

文化財保存活用に向けた3次元計測による 民家の3Dモデル作成に関する研究

—千葉県鴨川市嶺岡牧地域 石井牧士家主屋を対象として—

日大生産工(院) ○高橋 里沙 日大生産工(院) 金子 暉
日大生産工 篠崎 健一

1. 研究背景

1-1. 「ストーリー」を重視する日本遺産

文化庁は、文化財や伝統文化を通じた地域の活性化を図ることを目的として、点在する有形・無形の文化財をパッケージ化し、これらの活用を図る中で地域が主体となって情報発信や人材育成、伝承、環境整備などの取組を効果的に進めていくことが必要であると考えている。そこで、文化庁では地域の歴史的魅力や特色を通じて我が国の文化・伝統を語るストーリーを「日本遺産」として認定している¹⁾。

1-2. 嶺岡牧地域^{*1)}の概要

千葉県鴨川市と南房総市にまたがる嶺岡牧は、全国に4箇所しかない江戸幕府直轄牧の1つである^{*2)}。嶺岡牧に関連した建造物、民具や民俗資料、多数の古文書が現存する。また、嶺岡牧地域は日本酪農発祥之地、主要製乳メーカーの創業地として、多数の史跡が点在している^{*3)}。

嶺岡牧地域は、文化資源が豊富に存在し、江戸幕府直轄牧、日本酪農発祥之地を中心として文化資源をストーリーで結びつけることができると考える。

1-3. 石井牧士家

鴨川市坂東にある石井牧士家は、牧士^{*4)}が生活していた住宅である。牧士は、病気の馬を家で飼育治療し、家にある馬場で調教するなどといった牧の管理を担っていた²⁾。石井家は嶺岡牧が江戸幕府直轄牧となった当初から幕末まで牧士を勤めている^{*5)}。そのため、牧士の住宅は嶺岡牧を語る上で重要なストーリーの一部である。しかしながら、建て替えや修復、災害による消失などにより当時の姿が失われつつある。その中で石井家は主屋、蔵ともに現存する。牧士時代の主屋は、明治13年頃の不審火で焼失したため、現存する主屋はその数年後に建てられたものである。蔵は江戸時代の建造物として姿を残している。現在、所有者の意向などにより、石井牧士

家の一般公開などの活用は基本的に行われていない^{*6)}。また、所々傷んでおり、災害などによる消失の可能性が考えられる。



Fig. 1 石井牧士家主屋 Fig. 2 石井牧士家広間から嶺岡牧を見る

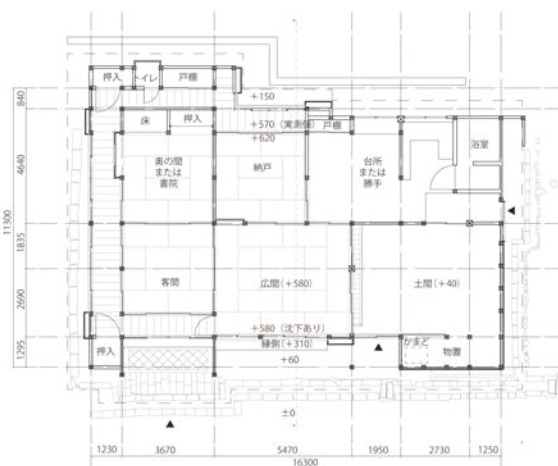


Fig. 3 石井牧士家主屋平面図⁴⁾

1-4. 文化景観

景観には、自然の営力でできた自然景観と、人の力が加わった文化景観とがある。建築物や庭園、自然の河川も人の手が加えられることによって文化景観となる⁷⁾。「文化的景観^{*9)}」という用語が文化財保護法によって規定されているが、これは文化財としての文化景観である。

