

平成29年度 卒業論文

論文題目

全天球カメラとヘッドマウントディスプレイを
用いた自己俯瞰体験システム

指導教員

舟橋 健司 准教授

名古屋工業大学 工学部 情報工学科

平成26年度入学 26115077番

住田 直樹

目次

| | |
|-----------------------|----|
| 第1章 序論 | 1 |
| 第2章 自身の俯瞰体験システムの構想と構成 | 4 |
| 第3章 自身を俯瞰する視点での天球の作成 | 9 |
| 3.1 主観天球から俯瞰天球への射影 | 9 |
| 3.2 俯瞰視点の天球の作成 | 14 |
| 第4章 評価実験 | 18 |
| 4.1 実験手法 | 18 |
| 4.2 実験結果と考察 | 19 |
| 第5章 むすび | 25 |
| 謝辞 | 27 |
| 参考文献 | 28 |

第1章 序論

近年多様なヘッドマウントディスプレイ (HMD) の開発が試みられ、また HMD の普及が急速に進んでいる。視線追跡機能を持つもの [1] や、表情を認識するもの [2] など、様々な技術と融合することで HMD は進化を続けている。技術の進化に伴い必要なスペックや値段も下がってきており、研究者だけでなく趣味の開発者も増えている。また、HMD を簡単に利用するための開発環境も無料のゲームエンジンとして提供されており、OpenGL や DirectX といったコンピュータグラフィックスの技術がなくとも、手軽に開発を試みることが出来る。こういった技術的背景の追い風もあり、様々な企業が HMD を用いた没入型コンテンツの開発に力を注いでいる。ゲーム分野や体験型コンテンツだけでなく、HMD の没入型体験による心理学への活用事例 [3] や、仮想空間上でモデルルームを展開し内見できるといった実際のサービス業にかかわるコンテンツ [4] など多様な形で HMD が活用されている。

しかし、それらのコンテンツは基本的に一人称視点で映像を提供されており、三人称視点、いわゆる自分を俯瞰している視点で提供されているものは少ない。仮想空間上のコンテンツを開発する上で VR 酔い (VR 体験時の乗り物酔いのような症状、例えば HMD を用いて一人称視点の操作を行う際に、利用者の頭の運動と視界に映る映像との間に時間的及び位置的なずれが発生してしまい、視覚誘導性自己運動感覚を引き起こしてしまうとも考えられている) を防ぐ手法として、三人称視点で映像を提供することで視覚誘導性自己運動感覚を軽減するという方法が試みられている [5]。この例はあくまでも仮想空間上のコンテンツで操作対象を移動させる際に適用されており、この方法を没入型コンテンツに応用した例は極めて少ない。その数少ない試みもカメラをドローンに搭載し、HMD の使用者の後ろで飛行させて撮影することで実現させる [6] というもので、システムとしては自己俯瞰の体験が可能であるが、ドローンの飛行可能範囲の制約などもあり様々なコンテンツに汎用的に応

用できる物ではない。

自分を俯瞰するというのは日常では不可能な体験であり、未知の体験でもある。自分では気づかない行動に対して他者からの指摘で自分の行動を省みる事は多々あり、第三者視点の意見は自分では成し得なかった改善のきっかけになる。俯瞰視点の体験はこういった自己の短所を発見する手段として可能性を秘めてると言える。また、人間が空間を認識する際にもサーヴェイ的視点というものが重要な要素になることが過去の研究でも示されている。サーヴェイ的視点とは自己を取り巻く空間を自己中心的にとらえるのではなく、対象空間外から俯瞰するように捉える視点のことである。サーヴェイ的視点で空間を捉えることで、空間内全体の位置関係や方向を認知できるため空間での対応関係を把握しやすくなるという研究結果が挙げられている [7]。これに関してはスポーツ分野でも研究が試みられており、サッカーにおいてはサーヴェイ的視点を持つ選手は選手間のスペースやボールなどの位置関係を効率的に捉えることが出来るため、ゲーム状況を判断する上で優れているとされる [8]。こういった空間全体を俯瞰する能力を訓練するためにも、自分を俯瞰する体験というのは非常に効果があると考えられる [9]。これらの研究からも、汎用的に導入できる自己俯瞰の体験システムは、今までにはない新しい体験や効果を生み出す事が期待できる。

そこで本論文では、簡単に導入でき、また汎用的に利用できる自身を俯瞰体験するシステムを提案する。上述のドローンによる俯瞰体験システムのように、単純にカメラを自身を俯瞰する位置に設置して、その位置からの映像を提供する形を取ると、俯瞰視点に物理的な制約が発生してしまうため、狭い室内等の様々な場所から俯瞰しようとした際に導入が困難になってしまう。その問題を解決するために日産の車両に搭載されているアラウンドビューモニタの技術 [10] を参考にした。アラウンドビューモニタとは車両の上方にカメラを設置せずとも、あたかも車両を上から見ているかのような映像をモニタに提供する技術である。車両周りに設置した4つの広角カメラから映像を取得しそれらを適切に合成することで、車両の上にカメラが存在しなくとも擬似的に真上から撮影したかのような映像の提供を可能にしている。本研究では、全天球カメラの映像から俯瞰視点の映像を作成することを試みる。具体的にはまず、一人称視点のコンテンツを実現するシステムのように、体験者の

頭上に設置する1つの全天球カメラから主観視点映像を取得する。映っている対象物と体験者との距離に仮定を設けることで、この主観視点からの全天球映像を作成して、HMDにより体験者に提示する。またこの手法で十分な自身の俯瞰体験が可能かどうか評価実験を行う。

本稿二章では提案するシステムについてその構成と構想を述べる。三章ではシステムの構成に必要な自身を俯瞰する視点での天球を、主観視点での全天球映像から数学的に導出する理論を述べる。そして、四章でシステムを利用した比較実験を行い、制作したシステムでより自分を俯瞰しているという体験が提供出来ているかを検討する。最後に五章でむすびを述べる。

