

情報理工学特別研究報告書

題目

Octahedron Sphere を用いた高解像度画像を
球面にテクスチャマッピングする手法と
全天球パノラマ画像ビューアへの応用

学生証番号 153669

氏名 清水 瑛音

提出日 令和7年1月31日

指導教員 蚊野 浩

京都産業大学
情報理工学部

要約

近年、カメラ電動雲台や 360 度カメラの普及により、簡単に高品質な全天球パノラマ画像が撮影、生成できる。また、VR 空間を HMD (Head Mounted Display) で体験することへの注目が高まっている。一方で、HMD で簡単に高解像度画像を見ることができるビューアの提供は少なく、有料の場合も多い。無料の場合、画像の解像度制限等、制約が課されていることが多い。本論文では Unity を用いて高解像度な全天球パノラマ画像ビューアを作成した。高解像度画像を使用することによって、画像をズームすることが可能で、HMD での VR 酔いを軽減するビューアを開発した。

Octahedron Sphere は正 8 面体を細分化し、球状へと変形させたものである。Octahedron Sphere を分割しテクスチャマッピングする手法を用いて、Unity で高解像度な全天球パノラマ画像ビューアを作成することができた。従来のテクスチャマッピング手法と比べて、8 倍の解像度を持つ画像を利用することが可能となった。本ビューアでは最大 65536×32768 の画像を使用してテクスチャマッピングを行い、HMD 上に表示させることができた。また、視野の一部を使用したズーム機能を実装したことにより、VR 酔いに配慮したビューアを作成することができた。Unity でビューアを作成したことにより、様々な VR アプリケーションで応用可能となった。

しかし、今回作成したビューアでは、極付近である天頂部分では画像に違和感が生じた。極付近のみ色の調整をする、極付近のみ引き伸ばされていない画像を使用する、極付近のみメッシュを細分化する等、より自然に見えるシーンを作成することが課題として残った。

目次

1 章 序論	1
1.1 背景	1
1.2 目的	1
2 章 全天球パノラマ画像の表現と表示方法	2
2.1 正距円筒図法	2
2.2 360 度画像を用いた VR 空間の表現	3
2.3 高解像度画像をテクスチャマッピングする場合の課題	4
3 章 Octahedron Sphere を用いたテクスチャマッピング手法とビューアの開発	5
3.1 Octahedron Sphere	5
3.2 Octahedron Sphere を用いたテクスチャマッピングの手法	5
3.3 正距円筒画像を 8 分割する利点	8
3.4 Unity での全天球パノラマ画像ビューアの開発	8
4 章 ビューアを作成した結果	10
4.1 テクスチャマッピングを行った結果	10
4.2 全天球パノラマ画像ビューアを作成した結果	11
5 章 結論	14
参考文献	15
謝辞	16
付録 本研究で開発したプログラム	17

1 章 序論

1.1 背景

近年、カメラの電動雲台である Gigapan(図 1)や、生成 AI による画像の高画素化等により、高品質な画像が簡単に撮影、生成できる。Ricoh THETA などの 360 度カメラを使用してワンショットで全天を撮影することができる。分割して撮影した画像から、高画質な 360 度パノラマ画像を合成する研究も行われている[1]。また、VR 空間を HMD(Head Mounted Display)で体験することへの注目が高まっている。一方で、HMD で簡単に高解像度画像を見ることができるビューアの提供は少なく、有料の場合も多い。無料のものとして、Theta が Theta360 というビューアを提供している。しかし、ビューアに 360 度画像をインポートする場合、画像の容量が 20MB に制限されている。



図 1. Gigapan

(<http://gigapan.jp/>)

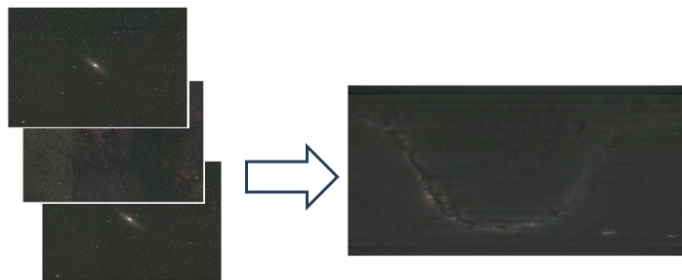


図 2. 分割して撮影した画像から、高画質な 360 度パノラマ画像を合成する研究[1]

