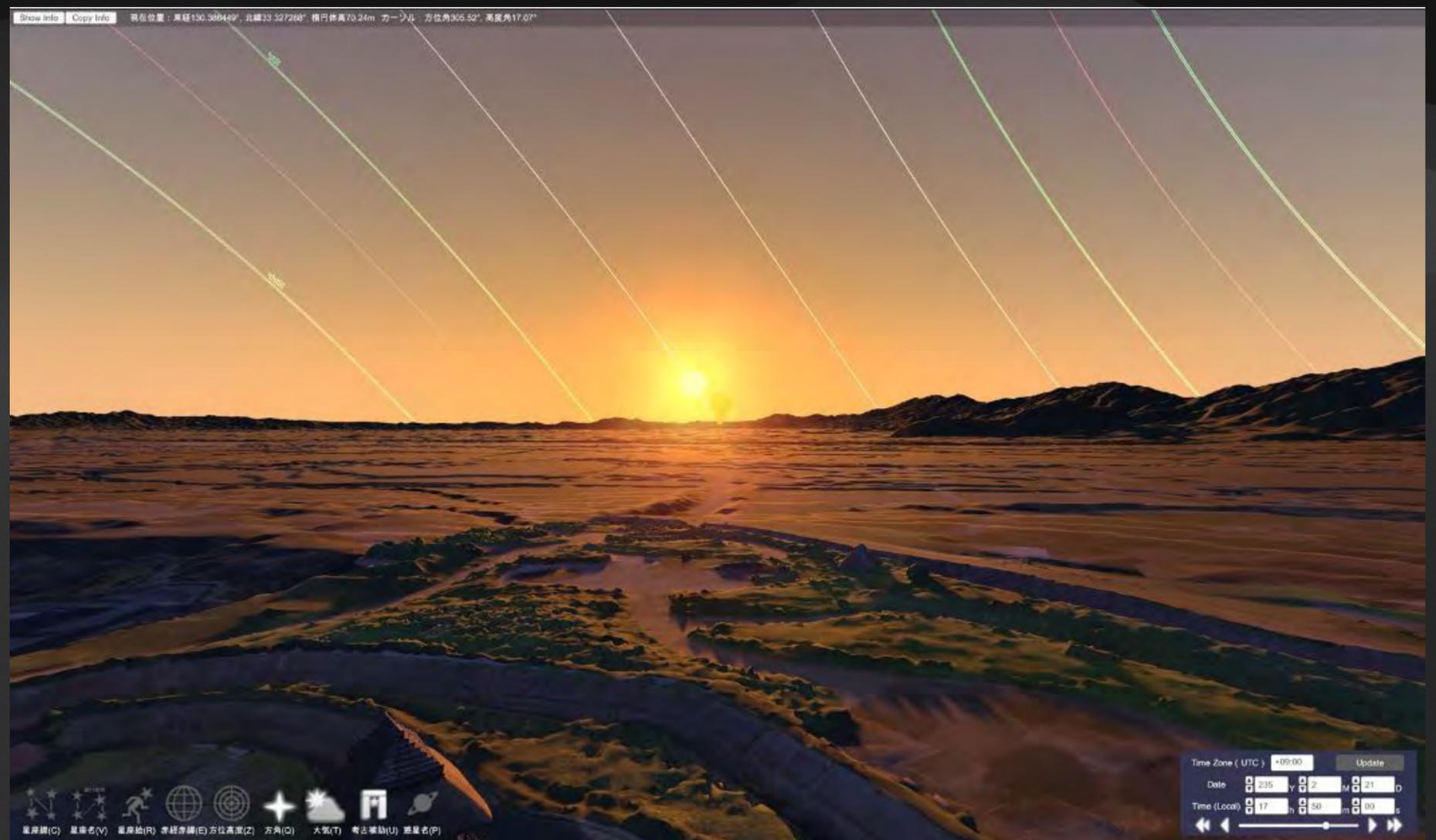


arcAstroVR新機能と 吉野ヶ里遺跡南内郭のデータ作成 -arcAstroVR開発報告-

arcAstroVRとは？

arcAstroVRの紹介

- 地形、3Dデータ、天文現象をパソコンでVR再現するアプリケーションです
- LiDARやフォトグラメトリで測量したデータを3D化して可視化することができます
- VR空間の中を自由に移動したり、設定を変更してさまざまな検証が行えます