第2章 自身の俯瞰体験システムの構想と構成

本章では自身の俯瞰を簡易的に実現するための手法とシステム構成について述べる。

まず、ヘッドマウントディスプレイ (HMD) と全天球カメラを利用した主観視点からの映像の提示について考える。なおこれは、様々な情報を重畳表示する AR システムなどに該当する。全天球カメラを体験者の主観視点を取得できる位置に配置する必要がある。ここでは例として体験者の頭部に全天球カメラを設置して考える (図 2.1)。図のように物体 a や b (以下、実体、あるいは対象物) が存在する場合、図に示す半球状の天球スクリーンの a', b' の位置に投影されると考える。ところで、対象物が十分に遠方であり、十分に大きな天球を想定すれば、主観視点からの天球映像と十分に近い位置の自身を俯瞰する視点からの天球映像は同一のものとみなすことが出来る (図 2.2)。

しかし、対象物が遠方でない場合には、天球映像は同一のものとみなすことは出来ない (図 2.3)(図 2.4)。天球に投影される対象物は、主観視点での天球 (主観天球) と自身を俯瞰する視点での天球 (俯瞰天球) において、相対的に異なる位置に投影される。図 2.3 のように十分に大きな天球を想定した場合、主観視点と俯瞰視点で天球の位置はほぼ同じと考えることができるが、対象物 a は主観天球では a' の位置に、俯瞰天球では a'' の位置に投影される。図 2.4 のように比較的小さな天球を想定した場合、それぞれの天球の位置が異なるだけでなく、対象物 a の投影位置も a' と a'' のように相対的に異なる。

ここで、対象物について具体的に考察してみる。例えば机上での作業の場合には、体験者から机上にある道具などの対象物までの距離 (対象距離) は数十センチメートルであることが多い。また、面と向かい人と会話する場合などは、話しやすい人間同士の距離を考えると、対話する相手すなわち対象物までの距離は 1 メートル程度



図 2.1: 主観視点を中心とした天球

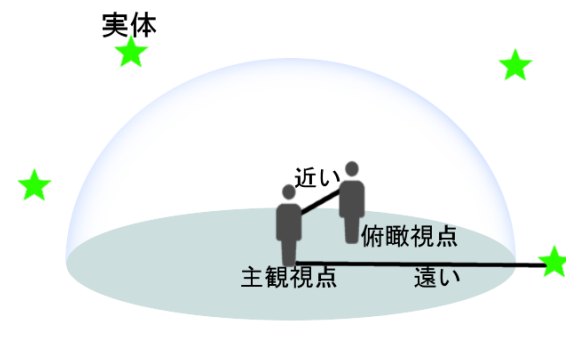


図 2.2: 対象物が十分に遠方である天球

となる。部屋の棚などを対象とする場合には数メートルと考えられるだろう。

勿論、視界には意識せず映るものも含めれば様々な距離に対象物が存在しており、また上の例にあげた3通りの対象物以外の対象物も視界に入っている。だが多くの場合、人は特定の対象物に意識を集中しており、他の、特に遠方の対象物は視界に入っても意識下にならないとも考えられる。意識せずに視界に入っている遠方の対象物は、俯瞰視点から観察した時に意識下にある対象物との位置関係、見え方が多少正しくなくても大きな違和感を感じないと考えられる。

そこで、本研究では体験者から対象物までの距離を1メートル、あるいは数メートルと固定して考える。その上で、本システムでは対象物から体験者までの距離を1メートル、あるいは数メートルと限定し、俯瞰天球映像を主観視点映像から生成して体験者に提示することで、自身の俯瞰体験を実現する。なお、自身の後ろ姿は主観視点映像に含まれないため、簡易的にCGにより表示する。

では、続いて俯瞰天球映像の作成について考える。図2.5のように体験者から対象物までの距離を半径とする主観天球を考えると、主観天球上の投影位置はすなわち対象物の位置でもある。俯瞰天球上への投影位置は、対象物の位置と俯瞰距離から容易に計算できる。この俯瞰天球映像の実際の計算方法については、次章で詳しく述べる。システムの全体像は図2.6のように構成する。体験者はRICOH社製の全天球カメラであるTheta[12]が上部に設置されたOculus社製のヘッドマウントディスプレイ(HMD)であるOculusRift[13]を装着する。Thetaで主観視点映像を360度の範囲で取得し、計算に基づいて俯瞰天球映像を作成する。そして、UnityTechnologies社製のゲームエンジンであるUnity[14]を用いて、仮想空間上に設置した天球に俯瞰天球映像を投影する。天球の中心にHMDと連動したカメラを設置し、体験者から対象物の位置を一定と仮定した俯瞰天球映像をHMDに提示することで、体験者は自身を俯瞰する視点での映像を見る。仮定と距離の異なる対象物は俯瞰天球の正しい位置に投影されないが、遠方の対象物や注視したいわけではない対象物の誤差は小さく、違和感は少ないだろう。