1.2 目的

本論文では、高解像度な全天球パノラマ画像ビューアを作成し、HMD を用いて体験することでより高品質な VR 体験を提供する。新たな手法を用いて VR 空間を作成することにより、高解像度画像を使用することで生じるコンピュータへの負荷を軽減し、現在提供されているビューアよりも高品質で同等の快適さを持つビューアを作成する。高解像度画像を使用することから、画像をズームすることが可能で、HMD での VR 酔いを軽減するビューアを開発する。ビューアは Unity を用いて作成し、誰でも使用可能で、拡張可能であることを目指す。

2 章 全天球パノラマ画像の表現と表示方法

2.1 正距円筒図法

正距円筒図法とは、地図投影法の一つであり、球体表面を平面上で表現する方法である。この図法は、縦が緯度、横が経度を表しており、縦方向に関しては正距である。横方向に関しては、緯度が大きくなるにつれて引き伸ばされる。緯度の角度を θ とすると、拡大率は $1/\cos \theta$ となる。正距円筒図法の例を図 1、正距円筒図法の緯度による拡大率を図 2 に示す。

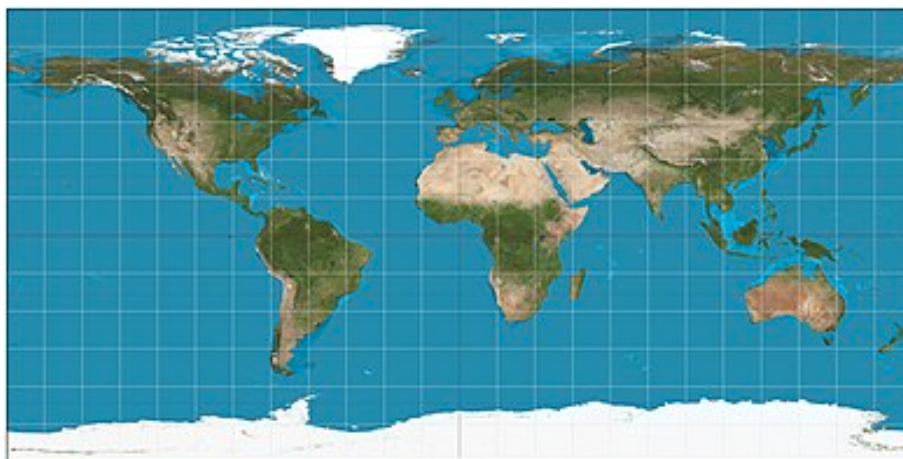


図 3. 正距円筒図法の例

(wikipedia, [Equirectangular projection - Wikipedia](#))

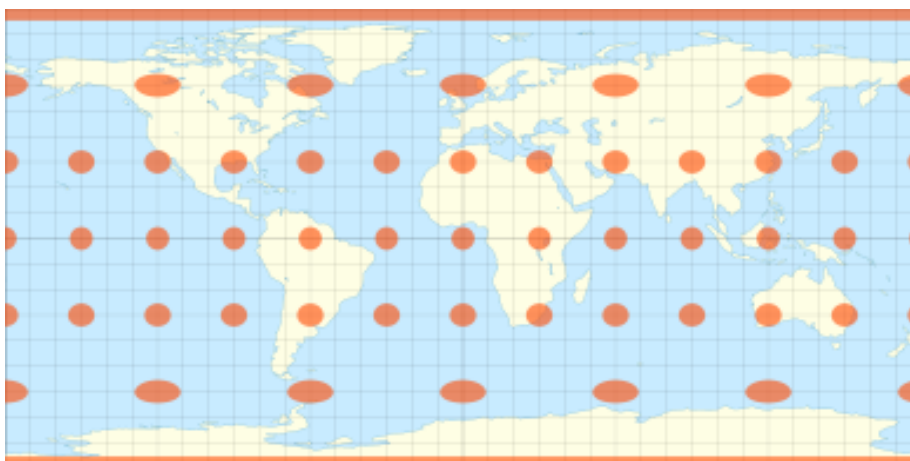


図 4. 正距円筒図法の緯度による横方向の拡大率を表した画像

(wikipedia, [Equirectangular projection - Wikipedia](#))

