



Gakugei 東京学芸大学
Tokyo Gakugei University

文化財3D計測実習

東京学芸大学2023年度秋学期「文化財と関連諸学A」第11~13回

2024/1/30 集中補講



スライド資料の保存場所について



- GitHubにリポジトリを作成しています



文化財3D計測の手法

文化財3D計測とは

☞ 対象の立体的な表面形状をそのままに高密度な点群により記録する
この仏像頭部の場合、およそ60万点が記録されている



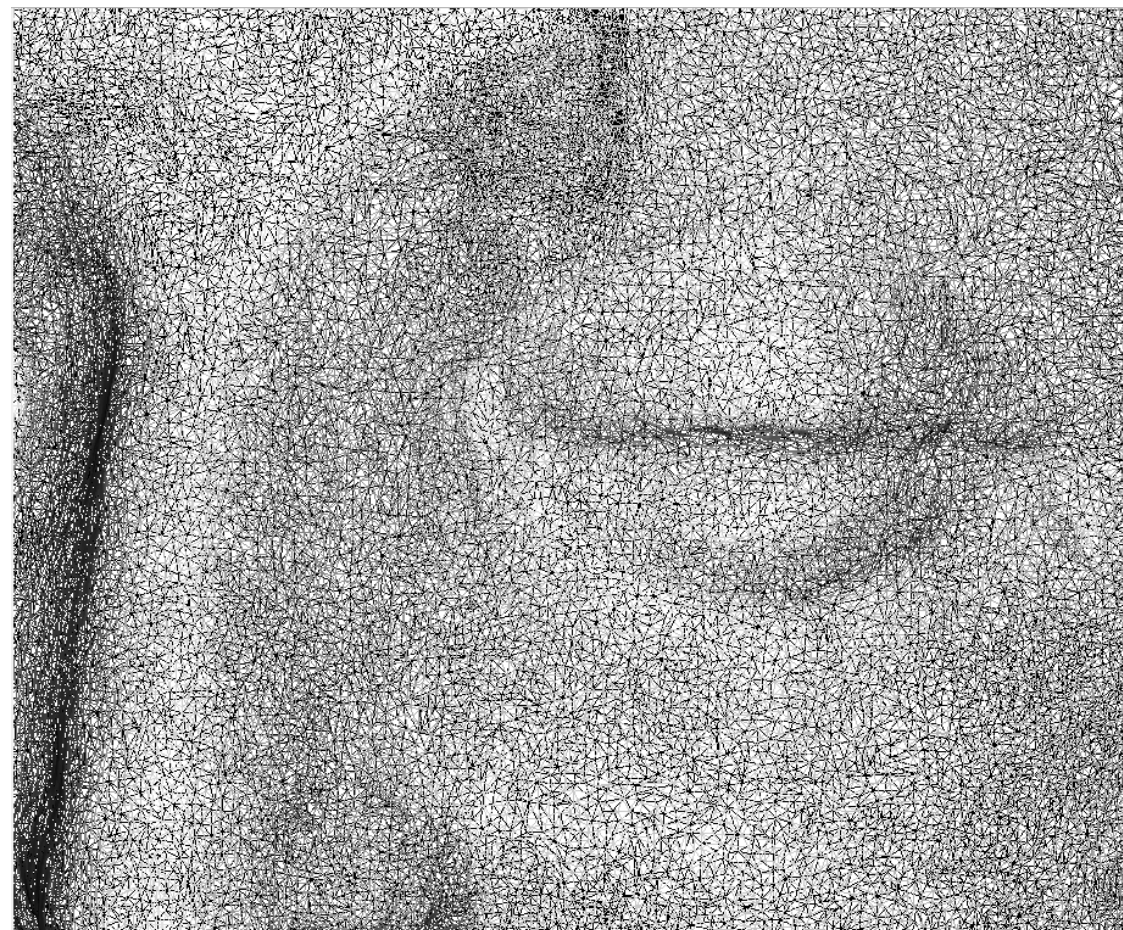
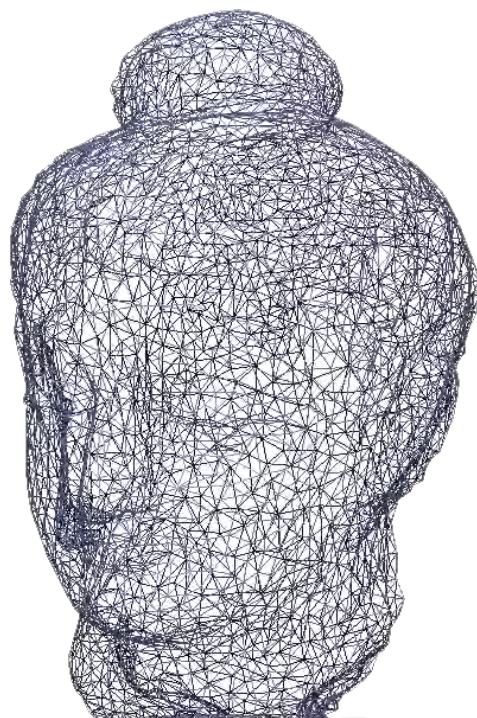
A head of Buddha, stucco, from Taxila
From the collection of Islamabad Museum, measured by JCSACH under permission of DOAM Pakistan

高密度な点群 (ポイントクラウド)

オリジナルデータ

563177 points ($> 100 \text{ points/mm}^2$)

