

歴史建造物の3DCGレンダリングにおける GPUアーキテクチャの比較

Comparison of GPU architectures for 3DCG rendering of historical buildings

望 月 宏 祐*

田 中 法 博**

Kosuke MOCHIZUKI

Norihiro TANAKA

要旨

本論文は古城の3DCG再現に適したGPUアーキテクチャの特性や性能を調べるため、実際の古城の3DCG復元処理を対象として複数のアーキテクチャのGPUの速度比較検証を行った結果を示す。検証には本研究で作成した長野県小諸市に江戸期存在した小諸城と、その城下町の3Dモデルを用いる。GPUアーキテクチャの比較はGPGPUによるレイトレーシングによりレンダリングし、その速度を検証することにより行う。使用するGPUはGPGPUレンダリングが可能なNVIDIA社、AMD社、Intel社の3社の同価格帯でかつ大容量のメモリを搭載しているモデルである。小諸城と、その城下町を対象とした大規模な3次元モデルを用いて、負荷の大きいラインレンダリングを行い、GPUアーキテクチャの性能を調べる。レンダリングのプラットフォームはBlenderを用いた。

キーワード：文化財、CPU、GPU、3DCG、レイトレーシング法、レンダリング速度

1. はじめに

近年、古城や遺跡などといった歴史建造物の映像復元やデジタルアーカイブに3DCG技術が用いられるようになってきている[1]。こういった分野における復元された3DCGは、観光や歴史資料としても活用することが可能になる。

歴史建造物を3DCG再現する場合、そのモデルが使用するメモリ容量が膨大に必要となる。一般に高精度な3DCG再現にレイトレーシング法[2]が使われることが多い。これは複雑な光の反射や影などを精密に計算できるからである。このとき大規模な歴史建造物を高精度に3DCGとしてレンダリングする場合、メモリ負荷や計算負荷が大きくなるという課題がある。レイトレーシング法はレンダリングする画像解像度やポリゴ

ン数に比例して計算量が増加することから、高精度なCGの高速なレンダリングが難しく、オフラインレンダリングになることが多かった。しかし、近年ではレイトレーシング法に基づいたレンダリングの高速化が可能なアーキテクチャを実装したGPUが登場するようになった。このことから、ゲーム等の分野ではレイトレーシング法を実装したリアルタイムレンダリングが可能になってきている。しかし、歴史建造物の再現はより実物に近づけるための精密さが求められることから3次元形状やテクスチャなどのデータ量が多く必要とされる分野である。これらのことから他の分野と比較してレンダリングの高速化が難しいという課題がある。

これまで我々は、歴史建造物をはじめとした文化財のCGレンダリングに適したレンダリング環境の構築の

ために、NVIDIA社製のGPUを用いてレンダリング環境の構築[3]や性能の検証[4]を行った。この検証から、GPGPUによる歴史建造物の3DCGレンダリングはCPUを用いたレンダリングに比べ高速化できること、同じGPGPUでもGPU内のRTコアなどといったレイトレーシング専用の最新のハードウェアに対応することで高速化ができることがわかった。また、一般的に使われているOSであるWindowsよりもLinuxが高速化できることが確認できた[4]。

本論文では、レイトレーシング処理専用のコアを搭載したNVIDIA社製のGPUのみではなく、同じくGPGPUレンダリングに対応したAMD社製のGPUとIntel社製のGPUを用いて検証する。これらのGPUで共通していることとして、Graphics Processing Unit(GPU)をGeneral Purpose GPU(GPGPU)として扱い計算することでレイトレーシング法の処理を高速化している。本研究ではこれらのGPUアーキテクチャ別のレンダリング時間の計測をすることで性能を評価する。

これまで我々は歴史建造物の3DCG復元の研究として、長野県小諸市に位置する場所に築かれていた小諸城を対象にしてきた。これまでの活動で復元された3次元モデルを用いて本稿での比較検証を行う。