2.2 360 度画像を用いた VR 空間の表現

球状のメッシュに正距円筒画像をテクスチャマッピングすることで、VR 空間を表現する。メッシュとは、図 5 のように、あるオブジェクトの形状を三角ポリゴンや四角ポリゴンで表したデータのことである。与えられた頂点データを結び、三角ポリゴンや四角ポリゴンを生成する。全天球パノラマ画像ビューアを作成する場合、通常は球状のメッシュに正距円筒画像をテクスチャマッピングすることにより、360 度の空間を表現する。図 5 のメッシュに図 6 の正距円筒画像をテクスチャマッピングした様子を図 7 に示す。

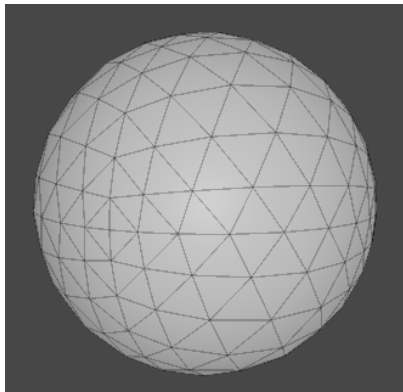


図 5. 球状のメッシュ



図 6. 正距円筒画像

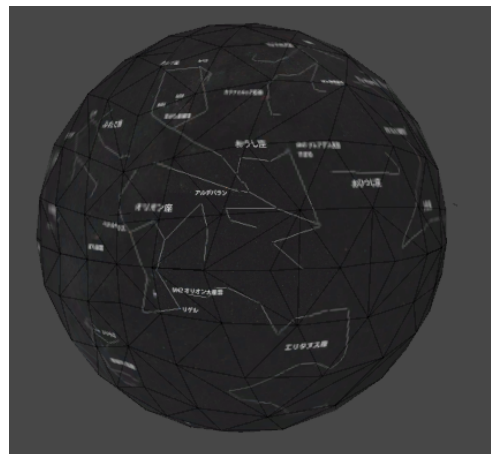


図 7. 正距円筒画像をメッシュにテクスチャマッピングした様子

テクスチャマッピングとは、3次元コンピュータグラフィックスで作成された立体に画像を重ね合わせることで3Dモデルに質感を持たせることである。メッシュに貼り付ける画像をテクスチャと呼び、正方形の画像として扱われる。メッシュにテクスチャを貼り付ける際、メッシュの頂点にUV座標を割り当てることにより、テクスチャの位置を決定する。UV座標は、横軸がU、縦軸がVを表し、それぞれ0～1の範囲で定められている。テクスチャマッピングの概要を図8に示す。

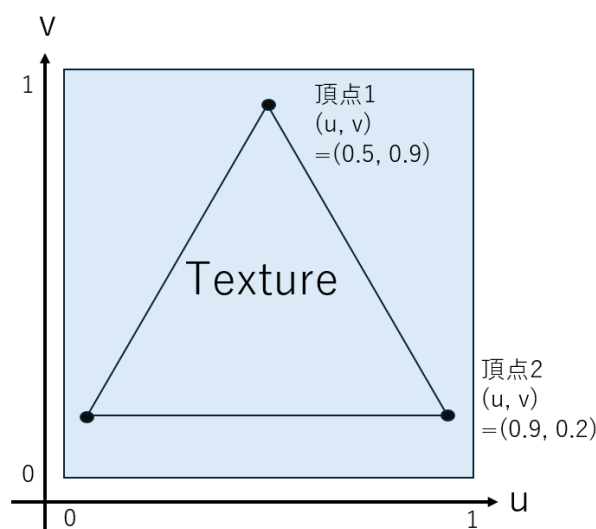


図8. テクスチャマッピングの概要

2.3 高解像度画像をテクスチャマッピングする場合の課題

Unity等のゲームエンジンでは、高解像度の画像を使用することによって、レンダリング処理に負荷がかかり、使用メモリが増加するため、1枚のテクスチャに最大解像度が設定されている。

今回作成するビューアでは、球のメッシュにテクスチャを貼り付ける際、球を分割し、分割した領域ごとにテクスチャを貼り付けることで、各テクスチャの解像度を上げる。しかし、この手法ではコンピュータへの負荷が増加する。パフォーマンスに影響を与えないように、カメラに写っていない部分を描写しないオクルージョンカリングを行うことでコンピュータへの負荷を低減させる。

