クレジット:
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017 大石岳史

ライセンス:
利用者は、本講義資料を、教育的な目的に限ってページ単位で利用することができます。特に記載のない限り、本講義資料はページ単位でクリエイティブ・コモンズ 表示−非営利−改変禁止 ライセンスの下に提供されています。
http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/

本講義資料内には、東京大学が第三者より許諾を得て利用している画像等や、各種ライセンスによって提供されている画像等が含まれています。個々の画像等を本講義資料から切り離して利用することはできません。個々の画像等の利用については、それぞれの権利者の定めるところに従ってください。

東京大学
THE UNIVERSITY OF TOKYO

CC BY NC ND

# 三次元デジタル文化資源とサイバー考古学

大石岳史
東京大学生産技術研究所
兼担：大学院情報学環、工学系研究科

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 略歴

- 1995年 静岡県立藤枝東高等学校 卒業
- 1999年 慶應義塾大学理工学部電気工学科 卒業
- 2005年 東京大学大学院学際情報学府博士課程 修了、博士（学際情報学）
- 2005年 東京大学生産技術研究所 特任助手
- 2006年東京大学生産技術研究所 特任助教
- 2007年東京大学大学院情報学環 特任講師
- 2011年～ 現職

 CC BY-NC-ND

# 東京大学・生産技術研究所



Photo by Guwashi From Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Komaba_Research_Campus_(Evening)_color.jpg
CC BY 2.0
ref. 20171121




東京大学生産技術研究所
アクセス
交通案内
https://www.iis.u-tokyo.ac.jp/ja/access/
ref. 20171121

- オープンキャンパス
  ＝生研公開（6/3～6/4）

 CC BY-NC-ND

# 旧･生産技術研究所

- @六本木
- 麻布三連隊の兵舎




日本の宇宙開発の歴史［宇宙研物語］
AVSAと糸川構想
東京大学生産技術研究所（2000年8月撮影）
http://www.isas.ac.jp/j/japan_s_history/chapter01/01/
ref. 20171128



新国立美術館

Photo by Wiiii From Wikimedia Commons
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:National_Art_Center_Tokyo_2008.jpg
CC BY-SA 3.0
ref. 20171121

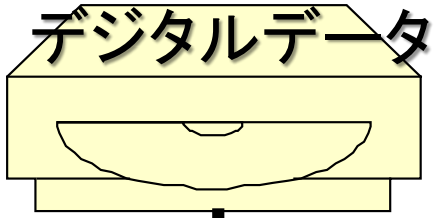
 CC BY-NC-ND

# 三次元デジタル文化資源：3D e-Heritage





Image by avaxhome.ws,from GATAG
http://free-illustrations.gatag.net/2014/03/20/060000.html
CC BY
ref.20171129






| | | 創建時 | | 現在 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | （曲尺） | （メートル） | （計算値） | （文献値） |
| 1 | 結跏趺坐高 | 53.50 | 16.2105 | 14.96788 | 14.98 |
| 2 | 肉髪 | 3.00 | 0.909 | 0.9095 | |
| 3 | 自髪際至頂 | 7.00 | 2.121 | 2.0784 | |
| 4 | 自眉上至髪際 | 1.92 | 0.58176 | 0.3786 | |
| 5 | 御眉間 | 1.10 | 0.3333 | 0.220007 | |
| 6 | 御目長 | 3.90 | 1.1817 | | 1.02 |
| 7 | 御目間 | 1.60 | 0.4848 | | |
| 8 | 自目至眉 | 0.80 | 0.2424 | | |



 CC BY-NC-ND

# 3D e-Heritageの3要素

保存（デジタルアーカイブ）
- 大仏
- アンコール遺跡
- ローマ神殿・彫像…

展示（クラウドミュージアム）
- 飛鳥京復元
- 震災地域仮想復興
- …

解析（サイバー考古学）
- バイヨン尊顔分類
- ギリシャ彫像の作者同定
- 風洞実験による構造解析…

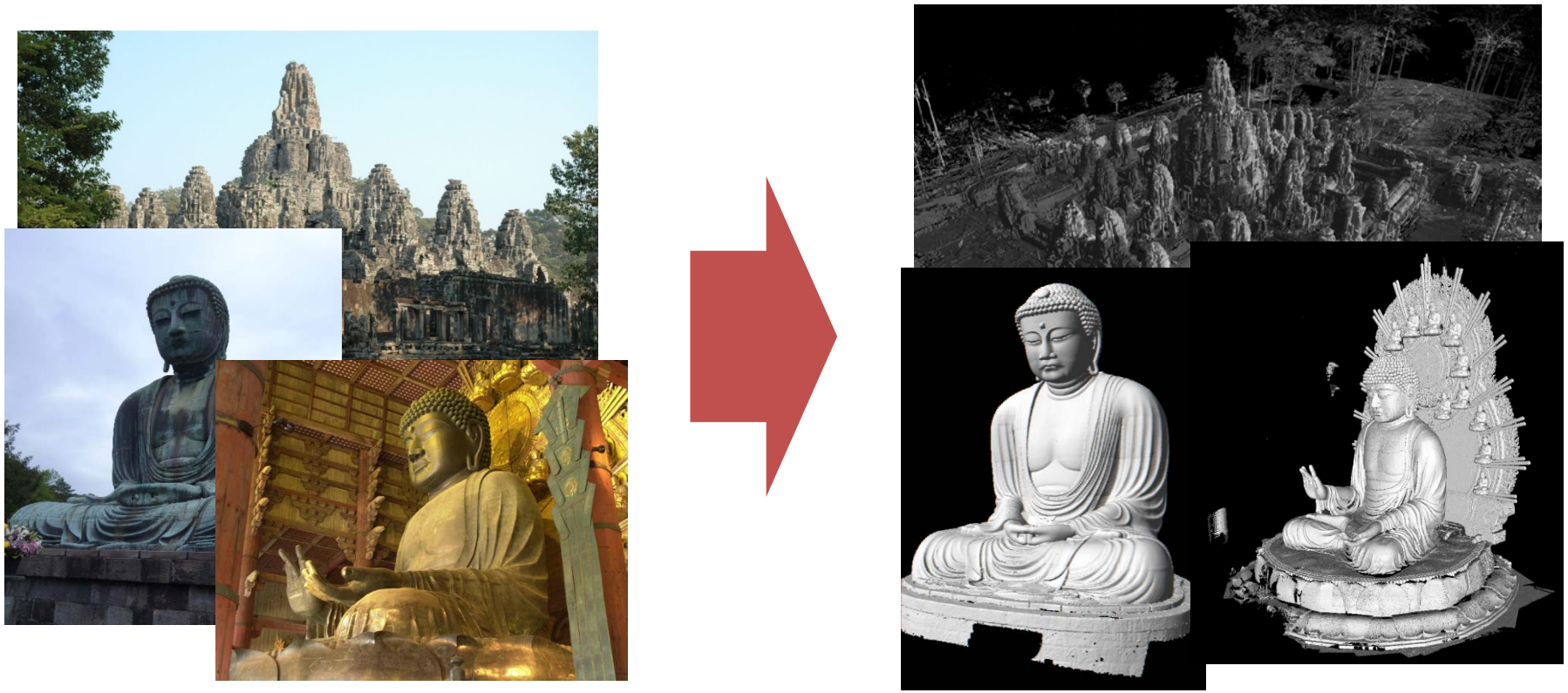
 CC BY-NC-ND

# デジタルアーカイブ（保存）

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# デジタルアーカイブ

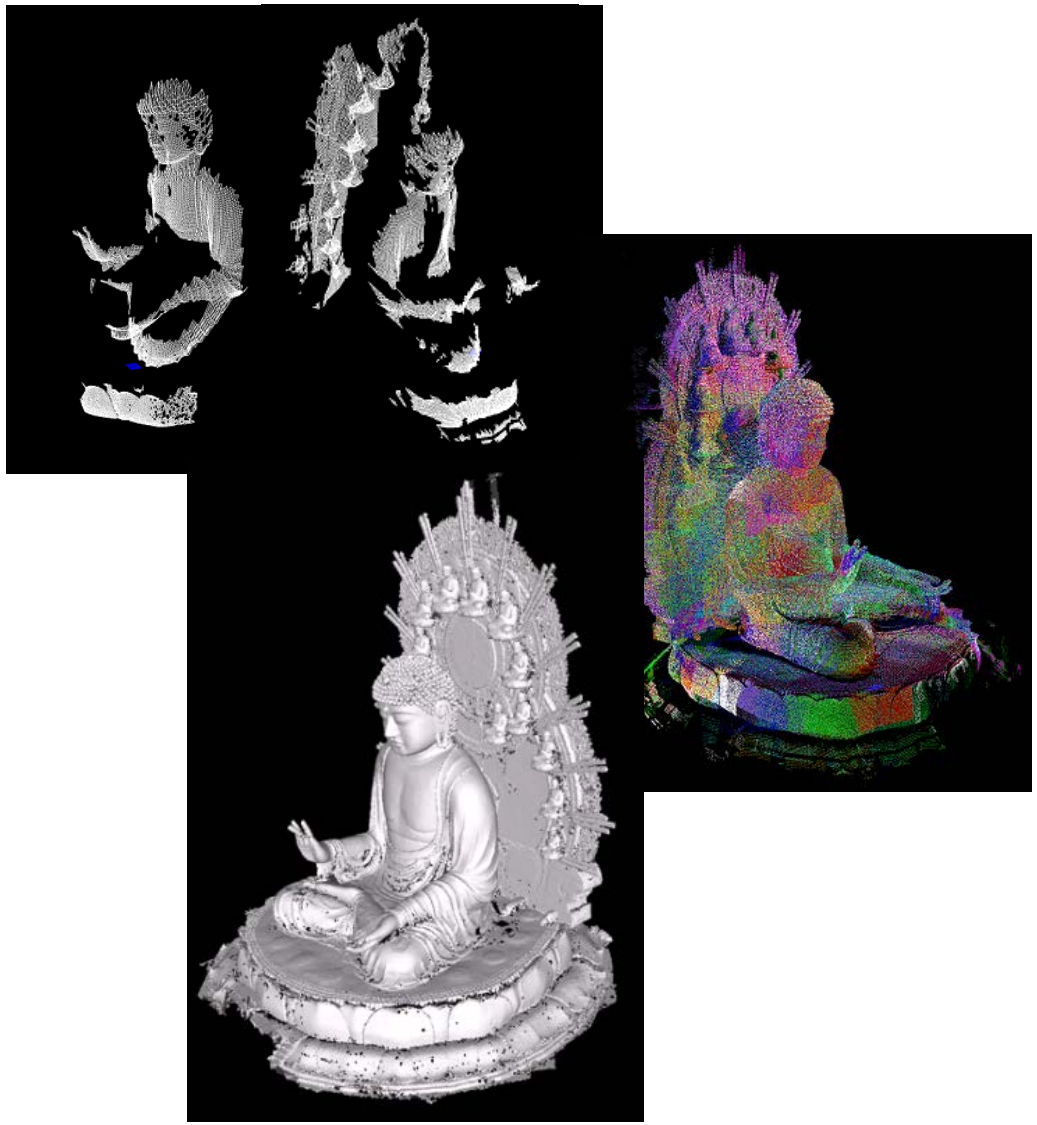
- カメラやレーザレンジセンサによって実物体をデジタル化



 CC BY-NC-ND

# 形状のモデル化

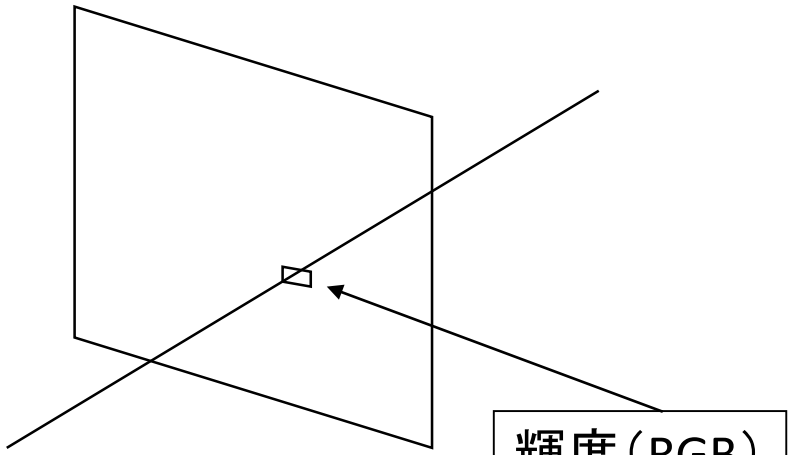
- データ取得（Data acquisition）
- 位置合わせ（Alignment）
- 統合（Merging）



 CC BY-NC-ND

# レンジセンサ

カラー画像

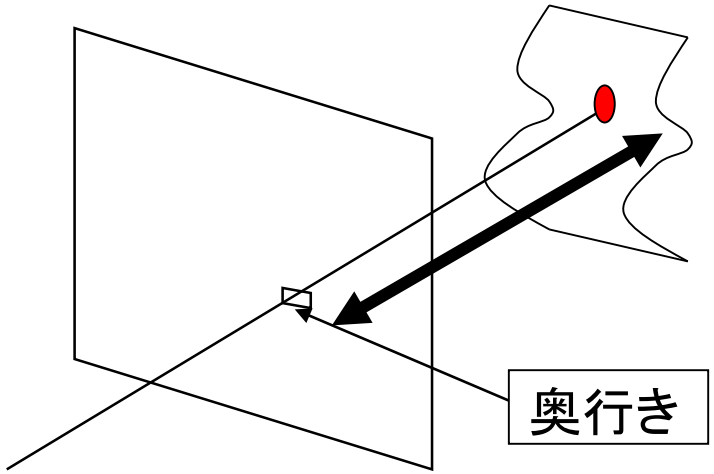






画像提供：株式会社リコー

距離画像



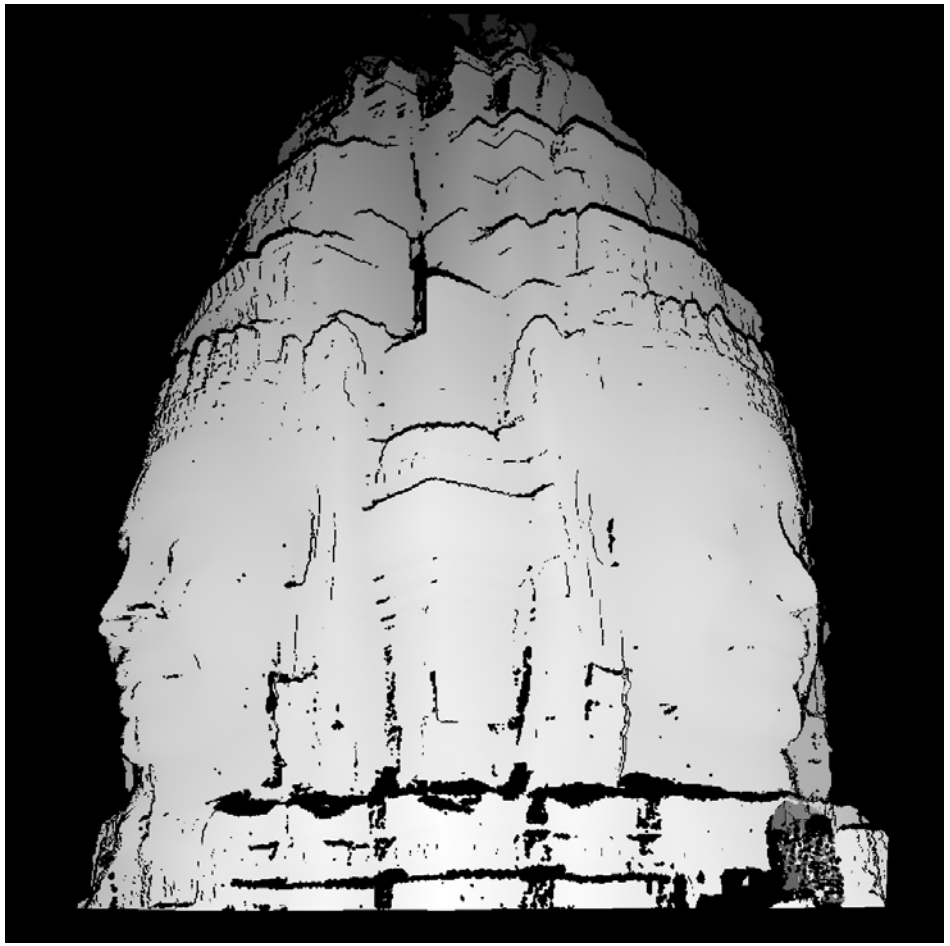




画像提供：コニカミノルタ株式会社
※VIVID910、VIVID9iは生産終了しております。

 CC BY-NC-ND

# 距離画像例



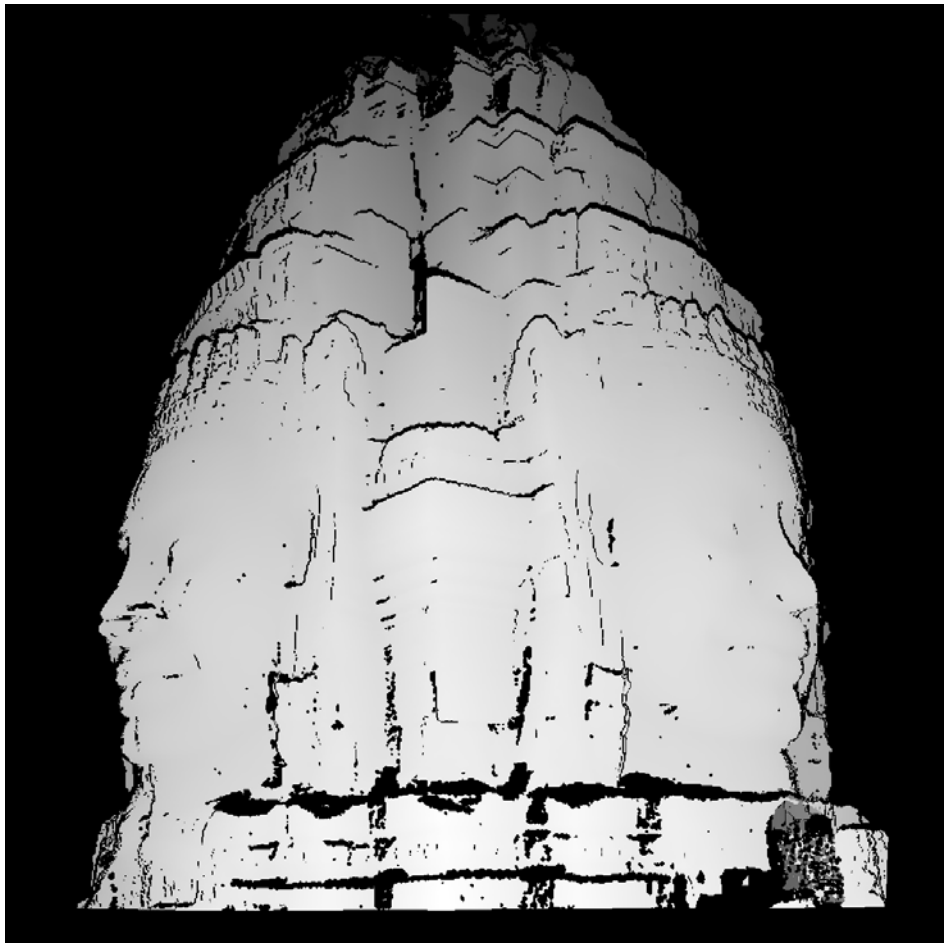
距離画像



メッシュモデル

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 距離画像例



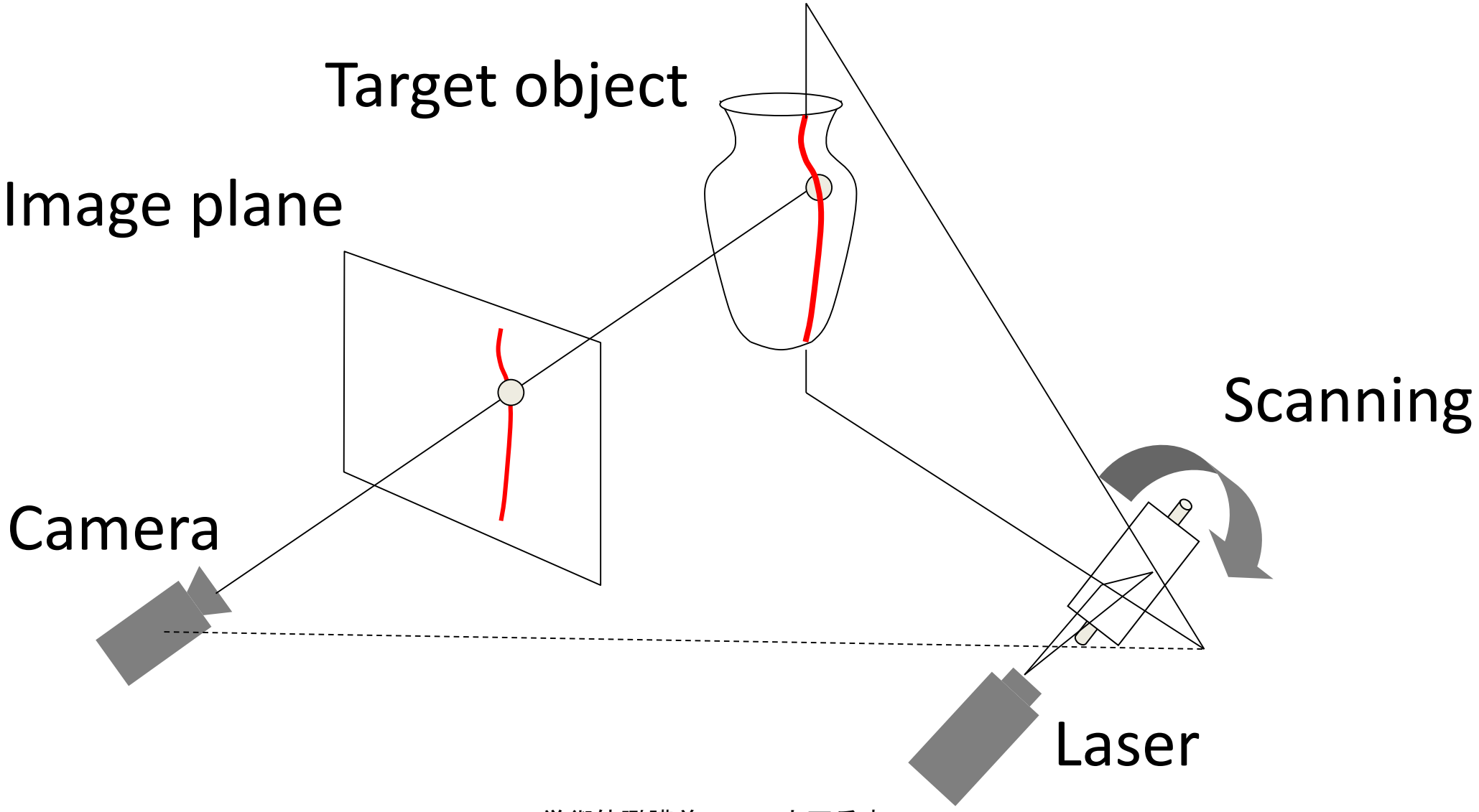
距離画像



メッシュモデル

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 光切断法（Light sectioning）




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# VIVID9i (Konica Minolta)

- Range : 0.6-1.0 m
- Accuracy : 0.008 - 0.024 mm
- Time : 2.5 sec
- Resolution : 640 × 480
- Laser class : 2




画像提供：コニカミノルタ株式会社
※VIVID910、VIVID9iは生産終了しております。

 CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

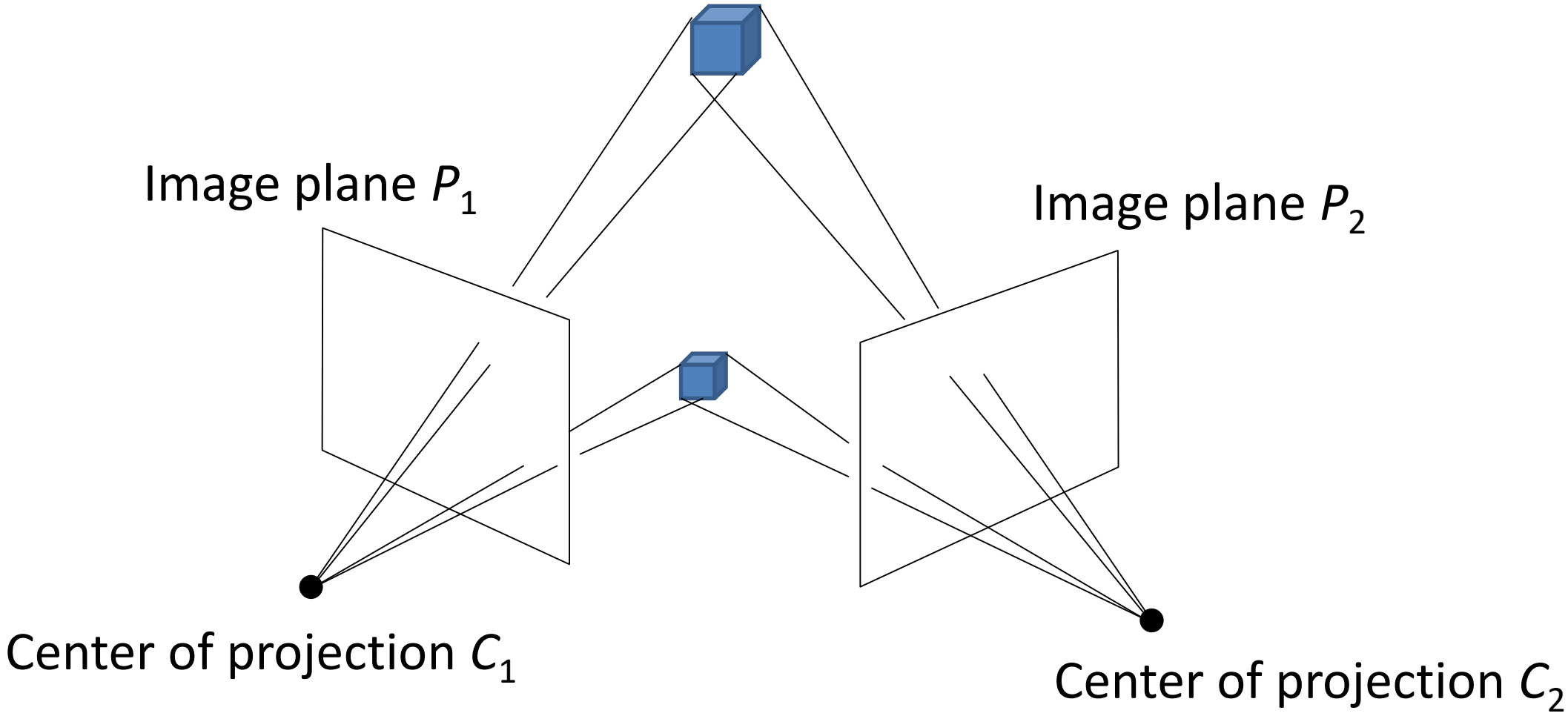


UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

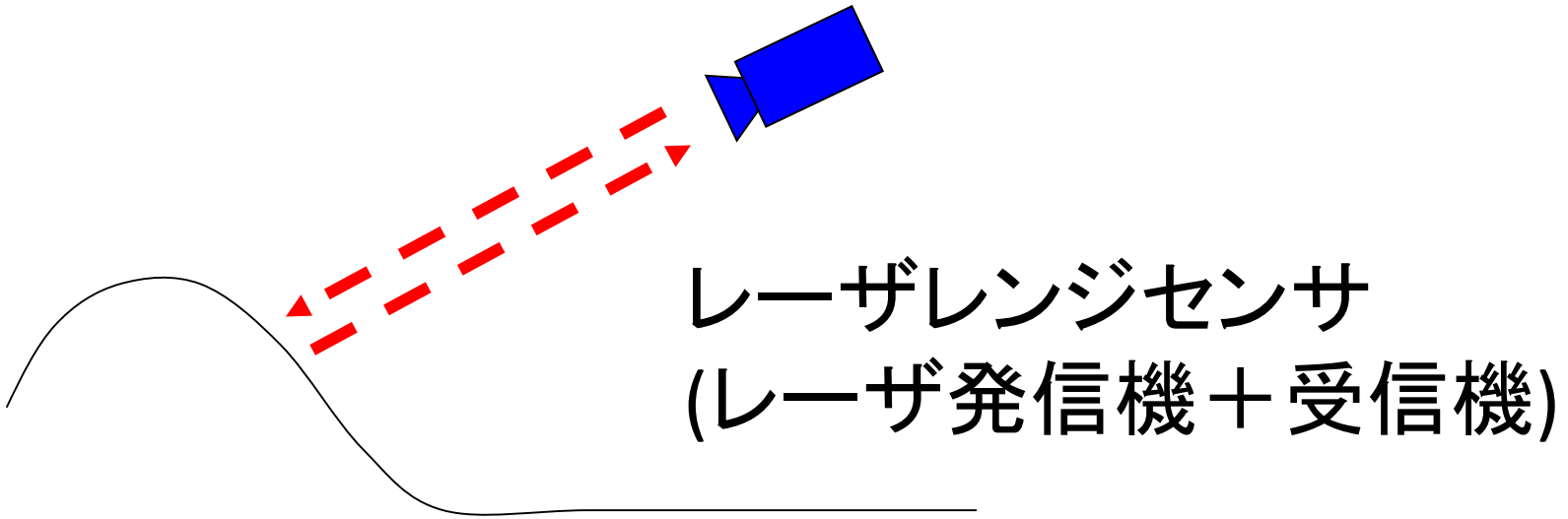
# 三角測量法の問題点




距離 <--> 精度

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 飛行時間法（Time-of-flight）



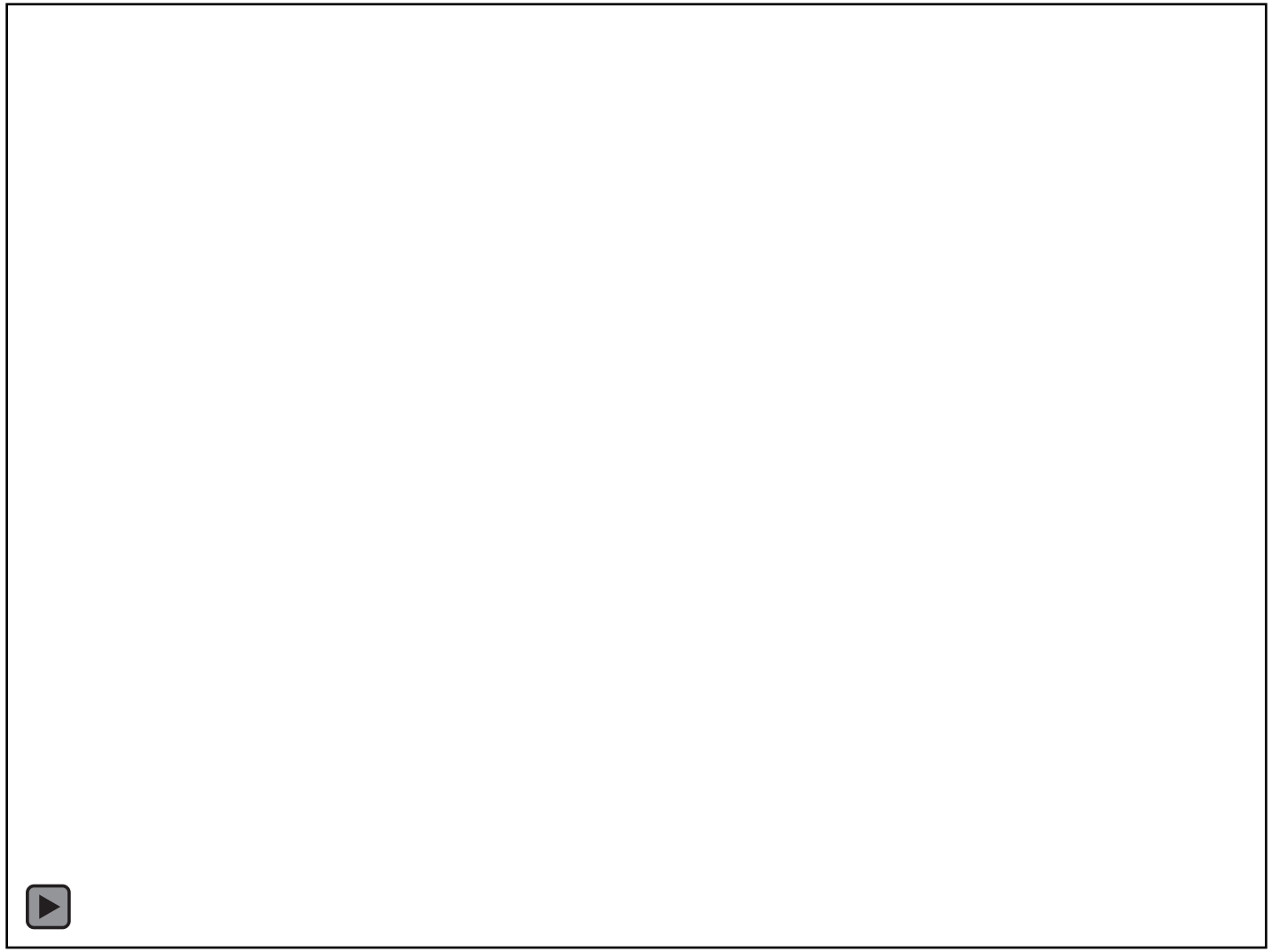

飛行時間 → 距離

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 計測データ

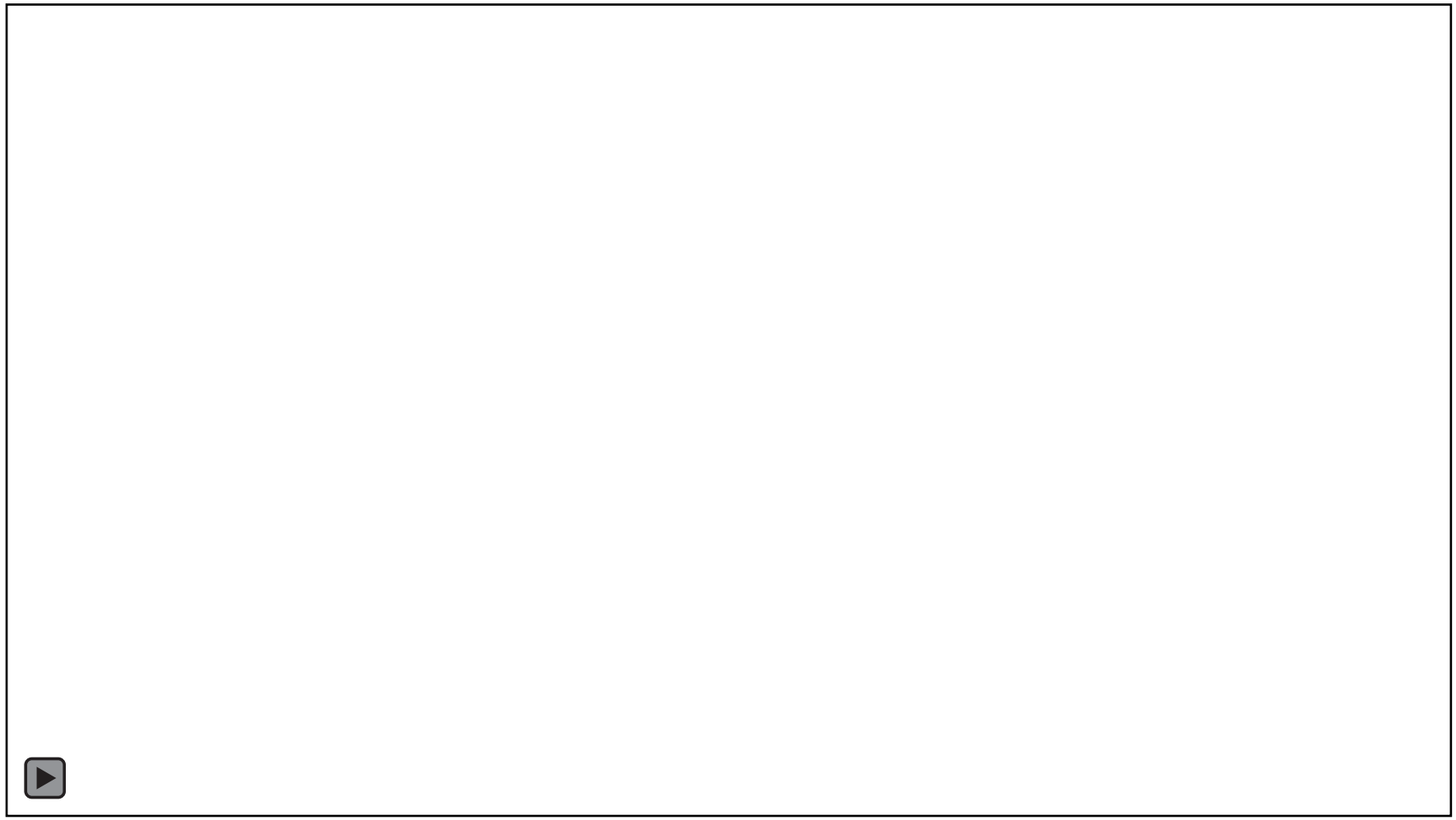


UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



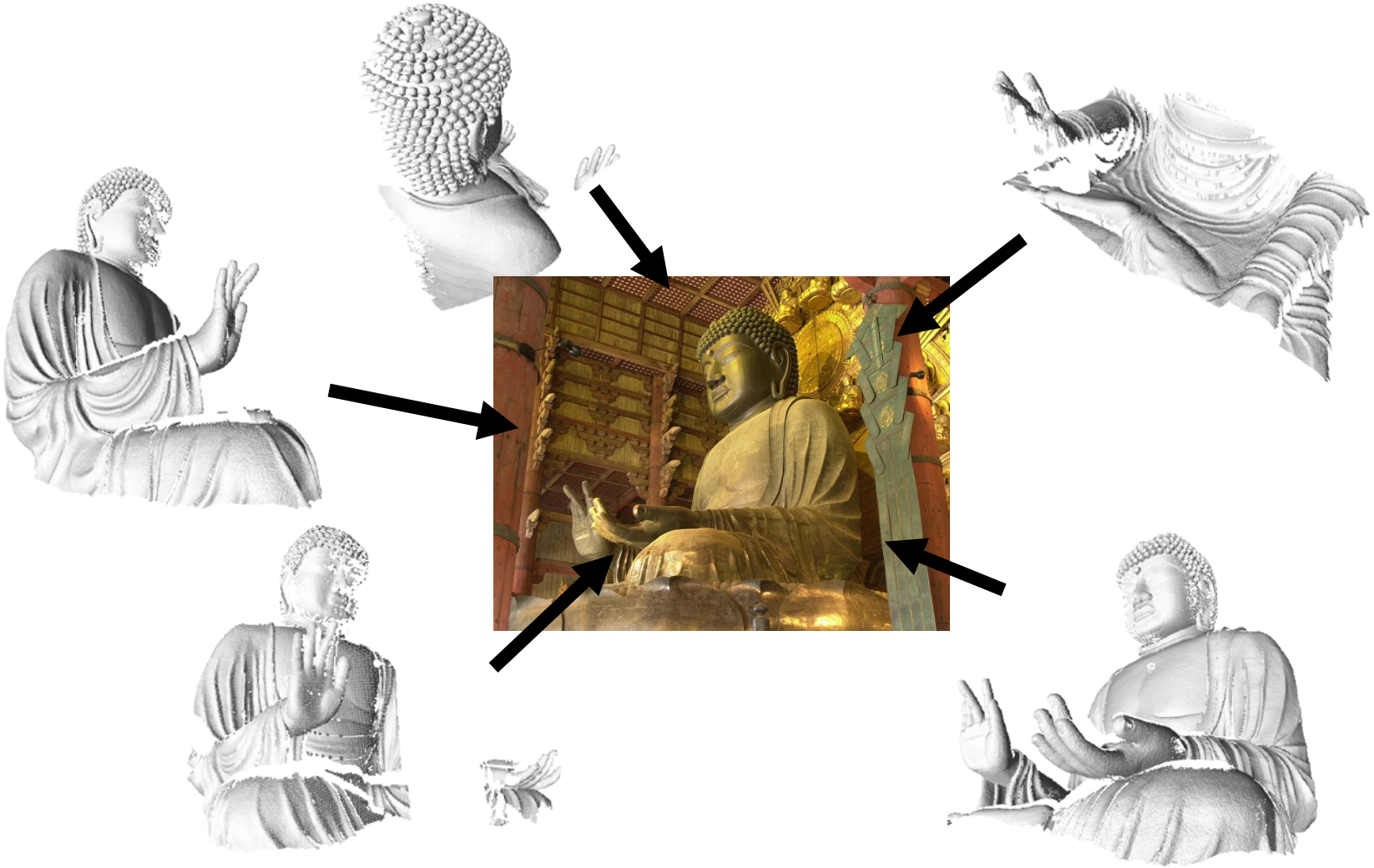
 CC BY-NC-ND

# 計測データ



 CC BY-NC-ND

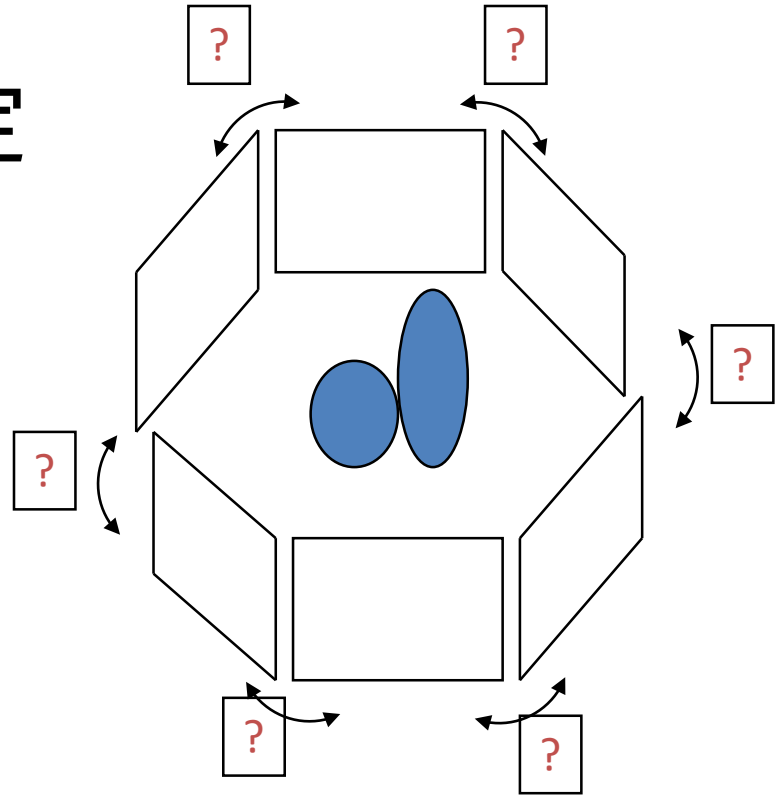
# 複数方向から計測した距離画像



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 距離画像の位置合わせ

- 相対位置姿勢の推定

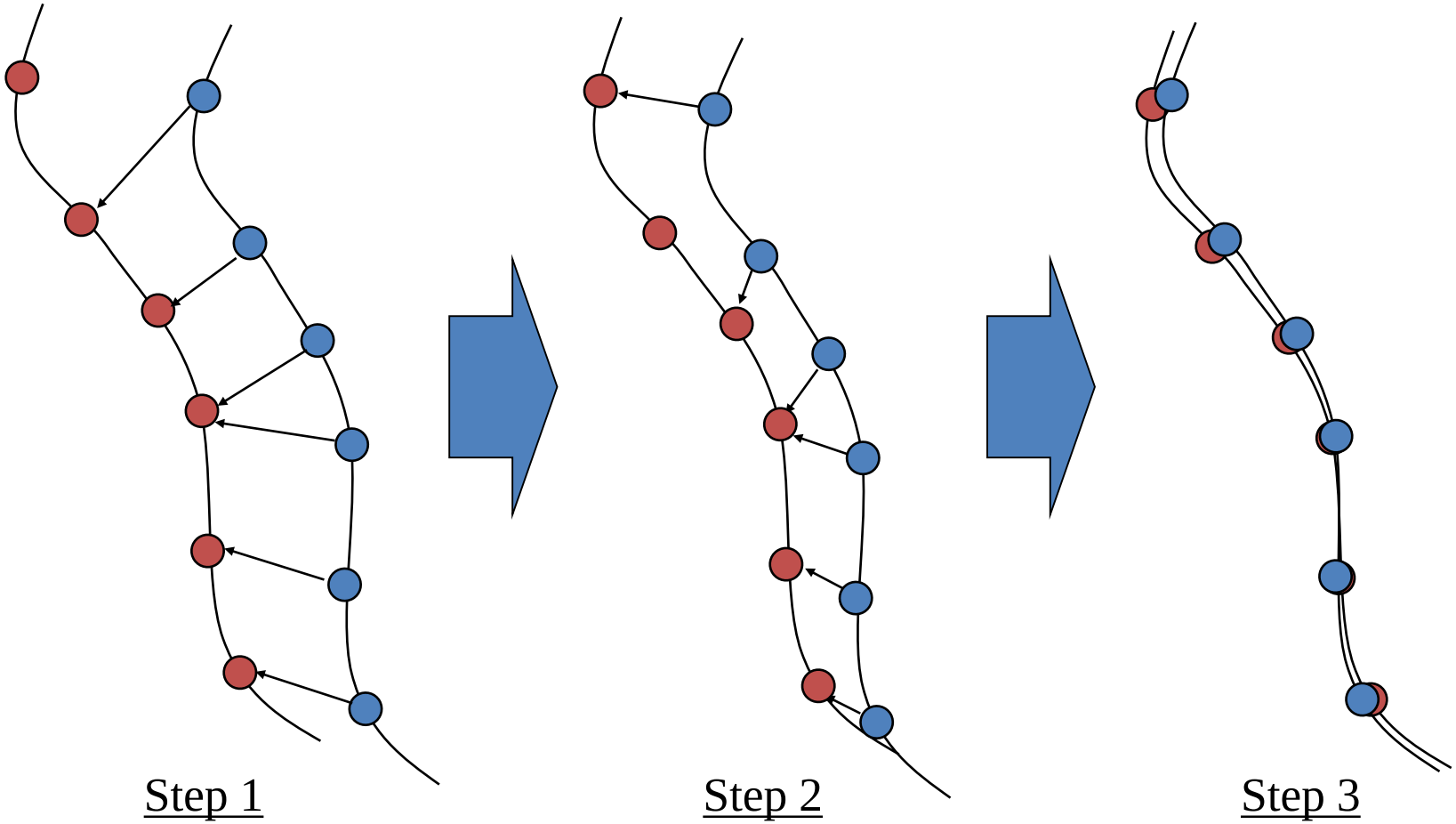



 CC BY-NC-ND

# 形状の重なりから位置姿勢推定

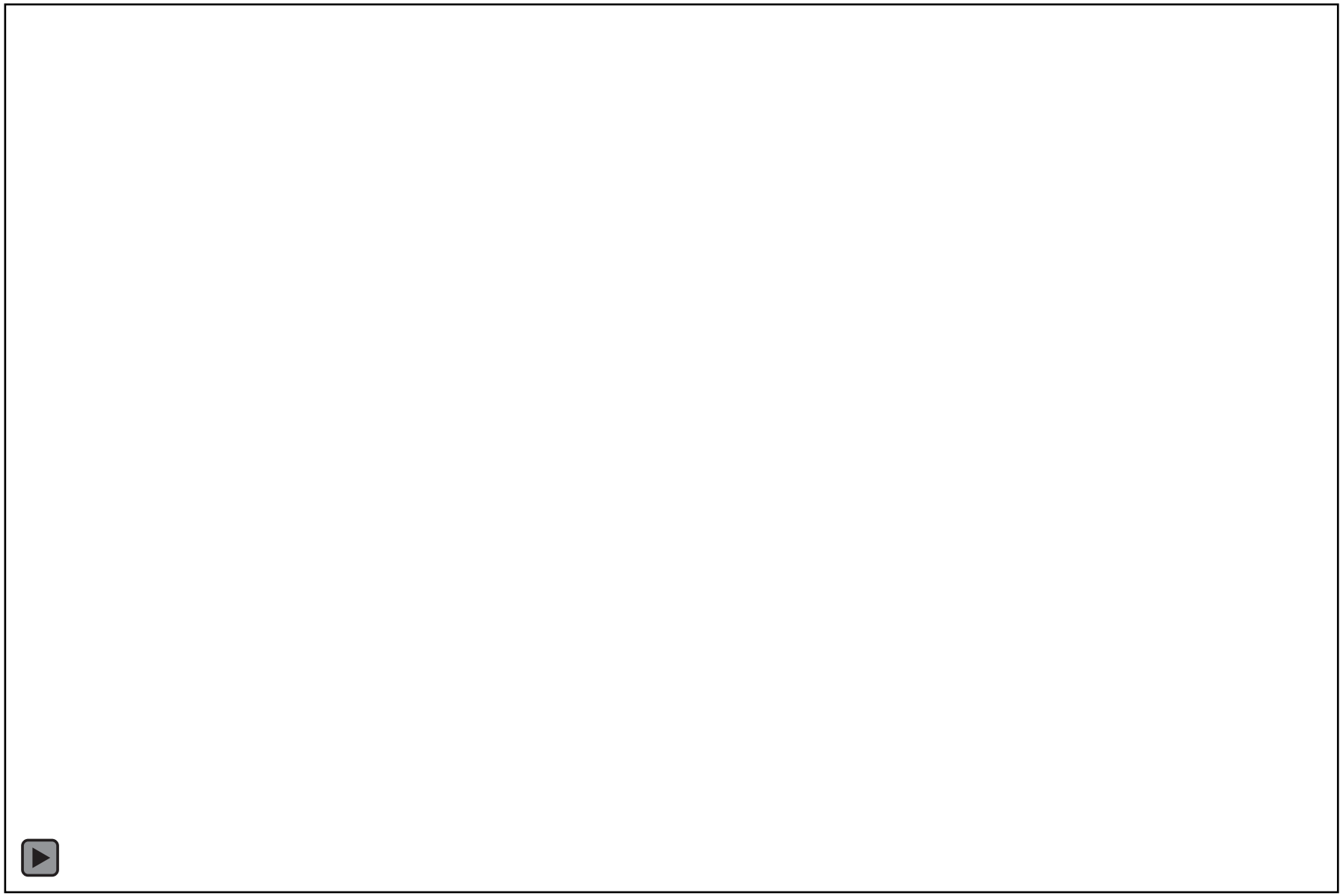
[Besl et al. ‘92]