小諸城にはかつて本丸や二の丸といった大型の建造物が存在していたほか、今も残されている大手門や三の門など、多数の建造物があった。また、この研究ではその周辺に広がる城下町までを対象にして活動をしている。小諸城は江戸期に石倉芳隣によって描かれた古文書[5]のほか、町割りなどがわかる資料が残されている。図1は二の丸の正面の様子が描かれている古文書となる。これらの情報と現在残されている建造物や小諸城周辺の地形などの計測情報を統合することで小諸城と城下町の3DCG復元を進めている[6]。

2. 研究対象とする歴史建造物と地形の3次元モデル

本研究ではレンダリング対象の3次元モデルとしては小諸城と城下町を用いる。このモデルについては[4]の文献で検証に用いたものが基になっているが、さらに復元精度を高めたデータを本論文では用いる。これらのモデルは江戸期の歴史資料や、現在の地形の標高情報[7]や石垣の3次元形状計測情報を基にして復元している[6]。

本研究でGPUのアーキテクチャの性能評価に用いるレンダリングのシーンは、江戸期の城下町の本町の

入り口周辺と小諸城の建造物の一つである二の丸とする。図2は本町周辺の3次元モデルをレンダリングする際と同じ視点からワイヤーフレームで示したものである。

二の丸については、絵図等の歴史資料のほか、石段や三の門の石垣には現在しているものをフォトグラメトリ技術に基づいて3次元形状モデルを生成したデータを用いて統合している。図3は二の丸周辺の3次元モデルをワイヤーフレームで示したものである。右側の建造物が水矢倉であり、右上の建造物が三の門を示している。図4はフォトグラメトリ技術で生成した階段のみの全体像をワイヤーフレームで示したものであり、メッシュが密集して形を成している様子が分かる。

3. 歴史建造物のレンダリング手法

本研究では、高品質なCGレンダリングをするため、レイトレーシング法に基づいて表現する。この手法は文化財を構成する様々な材質の質感を精密に再現できるという利点があるが、Zバッファ法などと比べて計算時間が多くかかるといった問題がある。

本研究で用いる3DCG城と城下町を対象として再現する場合、建造物に用いられる木材や瓦などのほかに、扉などには金属の金具や装飾等が用いられている。また、地形情報と共に川や水田などといった水の表現が必要なことからこれらの透過処理に加え、テクスチャ画像以外にも法線マップを用いることで砂利などの凹凸を表現している。これらのことからレンダリング時間が増加することが予想される。

4. 3DCGレンダリング環境の構築

本研究では、歴史建造物の3DCGレンダリングに用いるPCの仕様は表1の構成とする。ソフトウェアとしてOSはMicrosoft Windows 11とする。次に、3DCGレンダリング用ソフトウェアはBlender 3.4.1を用いた。BlenderはCPUを用いた並列計算によるレンダリングに加え、現在のバージョン以降では各主要メーカーのGPUを用いたGPGPUレンダリングが可能になっている。本研究ではGPGPUに対応したNVIDIA社製Geforce RTX 3060、AMD社製Radeon RX6750XT、Intel社製Arc A770を用意し、各GPUアーキテクチャの性能はレンダリング時間を計測することで検証する。本研究で用いる各GPUの仕様は表2、3、4に示す。演算に用いるメモリやレンダリングに影響がある代表的なコアやユニットの数を載せている。

この三つのGPUはいずれも近い価格帯の一般に普及しているモデルである。また、データ量が多い建造物の3次元モデルを用いることから、各GPUはメモリ不足による影響で速度低下が発生しないようにするため、すべて12GB以上のメモリを搭載した製品を選択した。これまでの予備調査で12GB以上のメモリ搭載量があれば、メモリがボトルネックになることが少ないことがわかっている。

表 1 .レンダリング用PCのハードウェア構成

CPU	AMD Ryzen 9 5950X 16コア32スレッド、最大クロック4.90GHz
メモリ	DDR4 3200Mhz 128GB
SSD	PLEXTOR PX-1TM10PGN 1TB