3 章 Octahedron Sphere を用いたテクスチャマッピング手法とビューアの開発

3.1 Octahedron Sphere

分割する球状のメッシュとして，Octahedron Sphere を用いる．Octahedron Sphere とは，正 8 面体を細分化し，球状へと変形させたものである．正 8 面体の辺の midpoint で新たな頂点を作成し，頂点同士を繋げることで，32 面体を作成される．このような操作を繰り返すことで，均等な三角メッシュで球面を作成することができる．正 8 面体を細分化し，Octahedron Sphere を作成する様子を図 9 に示す．

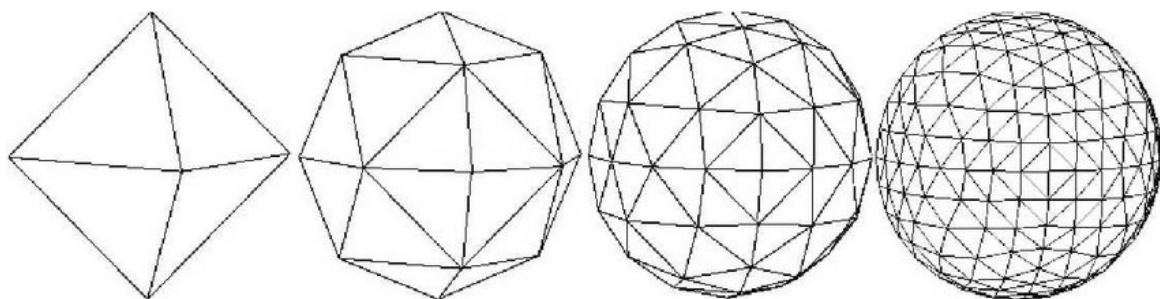


図 9. Octahedron Sphere を作成する様子

(A wavelet-based framework for acquired radiometric quantity representation and accurate physical rendering)

Octahedron Sphere の特徴として，球の歪みが少なく，ポリゴン数が少ないことが挙げられる．一般的にメッシュ球として扱われている UV 球と比較すると，頂点の数は半分ほどに抑えられている．Octahedron Sphere は少ないメッシュ数で形の整った球を作成できるため，レンダリングを行う際のコンピュータの負荷を低減することができる．

3.2 Octahedron Sphere を用いたテクスチャマッピングの手法

正距円筒画像と Octahedron Sphere を 8 分割し，分割した各テクスチャをメッシュにテクスチャマッピングさせる．その様子を図 10 に示す．

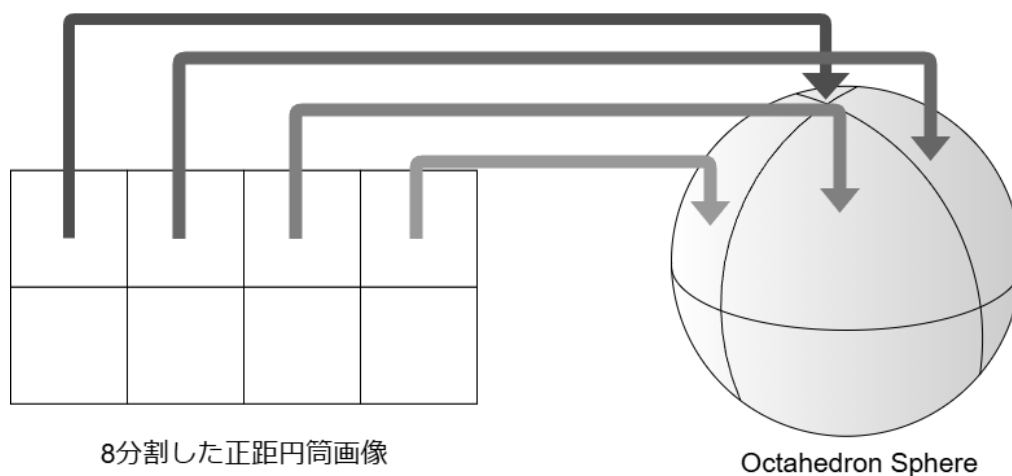


図 10. 正距円筒画像と Octahedron Sphere を使用したテクスチャマッピングの手法

正距円筒図法では，球体表面を，球に巻き付けた円筒に投影する．これにより，球体表面を二次元平面上に変換することができる．本論文では，球面上の位置を表すために，赤道座標系を用いる．赤道座標系とは，赤道面を基準とし，緯度を赤緯 $-90\sim 90$ [度]，経度を赤経 $0\sim 180$ [度]を表す座標系である．赤道座標系を用いることにより，球面上の位置を正確にわかりやすく表すことができる．図 11 は，球の中心から投影を行い，赤経，赤緯に応じて，球面上の点が正距円筒図法上の点に対応付けられている様子を示す．