arcAstroVRで出来ること

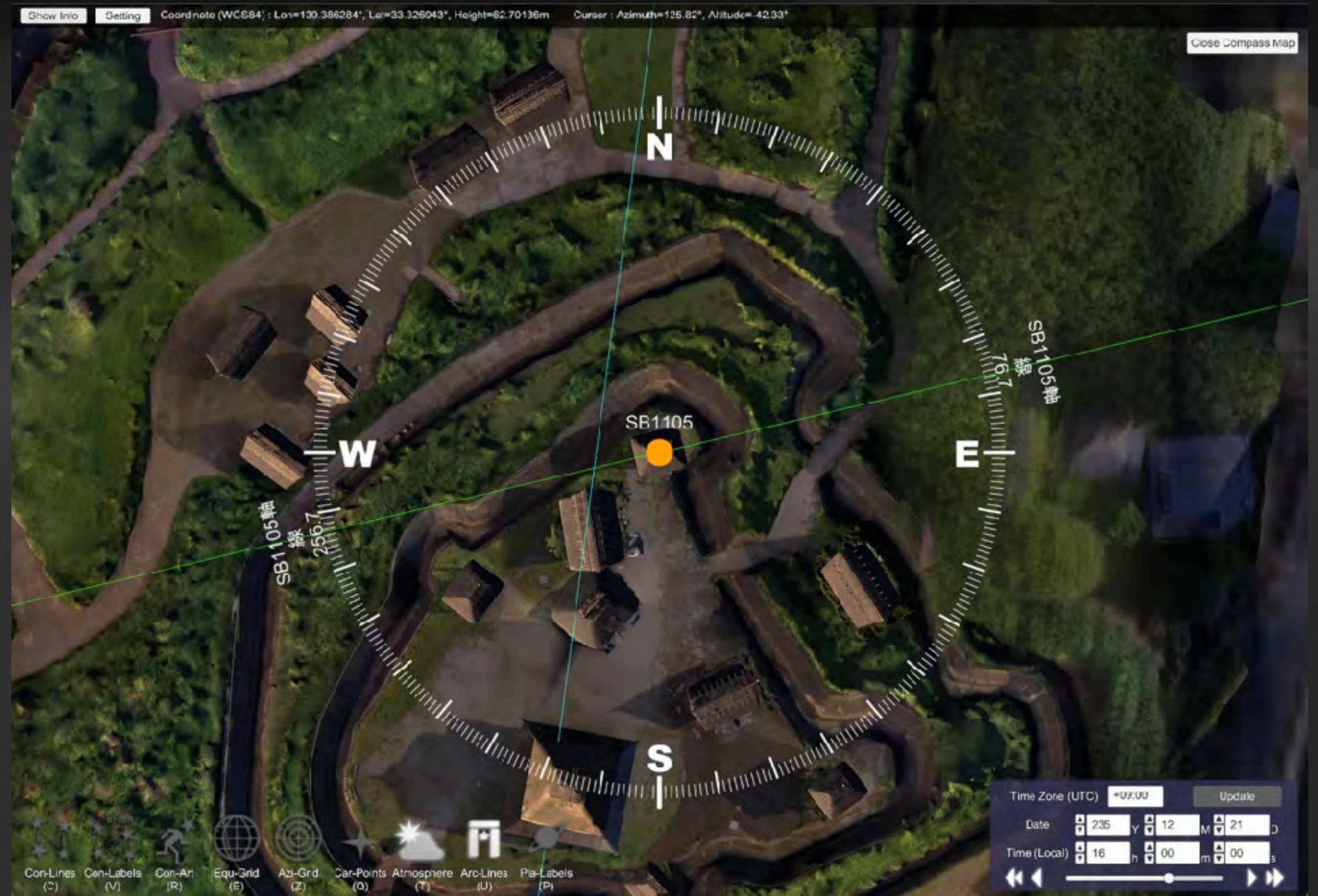
arcAstroVRの紹介

- 自分で用意した3Dモデルデータの取り込み
- 3Dモデルの表示・非表示や移動、マーカーの設置、補助線の設置
- VR空間の自由な移動（マウス・キーボード・ゲームコントローラ等）
- -2000年～6000年の高精度な天文現象再現
- 太陽や月を光源とした日照や影、水面反射の検証
- 詳しくは <https://arcastrovr.org/ja/>を参照ください。

新機能：コンパスマップ機能

arcAstroVRの開発

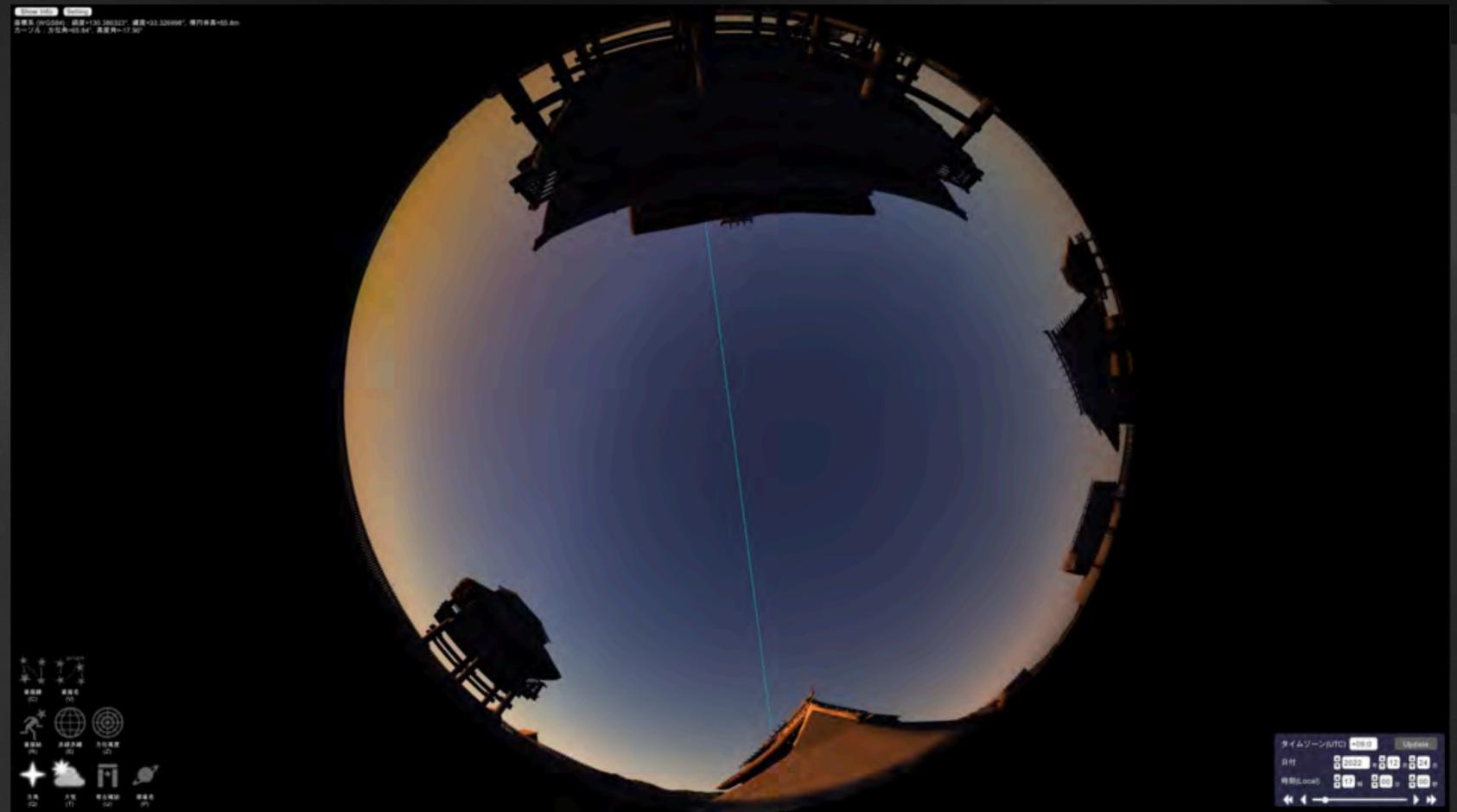
- 補助線の始点となるマーカを中心としたコンパスマップ（直上のオルソマップに方位を加えたもの）を表示