表 2 .検証に用いたNVIDIA社製GPU

GPU	nvidia Geforce RTX 3060
メモリ	12GB GDDR6 192bit
RTコア数	28
CUDAコア数	3584

表 3 .検証に用いたAMD 社製GPU

GPU	AMD Radeon RX 6750XT
メモリ	12GB GDDR6 192bit
Ray Accelerators数	40
ストリーミングプロセッサ数	2560

表 4 .検証に用いたIntel 社製GPU

GPU	Intel Arc A770
メモリ	16GB GDDR6 256bit
レイトラシングコア数	32
シェーダーユニット数	4096

5. レンダリングの検証実験

5.1 実験条件

本研究では、各環境で、小諸城と城下町のレンダリング時間を計測することで各アーキテクチャの性能を検証する。実験に用いるPCは4章で述べた仕様である。そして、それぞれ用意したGPUのみを差し替えながらレンダリングするので、レンダリング時における環境はGPU以外は同条件となる。レンダリングに用いる3

次元モデルは2章で述べた小諸城の二の丸とその城下町のうちの本町周辺の3次元モデルとする。また、レンダリングソフトウェアのBlender側の設定としては、レンダリングエンジンとしてレイトラシング法をベースとしたレンダリングが可能になるCycles Xを用いる。照明環境はHDR情報を含む全方位の情報を含む画像(15000×7500画素)を用いて環境マッピングすることで再現する。レンダリングする際のCG解像度はFHD(1920×1080画素)と4K(3840×2160画素)とする。

まずレンダリング処理に用いるハードウェアはBlenderの設定でCPUのみに設定して検証する。次にNVIDIA社のGPUを用いたGPGPUレンダリングにはOptiXを用いる。BlenderではCUDAを用いたレンダリングとRTコアと呼ばれるレイトラシング専用のコアを用いるOptiXと呼ばれるレンダリング機能がある。文献[4]ではCUDAとOptiXの比較をしており、ここではCUDAよりもOptiXが高速に処理できることが確認できたため、本稿ではOptiXのみを用いる。AMD社のGPU用いたGPGPUレンダリングはHIPと呼ばれる機能を用いる。Intel社のGPUを用いたGPGPUレンダリングはOneAPIと呼ばれる機能があるため、その順番でそれぞれ同様のCGをレンダリングして検証する。

5.2 実験結果

図5は城下町のシーンをレンダリングした結果である。城下町は建造物が多く、広い範囲がレンダリング対象となるので計算とメモリの負荷が大きい。また、図6は二の丸のシーンをレンダリングした結果である。詳細にモデル化された石段などがシーン内にあるため、こちらは特にメモリの負荷が大きいシーンである。

表5はハードウェアごとにCG解像度をFHD(1920×1080画素)と設定してレンダリング時間を計測した結果である。表6はレンダリング解像度を4K(3840×2160画素)としてレンダリングした結果である。

この結果から、まず共通することとして、解像度に関係なく城下町よりも二の丸のレンダリング時間が長くなった。これは3次元モデルのデータ量が膨大になっていることからレイトラシング法の計算やデータ転送が多くなったことが原因と考えられる。このとき、CPUによるレンダリングは最も遅い結果となった。

GPUの比較としては、NVIDIA社のGPUは解像度がFHDと4Kの両方において最も高速にレンダリングができた。AMD社のGPUは今回の比較では他のGPUよりもレンダリング時間が長かった。Intel社のGPUはわ

ずかながらAMD社のGPUよりも早くレンダリングができた。今回検証に用いた歴史建造物の場合、どのGPUを用いたとしても今回用いたCPUよりも高速化ができている。しかし、二の丸のシーンをレンダリングする際にはGPUのメモリの使用量がほぼ飽和状態となっており、さらに大きいデータを扱う場合は極端な速度低下が発生したりレンダリングができなくなる可能性がある。