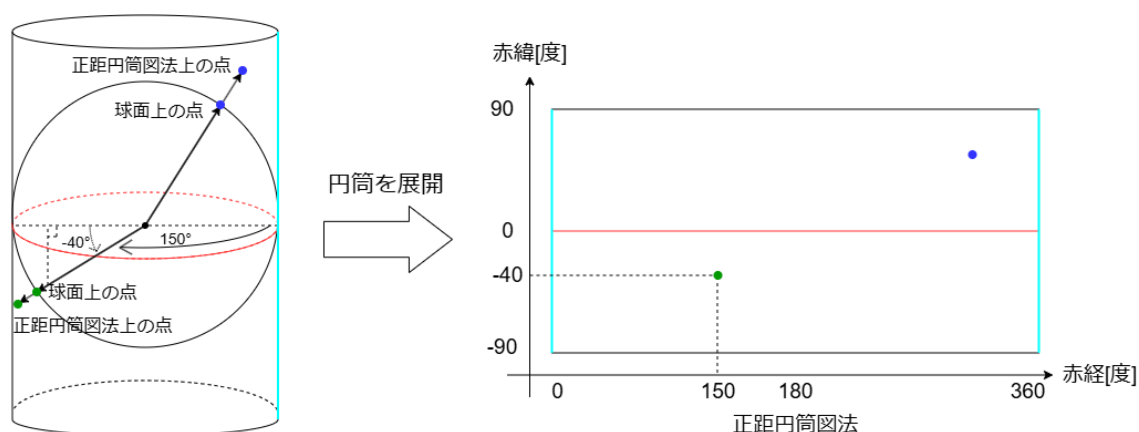


図 11. 正距円筒図法での投影方法

以上のことから，分割したメッシュにテクスチャマッピングを行う際には，各頂点が

球の中心から見える角度によって、UV 座標を割り当てる．各頂点の UV 座標は、各頂点のワールド座標 (x, y, z) を用いて計算を行う．メッシュの任意の頂点 $A(x, y, z)$ を $A(u, v)$ (u, v は $0 \sim 1$ の値) に変換させるため、以下の式を用いる．