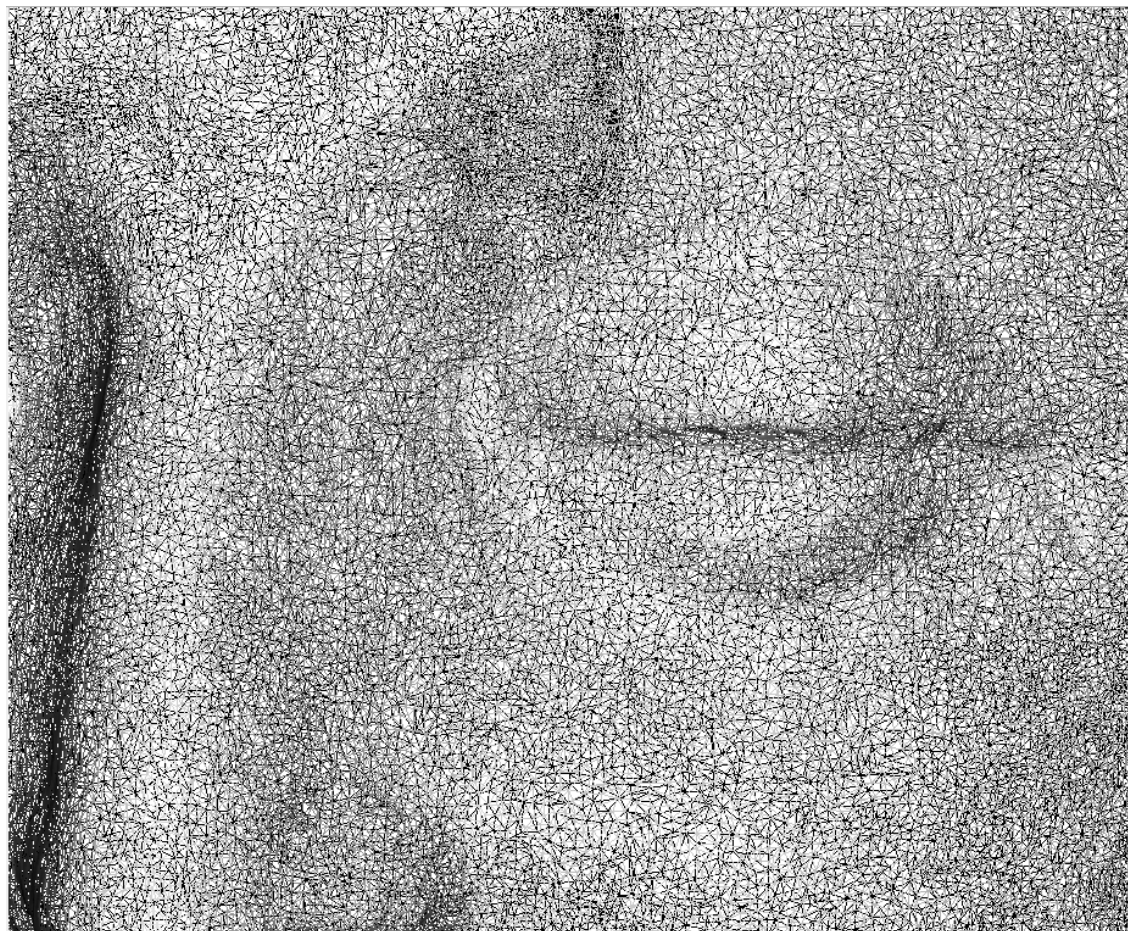
間引き後
2000 points



A head of Buddha, stucco, from Taxila

From the collection of Islamabad Museum, measured by JCSACH under permission of DOAM Pakistan

データの実体



A head of Buddha, stucco, from Taxila

From the collection of Islamabad Museum, measured by JCSACH under permission of DOAM Pakistan

データの実体
563177行のxyz座標とRGB色情報な
どの追加データ

```
1 # Generated with Agisoft Metashape↓
2 mtl lib ID-63_15k.mtl ↓
3 use mtl ID-63_15k ↓
4 v 0.147712 0.124137 0.188910 0.439216 0.356863 0.262745 ↓
5 v 0.133071 0.129717 0.180710 0.549020 0.454902 0.341176 ↓
6 v 0.168170 0.123282 0.190813 0.380392 0.301961 0.223529 ↓
7 v 0.121945 0.127590 0.169428 0.627451 0.521569 0.400000 ↓
8 v 0.199274 0.128287 0.178000 0.490196 0.396078 0.329412 ↓
9 v 0.175980 0.134237 0.186795 0.411765 0.333333 0.262745 ↓
10 v 0.151044 0.144850 0.179551 0.403922 0.309804 0.223529 ↓
11 v 0.204041 0.134899 0.167074 0.541176 0.443137 0.372549 ↓
12 v 0.208538 0.138192 0.154427 0.541176 0.423529 0.349020 ↓
13 v 0.136320 0.140658 0.163760 0.250980 0.152941 0.098039 ↓
14 v 0.132483 0.137751 0.173770 0.368627 0.270588 0.188235 ↓
15 v 0.145772 0.142005 0.161300 0.290196 0.184314 0.117647 ↓
16 v 0.158776 0.143037 0.182249 0.368627 0.278431 0.203922 ↓
17 v 0.151469 0.140642 0.171421 0.211765 0.117647 0.066667 ↓
18 v 0.162718 0.146046 0.174449 0.243137 0.149020 0.094118 ↓
19 v 0.169707 0.151338 0.175440 0.396078 0.309804 0.227451 ↓
```