- Iterative Closest Point (ICP)



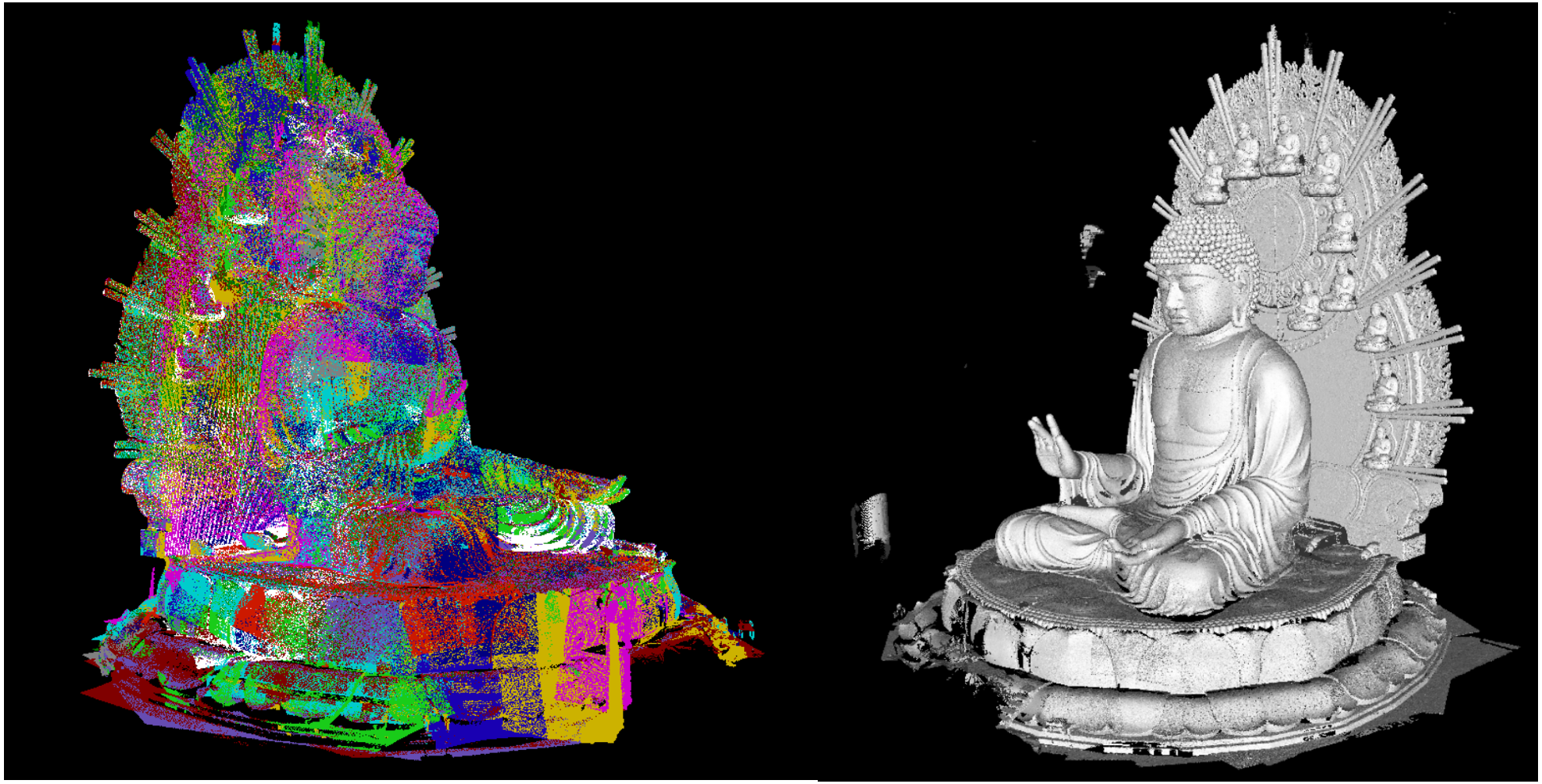

 CC BY-NC-ND

[Oishi et al. ‘03]



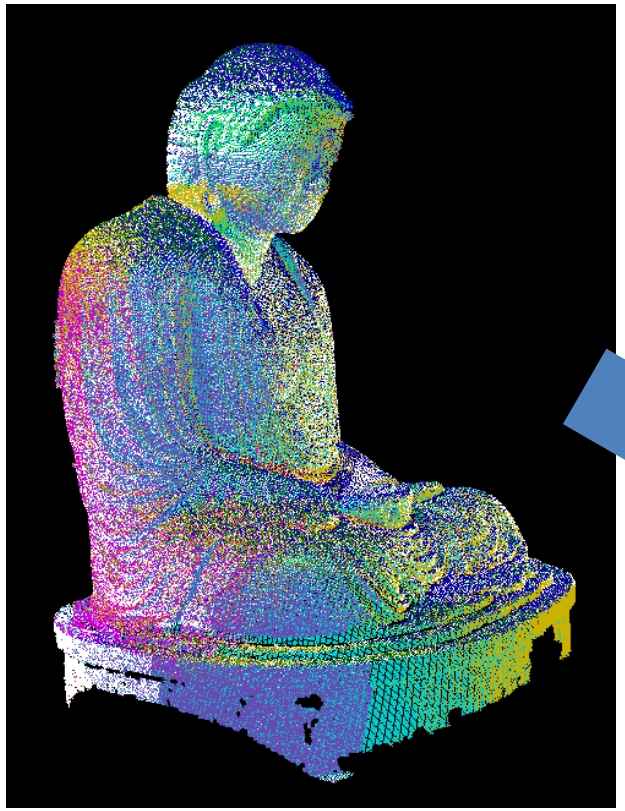
 CC BY-NC-ND

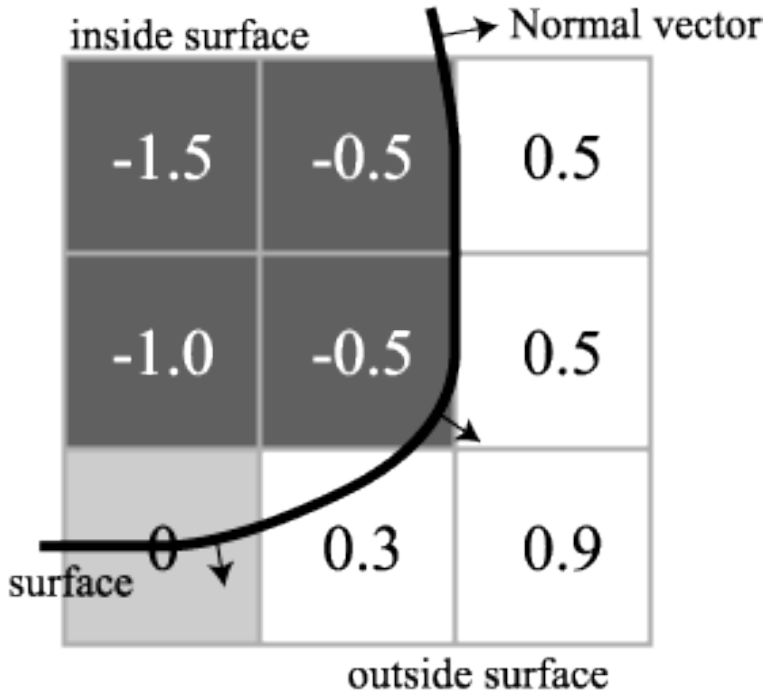
# 位置合わせ結果



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# ボリューム統合手法

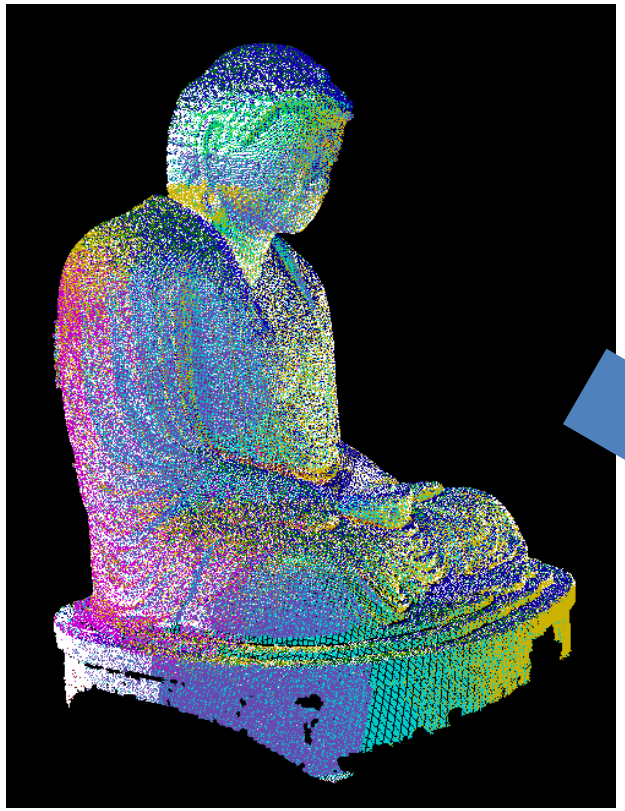


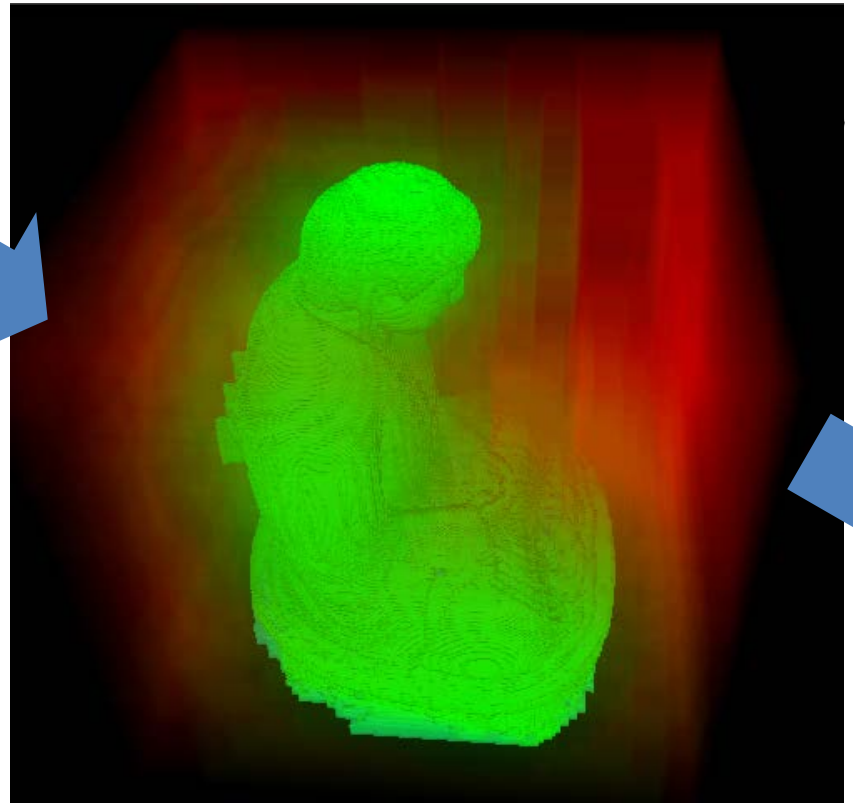



符号付距離場

 CC BY-NC-ND

# ボリューム統合手法



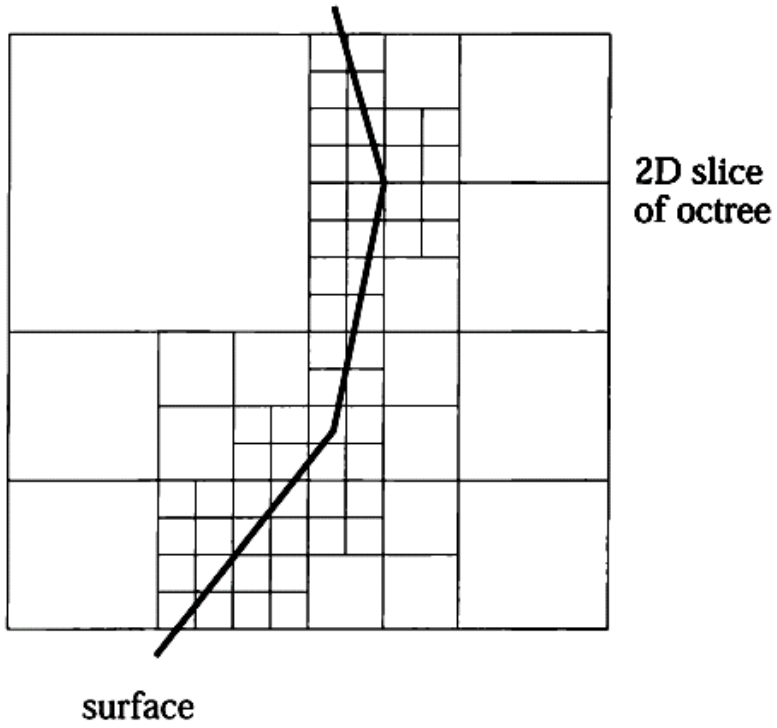


符号付距離場

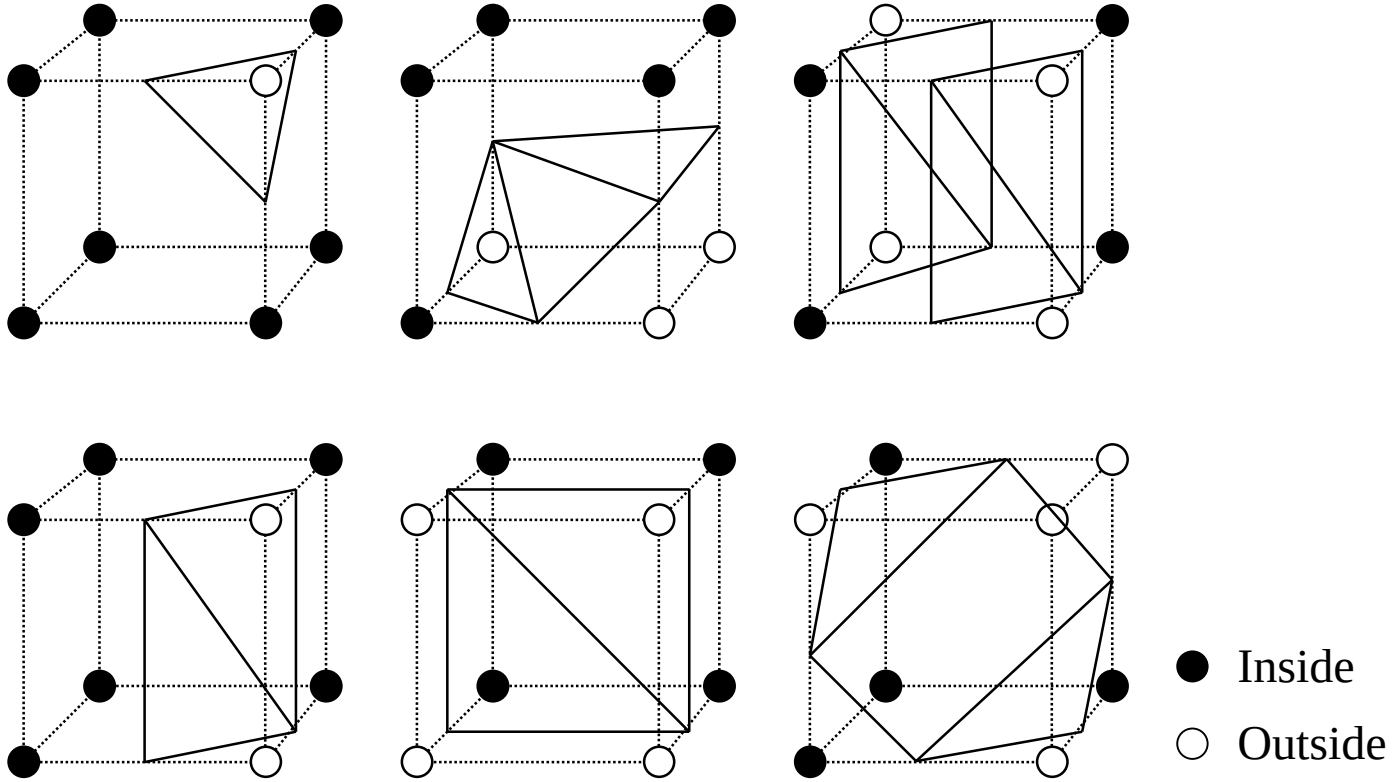


UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# メッシュ生成




Octree representation




Marching Cubes algorithm [Lorensen ’87]

 CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 鎌倉大仏





UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 飛鳥大仏





UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# アンコール遺跡群プロジェクト

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND




(c)OpenStreetMap contributors

 CC BY-NC-ND

# バイヨン寺院



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# レーザレンジセンサによる計測
# (Imager5003, Cyrax sensor)

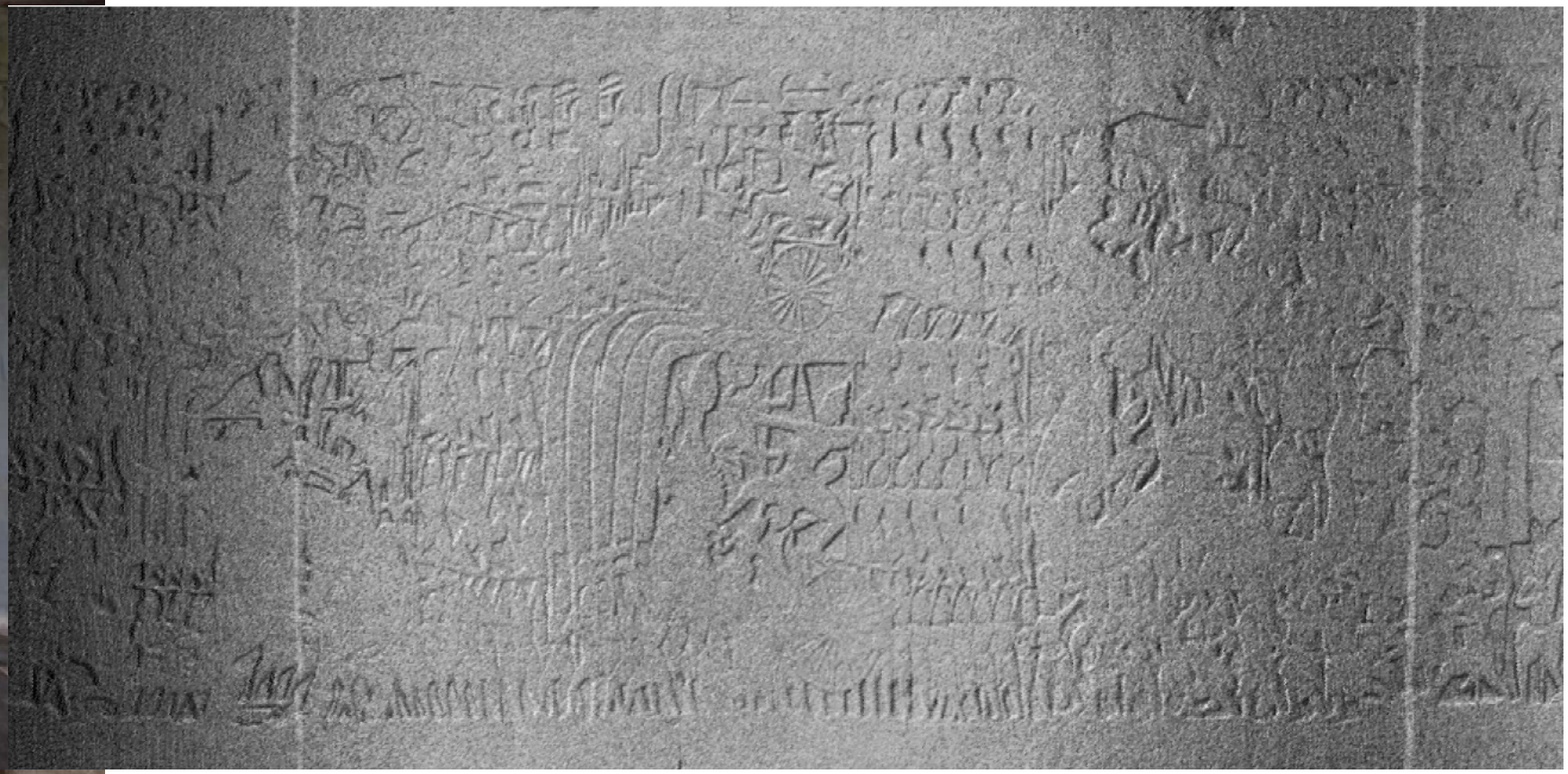




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 固定センサによる回廊レリーフ計測





UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# レールを用いた高精度、高密度計測

[Zheng et al. 2015]



Moving platform (Rail)

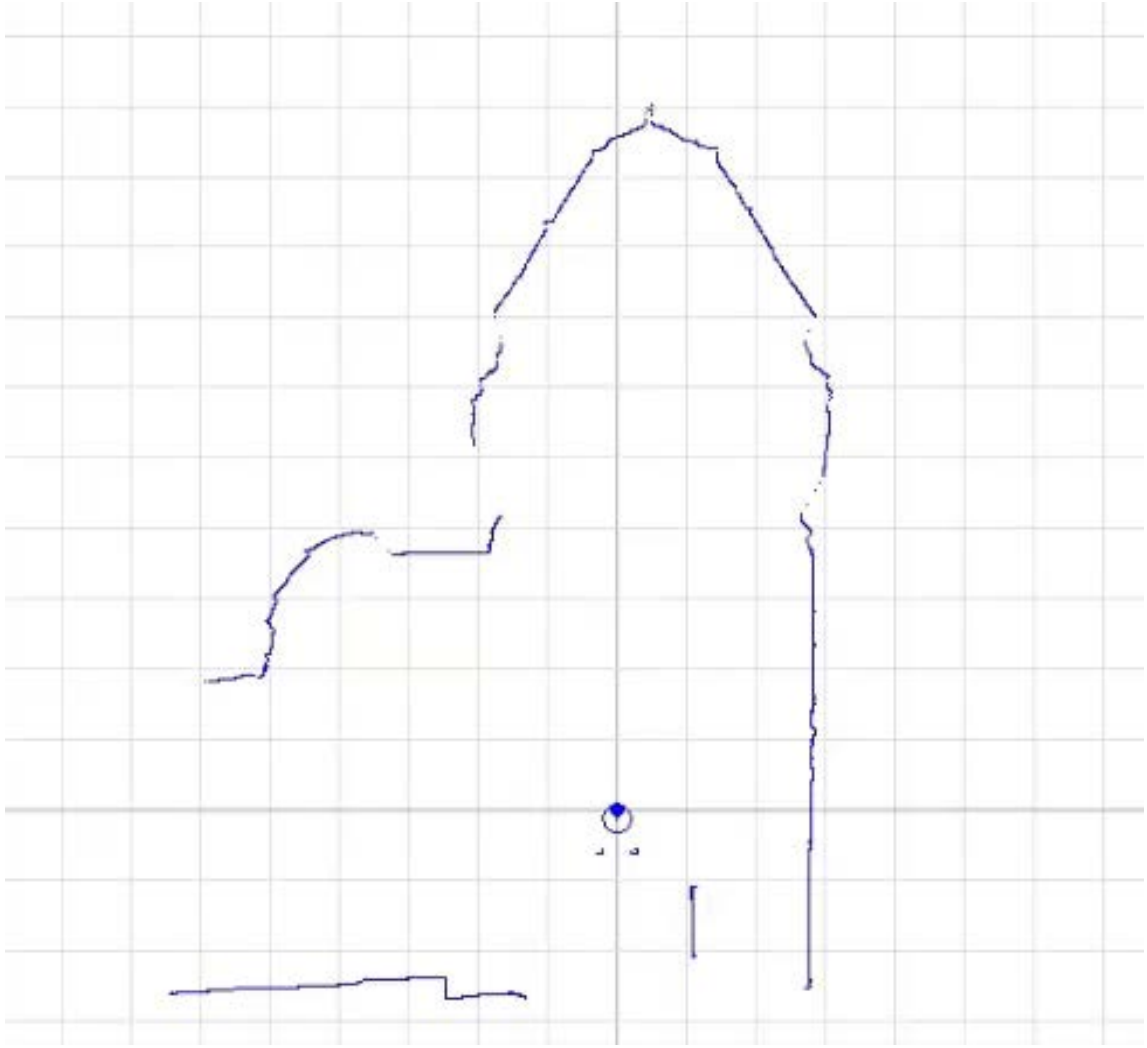
Profiler (Z+F Imager 5010C)



Omni-directional camera
(PGR Ladybug3)

 CC BY-NC-ND

# プロファイラデータ



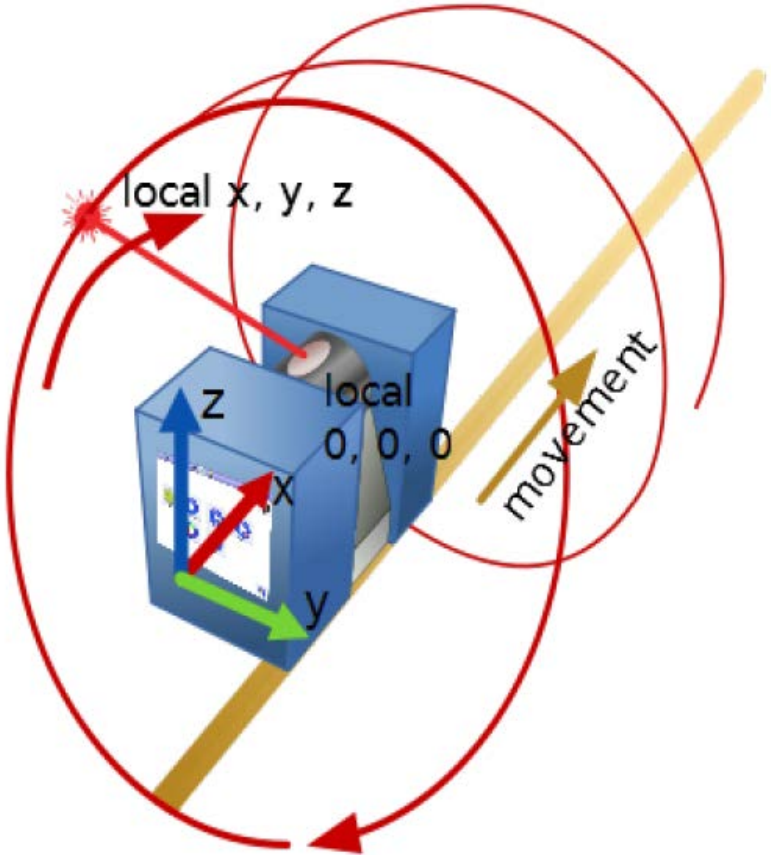
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

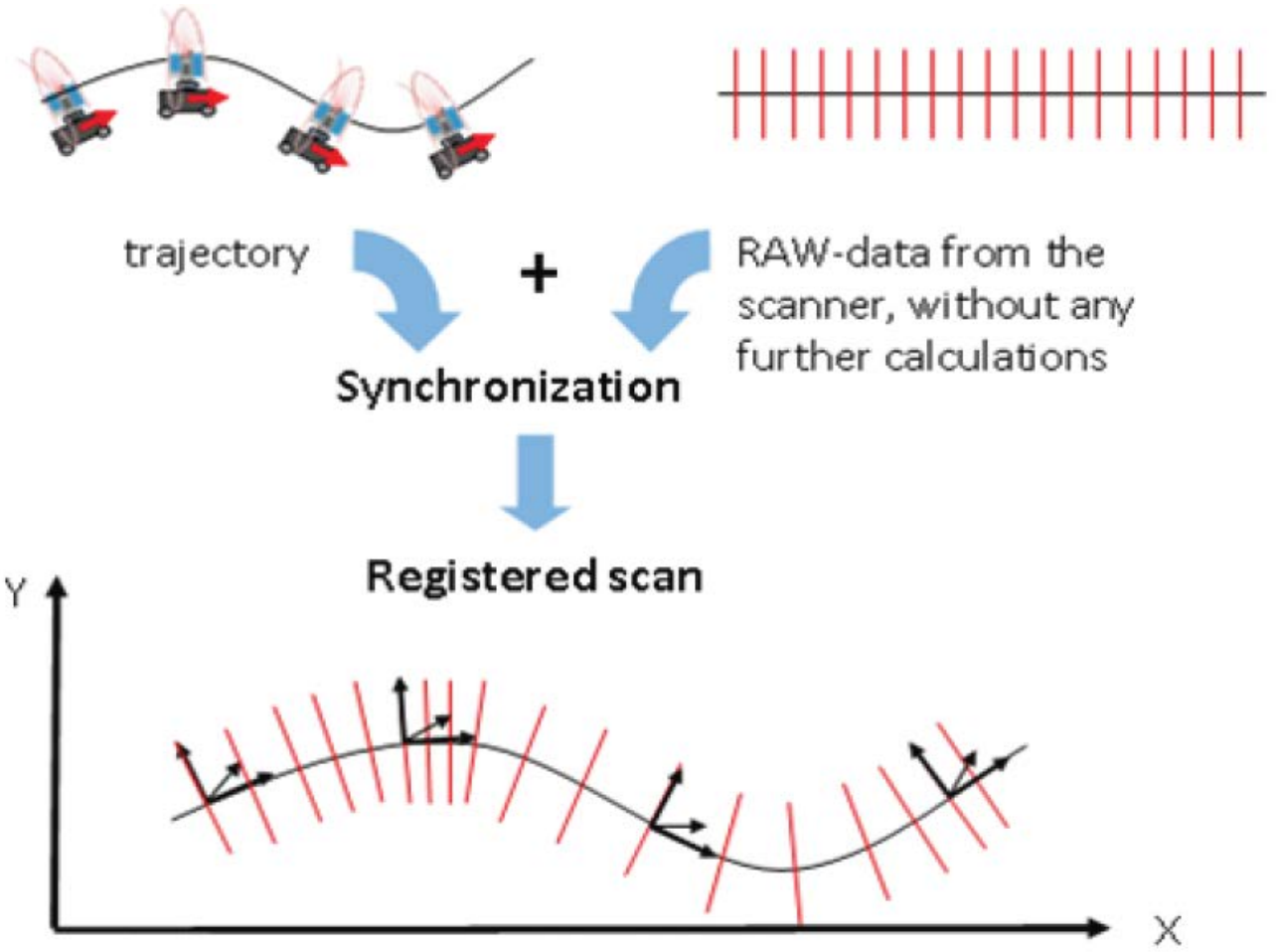
# パノラマ動画



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

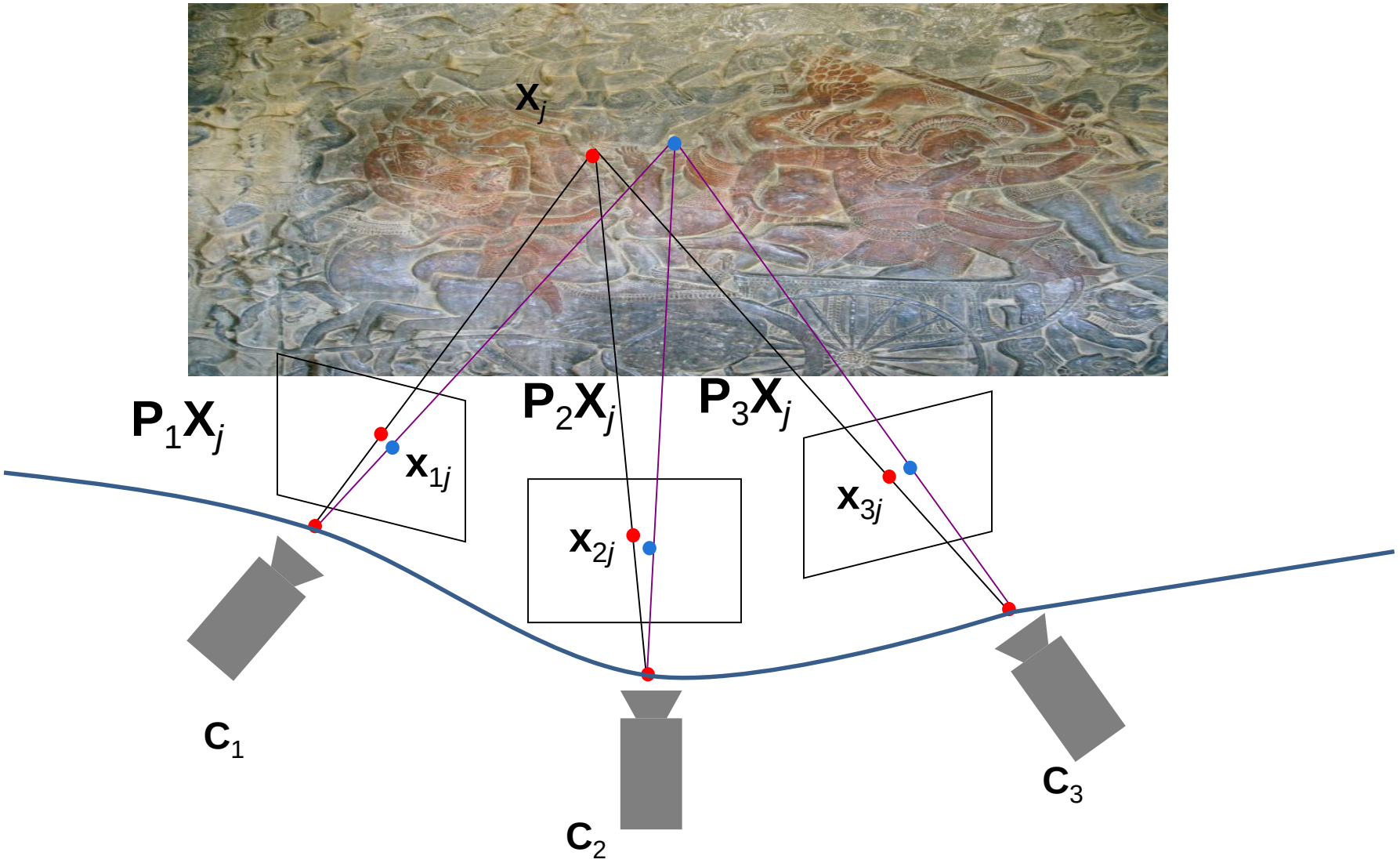
# 計測原理（プロファイラモード計測）




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 距離データと画像による特徴点トラッキング




 CC BY-NC-ND

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました

テレビ番組の動画
2015年2月22日放送TBS『THE 世界遺産』×『夢の扉＋』
アンコール遺跡
http://www.tbs.co.jp/heritage/feature/2015/201503_02.html

 CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

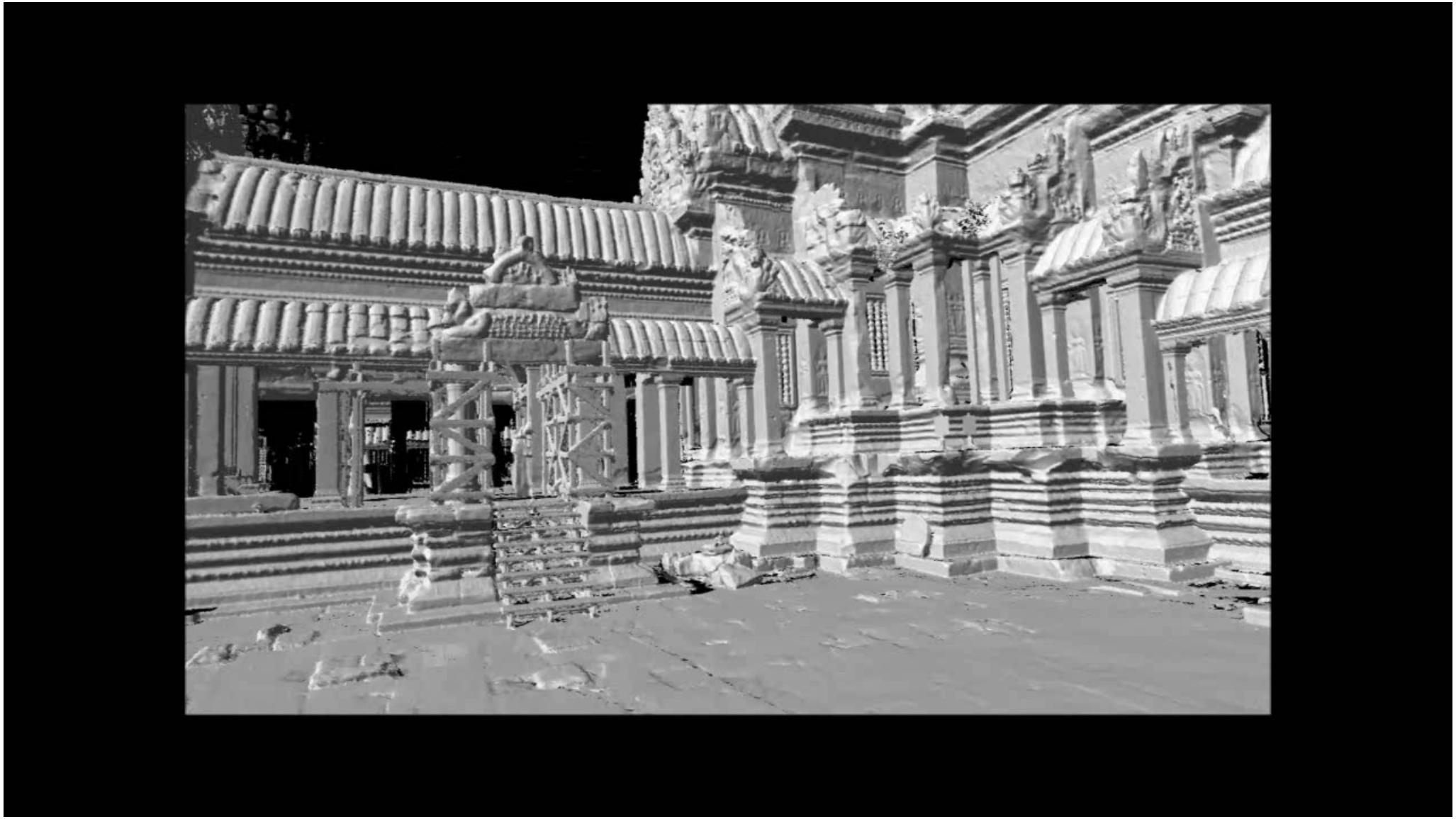


UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 地上計測の限界



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

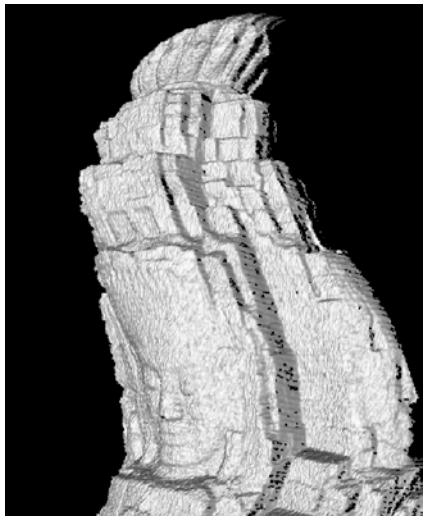
# 気球センサー



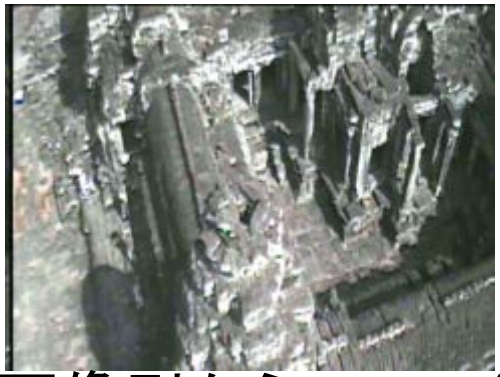
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 歪み補正（気球センサーデータ）

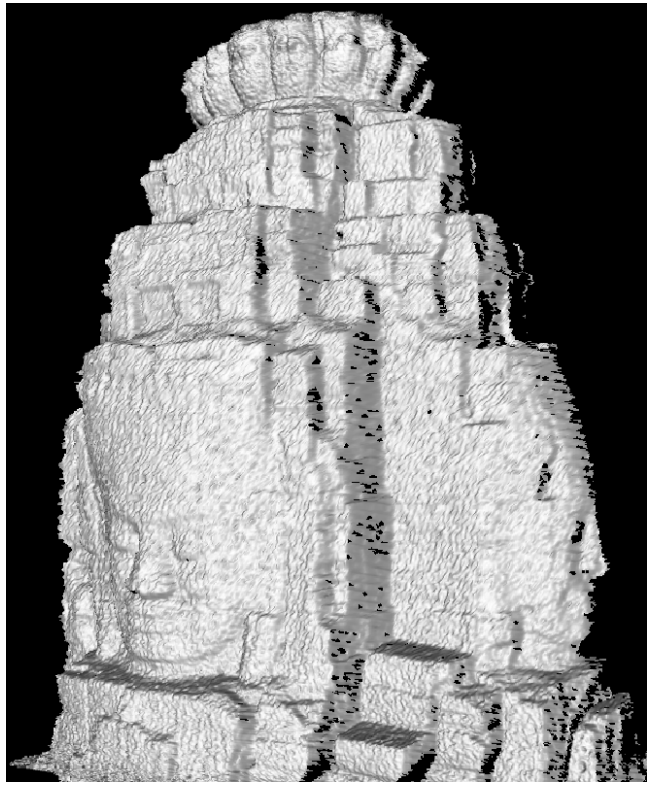
[Banno et al. '08]



距離画像からのモーション



画像列からのモーション



歪み補正結果

 CC BY-NC-ND

# 気球センサー2



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 画像ベース歪み補正（位置姿勢推定）

Input (Synchronized & Calibrated)







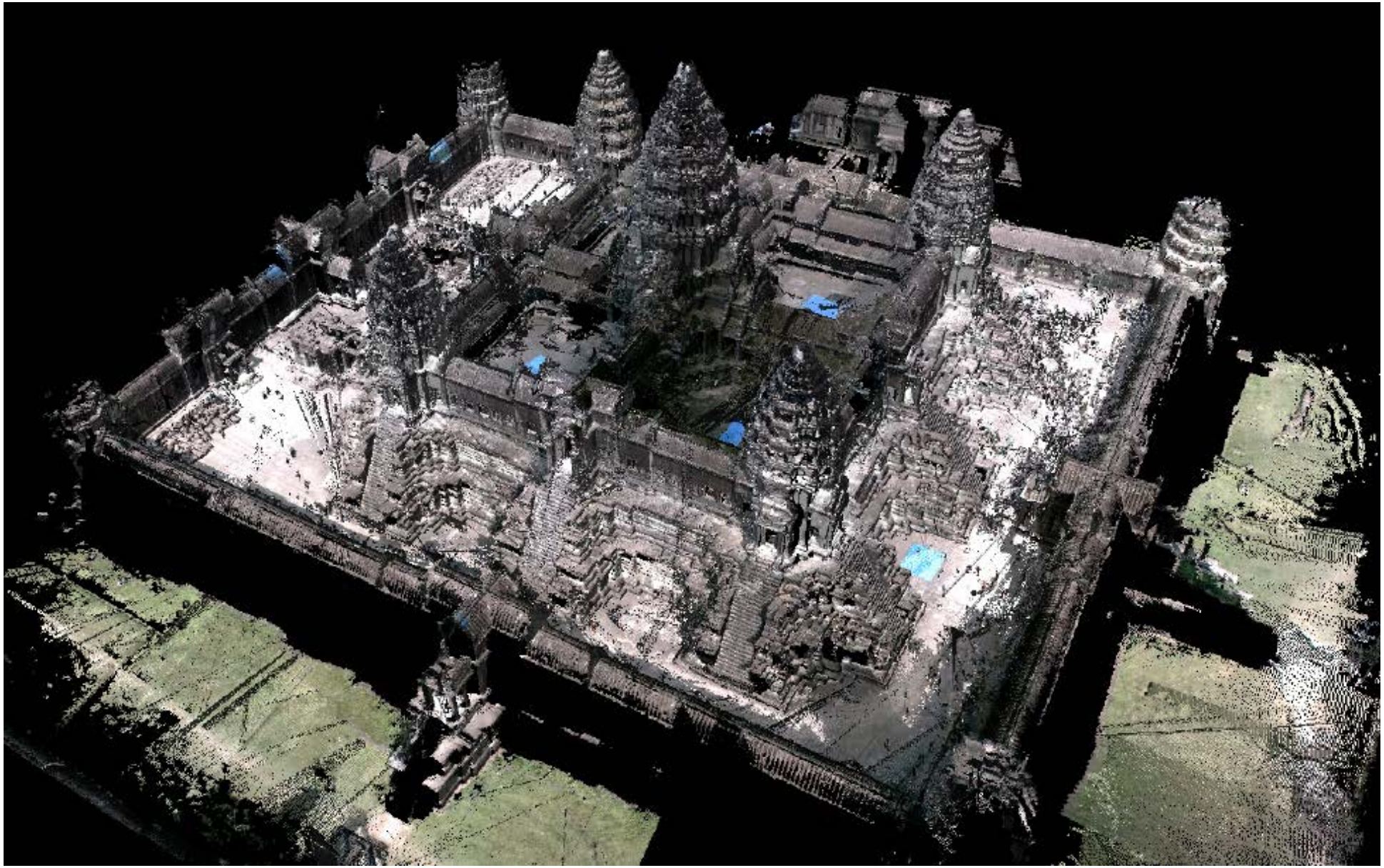
[Zheng et al. 2015]

