

# 心理物理実験に基づいたプラネタリウム空間映像の生成

小木哲朗

筑波大学 学術情報メディアセンター

**目的:** 愛知万博で公開された「地球の部屋」に代表されるドーム型ディスプレイは、全天周の映像空間を提示できる環境として注目されている。ドーム型ディスプレイは、フレームレスな映像によって利用者の視界を覆い尽くすことができるため、両眼視差情報を利用したステレオ映像を用いなくても、正しい幾何学情報や運動視差の効果を利用することで、立体感の高い映像表現を行うことができる装置として期待されている。また最近のプラネタリウム施設は、従来のアナログ方式による星座の投影方式から、高輝度プロジェクタの導入や映像投影装置のデジタル化が急速に進み、星座だけではなく、ビデオやCG映像等の種々の映像コンテンツの投影を行うことが可能なドーム型ディスプレイ環境としての利用も期待されている。

ドーム型ディスプレイで体験される立体感のある映像表現手法は、これまで経験的には知られていたが、制作者の経験側に基づいている部分が多く、映像制作としての産業的な生産手法のレベルには結びついていない。例えば、曲面スクリーンに対する幾何学的な補正を施した映像を運動視差の効果を用いながら提示することで、ユーザは立体感の高い映像を体験できることが現象として知られているが、このときユーザが実際にどのような奥行き映像を知覚しているのか等の定量的な詳細はよく分かっていない。またドーム環境では、これまでのフレーム内の表現だけを考えていた映像制作とは異なり、全天周の映像コンテンツを制作することが要求される。全天周映像ではそれぞれの観客がどの方向を見ているか分からないため、常に360度の映像空間を構築し、全ての空間でのストーリー展開を考慮しなくてはならず、映像制作の負荷は非常に膨大なものになる。そのため、3次元CGモデルを用いるような従来の手法だけでは、全天周の映像空間を構築することは困難であり、簡易な空間映像の制作手法の確立が要求される。

本研究では、ドーム型ディスプレイ環境における立体感の高い映像表現手法を心理知覚実験に基づいて体系化し、産業的な映像制作技術として確立することを目指している。また全天周映像を容易に制作するために、3次元CGモデルを用いずに、2次元の映像要素を空間的に配置することで3次元世界を構築するレイヤ分割法によるドーム映像の制作手法の開発を行った。以下、本稿では、ドーム映像の立体感に対する心理知覚実験、開発したレイヤ分割法の基本原理、およびドーム映像の構築例等について述べる。

**心理知覚実験:** フレームレスなドーム型ディスプレイ環境では、視覚心理学的な効果を有効に利用することで視差情報に基づいた立体視を行わなくても立体感の高い映像体験ができることが知られている。例えば、ドームの曲面スクリーン形状が認識される状況では、提示された映像はスクリーン上の歪んだ映像にしか見えないが、ディスプレイの曲率に応じた歪みの補正を映像に加え、照明条件等によりスクリーン形状を見えなくすることで、投影された映像の幾何学形状は正しく知覚されるようになる。これまでの予備実験では、例えば完全に照明を消すなどしてスクリーン形状を認識できなくすると、映像は平面に投影されているはずだというトップダウンの効果が作用して、オブジェクトの形状が正しく知覚されることが分かっている。更に仮想平面上での動きをオブジェクトに加えると、運動視差の効果によりオブジェクトの奥行き感はさらに頑強になる[1]。

本研究では、ドーム型ディスプレイ内で仮想平面上を移動する映像に対し、観察者が感じる奥行き感を定量的に計測するために心理知覚実験を行った。実験は東京都北区の北とぴあにある直径18mのプラネタリウム施設を使用した。被験者は中央の座席に座り、正面の仮想平面上に投影された移動物体の映像を見て知覚される奥行き距離をマグニチュード推定法により計測した。基準刺激としては被験者の前方11mの