高密度点群計測の手法

- スピード: 多数の計測を素早く記録する
 - たとえば... もし計測点1点あたり1秒かかる >> 500000秒
= 138.9時間を要する。これは現実的ではない
- 精度と正確さ
 - 間違いなく手測り計測よりは高精度で正確
 - 高精度・精確な記録をより速く
- 解像度 (情報密度): 高ければ高いほどよい?
 - 高解像度 = データ量大 >> 解析・描画により多くの計算機資源が必要
 - 目的に応じた選択が重要

機器と技術

- LiDARスキャナー



- 3D写真計測





機器と技術

- LiDAR (レーザー) スキャナー

- ☞ 光 (レーザー・構造化光) の直進性・収束性を利用して距離を計測

- ＝直接計測、距離・向き・スケール情報も取得

- 三角法: 光切断法、パターン投影法

- フェイズシフト法・ToF法

- 写真計測

- ☞ ステレオグラム (立体視) を利用して平面×奥行き情報を取得

- ＝間接計測、向き・スケール情報は外部参照が必要

- ステレオ撮影法

- SfM-MVS法 + 機械学習による3Dモデル構築 (NeRF, Gaussian Splatting)

LiDARスキャナー

- 地上LiDARスキャナー (TLS)
 - ☞ 比較的大型、三脚に設置して使用、屋外、計測距離＝数m～数km
- ハンドヘルドスキャナー
 - ☞ 比較的小型、手持ち、おもに屋内、計測距離＜1m
- デスクトップスキャナー
 - ☞ 小型、三脚等に設置して使用、屋内、計測距離＜1m

地上LiDARスキャナー



<https://leica-geosystems.com/products/laser-scanners/scanners/leica-rtc360>

2024/1/30

ハンドヘルドスキャナー



<https://www.ksdl.co.jp/product/artec-spacespider/>

デスクトップスキャナー



<http://en.shining3d.com/>



<http://www.lang.co.jp/>



2024/1/30

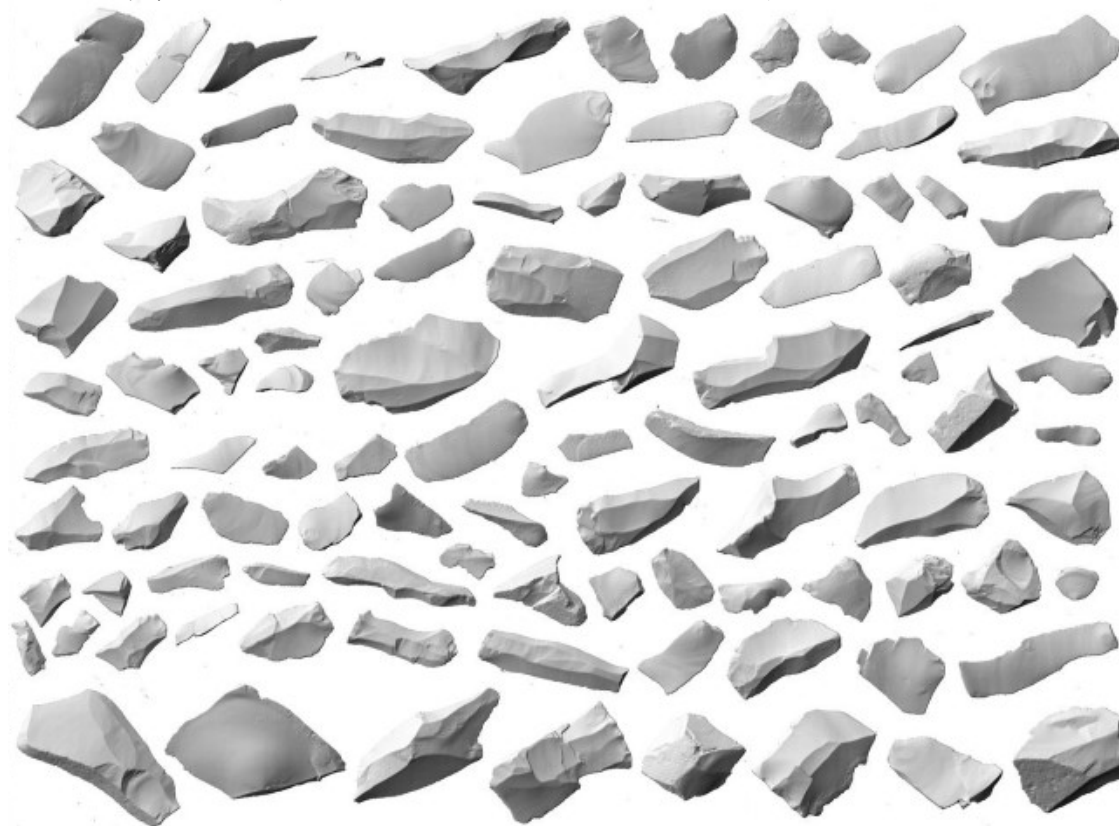
LiDARスキャナー



Gakugei 東京学芸大学
Tokyo Gakugei University

株式会社ラングが開発したSOMAは4基のセンサーにより
100点以上の石器・土器片等を一括計測できる

(最多計測時の1点あたりの計測時間は5分未満)



