

特集「色彩科学と情報技術の融合による文化財研究」

Special Issue: The fusion of color science and information technology for research on cultural properties

歴史調査に基づく歴史文化財の3DCG再現

3DCG reproduction of historical and cultural properties based on historical research

望月 宏祐

Kosuke Mochizuki

長野大学

Nagano University

田中 法博

Norihiro Tanaka

長野大学

Nagano University

キーワード：文化財, 3DCG 再現, 材質

Keywords: cultural properties, 3dcg reproduction, material

1. はじめに

古城などの文化財や文化遺産となっている歴史的建造物は、3次元コンピュータグラフィックス(3DCG)による再現が行われるようになってきている¹⁾。この理由としては、純粋に当時の古城の姿が3次元的に臨場感を持って見たいという要求があることや建造物を自由な視点で鑑賞できるようになることが挙げられる。さらに3DCGデータは、Virtual Reality (VR) や Augmented Reality (AR) などの映像技術と組み合わせることで、ディスプレイに表現するよりも、没入的な体験が可能なコンテンツとなる。

本研究では、現在の長野県小諸市に、かつて存在していた江戸中期の小諸城を対象とし、歴史資料を基にして3DCG再現する手法について述べる。本稿では、小諸城の代表的な建造物でもある「二の丸」、「本丸」、「大手門」を主に取り上げ、歴史資料の情報を基にした建造物の形状の再現に加え、建材の色や質感に関する情報にも着目したこと、ならびに3DCG再現手法とその課題について述べる。

現代において古城の築城当時の姿を史実に基づいて3DCG再現するためには、そもそも古城の本体が消失していたり、古城の情報を残した歴史資料(古文書等)の詳細な情報が記された歴史資料(古文書や絵図等)の多くが消失していたりする場合も多い。この場合、元の古城の姿がわからないので3DCGの制作者の想像や予想で3DCG化しなければならない。そのため、現在の多くの古城の3DCG再現(復元)では、史実に基づいた再現が困難となっていることが多い。また、絵図などの資料として残っている場合であっても、これらの資料は散在してまとまっておらず、資料から立体的に古城の全体像を把握して3Dモデルを作成することが難しいといった問題がある。

これらの現状を踏まえ、本稿では主に小諸城の

3DCG復元に関する取り組みを事例として取り上げ、歴史調査に基づく、歴史文化財の3DCG再現に関する知見について述べる。

2. 小諸城の特徴

小諸城は、浅間山の火山活動やその後の浸食によって形成されたとされる深い谷や崖に囲まれた場所に建てられた城である。1614年頃までに江戸中期以降の小諸城の規模になるように仙石越前守秀久によって整備された²⁾。城下町においては、一般の城下町とは異なり、城よりも標高の高い位置に存在していたことから、小諸城は「穴城」とも呼ばれるほどに地形に大きな特徴をもっている。

しかし、江戸期の城の多くが明治期の廃藩置県に伴い取り壊され消失している。小諸城の場合も同時期に多くの城郭の多くが消失している。現在、かつての小諸城の場所は、小諸城址懐古園、小諸駅、広場などになっている。現在も建築時と同一の場所に存在している建造物は、大手門(図1)と三の門があり、この両方が国の重要文化財に指定されている。他では、小諸城から城下町内に移築された門や蔵がある。こういった現存している建造物の場合は、3DCG再現するために必要な情報を直接調査・計測することが可能であるが、消失している建造物の場合は歴史資料や発掘調査から情報を得る必要がある。また、現存している建造物であっても、現在に至るまでの修復や改築によって、江戸中期の姿と異なっている可能性がある。しかし、小諸城は消失している建造物を含めた110点以上の江戸中期の絵図があり、小諸市教育委員会が所蔵している。現存する大手門と三の門については、これらと絵図を調査した情報を比較し検証して再現することができると考えられる。

