, D.J. Sandin, T.A. DeFanti: “Surround-Screen Projection-Based Virtual
Reality”, The Design and Implementation of the CAVE, Proc. of SIGGRAPH'93,
pp.135-142 (1993)
- 21) 廣瀬、小木、石綿、山田: “多面型全天周ディスプレイ (CABIN) の開発とその特性評価”,
電子情報通信学会論文誌 D-II、Vol.J81-D-II、No.5、pp.888-896 (1998)
- 22) 山田俊郎, 棚橋英樹, 小木哲朗, 廣瀬通孝: “完全没入型 6面ディスプレイ COSMOS の開
発と空間ナビゲーションにおける効果”, 日本バーチャル学会論文誌「プロジェクション型
没入ディスプレイ」特集号, 4(3), pp.531-538 (1999)
- 23) ソリッドレイ研究所: <http://www.solidray.co.jp/> (2013)
- 24) 谷口尚郷: “HMD 光学系の進展”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.3, No.2,
pp.115-118 (1998)
- 25) O.Cakmakci, and J. Rolland, “Head-Worn Displays: A Review”, Display Technology,
Journal of, 2, pp.199-216 (2006)
- 26) panoramtech 社: <http://www.panoramtech.com/> (2013)
- 27) 竹田, 川原, 金子: “大型ディスプレイによる重心動揺の影響”, Human Interface News and
Report, 11(2), pp.295-300 (1996)
- 28) 柴野伸之: “都市環境ヒューマンメディアにおけるドーム型 VR 体験システムの開発”, 日本
バーチャルリアリティ学会大会論文集, 3(2), pp.145-148 (1998)

第3章 多面型ディスプレイにおける文化遺産コンテンツの表現

3. 1 本章の目的

本章の研究では、文化遺産コンテンツの高臨場感表現のための没入型ディスプレイとして、実寸表示が可能な多面型ディスプレイの CAVE を用いた。また文化遺産として、ユネスコ世界遺産に登録され、かつ危機遺産にも登録されているイラン・バム遺跡を対象として、その文化遺産コンテンツを制作した。

本章の研究の目的は、CAVE ディスプレイでの文化遺産コンテンツが違和感なく表現可能な手法について実験的に検討することである。特に、文化遺産のもつ文化を理解することを意図した、その当時の雰囲気を再現するアプローチとして、人物を配置して文化遺産の3次元建造物の効果的な立体映像表現や有効性に関して検討を行う。

また、コンテンツの人間工学的評価の新しい試みとして、コンテンツに対する被験者の知覚、認知、心理面という多面的な検討および印象評価の構造分析を行い、これらの文化遺産コンテンツの人間工学的評価手法としての有効性を調べることも、本章の研究目的である。

具体的には、バム遺跡という3次元建造物に、その当時のヒトモデルを配置することで、仮想空間の移動時の現実感や臨場感の向上を図る。しかし、3次元建造物の空間を移動する時、配置した人物配置の密度に応じて、空間の認知に変化が生じると考えられる。空間に対する印象は認知心理学における活発な話題の一つであるが¹⁾³⁾、それに呼応して、VR 環境を用いた実スケールでの空間認知についても、近年多くの研究者によって取り組まれている⁴⁾⁵⁾。北島らは、空間移動時の周囲の物体の密度が移動者の距離、速度、時間、そして時空間の知覚全般に影響すると報告している⁶⁾。これは、空間を移動する際に、周囲物体の密度によって印象変化が生じることを示唆している。しかしながら、周囲物体の密度が移動者の物理的な行動に与える影響については理解が進んでいないものの仮想空間の与える印象がどのように変化するかの検討はなされていない。

そこで、本実験では、まず、文化遺産の3次元建造物の構築とその空間への人物配置を行う。次に人物配置が3次元建造物の好ましさに与える影響に関して検討を行い、同時に、人物配置の密度が3次元建造物に与える印象変化を調査する。最後に、人物配置や印象の関連性に着目し、3次元建造物の効果的表現手法を考察する。

3. 2 多面型ディスプレイ

多面型ディスプレイのひとつである CAVE は、ヒトの身体を大画面スクリーンで囲まうことで高臨場感の表現が可能なディスプレイである（図 3.1）⁷⁾。



図 3.1 多面型ディスプレイの CAVE（神奈川工科大学の所有）

また 3 次元 CG の実寸表示が可能であり、文化遺産の 3 次元建造物を実寸大で呈示できる。例えば、現存していない及び崩壊された遺跡の 3 次元建造物は実空間体験が不可能である。しかし CAVE を用いることで実空間と同様な実寸大の空間が体験できる。

3. 3 文化遺産コンテンツの対象

対象となる文化遺産の3次元建造物は、イラン・バム遺跡である。この歴史的な建築物は、「土の文化」と呼ばれるその風土からも推測できるように、多くがアドベと呼ばれる日干し煉瓦によって造られている。雨などのあまり降らないイランでは、日干し煉瓦で建造された遺跡は数多く残るが、日本の「木の文化」、ヨーロッパの「石の文化」などの建築に比べ、地震などの外力には脆弱な構造である⁸⁾。このようなことから、歴史・建築学的に貴重であったバム遺跡は、2003年12月26日に起きたイラン南東部地震でその景観の大部分を失うこととなった（図3.2）。



図 3.2 バム遺跡の全景（上：地震前，下：地震後）

（出典： <http://dsr.nii.ac.jp/Bam3DCG>）

地震でその大部分が崩壊してしまったバム遺跡は、2004年4月のユネスコ世界遺産委員会で、「Bam and its Cultural Landscape」として世界遺産への緊急登録が行われ、同時に危機遺産リストにも登録された。現在は、各国の援助を受け、遺跡の更なる崩壊を防ぐとともに、元の姿に復元することを目標とする修復作業が今日も行われている。

筆者らは、「イラン・バム遺跡の 3D 仮想復元共同プロジェクト」に参加し、3DCG を用いた再現・復元を行ってきた。このプロジェクトでは、3 次元データアーカイブ化及び 3 次元建造物の 3DCG モデル構築を行い、現地の修復活動への活用及び倒壊した遺跡の体験が可能な VR コンテンツを完成させた^{9)・11)}。

今回は、CAVE を用いて地震で崩壊されたバム遺跡を実寸で表示した。さらに、高臨場感表現を実現する目的として、ハードウェアやソフトウェアの性能向上ではなく、コンテンツと人間の認知特性の観点から 3 次元建造物の文化的理解の表現のアプローチを試みた。具体的には、3 次元建造物の内にその当時のヒトモデルを配置(以下、人物配置)することで、仮想空間の移動時の現実感や臨場感の向上を図る。

3. 4 文化遺産コンテンツの VR 制作

VR (Virtual Reality) の文化遺産コンテンツ(以下、バーチャル遺産)とは、文化的もしくは自然の貴重な遺産を VR システムを用いて仮想的に再現する技術を指す。これにより、通常ならば立ち入ることのできない遺跡空間を、あたかもそこにいるかのような臨場感で感じるができる。また、危機的状況下にある世界遺産、天災やテロ行為などで破壊された遺跡をデジタルアーカイブ化する遺跡保存も目的としている^{12)・13)}。

バーチャル遺産の制作で使用した 3DCG モデリングツールは、3ds max (Autodesk 社) である。モデリングに用いた建築平面設計図と写真は、国立情報学研究所(NII)と、Iranian Cultural Heritage and Tourism Organization (ICHTO) より提供された。さらに再現性を高めるために、現地の建築専門家が制作したワイヤフレームデータも併用した。

また、バーチャル遺産の建築質感の表現をするために、現地で撮影された写真を基に、解像度 1024×1024 ピクセルのテクスチャを制作した。外壁には粒子の粗い泥のテクスチャ、内壁には粒子の細かい泥のテクスチャ、屋根には藁の混じった粒子の粗い泥のテクスチャを適用して、凹凸はそれぞれバンプマッピングで表現した。

VR コンテンツの作成と再生には、OmegaSpace 3.0 (ソリッドレイ研究所製)を用いた。V-Ray1.5(Chaos Group 社)でライティングとテクスチャペーキングを行い陰影付けされた遺跡の CG モデルとアニメーションを VRML 形式で書き出した後に OmegaSpace に読み込みを行った。あらかじめ、バーチャル遺産の空間を実物大に表示出来るよう設定を行った。

バーチャル遺産の制作に使用した 3DCG モデルの総ポリゴン数は、399,655 ポリゴンであった。

3. 4. 1 評価用コンテンツの設計

完成した VR コンテンツを用い、文化的理解の表現として、人物配置の好ましさや密度に関する検討を行うために、バム遺跡のバザールを使用した (図 3.3)。



図 3.3 イラン・バム遺跡のバザールの風景

まず、バーチャル遺産の空間設定について、図 3.4 に示した鳥瞰図から説明する。出発点から到着点までの実際の直線距離は 120m、道幅は 30m である。この空間移動については、ジョイスティック等を用いたインタラクティブ操作ではなく、プレイバック形式による、固定的なアニメーションで与えた。

次に、バーチャル遺産を移動者が歩行する過程について説明する。カメラの視点は移動者の目線の高さに合わせ、その移動速度は人間の歩行速度に近い約 1.0m/s とした。

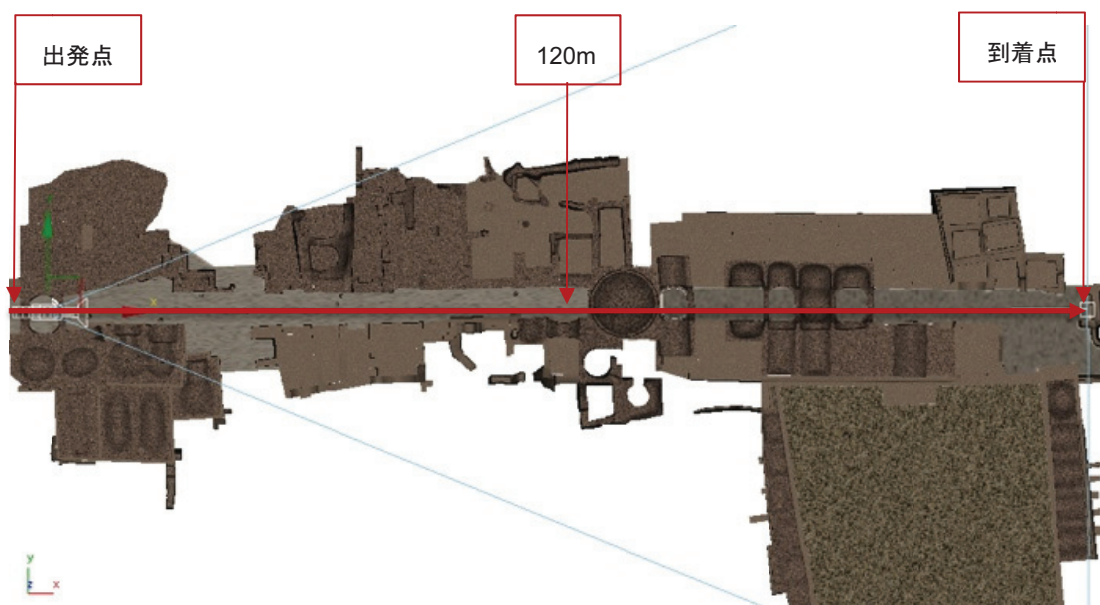


図 3.4 バーチャル遺産の空間風景と歩行経路

移動者は、CG で再現されたバーチャル遺産の入り口(出発点)に立った状態にいる。移動者はカメラの移動に従いバーチャル遺産の中へ進み、人物配置されている遺跡内を歩行し、到着点に進む。以上の流れで、出発点から人物配置がされている道を通り、到着点に至る。

3. 4. 2 人物モデルの作成

次に、バーチャル遺産内に配置した人物配置のモデルについて説明する(図 3.5)。人物配置のモデルはいずれも男性で、移動者(鑑賞者かつ被験者)の目線を考慮して、日本男性の平均身長¹⁴⁾に合わせて 165cm～172cm とした。人物配置に使用したモデルのポリゴン数は、32,087 ポリゴンであった。

バーチャル遺産の雰囲気を伝えるため、人物配置のモデルの衣装は中東のイメージが連想されるアラブの衣装とした。人物配置のモデルは、いずれも停止している。モデルのポーズには、「歩く」、「指差し」、「対話」など 3 バターンを各 2 種類、合計 6 種類を用意した。

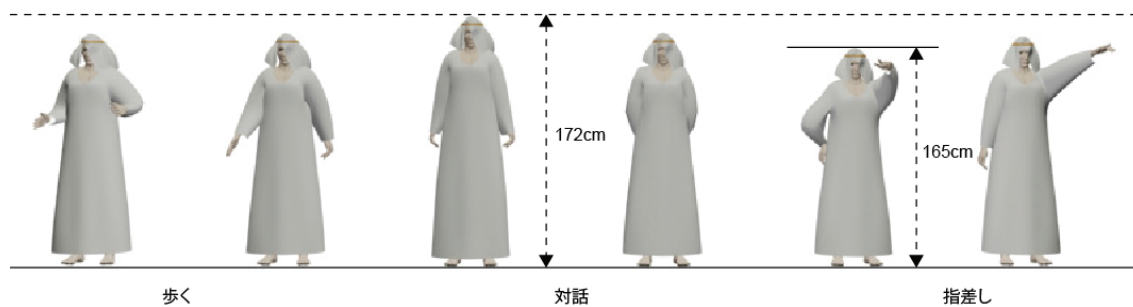


図 3.5 人物の配置モデル

3. 5 VR コンテンツの評価

3. 5. 1 実験方法

1) 実験装置

バーチャル遺産の呈示には、スクリーンの一辺が 2.5m の正面、床面、右面、左面で構成される CAVE を用いて実験を行った。

立体視の方式には、円偏光方式を採用した。画像の解像度はいずれのスクリーンについても 1050×1050 ピクセルとした。

2) 被験者

被験者は、正常な視機能を有する、男女 11 名で年齢は 20~26 歳である。実験は個別に実施した。実験の風景を示す(図 3.6)。



図 3.6 実験の風景

3) 実験刺激

実験刺激については、先行研究をもとに、人物配置の密度は4条件で人物なし、低密度、中密度、高密度の設定を行った¹⁵⁾。以下に4条件の実験刺激について説明する。まず、人物モデルなしの条件を標準刺激とし、遺跡のみを呈示した。低密度では15m間隔に1モデルを配置している(120mの回廊全体で全8モデル)、中密度では同間隔で2モデル(全16モデル)、高密度では8モデル(全64モデル)である。これらを2組ずつ分けて12回(4x3)呈示して、6回評価させている。

各条件のフレームレートの最小値と最大値は、人物なしでは57.2 Hz – 60.0 Hz、低密度では37.5 Hz – 53.4 Hz、中密度では42.7 Hz – 60.0 Hz、高密度では15.0 Hz – 30.0 Hzであった。また、アニメーションがスムーズに再生されていることを目視で確認し実験を行った。以下に人物配置の密度の設定を示す(図3.7)。

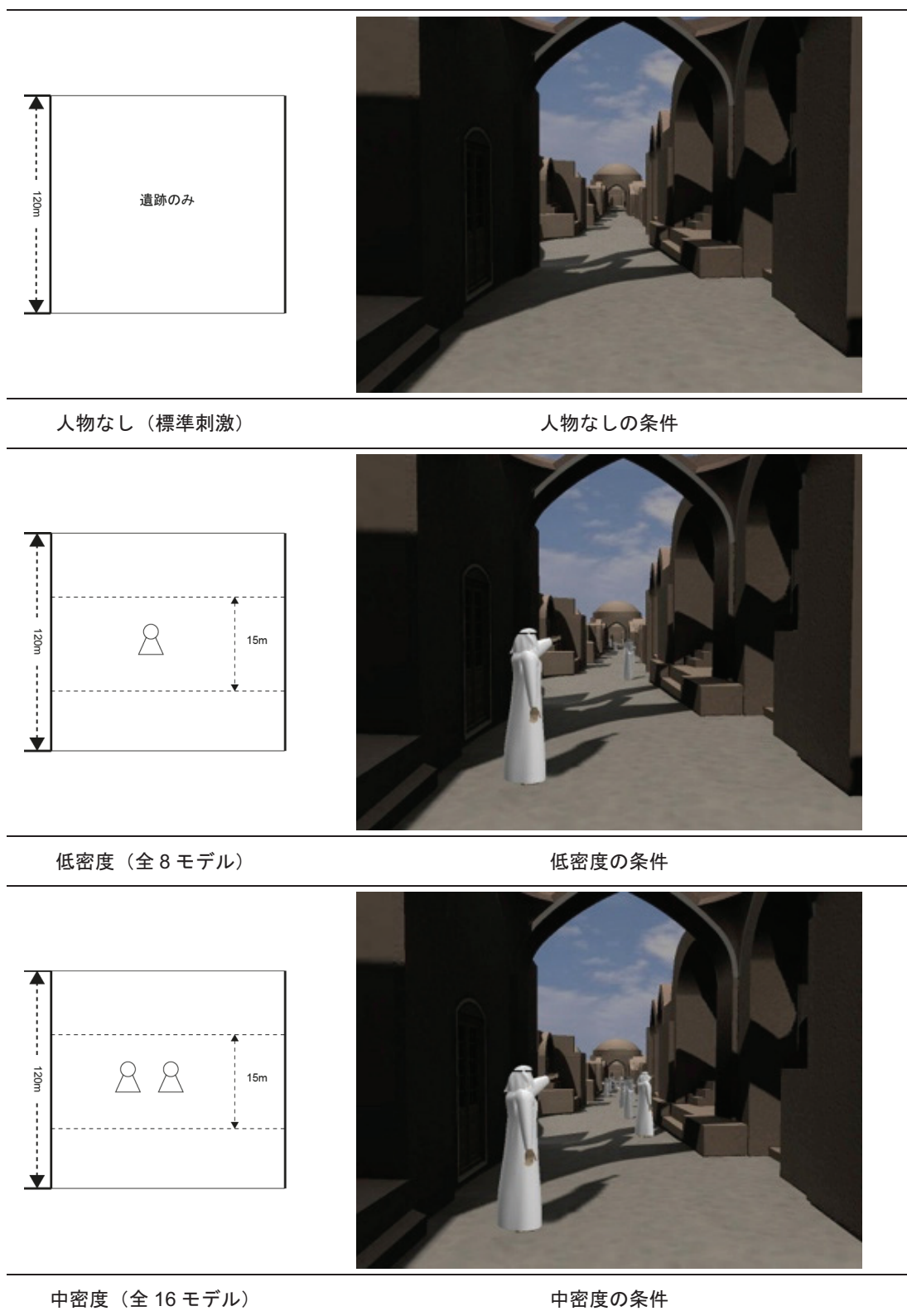
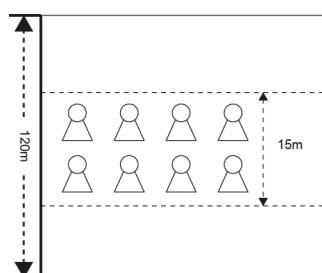


図 3.7 人物配置の密度



高密度（全 64 モデル）

高密度の条件

図 3.7 人物配置の密度（つづき）

4) 手続き

実験刺激について呈示条件間での好ましかった刺激を順に選んでもらった。その後、インタビューを行い、被験者に 2 種類の呈示条件を比較した際の印象を自由に発言させた(図 3.8)。

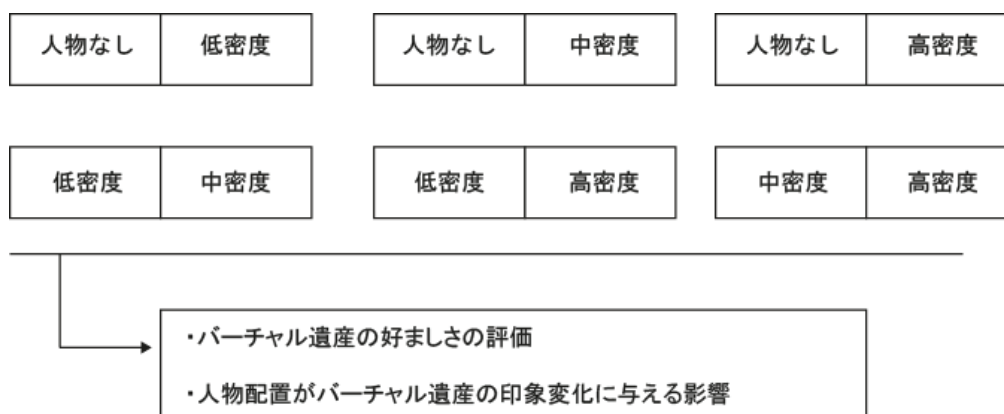


図 3.8 実験条件の比較

具体的には「〇〇より〇〇が好ましいと判断されましたが、その理由は何ですか？」もしくは「どのような点からそう判断されたかについて教えてください」といった質問を繰り返した。その後バーチャル遺産の印象について自由に気づいたことや感想を発話してもらい、実験者が発話記録を行った。