2023年度秋学期 文化財と関連科学A 第11~13回



LiDARスキャナー



LiDARスキャナー:iPhone LiDARスキャン

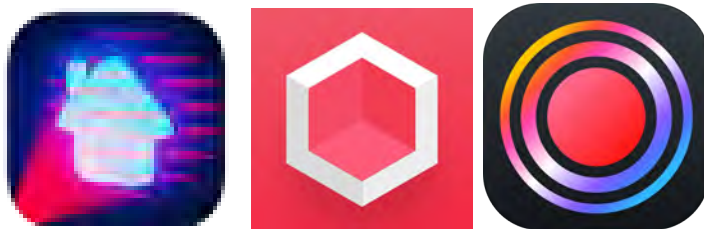
- iPhone 12 pro/ proMaxおよび iPad 2020 以降のモデルはLiDAR計測センサー付き

無償のものを含めた各種アプリが提供されておりモバイル端末で3D計測を行なうことができる

スキャン範囲は<5m

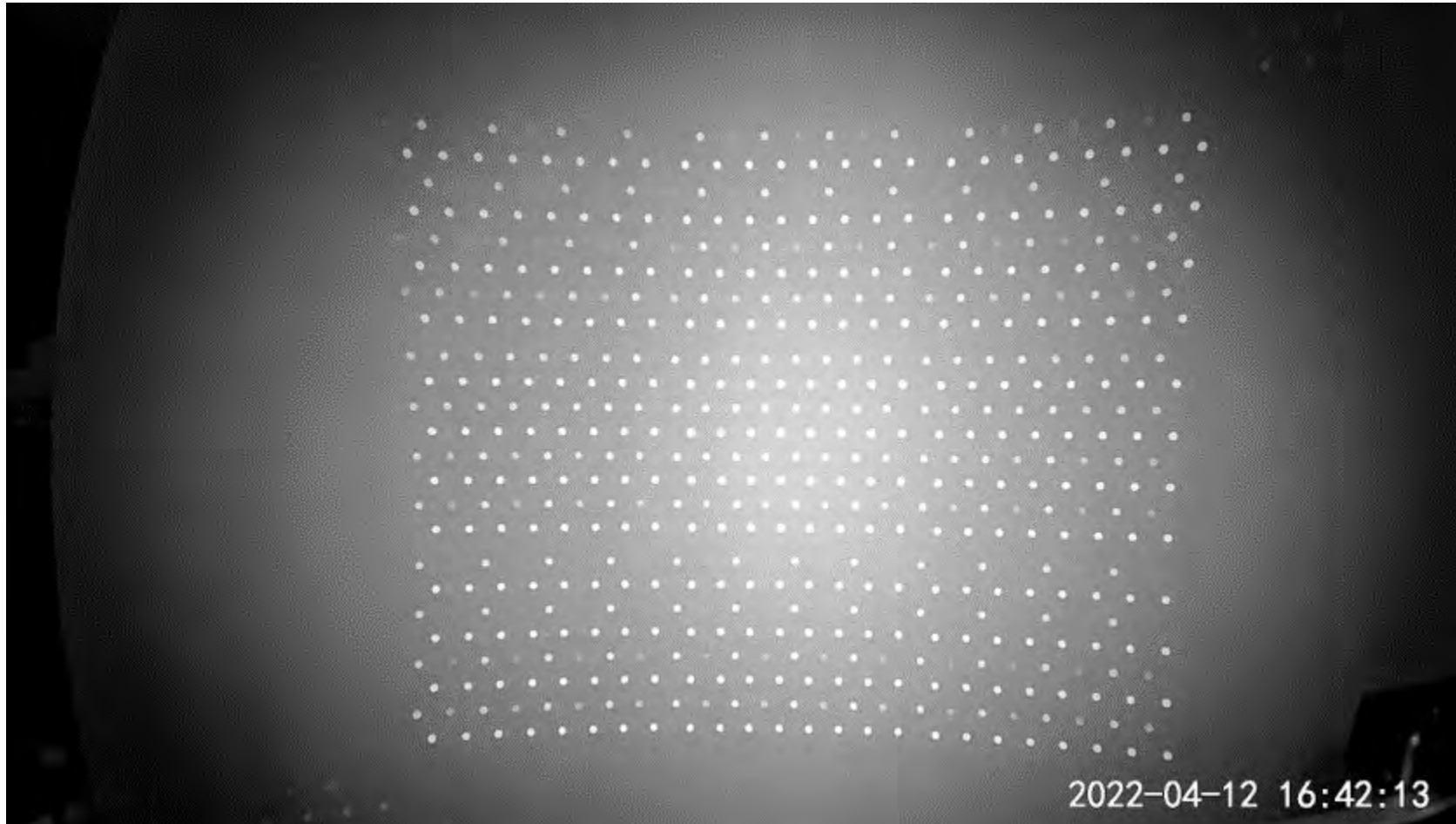
点群・メッシュ（アプリによる）

メッシュ密度（解像度）は高くない

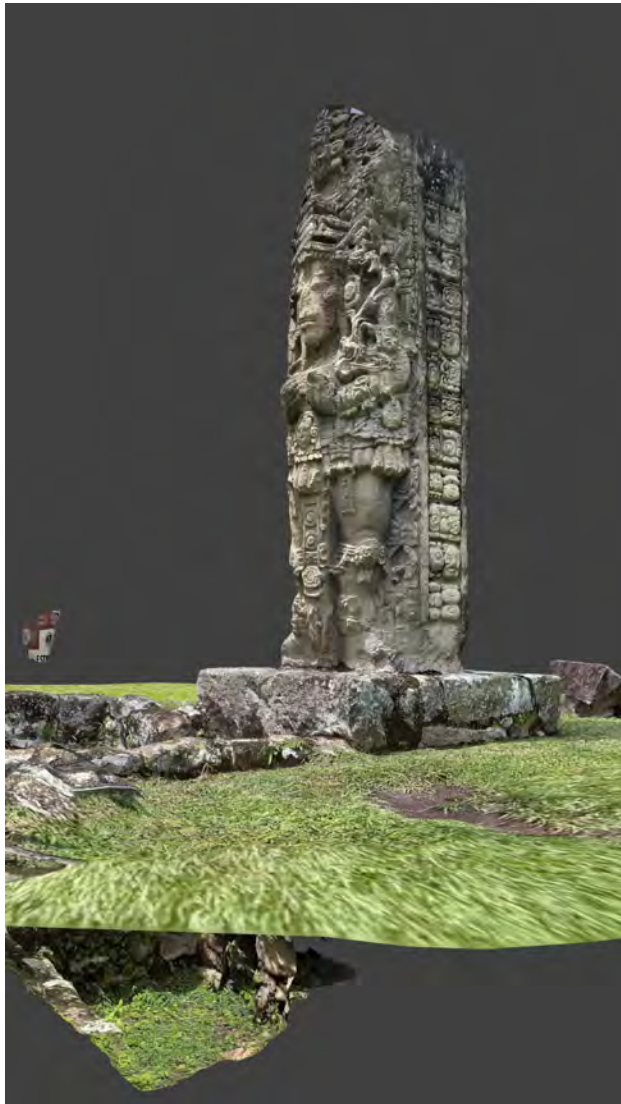