表5 .レンダリング時間 (FHD 1920×1080画素)

	城下町	二の丸
CPU	1分39秒	2分21秒
NVIDIA RTX 3060	28秒	38秒
AMD 6750XT	47秒	57秒
Intel A770	39秒	53秒

表6 .レンダリング時間(4K 3840×2160画素)

	城下町	二の丸
CPU	5分3秒	8分32秒
NVIDIA RTX 3060	1分10秒	1分38秒
AMD RX6750XT	2分8秒	2分45秒
Intel A770	1分40秒	2分33秒

6. まとめ

本研究では、歴史建造物のように精密な3DCG再現が必要となる分野でのオフラインレンダリングに適した環境の構築を検討するため、小諸城と城下町の3DCGモデルを用いてGPUによるレンダリングの性能評価を行った。今回の実験では、検証に用いたGPUアーキテクチャすべてにおいて高速にレンダリングできることがわかった。また、またCPUを用いたレンダリングよりもGPUを用いたレンダリングが高速であるという結果となったが、レンダリング時にGPUに搭載されるメモリ量をほぼ使い切った状態になった。したがって、これ以上の複雑なシーンでは、現状のGPUのメモリでは不足してくることが予想される。さらに多くのデータ量を用いる場合はCPUであればメインメモリの容量さえあればレンダリングできるので、CPUレンダリングに頼らざるを得なくなるか、あるいは、さらに多くのメモリを実装したGPUが必要になる。また3次元形状やテクスチャや環境マップ等のデータ圧縮技術やデータ転送技術の開発をすることで改善される可能性がある。今回の実験では限られたハードウェアや3次元モデルで

の検証となっているため、今後、さらに精密な3次元データなど大規模な情報をもつ文化財を対象としたレンダリング環境の構築に向けた検証をする必要がある。

謝辞

本研究を遂行するにあたって、小諸市の牧野和人氏に全面的にご協力をいただき、小諸市教育委員会からは小諸城の古文書と計測データの提供をいただきました。みすず総合コンサルタント株式会社様には3次元レーザー計測にご協力をいただきました。ここに深謝いたします。

参考文献

- [1] 池内克史,倉爪亮,西野恒,佐川立昌,大石岳史,高瀬裕,“The Great Buddha Project -大規模文化遺産のデジタルコンテンツ化-”,日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.7, No.1, pp.103-113, 2002.
- [2] Wallace, J. R., Cohen M. F., Greenberg, D. P.: A Two-Pass Solution to the Rendering Equation: A Synthesis of Ray Tracing and Radiosity Methods, Computer Graphics 21-4, pp.311-320, 1987.
- [3] 望月宏祐, 田中法博, 戸谷重幸, 森川英明, 三浦幹彦“分光レイトレーシング法に基づいた相互反射の色再現手法” 日本デザイン学会誌 デザイン学研究Vol.60, No.1, pp.11-20.2013.
- [4] 望月宏祐,田中法博, ”文化財の3DCG再現におけるレンダリング環境の性能評価”,長野大学紀要論文 Vol.43, No.3, 2022.
- [5] 小諸市誌編纂委員会,“小諸城城郭絵図”,小諸市教育委員会,1992.
- [6] 望月宏祐, 田中法博,小諸城の建造物と地形の3次元モデル構築 ,情報処理学会全国大会論文集,pp.4-555-4-556,2022.
- [7] 小諸市誌編纂委員会, ”小諸市誌 歴史篇(三)近世史”,小諸市教育委員会,1991.