3. 5. 2 結果と考察 ―好ましさの尺度―

バーチャル遺産の呈示条件間での好ましさに関しては、サーストンの一対比較法を用いた¹⁶⁾。この結果、好ましさの尺度値は、中密度・低密度・人物なし・高密度の順序で好まれているという結果が得られた(図 3.9)。また、一対比較から得られた呈示条件の尺度値を用い、カイ二乗検定を行った。カイ二乗検定から、実験刺激においては、1%水準で有意差($p<.0002$)が見られた。

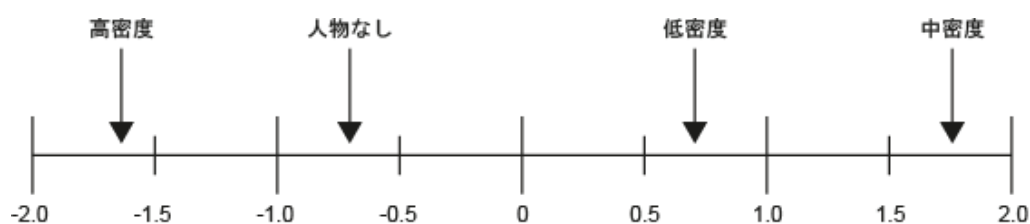


図 3.9 結果：一対比較の尺度値

以上のような実験結果から、中密度と低密度の尺度値が大きくなり、人物配置がバーチャル遺産の好ましさの効果があると考えられた。しかしながら、高密度の方が人物なしの条件より尺度値が小さくなり、人物配置の密度が一定量を超えると好ましさが低減することが確認された。このことから、中密度条件で尺度値が最も大きくなったことは、バーチャル遺産における人物配置の好ましさに関する有効性と、その際の適切な表示密度の存在を示唆している。

3. 5. 3 結果と考察 ―インタビュー―

続いて、インタビューの結果について解析、考察する。ここでは、一対比較の結果をもとにした。実験刺激での、ばらつきの原因をインタビュー結果と統合する。そこで、どのような要因がバーチャル遺産の好ましさに影響を与えるかを検討し、ばらつきの原因を明らかにした。

1) インタビューのテキスト化

一対比較の結果によって得られた条件間の尺度値の差がどのような原因によって行われたかを検討するため、呈示条件間で好ましいと判断された理由を抽出し(テキスト

化)、出現頻度や相関関係の分析を行った。その方法として、棟近らの認知モデルを用いた¹⁷⁾。これは、人間が外部からの刺激を受け最終的に起こす行動までの過程、刺激からの知覚、認知、記憶との照合と情緒的反応、行動と定義されている。そこで、筆者らは、インタビューで挙げられた項目を知覚・認知・印象の3つの階層に分けて抽出し、テキスト化した。まず、知覚的項目については、バーチャル遺産を呈示した際に得られる心理的項目を抽出した。次に、認知的項目に関しては、バーチャル遺産の評価に直接関わる項目について、呈示した際に得られる具体的項目を示した。最後に、印象的項目はバーチャル遺産に被験者が求める物理的項目を抽出した。

(1) 知覚的項目の抽出

知覚的項目については、バーチャル遺産を呈示した際に得られる心理的な意見を抽出した(図 3.10)。図 3.10 では、人物配置条件で低・中密度で多く挙げられた順で表示している。

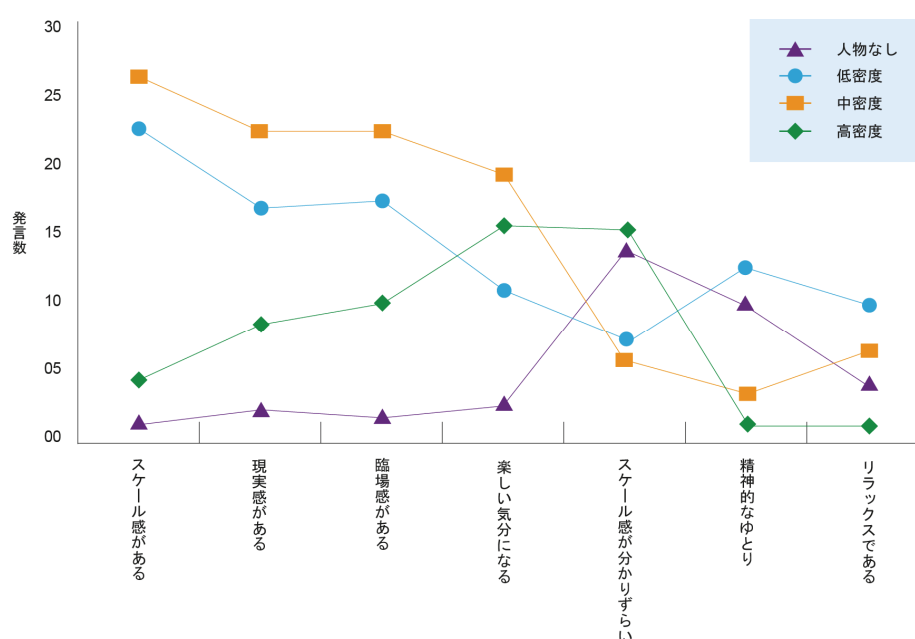


図 3.10 知覚的項目

知覚に分類されている各条件の項目としては、「スケール感がある」、「現実感がある」、「楽しい気分になる」などといった項目が多く挙げられた。まず、中密度と低密度の条件では「スケール感がある」、「現実感がある」、「臨場感がある」などの項目が多く挙げら

れた。これは、人物配置の呈示によって生じた現象と考えられる。しかし、人物配置の呈示がある高密度の条件では、「スケール感が分かりづらい」という項目が多く挙げられ、人物配置の過密に関する項目と考えられる。一方、回答数が少なかったため図 3.10 には反映されていないが「楽しい」、「面白い」など個人の一般的な価値観に関わるような人物配置の付加評価と捉えられる項目も挙げられた。

(2) 認知的項目の抽出

認知的項目については、バーチャル遺産を呈示した際に得られる具体的項目を抽出した(図 3.11)。まず、中密度(図 3.10)で多く挙げられた、「スケール感がある」と関係がある主な項目は、「壁の高さが分かりやすい」、「距離を認識できる」などの項目が多く挙げられた。これは、人物配置のモデルと建物を比較し、距離や建物のスケールを認識できると考えられる。高密度条件下では、「良い点」を挙げる被験者と「悪い点」を挙げる被験者に分かれた。一方は、「好奇心をそそる」「飽きを感じない」などであり、バーチャル遺産を体験する際良いとした被験者群、もう一方は、人物配置の過密によって「移動速度が速く感じる」「距離が短く感じる」などのためバーチャル遺産を体験する際良くないとした被験者群が見られた。

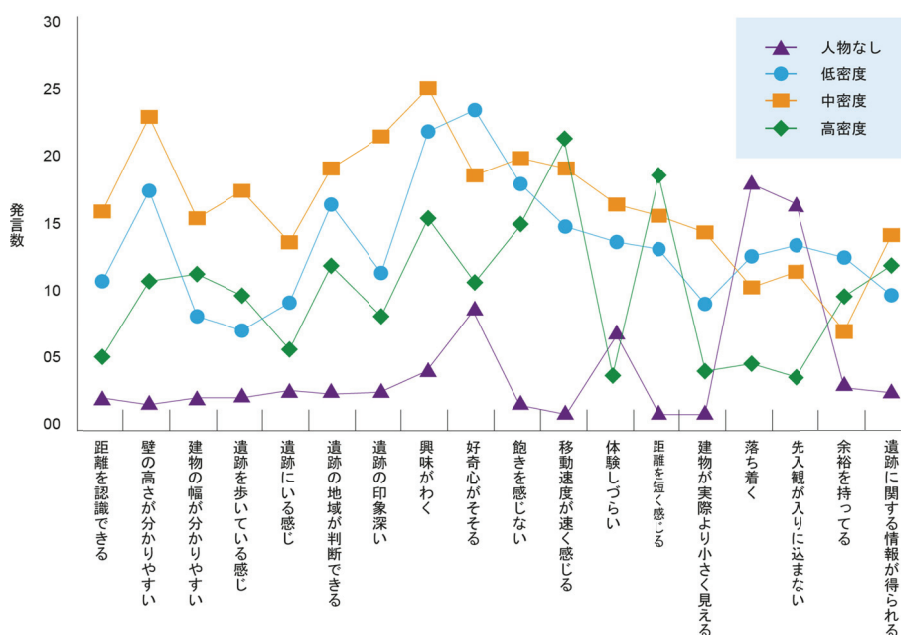


図 3.11 認知的項目

(3) 印象的項目の抽出

印象的項目については、バーチャル遺産に被験者が求める物理的項目を抽出した(図3.12)。まず、認知的項目で多く挙げられた「壁の高さ・広さが分かりやすい」と関係がある主な項目は「人物配置のモデルが立っている」、「人物と人物の隔たり」などが多く挙げられた。また、「現実感がある」、「臨場感がある」に関する項目としては、「人物の影」、「人物の装い」、「人物の指差し」などが多く挙げられた。その反面、人物なしの条件では現実感や臨場感に関する項目は少なかった。これは「人物モデルがなし」というコメントが比較的多く見られ、バーチャル遺産の人物配置は現実感や臨場感を高める要因になると考えられる。

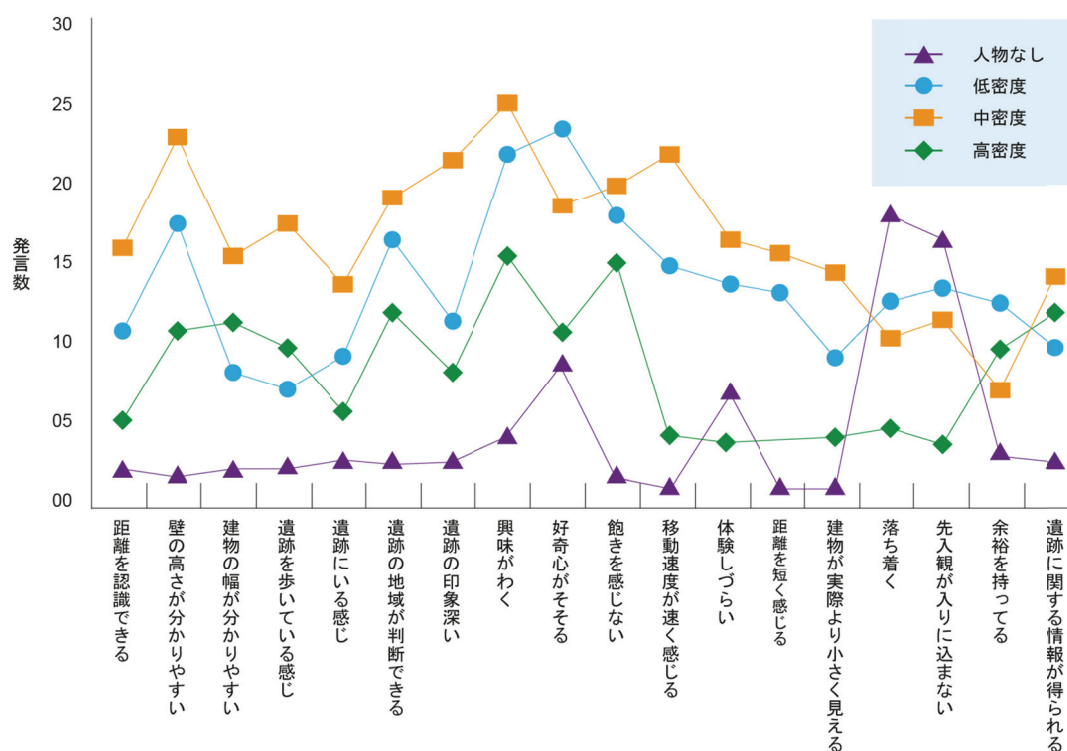


図 3.12 印象的項目

また、高密度の条件においては、「過密」、「混雑」、「複雑」などといった意見が聞かれ、認知的な項目の高密度で多く挙げられた「移動速度が速く感じる」、「距離を短く感じる」などの項目と関係があると考えられる。人物なしの条件下においては「人物モデルがなし」などの意見が多く挙げられた。これは認知的項目で挙げられた「落ち着く」、

「余裕を持てる」、「先入観が入り込まない」につながることが予想される。

2) 評価グリッド法を用いた評価構造モデルの作成

従来のインタビューのデータ解釈としては、得られるデータの量・質がインタビュアーの技量に大きく左右されることや、調査者(インタビュアー)の主観の混入に対して無防備であること、調査結果が冗長でとりまとめが困難であることが挙げられているが、評価グリッド法は、これらの弱点を克服する方法であると言える¹⁸⁾。

そこで本研究では、テキスト化したインタビューの結果で挙げられた項目の相関関係を明らかにするため、評価グリッド法を用いた。

(1) 評価構造モデルの作成

被験者個人のバーチャル遺産の印象評価構造を全試料分集約し、全被験者単位についての評価構造モデルを作成する。まず、被験者の言葉で抽出されたテキストの評価項目の内容を検討し、表現は異なるものの、内容が同一であると考えられる評価項目をまとめる。次に各被験者の評価構造中の項目を、全被験者単位に集約した評価項目へ置き換えた上で、すべての評価項目の組み合わせについて、ラダーリングにおいて各評価項目に言及した被験者の数を集計する。

① 上位項目

上位項目(心理的)では、多くの項目が「人物配置」と「人物なし」双方に共通して見られ、それらはバーチャル遺産の人物配置の良し悪しを決めるのに大きく影響を与えている項目だと考えられる。また上位項目の下に中上位項目がある場合も多く見られ、上位項目のみでの評価構造の形成が認められた。上位項目の中で、「スケール感がある」、「現実感がある」、「臨場感がある」という3つの評価項目は全体における出現頻度がそれぞれ1位、2位、3位と最も高く評価された。これは人物配置が表現すべき基本的、かつ重要な条件であると捉えることができる。一方、回答数が6より少なかったため図3.12には示されていないが「面白い」、「好み」など個人の一般的な価値観に関わるような人物配置の付加評価と捉えられる項目も挙げられた。

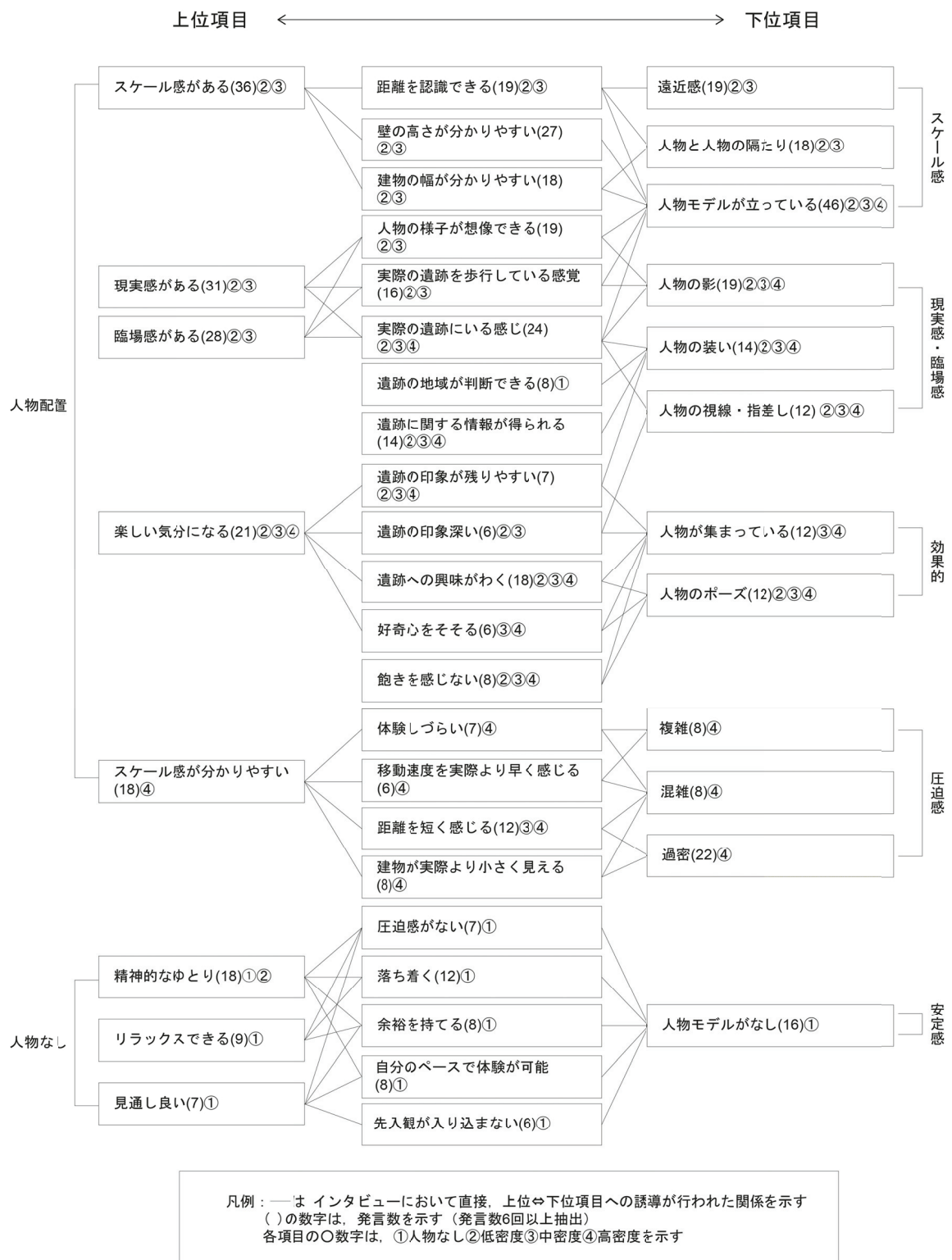


図 3.13 評価グリッド法による人物配置の評価構造モデル

② 中位項目

中位項目(具体的)からは、バーチャル遺産の評価をする際、項目をより直接・具体的に読み取ることができる。中位項目で多く見られたのが「壁の高さが分かりやすい」、「実際の遺跡にいる感じ」、「遺跡への興味がわく」などのように、人物配置の呈示面からの評価基準が上位項目の近くに位置した。そのうち最も回答数が多かったのは「壁の高さが分かりやすい」という評価項目であった。

次いで多く回答があったのは「実際の遺跡にいる感じ」という項目であった。また、中位項目の階層のうち下位項目に近いところに位置するのは、「遺跡の地域が判断できる」、「情報が得られる」そのものを評価する項目であり、「人物の装い」、「人物の視線、指差し」などが例として挙げられる。同時に、「過密」では「移動速度を実際より早く感じる」、「建物が小さく見える」、「距離を短く感じる」などの項目につながりスケール感が悪くなると考えられる

③ 下位項目

下位項目(物理的)は評価項目の上位項目を満たすことによって生じた印象の原因である。

図 3.13 に示された下位項目の階層は人物配置において実現されるべき具体的な要件を示している。人物配置がもつ特徴や効果などの項目は、「スケール感」、「現実感・臨場感」、「興味誘発」、「雰囲気」の4つに分類することができた。

まず、スケール感に関しては、建物と人物配置のモデルの比較に対するバーチャル遺産の認知変化が強く見られた。その項目として「壁の高さが分かりやすい」「人物と人物の隔たり」によって「距離を認識できる」などの項目が挙げられた。次は、現実感や臨場感として挙げられた項目は、「人物の影」、「人物の装い」等が挙げられ、「実際の遺跡を歩行している」、「実際の遺跡にいる感じ」などの項目が見られると考えられる。

バーチャル遺産における人物配置については、「遺跡に関する情報が得られる」、「遺跡が印象深い」といった意見が多く見られ、「人物の装い」、「人物のポーズ・指差し」などの項目がその印象変化の原因として多く挙げられた。同時に、高密度では「体験しづらい」などといった意見が挙げられ、その要因としては「過密」、「混雑」などにより、印象変化が生じたと考えられる。最後に、人物なしの条件は、「安定感」として評価された。この原因では「人物モデルがなし」のため、「落ち着く」、「圧迫感がない」など