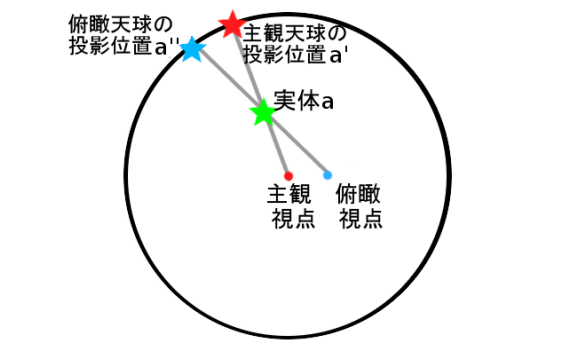


図 2.3: 上方から見た大きい天球

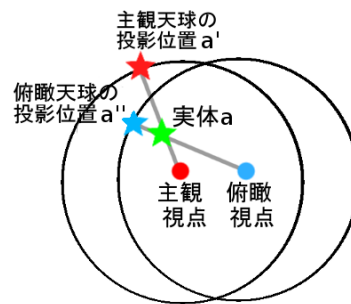


図 2.4: 上方から見た小さい天球

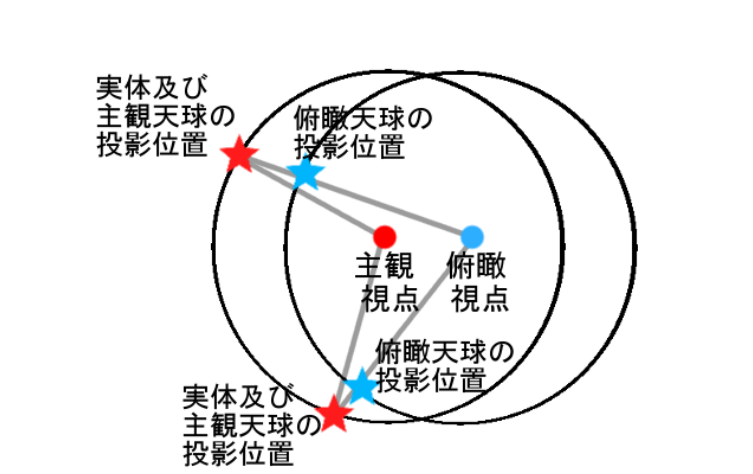


図 2.5: 半径の長さが対象物までの距離である天球

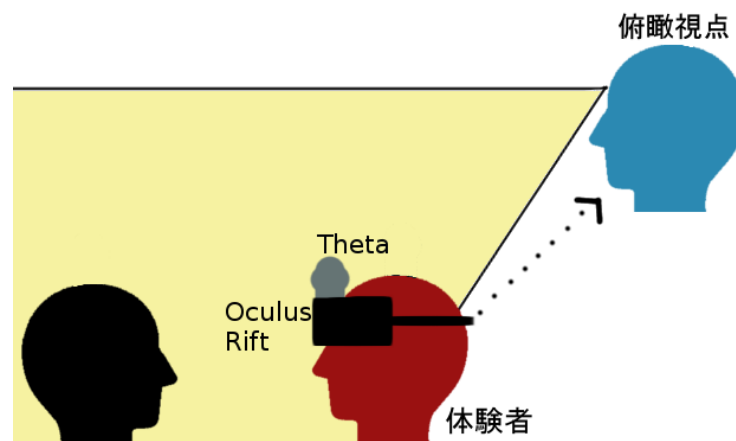


図 2.6: システムの全体図

第3章 自身を俯瞰する視点での天球の作成

本章では2章で述べた自身を俯瞰する視点から見た天球(俯瞰天球)を作成するにあたって、主観視点から見た天球(主観天球)を俯瞰天球に射影するかを数学的に展開し、またその理論を基に天球を作成する具体的な手法について述べる。

3.1 主観天球から俯瞰天球への射影

本節では、主観天球での投影映像を元に俯瞰天球での投影映像を作る際に、主観視点での投影映像はどのように射影されるのかを数学的に考える。ここでは具体的に両天球について投影される対象物を考え、その位置やそれに付随するパラメータを球面座標系で表す(図3.1)。また、主観座標系を俯瞰座標系を別の図3.2, 図3.3として示す。

図3.2のように、対象物の位置及び主観天球での投影位置を点Pとし、主観視点の位置を点O、点Oから点Pまでの距離を r 、点Oから点Pに対する仰角を θ 、俯角を ϕ とする。点Oを中心として点Pの座標を球面座標系で考えると以下の通りである。

$$\mathbf{P} = (r, \theta, \phi) \quad (3.1)$$

また3次元直交直線座標系に変換すると以下のようなになる

$$\mathbf{P} = (x, y, z) = (r \sin \theta \cos \phi, r \sin \theta \sin \phi, r \cos \theta) \quad (3.2)$$

また、図3.3のように、俯瞰天球での投影位置をP'、俯瞰する視点を点O'、点O'から点Pまでの距離を r' 、点O'から点Pに対する仰角を θ' 、俯角を ϕ' とする。点

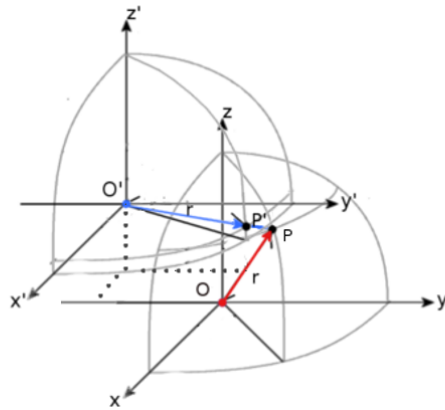


図 3.1: 主観視点及び俯瞰視点から見た対象物

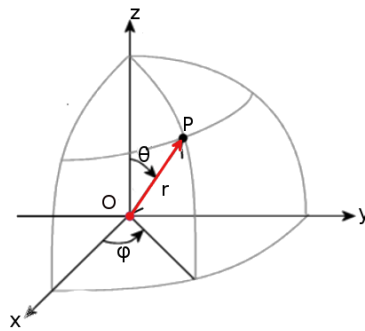


図 3.2: 主観視点から見た対象物

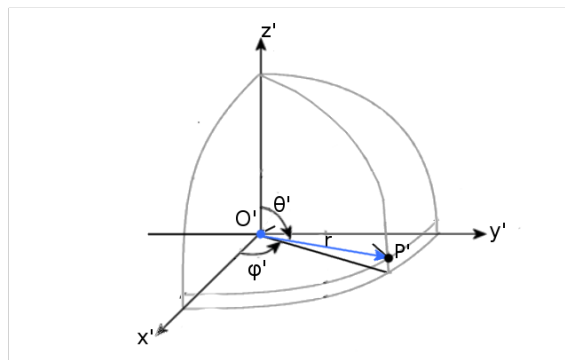


図 3.3: 俯瞰視点から見た対象物

O' を中心として点 P の座標を球面座標系で考えると以下の通りである.

$$\mathbf{P} = (r', \theta', \phi') \quad (3.3)$$

また3次元直交直線座標系に変換すると以下のようなになる

$$\mathbf{P} = (x', y', z') = (r' \sin \theta' \cos \phi', r' \sin \theta' \sin \phi', r' \cos \theta') \quad (3.4)$$

ここで点 O から点 O' への直線ベクトル, つまりは主観視点から俯瞰視点までの直線ベクトルを考える.

$$\overrightarrow{OO'} = (q_x, q_y, q_z) \quad (3.5)$$

すると点 O' から点 P までの直線ベクトル, つまり, 式 (3.4) について以下のように置換するが出来る.