 CC BY-NC-ND

# 歪み補正結果

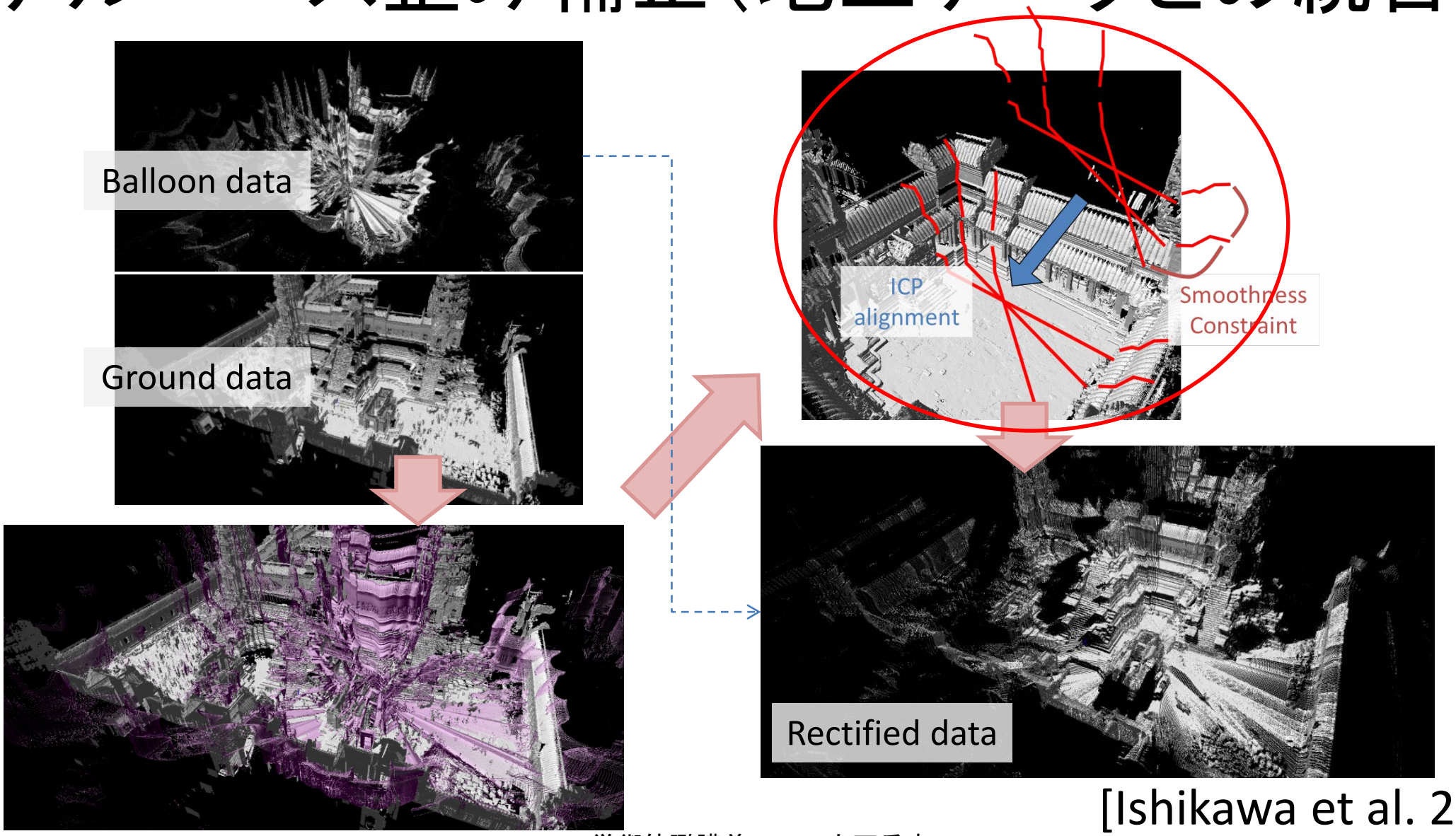


UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



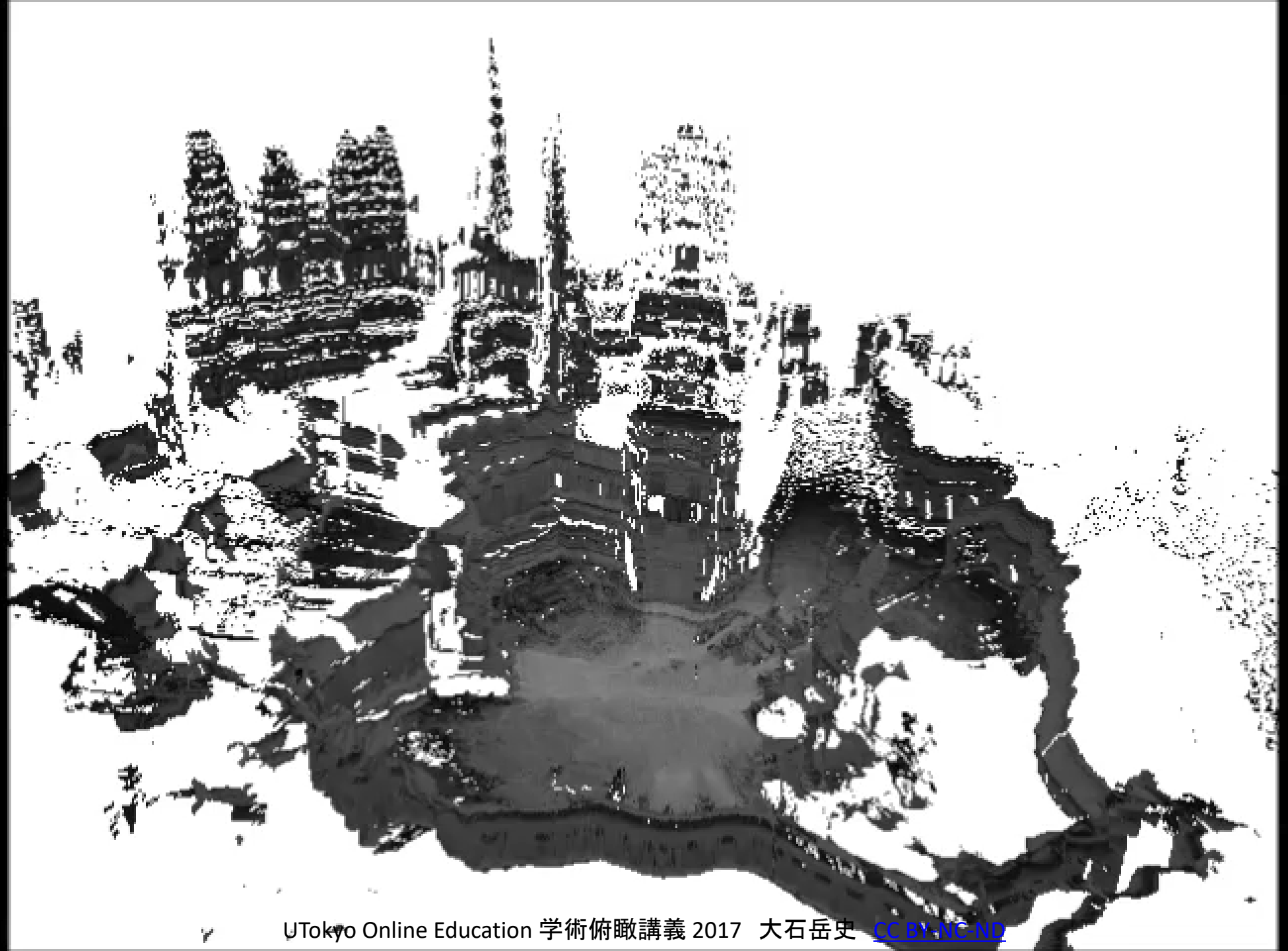
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# モデルベース歪み補正（地上データとの統合）

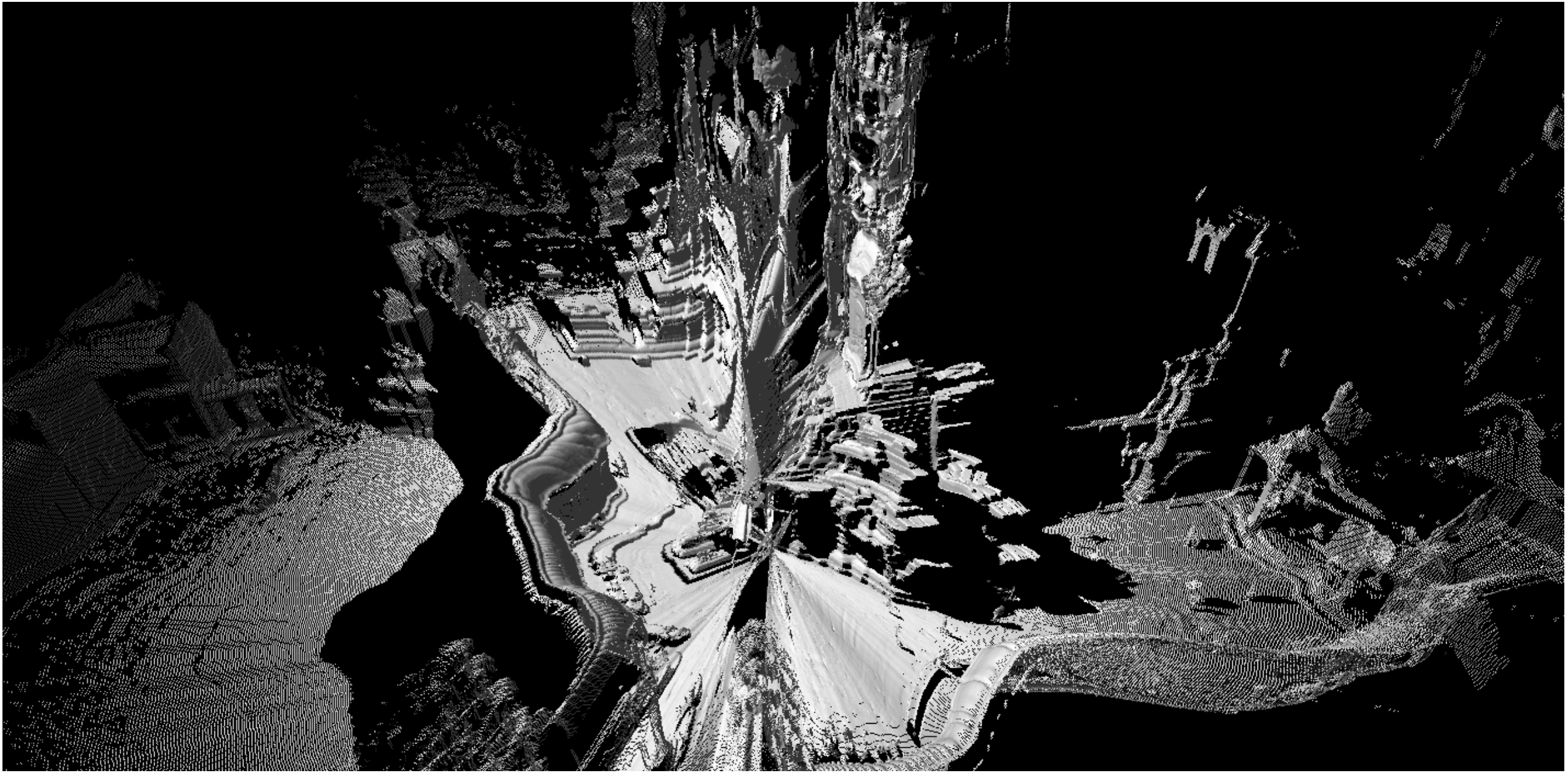



[Ishikawa et al. 2015]

 CC BY-NC-ND



 CC BY-NC-ND



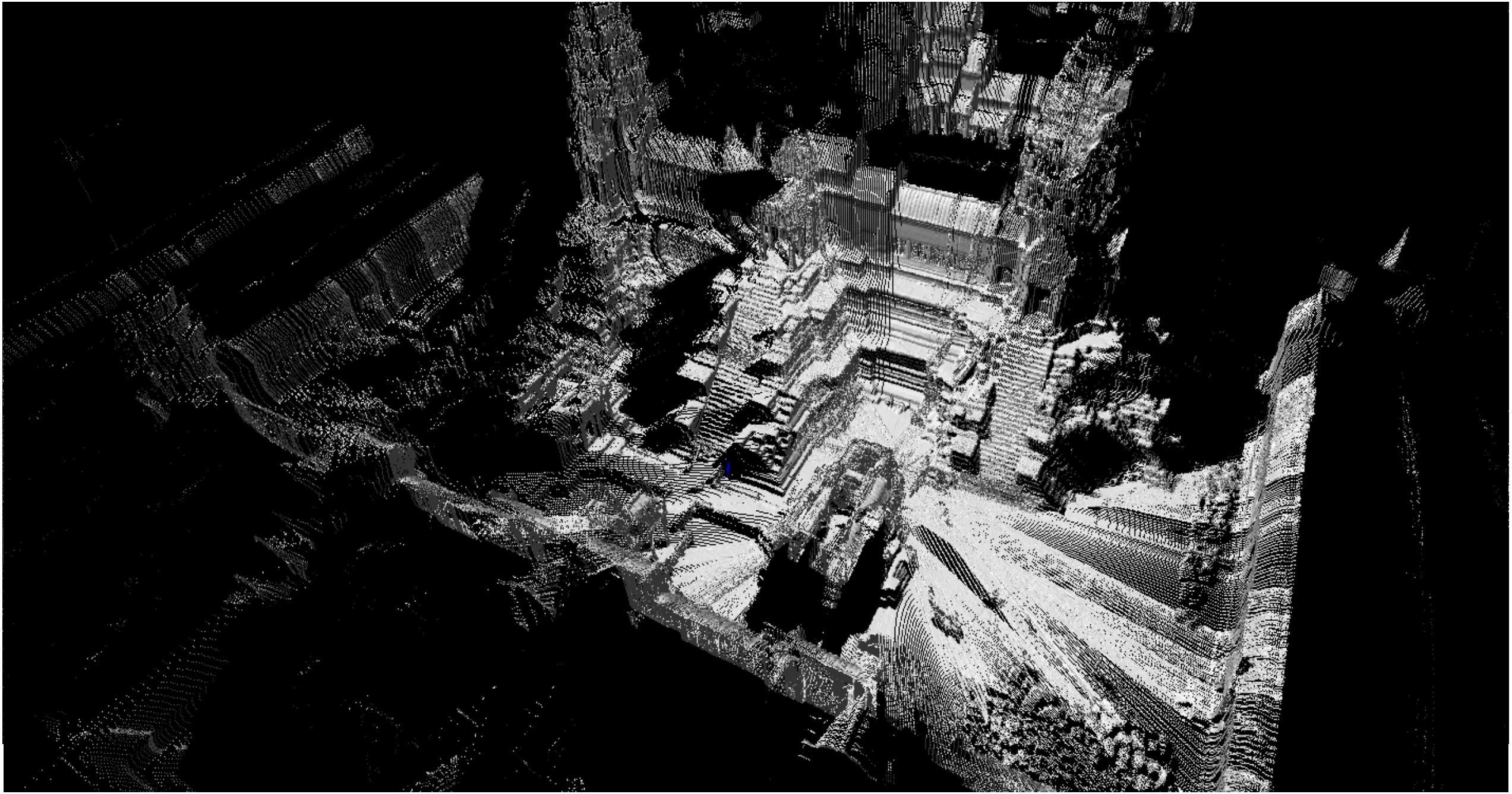
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# データ統合

- 信頼度つき表面合致法

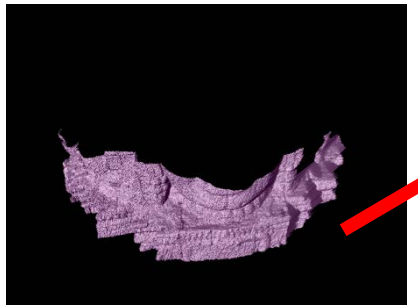
著作権等の都合により、ここに挿入されていた画像を削除しました

Cyrax 2500画像

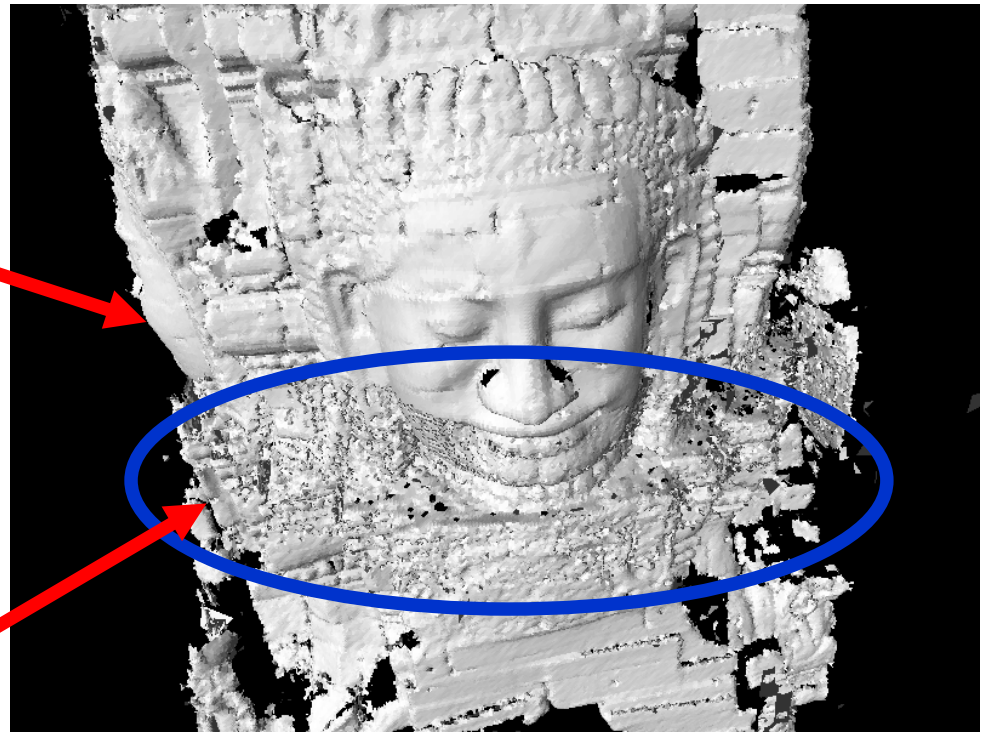


**高信頼度データ**



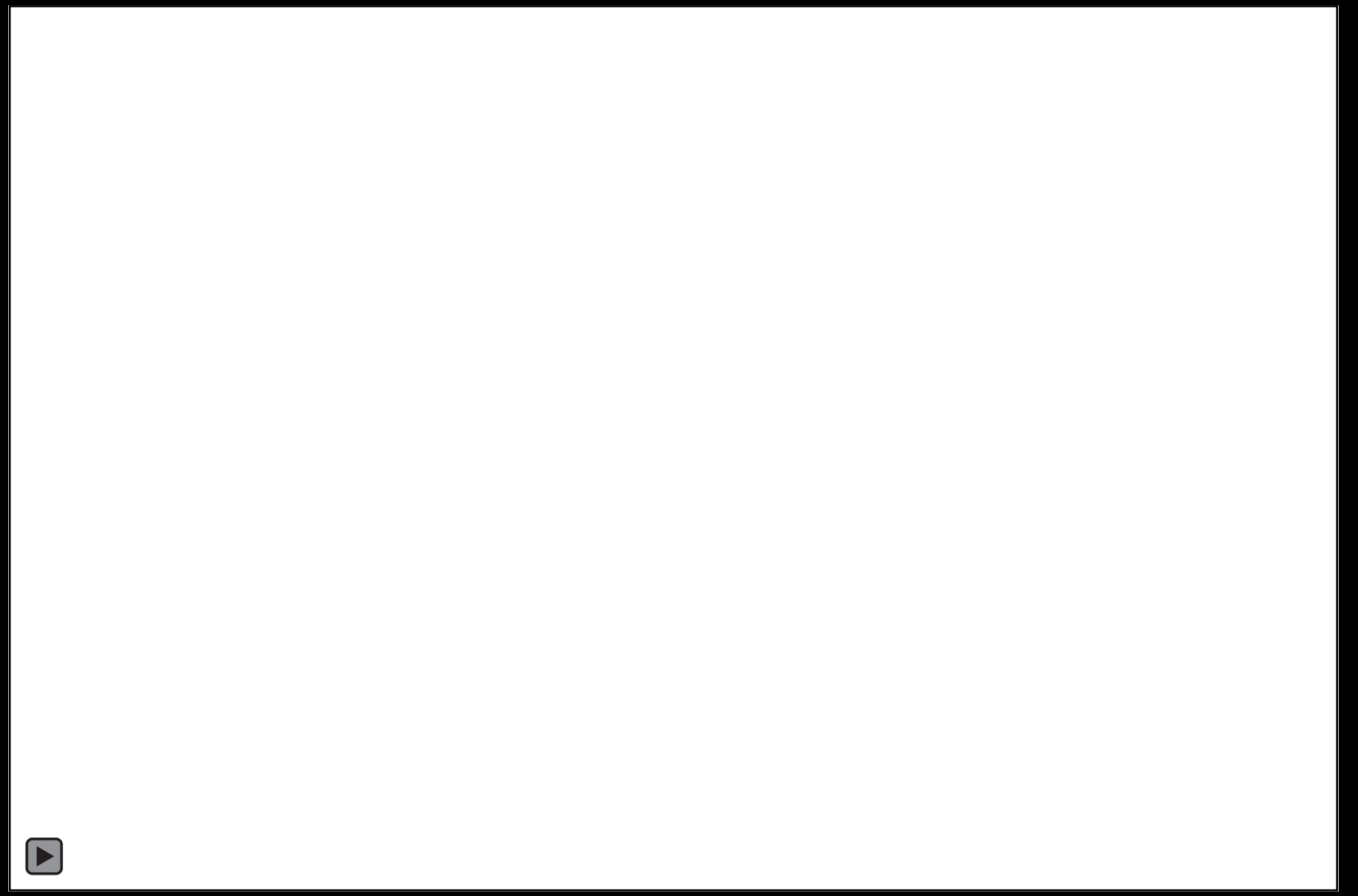


**低信頼度データ**



[FLRS Banno et al.]

 CC BY-NC-ND

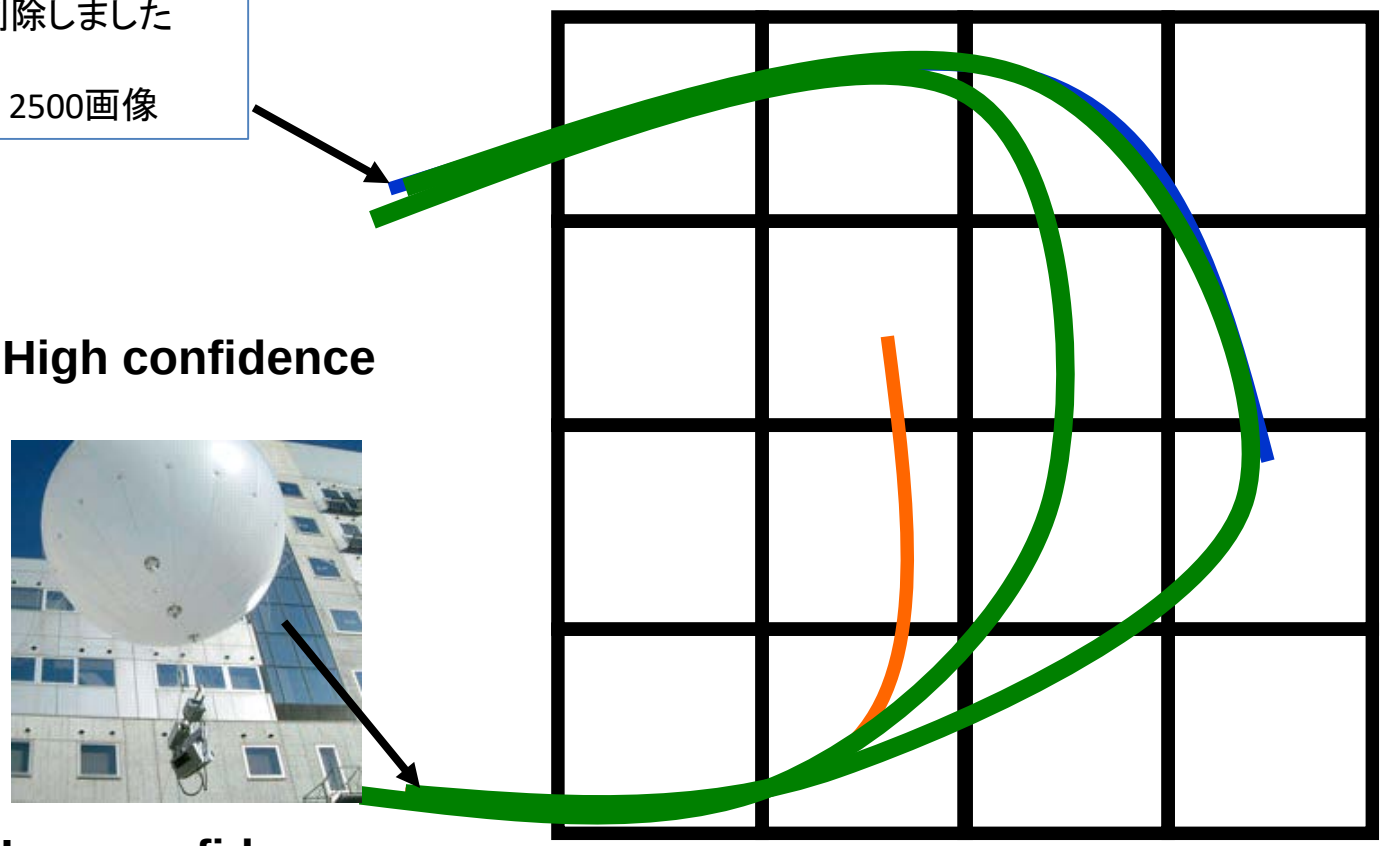


UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

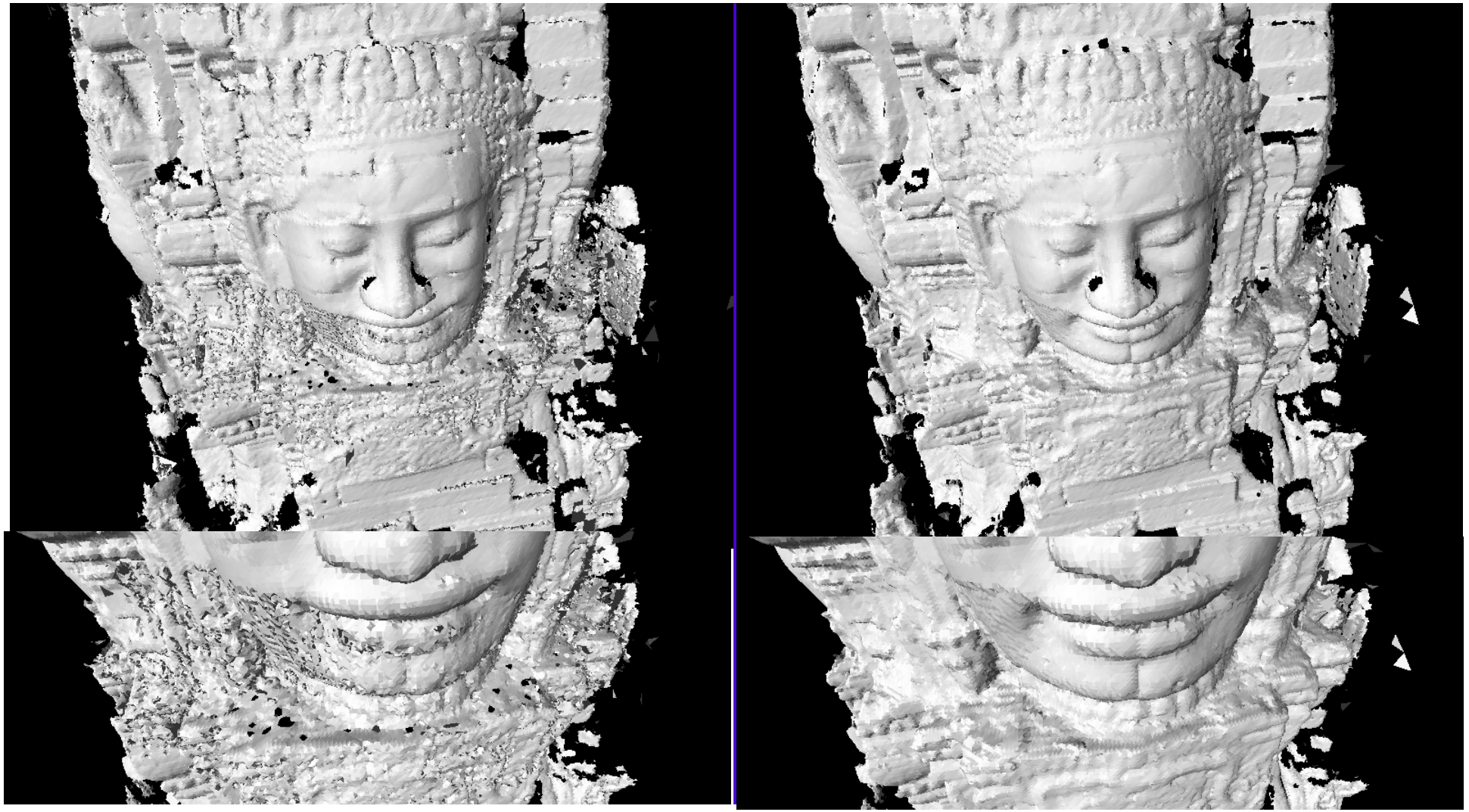
# 信頼度に応じた統合

著作権等の都合により、ここに挿入されていた画像を削除しました

Cyrax 2500画像




 CC BY-NC-ND



**Consensus surface** **Confidence based consensus surface**

 CC BY-NC-ND

# 位置合わせ･統合の並列処理

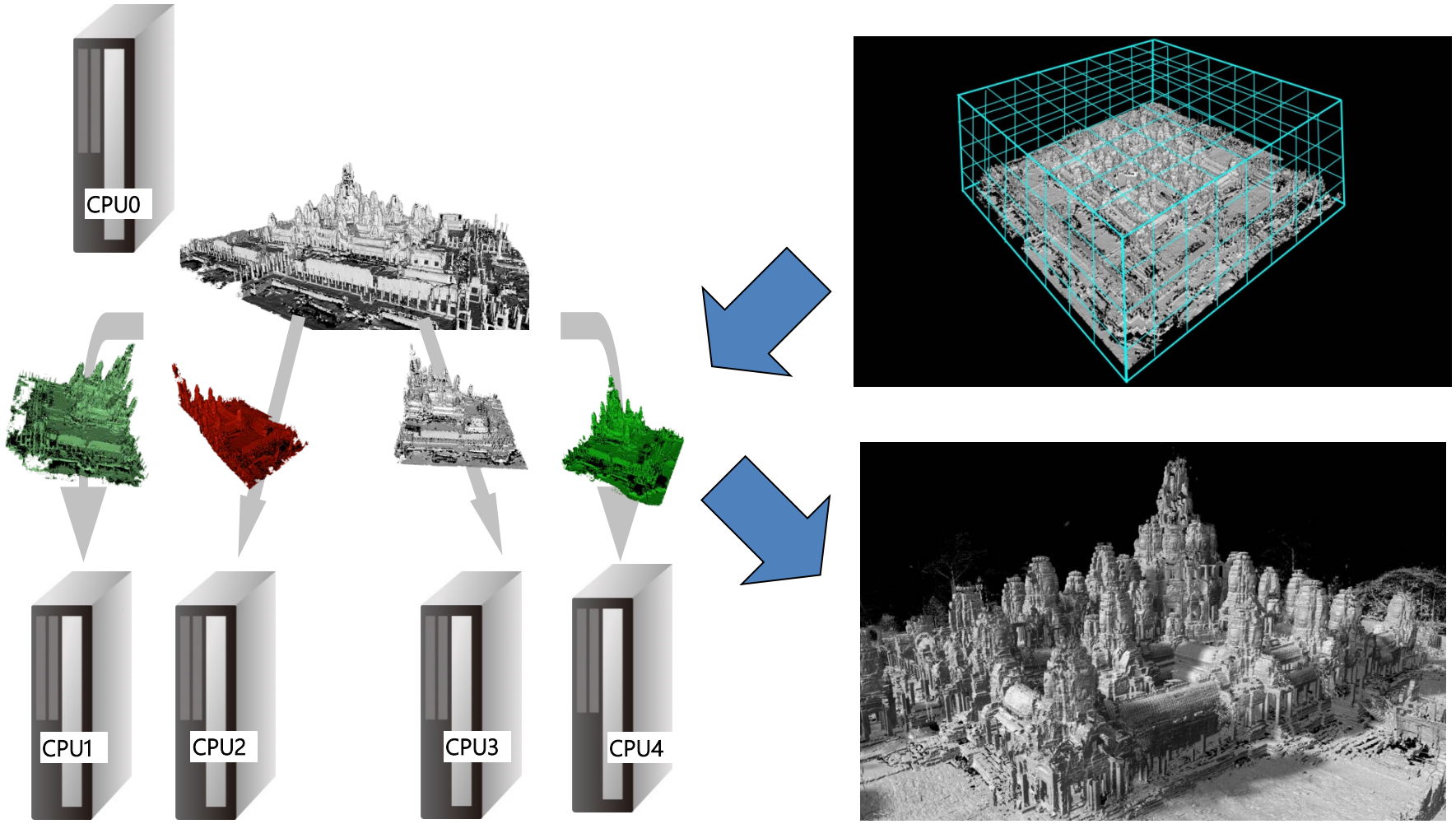



Image from 素材library.com

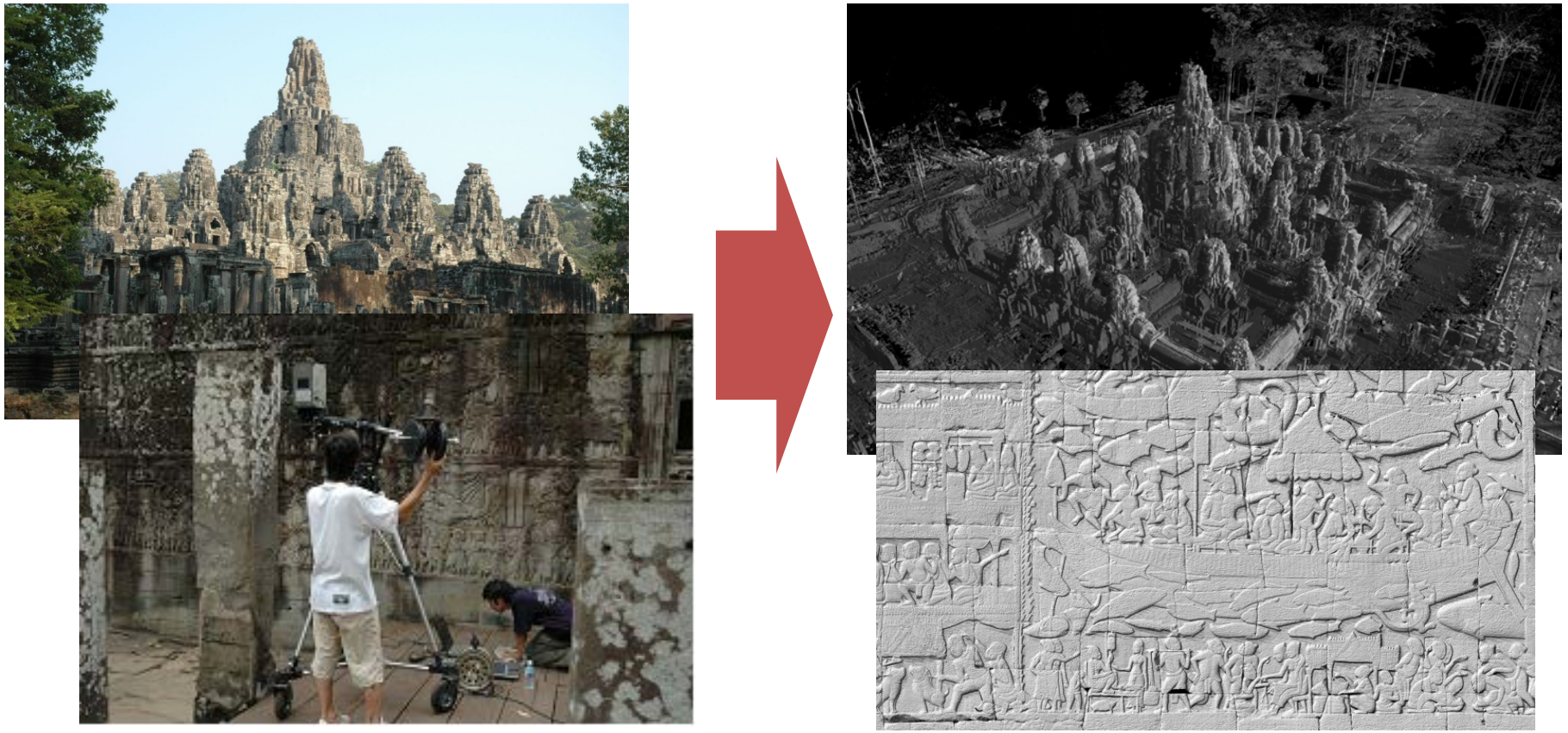
 CC BY-NC-ND

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# U-TOKYO/APSARA共同プロジェクト
# 3D DIGITAL ARCHIVAL OF ANGKOR WAT

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

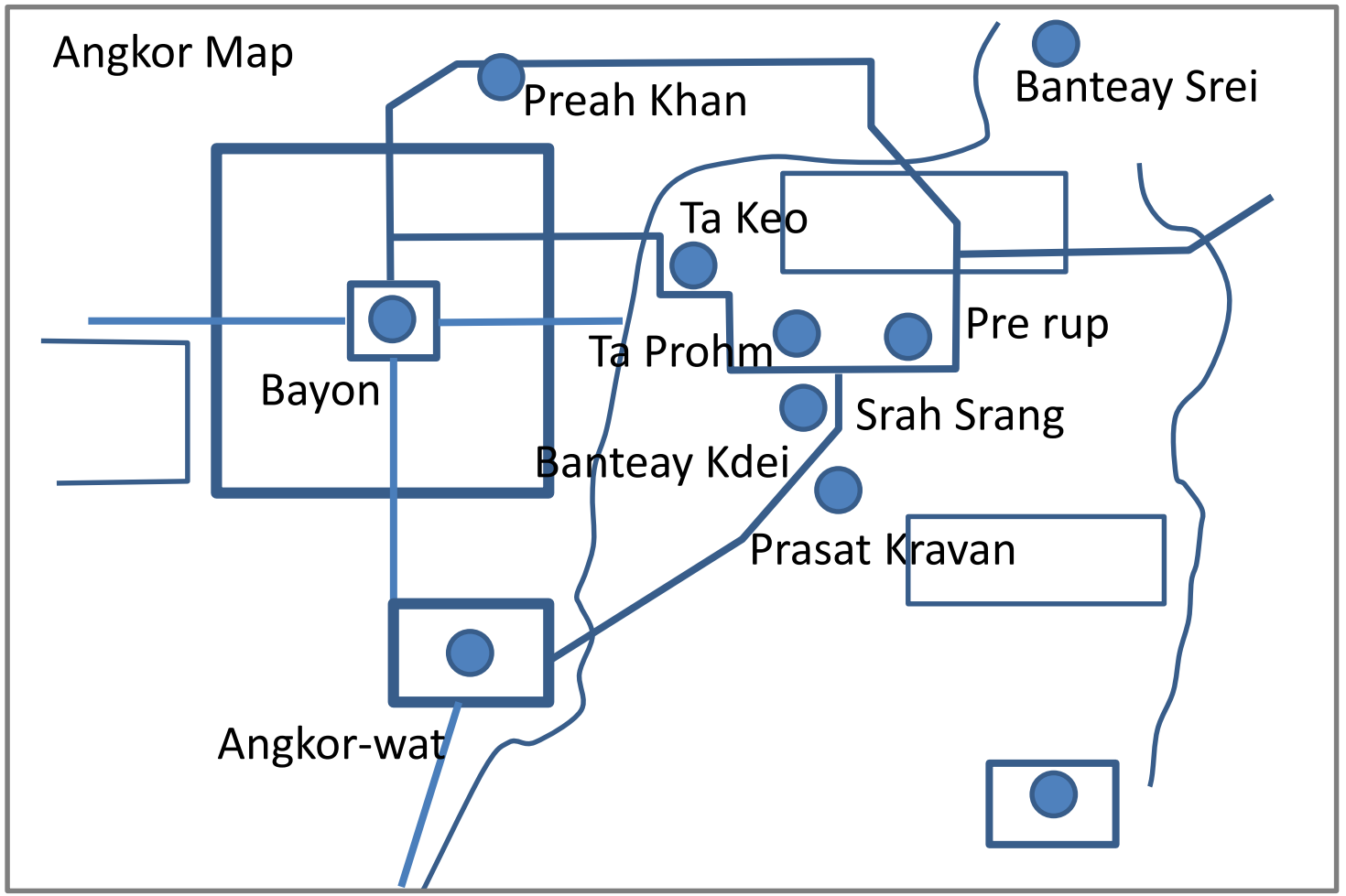
# バイヨンデジタルアーカイブプロジェクト



- 開発期間を含めて5年間

 CC BY-NC-ND

# アンコール遺跡群




カンボジアには多数の寺院遺跡が。。

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# カンボジア政府アンコール地域遺産整備機構（アプサラ機構）との共同プロジェクト

- カンボジア人スタッフによる計測・データ処理

  → 技術移転



 CC BY-NC-ND

# 計測機器

- 全体構造:

  Leica ScanStation C10

| | |
|---|---|
| **Range** | **1 m ~ 300 m** |
| **Accuracy** | **± 6 mm** |





© Leica Geosystems AG

- 浮き彫り:

  VIVID 910

| | |
|---|---|
| **Range** | **0.6 m ~ 2.5 m** |
| **Accuracy** | **± 0.1 mm** |

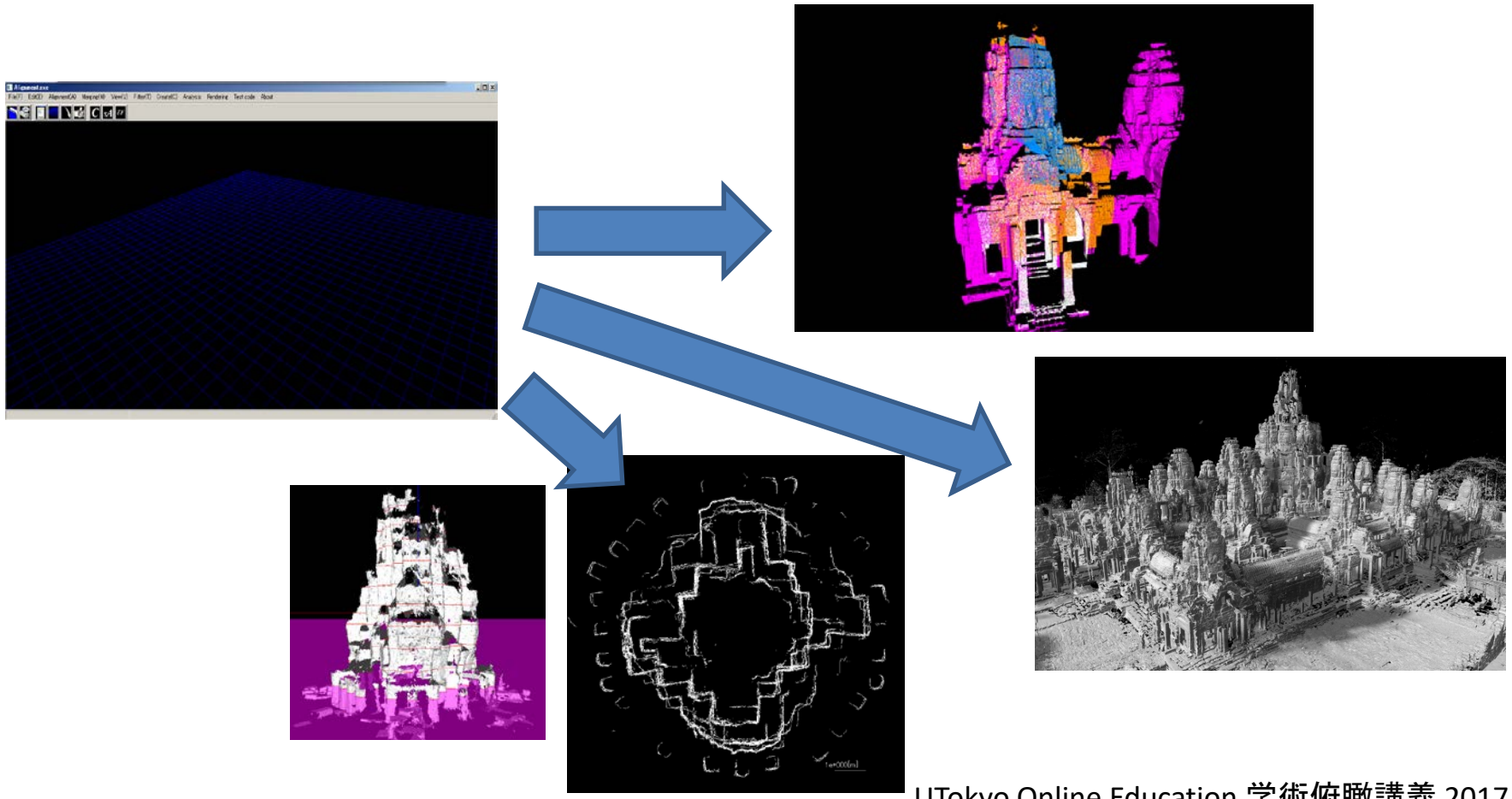





 CC BY-NC-ND

# モデリングプログラム

- データ変換、位置合わせ、可視化、解析プログラム



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 浮き彫り計測の様子




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

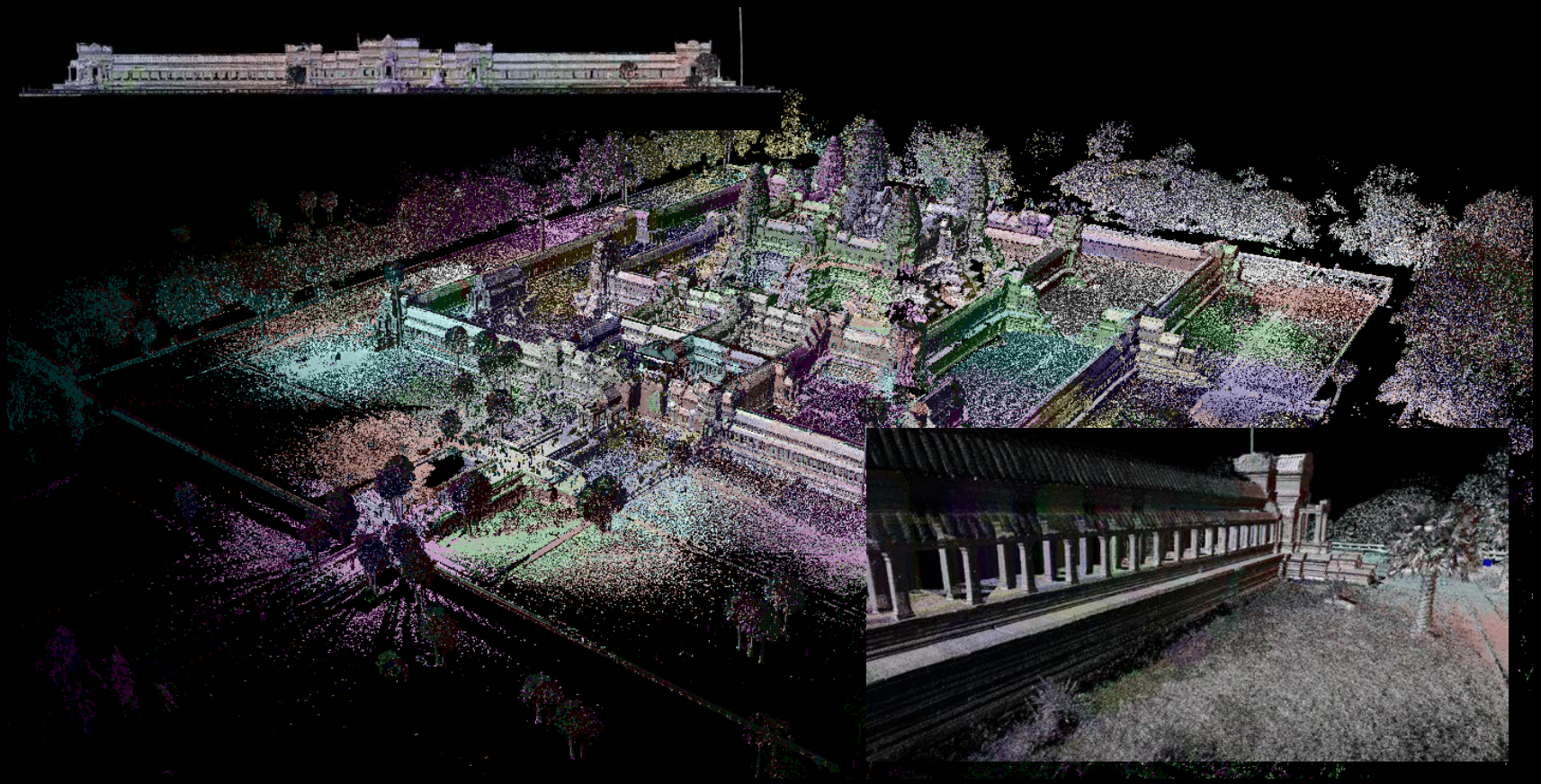
# 全体計測の様子



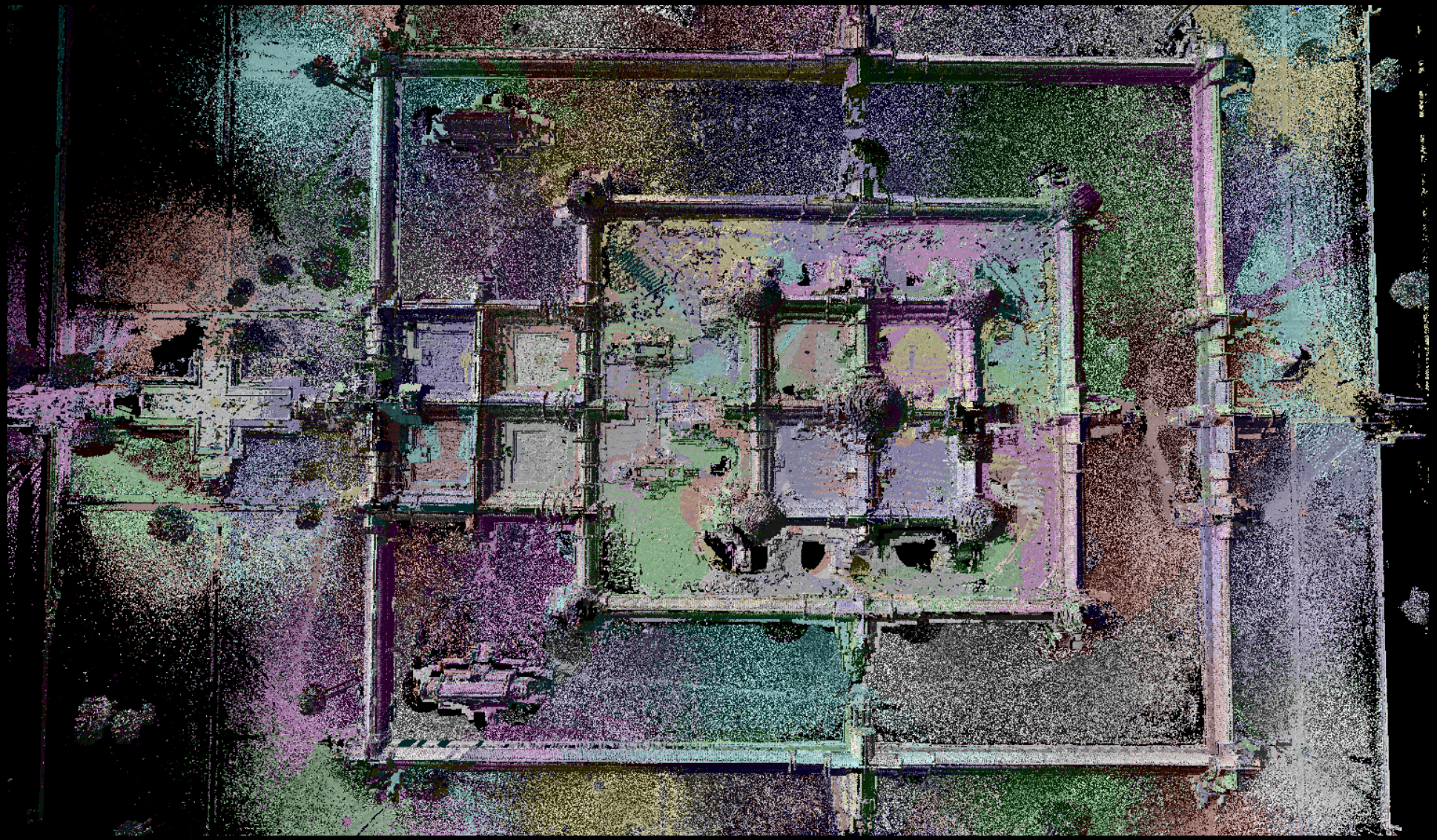




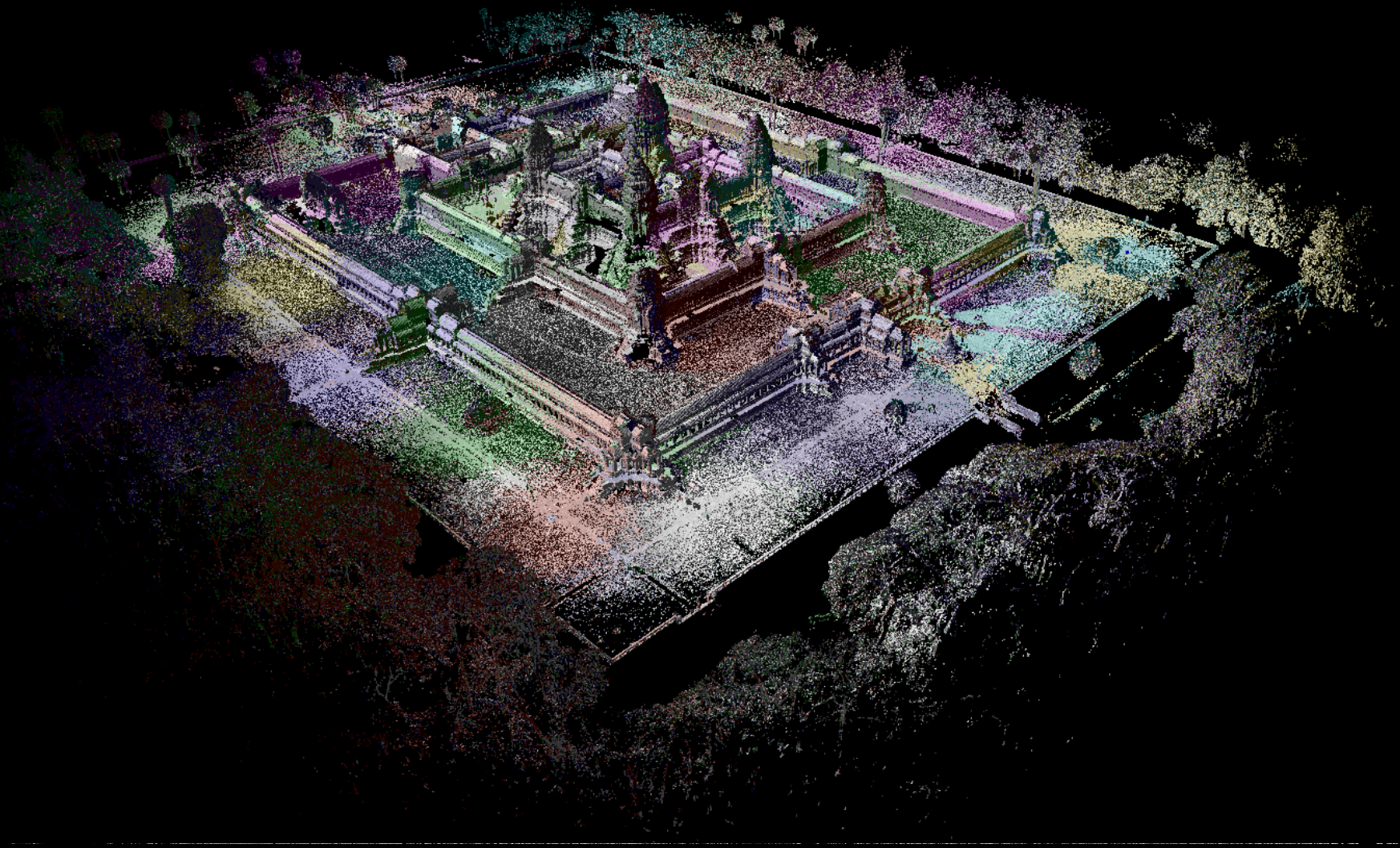
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