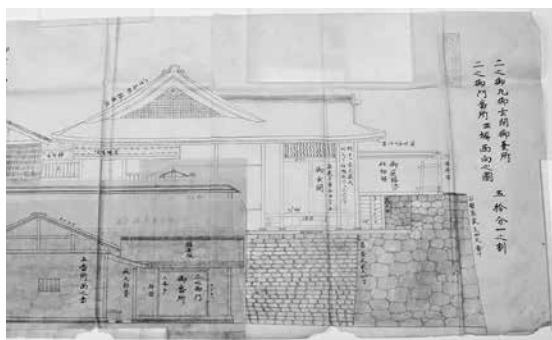


図1. 小諸城二の丸の正面を示す古文書の一部
(1753年, 小諸市教育委員会提供)

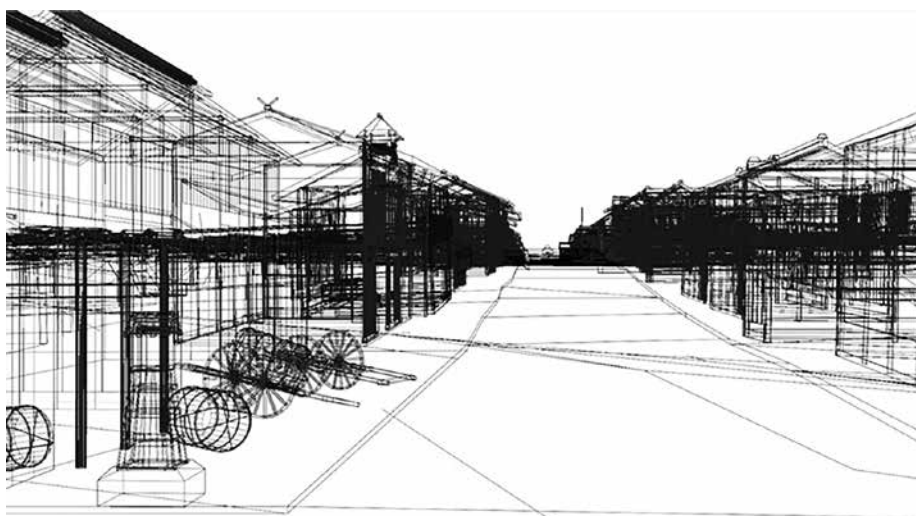


図2. 城下町(本町)の3次元モデルのワイヤーフレーム

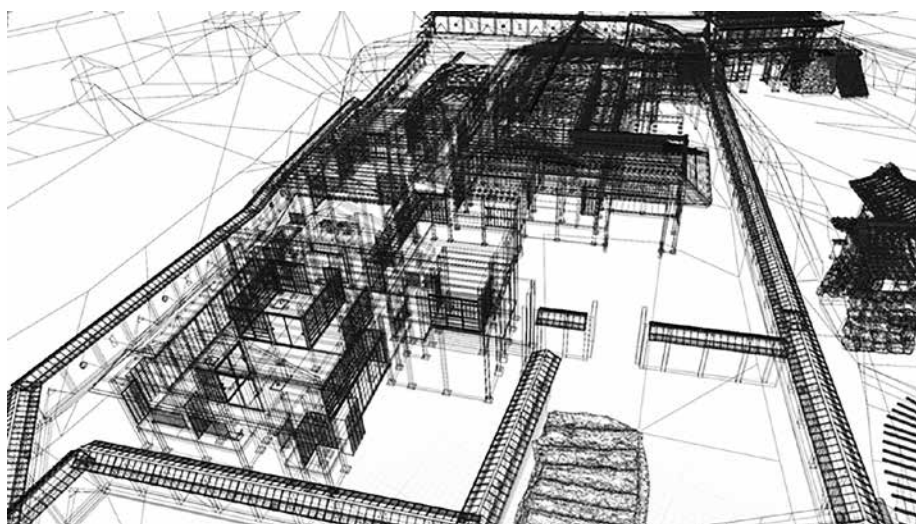


図3. 二の丸の3次元モデルのワイヤーフレーム



図4. 二の丸階段の3次元モデルのワイヤーフレーム



図5. 城下町のレンダリング結果



図6. 二の丸のレンダリング結果