$$\overrightarrow{O'P} = \overrightarrow{OP} - \overrightarrow{OO'} = (r \sin \theta \cos \phi - q_x, r \sin \theta \sin \phi - q_y, r \cos \theta - q_z) \quad (3.6)$$

したがって, 式 (3.4) と式 (3.6) より以下の等式が成り立つ.

$$\begin{cases} r' \sin \theta' \cos \phi' & = r \sin \theta \cos \phi - q_x \cdots (I) \\ r' \sin \theta' \sin \phi' & = r \sin \theta \sin \phi - q_y \cdots (II) \\ r' \cos \theta' & = r \cos \theta - q_z \cdots (III) \end{cases} \quad (3.7)$$

式 (3.7) より俯瞰天球における対象物の座標が, 主観天球における対象物の投影方向 θ, ϕ と俯瞰距離 r を用いて表すことを試みる. つまり, 俯瞰天球での投影位置である点 $P'(r', \theta', \phi')$ を主観天球での投影位置 P である点 (r, θ, ϕ) と, 主観視点から俯瞰視点までの直線ベクトル $\overrightarrow{OO'}$ を用いて表す.

(a-1) 式(3.7)より, (II)の両辺を(I)で割る.

$r' \sin \theta' \cos \phi' \neq 0$ の時

(II) \div (I) より

$$\tan \phi' = \frac{r \sin \theta \sin \phi - q_y}{r \sin \theta \cos \phi - q_x} \quad (3.8)$$

よって

$$\phi' = \tan^{-1} \left(\frac{r \sin \theta \sin \phi - q_y}{r \sin \theta \cos \phi - q_x} \right) \quad (3.9)$$

(b-1) 同様にして式(3.7)より, (I)の両辺を(III)で割る.

$r' \cos \theta' \neq 0$ の時

(I) \div (III) より

$$\tan \theta' = \frac{r \sin \theta \cos \phi - q_x}{r \cos \theta - q_z} \cdot \frac{1}{\cos \phi'} \quad (3.10)$$

よって

$$\theta' = \tan^{-1} \left(\frac{r \sin \theta \cos \phi - q_x}{r \cos \theta - q_z} \cdot \frac{1}{\cos \phi'} \right) \quad (3.11)$$

式(3.9), 式(3.11)より, 俯瞰天球での投影地点P'は点O'を中心として以下のよ
うに表すことができる.

$P' =$

$$\left(r, \right. \\ \left. \tan^{-1} \left(\frac{r \sin \theta \cos \phi - q_x}{r \cos \theta - q_z} \cdot \frac{1}{\cos \left(\tan^{-1} \left(\frac{r \sin \theta \sin \phi - q_y}{r \sin \theta \cos \phi - q_x} \right) \right)} \right), \right. \\ \left. \tan^{-1} \left(\frac{r \sin \theta \sin \phi - q_y}{r \sin \theta \cos \phi - q_x} \right) \right) \quad (3.12)$$

ところで、前項で除外したゼロ除算について考える。

(a-2) $r' \sin \theta' \cos \phi' = 0$ の時.

(a-2-1) $\sin \theta' = 0$ の時, 仰角の範囲は $0 \leq \theta' \leq \pi$ であるため, θ' は次式となる.

$$\theta' = 0, \pi \quad (3.13)$$

この場合, 式 (3.7) より ϕ' は不定であるが, $\theta' = 0, \pi$ の時の位置は俯瞰天球の極を表している. これらの値は実際には連続的に変化するため, 直前の値から推定することが可能である.

(a-2-2) $\cos \phi' = 0$ の時, 俯角の範囲は $-\pi \leq \phi' \leq \pi$ であるため, ϕ' は次式となる.

$$\phi' = \frac{\pi}{2} \quad (3.14)$$

この場合, 式 (3.7) より次式が成り立つ.

$$\begin{cases} 0 = r \sin \theta \cos \phi - q_x \cdots (I) \\ r' \sin \theta' = r \sin \theta \sin \phi - q_y \cdots (II) \\ r' \cos \theta' = r \cos \theta - q_z \cdots (III) \end{cases} \quad (3.15)$$

式 (3.15) の (II) を (III) で割ると, 次式が得られる.

$$\theta' = \tan^{-1} \left(\frac{r \sin \theta \sin \phi - q_y}{r \cos \theta - q_z} \right) \quad (\theta' \neq \frac{\pi}{2}) \quad (3.16)$$

(b-2) $r' \cos \theta' = 0$ の時.

仰角の範囲は $0 \leq \theta' \leq \pi$ であるため, θ' は次式となる.

$$\theta' = \frac{\pi}{2} \quad (3.17)$$

この場合, 式 (3.7) より次式が成り立つ.

$$\begin{cases} r' \cos \phi' = r \sin \theta \cos \phi - q_x \cdots (I) \\ r' \sin \phi' = r \sin \theta \sin \phi - q_y \cdots (II) \\ 0 = r \cos \theta - q_z \cdots (III) \end{cases} \quad (3.18)$$

式 (3.18) の (II) を (I) で割ると, 次式が得られる.

$$\phi' = \tan^{-1} \left(\frac{r \sin \theta \sin \phi - q_y}{r \sin \theta \cos \phi - q_x} \right) \quad (|\phi'| \neq \frac{\pi}{2}) \quad (3.19)$$

従って ϕ' と θ' が求められる。

以上のように、俯瞰視点の位置と主観視点から対象物までの距離を定め、主観天球の映像情報を俯角と仰角に従って上記の式で射影することで、俯瞰天球の映像情報の形成が可能であることが分かる。

3.2 俯瞰視点の天球の作成

本節では、上述の主観天球から俯瞰天球への射影方法による具体的な俯瞰天球作成について述べる。天球作成には、BlenderFoundation社製の3DCG作成ツールであるBlender[14]を使用する。Blenderで球を作成し、そのUVマップを上述の射影方式に基づいて展開する。なお、Thetaにより取得される主観天球の映像情報は、全天球映像が前方映像と後方映像の2つに分かれているため、その映像情報の投影位置をもとに射影方式に基づいて天球のUVマップを作成する。