位置に立ててあるポールまでの距離を 100 とし、知覚された提示映像までの距離を数値で答えてもらった。

この際、比較刺激として提示した映像は、映像種類（四角形、人間）、大きさ（大、中、小）、背景（無し、床面、天井）、カメラ視点（固定、移動）をそれぞれ変えた 36 通りの映像とし、これらをランダムに提示した。映像種類の四角形と人間は、幾何学的な図形と大きさの概念のある映像要素を比較するため、大きさの大、中、小は、被験者の前方 11m 位置に存在するとしたときに、それぞれ 9.0m×9.0m、6.0m×6.0m、3.0m×3.0m となる大きさとした。また背景として提示した床面、天井の映像は被験者の注意を引き付けて視線を制御するために配置したもので、カメラ視点は空間に固定された視点で移動物体を提示した場合と物体と共に移動する視点で背景が動く映像を提示した場合の比較を行ったものである。図 1 は本実験で提示された映像例を示したものである。

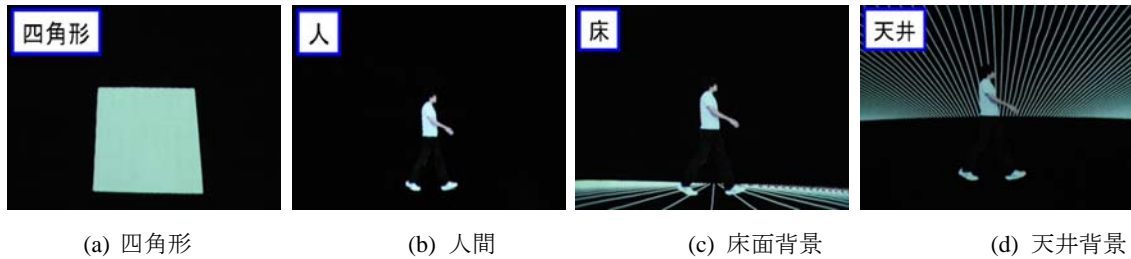


図 1. 奥行き知覚実験の提示映像

図 2 は 11 人の被験者に対する実験結果を示したものである。(a)は提示映像の大きさと知覚された奥行き距離の関係を示したもので、分散分析の結果 1%有意であった。このことは、提示映像の大きさが大きいと近くに感じられ、小さいと遠くに感じられることを意味している。また(b)はカメラ視点を固定させた場合と映像と共に移動させた場合の比較を示したもので、両者の間に有意差はなかった。これは映像要素そのものを移動しなくても、カメラワークによって背景映像が動くことで同等の奥行き効果が得られることを意味している。(c)の四角形と人間の映像種類の違いに関しては、大、中の映像を提示した場合には両者に差は無かったが、小さい映像の場合は人物像に対する実寸感覚が生じるため両者に差が表れたものと考えられる。また(d)の床面、天井の背景映像の影響に関しては、大きい映像が提示されている場合のみ、天井と床面の背景の間で有意差が認められた。これは、床面映像に対して天井の映像は、スクリーン形状のより被験者に近い部分に投影され、被験者の視線が引き付けられたためと考えられる。