*1) 北は清澄山系の麓から南は館山、千倉までを嶺岡牧地域と定義する。

*2) 他の江戸幕府直轄牧の小金牧、佐倉牧、愛鷹牧と異なり、手付かずのまま遺構が残り、昔の状態を掘り起こすことが可能である。

*3) 嶺岡牧地域は、石切丁場や馬頭観音などの史跡も存在し、チッコカタメタノや白牛酪といった牛乳を使用した独自の食文化がある。

*4) 嶺岡牧地域の牧士は江戸幕府直轄牧当初は4人であったが、追加・退役があり、幕末は13人であった³⁾。

*5) 石井家は、江戸時代以前、里見氏がこの地域を治めていた時代には「御厩預」として馬の調教をしていた。また、江戸時代初期にあたる享保7年以前に、放牧されている馬を江戸に送る際に調教する「御厩」の役割を担っていた⁴⁾⁵⁾。

*6) 以前まで石井牧士家主屋で行われていた「古文書を語る物語^{*7)}」は現在南房総市にある酪農のさどで行われている状況である。

*7) 嶺岡牧地域で行われている地域再生マネジメント活動の一つである。石井牧士家に眠る古文書のデータベース化とともに古文書の内容解説が行われ、当時の嶺岡牧の様子を知ることができる^{*8)}。

*8) 筆者らは現地にて地域再生マネジメント活動に参加し、嶺岡牧地域の実態や現状を体感し理解することに努めている。

A Study on 3D Modeling of private houses

by 3D Measurement for Conservation and Utilization of Cultural Properties

—A Study on the Ishii mokushi in the Mineokamaki area of Kamogawa City, Chiba Prefecture—

Risa TAKAHASHI, Hikaru KANEKO and Kenichi SHINOZAKI

2. 研究目的

本研究は文化景観の一つである石井牧士家を対象とし、嶺岡牧地域における文化景観再生を試みる。石井牧士家主屋から見える田園や嶺岡牧の風景が一つのストーリーで結ばれた嶺岡牧地域の文化景観であると筆者らは捉えている (Fig.2)。

文化景観再生の手段として、まるでその場にいるかのような体験を可能とするVRを活用し、嶺岡牧のストーリーを体で感じられることを目指し、本研究では、対象建造物の記録保存に加え、文化景観の体験を考慮した3Dモデルの作成を目的とする。

3. 3次元計測を用いた保存活用の既往研究

近年の文化財分野における3次元計測は、主にLiDAR^{*10)} スキャンとSfM/MVS^{*11)}を用いた2つの方法が導入されている⁸⁾ (Fig.4)。建造物における3次元計測、3Dモデル化、VR活用に関しては「中銀カプセルタワービル」⁹⁾や「旧都城市民会館」¹⁰⁾などの事例が挙げられる。多くの事例では、計測機器として高性能ドローンや3次元レーザースキャナ Leica BLK360の導入があり、3次元計測から3Dモデル化にかかる費用は、具体的な金額は提示されていないが、数十万から数百万円以上と比較的コストが高いのが現状である⁸⁾。

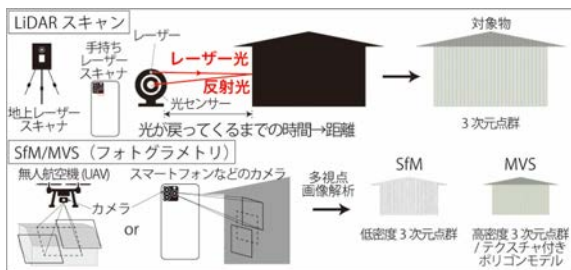


Fig. 4 LiDAR スキャンと SfM/MVS の原理

4. 研究方法

過去の調査により、主屋及び蔵に関する図面作成及び写真を記録している^{*12)}。しかしながら、実測調査をした経験のない学生による基礎資料としての図面であるため、対象物を精密に捉えられていないことや全体像が見えないことから、文化景観を体験できるものとして活用できる記録ではない。そのため、対象物をリアルに捉えることができる3次元計測により3Dモデルの作成を行う。