の意見が多く挙げられた。

3) 各項目間の検証

バーチャル遺産の印象評価構造モデル(図 3.13)で挙げられた印象評価項目と人物配置の相関関係を検証するため、コレスポンデンス分析¹⁹⁾を用いた。コレスポンデンス分析とは、相関係数が最大となるように行列を並び替えることで、相関が近い項目が隣り合うようにデータ配置させ、データの対応関係を幾何学的かつ視覚的に表示できる手法である¹⁹⁾。本研究では、人物配置と印象評価項目がどのように配置されるかを検証した。以下に、コレスポンデンス分析の結果を示す(図 3.14)。

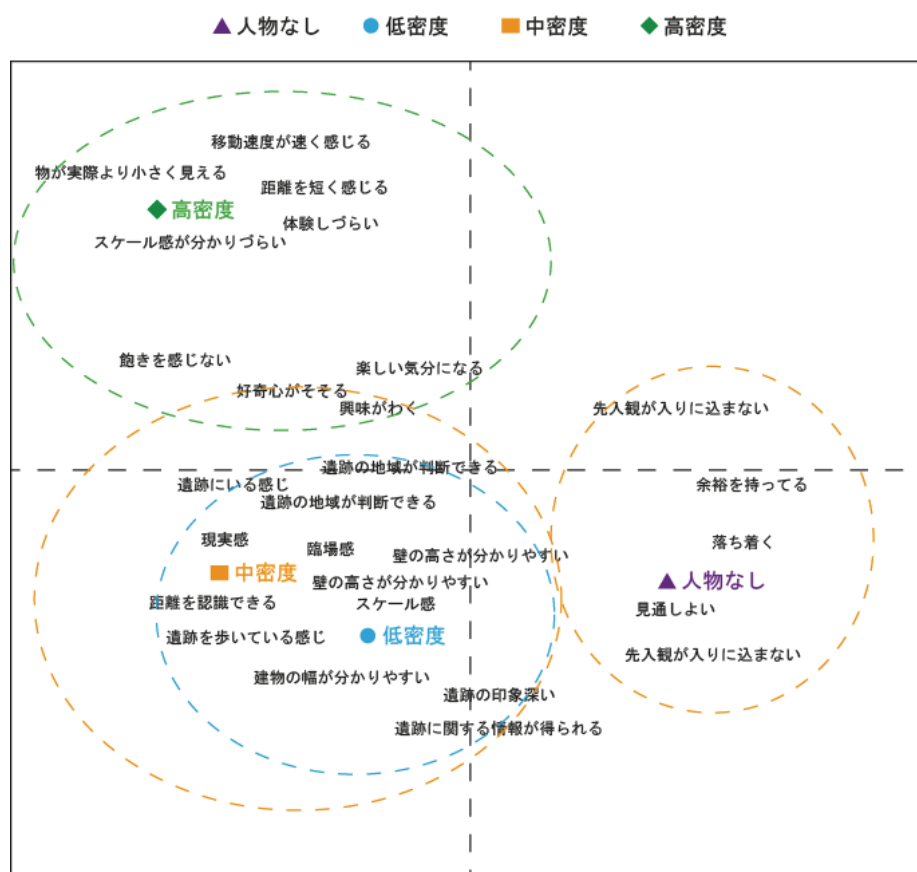


図 3.14 人物配置と印象評価項目の布置図

人物配置と印象評価項目の関連性に関しては、評価構造モデルの上位項目と中位項目を用い、コレスポンデンス分析を行った。その結果、布置図では、条件が大きく3つに

分けて布置されている。中央左に中密度や低密度が近くに布置されており、高密度は左上、人物なし条件は、中央右に布置されている。これは、布置図の上に行くほど過密度、下方では低密、左に行くほど人物配置、右は人物非配置に向いていると考えられる。

まず、一対比較の結果評価の最も高かった中密度に関しては、「臨場感がある」や「現実感がある」に親近性が高い項目が布置されている。また、「実際の遺跡にいる感じ」、「遺跡を歩いている感覚」に関連する項目が布置されている。また「スケール感」、「壁の高さが分かりやすい」「距離を認識できる」といった項目が近く配置されて、これらの項目の関係性が高いことが考えられる。これは、人物配置が「現実感」、「臨場感」、「スケール感」を向上させる要因としてバーチャル遺産の印象に影響を与えると考えられる。一方、一対比較の結果評価の低かった高密度において「スケール感が分かりづらい」、「体験しづらい」といった項目と近い。「楽しい気分になる」では、「好奇心がそそる」、「飽きを感じない」といった項目と近い箇所に配置されていた。これは、過密な条件のため、バーチャル遺産に混雑及び複雑な印象を与えたと考えられる。

3. 6 まとめ

本章では、3次元データによるデジタルアーカイブの側面からバーチャル遺産を構築し CAVE で呈示を行った。また、構築したバーチャル遺産コンテンツの人間工学的評価を行うことで、倒壊以前の遺跡の雰囲気や伝達するためのアプローチを試みた。具体的には、遺跡と同時代の人物配置を行うことにより、歴史・文化の表現や臨場感、理解度の向上を図った。同時に人物配置の密度による、バーチャル遺産の印象に関して検討を行った。本章で得られた結果をまとめると以下の通りである。

- (1) 文化遺産の3次元建造物の人物配置は、地域情報や当時の雰囲気再現ができ、遺跡のもつ歴史や文化的価値を理解させることに有効である。
- (2) 実寸表示が可能な CAVE での人物配置によりスケール感を認知させることにより、遺跡映像に対する現実感・臨場感が期待できる。
- (3) CAVE 環境での人物配置には適切な表示密度が存在して、高密度では圧迫感などを与えて、臨場感を低下させる要因となる場合がある。
- (4) 人物配置が文化遺産に与える影響の原因を明らかにできるなど、文化遺産コンテンツの人間工学的評価法として評価グリッド法や評価構造モデルは有効である。

今回の実験では、印象評価のために、停止状態にある人物配置を呈示し、空間内の速度にはプレイバック形式を使用した。今後は、体験者が自由視点でコンテンツを体験したときの仮想空間の臨場感と現実感を向上させる手法や効果について、ヒトの認知特性の観点から検討していく。特に、人物配置の動きと連動した仮想空間上で、人物配置の中を歩行するときに自分が感じる移動速度の変化を検討したい。また、インタラクティブのある仮想空間では、カメラ視点がユーザの任意の操作で変化する。そのため人物配置とユーザとの距離間の変化による好ましさへの影響や、人物配置がユーザの移動に障がいとなり、移動速度と移動距離(スケール感)に影響を与えられられる。これらについても検討を試みたいと考えている。

参考文献

- 1) 新垣紀子, 野島久雄: “方向オンチの科学”, 講談社, 東京 (2001)
- 2) 岡林春雄: “児童の認知地図作成における俯瞰の視点の作用”, 心理学研究, pp.74, 1-8 (2003)
- 3) Edward C. Tolman, et. al.: Cognitive Maps in Rats and Men; Psychological Review, 55, pp.189-208 (1948)
- 4) 島村達也, 北島律之: “仮想経路での移動における時空間の評価”, 電子情報通信学会技術研究報告, 107(117), pp.57-60 (2007)
- 5) 島村達也, 関口啓貴, 北島律之: “歩行による距離感覚への映像の影響”, 電子情報通信学会技術研究報告, 106(143), pp.51-54 (2006)
- 6) 北島律之, 関口啓貴, 井上智之, 竹田仰: “仮想経路での幾何学的特性の評価における周囲物体の密度の影響”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 9(2), pp.195-201 (2004)
- 7) 廣瀬通孝, 小木哲朗, 石綿昌平, 山田俊郎: “多面型全天周ディスプレイ (CABIN) の開発とその特性評価”, 電子情報通信学会論文誌 D-II, J81-D-II(5), pp.888-896 (1998)
- 8) BAM3DCG :
<http://dsr.nii.ac.jp/Bam3DCG/index.htm;jsessionid=1134F74D1758F21B384DC36B641E4BE9>(2013)
- 9) M. R. Matini, E. Andaroodi, H. Y. Yoon, N. Abe, A.Kitamoto, T. Kawai, K. Ono: Virtual 3DCG of the Citadel of Bam; Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology 2009, CD1 (2009)
- 10) 尹夏英, 阿部信明, 河合隆史, 井上哲理, アンダローディ・エルハム, マティーン・モハメド・レザ, 小野欽司: “バーチャル遺産における人物配置がスケール感に与える影響”, 日本人間工学会第 50 回大会, 45, pp.160-161 (2009)
- 11) Kinji Ono. et al.: 3DCG Reconstitution and Virtual Reality of UNESCO World Heritage in Danger; Progress in Informatics, 5, pp.99-136 (2008)
- 12) 安藤真, 吉田和弘, 谷川智洋, 王燕康, 山下淳, 葛岡英明, 廣瀬通孝: “スケーラブル VR システムを用いた教育コンテンツの試作ーマヤ文明コパン遺跡における歴史教育ー”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 8(1), pp.65-74 (2003)
- 13) 大石岳史, 増田智仁, 倉爪亮, 池内克史: “創建期奈良大仏及び大仏殿のデジタル復元”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 10(3), pp.429-436 (2005)

- 14) 西田裕介, 久保晃, 田中淑子: “前腕長と下腿長を用いた身長の推定”, 理学療法学, 29(1), pp.29-31 (2002)
- 15) 北島律之, 関口啓貴, 井上智之, 竹田仰: “仮想経路での幾何学的特性の評価における周囲物体の密度の影響”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 9(2), pp.195-201(2004)
- 16) 内田治: “コレスポンデンス分析を用いた一対比較法および配偶法の解析に関する考察と提案”, 東京情報大学研究論集, 11(1), pp.1-10 (2007)
- 17) 棟近雅彦, 三輪高志: “感性品質の調査に用いる評価用語選定の指針”, 日本品質管理学会, 30(4), pp.96-108(2000)
- 18) 讃井純一郎: “商品企画のためのインタビュー調査ー従来型インタビュー調査と評価グリッド法の現状と課題ー”, 品質, 33(3), pp.13-20 (2003)
- 19) 齋藤朗宏, 豊田秀樹: “コレスポンデンス分析の布置の安定性に関する研究”, 日本行動計量学会大会発表論文抄録集, 31, pp.30-33 (2003)

第4章 頭部搭載型ディスプレイにおける文化遺産コンテンツの表現

4. 1 本章の目的

本章の研究では、高臨場感表現のための没入型ディスプレイとして、頭部搭載型ディスプレイであるヘッド・マウント・ディスプレイ（以下、HMD）を用いた。また文化遺産として、日本の近代化産業遺産であり、昭和5年に竣工した工場ファサードを対象として、その文化遺産コンテンツを制作した。

本章の目的は、文化遺産立体視アーカイブの構築を行い、建築構造やスケール呈示のアプローチとして平面設計図を立体化し、その有効性や違和感について明らかにすることである。そして、HMDを用いた文化遺産コンテンツの効果的な表示手法について人間工学的評価を通して検討することである。

HMDは、バーチャルリアリティ（VR）における視覚情報の呈示ディスプレイとして主に使われていたが、近年では、映画鑑賞、ゲームなどにも広く利用されている。さらに、家庭向けの低価格のHMDが発売され、今後も利用者が増加することが予想される。HMDの特徴は、頭部搭載型ディスプレイとしてヒトの視野を立体映像で覆うことにより、高い臨場感の実現ができることである。また、狭いスペースでも、個人的に大画面立体映像の観察が可能である¹⁾。そのため、巨大な文化遺産の立体視コンテンツを大画面で空間の制約なしに鑑賞可能なディスプレイとして期待されている。しかしながら、HMDは、通常の平面ディスプレイと比べ、両眼にそれぞれ画像を呈示する方式である。そのため、ディスプレイによるコンテンツの立体感の変化が生じる可能性があると考えられる。また一方、立体映像の制作現場では、平面パネルやプロジェクタ型の通常のディスプレイ環境でコンテンツを制作して没入型や広視野などの多様なディスプレイに呈示する場合が多い。文化遺産の立体視コンテンツは、他の一般的な立体視コンテンツとは異なり、鑑賞者に対して文化遺産の形状情報を正しく伝えることが、もっとも重要な課題である。

このような観点から、まず本研究では、文化遺産立体視アーカイブの構築を行い、建築構造やスケール把握するアプローチとして平面設計図を立体化し、有効性や違和感について実験的に検討を行った。また、通常の立体ディスプレイと没入型のHMDとの比較を行い、HMD向け立体視コンテンツの制作手法や呈示に関する検討を行った。

4. 2 頭部搭載型ディスプレイ

HMD とは、頭部にディスプレイを装着し、外界の視覚情報を遮断することで没入感を表現するディスプレイである（図 4.1）²⁾。また、大きな特徴としては、狭いスペースでも、個人的に広視野の立体視コンテンツの観覧が可能である。



図4.1 ヘッド・マウント・ディスプレイ（SONY HMZ-T2）

近年、HMD を用いた映画鑑賞や教育場面で活用が期待されているが、それはコンテンツの興味や関心を高めるのが可能と考えられているためである。

本研究では、HMD を用いて個人向けの文化遺産コンテンツの興味度や理解度などに関する有効性を検討した。

4. 3 文化遺産コンテンツの対象

4. 3. 1 近代化産業遺産

立体視アーカイブの対象としては、近代化産業遺産を用いた。これは、日本の近代化を支えた製鉄所、造船所などの工場設備や鉄道などの建造物、さらには河川施設や港湾施設などの総体を文化遺産として捉える概念である³⁾。2007年、日本の経済産業省は、歴史的文化的価値を有する建造物や機械装置等を「近代化産業遺産」と命名し、575件について認定を行った。認定の目的は、その価値を顕在化させ、各地域の活性化を図ることと、2008年度には機械工業や化学工業の歩みを物語る施設など、新たに540件の近代化産業遺産の追加認定がなされた。また、相互に関連する複数の遺産により構成される「近代化産業遺産群33」及び「近代化産業遺産群・続33」が産業史や地域史のス

トーリを軸に選定された⁴⁾。これは、それぞれの産業遺産がもつ偉大さ、貴重さを伝えるものであり、日本の近代化の貴重な文化遺産として位置づけられている。一方、自然災害や老朽化などの保存・保護の理由で近代化産業遺産の認定を解除及び解体されることがある。

4. 3. 2 立体視アーカイブの対象

対象としては、日本の株式会社 JVC ケンウッド(以下、JVC)の横浜にある第一工場ファサードを用いた(図 4.2)。これは、昭和 5 年に竣工した鉄筋コンクリート造り 1 階の建物で、設計は三菱合資会社地所部(現：三菱地所)が行った。



図 4.2 日本ビクター第一工場のファサード

本研究で制作する立体視アーカイブの中心となるファサードは、昭和 20 年の空襲で大半の施設が焼失してしまい、その後工場は一新されるが、工場の一角にある正面入り口部分の外壁はかなり忠実に修復され、今でも工場のシンボルになっている。

ファサードの部分には、イオニア式オーダーの柱など古典的な意匠が凝らされ、工場建築としては珍しい、貴重な存在であったが、工場の売却により、2011 年 1 月 18 日に解体された⁵⁾。

JVC では、歴史的建造物を現在地で現状保存が不可能となったので、移設及び復元を検討した。しかし、建造物の老朽化のため、移設に耐えられない可能性や、耐震補強

工事の必要性などの理由で解体を行った。

今後、JVC と横浜市では、復元を前提とした記録保存や部材保管等の方法として、ファサードを平面設計図化した一部部材の保管を実施した。この二次元データから、JVC 第一工場ファサードを立体視アーカイブ化し、記録・保存することは、復元活動への活用に必要なことや重要性が高いと考えられる。

4. 4 文化遺産の立体視アーカイブ制作

1) 立体視アーカイブの制作

立体視アーカイブの制作に使用する 2D 映像は、日本の株式会社 JVC ケンウッドが撮影した近代化産業遺産の 4K2D 素材や平面設計図を用いた。

立体視アーカイブは、デジタルビデオテープなどのメディアに記録するため、基本的にカメラのレンズを通して撮影される被写体を全部記録でき、かつ、その記録や再生が容易であることがあげられる。これは、建築物などのように大きい対象物の記録や、多数人の動作の記録、風景などの現存する対象の記録などに適していると言われる⁶⁾。しかし、現存しない空間の場合、撮影が不可能であり、立体映像(3D)の記録・保存ができない。こうした問題を解消する技術として、2次元情報しか持っていない映像を用い、両眼立体情報を付加して3D化する、2D/3D変換の技術が挙げられる。

2) 2D/3D 変換技術

近年、ステレオ撮影による 3D 映像制作が多くなっているが、建築物などのように大きい対象物の立体感と多数人の動作、空撮などの相対的な立体感や前後関係の表現がしにくい。一方、2D/3D 変換では、撮影を 2Dで行うので、ステレオカメラや確認用のモニターなどは撮影時には必要ないため、2D 作品を撮影するのと同じように、自由に作成することができるという利点がある⁷⁾。これは、2D コンテンツを自動または、手作業による画像処理によって 3D 化する技術の総称で、近年、3D コンテンツの制作現場で広く用いられるようになってきた⁸⁾⁹⁾。本章では 2D/3D 変換技術を用いて立体視コンテンツの制作を行った。

4. 4. 1 視差角の設計と制御

保存活動の一環として撮影した 4K 映像と平面設計図を用いて立体視アーカイブの 3D コンテンツの制作を行った。

制作のながれは、「3D 設計とストーリー構成」や「2D/3D 変換」、「3D 編集」、「3D コンテンツの評価」、「完成」の順で立体視アーカイブの構築を行った（図 4.3）。

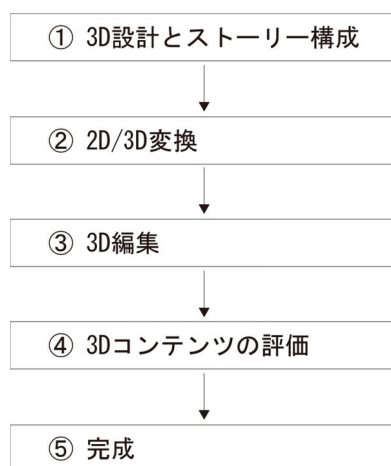


図 4.3 立体視アーカイブの構築の流れ

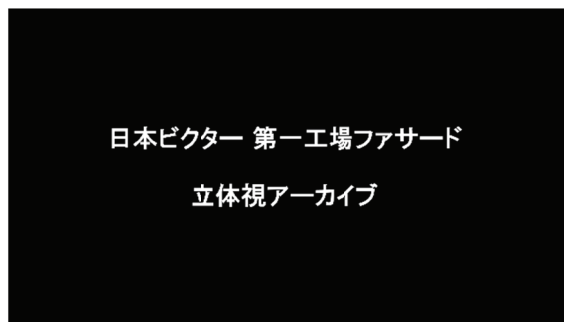
まず、3D 設計とストーリー構成について、シーン別に説明する(図 4.3)。時間は 2 分 51 秒である。まず、3D 設計とストーリー構成した 4K2D 素材を、②2D/3D 変換の技術を用い、2D 映像に、両眼立体情報を人工的に付加し、3D 化した。この技術は、2D で制作されている映像を 3D 化することや、ステレオ撮影で何らかの欠損が生じた部分の補正などに使われている。図 4.4 にコンテンツのシーンを示す。

(1) シーン 1 では、「JVC 第一工場ファサード、立体視アーカイブ」というタイトルをフェードイン、次に、建築物の歴史に関する説明をする。

(2) シーン 2 では、JVC 第一工場の全景を航空写真撮影した写真を呈示し、立体視アーカイブを行った対象物までズームアップした写真を表示した。

(3) シーン 3 では、カメラを右から左に移動させ、建物全体を観察し、対象物をズームアップする。

(4) 次に、シーン 4 とシーン 5 では、多様な角度から建築物の模様や材質などの構造を把握可能なカメラアングル映像を呈示した。



シーン 1 (タイトル)



シーン 2 (空撮)



シーン 3 (JVC 全景)



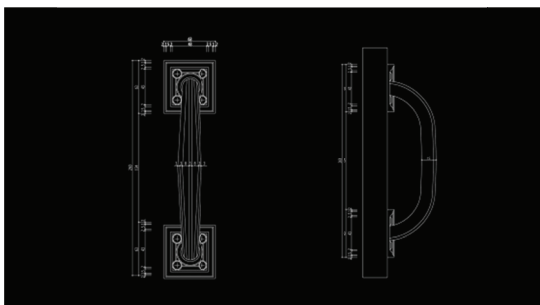
シーン 4 (ファサード前面)