上述の主観天球から俯瞰天球への射影方式を利用するにあたって、俯瞰視点の位置と主観視点から投影対象物までの距離が必要である。前者については任意の位置で設定し、後者については2章で述べたように主観視点から対象物までの距離を限定した上で、全ての対象物についてその距離が均一であると仮定する。また、天球のUVマップ作成に関しては手作業でThetaの映像情報の位置に従って行うため、全ての地点について計算を行い適切な位置へマッピングするのは困難である。そこで図3.4、図3.5のように天球を俯角360度仰角180度についてそれぞれ10度刻みで考える(図3.4は天球を外側やや下から観察しており、図3.5はそこから90度右に回り込んで天球を観察している)。点aが俯角0度仰角90度、つまり正面を向いた時の中央にあたる点であり、点b、点cは対象物の位置を想定したものである。また、線の色については、赤い線が全天球カメラの前方のレンズが捉える映像、青い線が全天球カメラの後方のレンズが捉える映像を意味している。それらの線の交点が分割した際の主観天球映像の格子点である。これらの格子点については、俯瞰天球への投影位置をプログラムを用いて算出してマッピングを行い、他の地点に関しては線形的にUVマップを補完する。図3.6、図3.7は、例として対象物までの距離を1m、そして後方に0.5m下がり上方に0.5m上がった位置から自身を俯瞰していると仮定

し、上述の手法でマッピングを行った俯瞰天球である(同様に、図3.6は天球を外側やや下から観察しており、図3.7はそこから90度右に回り込んで天球を観察している)。図3.4、図3.6と図3.5、図3.7をそれぞれ比較すると、俯瞰天球に射影したことで、映像情報が前方及びやや下方に密になっていることが分かる。その密度も前方及び下方、つまり主観映像の正面にあたる部分が一番密であり、そこから遠ざかるほど疎になっている。

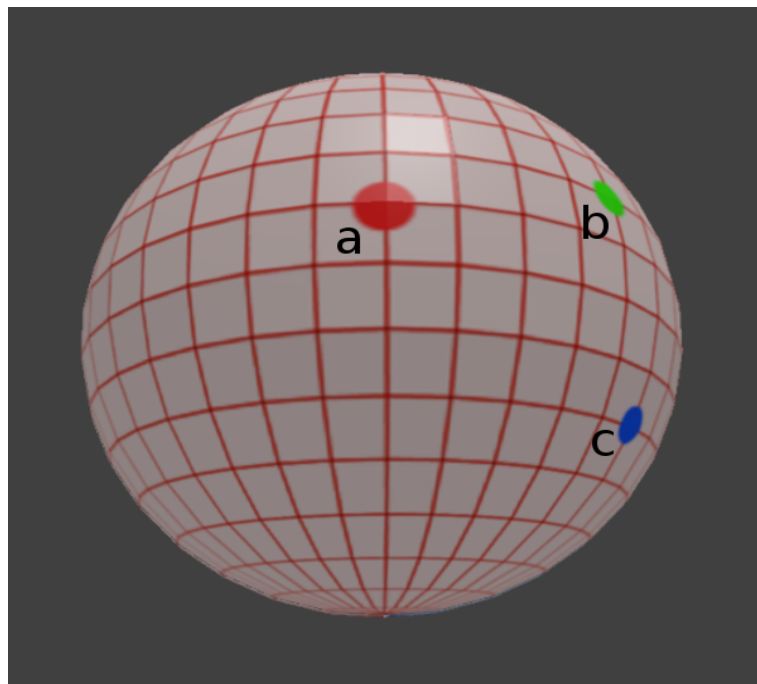


図 3.4: 俯角と仰角を 10 度刻みで分割したメッシュ

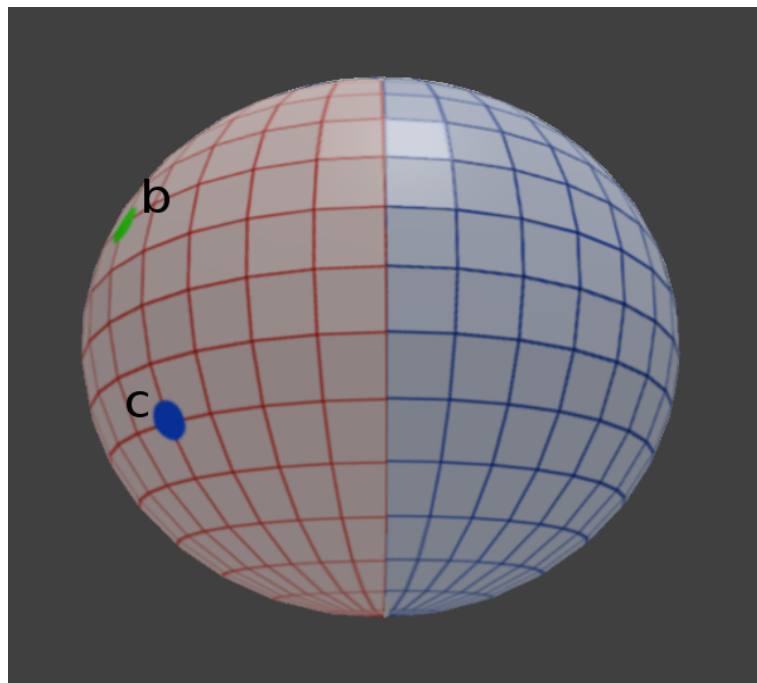


図 3.5: 俯角と仰角を 10 度刻みで分割したメッシュ(90 度回転)