新機能：ドームマスター出力対応

arcAstroVRの開発

- ・ 魚眼レンズでドームに360度投影が可能（ドームマスター形式）
- ・ 画角指定可能
- ・ 方位指定可能（進行方向固定や方位角度固定など）



新機能：HMD対応

arcAstroVRの開発

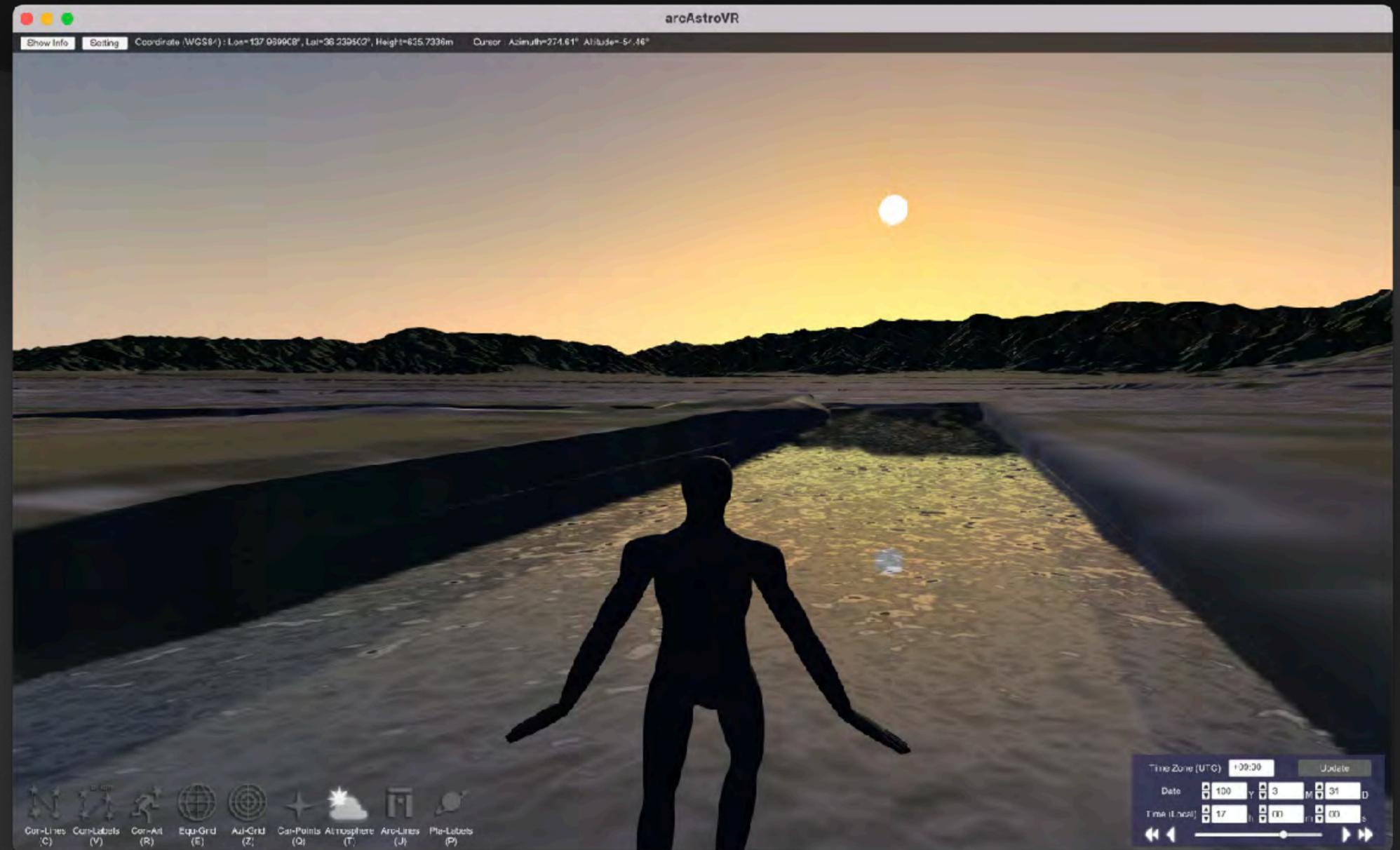
- Meta Quest (Oculus Quest) に対応
MetaLinkでPCと接続することにより、
HMDを通してVR空間を体験できます。
※Windowsのみ対応