先に示した通り、3次元計測は比較的莫大なコストがかかる。そのため、本研究では、大学にあるUAV、

画像処理ソフトAgisoft社のMatashape^{*13)}、画像処理用パソコンと、筆者らが所有するスマートフォンを使用し (Tab.1)、多視点画像解析技術であるフォトグラメトリ^{*11)}を用いた3次元計測により3Dモデルを作成する。フォトグラメトリは、他の3Dスキャナ製品を使用するよりも安価であること、写真という身近なツールを用いて3Dモデルを作成できることが利点として挙げられる。また、対象物の実測を行って作成した3Dモデルよりも形状や素材感などの全体像が精密に再現可能である。なお、使用した機材の性能や特性の関係から外観、各居室の内観、小屋組とそれぞれ分け、3Dモデルの作成を行った。以下に具体的な計測方法を記述する。

	機器	機種	解像度/焦点距離, CPU/RMA
外観撮影時	UAV	DJI P4 Multispectral	1600×1300/5.74mm
外観、内観、小屋組撮影時	スマートフォン	iPhone13 Pro	4032×3024/5.7mm
内観撮影時	スマートフォン	iPhone13	4032×3024/5.1mm
3Dモデル作成時	パソコン	HP Z2 Tower G5 Workstation	Intel(R) Xeon(R) W-1290P CPU@3.70GHz/128GB

Tab. 1 使用した機材の詳細

4-1. 外観の撮影

外観の撮影には、高い場所からの空撮が可能で建造物及び敷地全体を捉えることのできるUAVと、木などの障害物を避けて撮影が行えるスマートフォンを使用した。UAVによる空撮では、オーバーラップ率90%、サイドラップ率80%^{*14)}、撮影角度90°、撮影高度30mに設定し、自動操縦にて連続撮影した。また、緯度経度座標系に基づく精度の高い位置座標を3Dモデルに与えるため、各画像の位置情報は利用せず、事前に主屋周辺に配置したX型の対空標識の中心をGCP (Ground Control Point : 地上基準点)としてGNSS測量^{*15)}を行い、位置情報を得た。スマートフォンにおける撮影は手動であるため、オーバーラップ率^{*14)}、撮影角度、撮影高度の具体的な数値は不明であるが、多視点から撮影し、画像間の重複率が高くなるよう考慮した。上記のUAVによる空撮及びGNSS測量の模式図をFig.5に示す。

4-2. 内観の撮影

内観の撮影には、スマートフォン (Tab.1)及び約1.8mの脚立を使用した。内観の撮影はスマートフォンによって手動で行ったため、オーバーラップ率、撮影角度、撮影高度は不明である。

4-3. 小屋組の撮影

小屋組の撮影は安全性を考慮し、梁の上のみを歩き、スマートフォン (Tab.1)を用いて撮影を行った。また、小屋組は暗く、上がるための階段も

*9) 文化的景観とは「地域における人々の生活又は生業及び当該地域の風土により形成された景観地で我が国民の生活又は生業の理解のために欠くことのできないもの」(文化財保護法第二条第一頁第五号)と規定される。

*10) Might Detection and Ranging または Laser Imaging Detection Ranging の略。近赤外線から可視光領域の指向性と収束性の高い光線を照射し、その反射で対象との距離や状態を計測する技術。

*11) SfM/MVS (Structure from Motion / Multi View Stereo) は、多視点画像解析技術を用いた3次元写真計測 (フォトグラメトリ) のことを指す。フォトグラメトリとは、対象物を様々なアングルから撮影し、そのデジタル画像を解析、統合して立体的な3Dモデルを作成する手法である。UAV (Unmanned Aerial Vehicle, 無人航空機)で撮影した画像を使用したものは、UAV-SfM/MVSという。