球の半径を 1 とすると、

$$u = \frac{2\sin^{-1}(y)}{\pi} ; \quad (1)$$

$$v = \frac{2\tan^{-1}\left(\frac{z}{x}\right)}{\pi} ; \quad (2)$$

で表される．

球面上の任意の頂点 A を図 12 に示す．任意の頂点 A を UV 座標へと変換した様子を図 13 に示す．

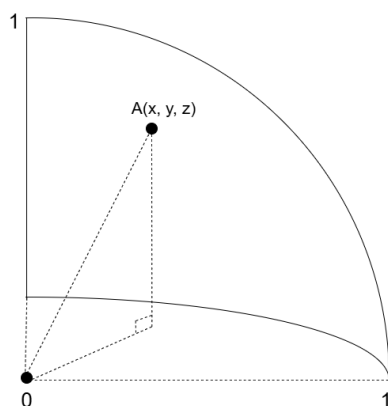


図 12. 球を 8 分割したメッシュの任意の頂点 A

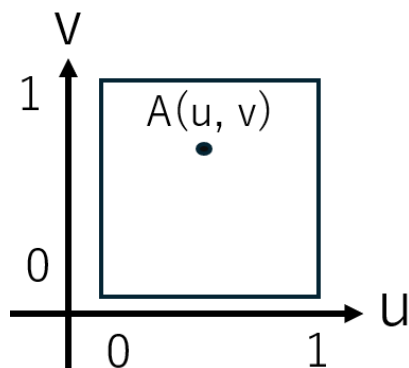


図 13. 頂点 A を UV 座標へと変換した様子

3.3 正距円筒画像を 8 分割する利点

正距円筒画像は縦：横の比率が 1：2 の画像であるため、8 分割することによって、正方形の画像 8 枚に分割することができる。画像が正方形であると、コンピュータにとって扱いやすい。画像、テクスチャを正方形にすることで ASTC や PVRTC 等、様々なプラットフォームでの画像圧縮アルゴリズムに対応させることができる。画像圧縮することにより、アプリケーションの容量削減、メモリ使用量削減等が実現できる。また、画像の解像度が 2 の累乗であればより効率的にメモリを使用できるため、Unity へ画像をインポートする際には、画像の縦横の解像度を 2 の累乗へと変換させる。

3.4 Unity での全天球パノラマ画像ビューアの開発

Octahedron Sphere を用いたテクスチャマッピングを行い、Unity で全天球パノラマ画像ビューアを作成する。VR アプリ制作では、Unity 等のゲームエンジンで作成されることが多い。マルチプラットフォーム開発が可能で、iOS や Android、Web アプリへと出力が可能である。本論文では、Unity で全天球パノラマ画像ビューアを作成する。Unity でビューアを作成することにより、他のアプリに使用できる等、様々な用途に応用できる。

今回使用する天体画像等では、画像の一部をズームして見たい場合があること、高画質画像を使用していることから、画像をズーム可能なビューアを作成する。

HMD を用いた VR 体験では、視覚情報から感じる動きと実際の体の動きが一致しない時、VR 酔いが発生することがある。また、ズームをさせたまま HMD による視点変更を行うと、視界の高速移動により、VR 酔いが発生しやすくなる [2]。HMD で全天球パノラマ画像を見る場合、ユーザは球の中心に位置する必要がある。画像をズームさせていくと、視野角は狭くなっていく。例えば、3 倍ズームを行った場合、HMD 上での視野角は 1/3 倍となる。ここで HMD を回転させて視点を移動させると、ズームさせていない場合に比べて 3 倍の速度で映像が流れることになる。高速な視界移動と、実際に動かしている頭の回転速度との乖離により、VR 酔いが発生しやすくなる。本論文では、[2]で研究された視野の一部分を使ってズームを行う手法により、VR 酔いを軽減させる。

さらに、分割したメッシュに対してオクルージョンカリングを行うことにより、スムーズな表示システムを実現する。オクルージョンカリングとは、カメラにオブジェクトが映っていない際に、演算を行わないことによって処理を軽減させる機能である。

一部分を使ってズームを行う手法を図 14, 図 15, 図 16 で示す. 図 14 はズームをしていない場合の視野全体を示す. 図 15 は視野全体を使ってズームを行う場合を示す. 視野全体をズームしているため, このまま HMD を動かして視点移動を行うと, 視界は高速移動する. 図 16 は視野の一部のみを使用してズームを行っている. 一部分のみを使ってズームを行うと, ズーム部以外の場所ではズーム倍率が 1 倍のまま見える. HMD を動かして視点移動を行った時, ズームされている箇所のみが高速移動し, 周辺は元の移動速度で視界が動くため, 実際に動かしている頭の回転速度で画面を把握することができる. よって, 視覚情報と実際の動きに乖離が起こりにくくなるため, HMD でズームを行う際の VR 酔いを軽減することができる.