新機能：水表現

arcAstroVRの開発

- 任意の場所に水面の設置が可能
- 水面の反射をシミュレート



吉野ヶ里遺跡の3Dモデル化

3Dモデル作成について

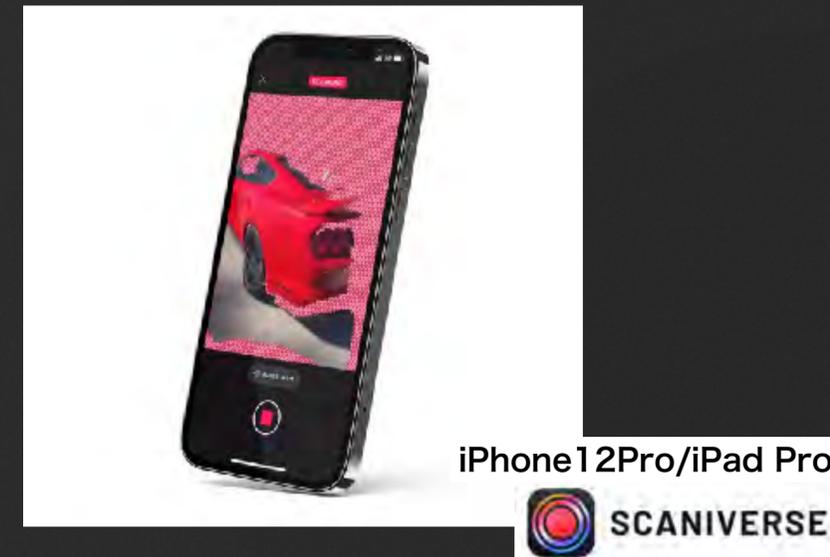
2021年～2022年にかけて吉野ヶ里遺跡の3D測量を実施し、arcAstroVR用の3Dモデル化を行った。

1. 測量データから点群を作成
2. 点群を地形や樹木、建物等に分類し、ノイズ処理
3. 分類した点群を基に、地形の低ポリゴンモデルを自動生成
4. 分類した点群を参考に、建物の低ポリゴンモデルを手動作成
5. 低ポリゴンモデルに対し、ノーマルマップを作成し、詳細モデルを作成
6. 低ポリゴンモデルに対し、テクスチャマップを作成
7. 3Dモデルを出力

吉野ヶ里遺跡の測量方法

3Dモデル作成について

- ドローンによる空中撮影からフォトグラメトリで3D化
- 360度カメラによるビデオ撮影からフォトグラメトリで3D化
- iPhone/iPad搭載のLiDARスキャナによる測量から3D化



吉野ヶ里遺跡の空撮測量

3Dモデル作成について

- 使用したドローンはDJI Phantom3、搭載カメラはFC300C、撮影高度は約30m
- ドローンによる空中撮影から、フォトグラメトリ処理により点群を作成
- フォトグラメトリによる点群化はAgisoft社のMetashapeを使用
- エリアが広いいため、北エリア・中エリア・南エリアの3回に分けて測量を実施
- 昨年度は北エリアの撮影（京都大学 宮原俊一先生）を実施し北内郭を3D化、本年度は中エリア・南エリアの撮影（株式会社とっぺん）を実施し南内郭・市と蔵・南の村を3D化

吉野ヶ里遺跡の空撮測量：北エリア

3Dモデル作成について

- 写真撮影数：775地点



- 生成点群数：1,588,823,836点



吉野ヶ里遺跡の空撮測量：中エリア

3Dモデル作成について

- 写真撮影数：660地点



- 生成点群数：2,100,216,098点



吉野ヶ里遺跡の空撮測量：南エリア

3Dモデル作成について

- 写真撮影数：1131地点



- 生成点群数：2,645,988,574点



空撮測量の問題点

3Dモデル作成について

- ・ ドローンのGPS情報と連動できる場合
高精度に再現できる
(今回の点群間隔は数mm~1cm)
- ・ 一方、空撮は空中から下向きの撮影
一タが得にくく、屋根のみとなりが
要



空撮測量データの処理

3Dモデル作成について

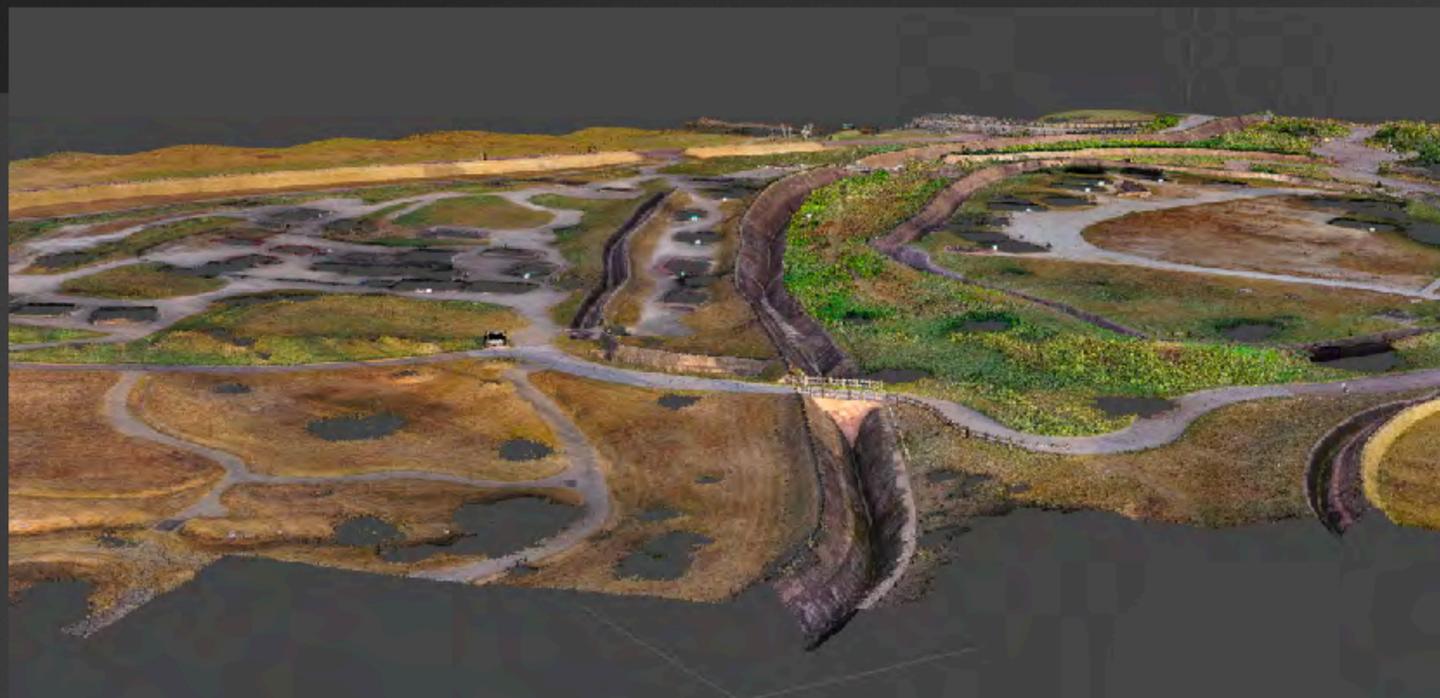
- Agisoft社Metashapeにより、点群を地形と建物に分離
- 地形の点群については、Metashapeのポリゴン化機能で最高精度(ノーマルマップ作成用)と10万ポリゴン指定カスタム精度(実際に使用するポリゴン用)の両出力を行う
- 建物の点群については、最高精度(ノーマルマップ作成用)ポリゴンのみ出力。実際に使用する用の低ポリゴンはCGソフトのBlenderで別途手動作成するので、ここでは出力しない