*12) 主屋は平面図及び南北断面図、蔵は平面図及び南北断面図を作成している。

*13) 本研究では Matashape Version2.0.1 build 16069(64bit)を使用した。

*14) 同一航路上で隣合う写真の重複度をオーバーラップ率、隣接する航路間の写真の重複度をサイドラップ率という。スマートフォンに関しても同様である。

*15) GNSSはGlobal Navigation Satellite Systemの略で、アメリカのGPS、ロシアのGLONASS、欧州委員会のGalileo、中国のBeiDou、日本のQZSSなど、各国や地域が管理運用している衛星測位システムの総称である。GNSS測量では、これらのGNSS衛星の位置や、GNSS衛星から電波が発信されて受信機に到達するまでに要した時間などの情報から位置情報を得る。

ないため、投光器や懐中電灯、脚立などの補助器具を活用して撮影を行った。

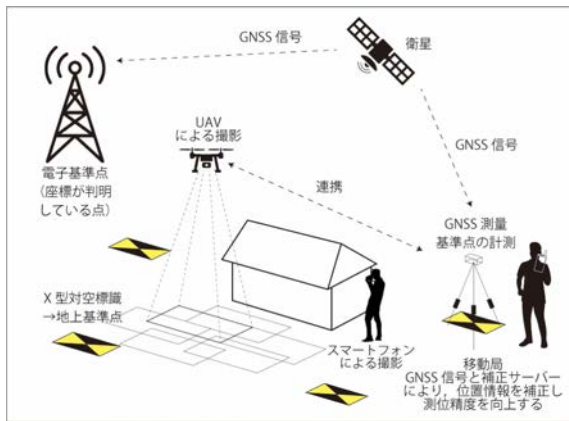


Fig.5 3次元計測の模式図

4-4. Metashapeによる3Dモデルの作成

大学にあるパソコンを使用し、UAVによる空撮画像及びスマートフォンによる撮影画像からMetashapeを用いて3Dモデルの作成を行った。UAVによる空撮画像を用いたMetashapeによる3Dモデル作成の手順をFig.6に示す。また、外観を一例として3D作成時のMetashapeの解析に関する設定値をTab.2に示す。

UAVによる空撮画像を用いた解析について、手順1では、撮影した画像をMatashapeに追加する。手順2の写真のアラインメントは、各画像から特徴的な点を抽出し、重なり合った領域の画像間で同じ特徴点を探し出すことでカメラの位置、角度、焦点距離が推定され、点群データが作成される。その際、手ブレやピンぼけなどの原因によって写真の整列が行えなかった画像は除かれる。GNSS測量で得た位置情報を利用するため、手順3では画像に写っているGCPの位置を検出し、手順4でその

位置を表す座標系としてWGS84^{*16)}を設定する。手順5では、手順3及び手順4で設定したGCPの位置情報を用いてカメラの位置、角度、焦点距離の推定位置を最適化することで、点群データの補正を行い、点群データの座標精度をより高くする。手順6では、作成した点群を結びつけることで、面を形成し、メッシュを作成する。最後に手順7では、手順6で作成した3Dモデルに質感を与えるため、モデル表面に撮影画像から得たテクスチャーを貼り付ける。

スマートフォンによる撮影画像を用いた解析では、各画像の位置情報を利用するため、手順3、手順4、手順5は行わず、手順1、手順2、手順6、手順7の順で行う¹⁾。

5. 研究結果・考察

Metashapeにより作成した3DモデルデータをFig.7に示す。

外観の3Dモデルにおいては、Fig.7の(a)に示すように、西の壁面の位置がずれてしまい外壁の全体像を捉えることができなかった。また、台所の3Dモデルにおいては、Fig.7の(b)に示すように、開口部やステンレス部分が精度良く作成できなかった。これらは、物体の位置は動かないのに対して、反射する像は撮影角度によって変化するため、写真のアラインメント時に特徴点を探し出すことができなかったことが考えられる。