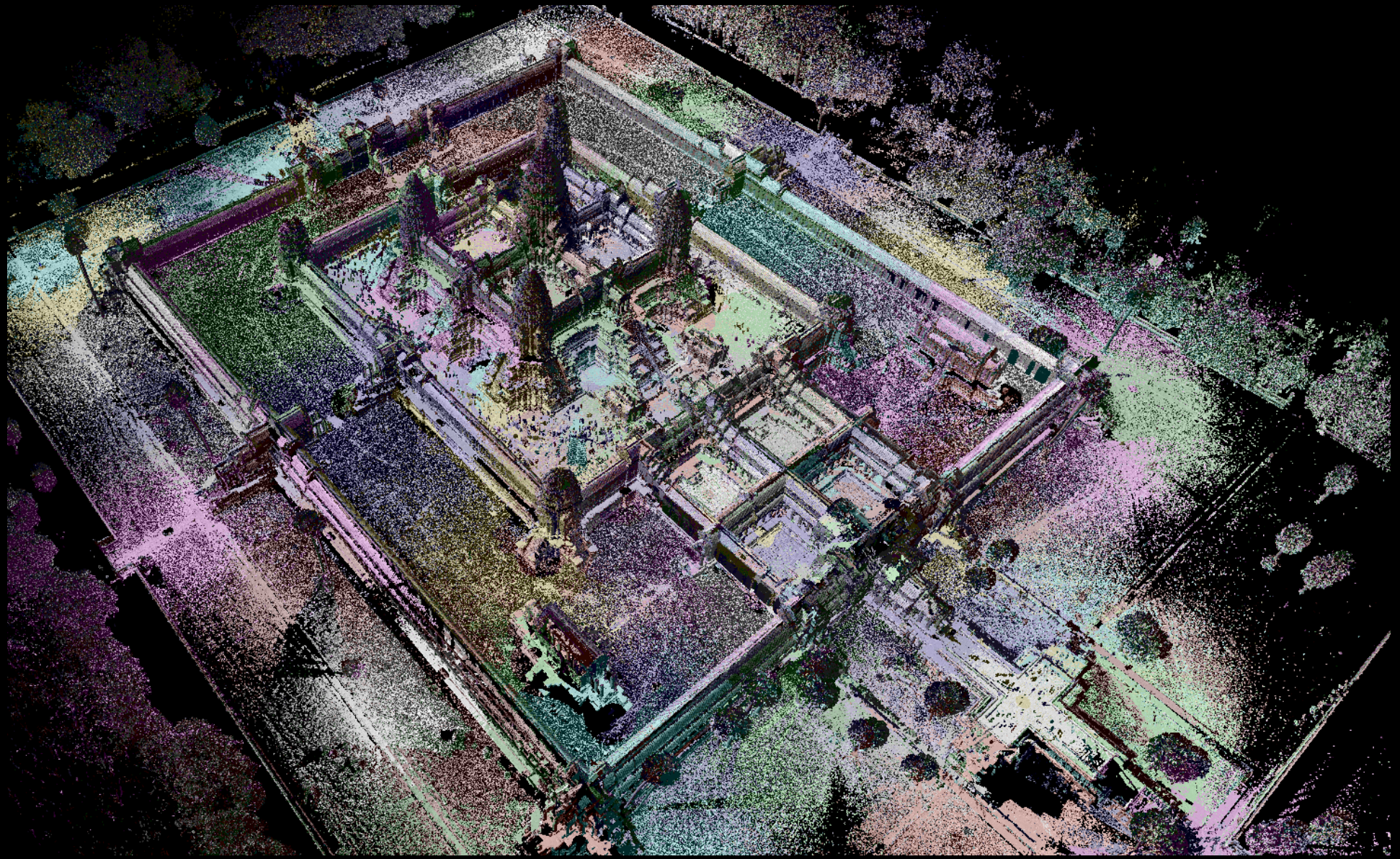
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

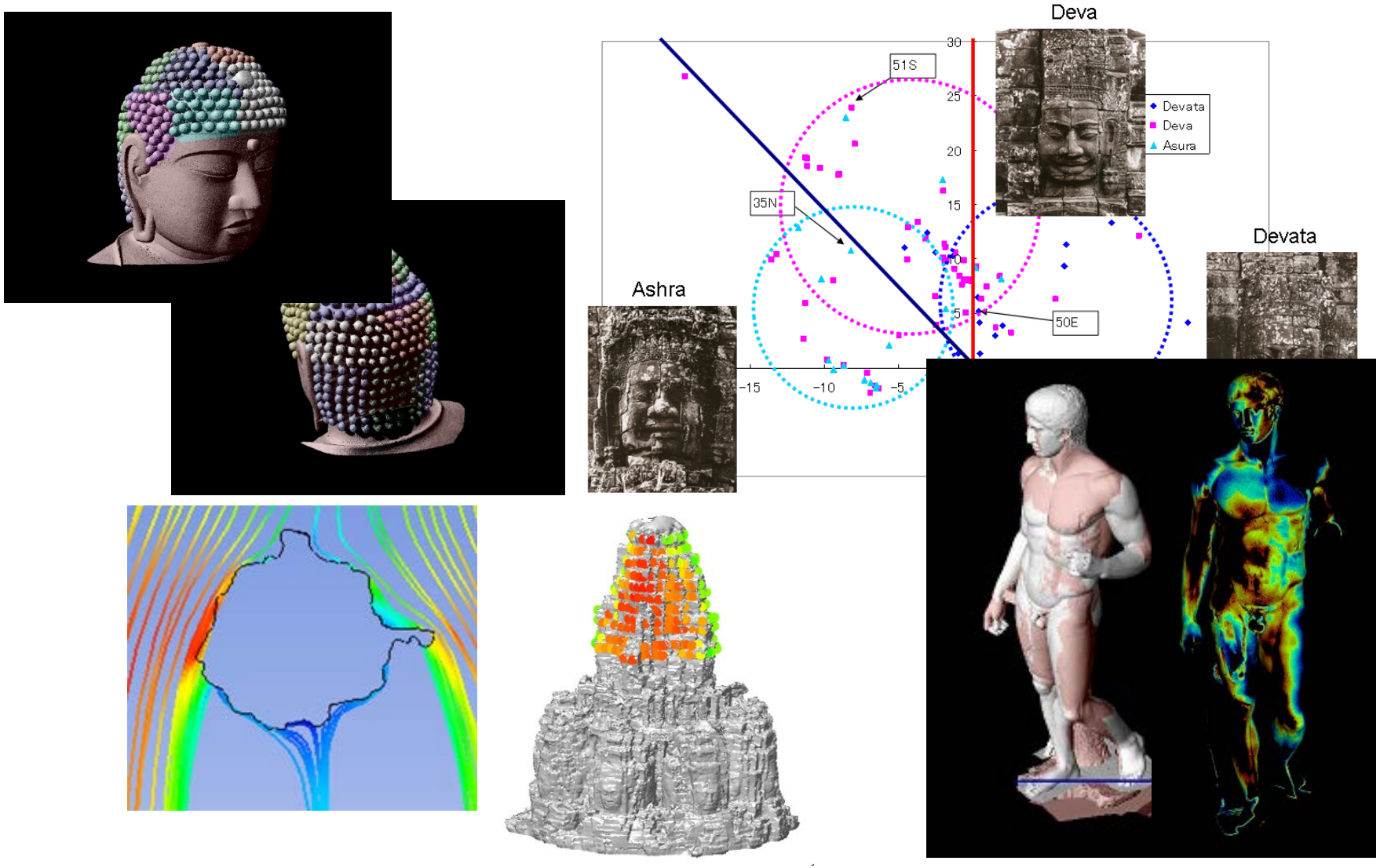


UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# サイバー考古学（解析）

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# サイバー考古学




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# デジタル復元



東大寺大仏殿

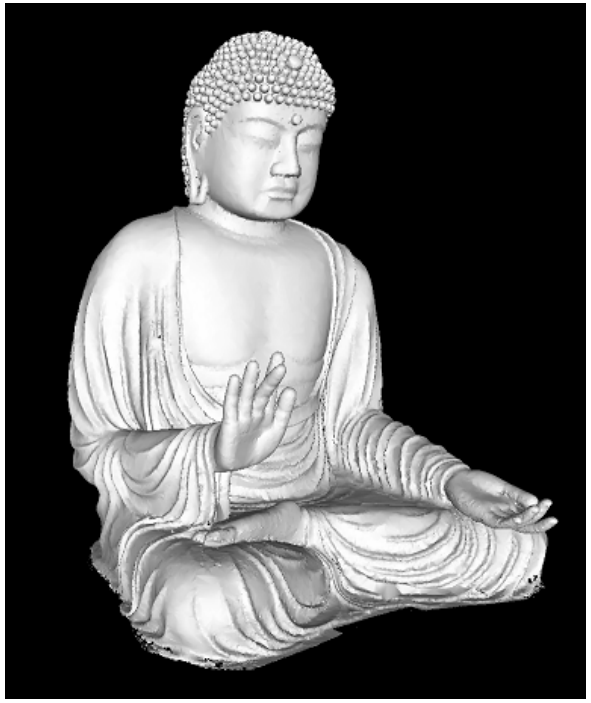


奈良大仏

- 751年 創建
- 2度の戦火で焼失
- 江戸期再建(天竺様)

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 創建期奈良大仏の復元



現在

| | 部位名称 | 創建時 | | 現在 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | (天平尺) | (メートル) | (計算値) | (文献値) |
| 1 | 結跏趺坐高 | 53.50 | 15.854 | 14.9679 | 14.98 |
| 2 | 肉髪 | 3.00 | 0.889 | 0.9095 | |
| 3 | 自髪際至頂 | 7.00 | 2.074 | 2.0784 | |
| 4 | 自眉上至髪際 | 1.92 | 0.569 | 0.3786 | |
| 5 | 御眉間 | 1.10 | 0.326 | 0.2200 | |
| 6 | 御目長 | 3.90 | 1.156 | | 1.02 |
| 7 | 御目間 | 1.60 | 0.474 | | |
| 8 | 自目至眉 | 0.80 | 0.237 | | |

＜文献値＞

不空羂索観音



天平時代

 CC BY-NC-ND

# 大仏殿の復元

- 文献に寸法等の記述
- 絵画資料なし

- 復元戦略
  - 全体: 推定復元模型のモデル
  - 詳細: 唐招提寺金堂(759)の部分モデル



大仏殿復元模型



軒先組物(三手先)

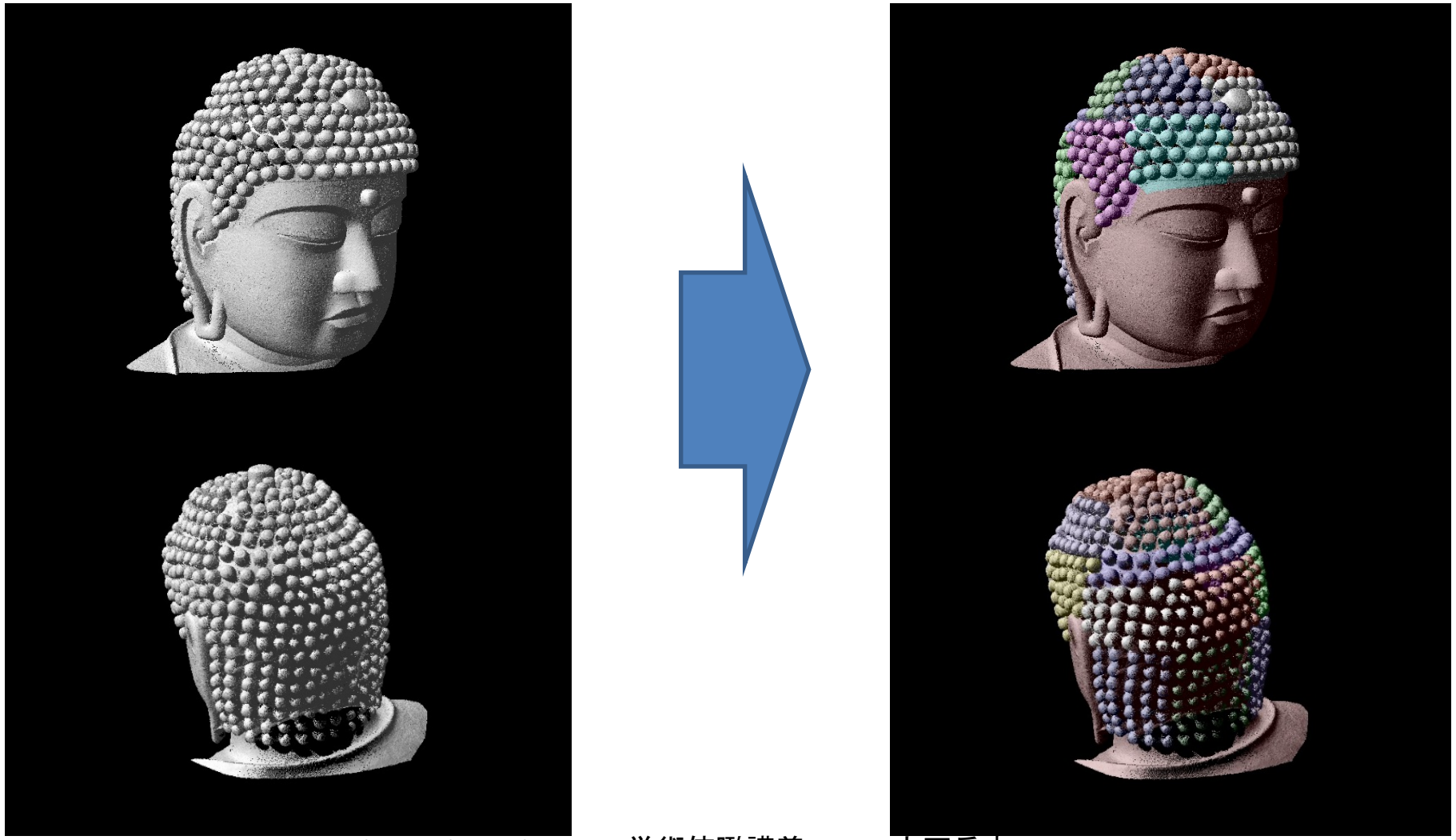
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



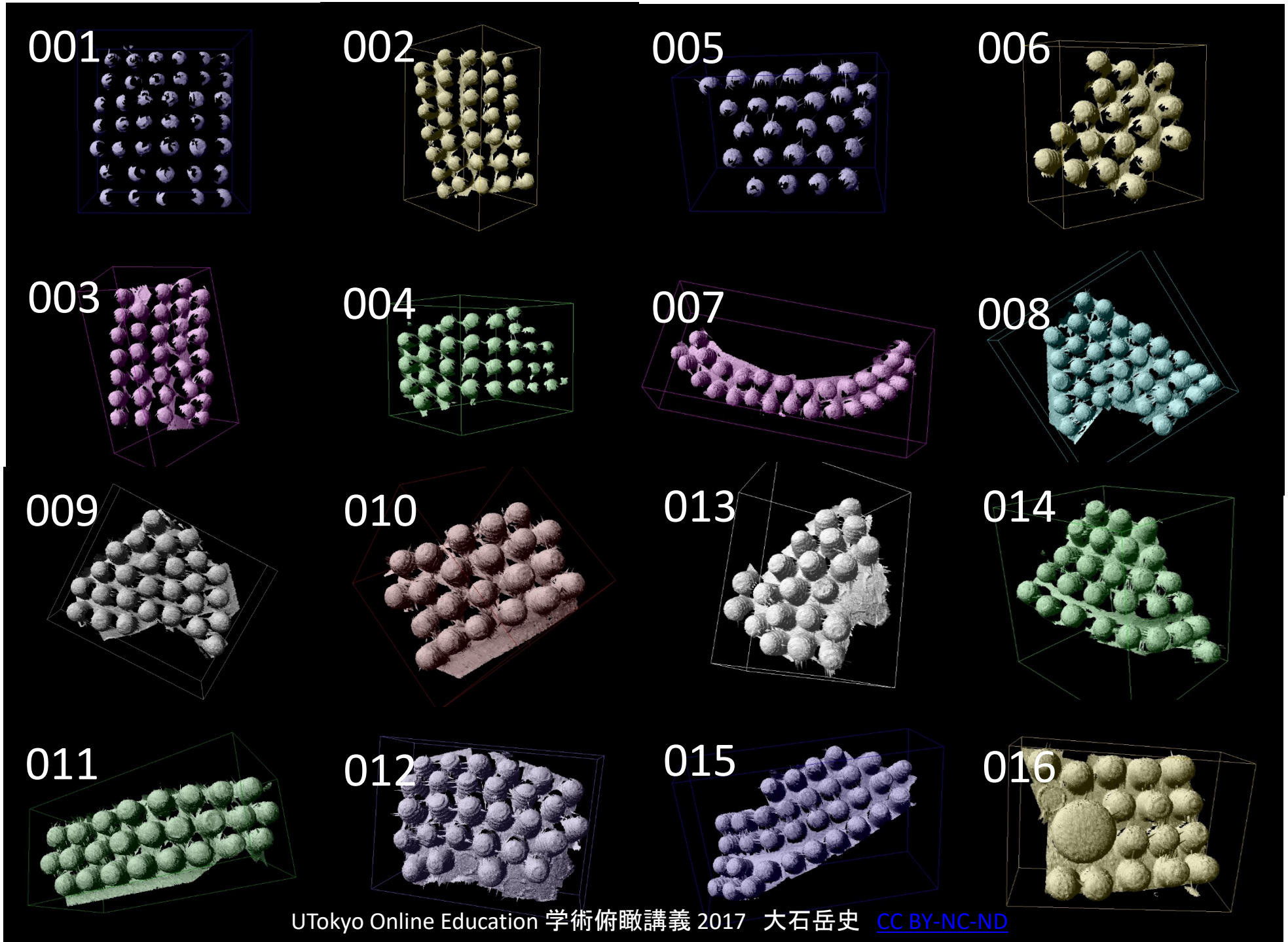
 CC BY-NC-ND

# 奈良大仏の螺髪の数

- 文献の数と異なる？（東大寺）



 CC BY-NC-ND




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 螺髪の個数

| 領域番号 | 個数 | 欠けているもの | | |
|---|---|---|---|---|
| 001 | 40 | 0 | | |
| 002 | 35 | 0 | | |
| 003 | 34 | 1 | | |
| 004 | 32 | 0 | | |
| 005 | 26 | 0 | | |
| 006 | 18 | 0 | | |
| 007 | 28 | 0 | | |
| 008 | 34 | 0 | | |
| 009 | 27 | 0 | | |
| 010 | 22 | 0 | | |
| 011 | 25 | 0 | | |
| 012 | 28 | 4 | | |
| 013 | 21 | 3 | | |
| 014 | 27 | 0 | | |
| 015 | 33 | 0 | | |
| 016 | 16 | 1 | 1 | |
| 017 | 37 | 0 | 1 | |
| | | | | |
| 合計 | 483 | 9 | | **492個** |

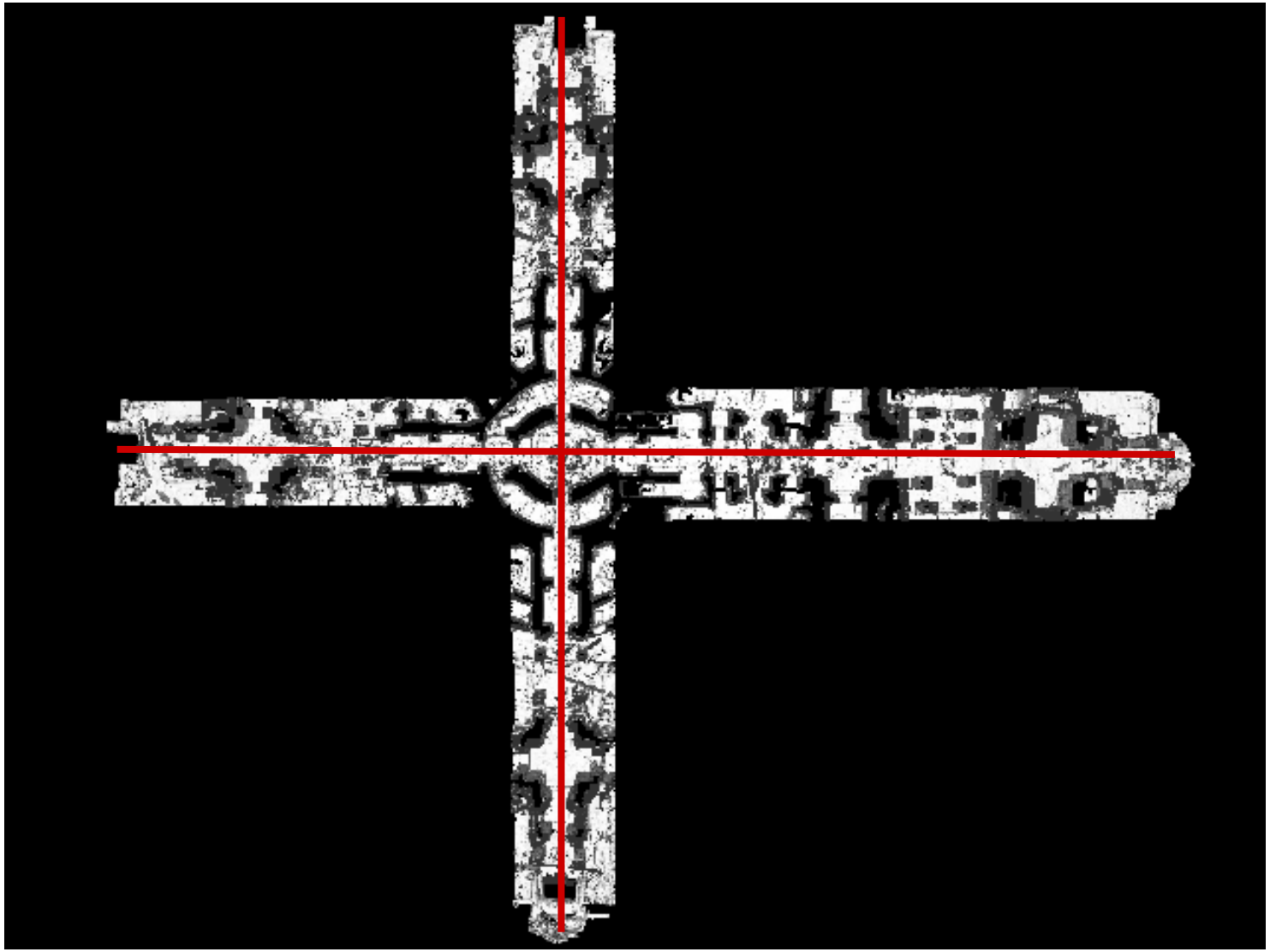


文献：966個

実際：　483個　（半分しかない！）

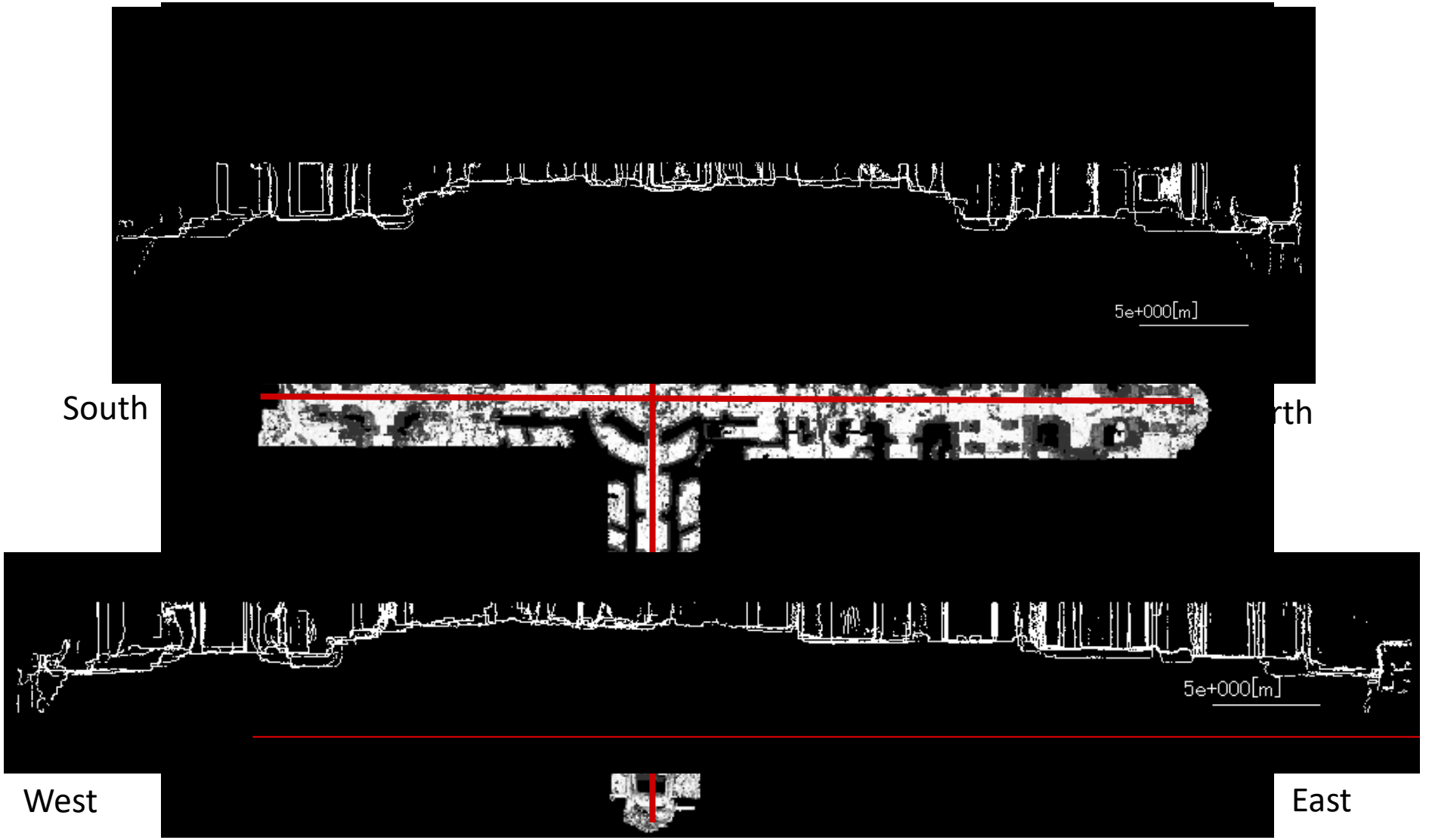
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 断面図生成



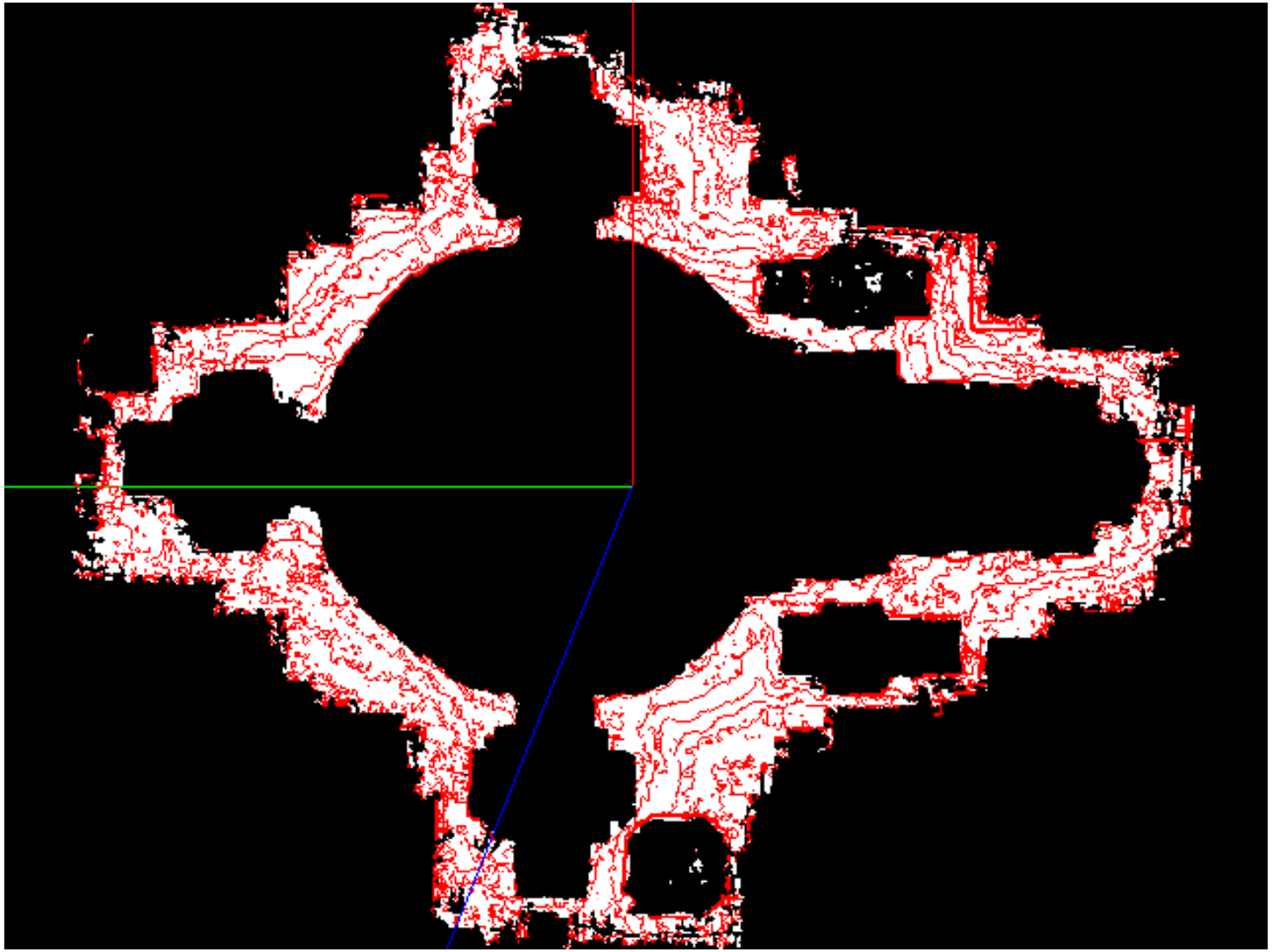
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 断面図生成



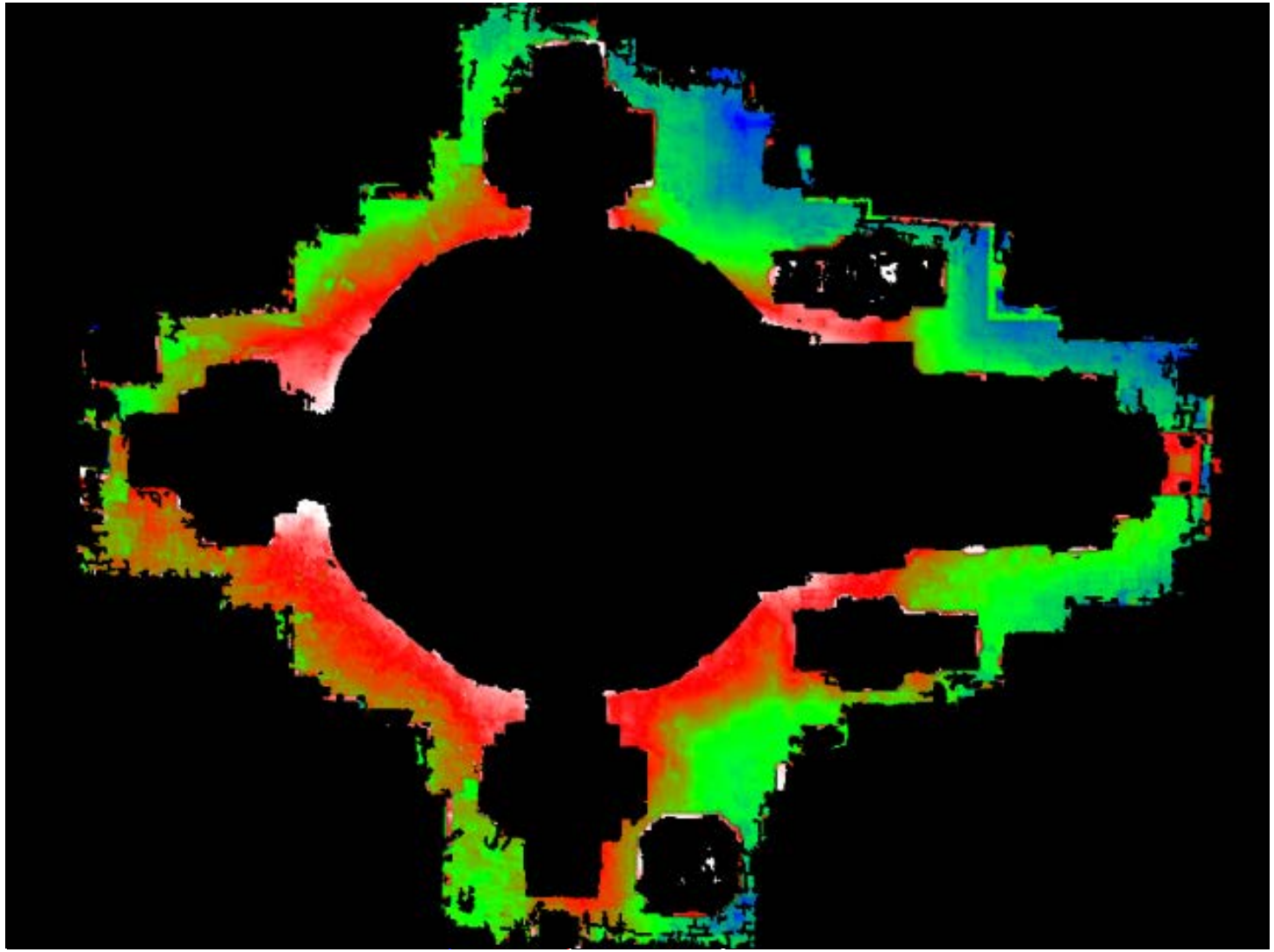

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# レベル可視化：水流調査



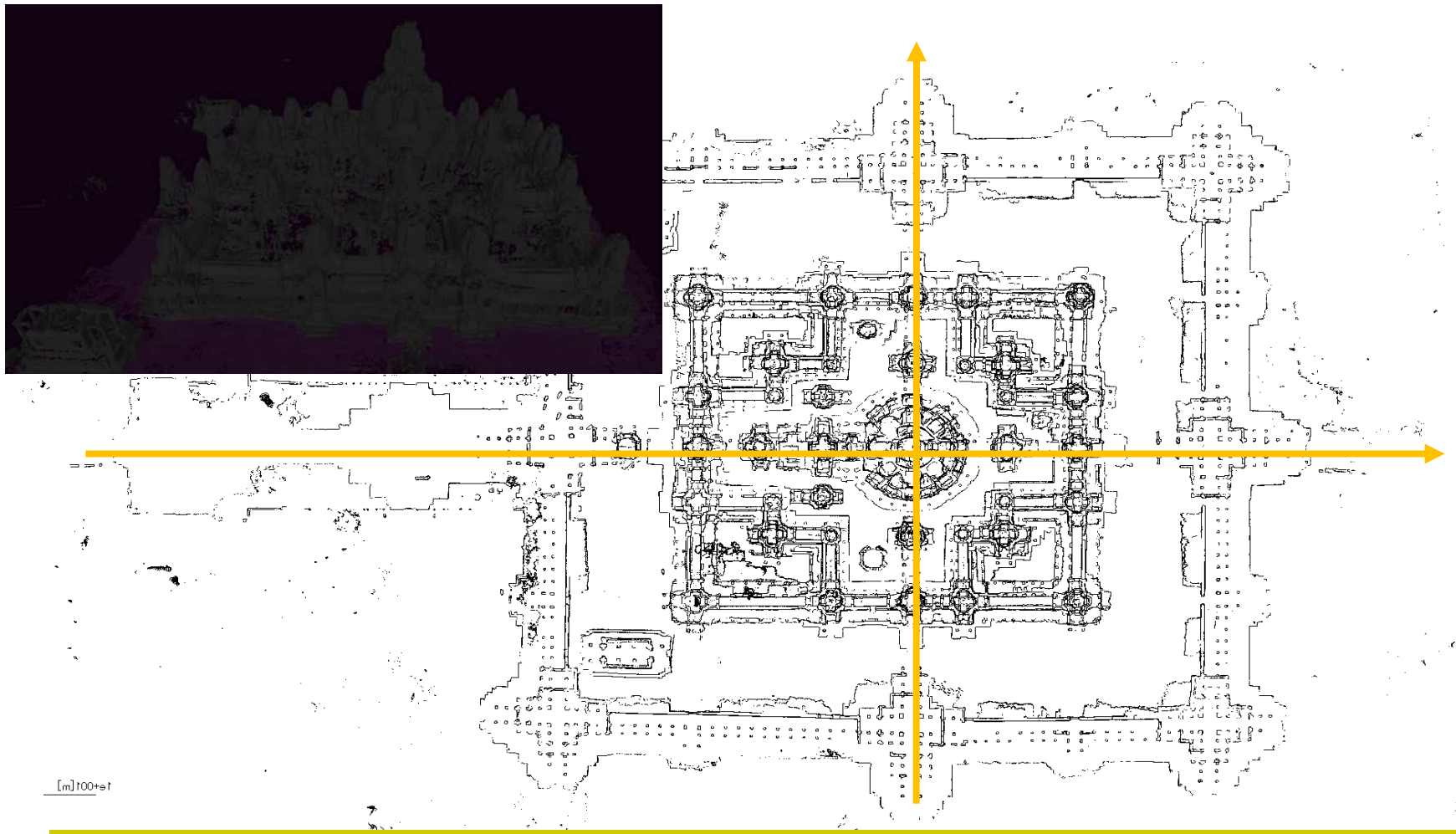
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# レベル可視化: 水流調査



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 3次元データによる平面図生成

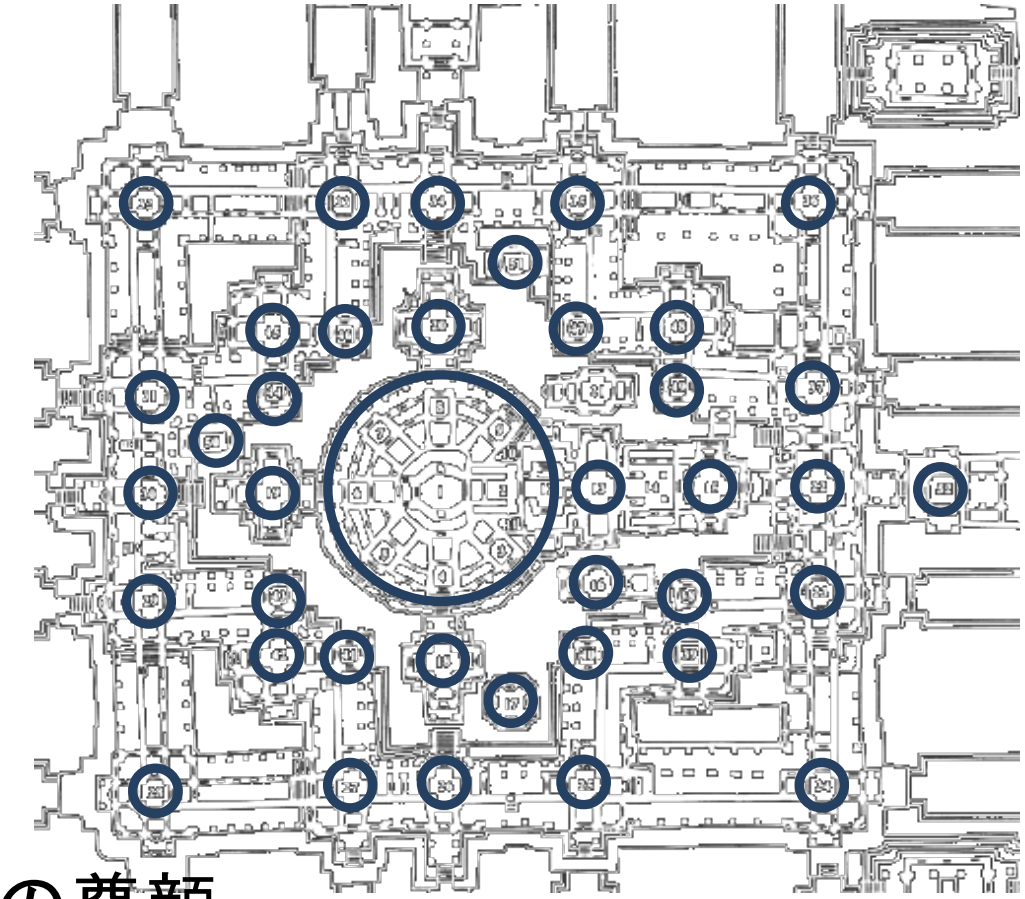


全体構造が0.94°反時計回りに回転

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

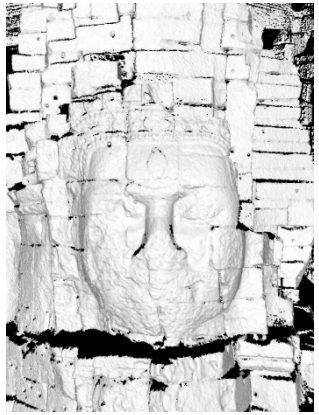
# 3次元モデルの解析・分類

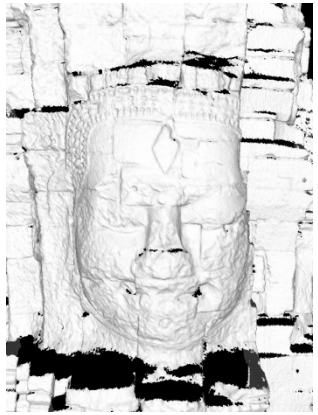




バイヨン寺院・173の尊顔

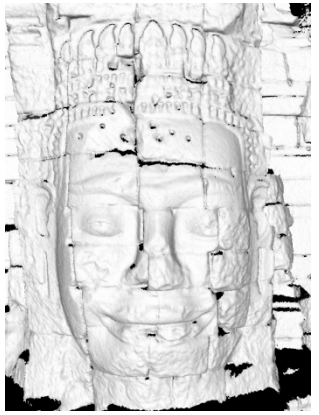
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND


Face3SE


Face4S


Face5SW


Face6W


Face7NW

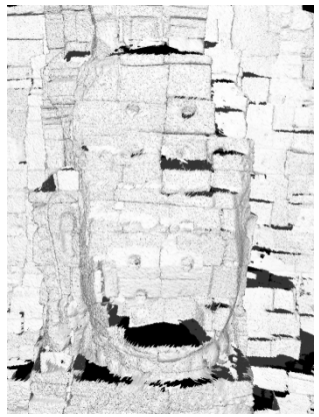

Face8N

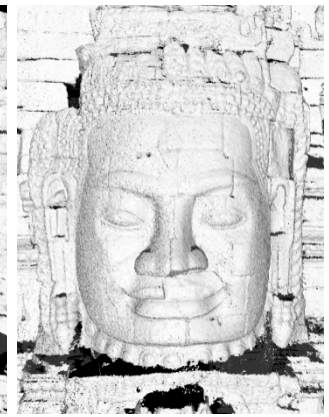

Face9NE


Face12S


Face13E

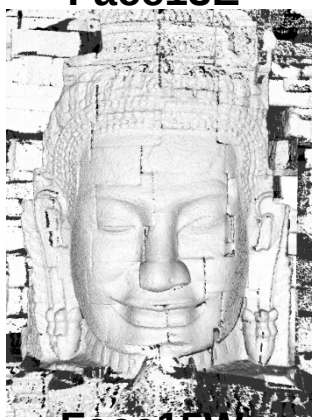

Face13N


Face13S

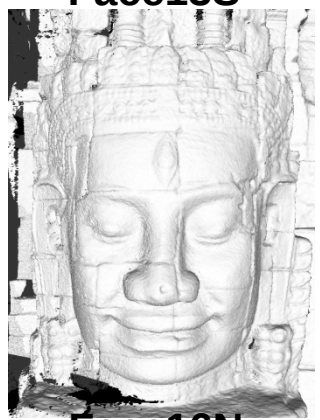

Face15E

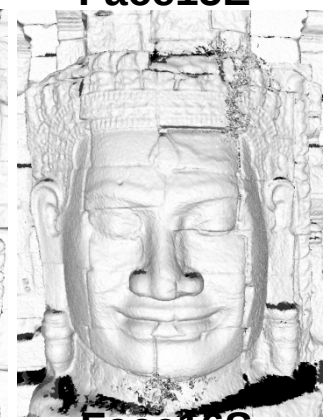

Face15N


Face15S


Face15W

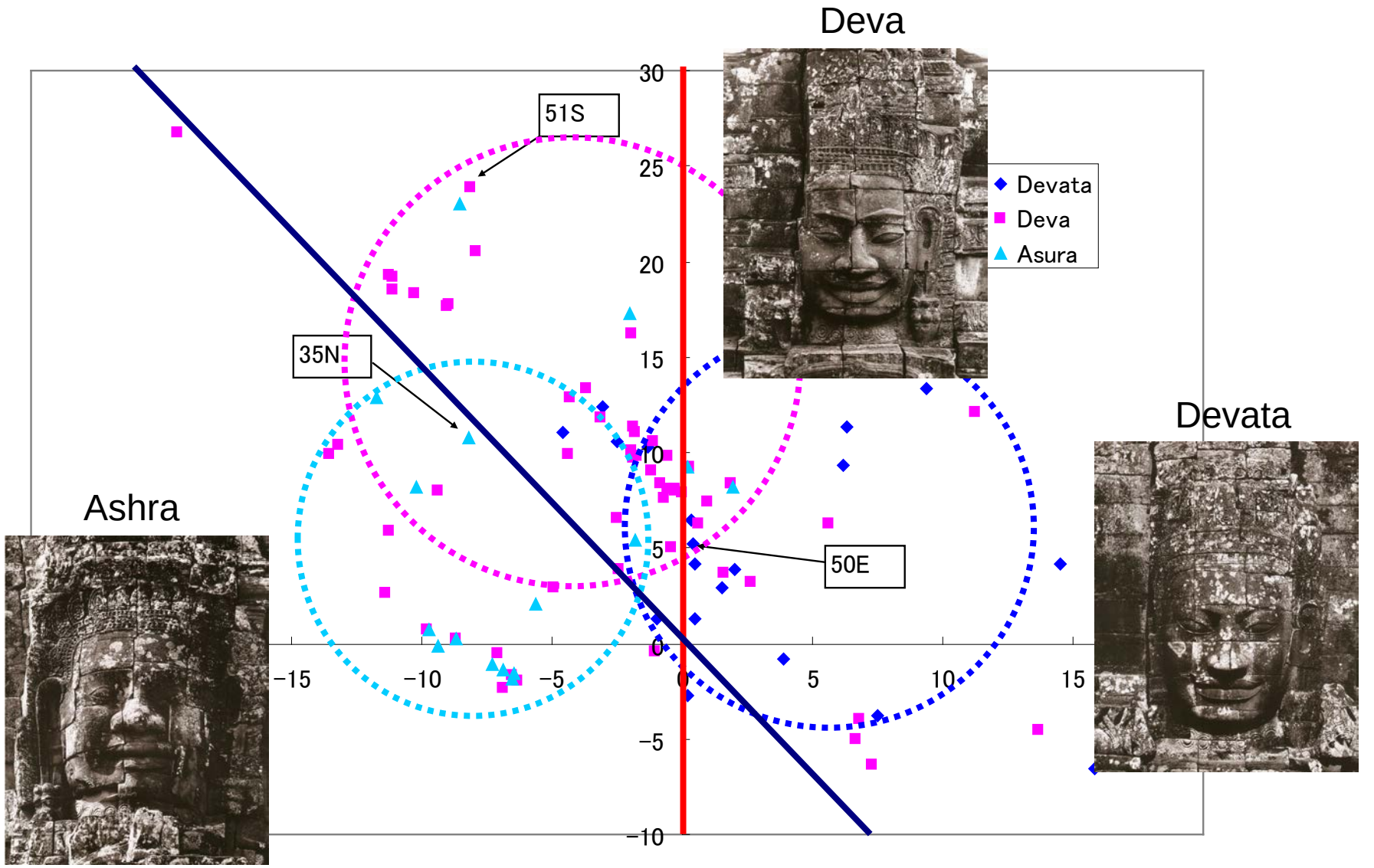

Face16E


Face16N


Face16S

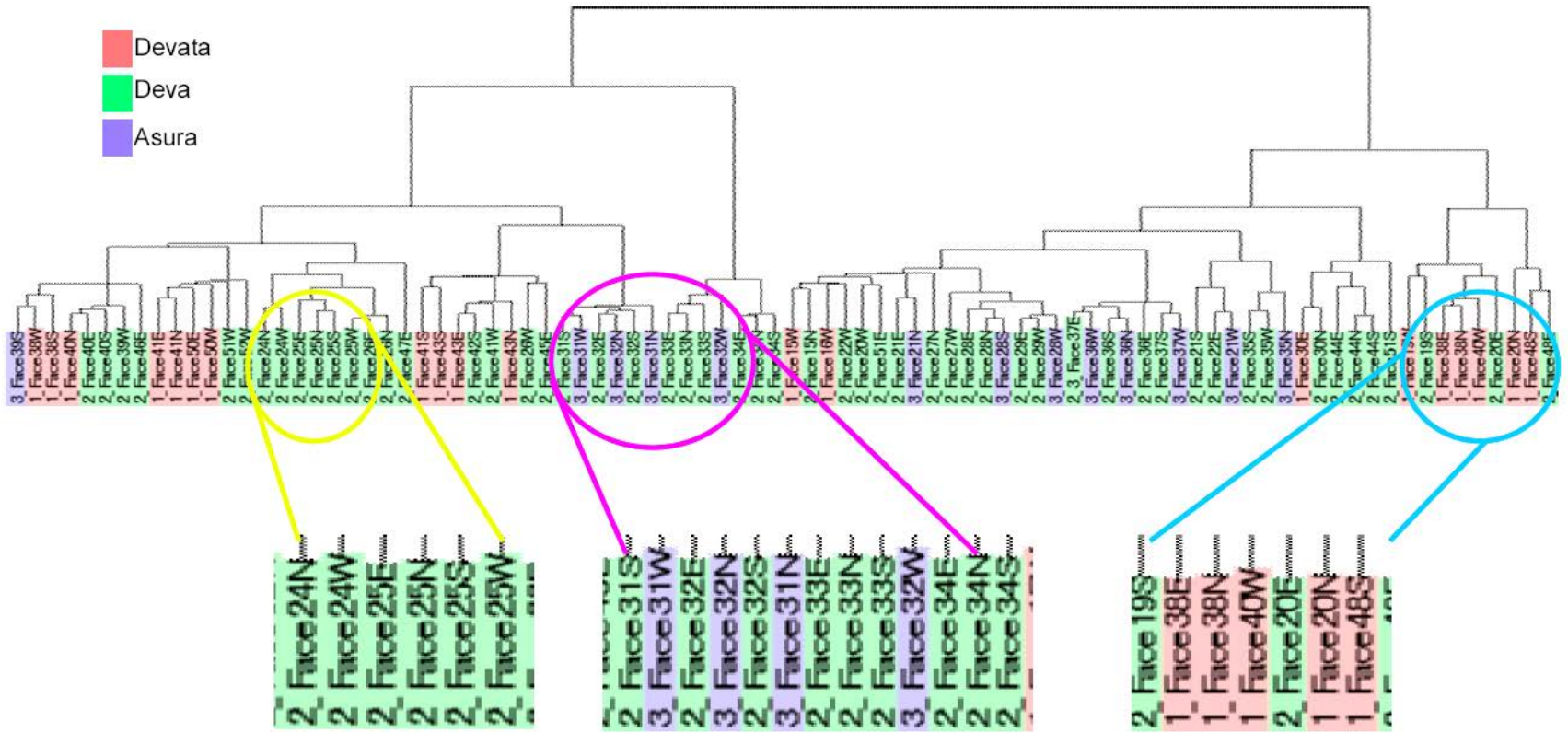
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 線形判別分析（教師あり）



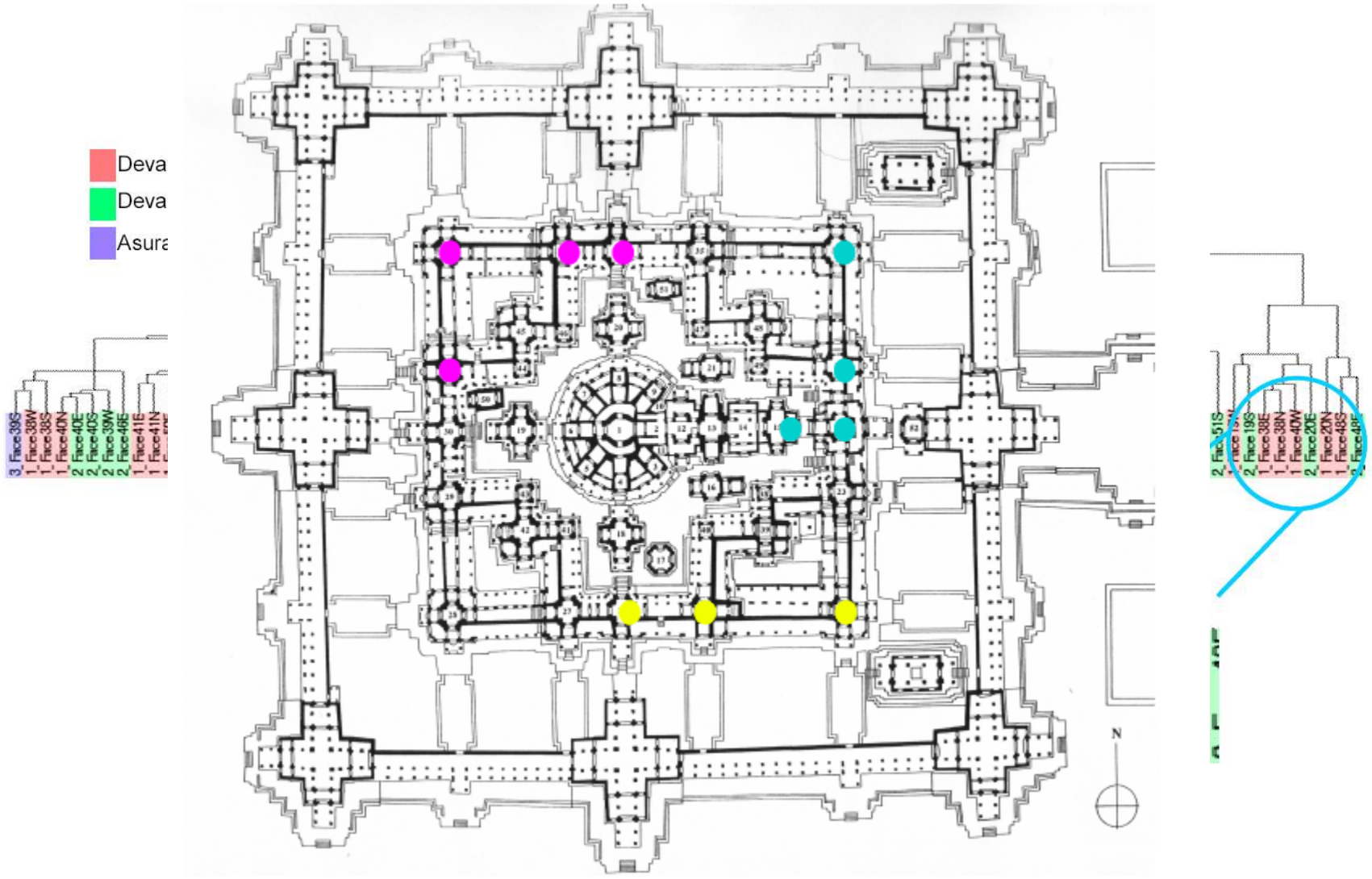

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 階層クラスタ解析（教師なし）




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 階層クラスタ解析（教師なし）




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 隠されたペディメントの可視化(鏡センサー)

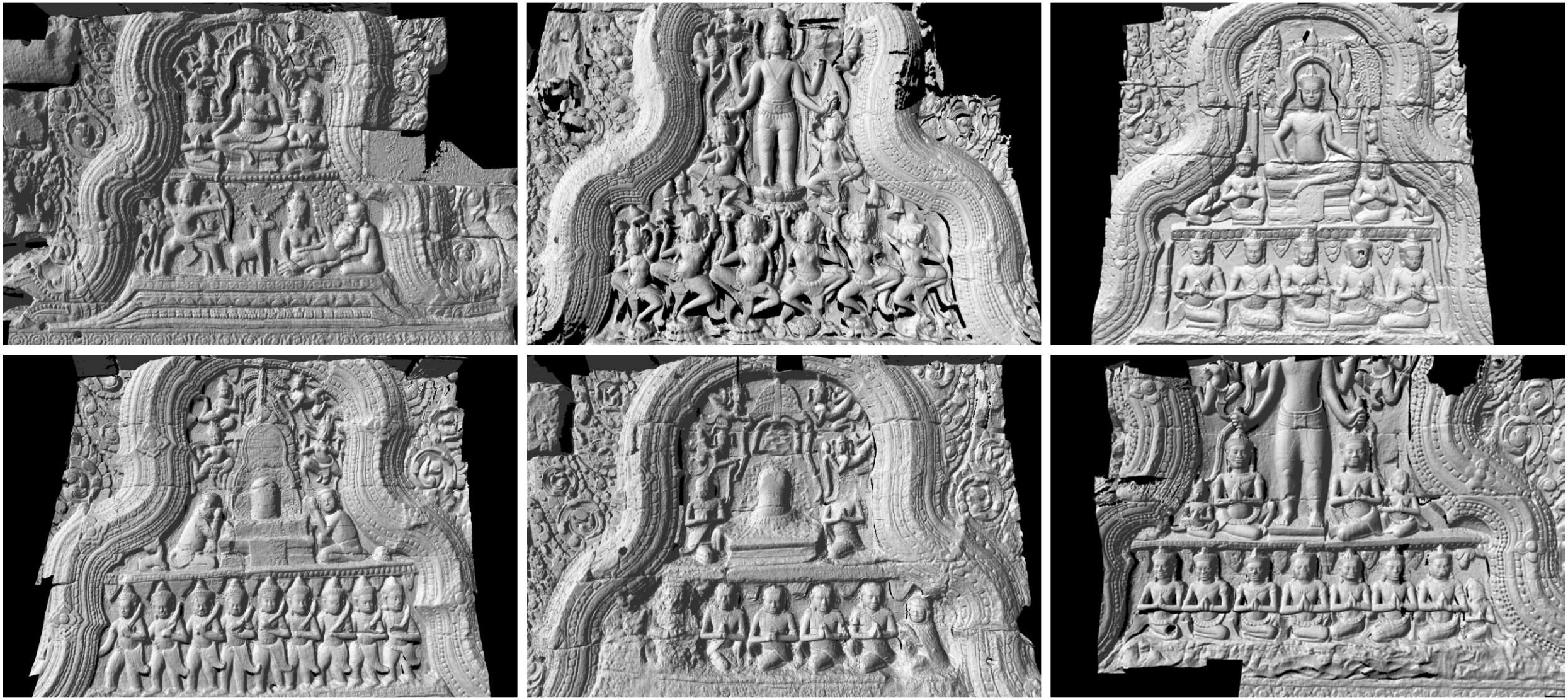


UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 隠されたペディメントの可視化(鏡センサー)



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# バイヨン本尊仏





UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



CC BY-NC-ND

# レプリカ生成



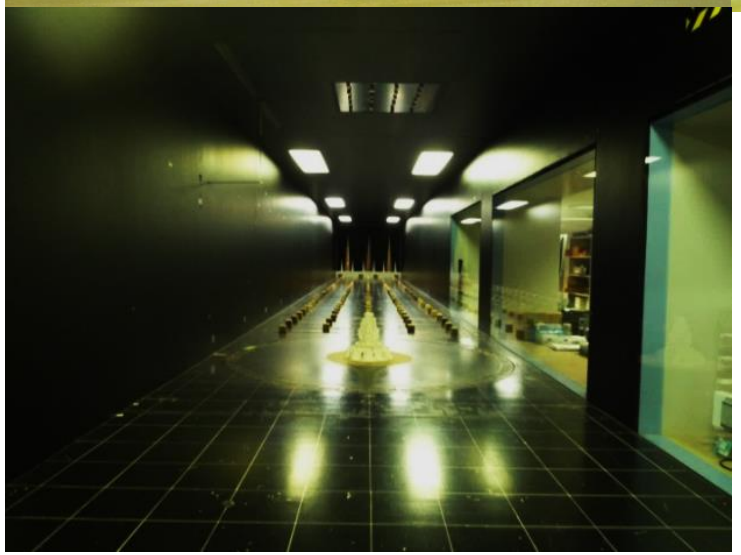


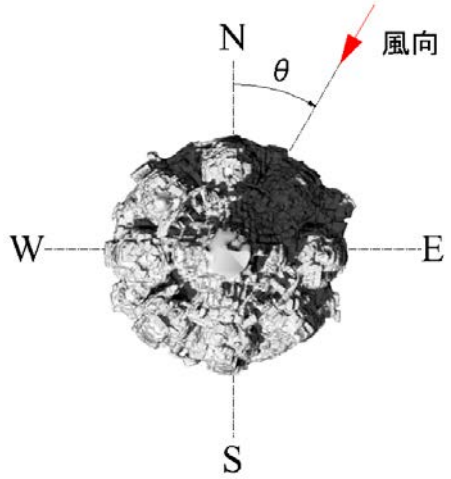
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 3Dモデルを用いた風洞実験










[Honda et al. 2015]

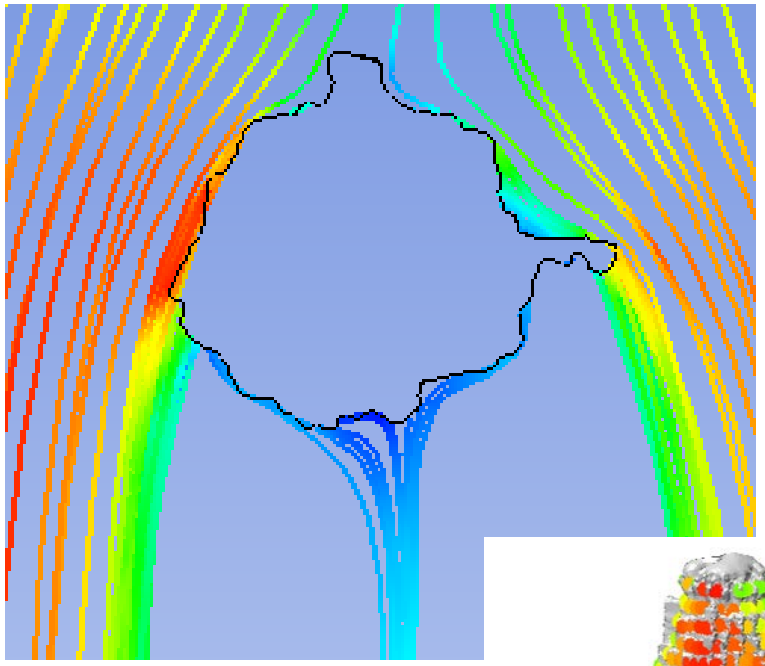
 CC BY-NC-ND

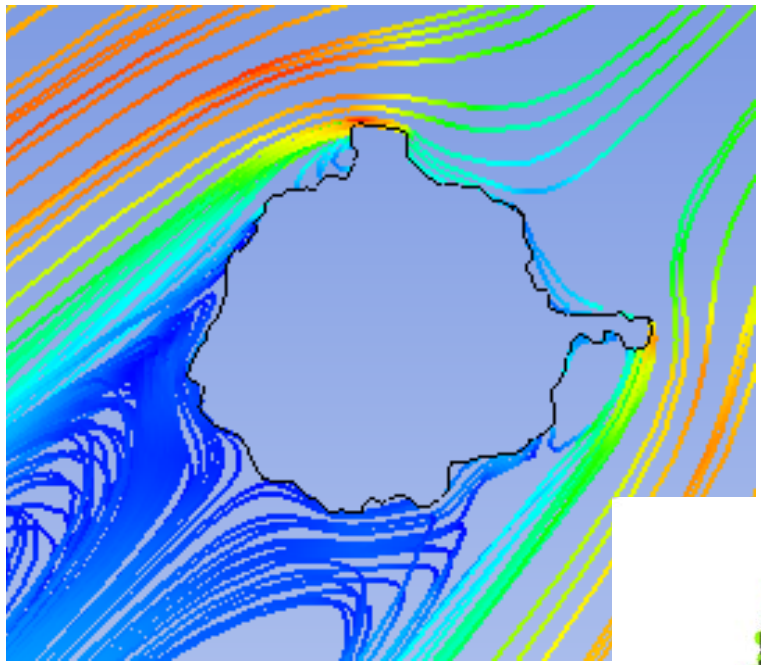


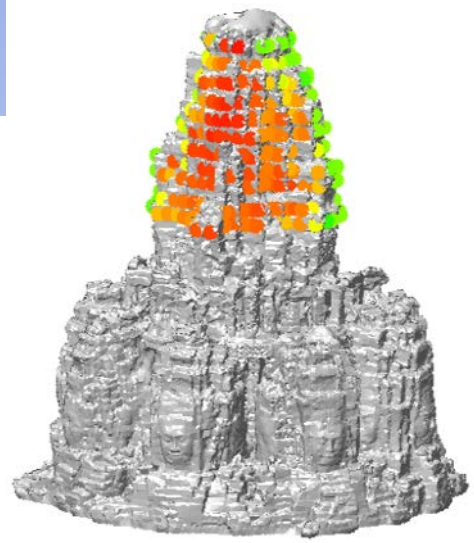


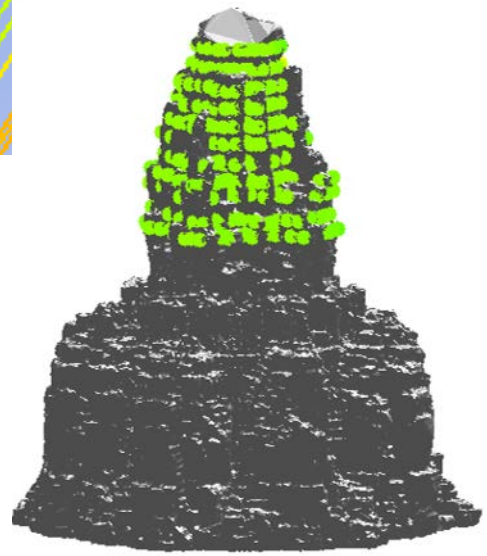
 CC BY-NC-ND

# 風圧計測結果





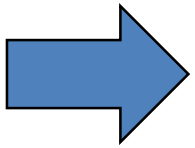


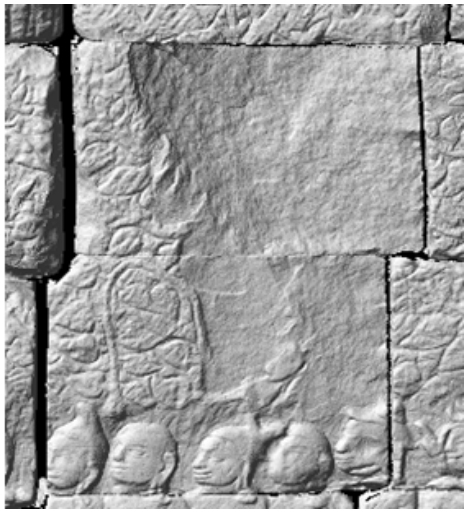


UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

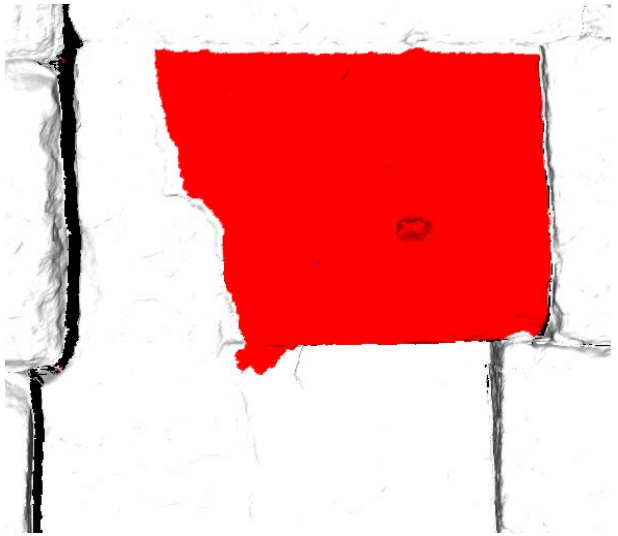
# 破損個所の発見







2008

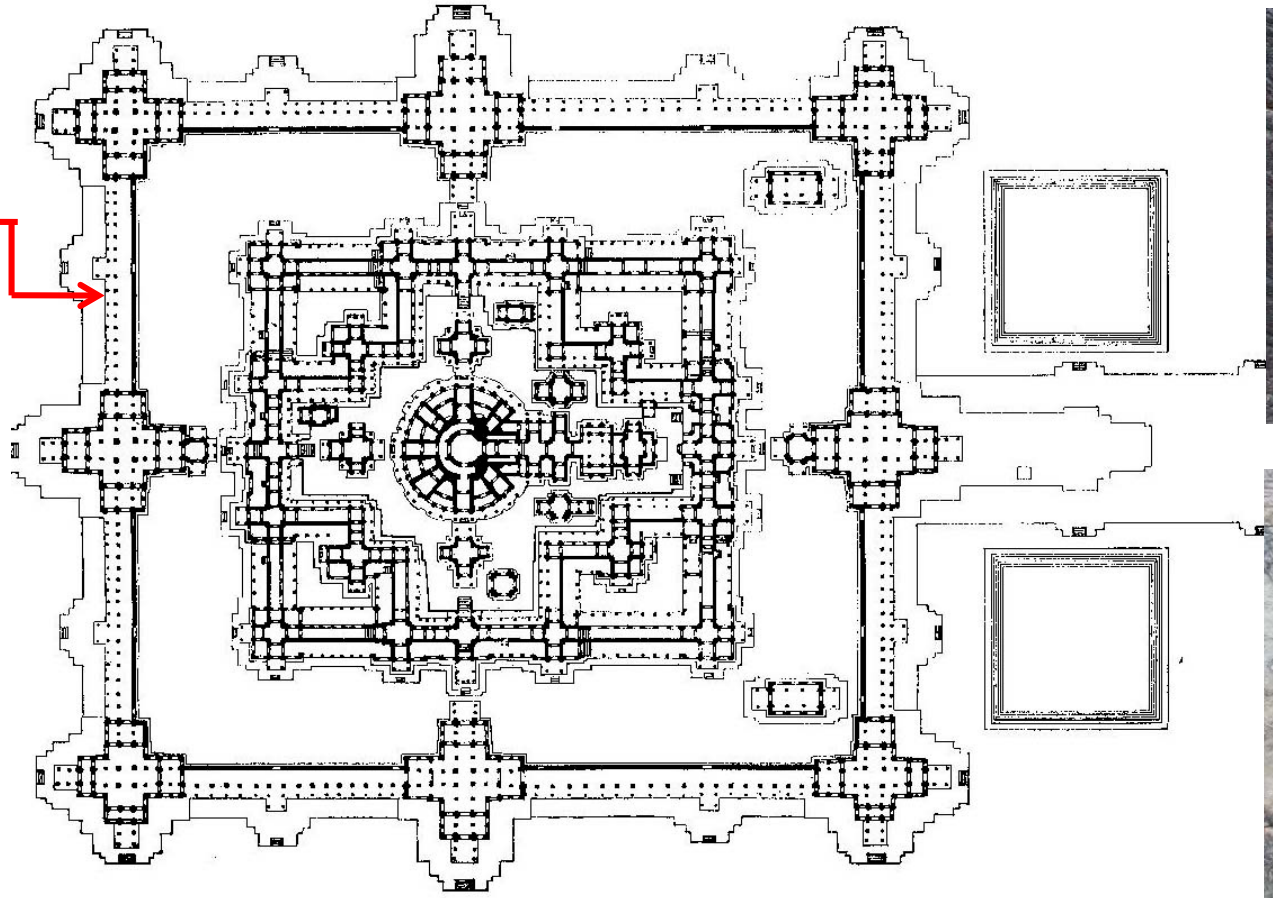


2010

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 劣化状態の把握（2013～2015）

O-12



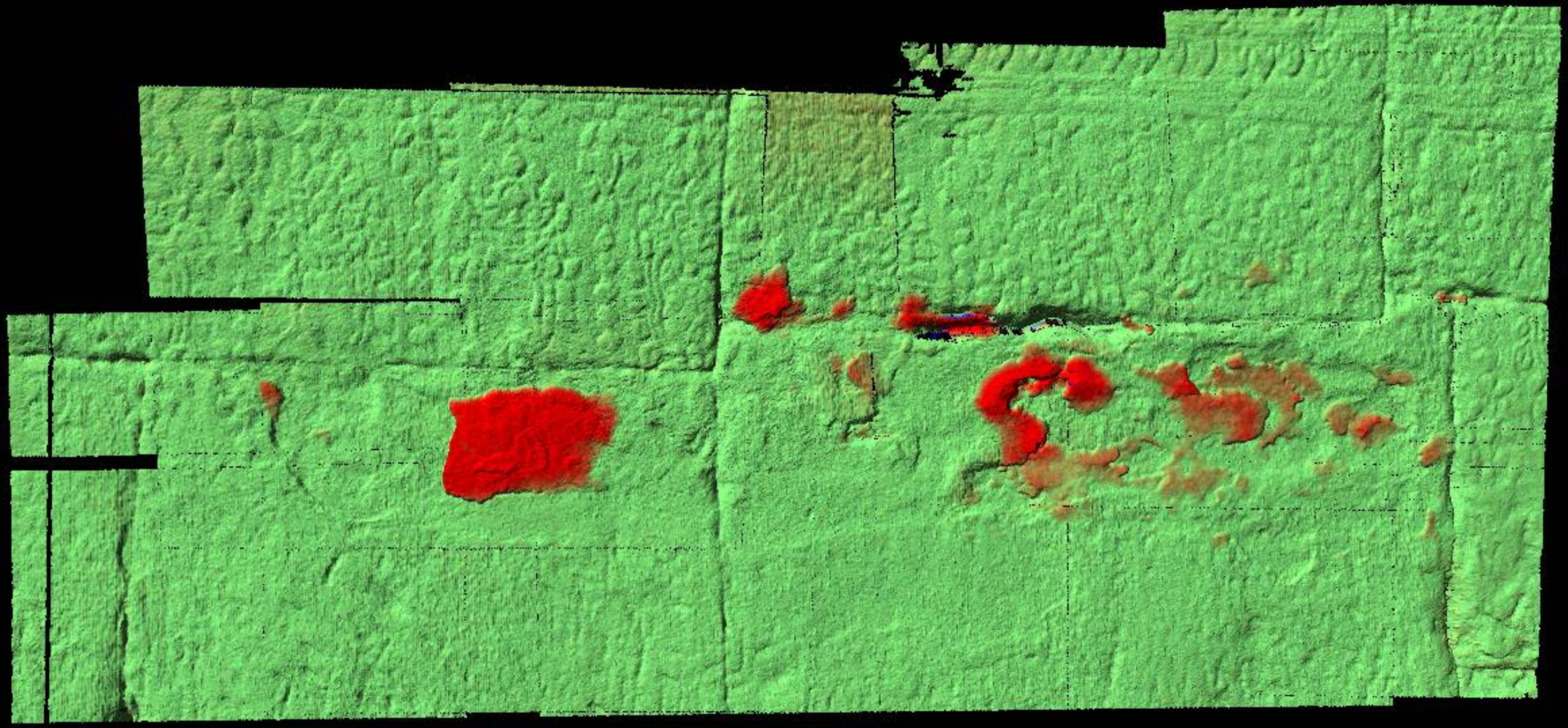




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

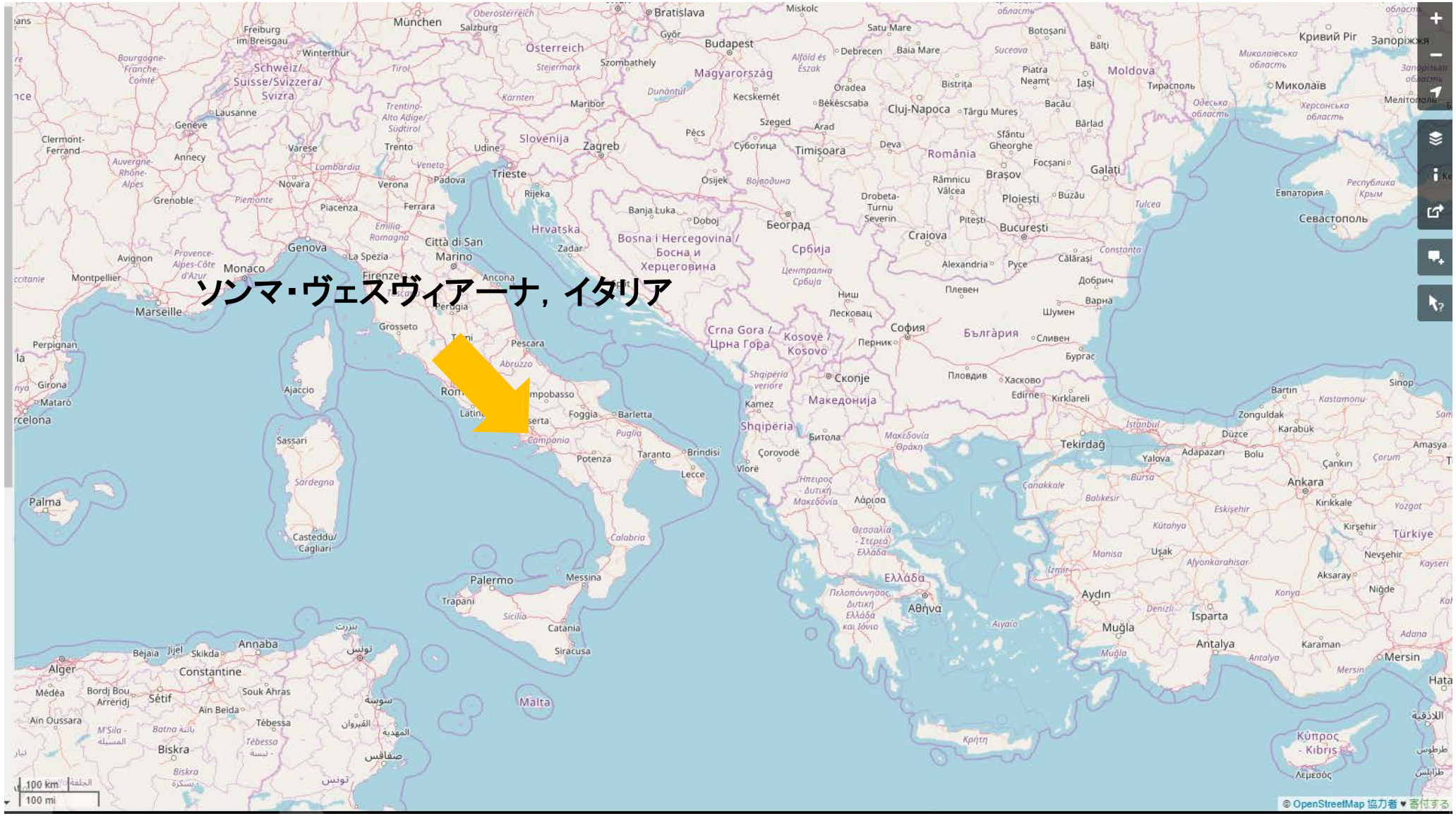
# ローマプロジェクト

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# ソンマヴェスヴィアーナ発掘サイト



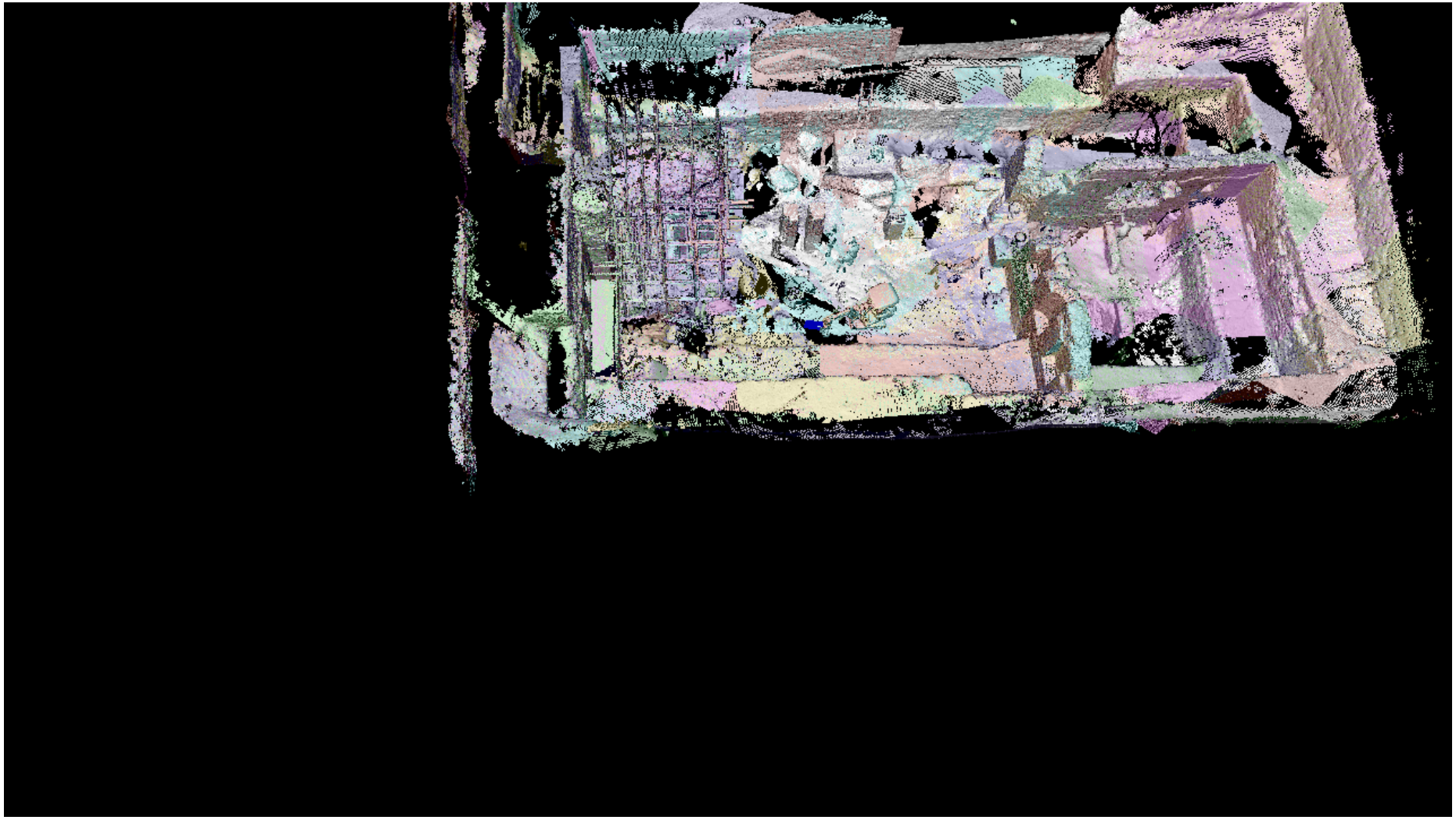
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