空撮測量データの地形・建物 点群分離

3Dモデル作成について

- ・ 北エリア地形点群数 : 1,368,609,112
- ・ 中エリア地形点群数 : 1,777,257,482
- ・ 南エリア地形点群数 : 2,226,905,427

- ・ 北エリア建物点群数 : 83,539,175
- ・ 中エリア建物点群数 : 162,476,620
- ・ 南エリア建物点群数 : 81,886,892



地形点群のモデリング処理

3Dモデル作成について

- ・ Metashapeの「メッシュ構築」で点群から作成した最高品質ポリゴンはポリゴン数が非常に大きい
- ・ 3D Game等ではポリゴン数は数千～数万程度に抑えるべきとされているので、Metashapeの「ポリゴン数削減」機能で、10万ポリゴン程度まで減らしてみる。

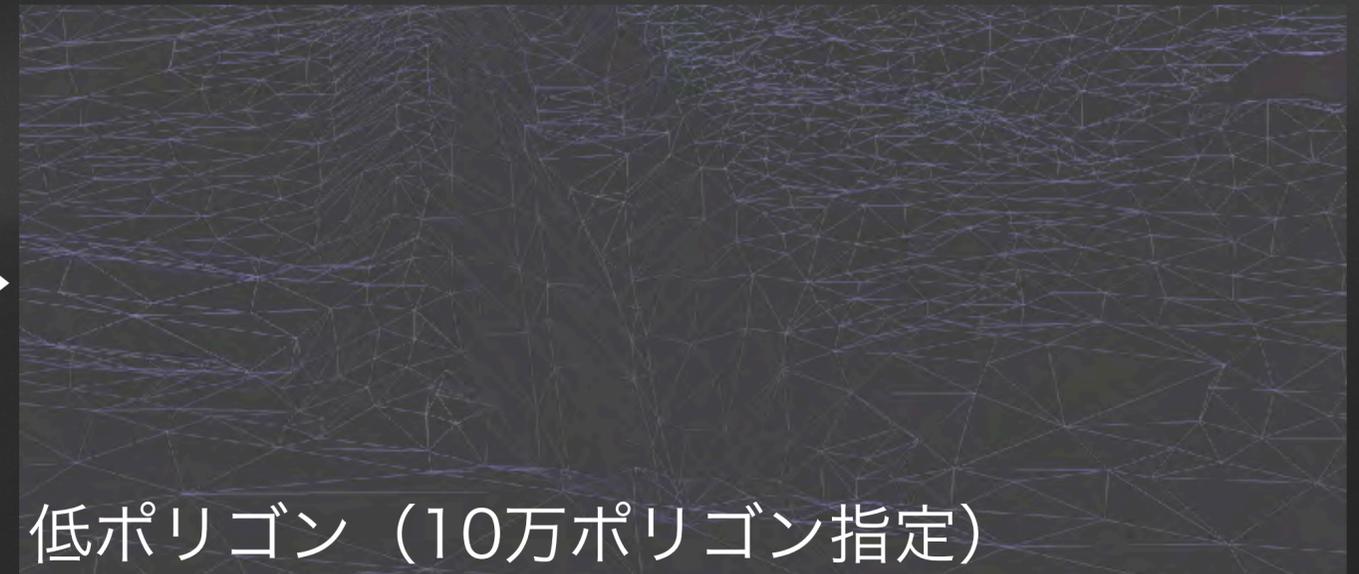


高ポリゴン（最高品質）

北エリア地形ポリゴン数：440,346,287

中エリア地形ポリゴン数：475,227,291

南エリア地形ポリゴン数：574,302,980



低ポリゴン（10万ポリゴン指定）

北エリア建物ポリゴン数：99,999

中エリア建物ポリゴン数：99,999

南エリア建物ポリゴン数：99,999

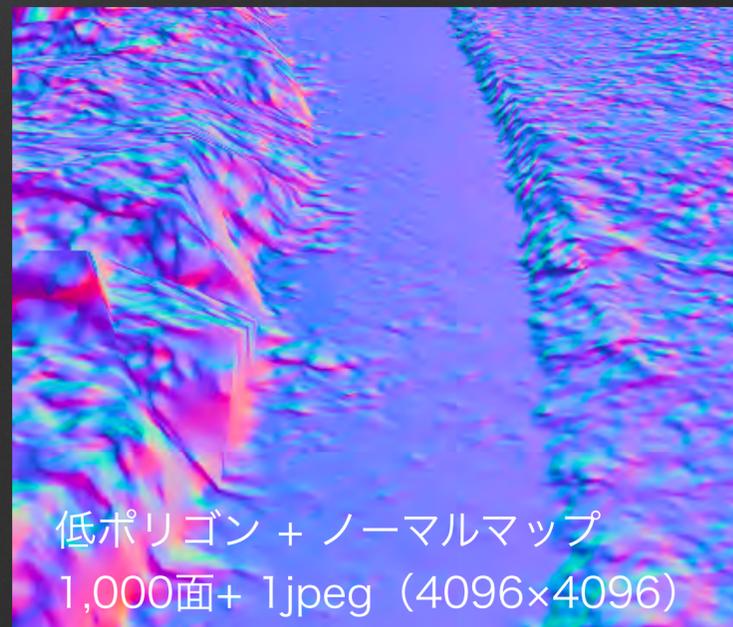
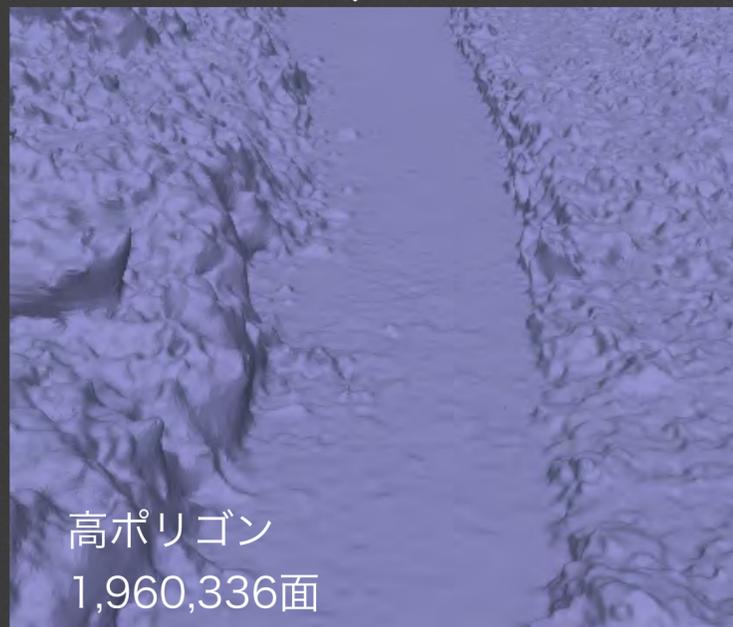
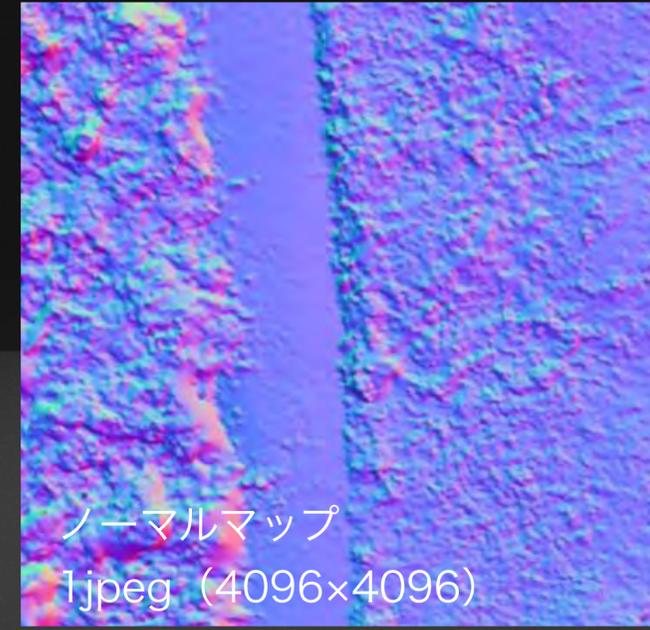
低ポリゴン化とノーマルマップ

3Dモデル作成について

- ・ ポリゴン数が削減されると微細構造が失われる。それを補完するためにノーマルマップを作成する
- ・ ノーマルマップとは、ポリゴンに貼り付ける画像ファイル（テクスチャ）の一種で、ポリゴン表面の凹凸を画像にしたもの。細かい凹凸のポリゴンを画像化することで、ポリゴン数の削減ができると共に、ポリゴン表面の凹凸をノーマルマップから擬似再現することができる。