シーン 5 (平面設計図)



シーン 6 (建築物)



シーン 7 (平面設計図)



シーン 8 (エンドロール)

図 4.4 立体視アーカイブコンテンツのシーン

(5) 続いて、シーン 6 と 7 では、建築物の柱と会社の看板、把手などの部分をクローズアップさせた対象物を呈示し、建築物の各部分の構造と寸法を把握・記録するため、平面設計図を立体化して呈示した。

(6) 最後に、シーン 8 では、近代化産業遺産の認定モニュメントクレジットのディゾルブ、そしてクレジットが表示される。

視差角の解析には、岸らが提案した 3D コンテンツの評価手法を用いた¹⁰⁾。視差角は、オプティカルフローによる画像処理で各ピクセルについて左右像の対応点間の距離（視差量）を算出し、設定された上映環境から視差量を視差角に変換を行っている。制作した 3D コンテンツの 2D/3D 変換の流れを示す（図 4.5）。

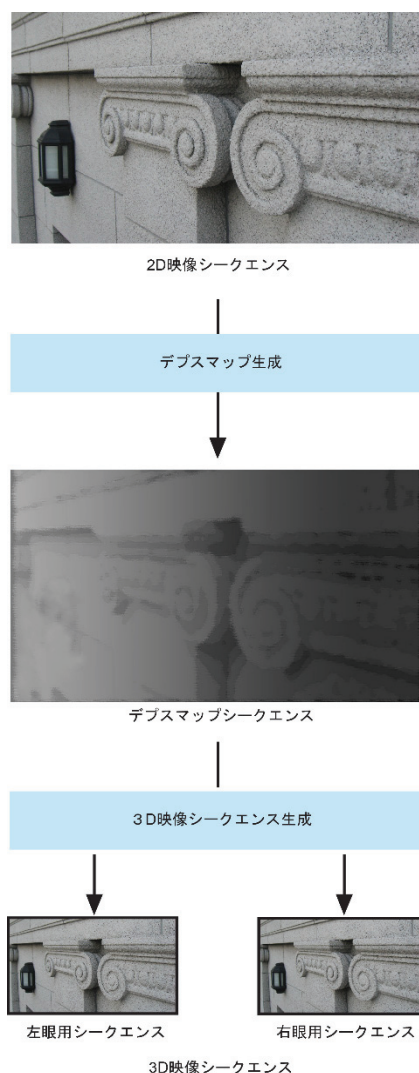


図 4.5 2D/3D 変換の流れ

3D化された左右画像を解析することで、視差量をグレースケールで表現したディスパリティマップ (Disparity map) と呼ばれる画像を得ることができる。明るい部分が奥、暗い部分が手前というように画像内の視差の分布を表している。上映環境を入力することで、このディスパリティマップから視差角を算出することができる。算出した視差角から、コンテンツのストーリー展開に応じた両眼立体情報の増減や、実写素材と平面設計図素材でのカット間のつながり、既存のガイドラインへの適合性を考慮して、立体感の設計・制御を行った。

本実験で想定した視聴条件は、画面サイズ 50 インチ・ハイビジョンテレビ、視距離は 3H (50 インチ画面の高さの 3 倍 \approx 1.86m) であった。

空間の厚みを表現する指標として、解析された視差角の 90 パーセンタイル値と 10 パーセンタイル値の差を用いた。コンテンツの視差角は ± 0.6 度以内に収まる範囲で立体感を表現するよう制作した。当該コンテンツの時系列の視差角変化を、図 4.6 に示す。

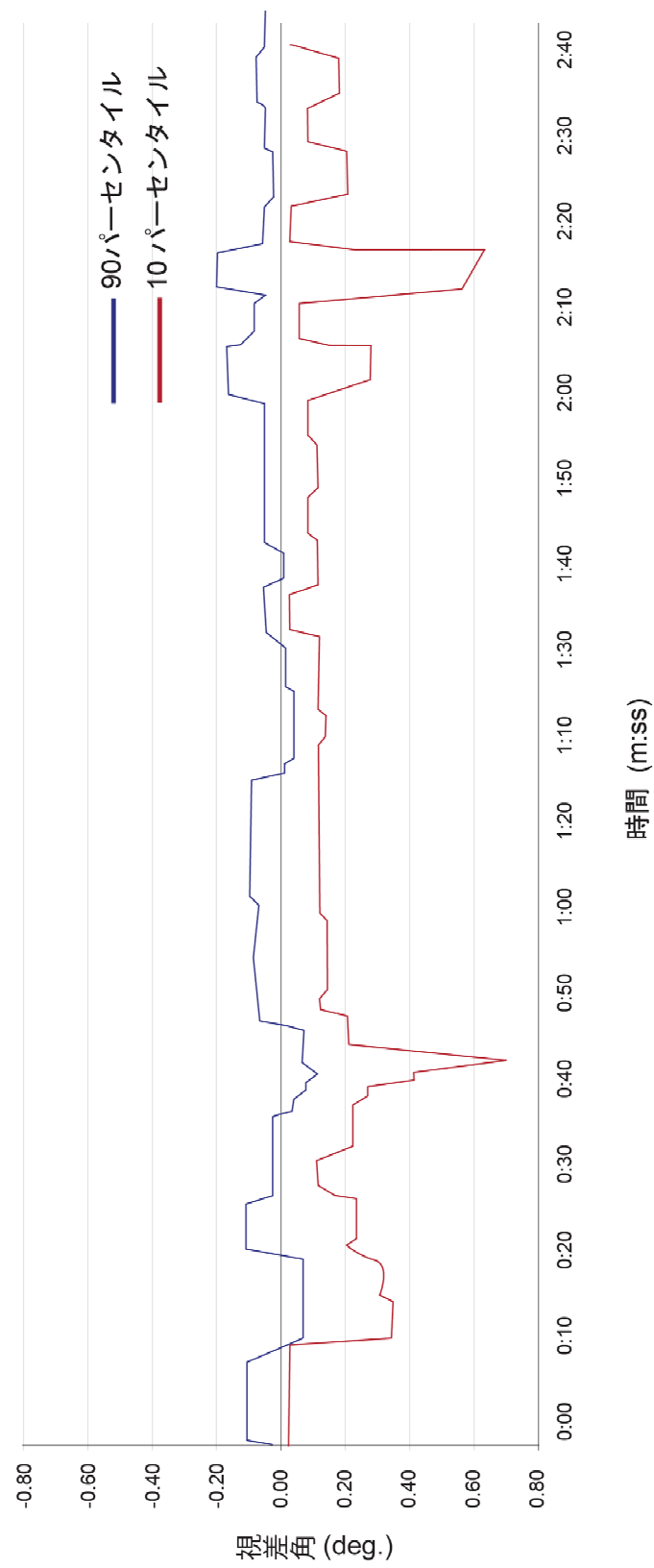
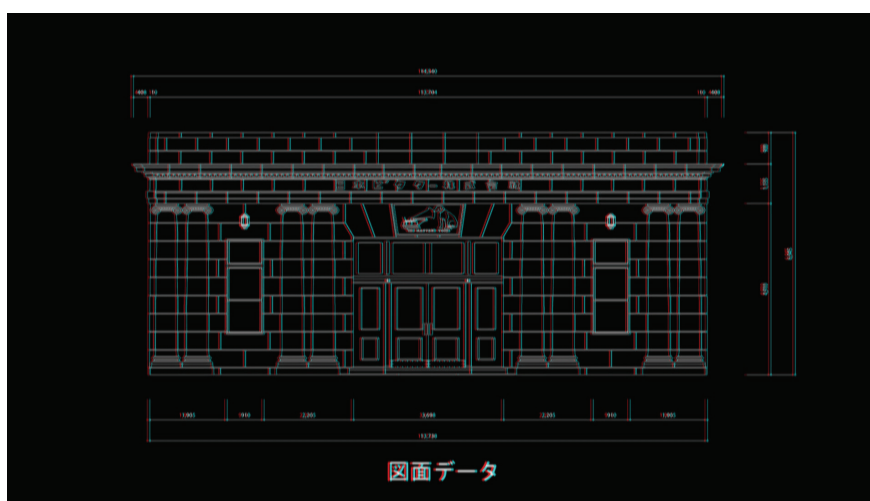


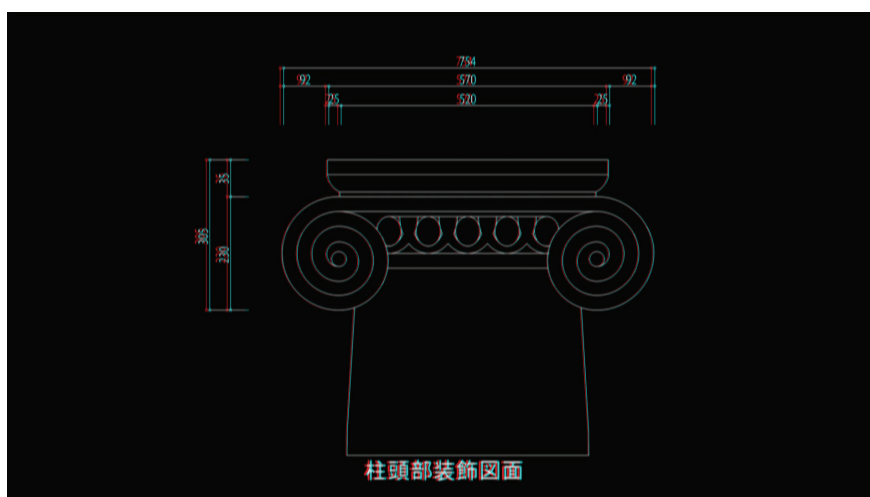
図 4.6 立体視アーカイブコンテンツの視差角の時系列変化

4. 4. 2 平面設計図の立体視表現

立体映像は、文化遺産の位置関係や相対的大きさ・距離感などスケール感を再現できることで空間をより現実のものに近い映像として記録・再現するのに適した表示方式であるといえる。しかし、3次元建造物には様々な形状が存在し、その大きさやスケールに応じて、観察方法も異なる。ここでは、文化遺産の3次元建造物の歴史・文化的理解の表現を目的として、形状の再現性を向上させて、構造や寸法の同定が誰にでも容易な点で、平面設計図を立体化して表現した（図4.7）。



(a)前面：アナグリフの表示



(b)柱：アナグリフの表示

図4.7 平面設計図の立体化（アナグリフの表示）

このように、記録後に必要に応じて二次加工できる点が、デジタルデータの利点の一つであると言える。

平面設計図は、2D 情報しか持っていないが、実写画像と比較して立体を付加した。(a) 前面の部分は、屋根と柱、ドアなどの部分にデブスを付加して構造を分かりやすくした。また、(b)の柱の形（奥行き）を付けて立体化させた。

4. 5 立体視アーカイブの評価

4. 5. 1 実験目的

本実験では、近代化産業遺産に登録されている日本ビクター第一工場ファサードの 2D 映像を用いて 3D 映像に変換することで立体視アーカイブを構築し、平面モニター型ディスプレイと頭部搭載型ディスプレイ HMD で表示した際の印象について比較、検討を行った。また、2 次元情報しか持っていない、文化財の平面設計図を 3D 化し、3D アーカイブの構築における高臨場感の表現について評価・検討を行うことを実験の目的とした。

4. 5. 2 評価用コンテンツの制作

評価用の映像は、立体視アーカイブのコンテンツを用いて作成した。具体的には、建築物の部分(1 分 30 秒)、平面設計図データ(1 分 30 秒)を用い、解像度は、(1920×1080) pixel の top and bottom に統一して動画を作成した。

映像の再生には、Intel 社 Core 2Deo CPU と AMD 社 Redeon GPU を搭載した Dell 社 PC を使用した。再生ソフトは、3D モニターで立体コンテンツの再生が可能な DDD 社 TriDef Media Player を使用した。

評価用コンテンツの呈示ディスプレイとして、頭部搭載型の HMD と 3D 対応 TV を用いた。HMD の特徴として、視野を覆うことにより、高臨場感を実現できることや、狭いスペースでも、個人的に大画面を観察できることなどが挙げられる。これらの特徴は、3D 対応 TV を使用した 2 眼式立体映像の呈示方式では、実現するのが不可能である。これらの背景から、HMD 特有の呈示方式に関する生体機能への影響の検討については、多くの研究者によって取り組まれている。一方、コンテンツの印象変化については検討事例が少ない。そこで本研究では、HMD と 3D 対応 TV との比較を通してコン

テンツの印象変化の検討を行った。3D 対応 TV は、42 インチ TV モニター（Toshiba REGZA 42ZG1）を用い、HMD では、SONY 社製 HMD（型番 HMZ-T1）を用いた。HMD の視差角は仮想視聴距離 20m で仮想画面サイズ 750 インチ相当である。TV の視差角は HMD に合わせて、視聴距離 1.1m で仮想画面サイズ 42 インチ相当の同様の比率で設定した（図 4.8）。

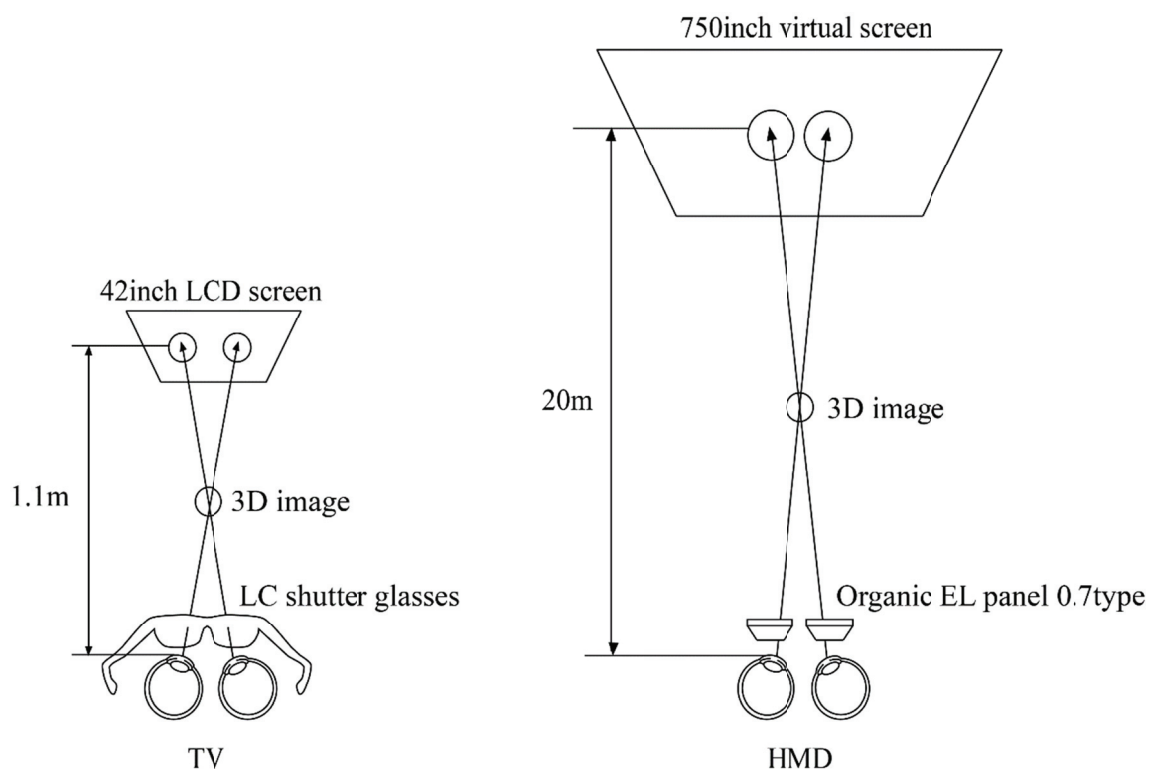


図 4.8 TV と HMD の視差角

4. 5. 3 評価方法

ディスプレイ（HMD と TV）やコンテンツ（建築物：B と平面設計図：P）、映像種類（2D と 3D）を組み合わせた 8 条件を使用した（表 4.1）。

表 4.1 実験条件

条件	組み合わせ	刺激
条件 1	TV で平面設計図 (P) を呈示	TV-P2D
条件 2	TV で平面設計図の 3D 化 (P) を呈示	TV-P3D
条件 3	HMD で平面設計図 (P) を呈示	HMD-P2D
条件 4	HMD で平面設計図の 3D 化 (P) を呈示	HMD-P3D
条件 5	TV で 2D 建築物 (B) を呈示	TV-B2D
条件 6	TV で 3D 建築物 (B) を呈示	TV-B3D
条件 7	HMD で 2D 建築物 (B) を呈示	HMD-B2D
条件 8	HMD で 3D 建築物 (B) を呈示	HMD-B3D

実験手順は次の通りである。①実験準備として、基本データの記入や実験手順、HMDの説明。②刺激をランダムで呈示。③コンテンツ印象に関するアンケート記入とインタビュー実施、②と③を 8 条件で行った。実験の所要時間は、実験準備時間も含めて約 60 分となる。実験環境は、環境光を遮断するため暗室にて、コンテンツを呈示した (図 4.9)。

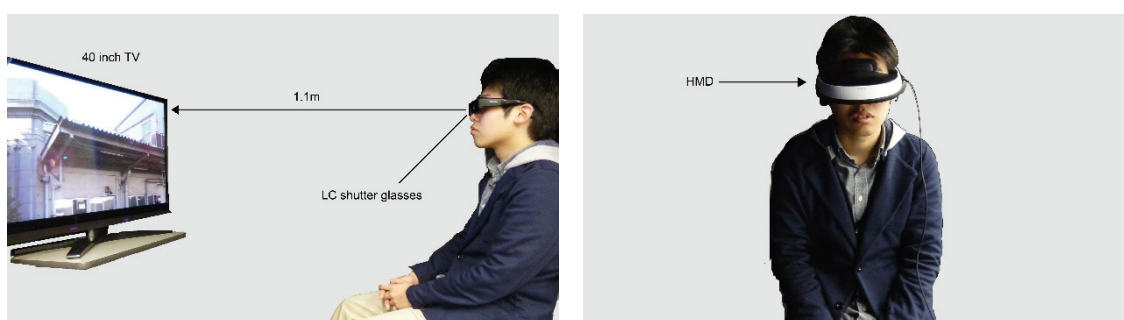


図 4.9 実験環境 (左 : TV 条件、右 : HMD 条件)

被験者は、色覚・立体視が正常視機能をもつ 20～27 歳の学生 30 名であった。被験者に、実験の主旨や方法を説明し、理解・同意の上、実験を実施した。

立体視コンテンツ評価として独自に開発した質問紙「建築物の立体視アーカイブに関する印象変化調査表」によるアンケート¹¹⁾とインタビューを行った (図 4.10)。

建築物の立体視アーカイブに関する印象変化調査表

被験者番号：_____ 年齢：_____ 条件：(_____) 調査時刻：____年__月__日__時__分__

今ある状態に○を付けてください

まったく感じない かすかに感じる やや感じる 感じる やや強く感じる かなり強く感じる 非常に強く感じる

1. 建築物の構造が分かりやすい	-----
2. 目が痛い	-----
3. 映像の自然さ	-----
4. 映像の奥行き	-----
5. 建築物の大きさが分かりやすい	-----
6. 気分が悪い	-----
7. 映像の見やすさ	-----
8. 実空間にいるように	-----
9. 建築物の高さが分かりやすい	-----
10. 現実感がある	-----
11. 自分が動いているように	-----
12. 楽しい気分になる	-----
13. 建築物の印象が残りやすい	-----
14. 眼が疲れている	-----
15. 建築物の興味がわく	-----

図 4.10 立体視アーカイブコンテンツ評価のアンケート用紙

アンケート解析には、立体感、臨場感、スケール感、映像よい、興味度に連関がある15項目を用いた（表 4.2）。

表 4.2 アンケートの解析項目

立体感	Q3. 映像の自然さ
	Q 4. 映像の奥行き
	Q 5. 映像の見やすさ
臨場感	Q 8. 実空間にいるような
	Q 10. 現実感がある
	Q 11. 自分が動いている
スケール感	Q 1. 建築物の建造が分かりやすい
	Q 7. 建築物の大きさが分かりやすい
	Q 9. 建築物の高さが分かりやすい
映像酔い	Q 2. 吐き気がする
	Q 6. 気分が悪い
	Q 14. 眼が疲れている
興味度	Q 12. 楽しい気分になる
	Q 13. 建築物への印象が残りやすい
	Q 15. 面白い