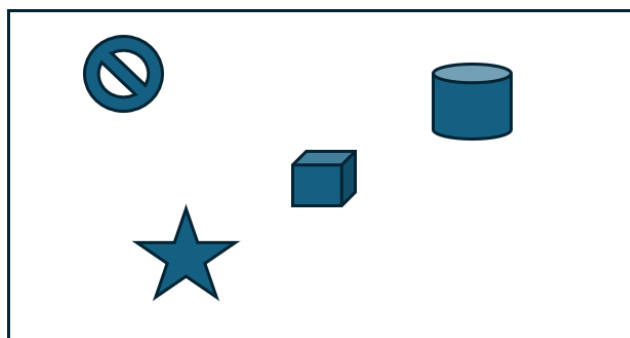


図 14. 視野全体

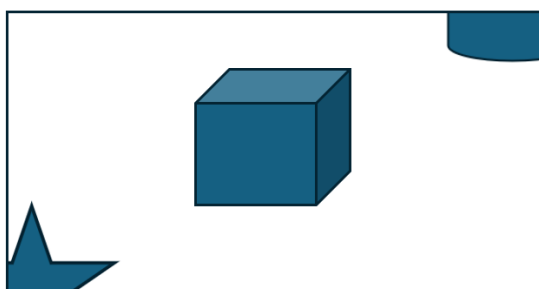


図 15. 視野全体を使用してズームする場合

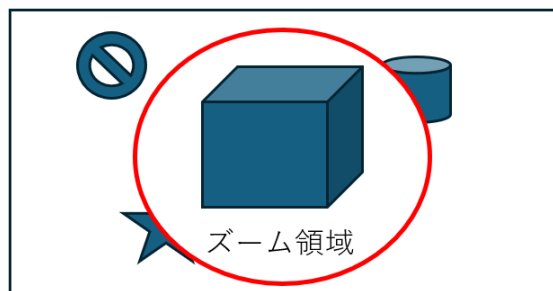


図 16. 視野の一部を使用してズームする場合

4章 ビューアを作成した結果

HMDでビューアを確認するため、Meta Quest2用のアプリをビルドし、解像度8000x4000の正距円筒画像を使用した。HMDを用いて視点変更を行い、左右の手で持つコントローラーを使用してズーム機能を利用できるようにした。

4.1 テクスチャマッピングを行った結果

正 8 面体を 2 回細分化し，作成された Octahedron Sphere を用いて UV 座標の計算を行った．図 17 に Octahedron Sphere を 8 分割したメッシュを平面に展開した様子を示す．

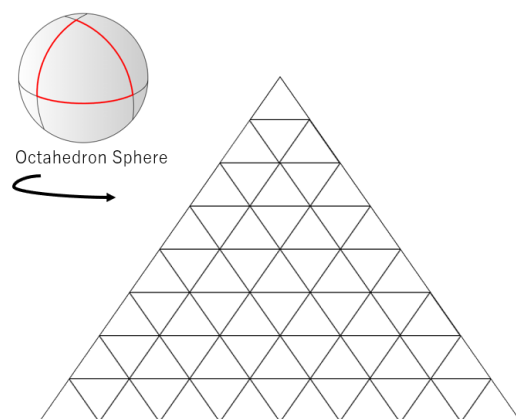


図 17. Octahedron Sphere を 8 分割したメッシュを平面に展開した様子

図 18 は、Octahedron Sphere を 8 分割したメッシュのワールド座標を用いて式(1), 式(2)で UV 座標の計算を行い、各頂点へ UV 座標を指定した結果を示す。

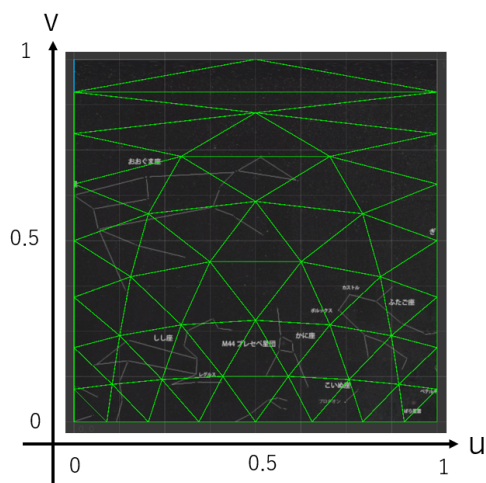


図 18. Octahedron Sphere を 8 分割したメッシュに UV 座標を指定した結果

メッシュの各頂点のワールド座標を基に、球の中心からの各頂点の角度を求め、UV座標へと変換させることができた。しかし、図 18 から、上部でテクスチャを一部利用していないことがわかる。このような場合、隣り合ったテクスチャとの連続性が失われるため、表示された画像に違和感が生じる。よりテクスチャ全体を使用するためには、メッシュの細分化を行い、頂点数を増加させる必要がある。

4.2 全天球パノラマ画像ビューアを作成した結果

テクスチャマッピング手法による解像度の比較のため、1 枚のテクスチャの最大解像度を 2048×2048 に設定し、 8192×4096 の正距円筒画像を使用した。図 19 に従来の手法で球体にテクスチャを投影した表示画像を示す。図 20 は、本論文で述べたように、Octahedron Sphere を分割し、テクスチャマッピングを行った表示画像を示す。これらは Unity エディタ上で投影されたもので、同じ位置、同じ画角で撮影されている。