これらのことから、本研究では、まず所蔵された小



図1. 現在の小諸城大手門

諸城の絵図を画像として、歴史資料のアーカイブ化を試みた³⁾。この絵図には建造物の位置、各部位ごとの工法や寸法、使われていた建材の情報が示されている。これらの絵図の情報をを用いることによって江戸中期の小諸城を史実に基づいて再現できる可能性がある。

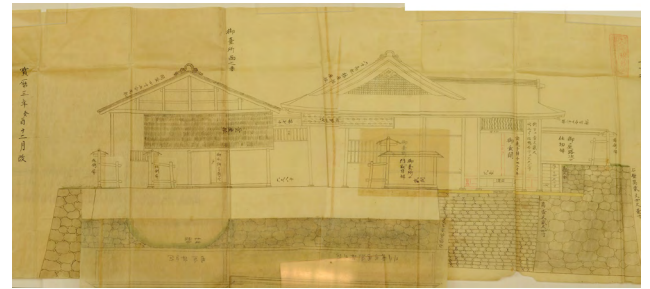
3. 小諸城の絵図の調査

小諸城は、江戸中期の建造物ごとの絵図や、建造物の位置を示す絵図がある。各建造物の絵図では、複数の方角から示す立面図が残されており、そこには部位ごとの寸法や勾配の情報のほか、屋根の材質、金具の位置、特徴のある壁色、床材などの情報が記載されている。本稿で述べる二の丸と本丸はすでに消失している建造物となっている。大手門は現在も残されている建造物である。本章では、主にこれらの建造物の絵図の内容について述べる。

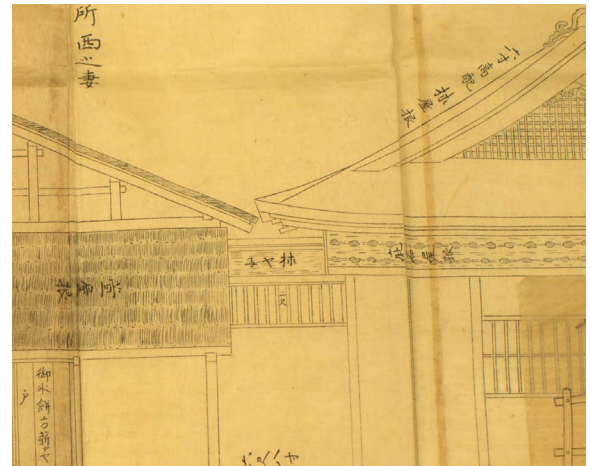
3. 1 二の丸

二の丸は、1594年前後に仙石越前守秀久によって建てられた²⁾。1600年には徳川秀忠がこの二の丸に本陣を構え、上田城攻めをしたという歴史がある。図2(a)は二の丸を西側から示した立面図を示している。このほかにも東側や南側から示した立面図も存在している。各絵図には寸法や勾配情報のほか、屋根や壁などの材質が書かれている。図2(b)は(a)の絵図において複数の屋根の材質が示されている部分を拡大したものである。この図では各屋根の材質として、柿屋根、萱屋根、石屋根と書かれていることが読み取れる。この二の丸は、殿様やその一族が生活したとされる場所のほか、將軍家に献上するための水餅の調理場があった⁴⁾。