- ・ 遠くに小さく見えるObjectでも、ポリゴンは全データを構築しないといけませんが、テクスチャは見かけの大きさに応じて画像の圧縮が可能で、精度にも影響を出さない。

ノーマルマップを使った場合の効果

3Dモデル作成について



- 低ポリゴンは高ポリゴンよりも微細構造はかなり失われるが、ノーマルマップを加えることで、低ポリゴンでもかなりの微細構造を表現できるようになる。

ノーマルマップの作成

3Dモデル作成について

- Metashapeには、高ポリゴンと低ポリゴンのデータを比較し、高ポリゴンを基にした低ポリゴン用のノーマルマップ作成の機能がある。
- 地形は、点群データから高ポリゴンと低ポリゴンを生成し、両データからノーマルマップを作成することで、低ポリゴン + ノーマルマップの3Dを作成する。
- 建物は、点群データから高ポリゴンを作成する一方で、CGソフトで低ポリゴンデータを別途作成し、低ポリゴン + ノーマルマップの3Dを作成する。
(建築物の低ポリゴンは手動で作成した方が、圧倒的にポリゴン数を少なくすることができる：後述)

建物の360度カメラ測量

3Dモデル作成について

- ・ ドローンによるフォトグラメトリを補完するために、360度カメラの動画撮影からフォトグラメトリで点群を作成
- ・ 360度カメラはRICOH THETA Vを使用
- ・ フォトグラメトリにはAgisoft社Metashapeを使用
- ・ GPSと連動しないので、ドローンのデータで位置合わせをする必要がある



建物の360度カメラ測量のコツ

3Dモデル作成について

- 伸ばし棒等を使い、動画撮影をする
- 建物の周囲は必ず一周するようにする
- 戻ったりせず、滑らかな一筆書きになるような撮影をする
- 普段の歩く速度（4～5 km/h）程度の速さで十分