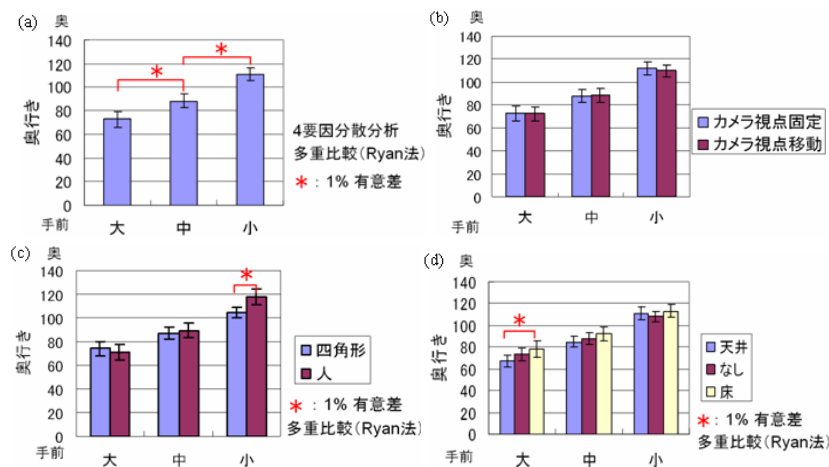


図 2. ドーム環境における奥行き知覚実験の結果

**レイヤ分割法:** 前述の実験結果から、ドーム環境内では空間の中で映像要素の運動面を知覚させることで、3次元的な奥行き感を提示できることが示された。そのため、2次元のレイヤで表現された映像要素

であっても幾何学的な補正を行いながら空間内での移動やカメラワークを施すことで、その映像要素までの距離を表現することができる。一方、ドーム環境におけるコンテンツ制作では、全天周の空間映像を構築することが要求されるが、この際の基本原理として映像空間を3次元CGモデルで構築するのではなく、空間映像を構成する映像要素に分割し、各映像要素を2次元のレイヤ画像として作成するレイヤ分割法を用いることにした[2]。この方法は、各映像要素は2次元のレイヤであるが、それぞれに対し適切な奥行き距離を知覚させることで、全体として3次元の映像空間を表現できることが期待される。

図3は、レイヤ分割法による空間映像の例を示したものである。この方法では、空間映像を構成する建物や人物等の映像要素を2次元映像のレイヤで構成しているが、これらのレイヤに奥行き情報を加え、3次元空間内に仮想的な書き割りとして配置することで、仮想世界を合成している。この際、スクリーン面による映像の歪の補正、レイヤの位置と方向、レイヤ上でのアニメーション動作、空間内でのレイヤの動き等を適切に制御することで、広視野空間内の心理的効果を有効に利用した3次元的な空間映像を提示することができる。

空間を構成する映像要素としては、CG画像、CGアニメーション、写真画像、ビデオ映像等を用いることができる。各映像要素は2次元レイヤを基本としているが、3次元CGモデルを使用して構成することも可能である。一般に、曲面スクリーンに3次元CGを投影する場合、ユーザの視点とプロジェクタの視点が異なるため、一度ユーザ視点からあるスクリーン平面に透視投影を行った映像を生成し、それをユーザの視点位置から曲面形状のスクリーンに投影マッピングすることで歪補正映像を生成する。この際、最初の透視投影のレンダリングを行う仮想平面をレイヤとして考えることで、3次元CGモデルを2次元映像要素と同一に扱うことができる。

このようなレイヤ分割による空間映像の生成手法は、従来のアニメーション映像の制作で使われてきた背景とセル画の分割手法を3次元ドーム空間に拡張した方法と考えることができる。そのため、3Dオブジェクトのモデリングやレンダリング等の特殊なプログラミング作業を行わずに、従来の映像クリエイターがこれまでの作業の延長として空間映像の生成を行うことができることが期待される。