解析方法は、分散分析や単純交互作用の検定、単純主効果の検定を行った。まず、コンテンツ毎に TV での 2D と 3D との比較、HMD での 2D と 3D との比較を求め、次に、TV の 3D と HMD の 3D とを比較し、差があるかどうか調べた。また、各要因での有意を調べるため、多重比較を実施した。

4. 5. 4 結果と考察

立体感や臨場感、スケール感、映像酔い、興味度と連関があるアンケートの各項目について検討を行った。なお、評定点は「まったく感じない」を1点、「非常に強く感じる」を7点として解析した。

1) 立体感の結果

立体感の結果について、「Q3. 映像の自然さ」、「Q4. 映像の奥行き」、「Q5. 映像の見やすさ」の項目を用いて分析した。それぞれ、ディスプレイでは（TV 条件/HMD 条件）×コンテンツは（建築物（B）条件/平面設計図（P）条件）×映像種類条件（2D 条件/3D 条件）の3要因の分散分析を行った後、Bonferroni 法に基づく多重比較を行った。「Q3. 映像の自然さ」と「Q7. 映像の見やすさ」においては、映像種類条件、それぞれ、 $(F(1,29) = 10.191, p < .05)$ と $(F(1,29) = 14.485, p < .01)$ の主効果が有意であったが、ディスプレイとコンテンツでは主効果の有意はなかった。

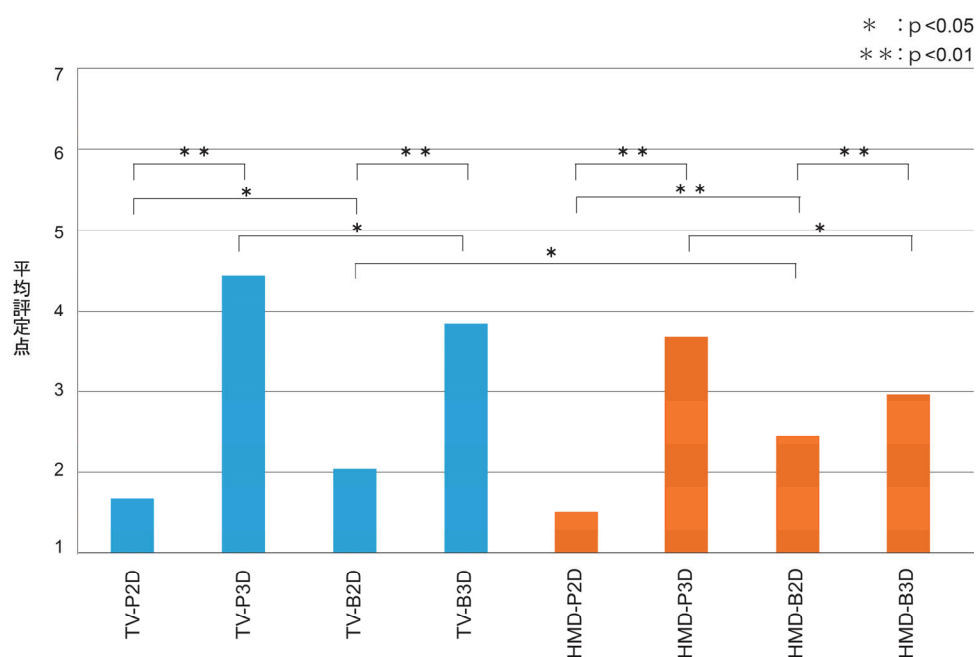


図 4.11 「Q4. 映像の奥行き」の立体感の結果

また、「Q4. 映像の奥行き」（図 4.11）の項目において、映像種類条件で主効果の有意（ $F(1,29) = 189.424, p < .01$ ）があり、ディスプレイとコンテンツ、映像種類の交互作用が有意であった（ $F(1,29) = 4.880, p < .05$ ）。2 次の交互作用に 5%水準の有意差が見られたため、単純交互作用の検定を行った。

立体感の結果では、ディスプレイ間での有意差は見られなかった。一方、コンテンツと映像種類の要因間での有意差は各条件で認められた。また、3D 呈示条件の得点が高く評価され、2D/3D 変換で作成した立体視アーカイブの表現に関して高い信頼が確認

できた。立体感の結果では、TV-P-3D と HMD-P-3D 条件が、他の条件に比べて高く評価された。コンテンツ要因の効果としては、3D 条件において HMD 条件と TV 条件ともに、平面設計図映像が建物映像より高いスコアを得た。この結果は、2D/3D 変換による 3D 化の効果が、平面設計図映像においてより有効であったことを示唆している。

2) 臨場感の結果

臨場感の結果について、「Q8. 実空間にいるような」(図 4.12) の項目は、ディスプレイの主効果に有意差 ($F(1,29) = 10.487, p < .01$)、コンテンツの主効果に有意差 ($F(1,29) = 13.718, p < .01$)、映像種類の主効果に有意差 ($F(1,29) = 32.648, p < .01$) がそれぞれ認められた。また、ディスプレイ×コンテンツの単純交互作用が有意であり ($F(1,29) = 8.534, p < .01$)、下位検定の結果の TV-B3D と HMD-B3D、TV-B2D と HMD-B2D 間に有意差が認められた。

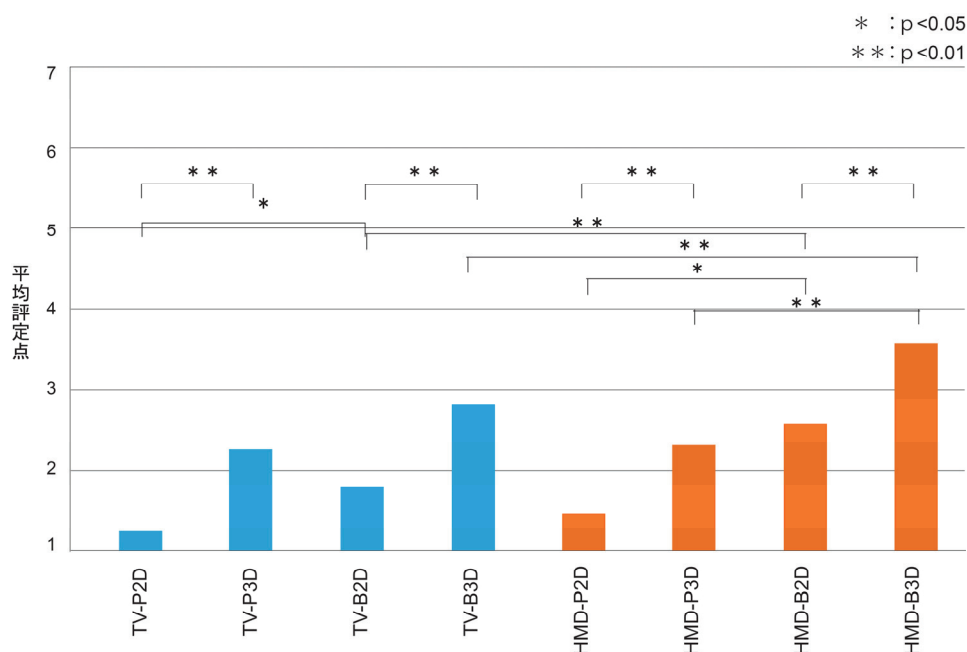
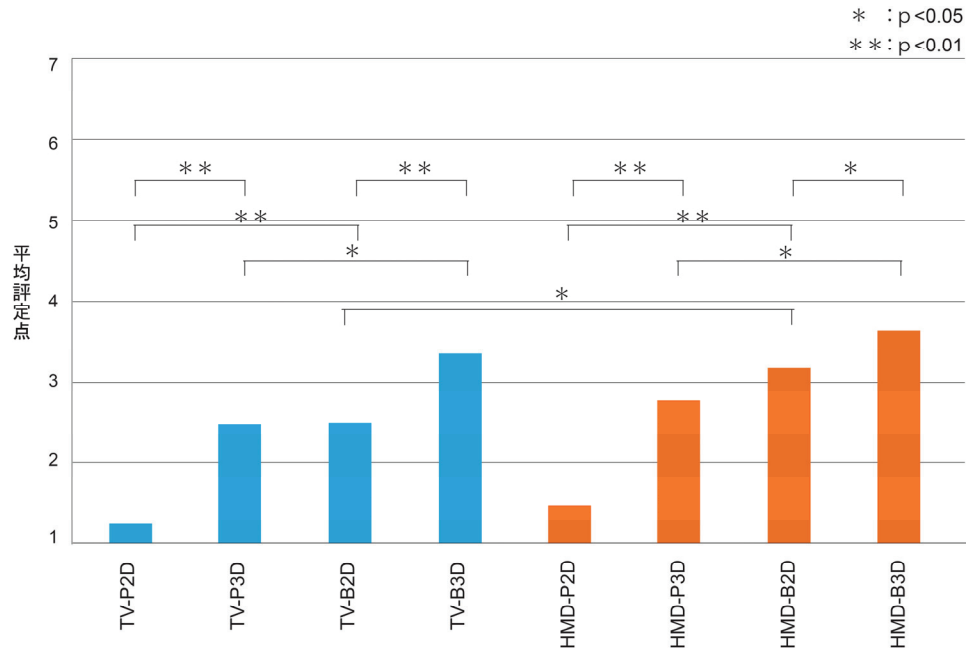


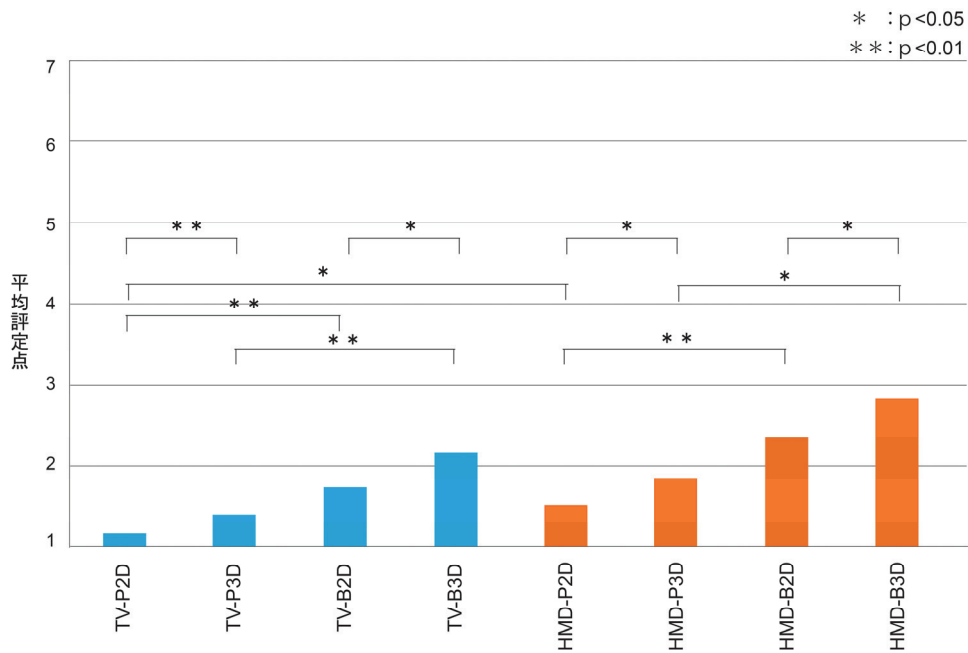
図 4.12 「Q8. 実空間にいるような」の臨場感の結果

続いて、「Q10. 現実感がある」、「Q11. 自分が動いている」という項目でも、ディスプレイやコンテンツ、映像種類の主効果に有意差が認められた。同時に、コンテンツ×映像種類の単純交互作用が ($F(1,29) = 6.853, p < .05$) 有意であった。「Q10. 現実

感がある」、「Q11. 自分が動いている」の結果を図 4.13 に示す。



(a) 「Q10. 現実感がある」の臨場感の結果



(b) 「Q11. 自分が動いている」の臨場感の結果

図 4.13 臨場感の結果

臨場感の項目では、3D 条件において HMD 条件と TV 条件ともに、平面設計図より建物映像の方が高く評価された。3D 条件での平面設計図映像の評価は立体感では高く評価され、臨場感では低く評価されたという結果は、2D/3D 変換の特徴的な効果であると考えられる。各要因において主効果が認められた。ディスプレイの評価で TV より HMD の得点が高く評価される傾向にあり、HMD 特有の特徴が臨場感の印象にポジティブな影響を与えることを確認した。また、インタビューでも「映像に集中しやすかった」、「現実感がある」という意見が多く挙げられた。一方、HMD の重さや装着に対して痛みや疲労感を報告する被験者がおり、長時間の鑑賞では、困難が予想される。

3) スケール感の結果

スケール感について、「Q1. 建築物の構造が分かりやすい」の平均評定点を、図 4.14 に示した。

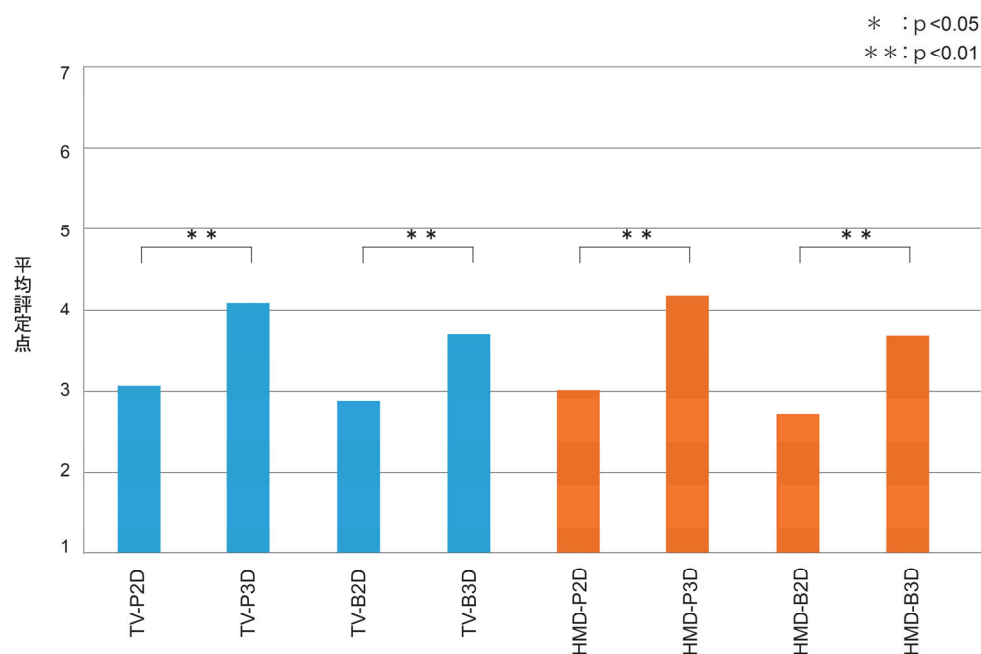


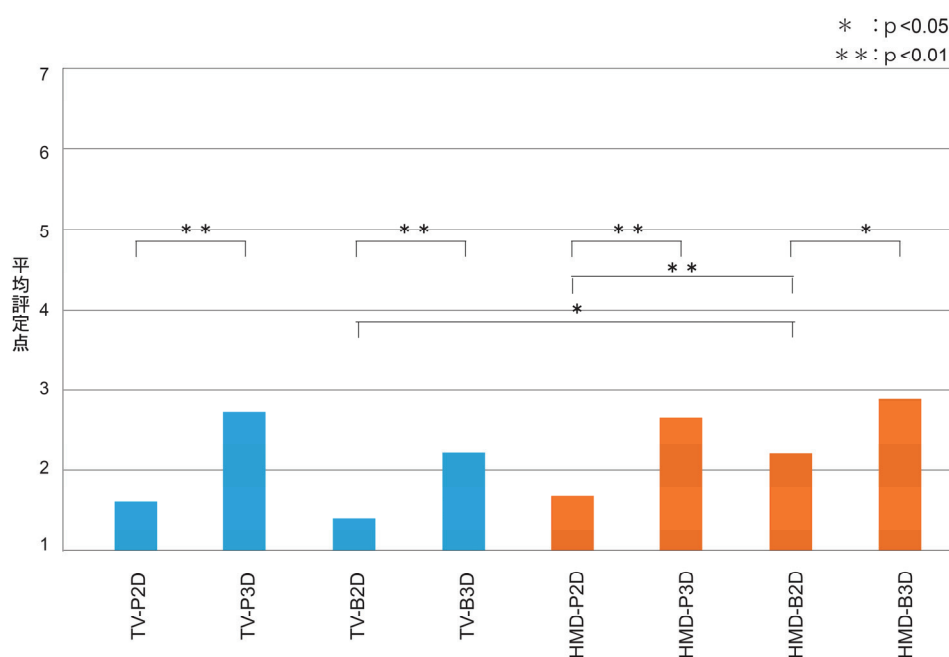
図 4.14 「Q1. 建築の構造が分かりやすい」のスケール感の結果

「スケール感」では、映像種類の主効果に有意差 ($F(1,29) = 61.780, p < .01$) があったが、ディスプレイとコンテンツの主効果はなく、交互作用もなかった。スケール感の結果では、図 4.13 に示したように映像種類間での有意は見られたが、ディスプレイ

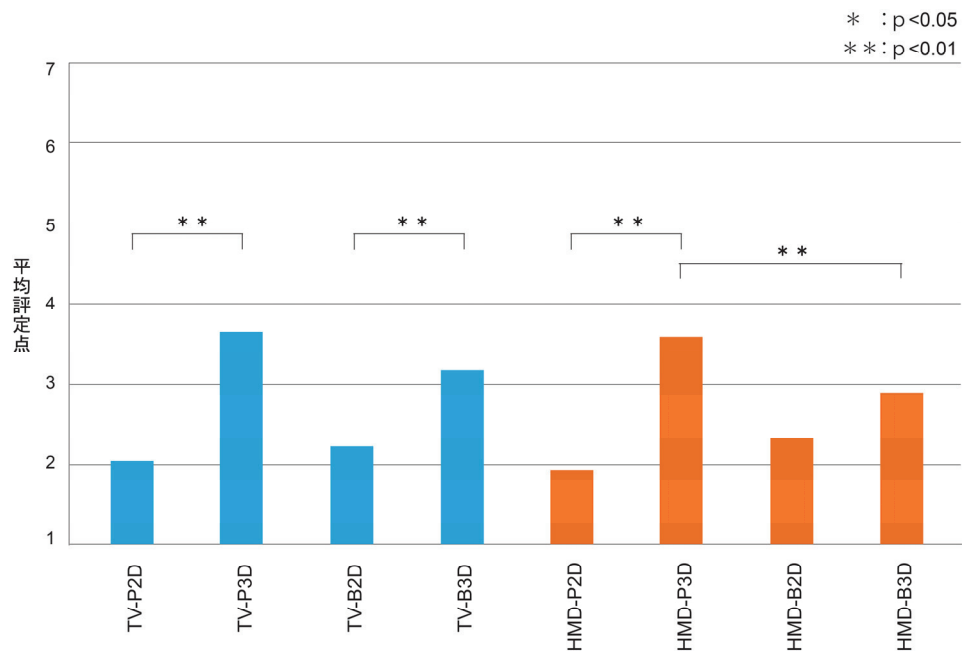
やコンテンツの交互作用は認められなかった。インタビューでは、「立体感があり、建物の構造が分かりやすかった」、「建物の大きさが想像できた」などのポジティブな意見が多く挙げられた。これは、立体感の影響で、建物の形状や大きさなどスケール感の印象変化に影響があることを確認した。一方、ディスプレイとコンテンツ要因は、スケール感について直接の影響は見られなかった。「スケール感」の項目でも、立体感の項目と同じように、TV-P-3D と HMD-P-3D 条件が、他の条件に比べて高く評価された。この結果から、スケール感と立体感との関連性が示唆された。