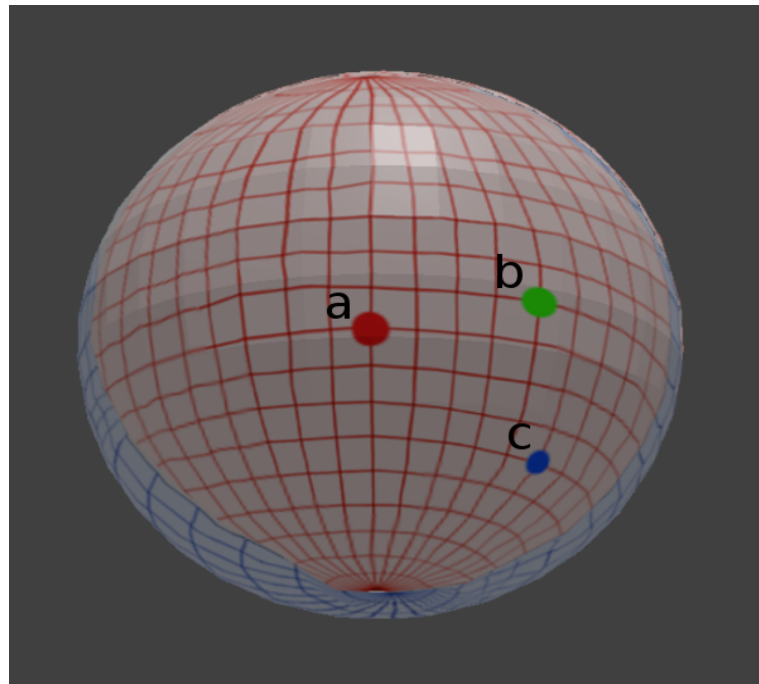


図 3.6: 俯瞰天球の投影位置に射影したメッシュ

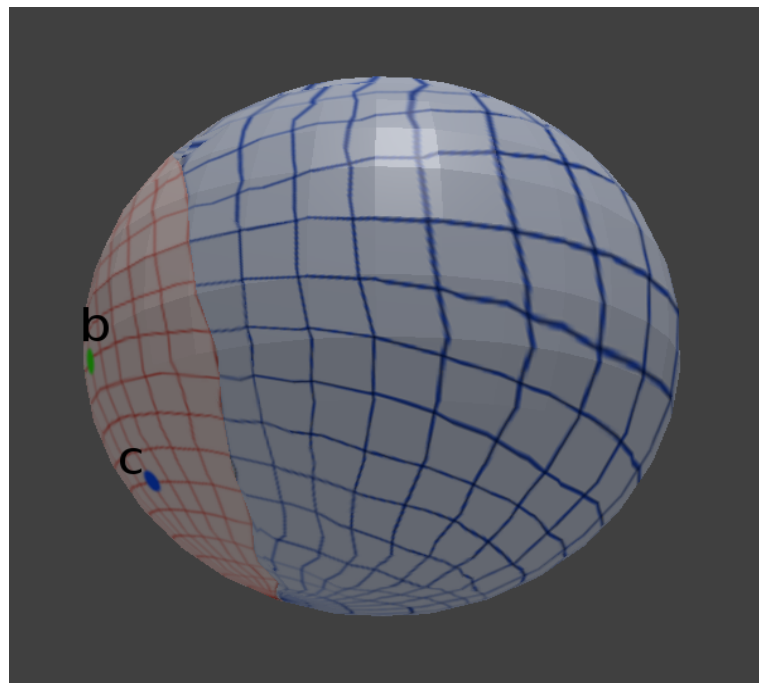


図 3.7: 俯瞰天球の投影位置に射影したメッシュ(90度回転)

第4章 評価実験

本章では本研究で提案する自身の俯瞰体験システムについて、どの程度体験者に俯瞰しているという感覚を与えることができるか評価実験を行う。なお、現在は体験者の向きをヘッドマウントディスプレイのセンサーのみで取得している。体験者が体と頭の位置関係を維持したまま向きを変えた場合は、図 4.1 から図 4.2 のようになる。体験者が体を動かさずに頭の向きだけを変えた場合には、図 4.1 から図 4.3 のようになる。これらを区別するためには、頭とは別に体の向きを取得するセンサーも必要である。実験システムは1つのセンサーで、これらの動作のいずれかを選択できる。以下の実験では図 4.2 の動作を適用している。

4.1 実験手法

被験者の位置から被験者を俯瞰する位置までの距離(俯瞰距離)及び対象物までの距離(対象物距離)のパラメータがそれぞれ異なる3つの天球を作成した(表 4.1)。主観映像と、その時の主それぞれの俯瞰映像の例を図に示す(図 4.4, 4.5, 4.6, 4.7)。なお、確認用の図では体験者自身の後ろ姿 CG は省略している。天球 1 と 2 は、俯瞰位置が同じで、対象物までの距離が異なる。これらの比較で、対象物距離の仮定について検証する。天球 2 と 3 は、対象物距離が同じで、俯瞰位置が異なる。これらの比較で、俯瞰位置について検証する。天球 1 と 3 を比較すると、対象物距離と俯瞰距離の比が同じであり、対して天球 2 とはこれらの比が異なる。これらを比較

表 4.1: 比較する 3 つの天球

| | 対象物距離 (m) | 天球上の俯瞰視点の座標 |
|------|-----------|-------------------|
| 天球 1 | 1m | (-0.5m, 0m, 0.5m) |
| 天球 2 | 3m | (-0.5m, 0m, 0.5m) |
| 天球 3 | 3m | (-1.5m, 0m, 1.5m) |

することで対象物距離と俯瞰距離の比についても検証する。なお、俯瞰視点が主観天球の外に位置することは想定していないため、俯瞰距離は対象物距離よりも小さい。

被験者は男女含めて15人であり、各被験者には3つの天球それぞれで本システムを体験してもらい、実験を行う(図4.8, 4.9)。図4.9に見える後ろ姿は、体験者自身を表すCGである。自身の俯瞰体験をしてもらう際に初期位置と姿勢は固定し、その後は自由に動いたり首を回したりしてもらう。被験者には各天球での自身の俯瞰体験を試してもらった後に、俯瞰しているように感じたかどうかを評価してもらう。評価に関しては3つの天球を比較するために3点満点で判断を行ってもらう。

また、俯瞰視点を体験してもらう際に俯瞰しているということを分かりやすくするために、磁石を等間隔に配置したホワイトボードを設置した。ホワイトボード及び磁石は初期位置で前を向いた被験者の視線と平行になるように設置し、被験者からの距離が遠い順に磁石に番号を振った(図4.10)。実験を行う際には、真っ直ぐ前を向いている感覚はあるか、ホワイトボードの磁石についてどの位置まで見えるかといった視界に関する質問をしたり、対話者を用意して対話を行ってもらったりしてもらうことで、被験者の俯瞰体験を強調しつつ、被験者がどのように視界を捉えているかの調査を行う。