建物の360度カメラの点群データ 3Dモデル作成について

- 建物のデータ作成が目的なので、建物単位でデータを分割
- 生成点群数：数千万点/1棟
(右の齋堂の場合、点群数は17,165,392点)
- 数mの距離から撮った写真を基に作成しているので、テクスチャ（モデル表面の画像データ）作成にも適している



建物のLiDAR測量

3Dモデル作成について

- ・ フォトグラメトリは写真からデータを生成する為、暗所に弱く、また被写体の周囲に十分な距離が必要なため、暗部や狭い場所（室内等）の補完測量として、LiDAR撮影を実施
- ・ LiDAR機材には、LiDARスキャナを搭載するiPhone12ProおよびiPad Proを使用
- ・ LiDARソフトにはScaniverse（<https://apps.apple.com/jp/app/scaniverse-3d-scanner/id1541433223>）を使用

建物のLiDAR測量の点群データ 3Dモデル作成について

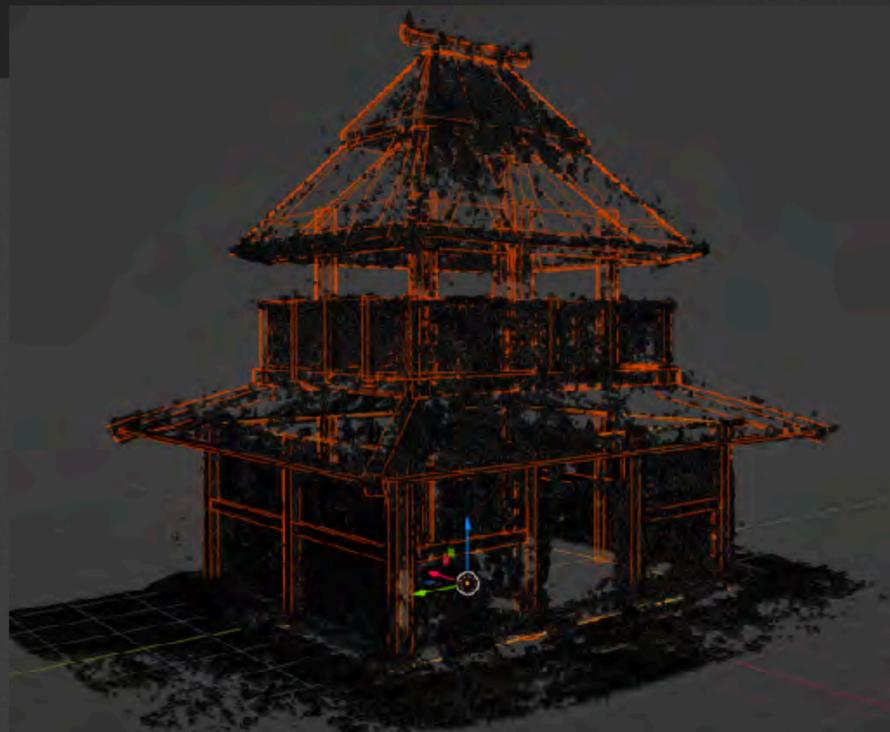
- 建物のデータ作成が目的なので、建物単位で測量を実施
- 生成点群数：数千万点/1棟
(右の竪穴住居の場合、点群数は6,869,918点)
- 暗く狭い居室内でも、それなりに構造を測定可能。ただし、離散点の色情報になっているため、テクスチャ作成には不向き



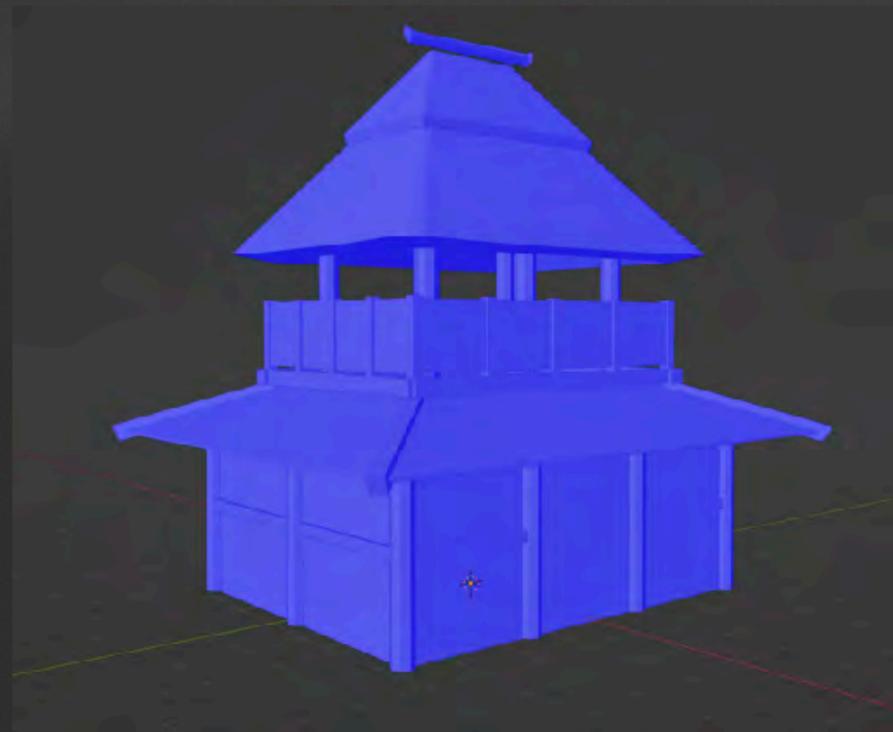
建物のモデリング処理

3Dモデル作成について

- ・ 360度カメラとiPhone/iPadのLiDARスキャナで作成した建物の点群を位置合わせ・統合したのち、CGソフト（Blenderを使用）に読み込んで、参考にしながらモデリングを行う。