4) 興味度の結果

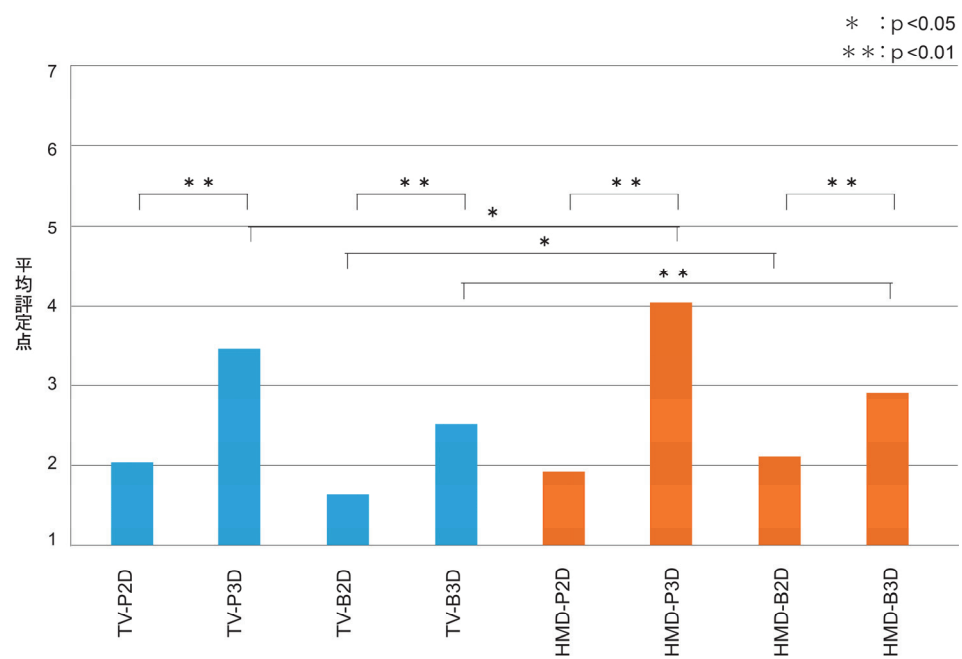
興味度の結果については、「Q12. 楽しい気分になる」、「Q13. 建築物の印象が残しやすい」、「Q15. 面白い」の平均評定点を、図 4.15 (a) ~ (c) に示した。



(a) 「Q12. 楽しい気分になる」の興味度の結果



(b) 「Q13. 建築の印象が残りやすい」の興味度の結果



(c) 「Q15. 面白い」の興味度の結果

図 4.15 興味度の結果

まず、興味度の結果の「Q13. 建築物の印象が残りやすい」において、映像種類の主効果に有意差 ($F(1,29) = 59.807, p < .01$) があり、コンテンツ×映像種類の単純交互作用が ($F(1,29) = 19.907, p < .01$) 有意であった。下位検定の結果、HMDP3D と HMDB3D の間に有意差が認められた。次に、「Q15. 建築物の興味がわく」の項目では、コンテンツの主効果に有意差 ($F(1,29) = 7.565, p < .01$)、映像種類の主効果に有意差 ($F(1,29) = 73.499, p < .01$) がそれぞれ認められた。また、ディスプレイ×コンテンツ×映像種類の単純交互作用が有意であり ($F(1,29) = 29.000, p < .05$)、下位検定の結果の TV-P3D と HMD-P3D、TV-B3D と HMD-B3D 間に有意差が認められた。

興味度の結果では、全部の要因で主効果が認められた。コンテンツに関するインタビューでは、平面設計図の 3D 化の表現について「建物に興味がわく」、「面白い」などの意見があり、平面設計図の 3D 化の呈示が立体視アーカイブを構築することの有効性が示唆された。また、ディスプレイにおいても、TV と HMD 間での有意差が見られ、ディスプレイが興味度の印象変化に影響を与えることを確認できた。「興味感」項目でも、同様に TV-P-3D と HMD-P-3D の条件で高い評定点を得た。また、この 2 つの条件においては、TV 条件より HMD 条件の方が高く評価された。この結果から、興味のレベルを高める効果が HMD でより効果的であったと考えられる。

5) 映像酔いの結果

最後に、映像酔いについては、各要因の主効果や交互作用は認められなかった。

インタビューでは、「短時間なので、映像酔いについてはあまり感じられなかった」という意見が挙げられたが、一方「長時間になると映像酔いの発生が予想される」ということを報告され、長時間コンテンツへの印象変化に関する検討が必要である。

4. 6 まとめ

本研究では、文化遺産の 3 次元建造物の高臨場感表現のための没入型ディスプレイとして、HMD を用いた。また文化遺産の対象として、日本の近代化産業遺産のファサードを用い、文化遺産コンテンツを制作した。さらに、遺産の持つ歴史的、文化的理解を支援する側面から、設計平面設計図を立体化し、形状の理解や興味度について、その効果や有効性について人間工学的評価を通して検討を行った。その結果、以下の 3 点が明

らかとなった。

- (1) 没入型ディスプレイの HMD を用いることは、文化遺産の 3 次元建造物の臨場感や興味度を向上させる点で効果的である。
- (2) 平面設計図の 3D 化の表現は、3 次元建造物のスケール感を向上させる傾向があり、建造物の理解を効果的に支援する。
- (3) 平面設計図の 3D 化は、違和感なく表現可能であり、コンテンツへの興味度を高めるなど、新たな表現手法として効果的である。

今回の実験では、印象評価のために、短時間のコンテンツを使用した。立体映像は、鑑賞時間によって、印象変化が予想される。今後、長時間のコンテンツを用いて、印象変化の検討を行いたいと考えている。特に、コンテンツとディスプレイの認知特性の観点から、立体視アーカイブの臨場感を向上させる手法や効果について検討を試みたいと考えている。

参考文献

- 1) 河合隆史, 岩崎常人, 井上哲理, 野呂影勇: “ヘッド・マウント・ディスプレイの視機能に与える影響”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 4(1), pp.275-280 (1999)
- 2) 小島武, 松田一朗, 青森久, 伊東晋: “頭部搭載型プロジェクタを用いた映像呈示システム”, 映像情報メディア学会技術報告 34(32), pp.25-28 (2010)
- 3) 玉田浩之, 松岡恵悟: “GIS を用いた京都市の近代化遺産データベースの構築と現存状況の分析(建築歴史・意匠)”, 日本建築学会技術報告集, 14(28), pp.617-620 (2008)
- 4) 経済産業省: “近代化産業遺産群統 33”,
<http://www.meti.go.jp/press/20090206001/20090206001-2.pdf> (2013)
- 5) JVC KENWOOD: “JVC KENWOOD Co., Ltd”
http://www.jvckenwood.co.jp/press/2010/12/press_101215_02.html (2013)
- 6) Kawai.T, Shibata.T, Mochizuki.T, and Noro. K, “Production of stereoscopic 3D movies of a Spanish monastery for a digital archive”, Proc. SPIE 3957, pp.284-287 (2000)
- 7) 河合隆史, 盛川浩志, 太田啓路, 阿部信明: 3D 立体映像表現の基礎, オーム社 (2010)
- 8) 阿部信明, 太田啓路, 河合隆史: “2D/3D 変換を用いた博物館向け立体視コンテンツの主観評価”, 日本人間工学会関東支部大会, pp.170-171(2010)
- 9) Abe.N, Ohta.K, Kawai.T, Ando.K, Kakinuma.T, Fujita.K and Kudo.N: “evaluation of stereoscopic contents for a museum exhibition”, Journal of Information Display, 12(3), pp.159-165 (2011)
- 10) 岸信介, 山添崇, 柴田隆史, 河合隆史, 井上哲理, 坂口裕介, 岡部和重, 久野泰浩: “2 眼式立体映像のコンテンツ評価システムの試作”, 映像情報メディア学会誌, 60(6), pp. 934-942 (2006)
- 11) Yoon. H, Ohta. K, Kawai. T and Suzuki. S, : “Subjective evaluation of wide-viewing-angle stereoscopic contents in a dome theater”, Journal of Information Display, 12(3), pp.153-158 (2011)

第5章 大画面ドーム型ディスプレイにおける文化遺産コンテンツの表現

5. 1 本章の目的

本章の目的は、文化遺産コンテンツの多人数呈示を対象とした、文化遺産コンテンツの印象と視環境について検討を行うことである。本章の研究では、文化遺産コンテンツの高臨場感表現のための没入型ディスプレイとして、多人数鑑賞が可能な大画面ドーム型ディスプレイを用いた。また文化遺産として、ニュージーランド・エジプト・日本の自然遺産や文化遺産を中心として、その街に暮らす子どもたちの視線から世界遺産を語るというストーリーのドキュメタリー型コンテンツを用いた。

ドームシアターでは、現地でしか見ることができない巨大な自然環境などを広視野かつ立体映像として呈示ができる。そのため、教育分野の体験学習や映画、観光産業などにおいて活用が期待されている。このような、ドームシアターの研究・取り組みは、急速に進められている。例えば、柴野らは、マルチプロジェクタを用いたスケーラブル大型ドームシアターCyberDomeを提案している¹⁾。中島らは、レイヤ分割法による没入型ドーム映像の制作や呈示方法を行っている²⁾。こうしたドームシアターの開発は幅広い研究を行っている。しかし、ドームシアター向けのコンテンツが、鑑賞者にどのような印象を与えるかに関する議論は十分に行われていない。

また、ドームシアターは、座席位置による見え方が通常のスクリーンに比べ大きく異なるが、その座席位置について、鑑賞者に与える印象の評価はあまり行われてない。通常の映像コンテンツの評価については、呈示環境の違いから生じる、映像鑑賞の際の印象の違いについては、様々な面から調査され、問題の原因やその解決方法が報告、提案されている。

本研究では、ドームシアターにおける多人数向けの文化遺産コンテンツ呈示の有効性について検討した。さらに、ドームシアターの座席位置が、鑑賞者に与える印象について実験的検討を行った。

5. 2 大画面ドーム型ディスプレイ

近年の視覚ディスプレイ技術の進歩に伴い、人間の視界を広視野の立体映像で覆うことにより、臨場感の高い映像が呈示可能なシステムが開発されている^{3) 4) 5)}。その一つ

に、ドームシアターに代表されるドーム形状をした没入型ディスプレイが挙げられる。これは、水平角 100 度、垂直角 85 度以上の大型・半球状のスクリーンに映像コンテンツを呈示するシステムの総称である。



図 5.1 ドームシアター（出典：日本科学未来館）

文化遺産コンテンツは個人向けのコンテンツから多人数向けのコンテンツなど様々な種類がある。多人数向けのコンテンツの場合、映画館の映画上映と同様に、平面型スクリーンを用いたシアターを用いて公開を実施するのが一般的である。この平面型スクリーンでは、鑑賞者の視野を覆うためには巨大なスクリーンが必要となることや、鑑賞位置により見え方が異なり、前方や後方での全鑑賞は一般には適当でない鑑賞条件となっている。

このような平面型スクリーンのもつ課題を解決して、コンテンツの臨場感や興味度を向上させるため、近年、ドームシアターの使用が期待される。しかし、ドームシアターは、ヒトに与える印象にいて、どのような差異があるのかについては未知の点が多い。

本研究では、ドームシアターにおける多人数向けの文化遺産コンテンツ呈示の有効性について検討を行った。

5. 3 大型立体映像コンテンツの評価

5. 3. 1 実験目的

近年、ドームシアターは、多人数向けの巨大な3次元建造物や自然遺産を素材とした文化遺産のドキュメンタリーを呈示するのに適切なディスプレイとして期待されている。その理由として、一般シアターで用いられる通常の大画面平面型ディスプレイと違い、様々な座席位置から様々な角度で鑑賞することを考慮したディスプレイとなっていることがあげられる。

一般シアターの場合、呈示するスクリーンの画面は正面の一つのみで大きさも位置も変化がないため、座席位置によって視野角の変化がある。しかし、ドームシアターの場合、すべての鑑賞者にとって、スクリーンが全視野を覆う形で設置されているので、座席位置によって正面にあたるスクリーンが異なり、つまり呈示されるスクリーン画面が座席位置によって変化が生じる(図5.2)。

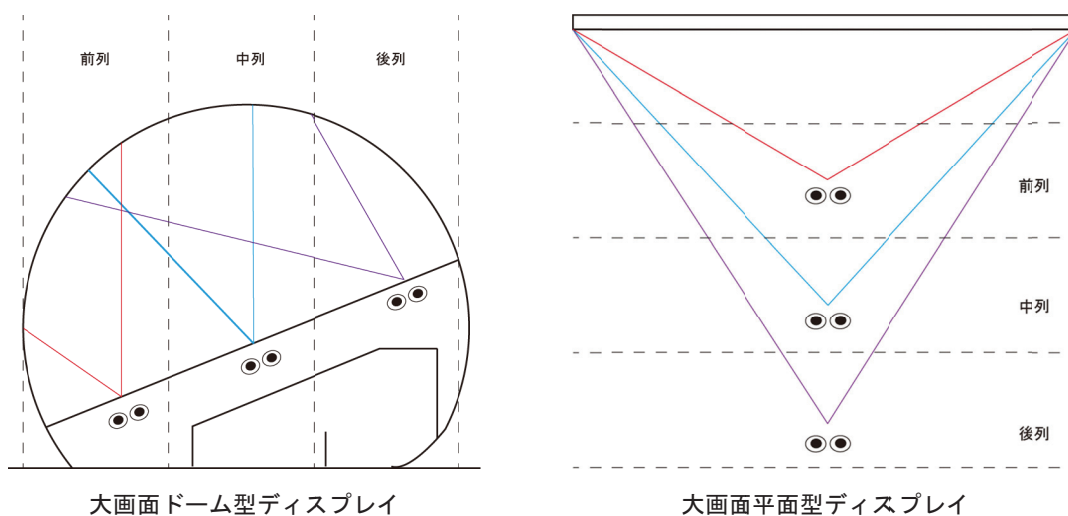


図 5.2 大画面ディスプレイの比較

ドームシアターは大きなスクリーンや多人数で、3D 映像コンテンツを鑑賞する際には、視聴する位置によってそれぞれ見える範囲が異なり、形状情報に差異が生じるため、印象が異なってしまう可能性もある。このようなドームシアターでの文化遺産コンテンツ呈示の有効性については、報告も少なく、調査する必要がある。

本章では、巨大な文化遺産を 2D/3D 変換技術を用いて立体映像化した文化遺産コン

テンツを用いた実験を実施した。ここでは、文化遺産コンテンツを没入型ディスプレイの一つであるドームシアターで呈示することで臨場感ある呈示が可能となるのか、またドームシアターでコンテンツの印象変化を調査するため、座席位置を前列、中列、後列に分けてコンテンツの印象変化を調査した。

5. 3. 2 実験環境

実験に用いた日本科学未来館ドームシアターガイア⁶⁾は、直径 15.2 メートル、傾斜角 23.5 度、席数 112 席である。図 5.3 にドームシアターの内観や観覧風景を示す。



(a) ドームシアターガイアの内観



(b) ドームシアターガイアの観覧風景

図5.3 評価用コンテンツを呈示した環境（出典：日本科学未来館）

また、立体視映像投影については、Atmos（Allsky Three-d Movies for Sentients、株式会社五藤光学研究所）という全天周・超高精細立体視映像システムを採用している（図 5.4）⁷⁾。

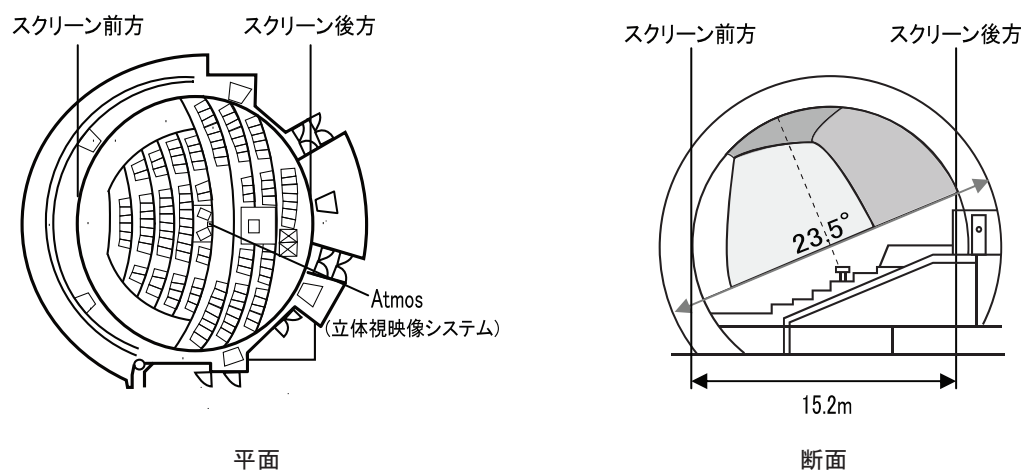


図5.4 ドームシアターガイアの概略図

これは、単体光出力 10000 ルーメン、画面解像度 4K×4 の 4 組のプロジェクタを使用し、3D 呈示には波長多重（Infitec）方式を採用している。

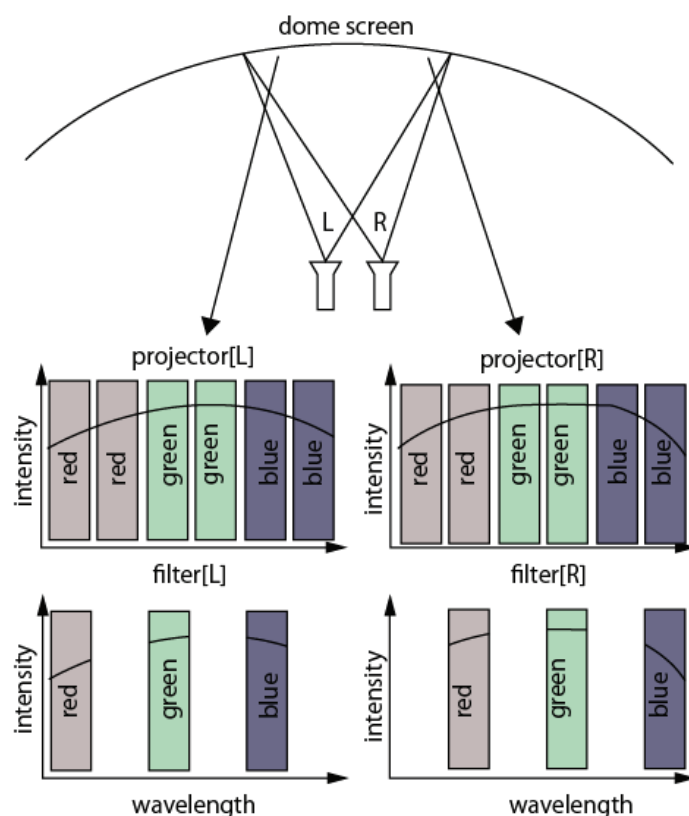


図 5.5 波長多重 Infitec 方式

現在、映画館のような大型スクリーン映像の立体視は、時分割型と偏光フィルタを用いて左右の画像を分離する偏光方式を組み合わせた方式が主流となっている。しかし偏光方式では、曲面スクリーンでは明るさが不均一となり、観客の頭の位置や傾きによってもクロストークが発生して簡単に立体感が損なわれてしまうという問題点がある。そこで、ドームシアターガイアでは、スクリーンの材質や形状に左右されない波長多重「Infitec」方式を採用している（図 5.5）⁸⁾。

波長多重方式とは、Infitec と呼ばれるフィルタを用い、左目用と右目用画像を二台のプロジェクタでスクリーン上に投影し、波長分離フィルタメガネで左目と右目画像に分離する。このフィルタは、人間の眼が感じることのできる 3 種類の色、赤・緑・青のそれぞれの波長の光を半分に分け、片方をさえぎることによって映像を分離することができる。

5. 3. 3 実験方法

評価用コンテンツを呈示する環境として、日本科学未来館にあるドームシアターガイ

アを用いた。評価用コンテンツとしては、文化遺産コンテンツである「FURUSATO」の他に、これとの比較を行うための3種類のコンテンツを用意した。

日本科学未来館のドームシアターガイアでコンテンツを鑑賞した、一般来場者を対象とした。有効回答数は313名（男性117名、女性196名）であった。評価コンテンツとしては、日本科学未来館のドームシアターガイアで上映されている、上映の順番は、文化遺産コンテンツである「FURUSATO」（これを条件1とする）から始まり、次に説明する条件2～4の映像コンテンツを続けて上映して、一日2回上映でアンケート調査を実施した。

（1）条件1：3D コンテンツ・実写（37 分間）⁹⁾

4K デジタルカメラで撮影した世界遺産や自然風景と、地球観測衛星（ALOS）から撮影した宇宙から見た美しい地球の姿を表現した作品である。3D としての特徴は、巨大な遺跡や大迫力の自然風景を、4K3D デジタルカメラによる超高精細立体映像として表現した点である（図 5.6）。