LiDARスキャナー:iPhone LiDARスキャン

- iPhone LiDARは約20mm間隔のドットパターンを照射しToF法で計測する。



LiDARスキャナー:iPhone LiDARスキャン

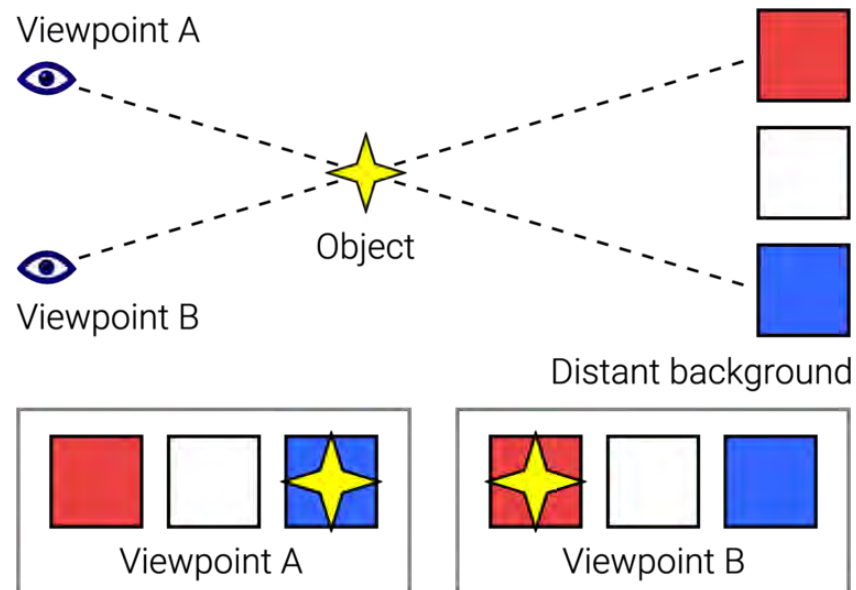


3D写真計測



3D写真計測の基本

- 基本：ステレオグラム＝2枚の画像の視差を利用して立体観を取得する
- 従来：ステレオカメラ ➡ 現在：SfM-MVS法



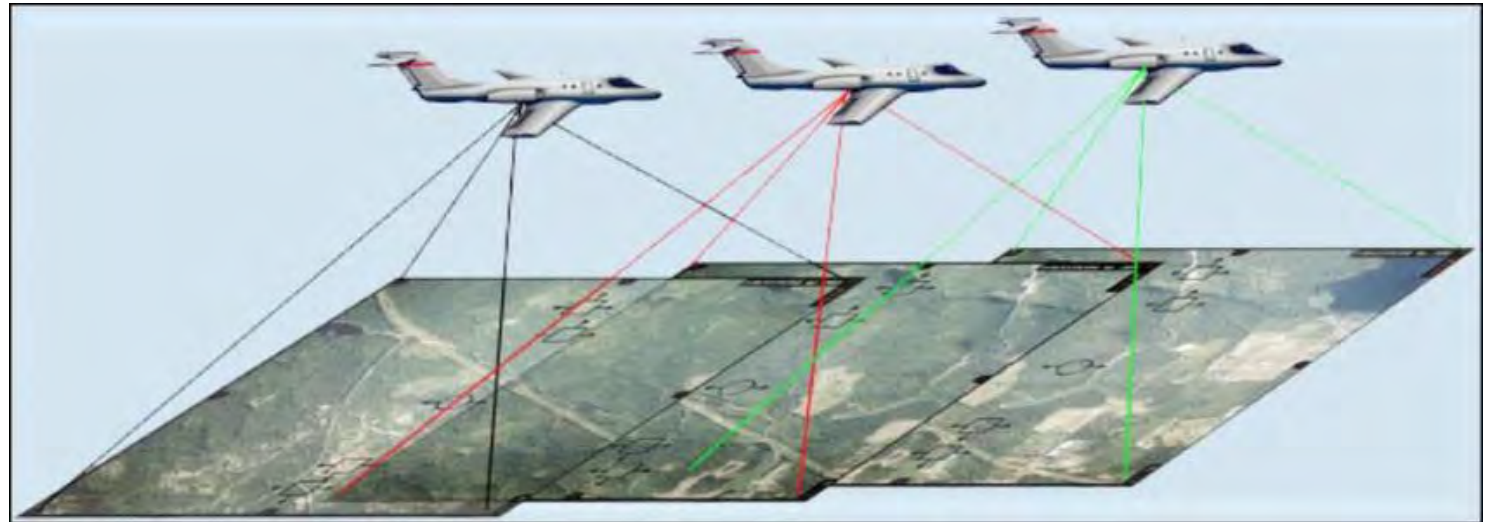
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Parallax_Example.png