図 19. 従来の手法でテクスチャマッピングした画像



図 20. 分割した Octahedron Sphere にテクスチャマッピングした画像

図 19 は設定したテクスチャ最大解像度の 2048×2048 に画像が縮小されたため、ズームを行った際にぼやけて表示された。図 20 は分割してテクスチャを貼りつけたことにより、8 分割された球 1 つにつき 2048×2048 の画像を割り当てることができたため、球全体では 8192×4096 の画像を表示させることができた。球を 8 分割することによって、従来の手法よりも 8 倍の解像度で全天球パノラマ画像ビューアを作成することができた。

開発するプラットフォームに依るが、現在の Unity でのテクスチャ 1 枚の最大解像度は 16384×16384 である。本ビューアではテクスチャ 1 枚の最大解像度の 8 倍の解像度をもつ画像を使用できるため、最大 65536×32768 の画像を使用してテクスチャマッピングを行い、HMD 上で表示させることができた。

ズーム機能を実装した結果を示す。図 21 はズーム前の視野を示す。図 22 は視野の一部を使用したズームを示す。一部分のみがズームされていることにより、ズームをした状態で HMD による視点移動を行っても、視覚情報と実際の動きに乖離が起きにくくなった。そのため、VR 酔いに考慮したビューアを作成することができた。



図 21. ズーム前の視野

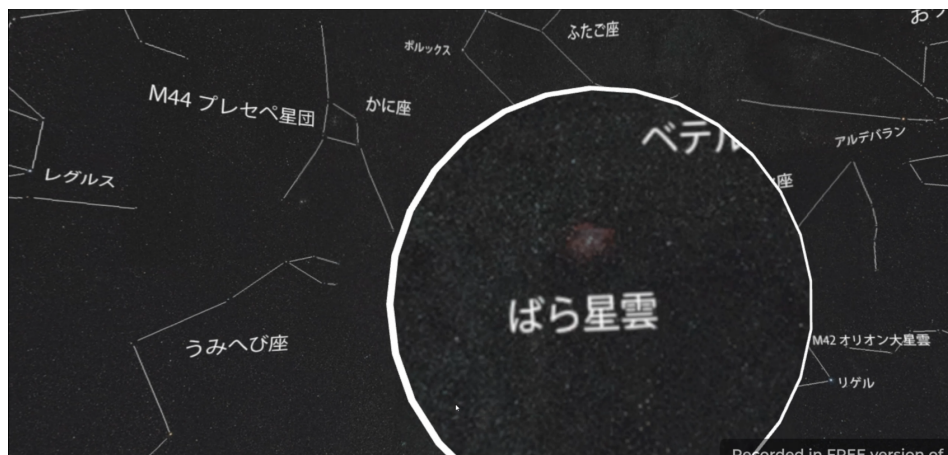


図 22. 視野の一部を使用したズーム

5 章 結論

本論文では、Octahedron Sphere を分割しテクスチャマッピングする手法を用いて、高解像度な全天球パノラマ画像ビューアを作成した。従来のテクスチャマッピング手法と比べて、8 倍の解像度を持つ画像を利用することが可能となった。本ビューアでは最大 65536×32768 の画像を使用してテクスチャマッピングを行い、HMD 上で表示させることができた。また、視野の一部分を使用したズーム機能を実装したことにより、VR 酔いに配慮したビューアを作成することができた。Unity でビューアを作成したことにより、様々な VR アプリケーションで応用可能となった。

しかし、今回作成したビューアでは極付近での画像の引き伸ばしによる違和感を微調整する機能などは実装できなかった。極付近のみ色の調整をする、極付近のみ引き伸ばされていない画像を使用する、極付近のみメッシュを細分化する等、より自然に見えるシーンを作成することが課題として残った。

参考文献

[1]松原 光汰, 全天を分割して撮影した高画質な天体写真から 360 度パノラマ画像を合成する研究, 2024 年

[2]Huiwen, C., Michael, F. C. 2017. Panning and Zooming High-Resolution Panoramas in Virtual Reality Devices

謝辞

本論文を作成にあたり，丁寧な御指導を賜りました蚊野浩教授に感謝いたします．

付録 本研究で開発したプログラム

<https://github.com/eight50/vrtest>