また、図3の(a)と(b)はそれぞれ二の門の間取り図を示している。各立面図や間取りから、屋根として生活場所には柿茸屋根、水餅の調理場には主に萱茸



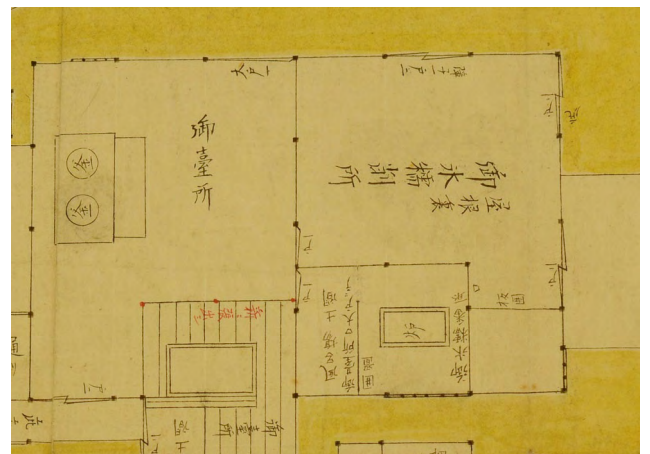
(a) 二の丸の西側を示す立面図



(b) 屋根ごとに異なる材質を示す部位を拡大した様子
図2. 二の丸の絵図(宝暦3年(1753年), 小諸市教育委員会蔵)



(a) 二の丸の間取り図

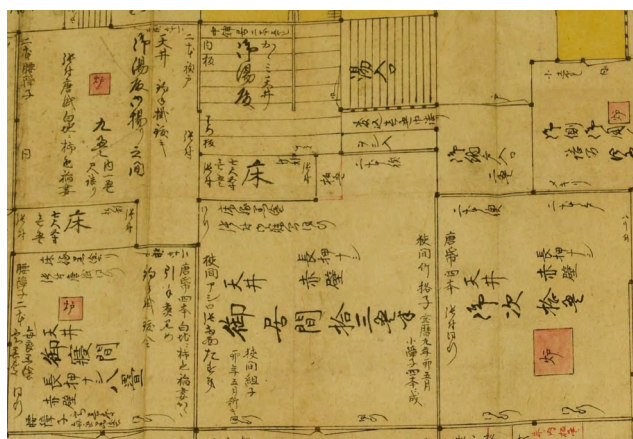


(b) 台所周辺を拡大した図

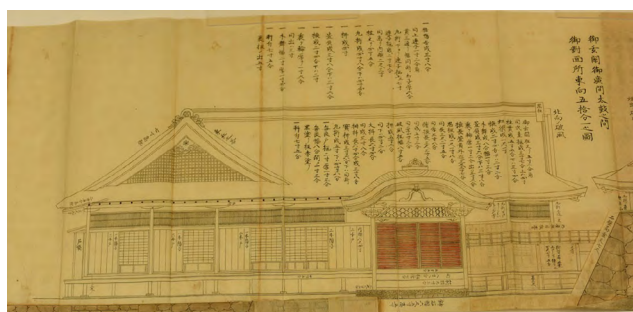
図3. 二の丸の間取りを示す絵図(寛政3年(1791年), 小諸市教育委員会蔵)



(a) 本丸の南側半分を示す間取り図



(b) 居間や寝室付近を拡大した様子



(c) 本丸正面の立面図

図4. 本丸の絵図(宝暦3年(1753年), 小諸市教育委員会蔵)

屋根, 水場には石屋根が使われていたと考えられる. 図3(b)は(a)の絵図の台所付近を拡大して表している. この図から室内において釜などが描かれていることがわかる. しかし, これらについては平面的に位置や像としての大きさは把握できるが, 寸法などの情報までは記載されていない.

3.2 本丸

本丸は, 1633年に建てられた小諸城の中では最も大型の建造物である²⁾. 図4(a)は本丸の南半分の間取り図である. 本丸は, 藩主らが政務を行う部屋のほか, 生活のための部屋, また城兵など関係者が滞在するための部屋が多数設けられている. 図4(b)は(a)の図の居間や寝室周辺を拡大した様子である. このような

藩主が主に使用していた部屋のみ, 赤壁と記載されていることから, 当時の位は部屋の色でも表現されていたと考えられる. また, 部屋ごとの床材として床や畳の記載などがあり, 囲炉裏と考えられる物が複数の部屋にそれぞれ設置されている様子がわかる. 図4(c)は本丸正面を示した立面図である. 立面図はこの他に本丸側面を示したものや一部を拡大して詳細に示したものがあり, これらの立面図には形状のほかに屋根の材質, 柿葺, 建材の塗料の色などについて文字で記載されている.