https://en.wikipedia.org/wiki/Stereoscopy#/media/File:Pocket_stereoscope.jpg

3D写真計測の発展

- 測距儀：ステレオ光学観測による距離の計測
- 航空写真測量：連続撮影写真により地上高度の復元計測

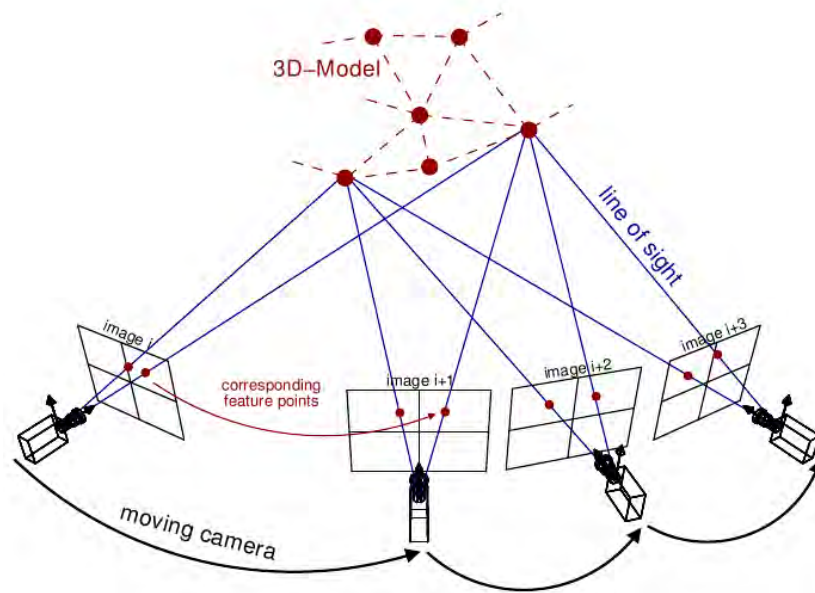


Jebur et al. (2017) 3D City Modelling by Photogrammetric Techniques
<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.11494.06722>

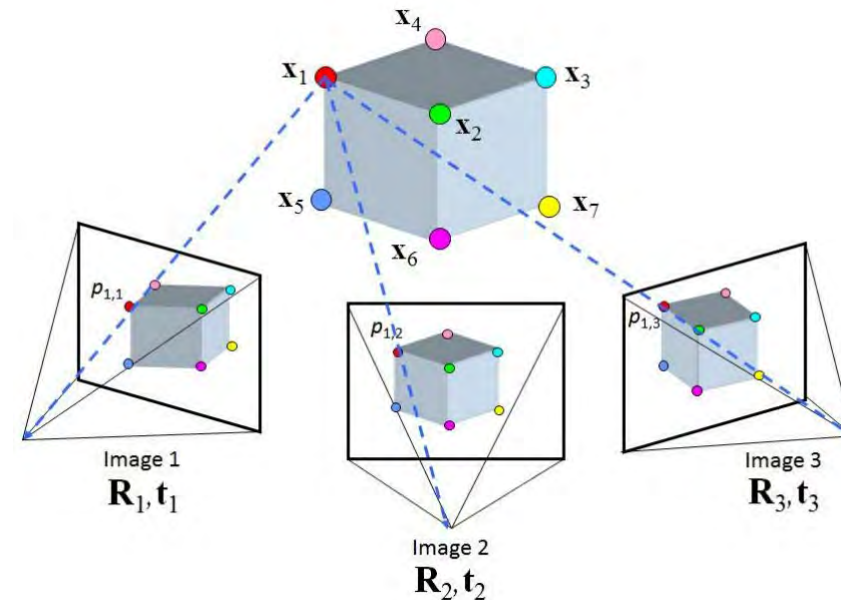
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:American_soldiers_use_a_coincidence_rangefinder.jpg