4.2 実験結果と考察

まず、3つの天球についての比較実験について考察をする。上述の実験について、3つの天球についての点数付けによる比較実験の結果を表4.2に示す。天球1と2を比較すると、対象物距離が3mよりも1mの方が良い評価であった。しかし、天球1と3では、対象物距離が3mの方が若干良い評価であり、またこれは同程度の評価と見ることもできる。一方で、天球2と3を比較すると、俯瞰距離が近いものより

表 4.2: 実験結果

| | 1点の人数 | 2点の人数 | 3点の人数 |
|-----|-------|-------|-------|
| 天球1 | 0 | 14 | 1 |
| 天球2 | 15 | 0 | 0 |
| 天球3 | 0 | 11 | 4 |

も遠い方が良い評価であった。同様に天球1と3でも俯瞰距離が遠い方が若干良い評価であり、またこれは同程度の評価と見ることもできる。これらのことから、この実験パラメータの範囲内では、対象物距離の仮定や俯瞰距離の絶対的な値よりも、対象物距離と俯瞰距離の比に強く影響されると考えられる。すなわち、これらの比が大きすぎない方が良いと判断できる。実験後の感想についても多くの被験者が天球1と天球3については差を感じないと述べていた。天球1と天球3の実験では、背が高くなったようだ、上から眺めているようだ、主観視点よりも距離を感じる、などの感想を得たが、逆に天球2の実験では、普段の視点とあまり変わらない、俯瞰しているという感覚がほぼ無い、などの感想を得た。これらのことから、対象物距離と俯瞰距離との比は俯瞰しているという体験に影響が大きいと考えられる。

次に俯瞰天球での視界について質問をした際の調査結果について考察する。磁石などを用いた視認範囲の検証については、それぞれ個人差はあるものの、天球毎の差としては天球2で視認できている磁石の範囲はシステムを利用しない普段の視界と比べて同等程度であり、他2つの天球で視認できている磁石の範囲は広いという結果だった。これは比較実験の結果から考察した、天球2は主観視点からの感覚に近く、他2つの天球は自身を俯瞰している感覚が天球2に比べて高いという説を後押しするものである。また、対話者を用意し、自身の俯瞰体験中に対話をしてもらい主観視点との違いについて質問した(図4.11, 4.12)。こちらの確認用の図でも、体験者自身の後ろ姿CGを省略している。天球1と3では普段対話している時より対話者を見下ろしている感覚が強いという回答が非常に多かった。自身を斜め上後方から俯瞰した際、正面に相対する対話者を見下ろす形となるのは自然な事であり、自身を俯瞰する体験を目指す上で肯定的な結果と言えるだろう。天球2に関しても同等の質問をした際に、他2つの天球程ではないものの主観視点よりは見下ろしている感覚があるという回答もあったため、天球2も主観視点と完全に同等では無く自身を俯瞰する感覚を与えられていると言える。

以上の考察より、本システムは自身を俯瞰しているという体験を少なからず提供することが可能である。そして、俯瞰天球の構築に関しては、対象物から体験者までの距離に関しては俯瞰体験に大きな影響はなく、その距離に対する俯瞰距離の比が俯瞰しているという感覚に大きく影響することが分かった。