また, 小諸城の天守閣については, 寛永初頭に落雷により焼失したと伝えられている²⁾. 江戸中期の絵図においても天守台である石垣のみが残された状態となっていることから, 現時点では再現が困難な状態となっている.

3.3 大手門

大手門は, 1612年に仙石越前守秀久によって建てられた²⁾. 小諸城の中では本丸から最も離れた位置に建てられた門である. 図5は大手門の絵図であり, 門の正面と側面の状態が示されている. また, 小諸城の建造物の多くに柿葺屋根が使われていることに対し, 大手門は瓦屋根となっている.

大手門はこれまでに, 明治初期になってから料理屋として活用されることになり改造が行われたが, 平成17年頃に行われた修復工事によって, 腐朽箇所を修理とともに再び絵図の情報を基に江戸期の姿になった. 一部の建材は入れ替えられたが, 現在も木材等の建材の多くは江戸期から同じものが使われている⁵⁾.

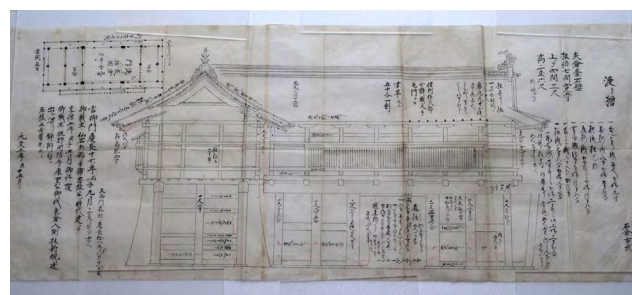


図5. 大手門の絵図(元文5年(1740年), 小諸市教育委員会蔵)

4. 小諸城の形状の再現

小諸城の各建造物の形状は, 絵図に示された図面に加え, 寸法や勾配の情報に基づき3次元的にモデリングする⁶⁾. 小諸城は建造物の内外の情報が比較的豊富に絵図に記録されているため, 建造物の外装と内装の

両方を再現の対象とした。絵図には柱単位での寸法や位置、本数が示されている。また、各部屋の大きさも示されていることからそれらの情報をモデリングして、城郭の内外を3Dモデル化する。図6は、二の丸をモデリングした結果をワイヤーフレームとして再現した結果である。同じく図7は、本丸のモデリング結果である。図8は大手門のモデリング結果である。

絵図からの再現で困難であった例として、二の丸や本丸の部屋の畳などである。絵図には畳が使われている部屋の記載はあるが、畳がどのような形式に基づいた並びで敷かれていたのかは詳細が示されていないため、現時点では正確な畳の再現が難しい。また、図3(b)で述べた釜や囲炉裏など、平面的な像でのみ描かれている情報については、置かれた部屋の寸法などを基準として3次元モデルを生成している。

大手門の絵図では、瓦屋根の記載があるが詳細な情報がないが、現在の大手門内では保管される当時の瓦の形状を計測し、瓦の3Dモデルを構築した。また文献5の小諸城の工事報告書には、大手門を復元するときの建材が、江戸期のものか現在のものか正確に分類されているので、その情報に基づいて修復前から使われている部位を計測し、再現する。