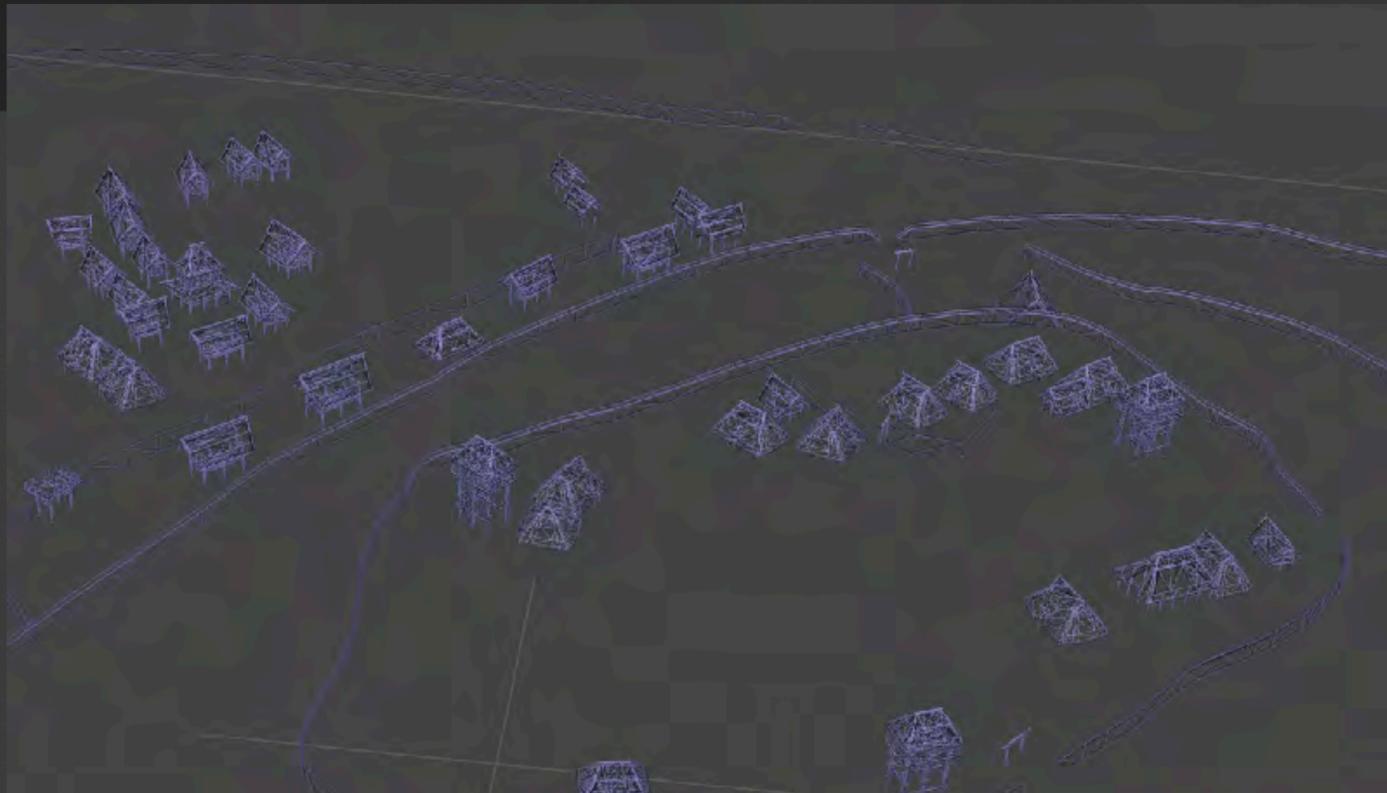
手作業でモデリング



建物のテクスチャ処理

3Dモデル作成について

- CGソフトで作成した建物の3DモデルをMetashapeに読み込み、この3Dモデルをベースにしたテクスチャとノーマルマップを作成することで、高精度モデルとして対応させる。



完成した吉野ヶ里遺跡のデータ概要

3Dモデル作成について

- 高ポリゴンを低ポリゴン+ノーマルマップのモデルに置き換えることで、精度をさほど落とすことなく、以下のように軽量化出来た。
- 北エリア地形：440,346,287ポリゴン→99,999ポリゴン+4ノーマルマップ
中エリア地形：475,227,291ポリゴン→99,999ポリゴン+4ノーマルマップ
南エリア地形：574,302,980ポリゴン→99,999ポリゴン+4ノーマルマップ
- 北エリア建物：28,169,047ポリゴン→13,697ポリゴン+4ノーマルマップ
中エリア建物：49,235,942ポリゴン→32,832ポリゴン+4ノーマルマップ
南エリア建物：24,083,858ポリゴン→15,813ポリゴン+4ノーマルマップ
- 合計：1,591,365,405ポリゴン→362,339ポリゴン+24ノーマルマップ

arcAstroVRの3Dデータの限界点

3Dデータ作成について

- 吉野ヶ里全域の3D化の際、最高ポリゴンの出力のままでは、重すぎでほぼ動かず、3D Game同様の低ポリゴン化の工夫は必須であった。
- 軽さの指標
低ポリゴン、高分割、低容量
- GPU：Radeon Pro 580、CPU：Intel Core i7、メモリ：20GBのスペックを持つデスクトップPC（2017年製iMac）において、arcAstroVRにおいて動作するモデルとしては、総数200万ポリゴン以内を目安にするのが妥当と感じた。

卑弥呼が見た星空

-建物から見た日の出・月の出暦-

- ・ 映像時間：7分55秒
- ・ シナリオ
東海大学 北條芳隆
- ・ ナレーション
東海大学 白川美冬
- ・ BGM
H/MIX GALLERY
- ・ 製作
scienceNODE
- ・ 協力
吉野ヶ里公園管理センター・佐賀県
糸島市立伊都国歴史博物館
- ・ 監修
国立天文台・東海大学・南山大学