広間においては、Fig.7の(c)に示すように、全体像を捉えることのできる3Dモデルが作成できた。しかしながら、開口部から見える嶺岡牧の風景は写し出すことができなかった。そのため、文化景観の体験の観点からすると、本研究の目的は達成できていないと考える。

小屋組においては、Fig.7の(d)に示すように、過去の図面作成では表現できなかった素材感や製材で

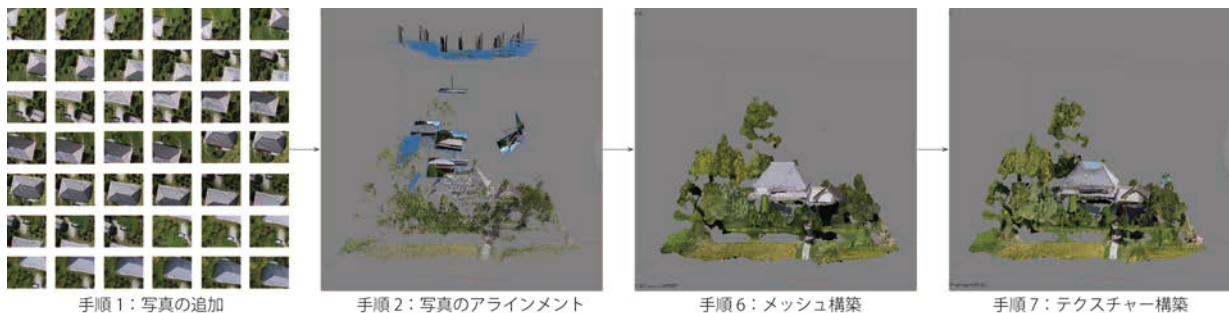


Fig. 6 Metashape3Dモデル作成手順の一例 (UAVによる空撮画像を用いた場合)

手順	作業内容	UAVによる空撮画像を用いた解析の設定値	スマートフォンによる撮影画像を用いた解析の設定値
1	写真の追加	—	—
2	写真のアラインメント	精度：高、汎用事前選択：はい、座標事前選択：はい（ソース）	精度：高、汎用事前選択：はい、座標事前選択：いいえ（推定値）
3	マーカーの自動検出	マーカータイプ：十字（コード無し）、許容誤差：0 最大残数（pix）：1	—
4	GCPの追加	座標系：WGS 84	—
5	カメラアラインメントの最適化	パラメーター：cx, cy, k1, k2, k3, p1, p2	—
6	メッシュ構築	ソースデータ：ポイントクラウド、サーフェイスタイプ：自由形状（3D）、ポリゴン数：0	ソースデータ：深度マップ、サーフェイスタイプ：自由形状（3D） 品質：高、ポリゴン数：0
7	テクスチャー構築	テクスチャーの種類：拡散マップ、ソースデータ：イメージ マッピングモード：汎用、ブレンドモード：モザイク（標準） テクスチャーサイズ/個数：10,000×1	テクスチャーの種類：拡散マップ、ソースデータ：イメージ マッピングモード：汎用、ブレンドモード：モザイク（標準） テクスチャーサイズ/個数：10,000×1

Tab. 2 3Dモデル作成時におけるMetashapeの解析に関する設定値

*16) WGS84は、World Geodetic System 1984の略であり、アメリカで構築、維持されている世界測地系である。

ない部材の外形といった大まかな全体像を作成することができた。しかしながら、撮影の際に死角となる箇所は欠落しており、小屋組の部材そのものを完全に捉えることはできていない。

以上のことから、UAV及びスマートフォンの画像からMetashapeにより石井牧士家主屋の3Dモデルを外観、各居室の内観、小屋組に分けて作成することができた。しかし、現状では石井牧士家主屋の全体像がわかる3Dモデルは完成していない。また、本研究の目的である現存する主屋を活用し、嶺岡牧の風景を眺め、体で直接感じることでできる文化景観の再生及び体験が実現できる3Dモデルが作成できたとは言えない。