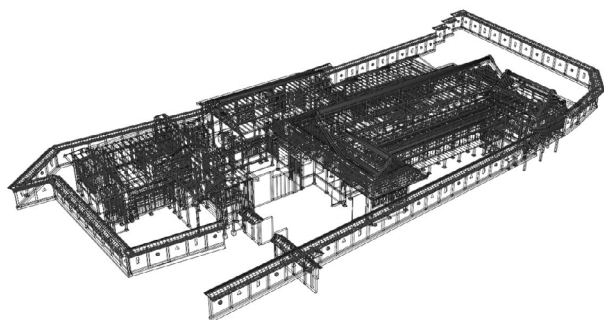


図6. 二の丸のワイヤーフレーム

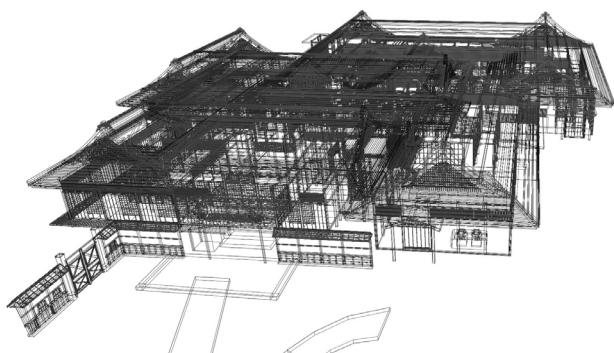


図7. 本丸のワイヤーフレーム

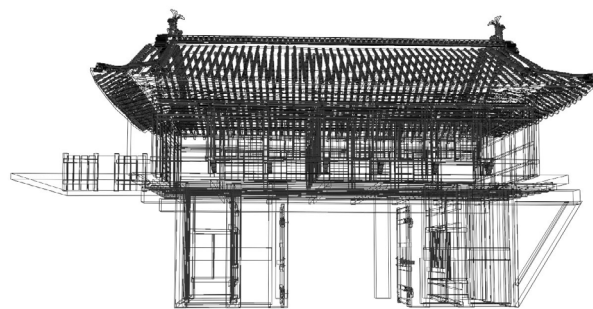


図8. 大手門のワイヤーフレーム

5. 古城の建材の材質情報の再現

絵図から読み取れる情報に基づいて江戸期の小諸城の建造物の材質情報を3DCG再現する。

3DCG技術に基づいたデジタルアーカイブ手法では、自由な視点や自由な照明環境での文化財の鑑賞を行えることが大きな利点である。つまり、3DCGとして復元することで臨場感のある古城の再現が可能となる。このとき材質や色の再現には光反射モデルを用いることが有効である。このことで光沢や陰影が精密に再現できる。このとき対象の光反射のプロセスを数値モデル(反射モデル)で記述し、文化財を構成する個々の材質の特性は、そのモデルに与えるモデルパラメータで記述する。この場合のデジタルアーカイブデータとは、直接的な映像情報ではなく、光反射モデルのモデルパラメータとなる。つまり、個々の材質の個性や特性は、そのモデルパラメータで表現されることに帰着する。

小諸城の絵図には、塗料の成分の含有量や製法などの情報は記載されていない。二の丸や本丸のようにすでに消失している建造物は、大手門や三の門などの現存する建造物の材質を調査し、その計測情報や情報を用いて再現する。これらの現存する建造物の建材表面を画像計測した情報を用いて再現する。

材質の光沢や粗さを含む木材や金属、瓦などは光反射モデルに基づいて質感を再現する。木材は、二色性反射モデルを用いて再現し、金属は、フレネル反射に基づいた金属の反射モデルを用いて再現する⁷⁾。ただし、現存する大手門や三の門の建造物の材質は、建築当時から劣化等により状態が変化している可能性がある。

本研究では、図3(b)で示した本丸の赤壁など、製法の情報が見つからない材質情報については、現時点では仮定に基づいたパラメータ設定をしている。

建築当時の材質の状態での再現するためには、当時の塗料の成分や製法を詳しく調査するか、これまでの修復の状況の調査結果に加え、計測情報から建築当時の

状態を推定する手法を開発し、その情報から CG 再現する。

このとき光反射モデルに基づいた手法であれば、単に対象をアーカイブするだけでなく、数学モデルの特性を活かして、材質の予測などが可能となる場合がある。

歴史的な文化財は、時代として最近のものであってもその建材の材質が明らかになっていないことが多い。小諸城においても建材の一部や絵図などの資料が残ってはいるものの塗料などの材質の情報が明確になっていない。この場合、対象を光反射計測し、そこから光反射モデルのパラメータを推定する。推定したモデルパラメータを分析すれば、対象の建材の材質について多くの情報を得ることができる⁷⁾。