図5.6 条件1：FURUSATO—宇宙からみた世界遺産—
（出典：科学技術振興機構 日本科学未来館／TBSビジョン）

（2）条件2：3D コンテンツ・アニメーション（28 分間）¹⁰⁾

将来新薬の開発や再生医療への応用が期待されている「iPS 細胞」について、小学6年生の主人公「のぞみ」の夏休みの体験をアニメーションで紹介した映像作品である。3D としての特徴は、CG とアニメーション映像で2D/3D 変換技術を用いて制作された

立体映像である（図 5.7）。



図5.7 条件2：Young alive!～ips細胞がひらく未来～
（出典：科学技術振興機構 日本科学未来館）

（3）条件3：3D コンテンツ・CG（Computer Graphics）（25 分間）¹¹⁾

私たちが見慣れた日常の空間と、壮大なスケールの宇宙とをつないでいく物語を 3D プラネタリウムとして表現した作品である。この作品も 2D/3D 変換技術を用いて制作された立体映像である（図 5.8）。

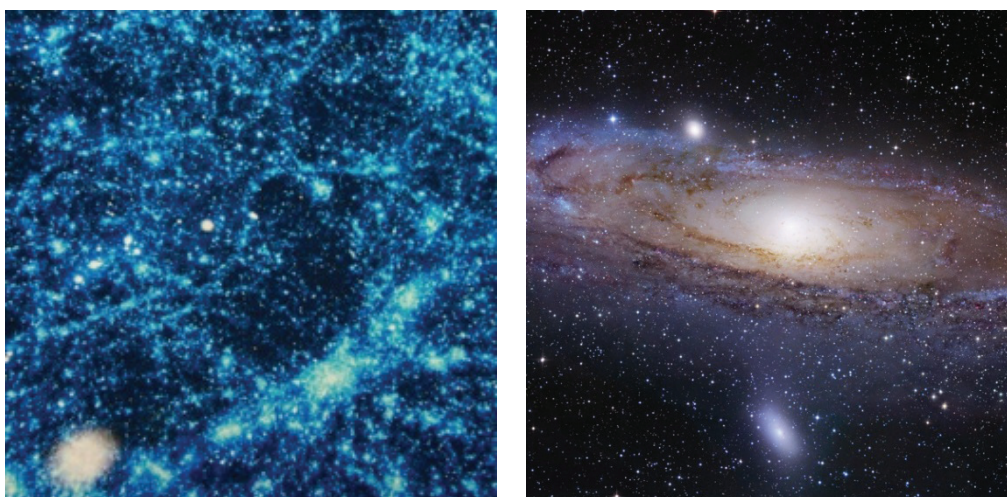


図5.8 条件3：パースデー宇宙とわたしをつなぐもの
（出典：4D2U Project、NAOJ）

(4) 条件4：2D コンテンツ・CG (25 分間)¹²⁾

地球上のさまざまな地域から見える星空を、2D プラネタリウムとして表現した作品である。3D メガネなしで観覧が可能な 2D 作品である (図 5.9)。

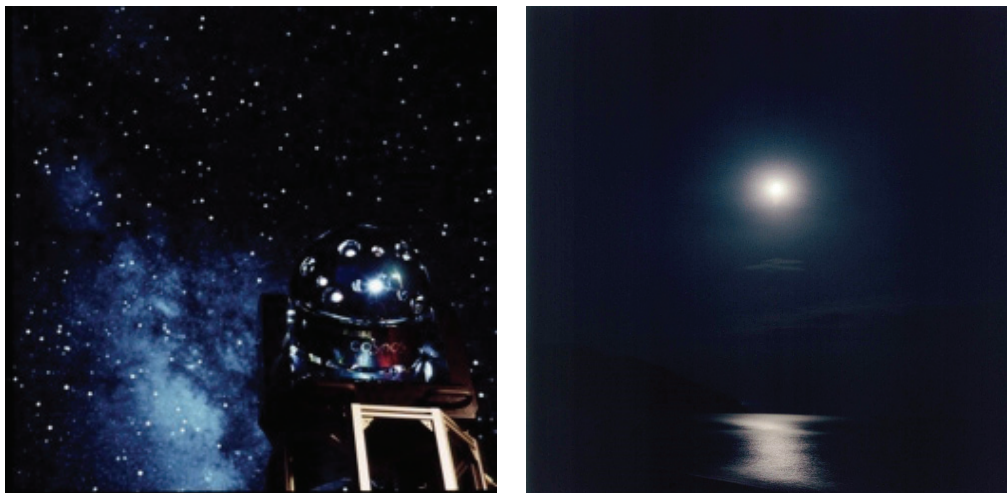


図5.9 条件4：夜はやさしい
(出典：科学技術振興機構 日本科学未来館／Chieko Kobayashi)

アンケートの調査項目にあたっては、来場者の性別、年齢などの属性について質問し、また、ドームシアターでの各コンテンツに対する印象および座席位置に関連する質問を設定した (図5.10)。

ドームシアターガイアに関するアンケート

本日は日本科学未来館にお越しいただき、誠にありがとうございます。

今後のドームシアターガイアの改善および学術研究のため、以下のアンケートにご協力ください。所要時間は5分ほどです。

※本アンケートの結果はドームシアターガイアの改善および学術研究以外一切使用いたしません。

1. 性別

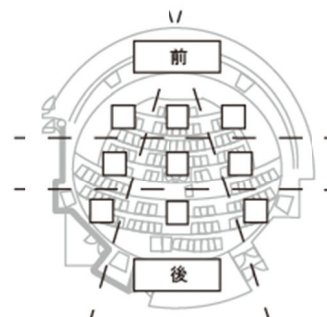
☐ 男性 ☐ 女性

2. 年齢

☐ 10才未満 ☐ 10代 ☐ 20代 ☐ 30代
☐ 40代 ☐ 50代 ☐ 60代以上

3. 座席の位置

右図の口チェックをしてください



4. 立体映像の経験について

☐ 初めて見た ☐ たまに見る ☐ よくみる

5. ご覧になった映像作品について以下にお答えください。(それぞれ4段階で)

- | | | | | | | |
|-------------------------------|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------|
| A. 奥行き感を感じましたか？ | まったく感じなかった | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | とても感じた |
| B. 目の疲れを感じましたか？ | まったく感じなかった | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | とても感じた |
| C. 作品の中にいるように感じましたか？ | まったく感じなかった | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | とても感じた |
| D. 作品内の空間が現実のサイズや広さに感じましたか？ | まったく感じなかった | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | とても感じた |
| E. リラックスして作品を鑑賞できましたか？ | まったく感じなかった | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | とても感じた |
| F. 作品テーマやストーリーへの興味を覚えましたか？ | まったく感じなかった | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | とても感じた |
| G. 音楽・立体音響(BGM、効果音)は快適でしたか？ | まったく感じなかった | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | とても感じた |
| H. 作品は観る前に予想していたものと異なっていましたか？ | まったく感じなかった | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | とても感じた |

6. 作品中で印象に残ったキーワードやシーンはありましたか？以下にお書きください。

7. 全天を覆うドーム環境ならではのシーンとして印象に残ったものはありましたか？以下にお書きください。

8. 立体感のあるシーンで印象に残ったものはありましたか？以下にお書きください。

9. その他、ご自由にお書きください。

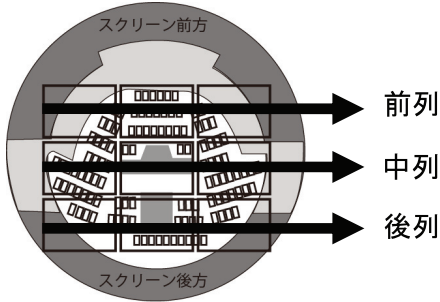
ご協力ありがとうございました。(日本科学未来館・早稲田大学 理工学術院 河合隆史研究室)

図 5.10 ドームシアターガイア向けコンテンツ評価のアンケート用紙

調査用紙は、鑑賞者がコンテンツの上映後、ドームシアターの出口でアンケートを配布し、回答を求め、それらを回収した。

解析には、アンケート3番の座席位置や5番のA~Fを用いて分散分析を行った。ドームシアターでのコンテンツの印象に関する6つの質問項目（立体感、眼の疲労感、臨場感、スケール感、リラックス感、作品への興味）に対して4件法での回答を求めた(表5.1)。

表5.1 解析の項目

項目	質問項目	
3. 座席位置		
5. 印象評価	A. 立体感をかんじましたか？	Q5. 立体感
	B. 目の疲れを感じましたか？	Q6. 眼の疲労感
	C. 作品の中にいるように感じたか？	Q7. 臨場感
	D. 作品の空間が現実のサイズや広さに感じましたか？	Q8. スケール感
	E. リラックスして作品を鑑賞できましたか？	Q9. リラックス感
	F. 作品テーマやストーリーへの興味が覚えましたか？	Q10. 作品への興味

5. 3. 4 結果と考察

ドームシアターの印象評価の評定点を比較した結果、ほぼ全ての質問項目で条件1・条件2・条件3の評定点が高く、ドームシアターでの3Dコンテンツが高く評価されるのを確認した。

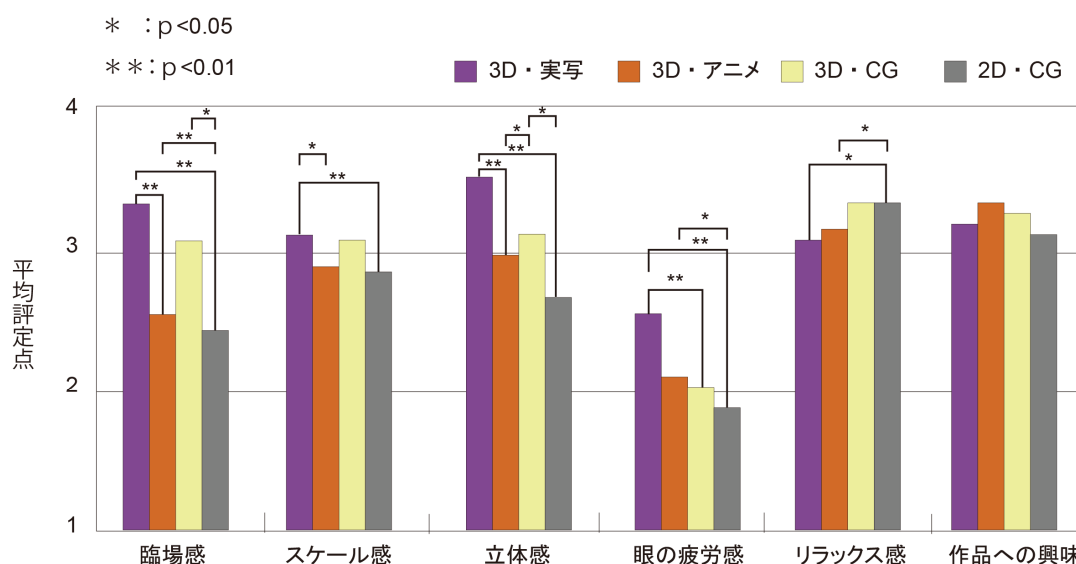


図5.11 各条件における質問項目に対する評定結果

図 5.11 には各条件の各質問項目の平均評定点を示す。各条件での質問項目に対する評定点について分析を行った。各項項目につけられた「*」「**」の記号はそれぞれ有意水準 5%未満 ($p<0.05$)、1%未満 ($p<0.01$) の項目であることを示している。「Q5 立体感」、「Q6 眼の疲労感」、「Q7 臨場感」、「Q8 スケール感」および「Q9 リラックス感」の質問項目についてはそれぞれ有意水準 1%未満、5%未満で有意な差が検出された。

この結果により、まず「Q5 立体感」、「Q7 臨場感」、「Q8 スケール感」の質問項目については、2D コンテンツ条件 4 に比べ 3D コンテンツ、条件 1・条件 2・条件 3 の評定点が高く評価される傾向がみられた。下位検定の結果、それぞれ有意に高く評価されていたことが認められた。このことから、ドームシアターでの 3D 呈示は臨場感やスケール感を向上する効果があることが考えられる。このことは、ドームシアターは文化遺産呈示における立体感とスケール感、臨場感を向上させるディスプレイであることを示している。

一方、「Q6 眼の疲労感」については、条件 1、条件 2、条件 3、条件 4 の順で評定点

が高く評価され、3D コンテンツの条件 1・条件 2・条件 3 が 2D コンテンツの条件 4 より評価点が高く評価され、眼の疲労感が高いと考えられるが、条件 1 を除いた条件 2 と条件 3 は、2D コンテンツの条件 4 との評定点の差はあまり大きくなかった。

これは、コンテンツの呈示方法より、条件 1 の文化遺産コンテンツの特徴である視差量によって眼の疲労感が高くなったと考えられる。

「Q9 リラックス感」については、3D コンテンツの条件 3 と 2D コンテンツの条件 4 の評定点が高く評価された。最後に、「Q10 作品への興味」の質問項目については、有意な差はみられなかった。

次に、座席位置については、前列・中列・後列の 3 グループに分類し、グループ毎の評定点について分析を行った。

各質問項目のグループ別の結果を、図 5.12～図 5.17 に示した。

1) 臨場感の結果

分散分析の結果、ほぼ全ての質問項目で座席位置の違いの主効果に有意差 ($p<.05$) が認められた (図 5.12)。下位検定の結果、3D コンテンツの条件 1、条件 2、条件 3 では、前列と後列の間で有意が認められたが、2D コンテンツの条件 4 では前列と中列で有意が認められた。このことから、3D で呈示された条件では、座席位置が後方になるに従い、評定点が上昇しているのに対し、2D で呈示された条件 4 では、中列が最も高く評価されていることが分かる。

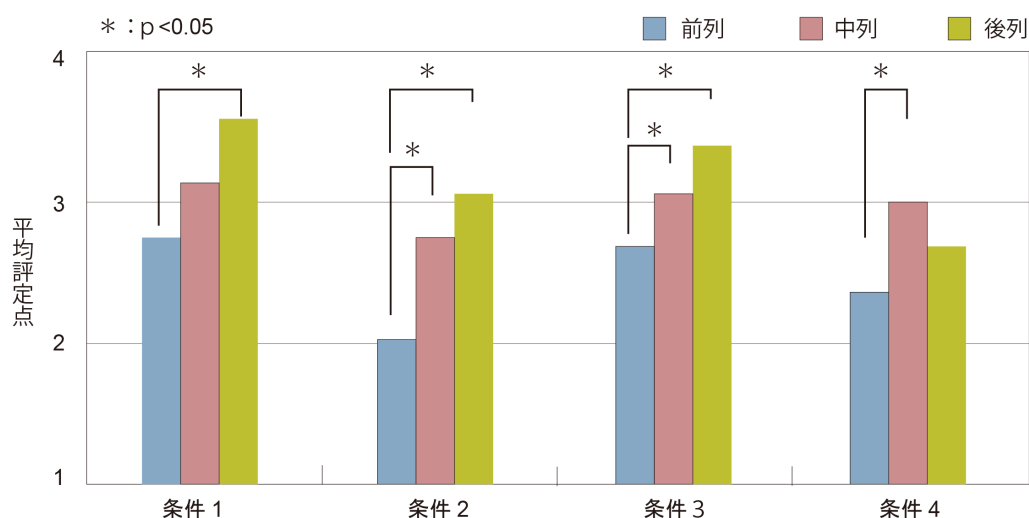


図 5.12 臨場感の評定結果

ドームシアターでの臨場感は、3D コンテンツは後列、2D コンテンツは中列の方が高く評価されて立体感の結果と似ている傾向にあった。これは立体感の適切な座席位置は臨場感に影響を与えると考えられる。

また、条件1 文化遺産コンテンツの場合、条件2 と条件3 の3D コンテンツより臨場感が全座席で全般的に高く評価され、ドームシアターでの文化遺産を多数人に呈示する有効な呈示方法であることが示された。

2) スケール感の結果

分散分析の結果、立体感や臨場感と似ている結果であった。座席位置の違いの主効果に有意差 ($p<.05$) が認められた (図 5.13)。下位検定の結果、「Q5 立体感」や「Q7 臨場感」、「Q8 スケール感」の質問項目については、3D コンテンツの条件1、条件2、条件3 では、前列と後列の間で有意が認められたが、2D コンテンツの条件4 では前列と中列で有意が認められた。

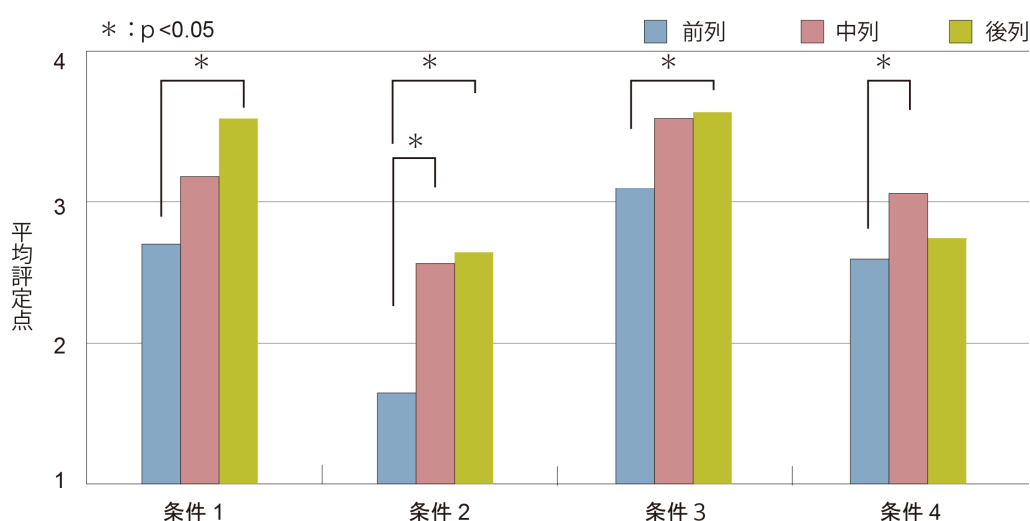


図 5.13 スケール感の評価結果

3D コンテンツの場合は後列でスケール感が高く評価された。これは、立体感と関連があり、適切な立体感の座席位置がコンテンツのスケール感の印象変化に影響を与えると考えられる。また、臨場感の結果と似ている傾向であり、巨大な文化遺産を多人数の対象で呈示する場合にドームシアターは有効であると考えられる。

3) 立体感の結果

分散分析の結果、座席位置の違いの主効果に有意差 ($p<.05$) が認められた (図 5.14)。下位検定の結果、3D コンテンツの条件 1、条件 2、条件 3 では、前列と後列の間で有意が認められたが、2D コンテンツの条件 4 では前列と中列で有意が認められた。

このことから、ドームシアターはコンテンツの呈示方法によって立体感の適切な位置が存在すると考える。

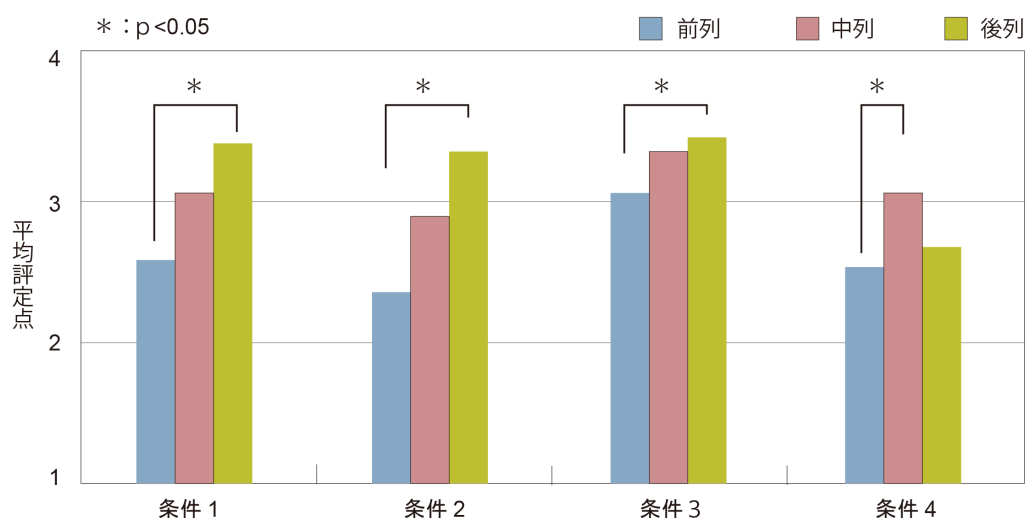


図 5.14 立体感の評定結果

4) 眼の疲労感の結果

「Q6 眼の疲労感」は、3D コンテンツの条件 1、条件 2、条件 3 では、前列と中列及び前列と後列の間に有意が見られたが、2D コンテンツの条件 4 では、前列と中列の間の有意が見られた (図 5.15)。