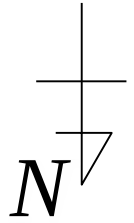



(c)OpenStreetMap contributors

 CC BY-NC-ND

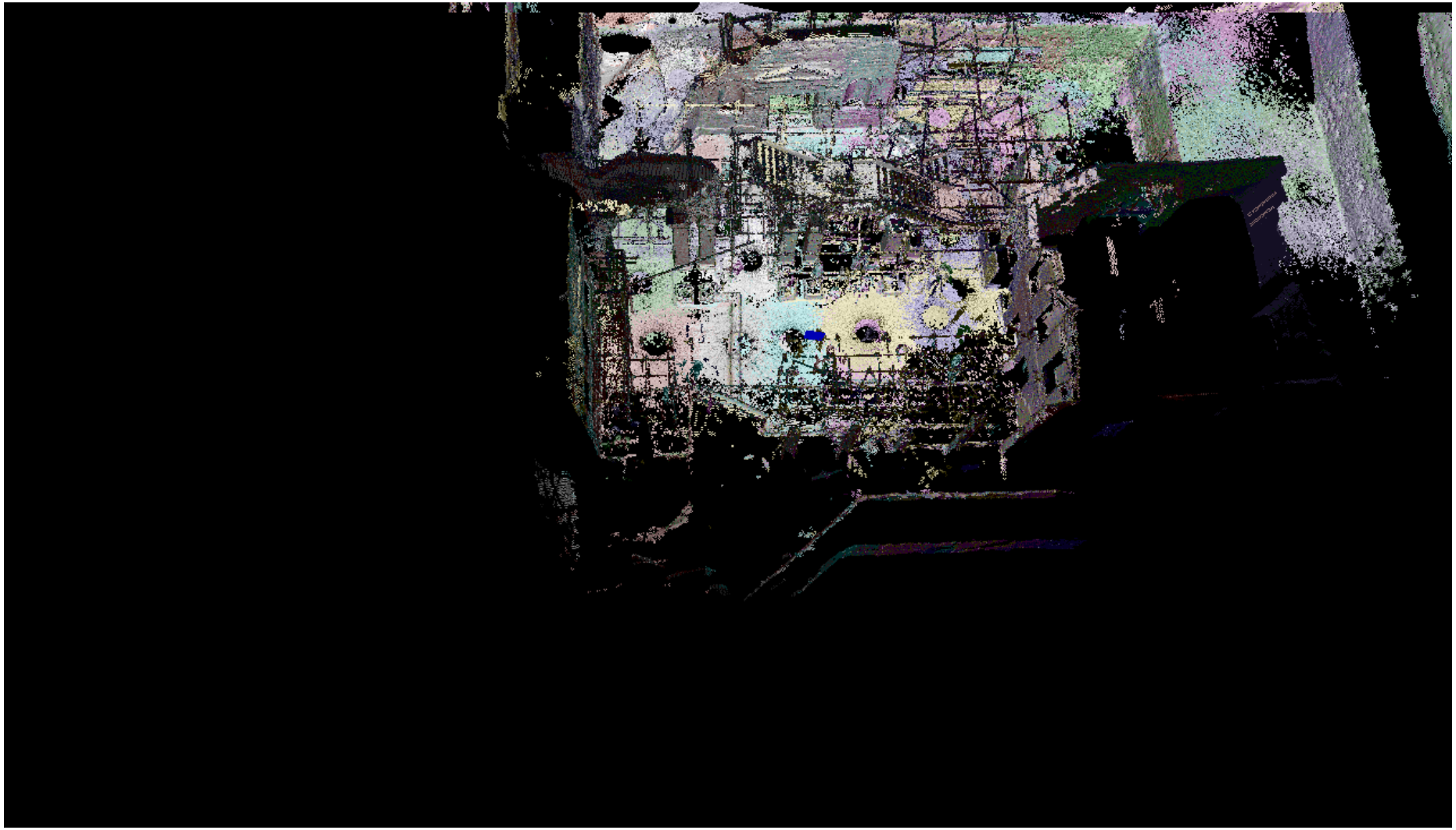
# 遺跡の時系列変化





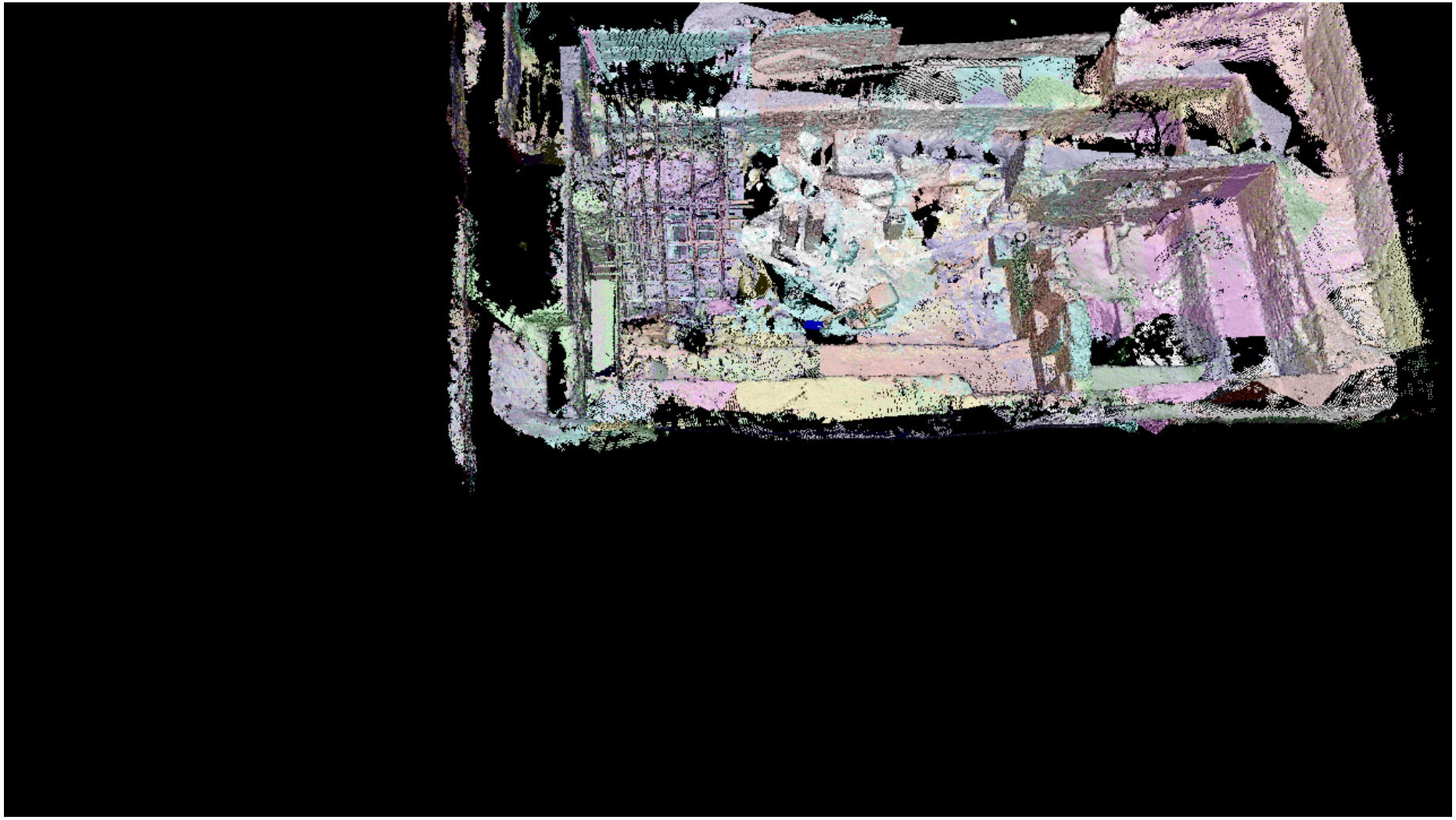

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

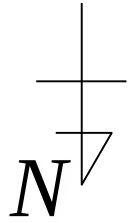
# 遺跡の時系列変化



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

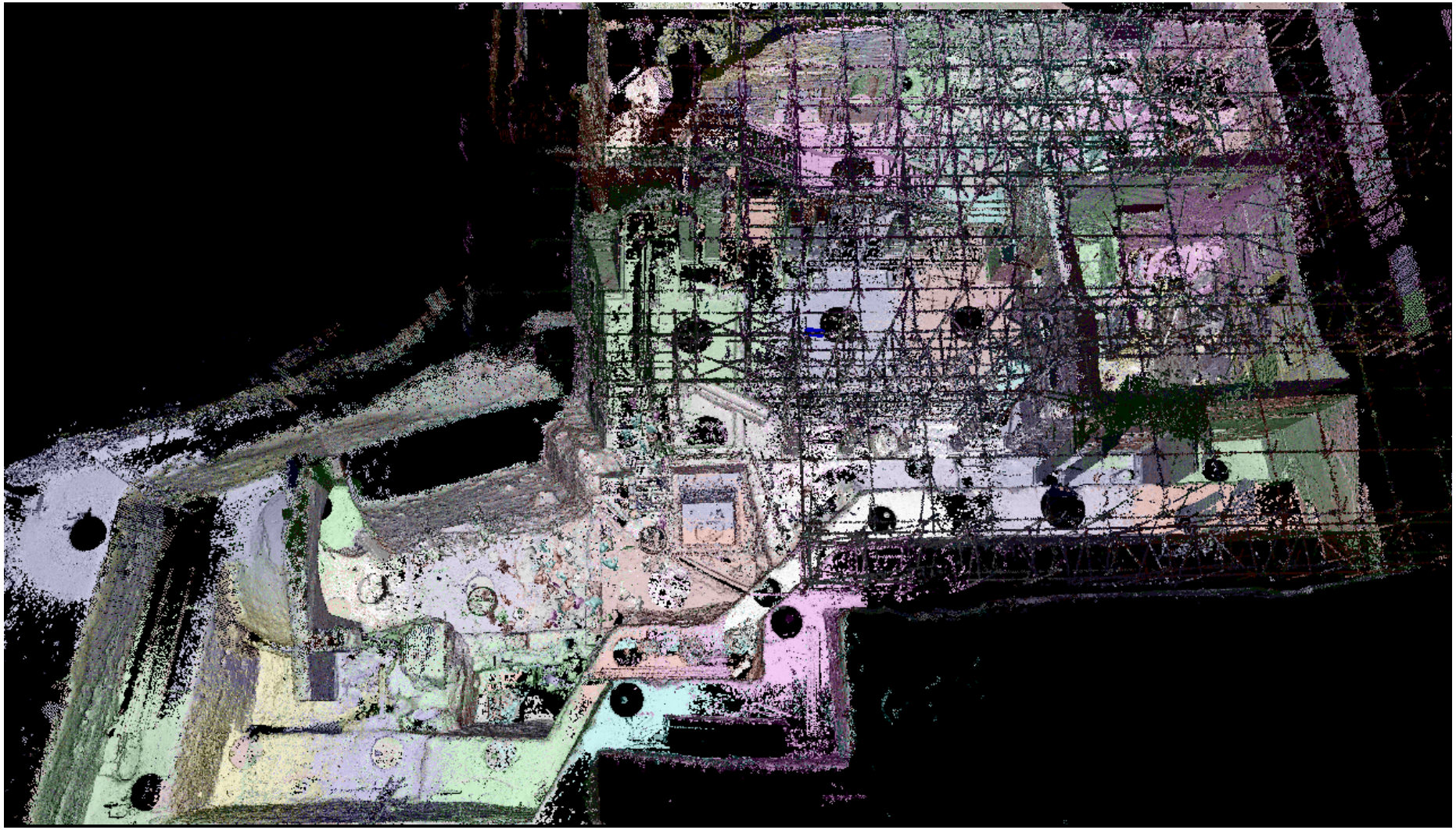
# 遺跡の時系列変化






UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

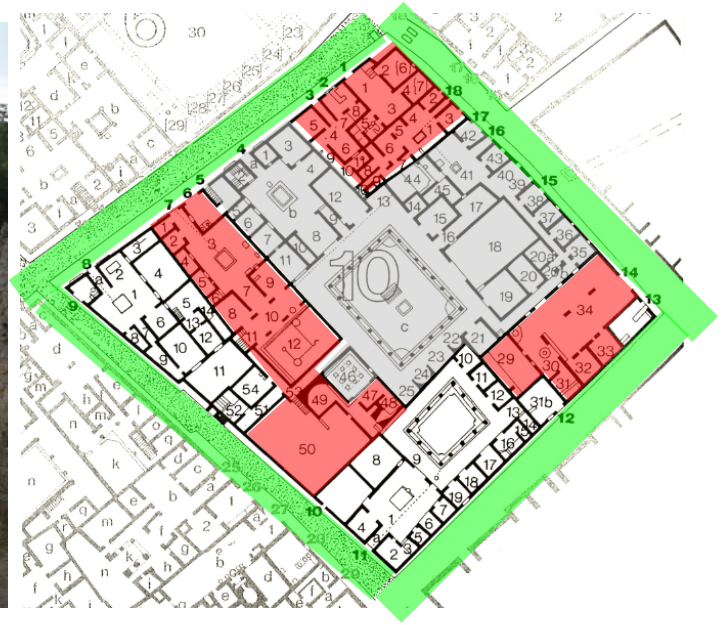
# 遺跡の時系列変化



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

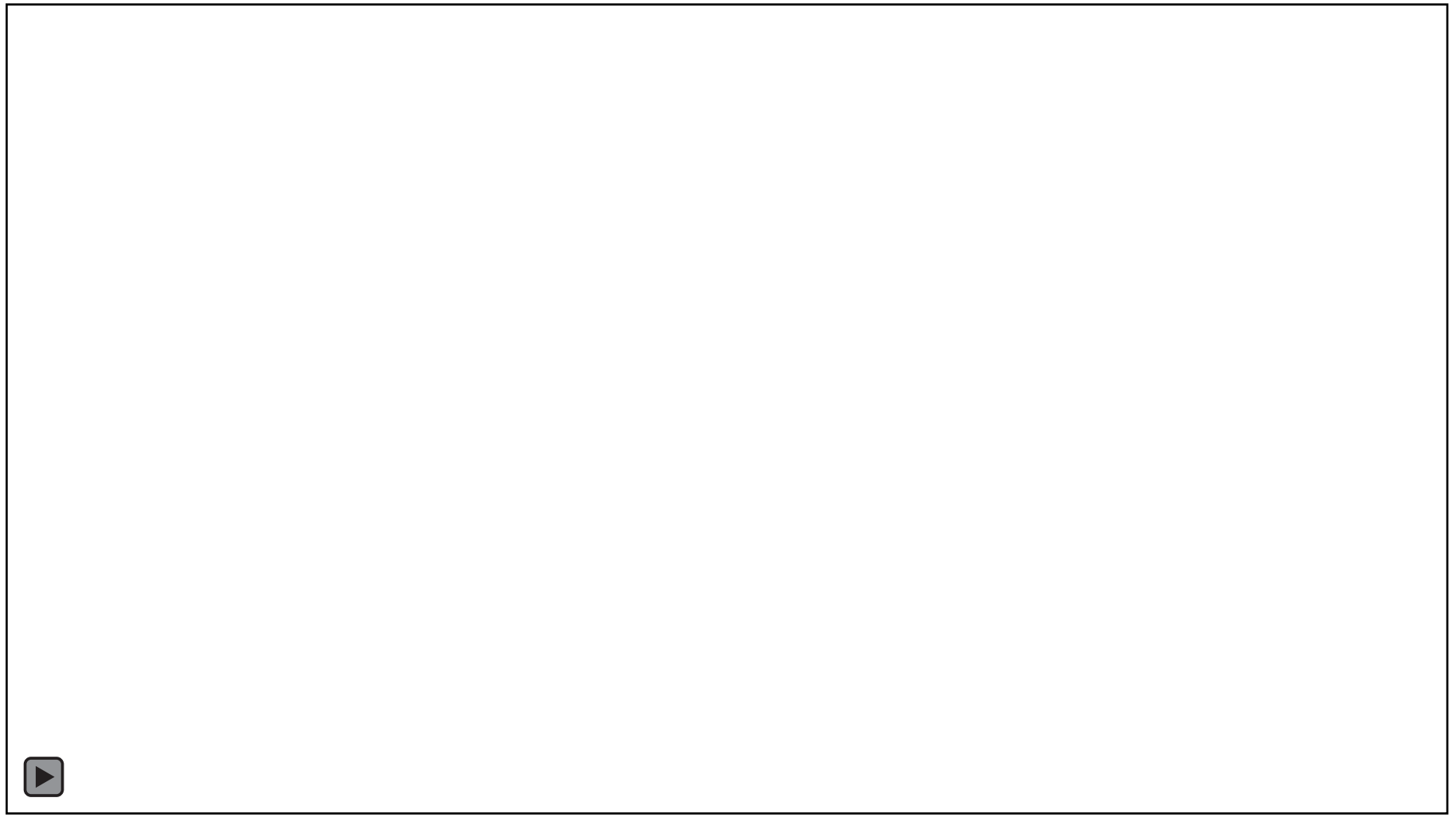
# Casa del Menandro in Pompeii





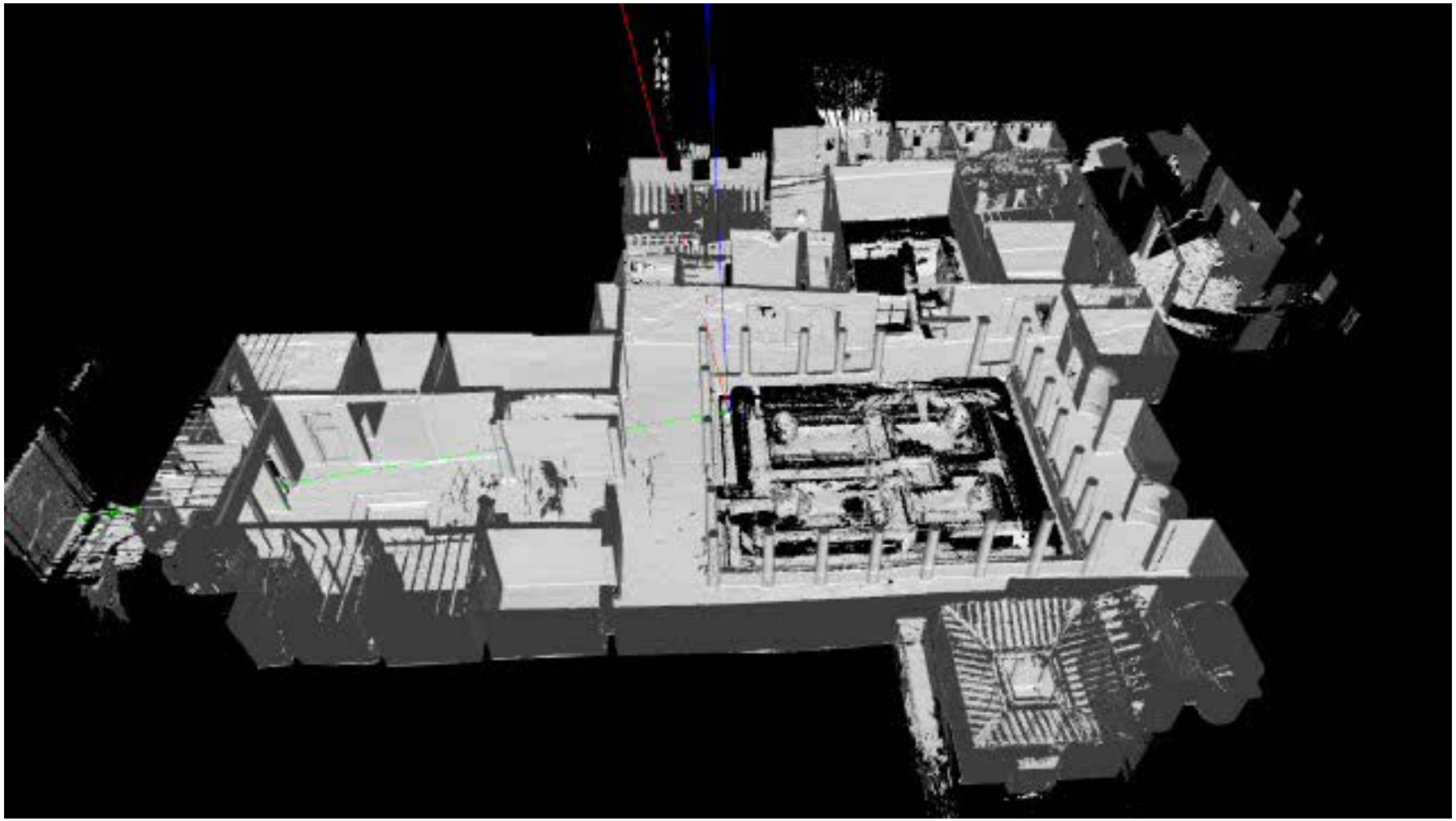
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# ３次元モデル取得結果



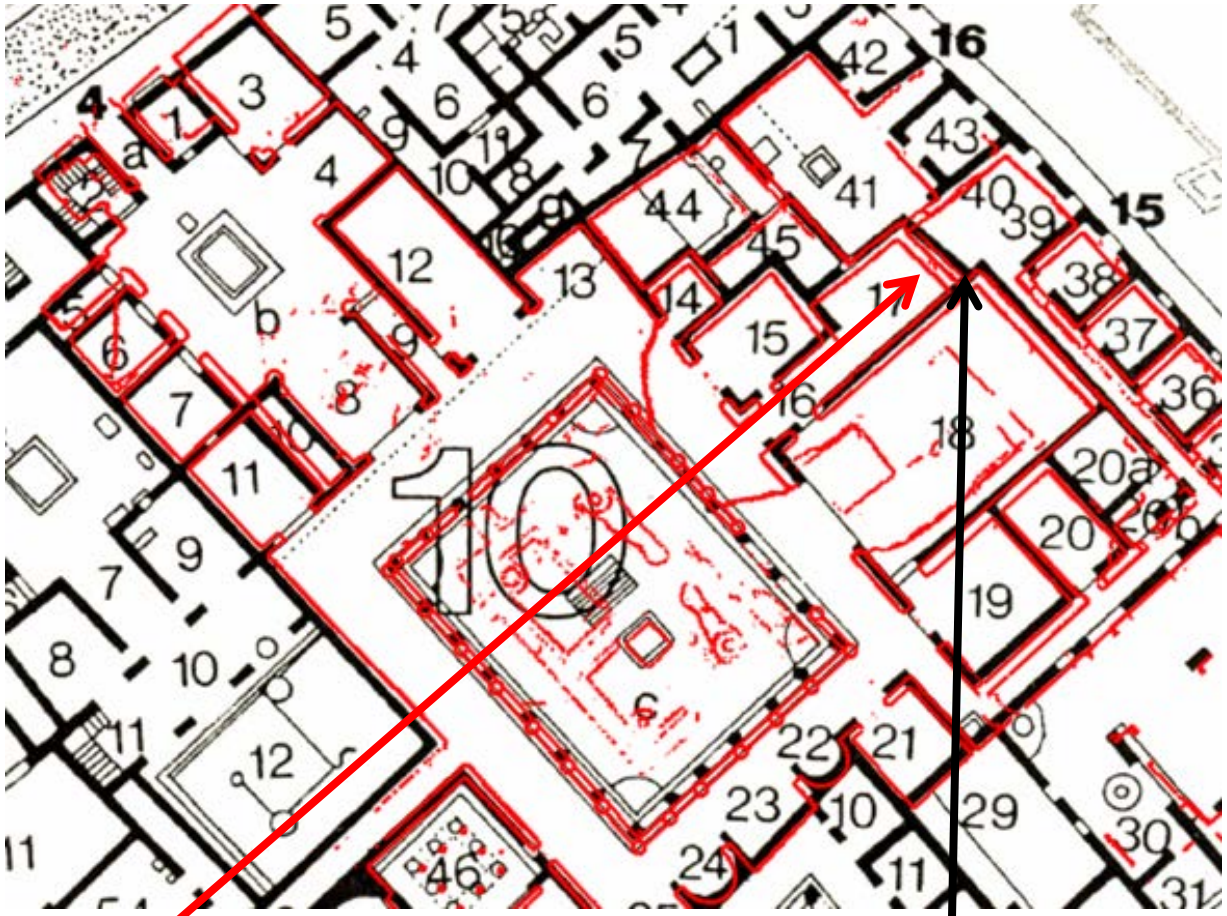
 CC BY-NC-ND

# 平面図の作成（ポンペイ）



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 文献との比較（平面図）




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND




(c)OpenStreetMap contributors

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 3次元形状モデル解析

- アウグストゥス像の分類

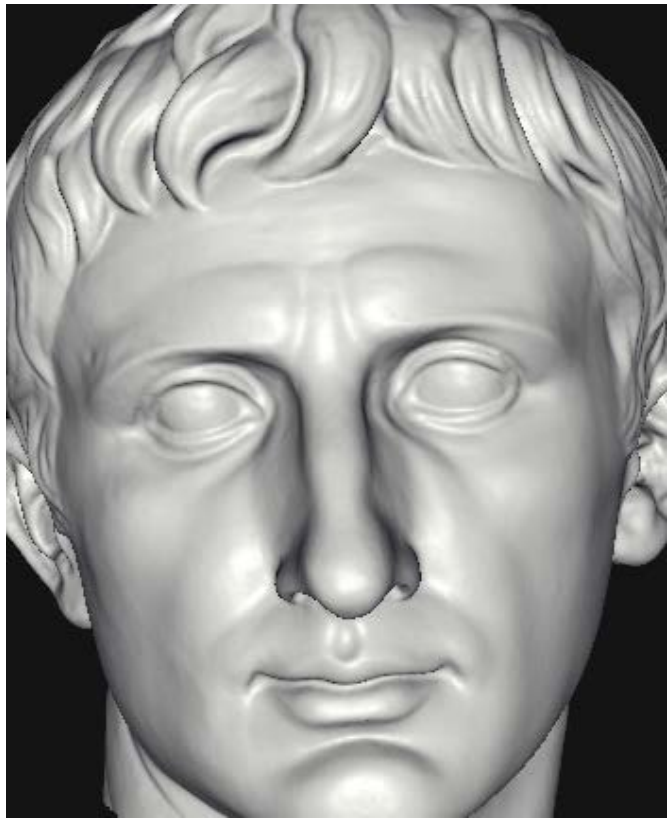


1. Automatic object categorization
2. Simultaneous detection of distinguishing regions

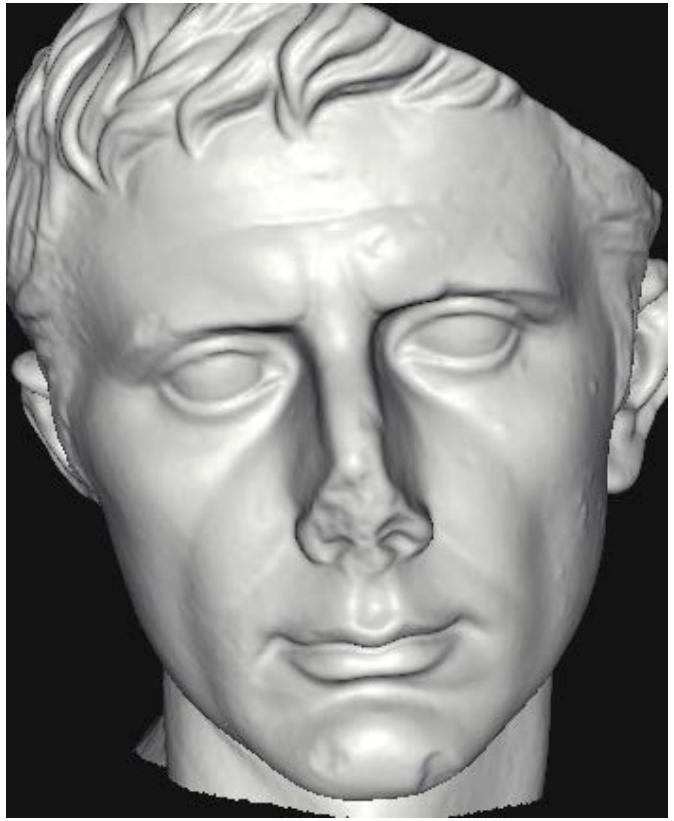
Three representative sculptures of Augustus

 CC BY-NC-ND

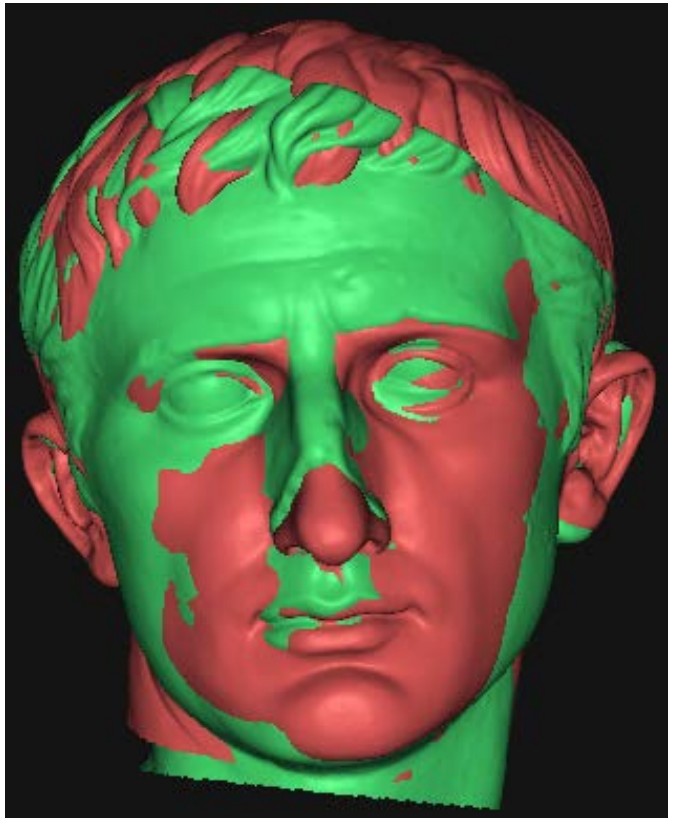
# 形状マッチング



Reference



Target

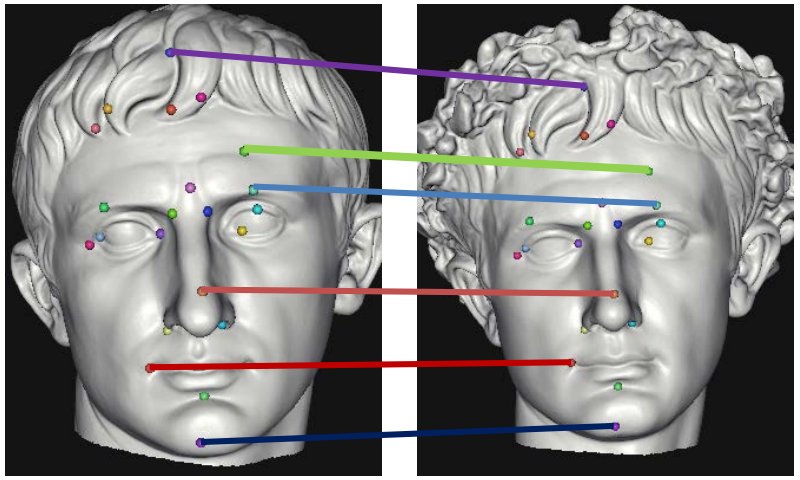


Alignment result

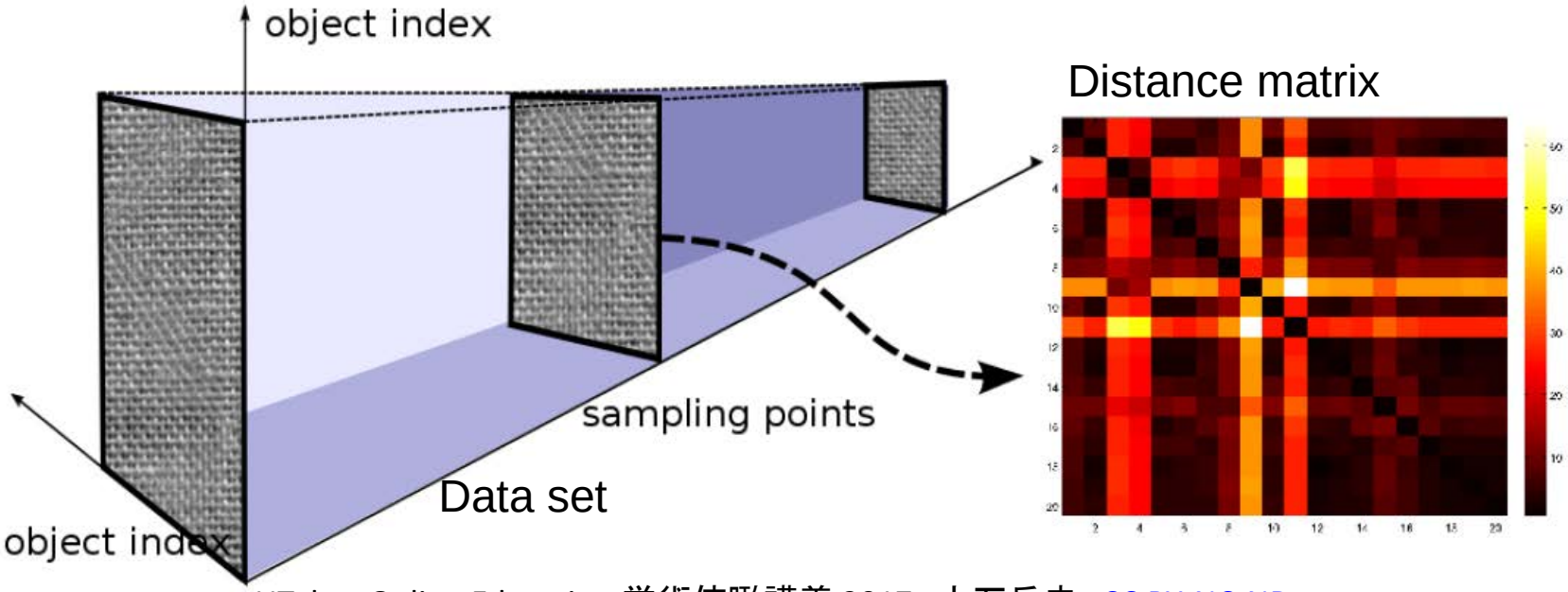
## 非剛体位置合わせ(ICP with anisotropic scaling)

 CC BY-NC-ND

# 類似度の定量化

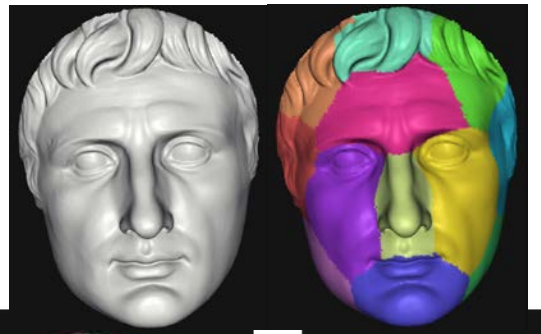


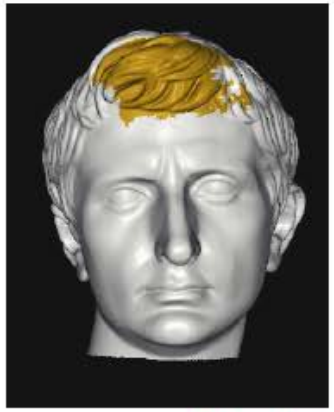
- 最近傍点探索
- 距離行列で類似度を表現

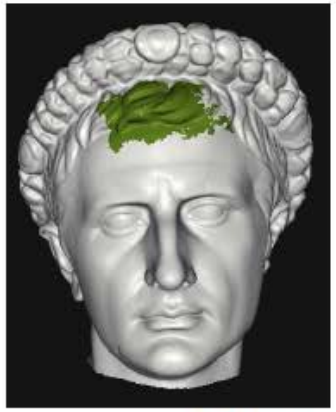



 CC BY-NC-ND

# クラスタリング結果

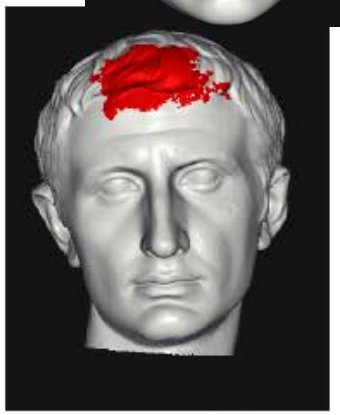


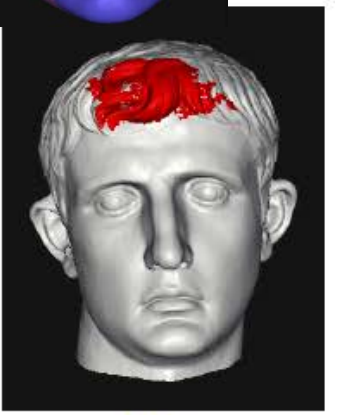

Capito413(Alcudia)


Capito495(Forbes)

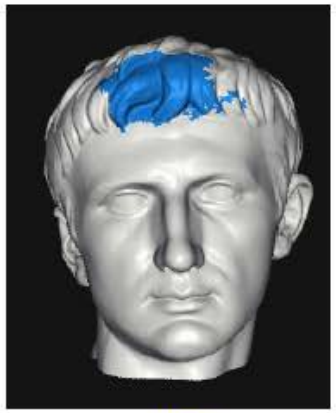

MuAb(PP)


Boston99344(PP)


Louvre1280(Forbes)

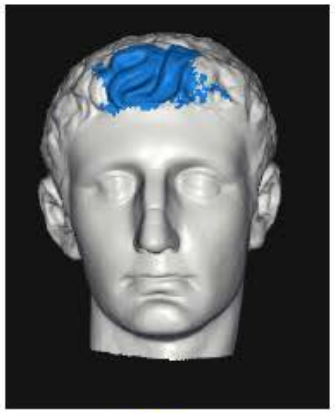

Meroe(PP)


Baltimore(PP)


BM1877(PP)


Chiusi(PP)

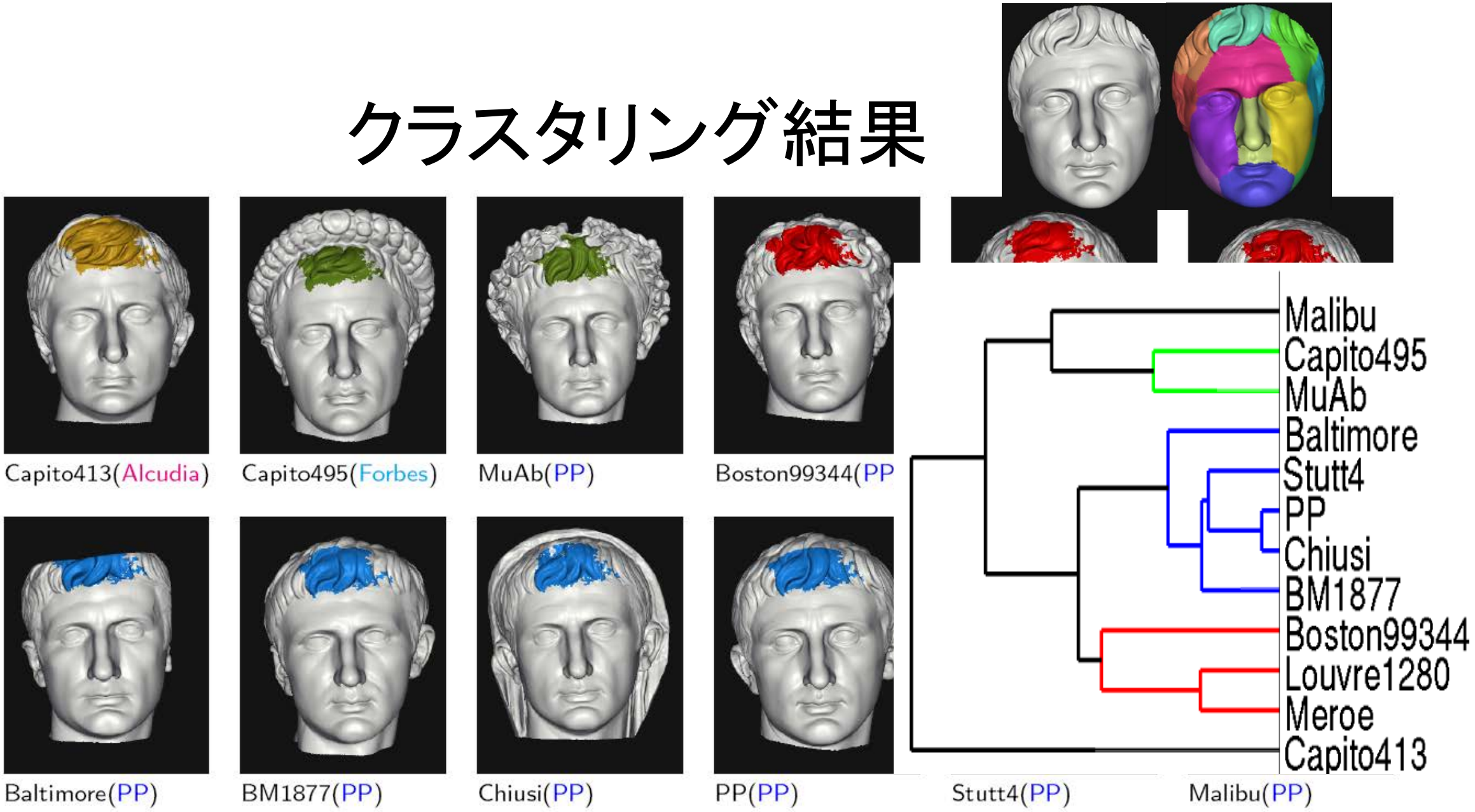

PP(PP)


Stutt4(PP)


Malibu(PP)

 CC BY-NC-ND

# クラスタリング結果




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史 CC BY-NC-ND

# ギリシャ彫刻のローマ時代の複製

[K. Sengoku-Haga et al. 2014]



Munich, Museum für Abgüsse Klassische Bildwerke

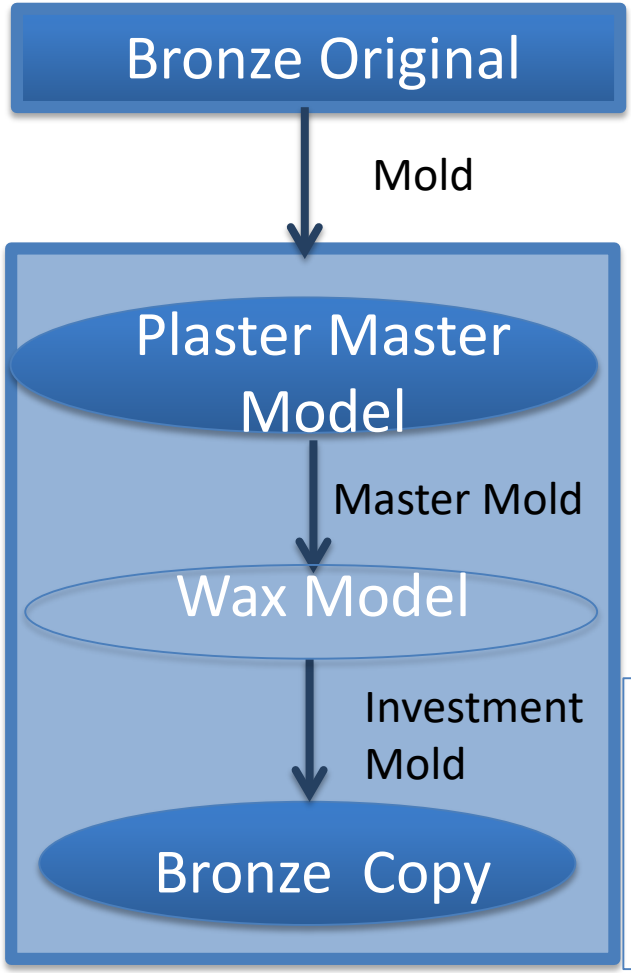


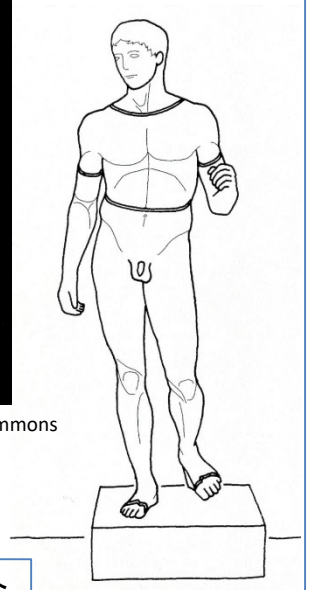



Photo from Wikipedia Commons

著作権等の都合により、ここに挿入されていた画像を削除しました

男性の胸像

**Plaster Model** **Marble Copy**



著作権等の都合により、ここに挿入されていた画像を削除しました

彫刻複製の際の測量方法の図

Michael Pfanner, "Über das Herstellen von Porträts. Ein Beitrag zu Rationalisierungsmaßnahmen und Produktionsmechanismen von Massenware im späten Hellenismus und in der römischen Kaiserzeit" JAHRBUCH☐ DES DEUTSCHEN ARCHÄOLOGISCHEN INSTITUTS BAND 104, 1989, 157 ff.
https://www.degruyter.com/view/product/13352
p. 181 Abb. 10 Neuzeitliche Kopiermethoden

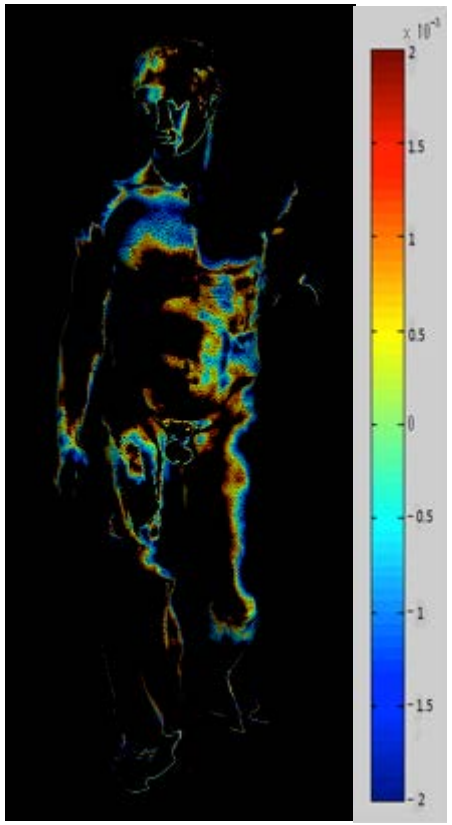
(M. Pfanner, *Jdl* 104, 1989)

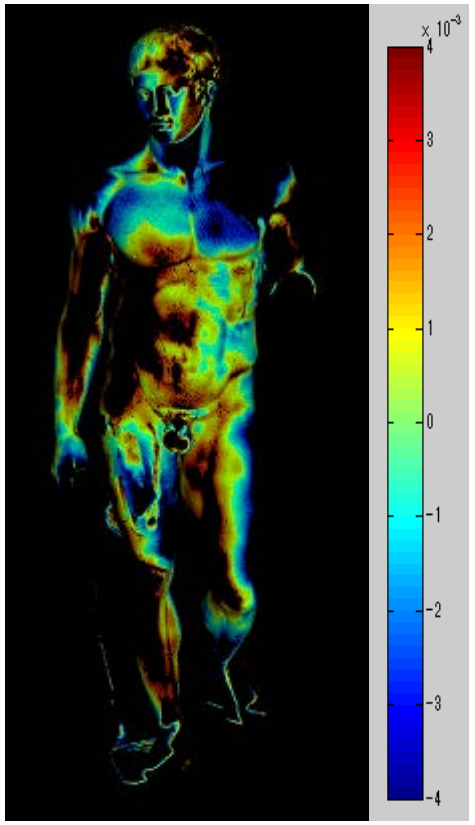
 CC BY-NC-ND

# 複製精度は？

- In Pompei & in Minneapolis

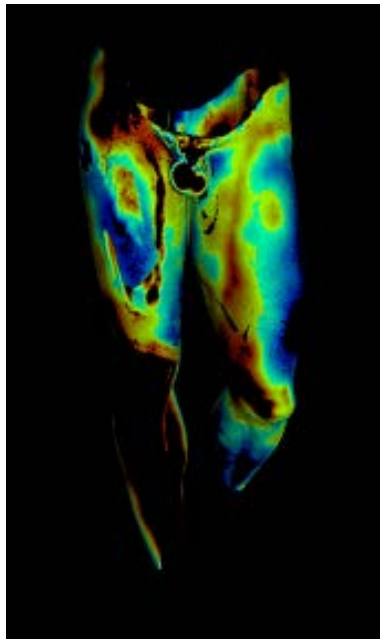


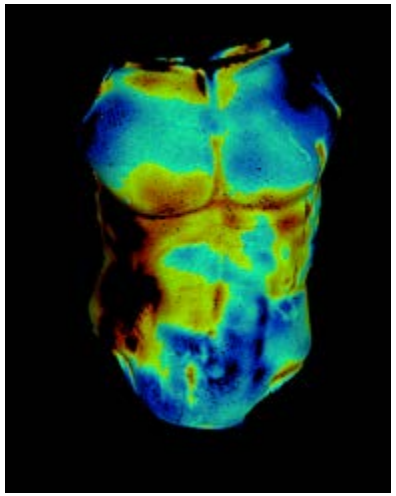



2mm　　4mm







UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# アマゾン像の作者は？:
# Polykleitos, Pheidias, or Kresilas?







Diadoumenos (youth tying a fillet around his head) by Polykleitos

 CC BY-NC-ND

# Polykleitos作の彫像の特定

**SOSIKLES TYPE**

B. Graef, 1897
W. Klein, 1905
C. Picard, 1939
G. Lippold, 1950
D. von Bothmer, 1957
V. Poulsen, 1957
D. Arnold, 1969
T. Lorenz, 1972
H. von Steuben, 1973; 1993
M. Robertson, 1975
T. Dohrn, 1979
E. La Rocca, 1979
A. Stewart, 1990
W. Fuchs, 1993
C. Rolley, 1999



**SCIARRA TYPE**

A. Furtwängler, 1893
C. Anti, 1920
R. Bianchi Bandinelli, 1938
L. Curtius, 1938
G. Becatti, 1951
G. M. A. Richter, 1957
R. Carpenter, 1960
G. Hafner, 1961
M. Bieber, 1962
P. E. Arias, 1964
E. Berger, 1965
L. Beschi, 1965
M. Weber, 1976; 1978
R. Bol, 1990



**Haga, Zhang, Masuda, Ono, Oishi, Ikeuchi, 2014**

 CC BY-NC-ND

# クラウドミュージアム（表示）

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# クラウドミュージアムとは？




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 「実物」の復元



平城宮朱雀門



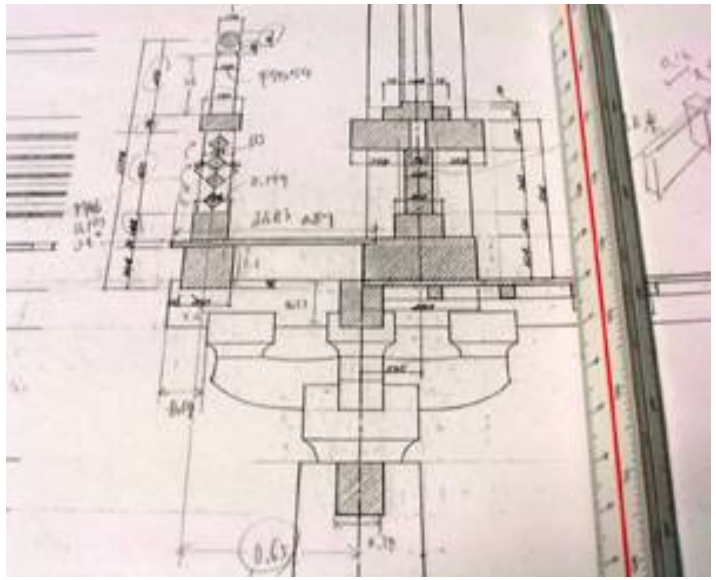
平城宮大極殿

- 修正・変更が困難
- 建設コスト大
- 遺構の破壊

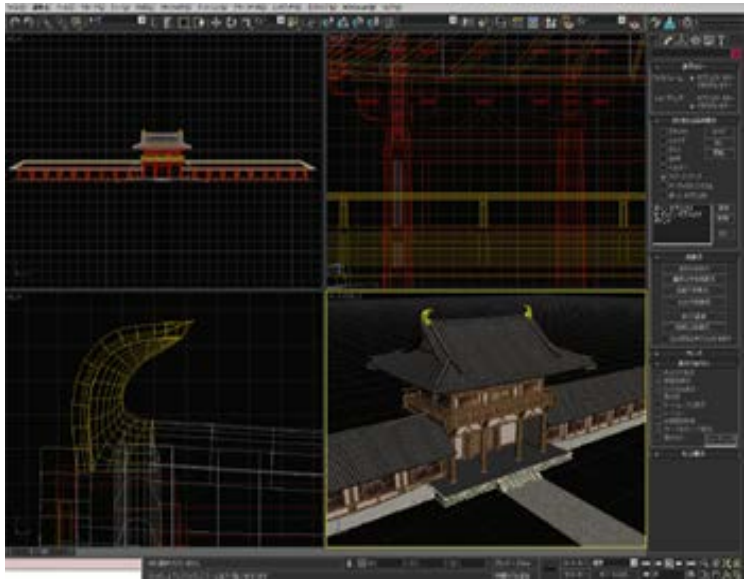
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# CGデータ作成

- 推定復元図面からCAD（Computer Aided Design）によって作成



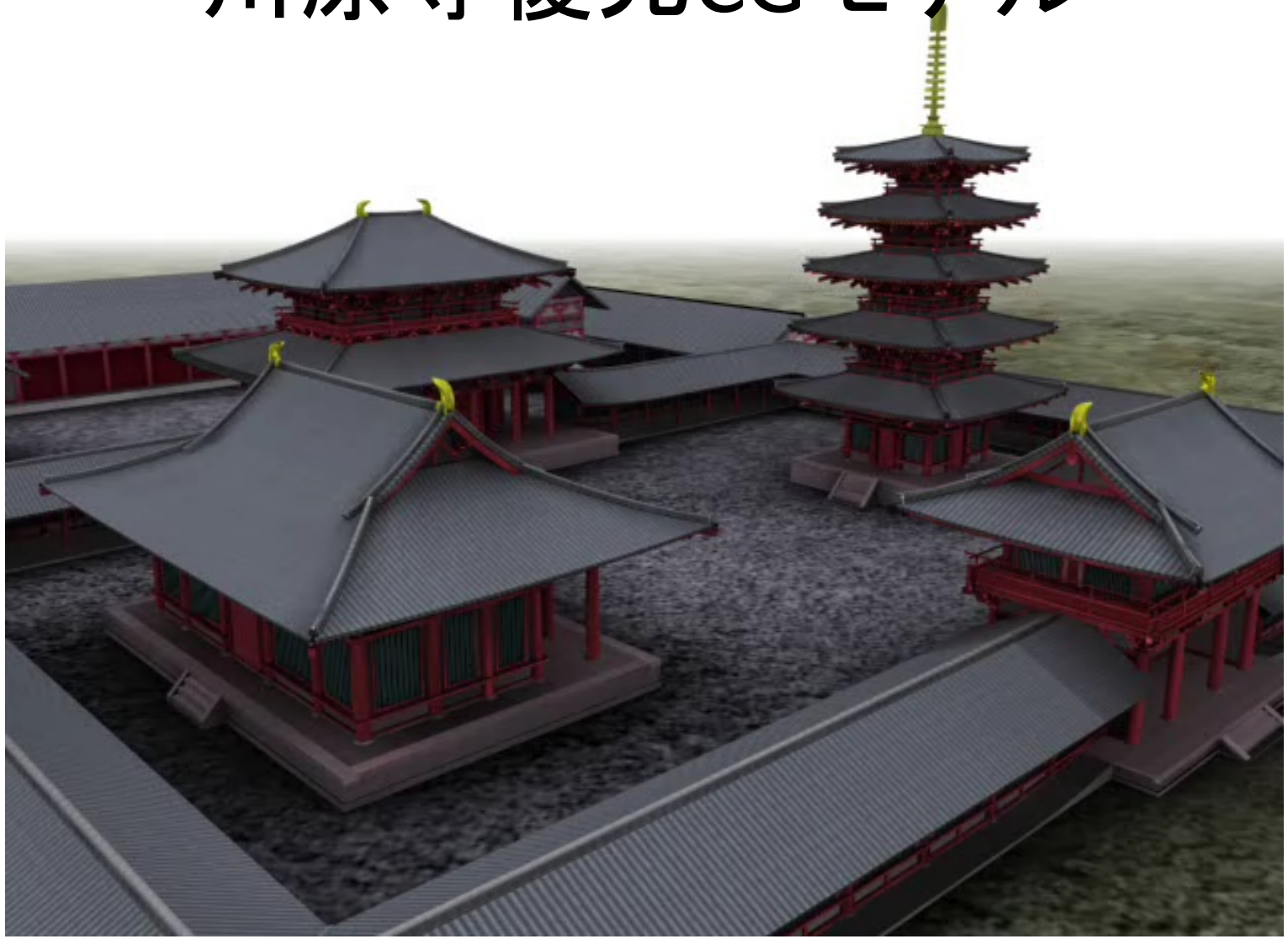
復元図面



3Dモデル作成

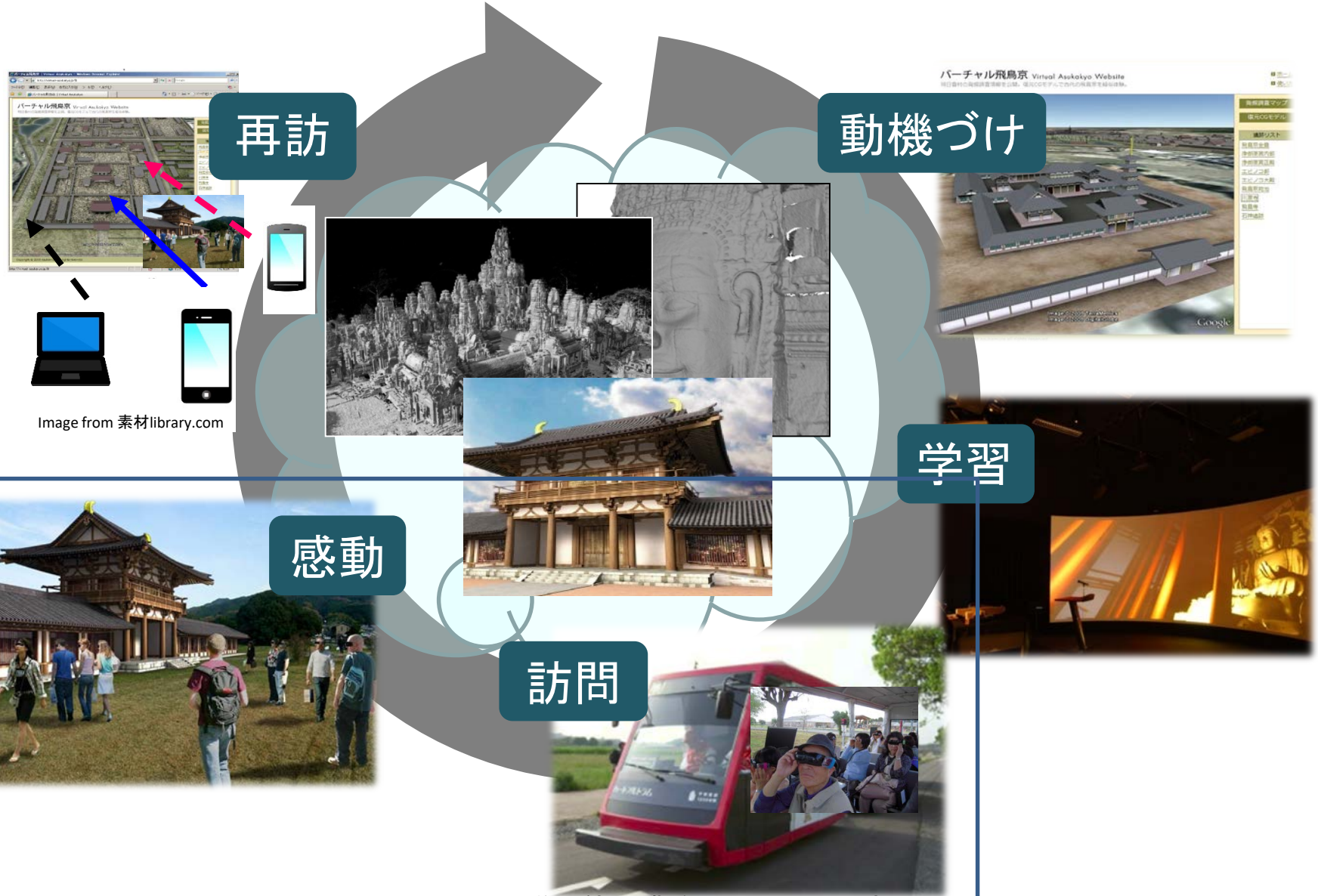
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 川原寺復元CGモデル