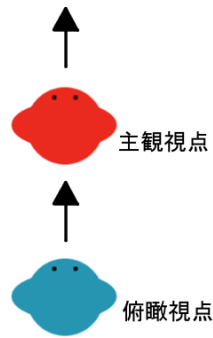


図 4.1: 体験者と俯瞰者の向き

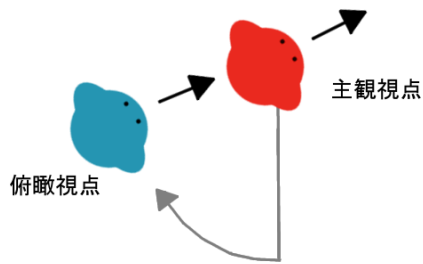


図 4.2: 体と頭の位置関係を維持したまま向きを変えた場合の体験者と俯瞰者の向き

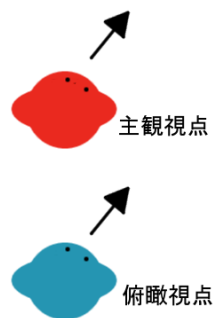


図 4.3: 体を動かさずに頭の向きだけを変えた場合の体験者と俯瞰者の向き



図 4.4: 主観天球の映像

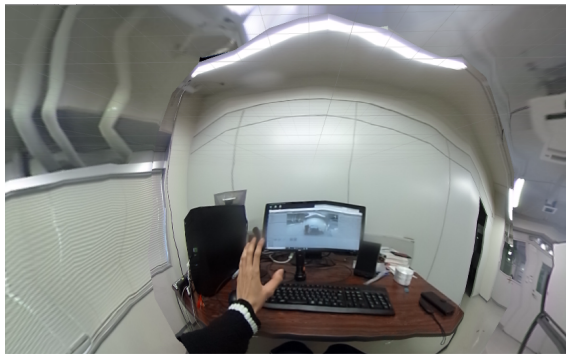


図 4.5: 俯瞰天球 1 の映像



図 4.6: 俯瞰天球 2 の映像

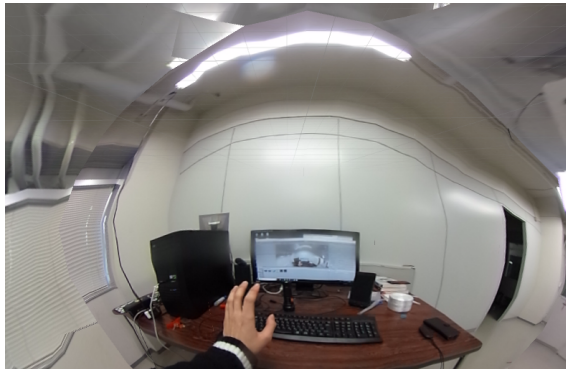


図 4.7: 俯瞰天球 3 の映像



図 4.8: 実験の様子

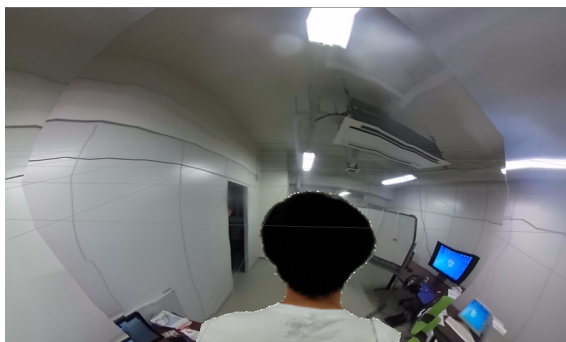


図 4.9: 被験者が見る映像

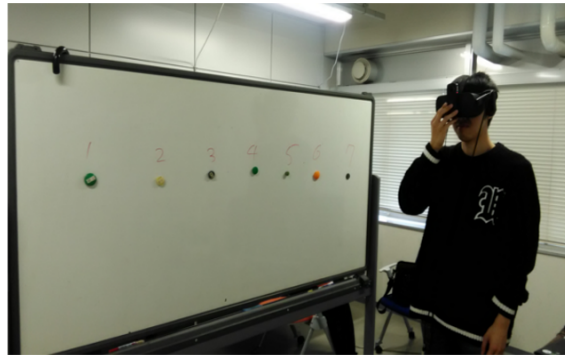


図 4.10: ホワイトボードを用いた実験環境



図 4.11: 主観視点での対話



図 4.12: 俯瞰視点での対話

第5章 むすび

本研究では、全天球カメラとヘッドマウントディスプレイ (HMD) を用いて自身を俯瞰する体験を行えるシステムを構築した。システムでは全天球カメラから得られる主観視点からの天球映像をもとに俯瞰視点からの天球を作成し、HMDを通して体験者に提示する。実験システムにより俯瞰体験についての検証を行った。本システムは自身を俯瞰する際に、その俯瞰する位置に特別な機器を設置する必要がなく、またドローンを用いて自身を俯瞰するシステムよりも環境的な制約が少ないため、より汎用的に様々なコンテンツや研究への導入が期待できる。評価実験では多くの被験者から自身を俯瞰しているという感覚について一定の評価を得ることができ、全天球映像から作成した数学的な自身を俯瞰する視点での天球の有効性を確認することができた。

一方、体験実験を通して、自身を俯瞰しているという感覚や普通の視界との差異についてフィードバックを得たことで、今後の本システムの改善に必要な要素や機能を洗い出すことができた。本システムは2章でも述べたように体験者から天球に投影される物までの距離について、状況のある程度限定することで1メートルから数メートルと仮定し、また全ての対象物に対して同等の距離と仮定している。もちろん評価実験の結果から考察するに、本システムは一定の自身を俯瞰しているという感覚を提供できているが、汎用的に導入するシステムを目指すにあたってどの状況でも違和感なく正しくその感覚を提供できなくてはならない。そこで周囲の対象物について距離を取得できるような仕組みの導入を検討したい。ところで、現在の実験システムでは手作業で俯瞰天球へのマッピングを行っている。注視対象物の距離に応じて俯瞰天球のパラメータを動的に変更することも検討したい。また自身を俯瞰する際、本来であれば俯瞰する位置に応じて自身の姿が視界に入るはずだが、実験システムでは簡易的なCGにより表示しているだけである。これに関しても後姿

となるテクスチャを状況に応じてマッピングしたり，3Dモデルを導入したりするなどの様々な試みが考えられる．頭や体の向きを取得に関しても，複数センサーを利用することで，体全体の方向転換と頭の向きだけの変更の両方を同時に実現させる必要がある．

今後も以上のような仕組みの導入や試みを行い，本システムを改良していきたい．本研究の最終目標は，様々なコンテンツや研究に汎用的に導入が可能な自身の俯瞰体験を高精度で提供するシステムの完成である．

謝辞

本研究を進めるにあたり、終始熱心かつ適切な助言を賜り、丁寧に指導して下さいました舟橋健司准教授に深謝いたします。そして、本研究において実験をするにあたって快く協力をして頂いた舟橋研究室の先輩、同期の皆様、そして多くの情報工学科の友人の皆様に深謝いたします。

参考文献

- [1] FOVE, FOVE, <https://www.getfove.com/>.
- [2] 360Channel, FACE, <https://face.360ch.tv/>.
- [3] 近藤 敏之, 長峰 伸, 大村 優慈, 矢野 史朗 “没入型ヘッドマウントディスプレイの認知心理学実験への活用事例”, 日本神経回路学会誌 23, 3, 87-97, 2016.
- [4] マンションモデルルームにおいて高性能マンション VR システムを運用開始,
<https://vrinside.jp/news/mansion-vrsystem/>
- [5] VR 酔い防止に向けて。これまで登場した VR での酔わない移動方法のアイデア
まとめ,
<http://www.moguravr.com/against-vr-nausea/>
- [6] 三人称視点で生活したらどうなるのかドローンで実験してみた,
<http://getnews.jp/archives/1983981>
- [7] 浅村 亮彦 “方向感覚と空間推論時における視点との関連”, 商学討究 49, 1, 215-238, 1950.
- [8] 藤井 紀之, 中本 浩揮, 幾留 沙智, 畝中 智, 森 司朗 “サッカー選手のサーヴェイ的視点と心的回転能力との関係”, スポーツ心理学研究 41, 2, 93-103, 2014.
- [9] 下森 周平, 棟方 渚, 小野 哲雄 “HMD を用いた俯瞰的視点変換トレーニング効果の検証”, エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2016 論文集 289-294, 2016.
- [10] アラウンドビューモニタ,
<https://www.nissan-global.com/JP/TECHNOLOGY/OVERVIEW/avm.html>

- [11] RICOH, Theta, <https://theta360.com/ja/>
- [12] Oculus, Oculus Rift, <https://www.oculus.com/rift/>
- [13] Unity Technologies, Unity, <https://unity3d.com/jp>
- [14] BlenderFoundation, Blender, <https://blender.jp/>