ドームシアターは 2D コンテンツが 3D コンテンツより目の疲労感について平均評点が低く評価されたが、座席位置では前列が全条件で高く評価された。これは、コンテンツ呈示の方法よりドームシアターの前列がスクリーンとの距離が近いために、曲面のスクリーンの影響で高く評価されたと考えられる。

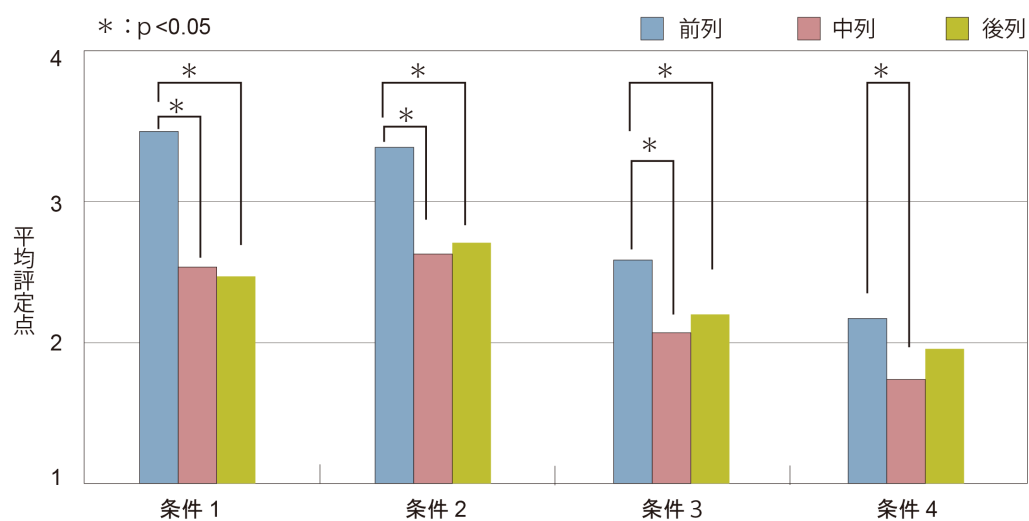


図 5.15 眼の疲労感の評価結果

5) リラックス感の結果

「Q9 のリラックス感」に関しては、条件 1、条件 2、条件 3 では前列と中列の間に有意が認められたが、2D コンテンツの条件 4 では有意は認められなかった (図 5.16)。

リラックス感は、立体感や目の疲労感と関連がある項目である。中列と後列が高く評価され、座席位置とスクリーンの距離と関連があると考ええる。

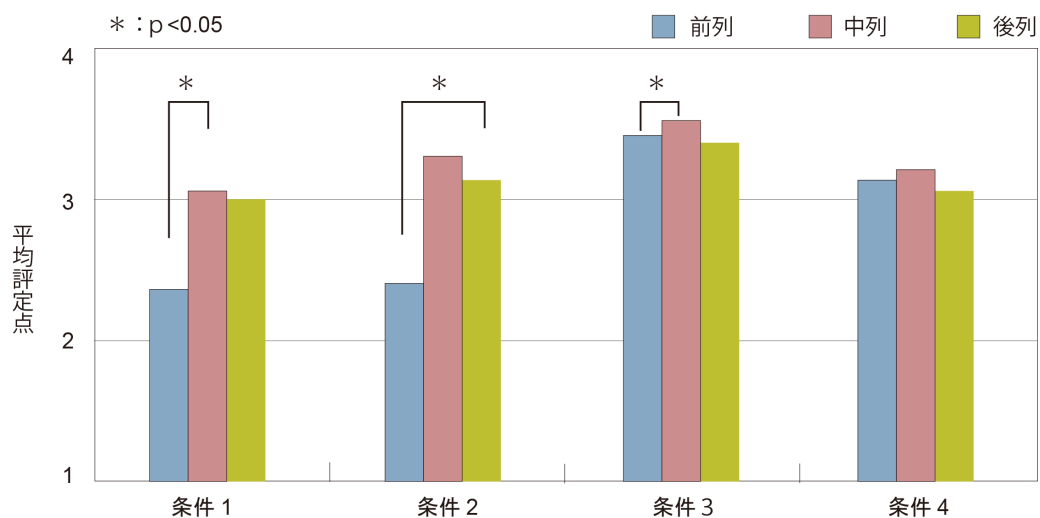


図 5.16 リラックス感の評価結果

6) 作品への興味の結果

最後に「Q10 作品への興味」については、3D コンテンツと 2D コンテンツの全ての条件で有意は認められなかった（図 5.17）。

全般的に 2D コンテンツより、3D コンテンツの方が高く評価され、ドームシアターでの 3D コンテンツ呈示は有効であると考えられる。

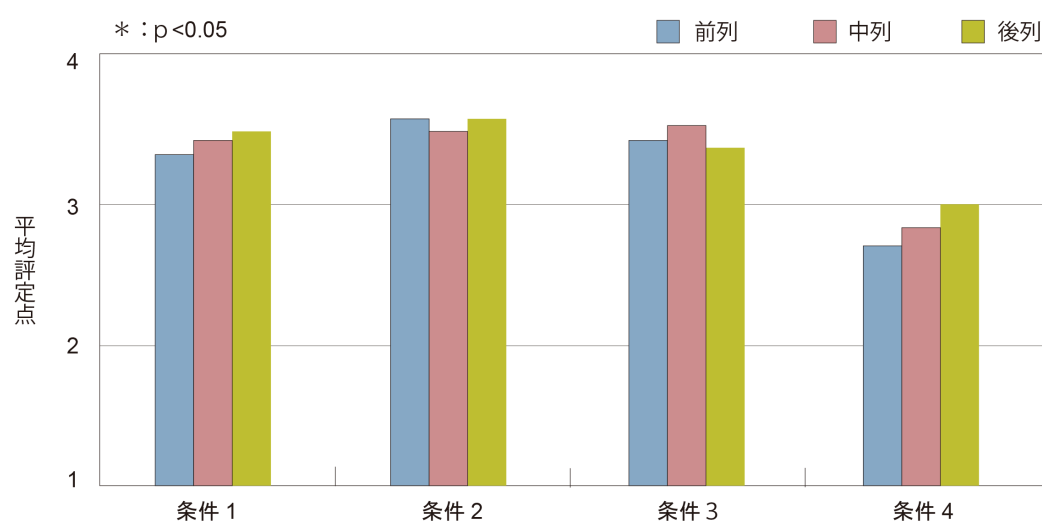


図 5.17 作品への興味の評価結果

5. 4 まとめ

本章では、文化遺産コンテンツの多人数呈示を対象とした、大画面ドーム型ディスプレイの視環境を検討した。

- (1) ドームシアターにおけるコンテンツの 3D 呈示は、臨場感やスケール感などを高くする可能性があることから、ドームシアターでの文化遺産コンテンツの呈示は平面型ディスプレイよりも有効である。
- (2) ドームシアターは、巨大な文化遺産を違和感なく、正しい形状感で表現するディスプレイとして効果的である。
- (3) ドームシアターで多人数向けに文化遺産コンテンツを呈示する場合、鑑賞位置により印象が異なる可能性がある。

今後の課題として、ドームシアターの特徴を活かして、さらに鑑賞位置による印象の違いを少なくするためには、コンテンツ制作の工夫が必要と考えられる。

また、以下の3つの点について検討したい。

- ・ 通常の平面型 3D ディスプレイとドーム型ディスプレイを比べること
- ・ 同様なコンテンツを用いて 3D 条件と 2D 条件を比較すること
- ・ インタビューによる詳細な調査、客観評価も含めた詳細な調査を行うこと

について検討を引き続き行っていく。

参考文献

- 1) 柴野伸之, 柏木正徳, 澤田一哉, 竹村治雄: “小型半球面スクリーンを用いた没入型視覚ディスプレイの開発”, 日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 6, pp.393-396 (2001)
- 2) 中島義和, 小木哲朗, 茅原拓朗: “レイヤ分割法による没入型ドーム映像の制作・提示・配信手法の開発”, 戦略的情報通信研究開発推進制度, 第5回成果発表会 (2009)
- 3) 小木哲朗, 林正紘, 藤瀬哲朗: “簡易没入型ディスプレイ CC Room の開発と映像生成手法”, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 11(3), pp.387-394 (2006)
- 4) M. Kim, Y. Nakajima, T. Takeshita, S. Onogi, M. Mitsuishi, Y. Matsumoto, “Multi-layered contents from real world scene by three-dimensional measurement,” International Conference on Computer Vision Theory and Applications (VISAPP2009) Proc(1), pp.109-112 (2009)
- 5) T. Ogi, M. Hayashi, M. Sakai, “Room-sized immersive projection display for tele-immersion environment,” 17th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT 2007), pp.79-86 (2007)
- 6) 日本科学未来館: <http://www.miraikan.jst.go.jp/dometheater/> (2011)
- 7) コンセプトが技術を生む日本科学未来館にドームシアターガイア、Geo-Cosmos を訪ねる (特集 1 大型映像システム開発事例), 映像情報 industrial 映像情報 industrial 34(9), pp.13-15 (2002)
- 8) H. Jorke and M. Fritz: “Stereo projection using interference filters,” Proc. SPIE 6055, 60550G (2006)
- 9) FURUSATO-世界から見た世界遺産: <http://www.furusato-movie.com/> (2013)
- 10) Young Alive ! iPS 細胞がひらく未来: <http://www.miraikan.jst.go.jp/sp/youngalive/> (2013)
- 11) バースデー宇宙とわたしをつなぐもの: <http://www.miraikan.jst.go.jp/sp/birthday/> (2013)
- 12) 夜はやさしい: <http://www.miraikan.jst.go.jp/sp/night/> (2013)

第6章 考察

本研究では、文化遺産3次元建造物の公開用コンテンツを対象として、没入型ディスプレイでの表現が高臨場感表現に有効であるかを調べた。また、文化遺産の歴史・文化的な側面の理解を支援するコンテンツ表現をいくつか試みた。さらに、文化遺産コンテンツの発展に寄与することを目的とした人間工学的評価方法を試みた。

本章では、具体的に実施した3つの実験にもとづき、本研究での目的、試みについて考察を行う。

(1) 没入型ディスプレイと高臨場感表現

文化遺産コンテンツの表示に没入型ディスプレイを用いることで、コンテンツに対する現実感や鑑賞時の臨場感が向上するかを、多面型ディスプレイ（CAVE）、頭部搭載型ディスプレイ（HMD）、大画面ドーム型ディスプレイ（DOME）を用いて調べた。

人間工学的評価実験の結果からは、3種類のディスプレイすべてで臨場感に関する評価で高得点が得られた。特にHMDと通常のモニター型立体ディスプレイを比較した実験結果からは、テレビでの鑑賞に比べてHMD鑑賞で臨場感の向上が見られた。臨場感の向上は、結果として興味度についても評価が高くなる傾向であった。これらの結果から、没入型ディスプレイは立体視ディスプレイ以上に、文化遺産コンテンツの臨場感向上に有効であると言える。

臨場感が向上する理由として、すべてのディスプレイでスケール感に関する高評価を得ていたことから、没入型ディスプレイのもつ広視野表現能力をあげることができるだろう。これに加えて、CAVEでは実寸大の3次元建造物が違和感なく表現できること、HMDやDOMEシアターでは平面型ディスプレイや平面型スクリーンよりも映像への集中をしやすいなども、臨場感向上の要因となっていたと推測できる。

このような没入型ディスプレイとしての特徴以外にも、臨場感に関する点で、次のことがわかった。

- ・CAVEでの実験で用いた人物モデルでは、その人物配置を適切に設定することで、スケール感や雰囲気表現に効果的である
- ・DOMEシアターでは、座席位置によって臨場感の評価が異なり、後列での評価が高かった

一方、HMD とモニター型立体ディスプレイを比較した実験では、臨場感は HMD での鑑賞の方が高く評価されたが、立体感についてはむしろモニター型立体ディスプレイの方が高かった。原因としては、コンテンツの制作時にモニター型立体ディスプレイを用いて立体感の設計を行ったために、HMD 上では必ずしも最適な立体感とはなっていない可能性があげられる。立体感は臨場感の向上とも関連があることから、ディスプレイに適した立体感の設計に関する検討が必要と考える。

今後、文化遺産コンテンツの高臨場感表現を向上するには、各ディスプレイの立体感の設計と同時に、制作されたコンテンツ毎に適した没入型ディスプレイでの呈示が必要と考える。

(2) 文化遺産の歴史・文化的な側面

文化遺産コンテンツの高臨場感表現として、本研究では主に没入型ディスプレイによる臨場感の向上に関して実験、検討を行った。しかし、序論（第一章）で論じたように、デジタルアーカイブにもとづく文化遺産コンテンツでは、アーカイブ機能や臨場感ある表現に加えて、文化遺産の持つ歴史的、文化的な側面を表現できることが望まれる。このためには、ディスプレイの改良だけではなく、コンテンツ表現としての工夫が必要となる。

本研究では、この点に関して次のような試みを行った。

- ・遺跡コンテンツに、時代や文化を表現するための人物モデルの配置（第3章）
- ・建造物の実際の設計平面設計図を 2D/3D 変換にて立体映像化して建造物の実映像とともにコンテンツ化（第4章）

これらの要因の有無による印象評価の違いに関しては、本研究では評価が十分には行えなかったが、印象評定や実験時の被験者の感想からは、

- ・人物配置は文化遺産の時代や場所、文化の雰囲気再現する表現手法として効果的である
- ・平面設計図を 3D 化して、コンテンツに含めた手法は、スケール感や構造把握に有効であるとともに、被験者の興味度を向上させる

ことを示唆する結果を得た。

これらの結果から、今回行ったような文化の理解のためのコンテンツ上の工夫は、文化遺産コンテンツの臨場感を一層高める効果があると推測できる。

今後の文化遺産コンテンツ制作では、3次元建造物の臨場感を向上させる要素として歴史・文化的理解の表現が必要だと考えられる。今回は、遺跡に人物、建物に平面設計図を試みたが、その他の表現手法を用いて、歴史・文化的理解の表現するのが、今後の課題である。

(3) 文化遺産コンテンツの印象構造評価

文化遺産コンテンツの人間工学的評価手法として、本研究では主に印象評価を評定法により実施して、統計的分析を用いて評価を行った。この手法により、臨場感や立体感などの度合いから、没入型ディスプレイが高臨場感表現に適しているかを検討した。しかし、この手法のみでは、例えば、コンテンツのどのような点が影響するのかなど、コンテンツの高度化のための情報が評価結果からは十分に得られない課題があった。

そこで、今回、第3章に述べた CAVE を用いた遺跡コンテンツにおいて、評価グリッド法を用いた検討を行った。評価グリッド法は、人間が何を知覚してその結果どのような評価を下しているのかという認知構造を同定するための方法である。今回、評価グリッド法を用いたことで、文化遺産の好ましさに与えた影響の要因が明らかになった。その例として、文化遺産コンテンツの「臨場感がある」という原因として「実際の空間にいる感じ」があげられ、その理由は「人物の影」、「人物の視線」である。このような、印象に与えた原因と理由の関係を検討することで、文化遺産コンテンツの高臨場感表現に求められる要因が分かった。

本研究からは、文化遺産コンテンツの印象に与えた要因を把握する手法として評価グリッド法とそれに基づく印象構造の解析手法は、文化遺産コンテンツの評価に有効であり、特にコンテンツのクオリティを向上させる結果を得られる点で、文化遺産コンテンツ評価法として意義あるものと考えられる。

今回は、評価グリッド法と印象構造の解析手法のみであったが、文化遺産コンテンツ表現の適切さを評価できる人間工学的評価手法の開発をさらに行う必要がある。

第7章 結論

本研究では、文化遺産の中でも、遺跡や建造物など、3次元建造物を持った遺産の公開用コンテンツを対象として、没入型ディスプレイでの表現が高臨場感表現に有効かを調べた。また、文化遺産の歴史・文化的な側面の理解を支援するコンテンツ表現をいくつか試みた。その結果、以下の知見を得た。

- (1) 没入型ディスプレイでの文化遺産コンテンツの表示は、臨場感の向上に有効である
- (2) 没入型ディスプレイでの臨場感向上は、スケール感と関連があり、同ディスプレイの広視野という特徴が関連していると考えられる
- (3) 文化遺産コンテンツの高臨場感表現のためには、ディスプレイ毎に立体感の設計を行うことや適切な鑑賞位置を把握することが必要である
- (4) 文化遺産の歴史・文化的な側面の理解を支援する工夫として、人物モデルの配置や平面設計図の立体化などの呈示は有効である
- (5) 文化遺産コンテンツの人間工学的評価手法として、印象評定法に加えて、印象に与えた要因を把握する手法を用いることは、コンテンツの表現の適切さやクオリティ向上のために有効である

本研究で得られた知見は、文化遺産コンテンツの高臨場感表現に貢献するものと考えられる。また、本研究で得られた知見を生かした文化遺産コンテンツの表現の実用化を行うことが今後の課題である。本研究で得られた知見は、そのための手法として応用できると考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、魅力あるテーマを与えて下さり、懇切丁寧な御指導を頂きました早稲田大学理工学術院の河合隆史教授に心から感謝の意を表します。

本論文作成にあたり、貴重なご意見をいただき、ご指導いただきました、早稲田大学大学院国際情報通信研究科の安藤紘平教授、坂井滋和教授に感謝致します。そして、論文作成の全ての過程において親身なご指導をいただいた、神奈川工科大学の井上哲理教授に感謝致します。

デジタルアーカイブ分野での研究に関するご指導いただきました、国立情報学研究所の小野欽司名誉教授に感謝致します。

ドームシアターに関わる研究でお世話になりました日本科学未来館の鈴木真一朗様に感謝いたします。

英語の指導、研究の進め方でご指導いただきました、早稲田大学理工学術院の三家礼子客員准教授、徳山大学豊沢聡教授に感謝いたします。

本研究で対象とした立体映像コンテンツを制作するにあたり、多大なご協力をいただいた株式会社クオリティエクスペリエンスデザインの太田啓路さん、伊藤朝香さん、阿部信明さん、そして社員の皆さまに深く感謝致します。

様々な形でご協力・時にはご指導いただきました研究室の皆様には感謝いたします。また、被験者を務めていただきました、皆様には感謝の意を表します。そして、温かい声援をいただきました、平和中島奨学会の皆様には感謝いたします。

最後に、これまでの研究生生活を支えていただいた家族に感謝いたします。

研究業績

学会論文

1. Hayoung Yoon, Nobuaki Abe, Keiji Ohta, Takashi Kawai, Shinichiro Suzuki, Subjective Evaluation of Wide-Viewing-Angle Stereoscopic Contents in a Dome Theater, Journal of Information Display, Vol.12, No.3, pp.147-152 (2011)
2. 尹夏英, 阿部信明, 河合隆史, 井上哲理, アンダローディ・エルハム, マティーニモハメド・レザ, 小野欽司, バーチャル遺産における人物配置と印象の変化, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 15, No. 2, pp.203-212 (2010)

国際会議

1. Hayoung Yoon, Hiroyuki Morikawa, Kohei Ando, Keiji Ohta, Takashi Kawai, A stereoscopic archive for the heritage of industrial modernization and its evaluation, Proceedings of the SPIE, Vol.8648, 86481Y (2013)
2. Mohammad-Reza Matini, Elham Andaroodi, Hayoung Yoon, Nobuaki Abe, Asanobu Kitamoto, Takashi Kawai, K. Ono, Virtual 3DCG of the Citadel of Bam, Pacific-Rim Symposium on Image and Video Technology 2009 Demo paper, CD-ROM, January (2009)
3. Hayoung Yoon, Formative expression of art based on an undulating motion, Asia Digital Art and Design Association Vol.5 No.5 (2006)

学会発表

1. 尹夏英, 阿部信明, 太田啓路, 河合隆史, 鈴木真一郎, ドームシアターにおける広視野立体視コンテンツの主観評価, 日本人間工学会関東支部第 40 回大会講演集, pp.168-169 (2010)

2. 尹夏英, 阿部信明, 河合隆史, 井上哲理, アンダローディ・エルハム, マティーン・モハメド・レザ, 小野欽司, バーチャル遺産における人物の配置がスケール感に与える影響, 日本人間工学会第 50 回大会講演集, Vol.45, 特別号, pp.160-161 (2009)