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# クラウドミュージアム




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 複合現実感（Mixed Reality）

- 実世界に仮想物体（CG）を重畳して表示



現在の明日香村川原寺跡



MR技術による復元イメージ

 CC BY-NC-ND

# 技術的課題

- 光学的整合性
  - 実世界と仮想世界の光源環境を一致させ、明るさや色を正しく表示する

- 幾何学的整合性
  - 実世界と仮想世界の位置関係を正しく表示する

 CC BY-NC-ND

# 光学的整合性

- 光源環境（太陽の位置や天候）の変化を仮想物体に反映



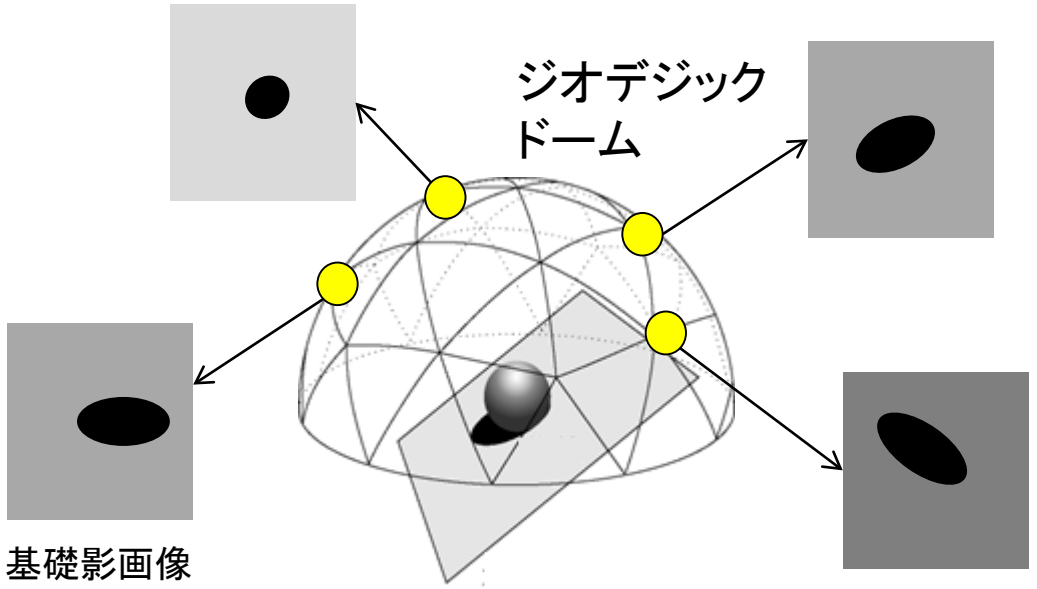
晴れ・昼間

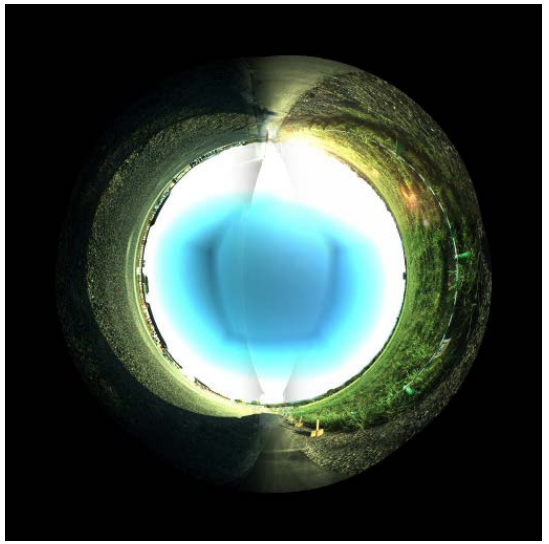


くもり・夕暮れ

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# ソフトシャドウの実時間生成



$$S_1 \times I_{j,1}^{basis} + S_2 \times I_{j,2}^{basis} + \cdots + S_n \times I_{j,n}^{basis} = \sum I_j^{basis}$$

影ポリゴン上の基礎影画像

再現された
ソフトシャドウ

 CC BY-NC-ND

# 複合現実感による仮想復元展示




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# シースルーディスプレイの視認性向上

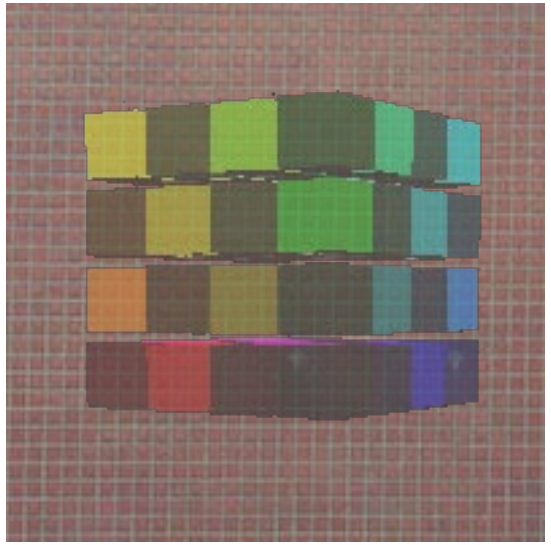
著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました

Microsoft HoloLens Development Editionの画像
https://www.microsoft.com/ja-jp/store/d/microsoft-hololens-development-edition/8xf18pqz17ts/0gxt?activetab=pivot:overviewtab



提供：Continental Automotive Corporation

背景/前景に応じて視認性が変化する



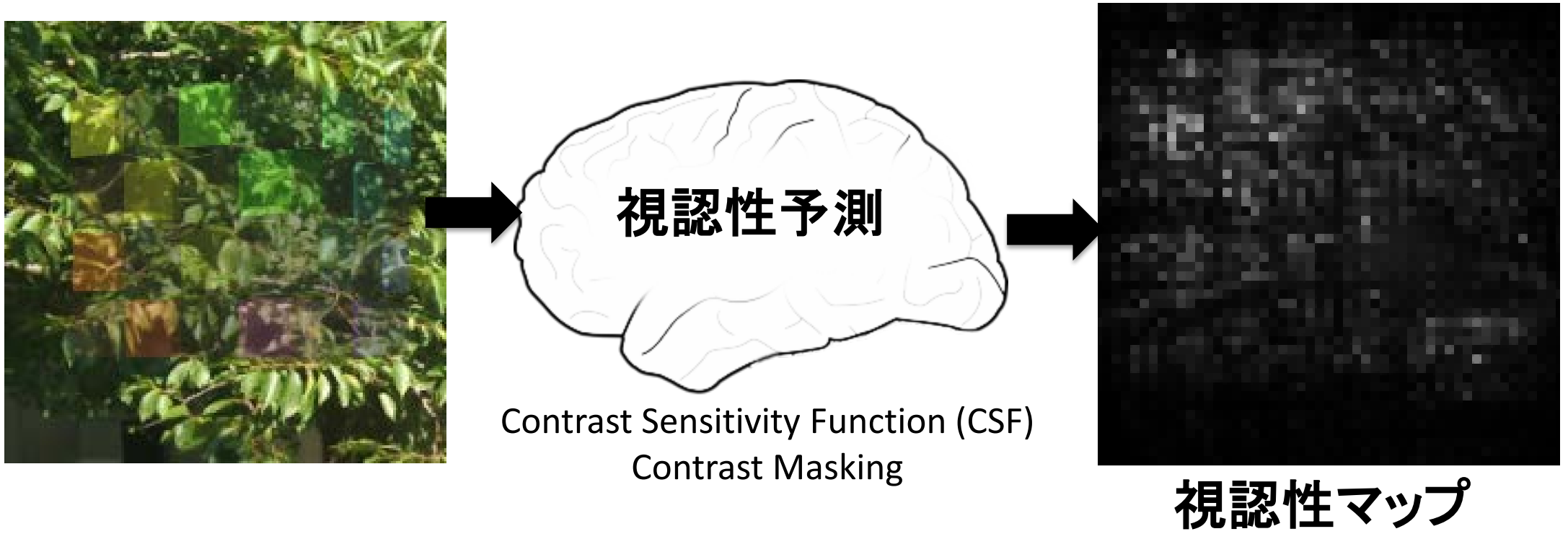


 CC BY-NC-ND

# 視認性に基づくブレンディング

[Fukiage et al. ISMAR 2014]

- 視覚システムに基づく視認性予測を用いた仮想物体の重畳

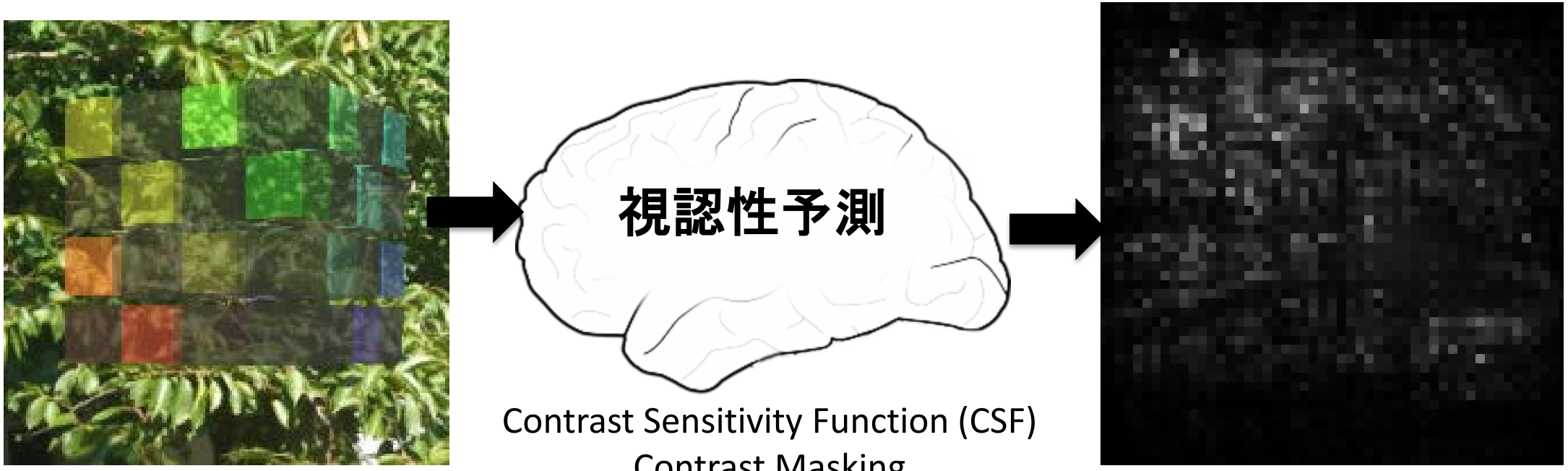



 CC BY-NC-ND

# 視認性に基づくブレンディング

[Fukiage et al. ISMAR 2014]

- 視覚システムに基づく視認性予測を用いた仮想物体の重畳




 CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



Alpha blending



Visibility-based blending

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 技術的課題

- 光学的整合性
  - 実世界と仮想世界の光源環境を一致させ、明るさや色を正しく表示する

- 幾何学的整合性
  - 実世界と仮想世界の位置関係を正しく表示する

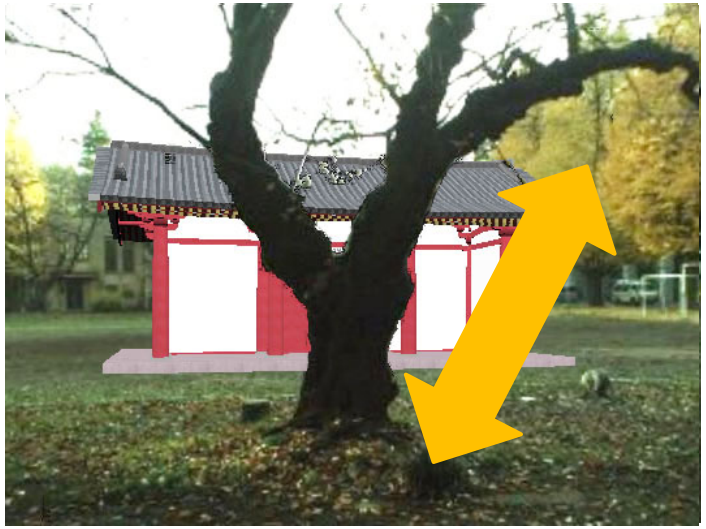
 CC BY-NC-ND

# 幾何学的整合性

- 位置合わせ(x-y):

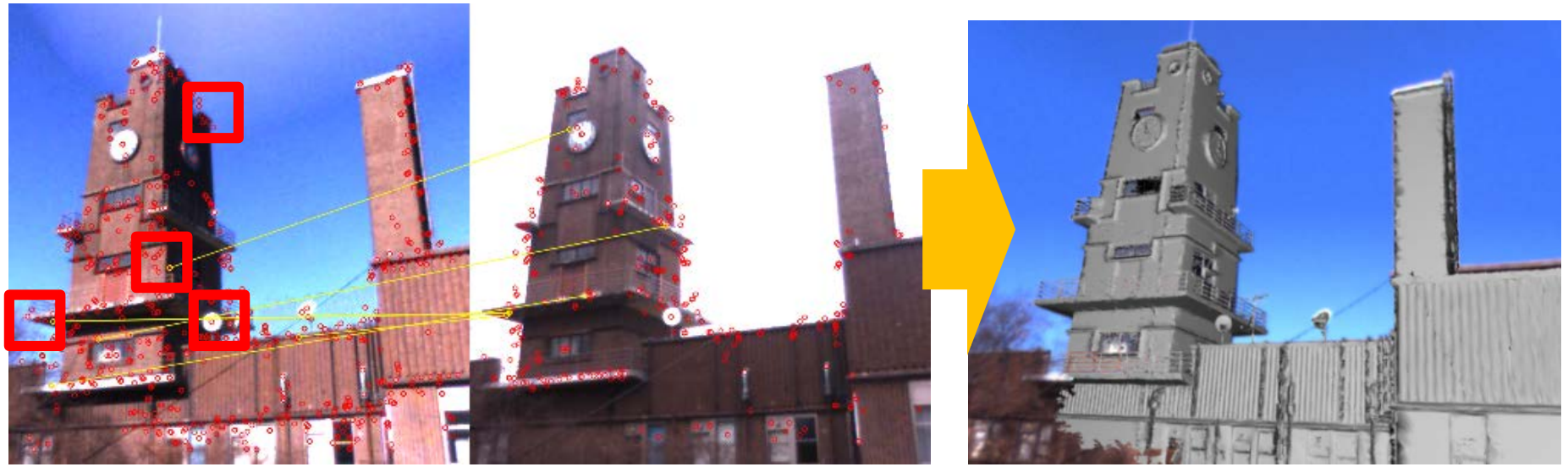


- 遮蔽処理(z):



 CC BY-NC-ND

# 位置合わせ処理



データベース
特徴量＋
3次元位置

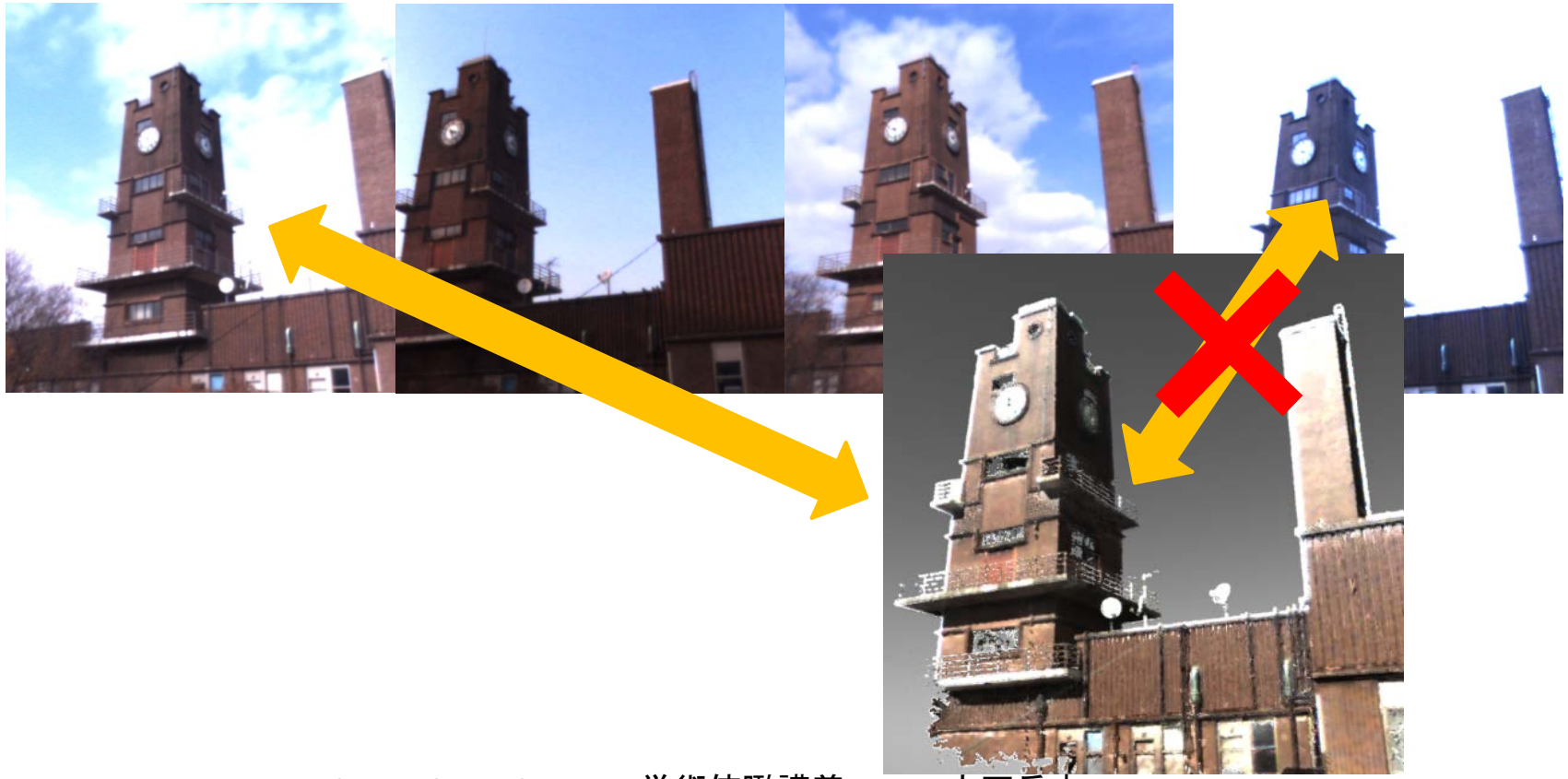
入力画像から
カメラの位置姿勢推定

仮想物体の重畳

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 問題点

- 屋外環境 -> 太陽の位置や天候の変化
  - 光源変化にロバストなマッチング手法



 CC BY-NC-ND

# 見えの再構成による位置合わせ




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# ローマ・アウグストゥス神殿




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



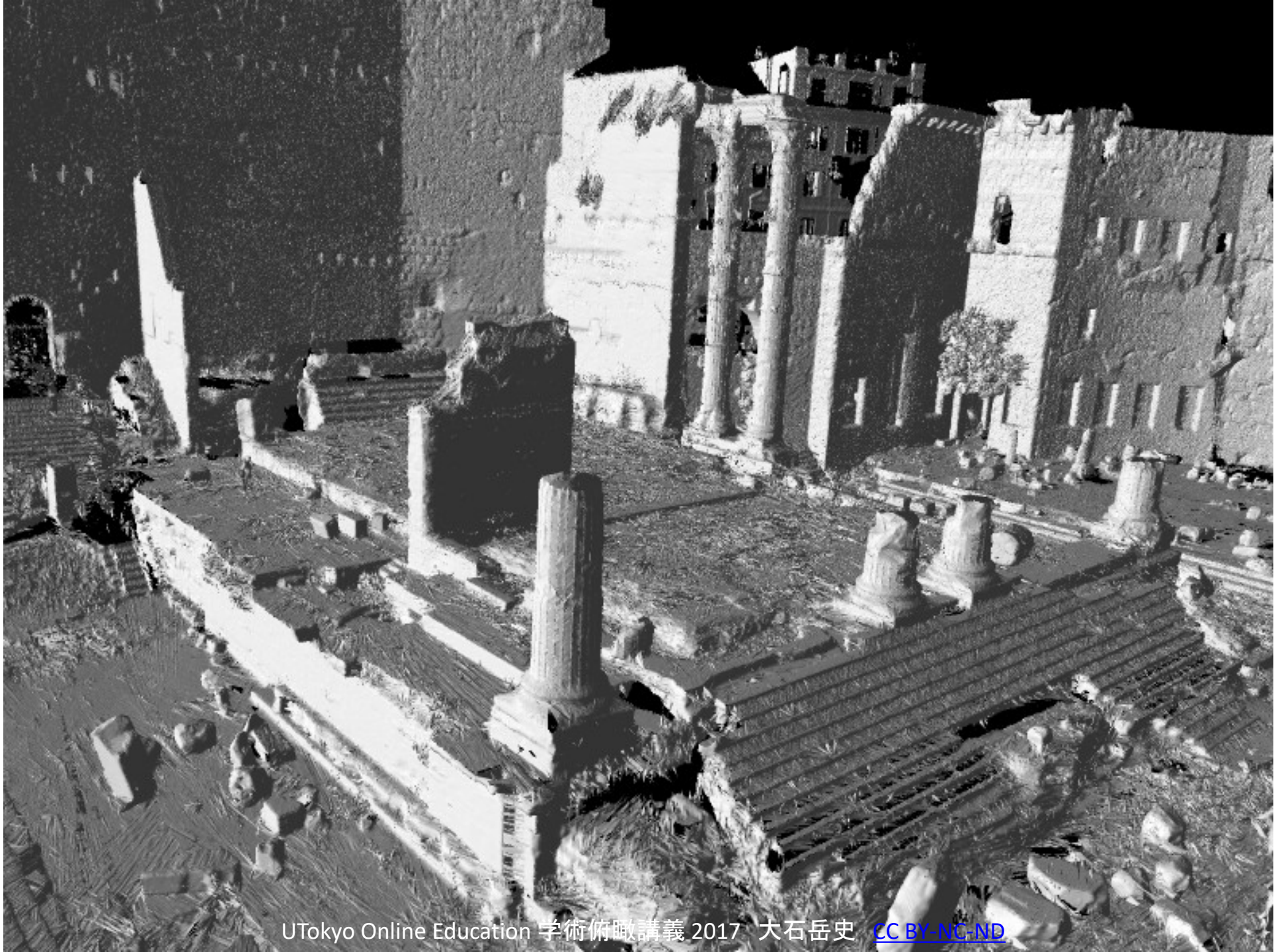
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

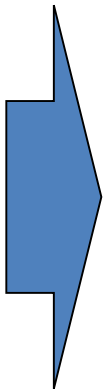



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 奥行き関係の一致（遮蔽処理）

- 奥行き方向に正しい順番で描画する





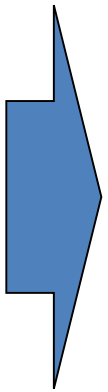


 CC BY-NC-ND

# 奥行き関係の一致（遮蔽処理）

- 奥行き方向に正しい順番で描画する







 CC BY-NC-ND

# 背景差分による前景抽出

光源情報による拘束なし



入力



光源情報による拘束あり





UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 光源不変量を用いた背景差分





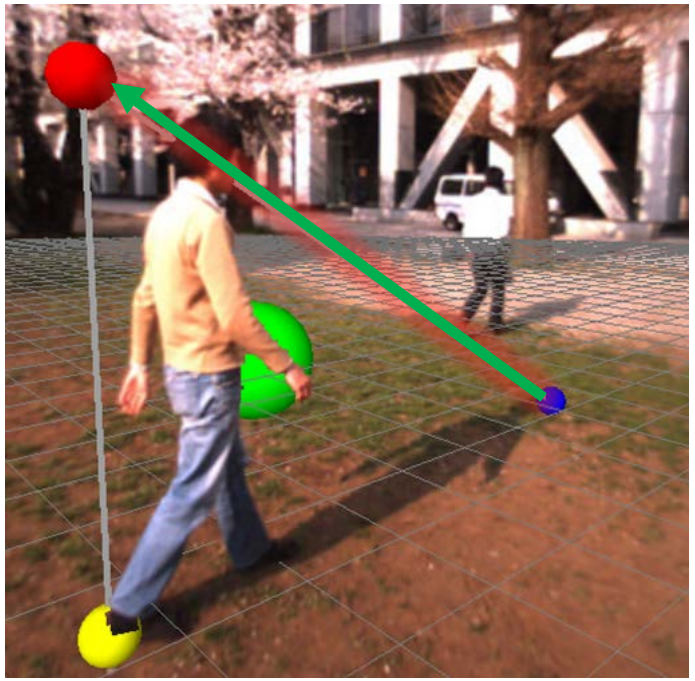




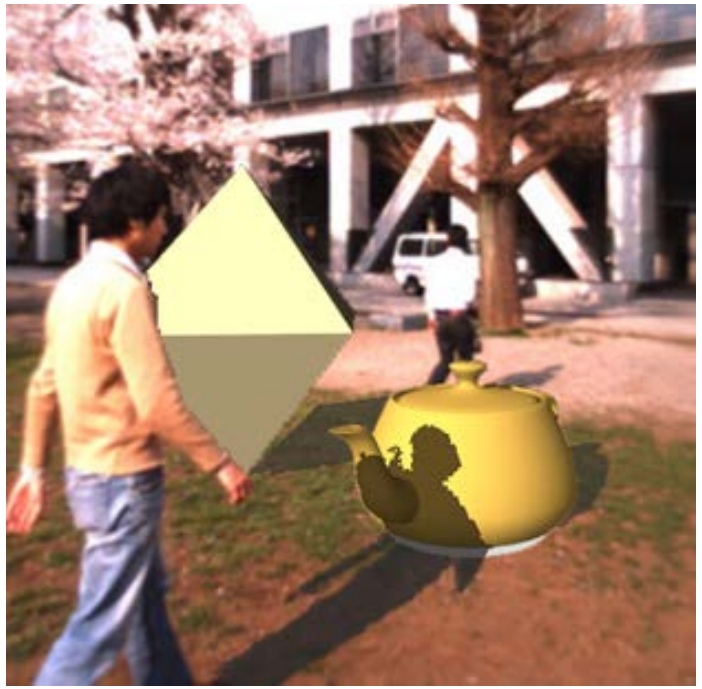
UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 影の再投影

- 投影された影から並行光源の方向を推定
- 仮想物体に影を再投影



光源方向の推定



影の再投影

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



[Vinh et al. ISMAR 2010]

 CC BY-NC-ND

# 知覚モデルを用いた遮蔽処理

- 奥行知覚が正しくなるように現実風景とブレンディング



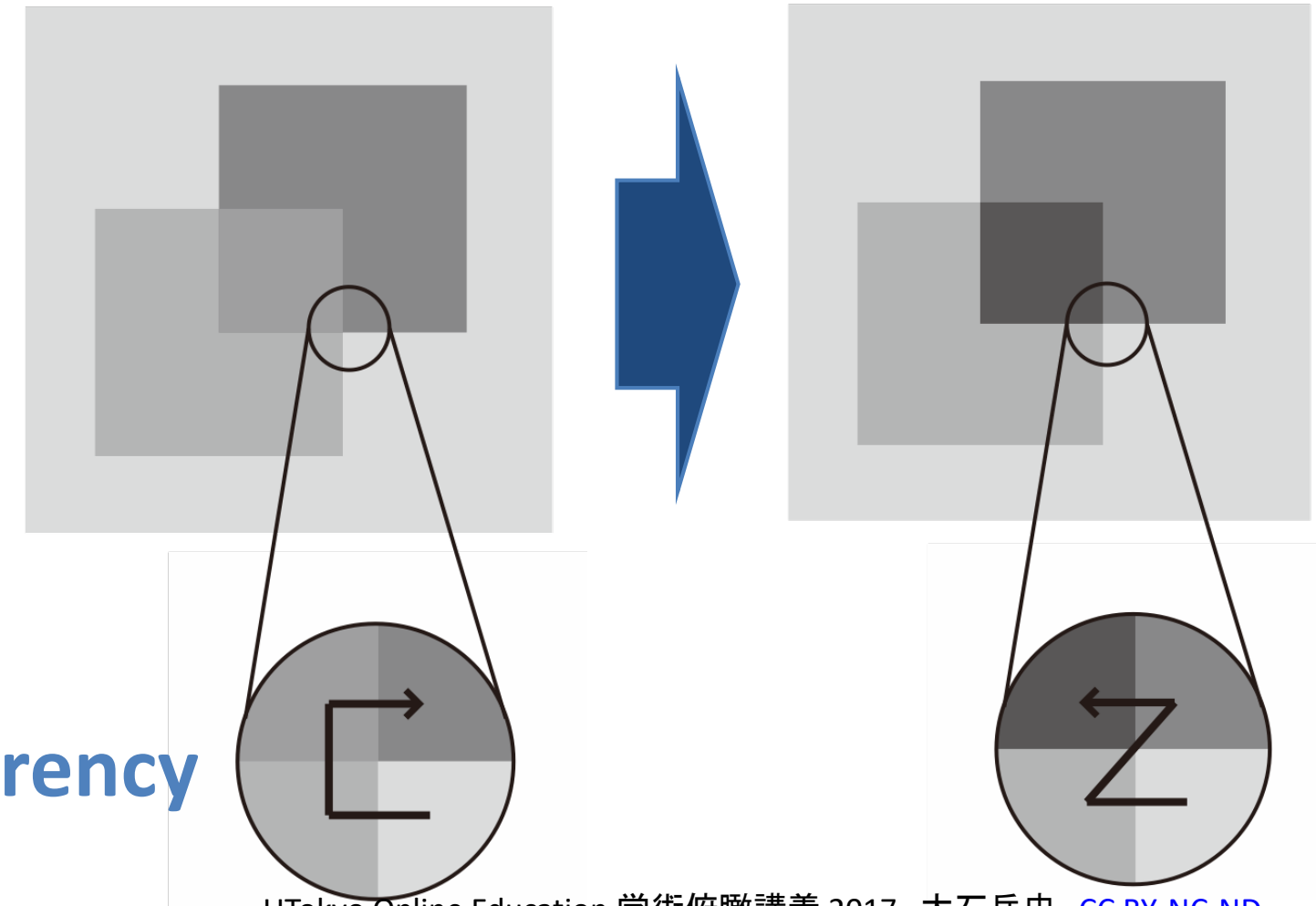


 CC BY-NC-ND

# X-Junction model

Beck, J., & Ivry, R. (1988). On the role of figural organization in perceptual transparency. Perception and Psychophysics, 44, 585–594.
[Adelson & Anandan (1990)]
[Anderson (1997)]

- X-Junction周りの明るさのパターンが透明視知覚を決定



**Unique transparency**

**Bistable transparency**

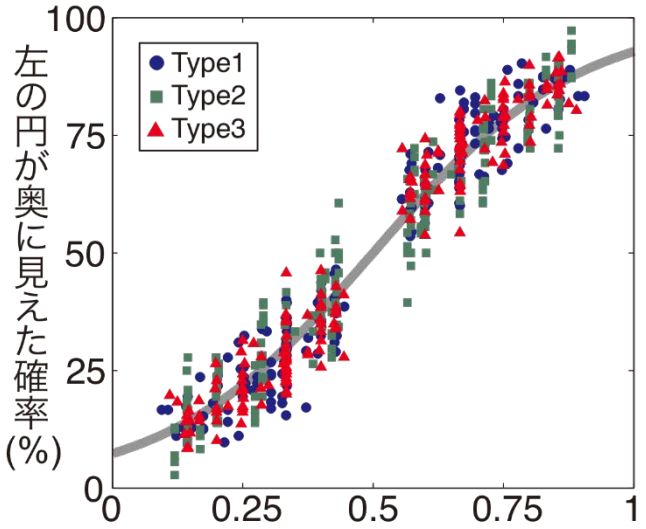
 CC BY-NC-ND

# 知覚のモデル化

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました

bistable transparencyの図
Taiki Fukiage; Takeshi Oishi; Katsushi Ikeuchi
"A simple photometric factor in perceived depth order of bistable transparency patterns"
Journal of Vision (2014) 14(5):2, 1–27
http://jov.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2121621
p. 4 Figure 4. Three types of bistable transparency patterns.

$$\frac{|p-q|}{|p-q|+|b-q|}$$




## Multiplicative blending

$$I = \lambda I_v I_r + (1-\lambda) I_r$$

## Inversed multiplicative blending

$$I = \lambda\{1-(1-I_v)(1-I_r)\} + (1-\lambda) I_r$$

$\lambda$=0.9



[Fukiage et al. JV 2014]

 CC BY-NC-ND

# Experimental result





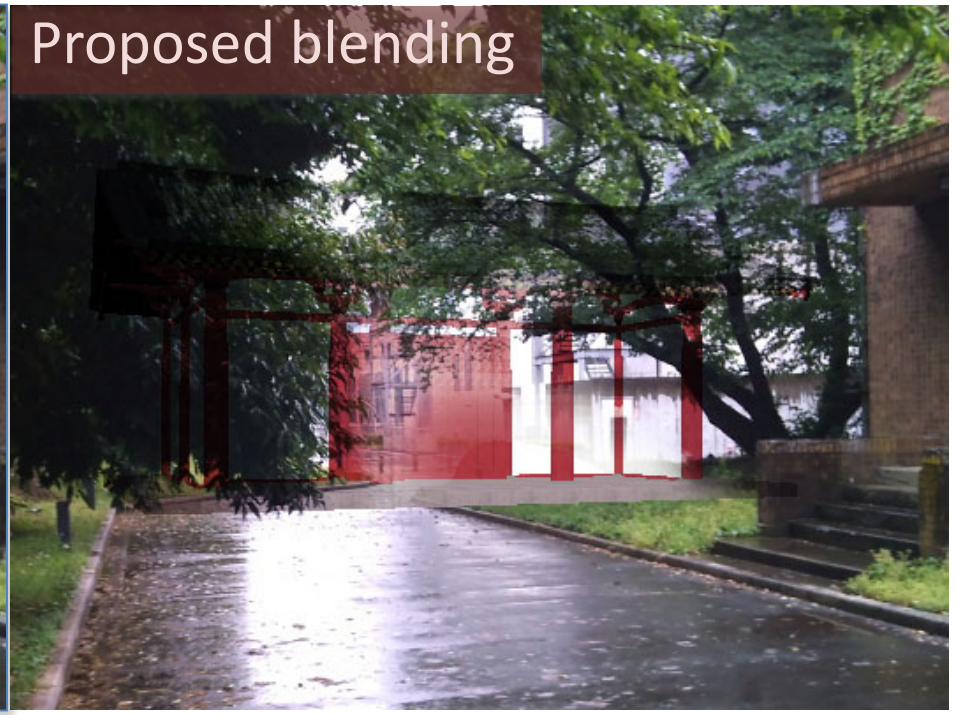


UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND





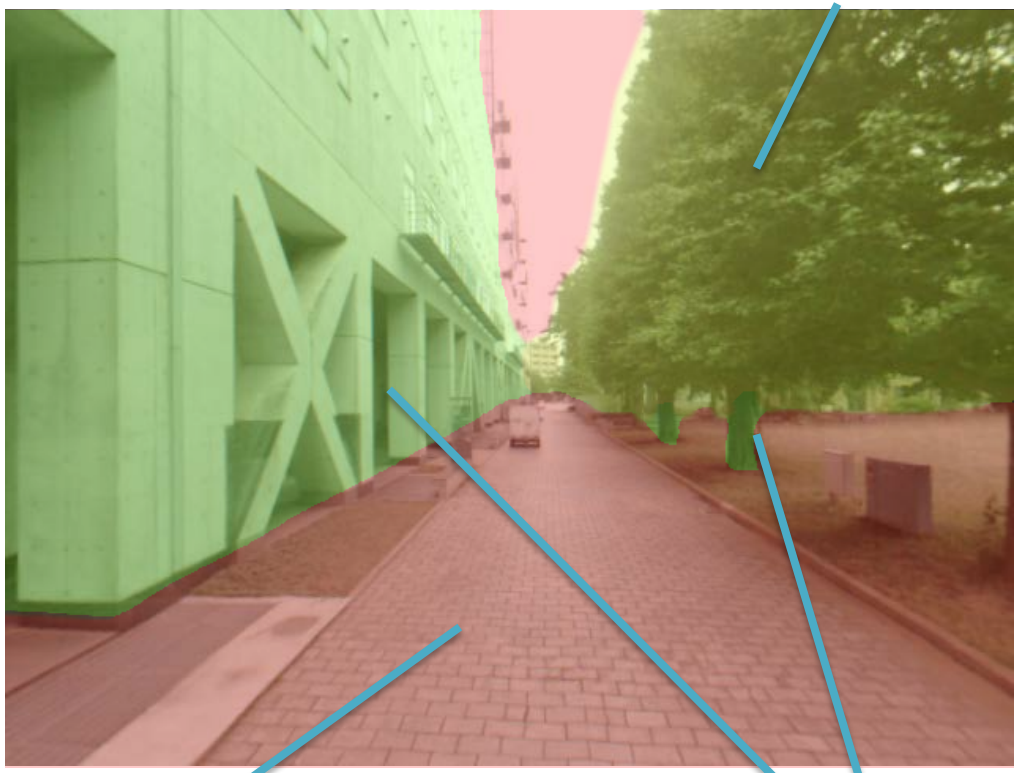



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史 CC BY-NC-ND

# セマンティック情報を利用した遮蔽処理

木の葉: 半透明

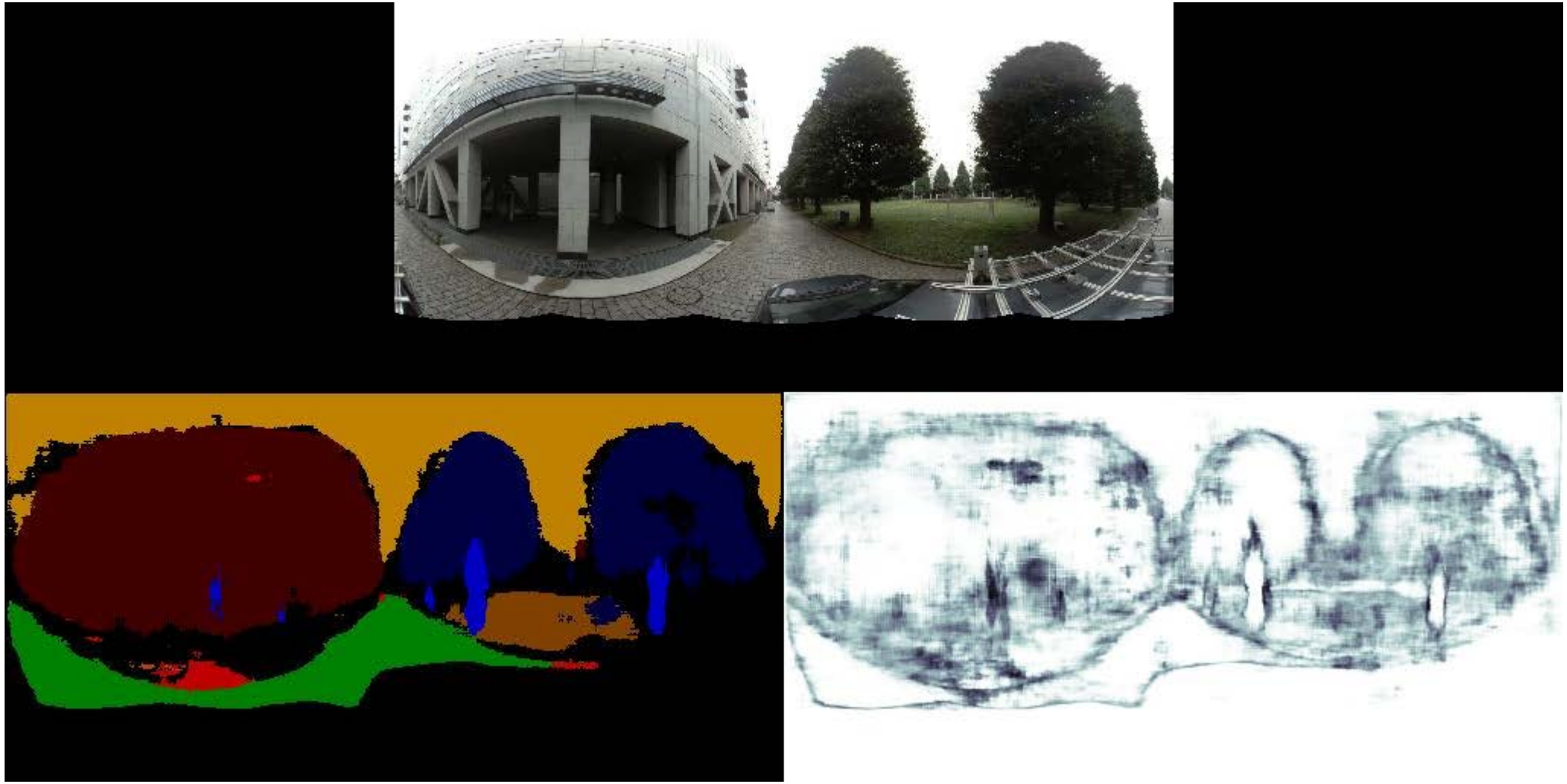




地面、空: 背景

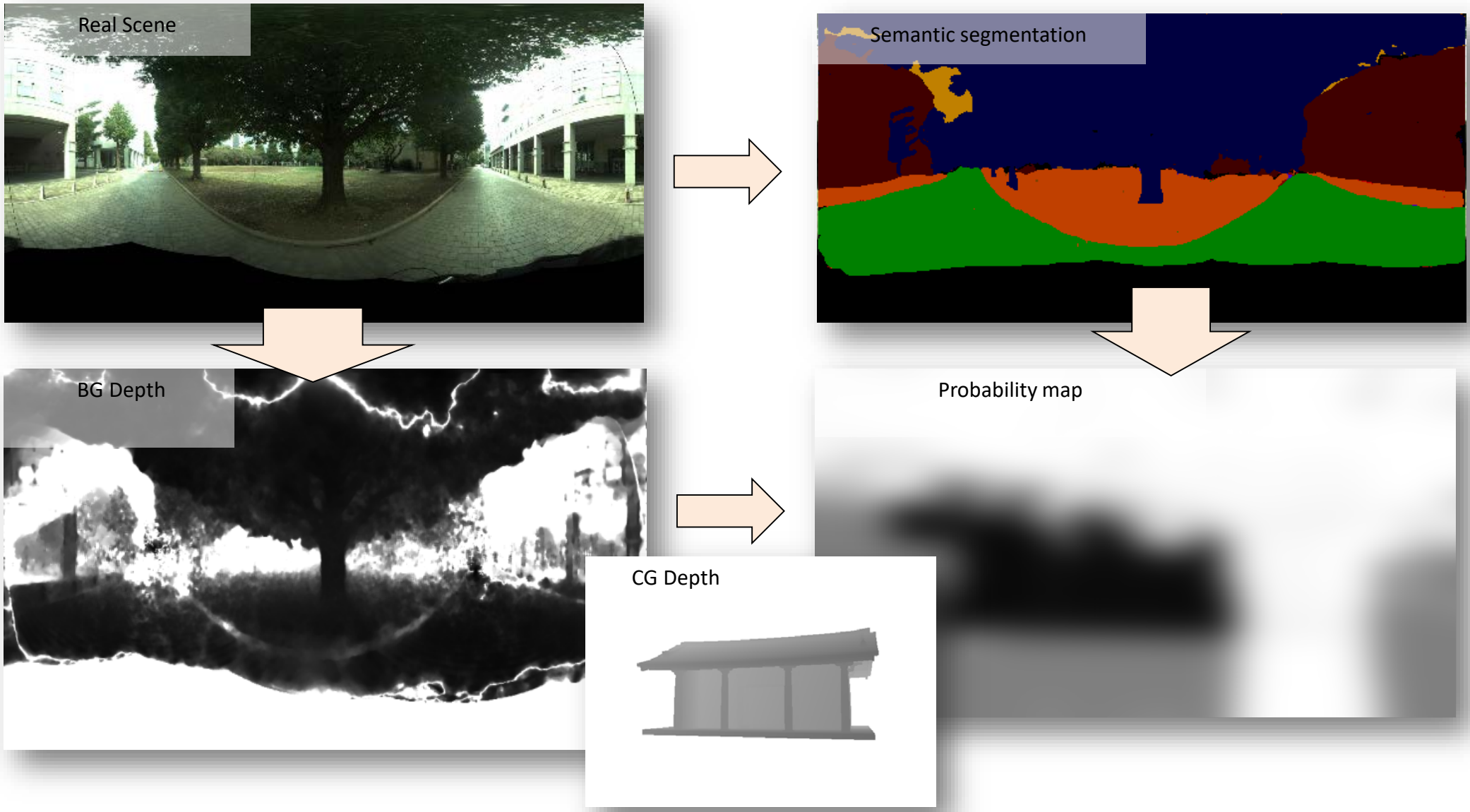
建物、木の幹: 遮蔽物体

 CC BY-NC-ND



 CC BY-NC-ND

# 遮蔽処理概要




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



 CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# MRモビリティシステム

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

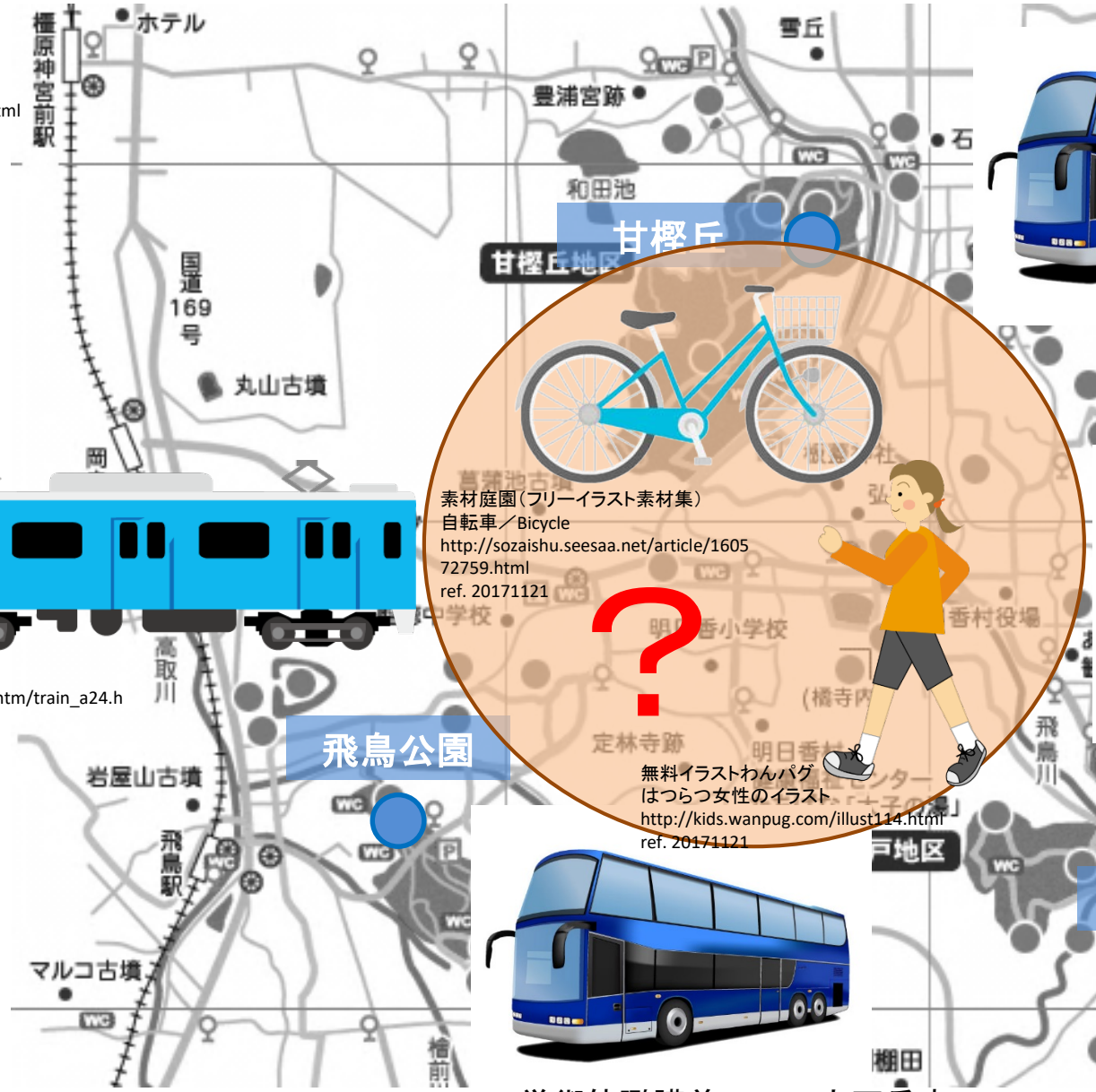
# 広域空間の再現



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 遺跡地域の交通

国営飛鳥歴史公園
飛鳥マップ
みどころ紹介マップ
https://www.asuka-park.go.jp/map/index.html
ref. 20171121