6. 今後の展望

今後の展望として、外観、各居室の内観、小屋組に分けて作成した3Dモデルを繋げ、石井牧士家主屋の全体像がわかる3Dモデルを作成する。また、撮影方法やMetashapeでの解析方法の工夫、欠落部分を補う対策などにより再現性を高めることで、よりリアルな文化景観の体験を行うことのできる3Dモデル作成を試みる。

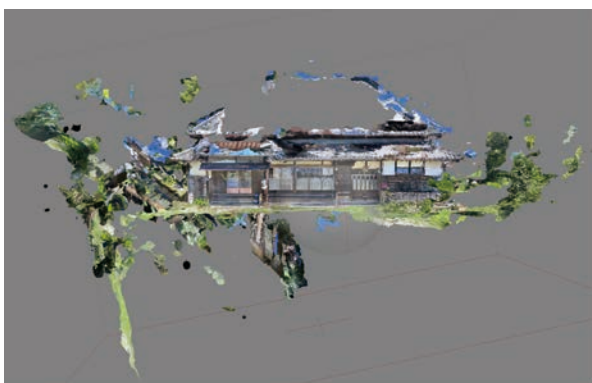
今回はUAV及びスマートフォンで撮影した画像を用いたMetashapeによる3Dモデル作成であったが、360度カメラなどの他の撮影機器や、他のフォトグラメトリのソフト、LiDARスキャナといった3次元計測の検討を行うことで、VRでの活用に向けたデータ作成を行う。

謝辞

石井牧士家調査に際して、現地で長年に渡り地域再生に取り組んでおられる日暮晃一先生、本研究にご協力いただいた石井家当主の石井浩さん、石井家を管理しておられる小柴峰之さん、機材を提供いただき、空撮にご協力いただいた同大学土木工学科の朝香智仁教授及び朝香研究室の学生の方々に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 文化庁、「日本遺産 (Japan Heritage)」, https://www.bunka.go.jp/seisaku/bunkazai/nihon_isan/pdf/93793701_03.pdf (2023.10.02 閲覧)
- 2) 鴨川市史編さん委員会, 鴨川のあゆみ, 鴨川市, 1998
- 3) 日暮晃一, 千葉いずみ, 徳川吉宗再興の江戸幕府直轄牧, 千葉県酪農のさと/嶺岡牧研究所, 2013
- 4) 高木大輔, 嶺岡牧と石井牧士家のつくる物語を基盤とする内発的地域再生に関する実践的研究, 日本大学大学院生産工学研究科建築工学専攻修士学位論文, 2021
- 5) 鴨川市史編さん委員会, 鴨川市史 通史編, 鴨川市, 1996
- 6) 大谷貞夫, 江戸幕府の直営牧, 岩田書院, 2009
- 7) 金田章裕, 景観からよむ日本の歴史, 岩波新書, 2020
- 8) 独立行政法人国立文化財機構奈良文化財研究所, デジタル技術による文化財情報の記録と利活用5 -LiDAR・3Dデータ・デジタルアーカイブ・SNS・GIS・知的財産権-, 奈良文化財研究所研究報告第37冊, 2023.01.31
- 9) MOTION GALLERY, 「3D Digital Archive Project 建築『中銀カプセルタワービル』を3次元スキャンで記録に残したい。」, <https://motion-gallery.net/projects/3ddanakin> (2023.10.11 閲覧)
- 10) 都城市公式ホームページ, 「旧都城市民会館の3Dデジタルアーカイブプロジェクトを紹介します」, <https://www.city.miyakonojo.miyazaki.jp/soshiki/78/217435.html#02> (2023.10.11 閲覧)
- 11) 株式会社ヴィジョンテック技術開発部, Agisoft Metashape <Professional版> Version1.7 日本語マニュアル



(a) 外観



(b) 台所



(c) 広間



(d) 小屋組

Fig. 7 3Dモデル化した石井牧士家主屋の外観、各居室、小屋組