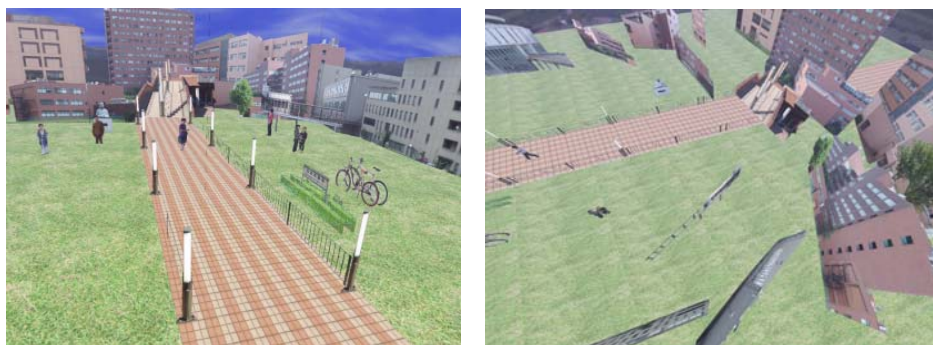


図3. レイヤ分割法で構成された映像空間

**コンテンツ評価実験:** 本研究では、レイヤ分割法を用いることで幾つかの映像コンテンツを作成し、プラネタリウム環境で上映を行い、被験者が映像から受ける印象についてアンケート評価を行った。被験者は15人で、各評価項目について5段階評価をしてもらった。図4は投影した映像コンテンツの例を示したもので、レイヤで表現された各映像要素を動かしたり、空間映像全体に対し前後左右のカメラワークを用いることで距離感を表現するように構成した。

図5は評価実験の様子、表1は各項目に関する評価値の平均値を示したものである。この結果から、動きの不自然さ、違和感等の評価値はやや低かったが、スクリーン形状が気にならない、臨場感、迫力がある等の項目については高い評価値が得られた。この結果から、ドームスクリーンの形状を意識させずに空間映像を表現するという当初の目標はある程度達成されたが、奥行き感を表現するために不自然なカメラ

ワークを多用してしまったと考えることができる。またレイヤ分割法は全体としての映像空間の広がり表現することはできるが、各映像要素は2次元で表現されているため、レイヤを意識させないためのカメラワークの制限や視点方向に応じたレイヤ映像を使うことの必要性等の問題点も明らかになった。



図4. 映像コンテンツ例

表1. コンテンツの評価アンケート結果



図5. コンテンツ評価実験の様子

1:スクリーン形状が気になった←→5:気にならなかった	4.20
1:臨場感がなかった←→5:臨場感があった	4.13
1:楽しくなかった←→5:楽しかった	4.13
1:迫りに欠けた←→5:迫力があった	3.73
1:小数の奥行き構造を感じた←→5:多数の奥行き構造を感じた	3.67
1:不快だった←→5:快適だった	2.80
1:疲れた←→5:疲れなかった	2.73
1:レイヤーを意識した←→5:レイヤーを意識しなかった	2.67
1:違和感を感じた←→5:違和感を感じなかった	2.20
1:動きが不自然だった←→5:動きが自然だった	2.07

**結論:** 本研究では、プラネタリウム等のドーム型ディスプレイ環境において、単眼映像でありながら立体感の高い全天周映像コンテンツを容易に生成するための手法として、心理実験に基づいたレイヤ分割法の提案を行った。具体的な例として、運動視差の効果によって横方向に移動する単眼映像から受ける奥行き感覚に関する心理知覚実験を行い、その結果を映像対象の移動やカメラワークに反映させた空間映像の構築を行った。実際には、奥行き知覚をさせるためのカメラワークが映像要素のレイヤ感を高めてしまうという影響もあるため、ある程度の制限を受けることも分かった。

今後の課題としては、心理知覚実験のデータを更に蓄積していき、空間映像の構築手法として体系化していくことを目指している。また、コンテンツクリエイターが容易に空間映像の制作を行うことができるように、中間言語としてのシナリオ記述言語の開発や、効果的な空間構築を行うためのオーサリングツールの開発等も同時に進めていく予定である。

#### 謝辞:

本研究は、総務省戦略的情報中心研究開発推進制度 (SCOPE 06130334) の一部として行われた。

#### 参考文献:

- [1] 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、ヒューマンインタフェース学会研究報告集、Vol.9、No.3、pp101-104、東京、2007。
- [2] Tetsuro Ogi, Masahiro Hayashi: Dome Image Contents based on Layered Image Representation, ASHIGRAPH 2007 in Tokyo Proceedings, Vol.1, No.2, pp.113-118, 2007.