3D写真計測:SfM-MVS法

- 任意の角度で撮影された画像の撮影位置を復元
- ステレオ・マッチングするペアを画像認識により自動抽出
- ステレオ法で画像から点群を生成



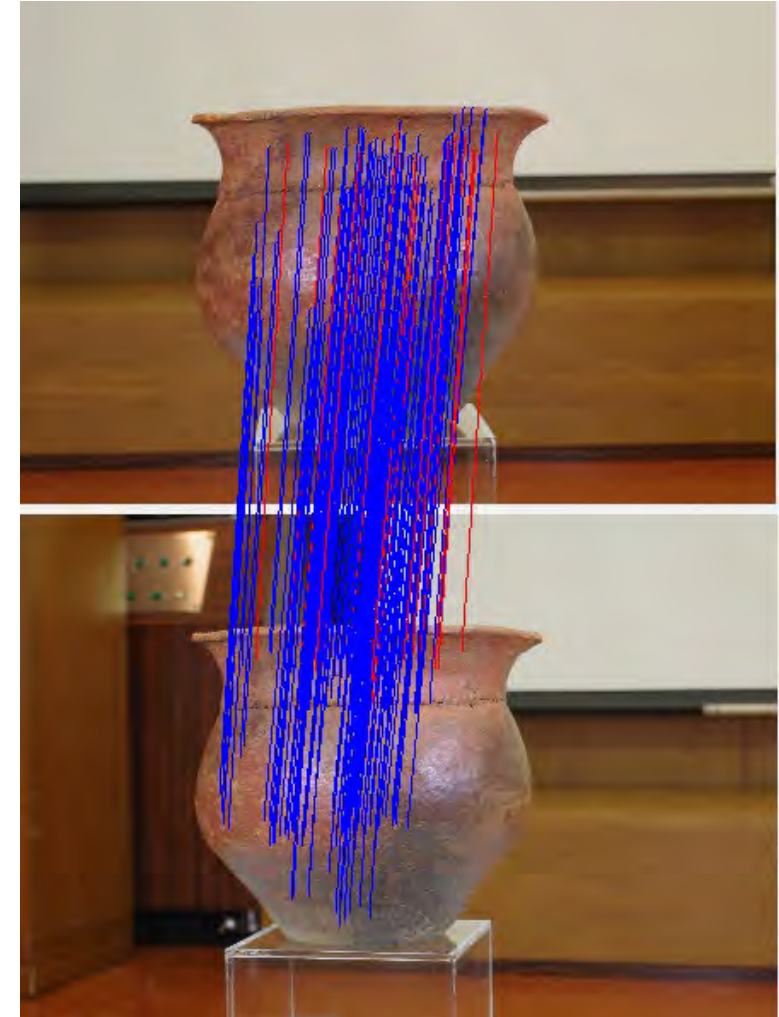
<http://www.theia-sfm.org/sfm.html>



Yilmaz & Karakus (2013) Stereo and kinect fusion for continuous 3D reconstruction and visual odometry. IDECCO2013, doi: 10.1109/ICECCO.2013.6718242