6. 小諸城の3DCG再現

これまでに述べた建造物の絵図の情報、モデリング情報と材質情報から江戸中期の小諸城を3DCG再現する。

建造物を3DCG再現する際の地形情報は、現在の標高情報を用いてモデリングしたデータを用いる⁸⁾。

図9は、二の丸の3DCG再現結果である。二の丸は3章で述べたように生活の場と、氷餅を調理する場、水場などに分かれている。場所ごとに異なる屋根が使われている様子を含めて二の丸全体を再現した(図9(a))。また、間取りについても絵図に基づいて再



(a) 二の丸全体の3DCG



(b) 二の丸間取りの3DCG

図9. 二の丸の3DCG再現結果



(a) 本丸全体の3DCG



(b) 本丸間取りの3DCG

図10. 本丸の3DCG再現結果



図11. 大手門の3DCG再現結果

現した。ここで図9(b)が示す間取りにおいて、上半分の畳ではない床材の部屋は、氷餅を調理していた場である。最も右上の部屋は氷餅を乾燥させる部屋を表しており、二の丸全体の中でも比較的広い面積の場所が調理であることがわかる。

図10は本丸の再現結果である。図10(a)は本丸全体の再現結果である。絵図に基づいて再現することによって、多数の部屋の大きさや位置を含めて再現し、大型の平屋の建造物であった様子がわかる。また、図10(b)の再現CGのとおり各部屋の様子が再現できた。

図11は大手門の3DCGによる再現結果である。本稿で述べた建造物の中では唯一瓦屋根が使われている建造物であるが、その様子を含めて再現した。

7. まとめ

本稿では、古城の築城当時の姿を史実に基づいて3DCG再現するための手法や課題について述べた。古城の場合、古城の本体や、古城の情報を残した歴史資料（古文書や絵図等）の多くが消失している場合が多いため、独自のデジタルアーカイブ手法が必要となってくる。

特に歴史的建造物で絵図に記載の無い情報は他の資料を調査する必要がある。小諸城の場合は、これらが絵図の形で残っていたので、その情報が活用できた。今後、建造物の各材質に対応した光反射モデルのモデルパラメータを推定するシステムの開発や、建築当時の状態を推定する手法の開発をすることによりさらに精密に再現できると考える。

また、高精度な建造物の3DCG再現するには膨大なレンダリング時間が必要になるという課題がある⁹⁾。こういったことから、3DCG生成に関しての高速化やコンピュータのリソースの効率的な活用技術が重要となってくる。このように古城の3DCGデジタルアーカイブは、様々な調査や技術の集合体のような形で実現される。

謝辞

本研究を遂行するにあたって、一般財団法人小諸城址懐古園の牧野和人氏をはじめ小諸市の方々から全面的なご協力をいただきました。小諸市教育委員会には絵図の調査と提供にご協力をいただきました。ここに深く感謝いたします。

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-, 日本バーチャリアリティ学会論文誌, 8 (1), pp.103-113, 2002.
- 2) 小諸市編纂委員会, 小諸市誌歴史編(三) 近世史, 小諸市教育委員会, 1991.
- 3) 田中法博, 櫻井 千寛, 古文書と計測データに基づいた小諸城のCG復元, 日本デザイン学会「デザイン学」特集号, 24 (3), pp.30-37, 2015.
- 4) 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.
- 5) 文化財建造物保存技術協会: 重要文化財 小諸城大手門保存修理工事報告書, 2008.
- 6) 高寺恵司, 田中法博, 望月宏祐, 古文書と計測情報に基づいた小諸城の3DCG復元, 日本色彩学画像色彩研究会研究発表会論文集, pp.16-20, 2019.
- 7) 田中法博, 光反射計測と3DCG技術に基づいた文化財デジタルアーカイブ, 第56回光学四学会関西支部連合講演会予稿集, pp.8-16, 2023.
- 8) 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, 情報処理学会第84回全国大会, pp.4-555-4-556, 2022.
- 9) 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, 43 (3), pp.69-74, 2022.