

分光画像計測に基づいたテクスチャ生成による 敦煌・莫高窟の視覚的再現

藤原智晴¹ 川口拓哉² 末森薫³ 角田直嵩⁴ 村岡叶夢⁴ 安室喜弘¹

¹関西大学 環境都市工学部 都市システム工学科 ²株式会社かたち ³国立民族博物館

⁴関西大学大学院 理工学研究科

1 はじめに

中国甘粛省敦煌市近郊にある仏教遺跡、莫高窟には、4世紀から約1000年に渡って大小700以上の石窟が掘られ、その内部には彩色塑像と壁画が残っている。多くの壁画に残された千仏壁画については、宗教空間としての解釈や見る者への心理的な作用が注目されている。これらの壁画では、経年的な変色により視覚的特徴が大きく変化しており、部分的な模写による変色前の壁画の物理的再現や、模写の分光計測を活用して蠟燭などの燃焼光源下での見え方を再現する試みが行われてきた。本研究では、これらの資源を活用したVRにより、変色前の石窟内の視覚的再現を目的とする。

2 先行研究

末森は、莫高窟千仏図の構図にみられる規則性に注目し、その石窟内の空間における参拝者の順路における視覚的効果や空間がもたらす宗教観について分析している[1]。また、残存状態の良い図像や、太陽の光が届かない箇所にある変退色前の痕跡を確認し、制作工程、彩色材料、技法を再現した壁画の模写も制作している(図1)[2]。川口らは、模写で再現された壁画の分光反射率を、高い分解能と解像度で求め、蠟燭光源の分光分布に



図1:技法を再現し作成された模写[2]



図2:蠟燭光源下での色順応後の見え方[3]

よる照光演算を画素毎に行い、人間の目の感度特性を考慮した刺激値を算出してRGB値に変換した。さらに色順応を適用して壁画本来の見え方も再現した(図2)[3]。本稿では、既往研究の情報をVRに採りこみ、変退色前の時代において参拝者が目にした石窟空間の視覚的再現を目指す。

3 提案手法

本研究では、川口らの研究成果をもとに、図3に示す処理を用いて、変色前の時代の千仏図の見え方をCGで再現し、ゲームエンジンを活用したVR表示で石窟を再現する。高解象度(2761px×900px)かつ高分解能(281ch)で計測された千仏図の分光反射率分布と光源スペクトルとの演算により、様々な光源下での壁画の反射率分布を算出できるが、通常のCG描画パイプラインでは、このような分光情報を直接表現できない。そこで、分光演算結果をテクスチャに変換して用いる。CG用の3次元モデルは、別途現状の多視点画像から生成するため、模写絵の分光分布を対応付ける必要がある。千仏図模写絵のオルソ画像を生成

Visual Reproduction of the Mogao Grottoes in Dunhuang by Texture Generation based on Spectral Imaging.

Tomoharu FUJIWARA¹, Takuya KAWAGUCHI², Kaoru SUEMORI³, Naotaka SUMIDA⁴, Tomu MURAOKA⁴ and Yoshihiro YASUMURO¹

¹Kansai University, 564-8680, Suita, Osaka, Japan

²Katachi Corp,

³National Museum of Ethnology, 565-8511, Suita, Osaka, Japan,

⁴Graduate School of Engineering and Science, Kansai University



図3: 提案手法における処理手順

し、画像特徴の類似性で分光分布画像と対応付けしておき、オルソ画像から生成したUVマップを介して3次元モデルのポリゴンメッシュと対応付ける。こうすることで、千仏図の分光情報をRGB値化してテクスチャとして入れ替えることができ、様々な光源の影響をCGで表現可能となる。

4 実装と結果

現在、莫高窟の現場において3次元計測を実施することが情勢的に難しいため、本稿では、図3上段に示すように、Webで公開されている石窟内のストリートビュー画像の活用を考えた。重複しながら360°の視野を覆うように約40枚のスクリーンショットを3視点で取得し、フリーソフトのHuginによるスティッチング処理で360°パノラマ画像(図4)を作成し、Metashape(Agisoft製)によるSfMで石窟の3Dメッシュモデルを作成した。

平板の模写絵に対して縦ラインの分光スキャナを回転させて分光計測を実施したため、中央から左右両端にかけてスキャン密度が僅かに低くなり、分光分布は樽型に歪んだ図像になる(図3最下部)。本稿では、仏一体ごとに外接四辺形領域を設定し、オルソ像と分光反射率の図像を対応付け、座標変換を行うホモグラフィ行列を求めた。

3Dメッシュに対するUVマップの割り当ては、フリーの3次元データ編集ソフトMeshLabを用いて行った。作成した石窟の3Dメッシュモデルのオルソ像に対して、オルソ化された模写絵の反射率の図像を重ね合わせ、該当する千仏図の箇所に割り付けたUVマップを生成した。このUVマ



図4: 生成した石窟の360°パノラマ画像

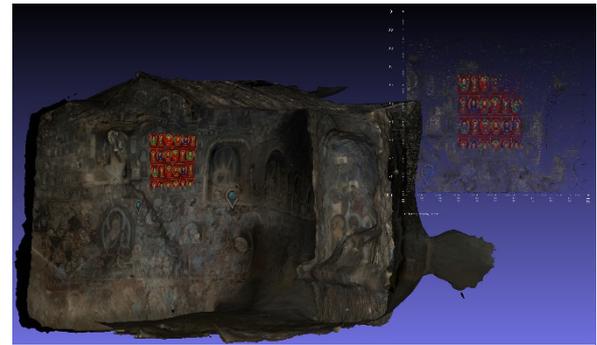


図5: 石窟の一部にテクスチャ変換を行った例

ップを介して、照明状況の異なる反射率の図像テクスチャを適用することが可能となった(図5)。

5 おわりに

本研究により、3Dモデル内の現在の変色した壁画のテクスチャを、色順応を適用した任意光源下での過去の壁画の見え方を再現したテクスチャに置き換えて表現することができた。

今後、千仏図の様式や照光環境の違いが人に与える影響を検証するために、心理実験を実施できるようなVR環境を構築する予定である。

謝辞 本研究は、科研費(23H00720)および関西大学先端科学技術推進機構の助成を受けた

参考文献

- [1] 末森薫, “敦煌莫高窟と千仏壁画-規則性がつくる宗教空間”, 法蔵館, 2020.
- [2] 末森薫 他, “敦煌莫高窟に描かれた規則性を備える千仏図の再現”, 文化財保存修復学会第42回大会研究発表集, pp. 214-219, 2020.
- [3] 川口拓哉 他, “分光画像計測を用いた燃焼光源下における古代壁画の見え方の再現”, 情報処理学会第84回全国大会講演論文集, pp. 553-554. 2021.