イラストポップ
列車24
https://illpop.com/png_carhtm/train_a24.htm
ref. 20171121



素材庭園（フリーイラスト素材集）
自転車／Bicycle
http://sozaishu.seesaa.net/article/160572759.html
ref. 20171121

無料イラストわんパグ
はつらつ女性のイラスト
http://kids.wanpug.com/illust114.html
ref. 20171121





Pngtree
10 Bus Elements
Blue bus elements Free PNG
https://pngtree.com/freepng/blue-bus-elements_685087.html
ref. 20171121



 CC BY-NC-ND

# VR＋ウォーキングツアー





UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# VR＋PMV（Personal Mobility Vehicle）ツアー





 CC BY-NC-ND

# MRモビリティシステム

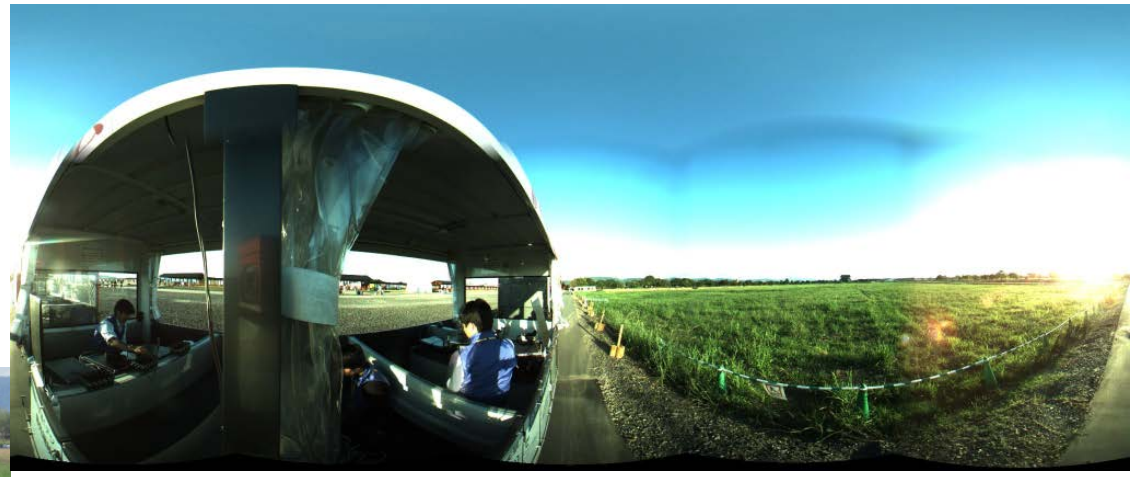





UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 全方位カメラによる背景取得







UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

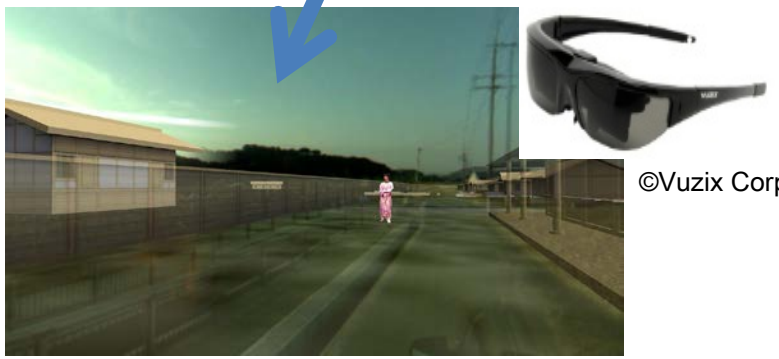
# 全方位カメラによる背景取得



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# ユーザごとの画像の切り出し







©Vuzix Corporation





©Vuzix Corporation

 CC BY-NC-ND

# 自己位置姿勢推定



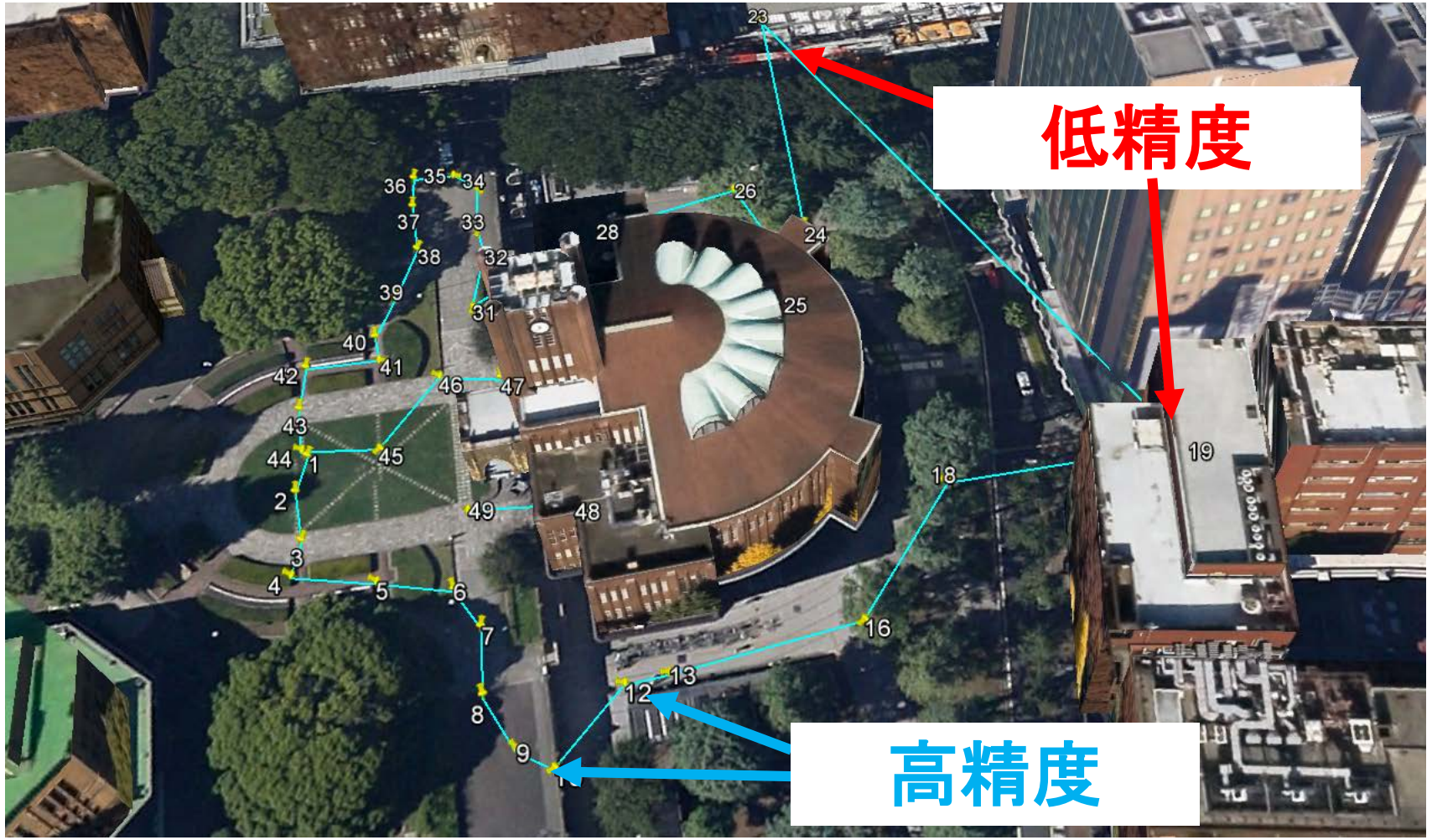




(c)OpenStreetMap contributors

 CC BY-NC-ND

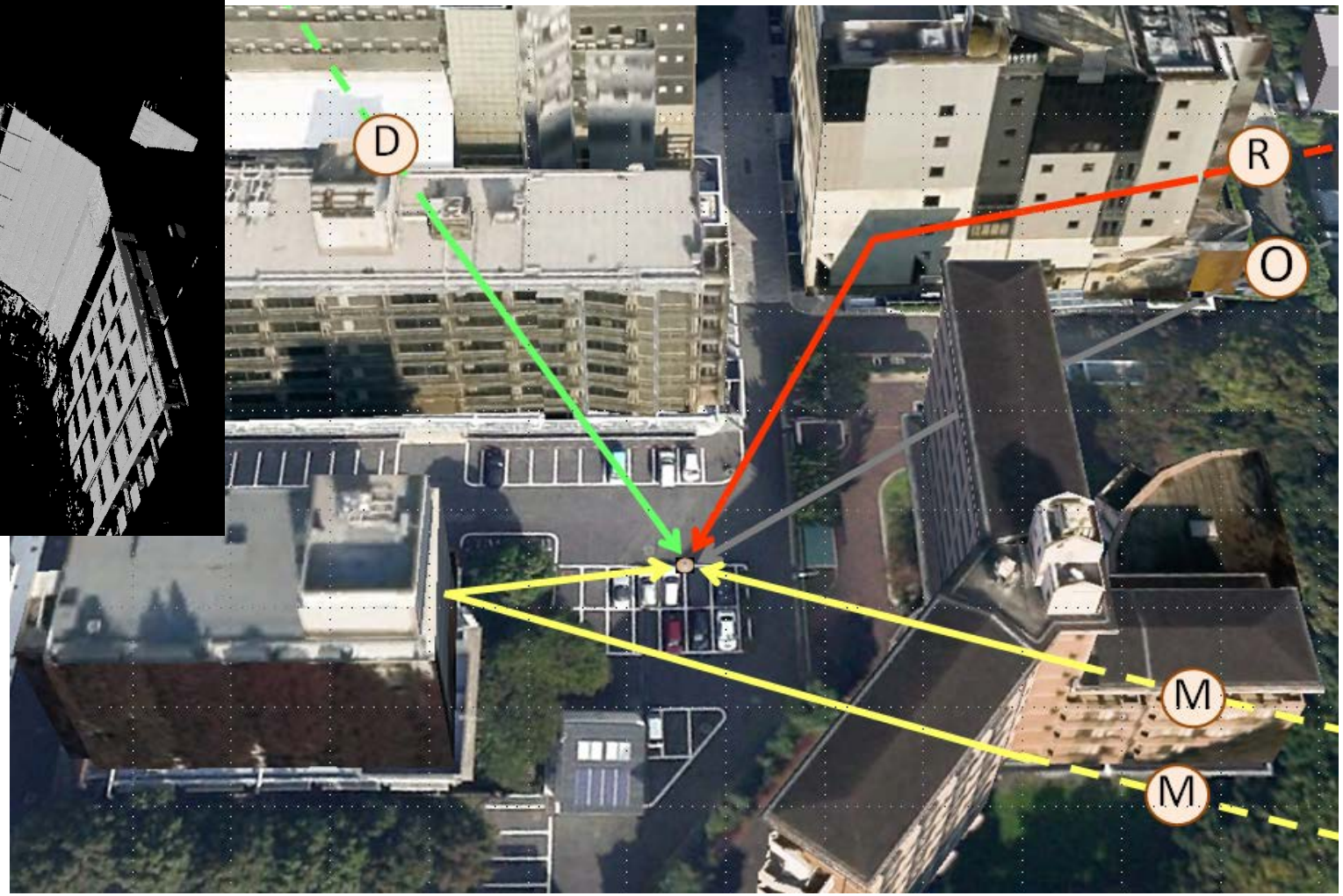
# 都市空間におけるGPS測位




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 3次元データを利用した測位高精度化

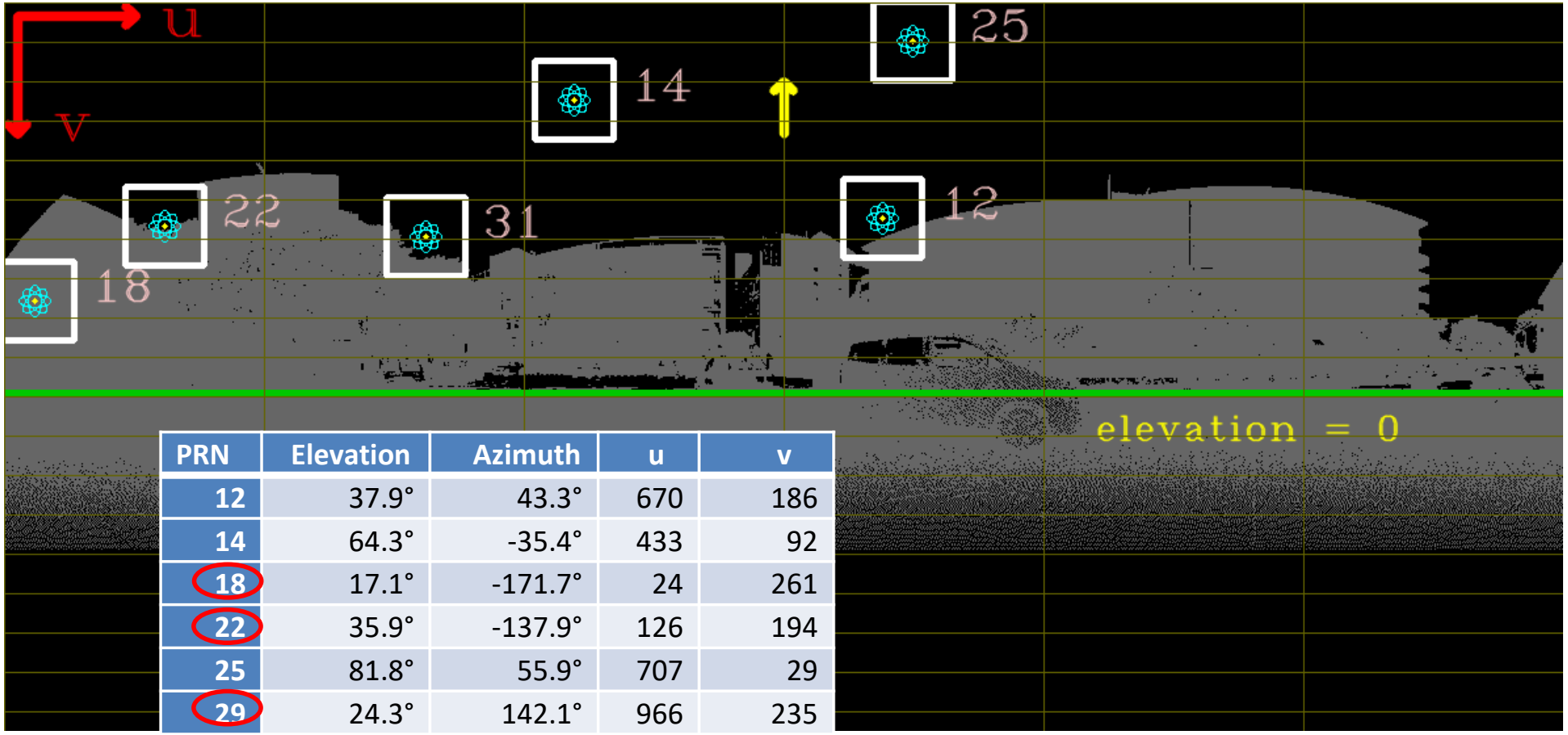





マルチパスを考慮

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 不可視衛星の検出



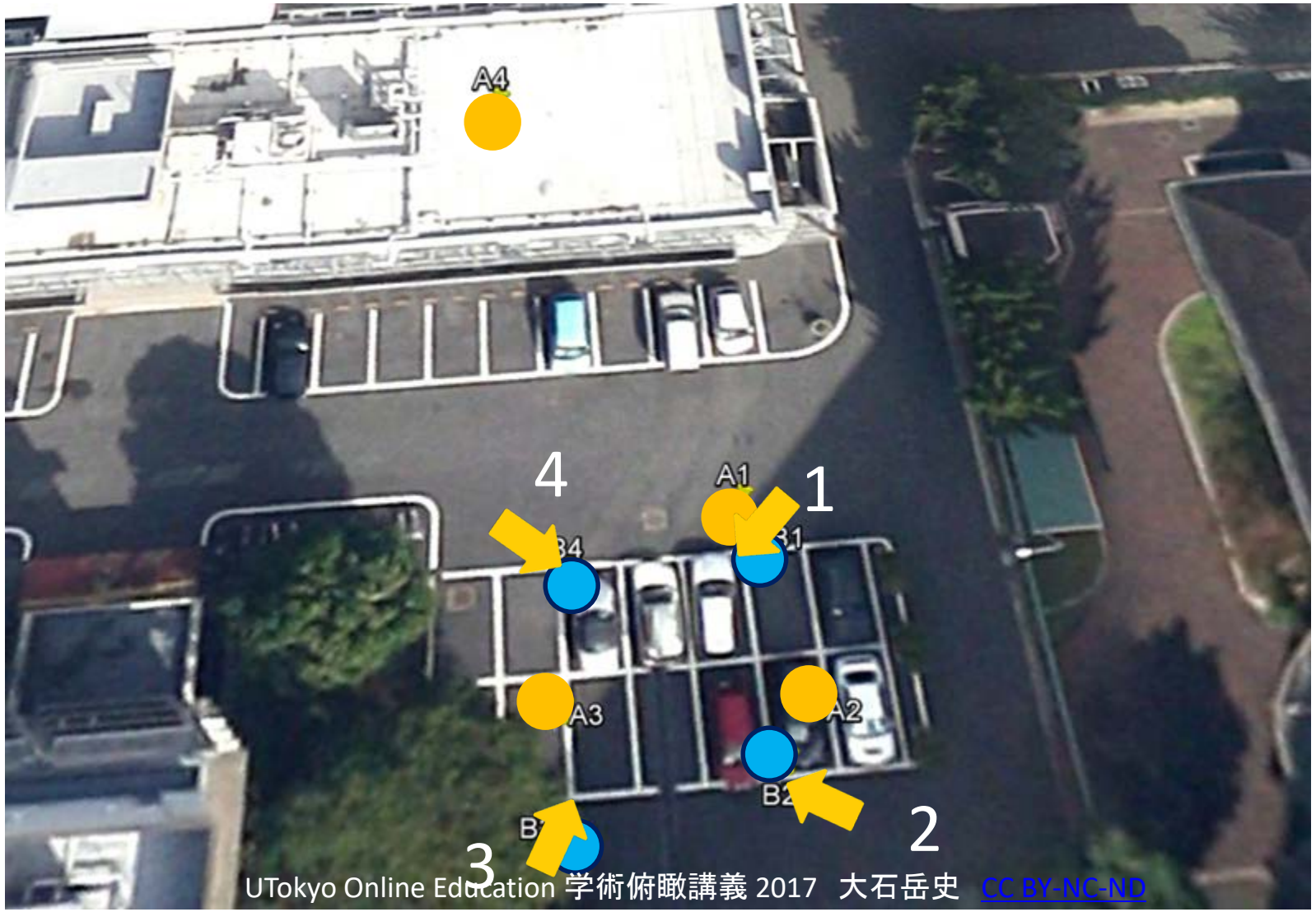

| PRN | Elevation | Azimuth | u | v |
|---|---|---|---|---|
| 12 | 37.9° | 43.3° | 670 | 186 |
| 14 | 64.3° | -35.4° | 433 | 92 |
| 18 | 17.1° | -171.7° | 24 | 261 |
| 22 | 35.9° | -137.9° | 126 | 194 |
| 25 | 81.8° | 55.9° | 707 | 29 |
| 29 | 24.3° | 142.1° | 966 | 235 |
| 31 | 31.3° | -74.15° | 317 | 210 |

 CC BY-NC-ND

# 推定結果

A – obtained directly from GPS receiver

B - calculated after removing hidden satellites

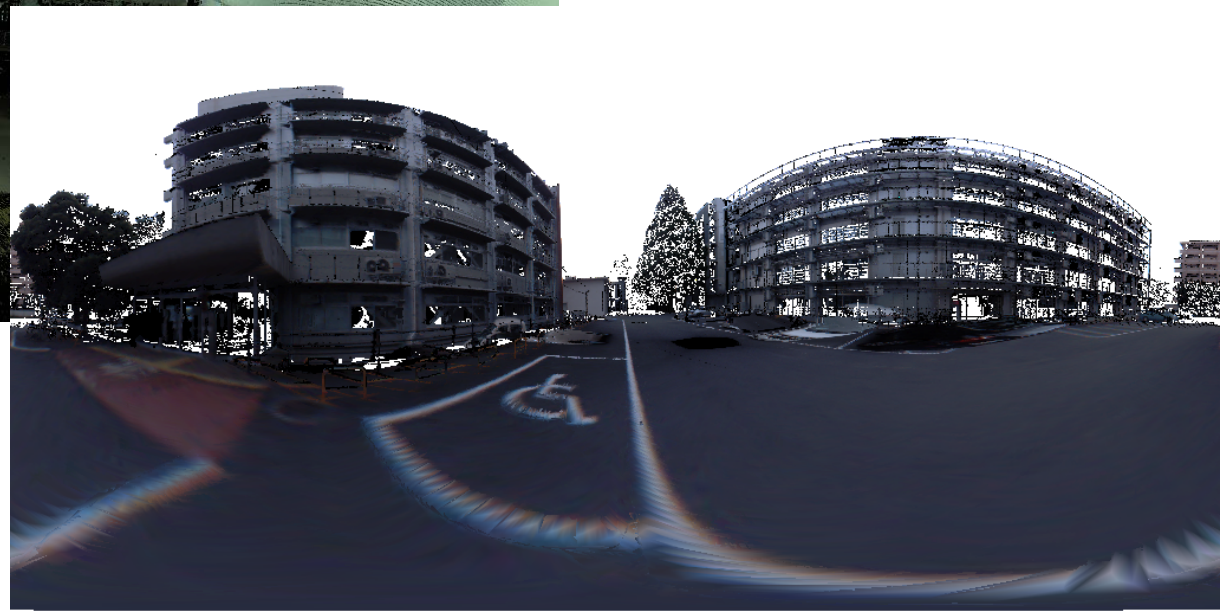



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 3次元データとカメラ画像による位置姿勢推定



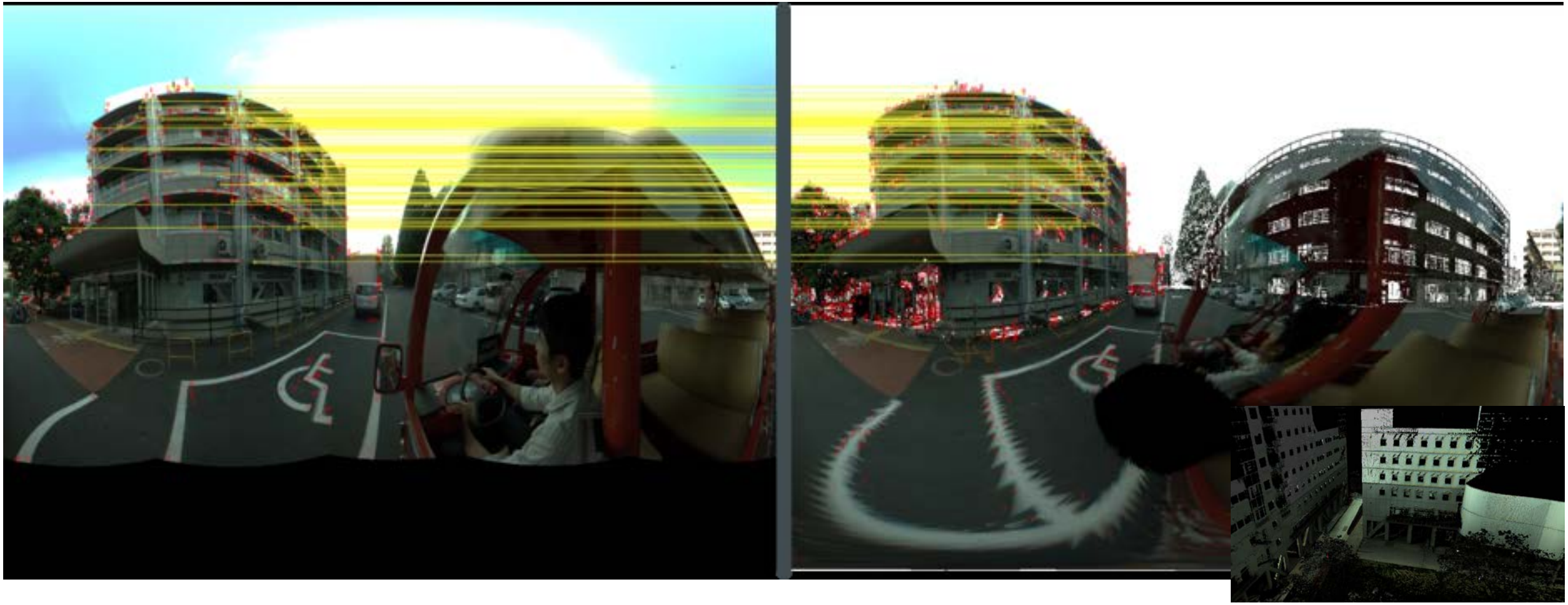
3次元データ



パノラマレンダリング画像

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

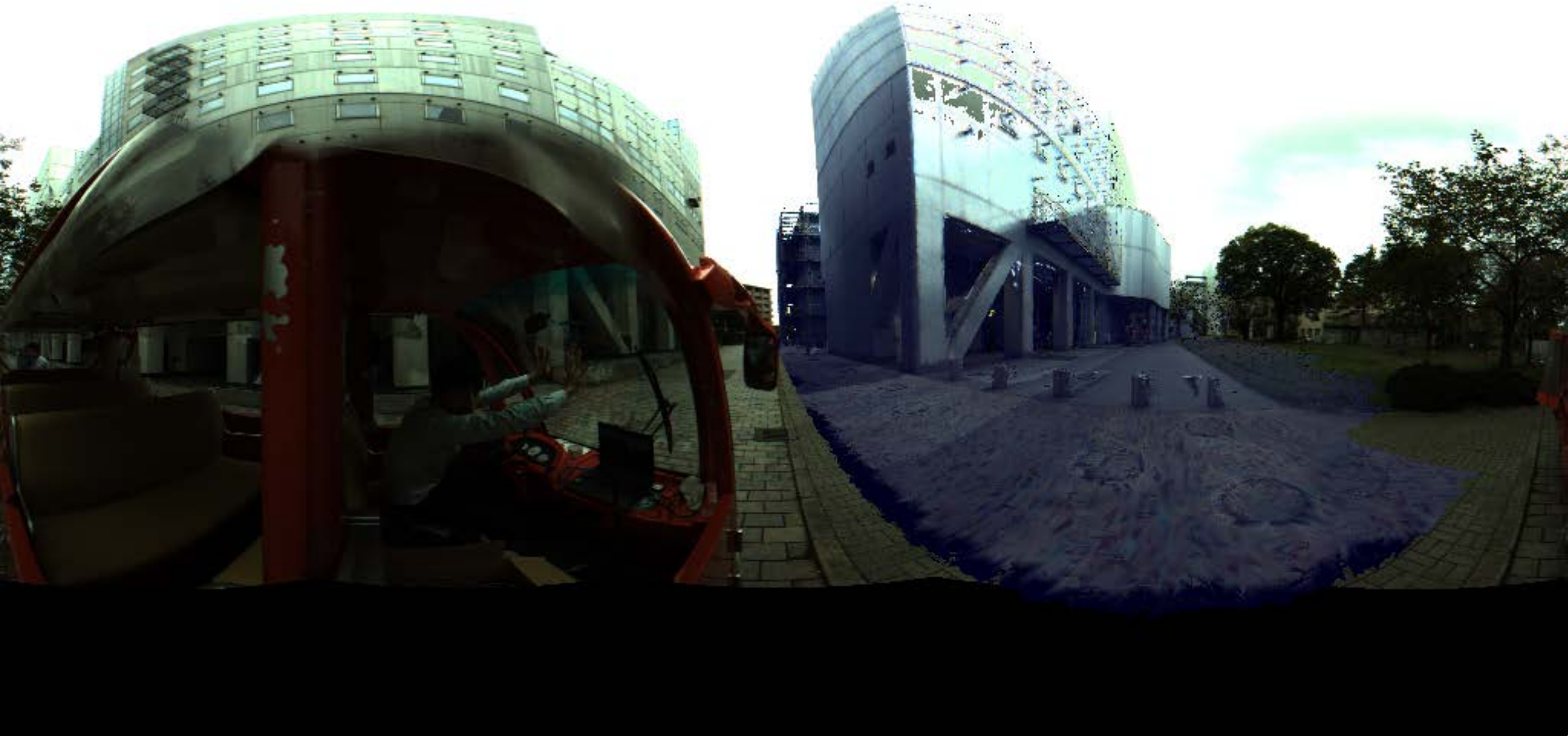
# カメラ画像とレンダリング画像のマッチング



 CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# インタラクティブコンテンツ

- 当時の生活や歴史上のできごとを再現



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 人物モデルの作成

- 再現衣装を着用して撮影



平城衛士撮影@平城旧跡

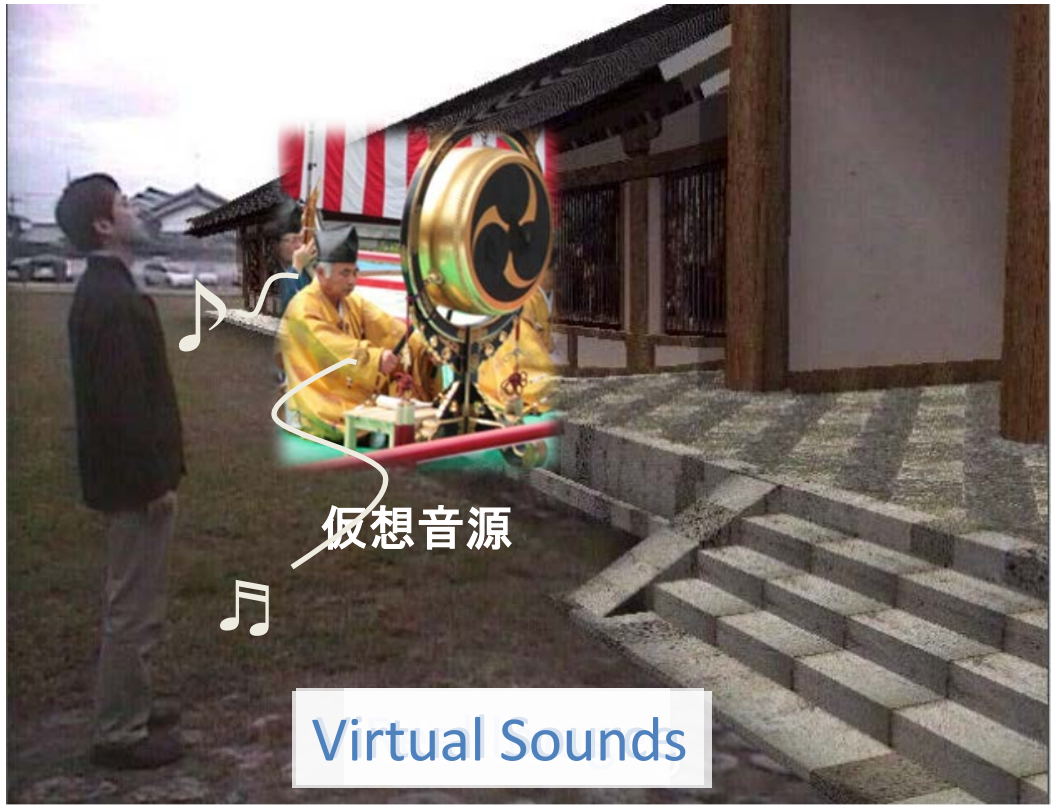


平城役人撮影@奈文研

 CC BY-NC-ND

# MR 音響再現システム

- 音声を実世界の環境と仮想世界の環境に整合性を持たせて再生する




原風景

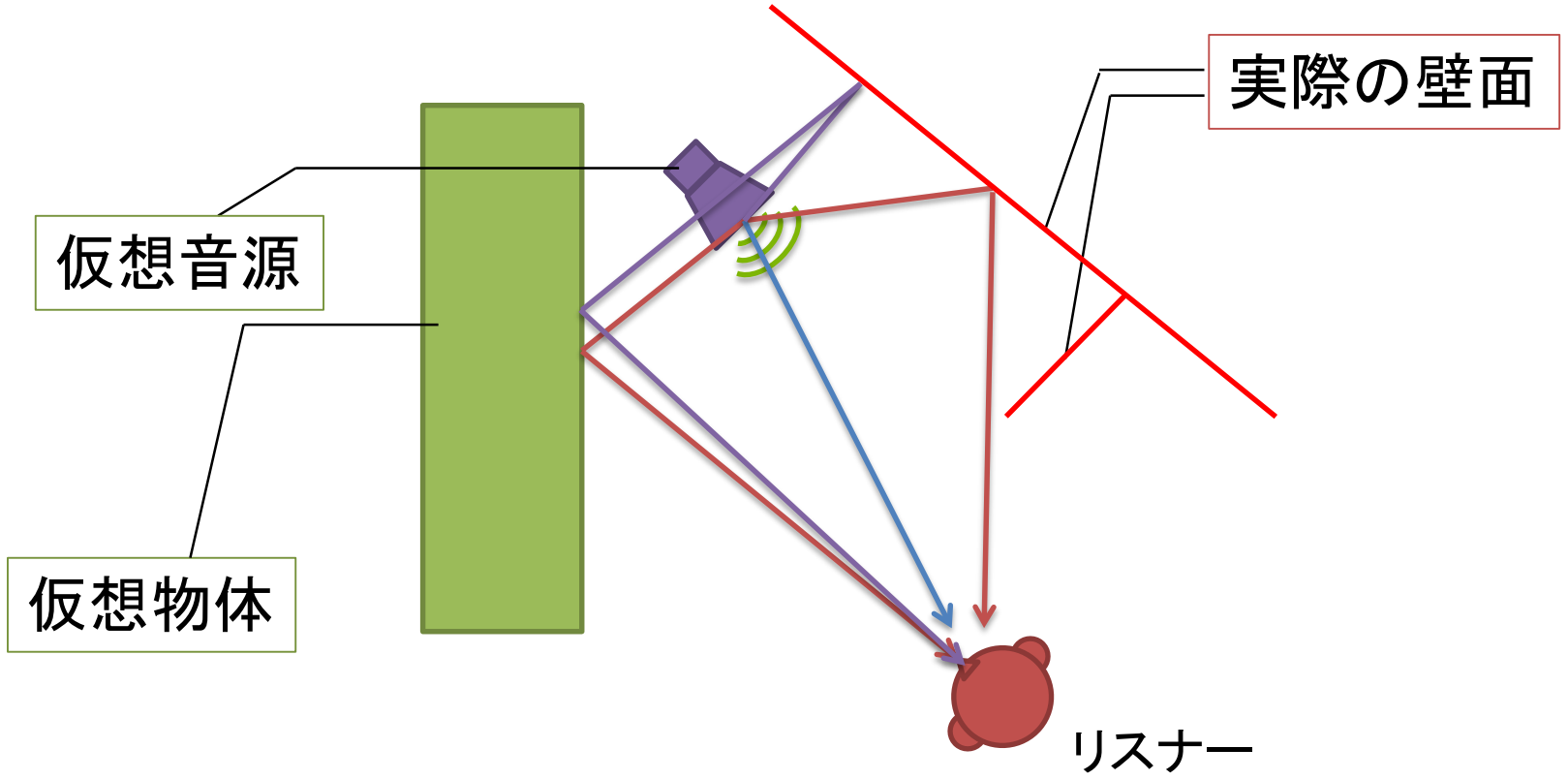
仮想音源の配置

ユーザー位置姿勢に
応じた音響効果

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 音響空間への仮想物体の重畳

- 仮想空間内にすべての情報を整合性を持たせて配置

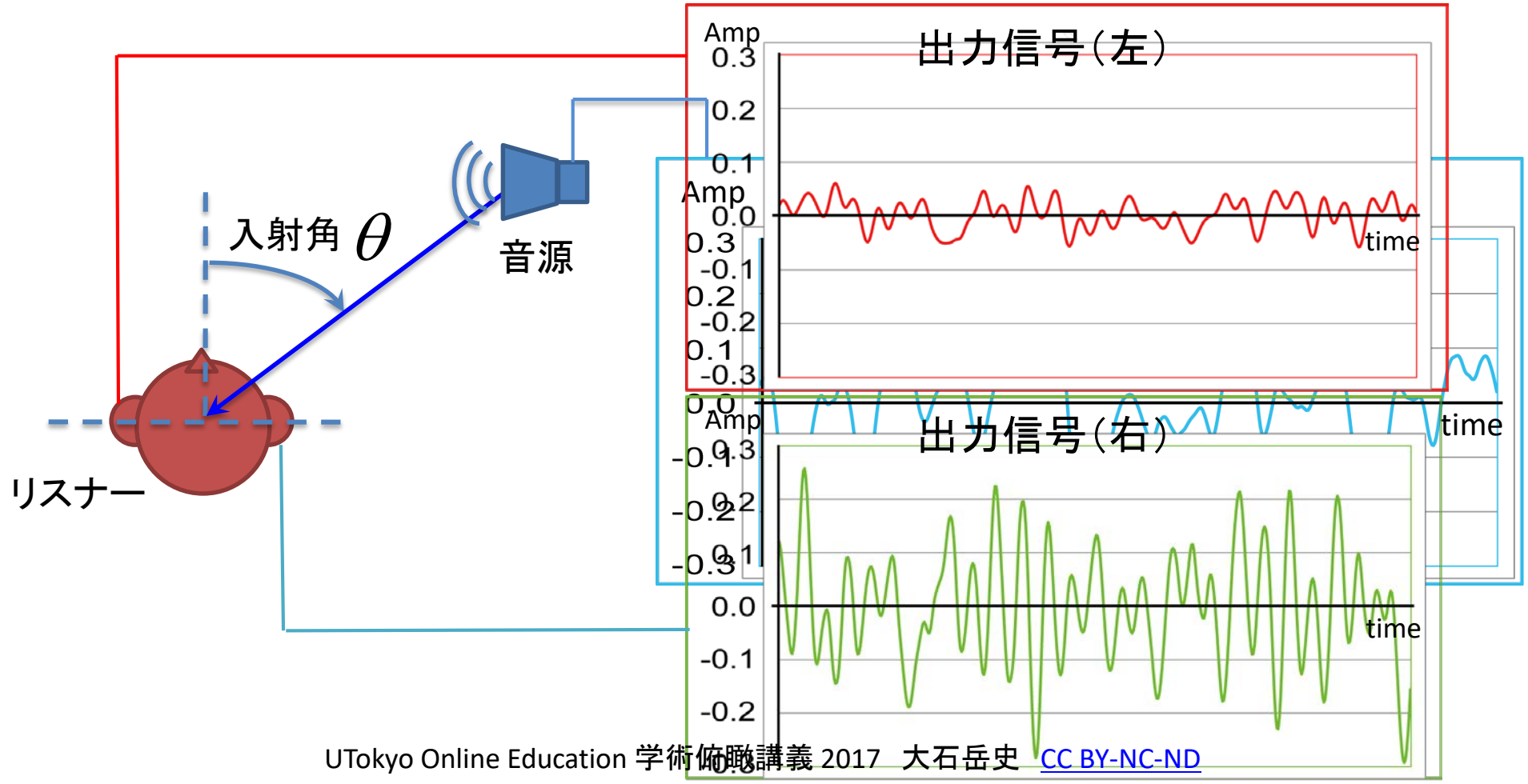



 CC BY-NC-ND

# リスナー近傍での音の伝搬

- 入射角に応じた応答信号の変化

＝頭部伝達関数




 CC BY-NC-ND

# 機器装着の様子

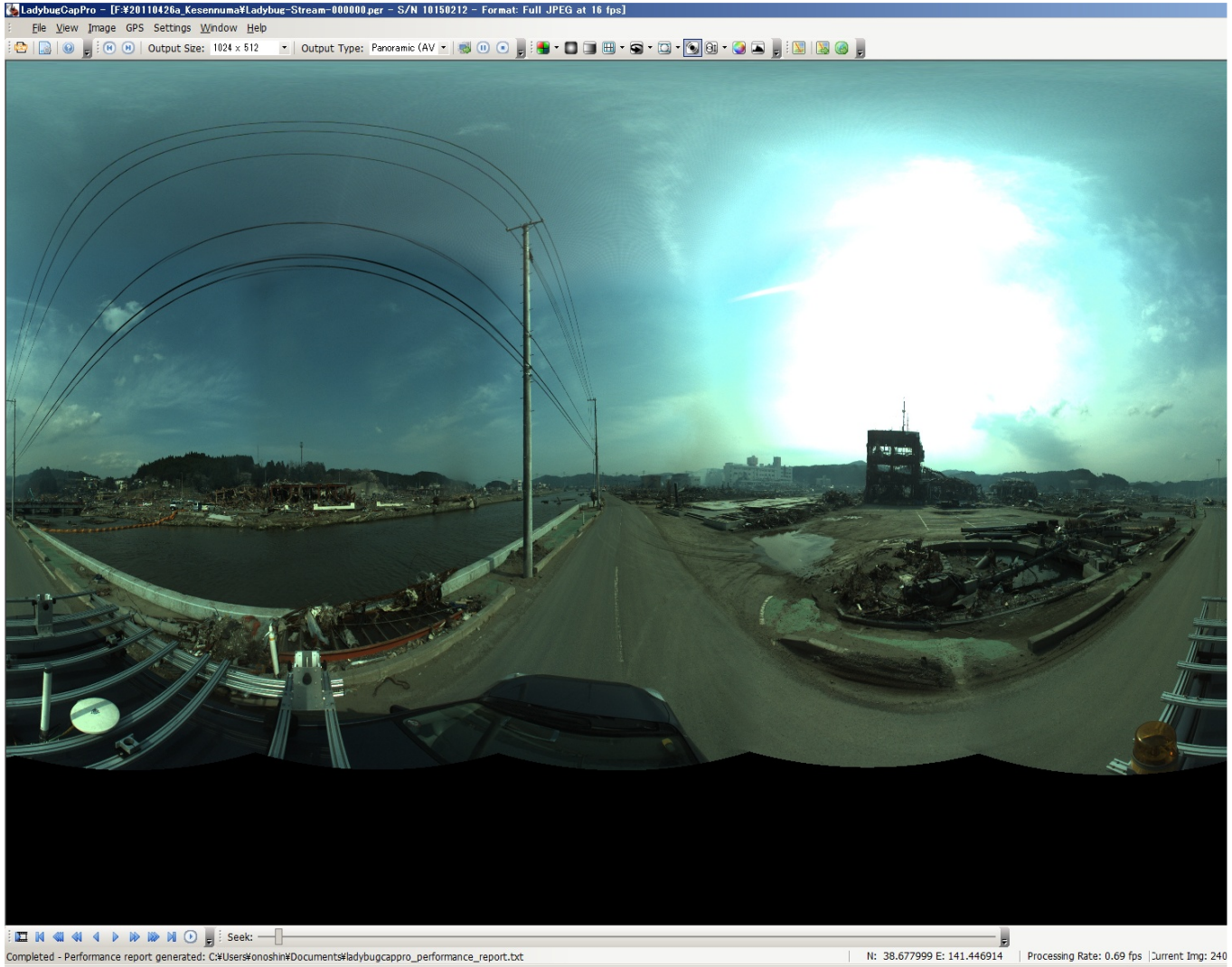



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 震災教育コンテンツ




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND

# 震災アーカイブ（3D）







岩手県大槌町旧町役場

UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND



 CC BY-NC-ND

# 震災教育：写真による街並みの再現



国土地理院
https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html
岩手県大槌町

 CC BY-NC-ND

# 震災教育：写真による街並みの再現











国土地理院
https://maps.gsi.go.jp/development/ichiran.html
岩手県大槌町

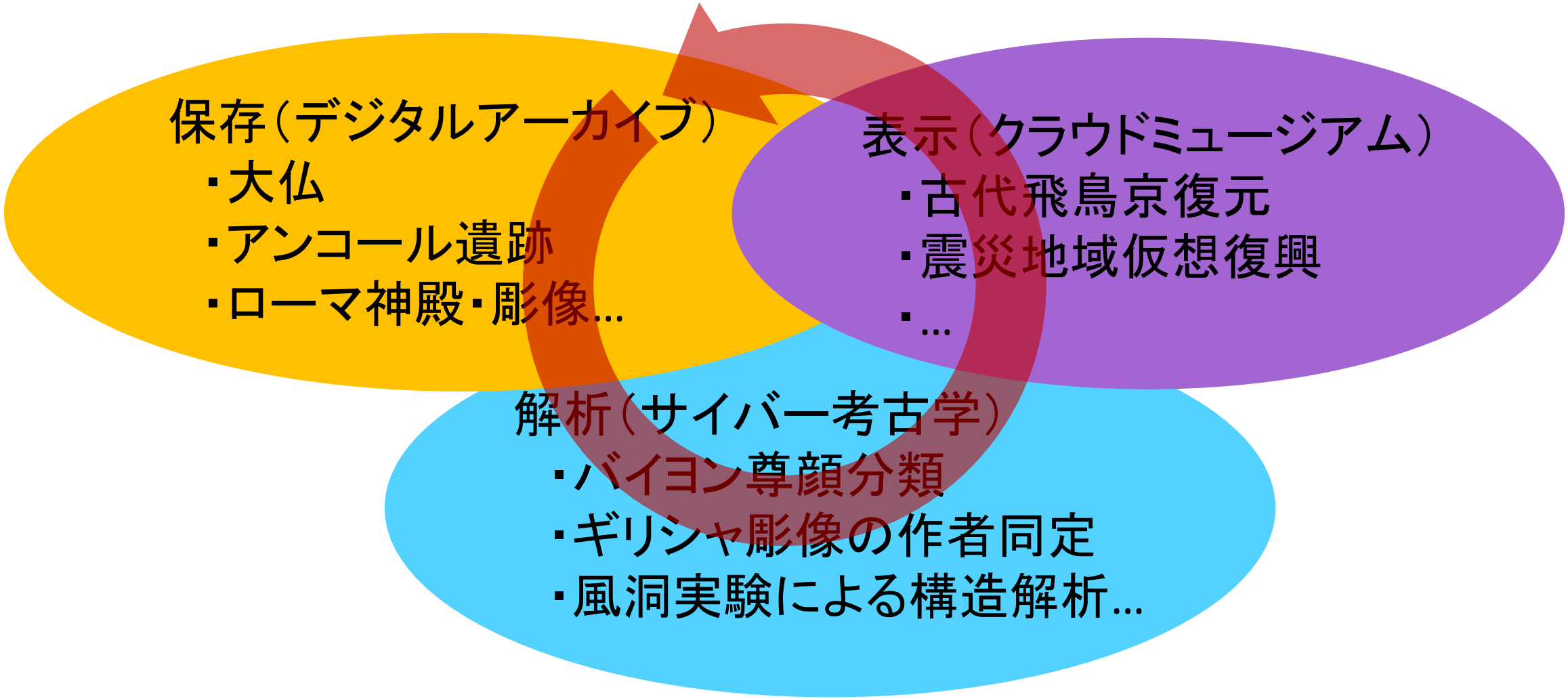
 CC BY-NC-ND

著作権等の都合により、
ここに挿入されていた画像を削除しました

テレビ番組の動画
TBS『夢の扉』“技術のチカラで被災地に笑顔を届けたい”
東日本大震災から4年・・・私たちはあの日を忘れない
http://www.tbs.co.jp/yumetobi-plus/backnumber/20150308.html

 CC BY-NC-ND

# 3D e-Heritage




UTokyo Online Education 学術俯瞰講義 2017　大石岳史　CC BY-NC-ND