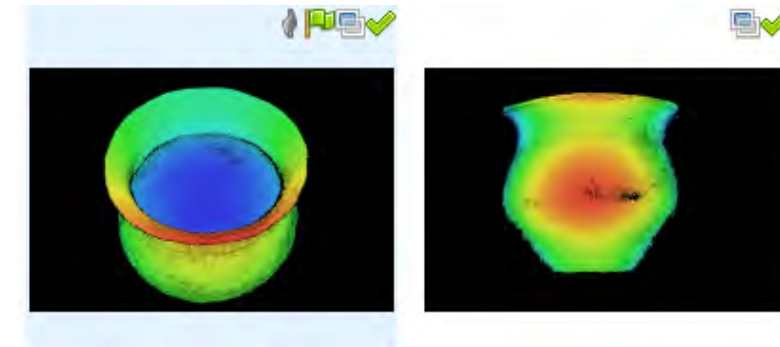
3D写真計測:SfM-MVS法

- 特徴点(キーポイント)の抽出
- 画像間の特徴点の参照→ カメラ位置の復元



3D写真計測:SfM-MVS法

- SfMで復元したカメラ位置にもとづきステレオペアを作成
- ステレオグラムにより高密度点群を構築

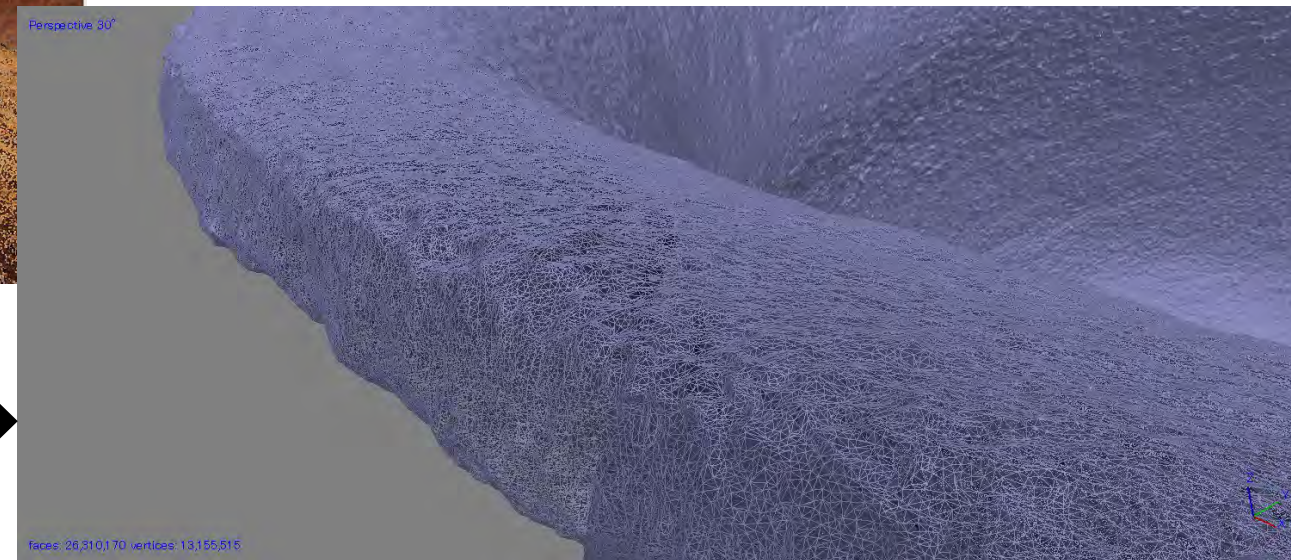


深度マップ (depth map) も利用



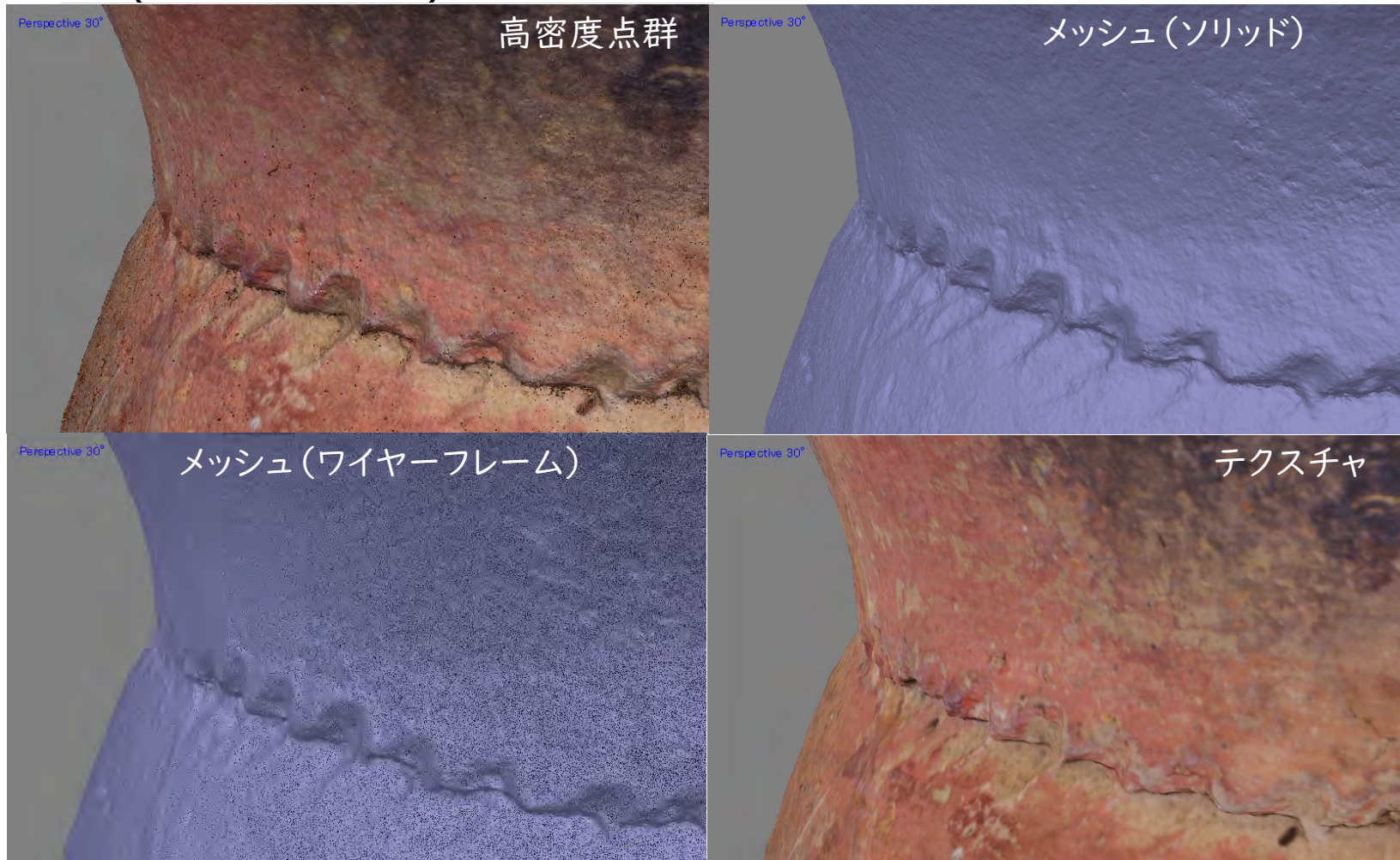
3D写真計測:SfM-MVS法

- メッシュ構築：高密度点群を頂点とする三角形網（TIN）を構築、多角形からなる面（ポリゴンメッシュ）を形成する



3D写真計測:SfM-MVS法

- モデルに画像(テクスチャ)を貼り付ける



LiDARスキャナーの長所と短所

長 所

- 直接計測：対象のサイズや距離をリアルスケールで計測できる
- シンプルな操作で計測可能な機器が発達
- 短時間で結果を確認できる（詳細処理には時間がかかる）
- 常に一定の精度・解像度で計測できる

短 所

- 専用機材が必要
- 大～小の対象を1台でカバーできるものはない
- 高価格

3D写真計測の長所と短所

長 所

- ソフトウェア以外の追加機材が少ない：既存のPCとデジカメでOK
- 写真撮影の基礎知識があれば実施できる
- 撮影倍率によりモデル解像度を調整できる

短 所

- 間接計測：距離・向き・スケールには外部参照が必要
- 解析処理に時間がかかる場合がある（画像数とPCスペックに依存）
- 画像品質・写真撮影技術に左右される