



確率的ノイズ透明化と輝度調整を用いた 大規模3次元計測点群の高品質透視可視化

第47回 可視化情報シンポジウム
2019/7/26 (金)

内田 知将 * (立命館大学)
長谷川 恭子 (立命館大学)
李 亮 (立命館大学)
田中 覚 (立命館大学)

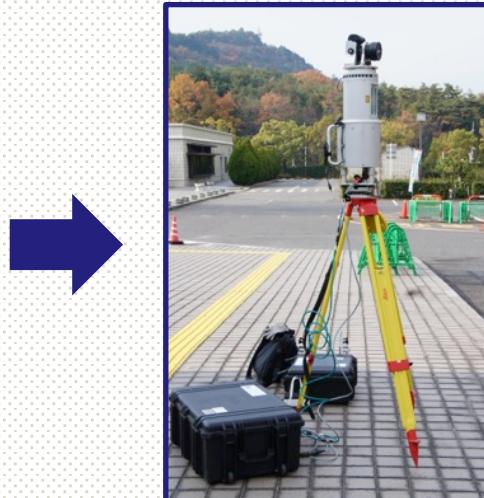
研究背景 (1/4)

□ 3次元計測技術の発展

- **複雑な立体構造**を有する対象を、精密に記録可能となつた
- 計測データは、数千万～数十億点の**大規模点群**
- **デジタルアーカイブ**が世界中で行われている



計測対象



レーザ計測



3次元計測点群

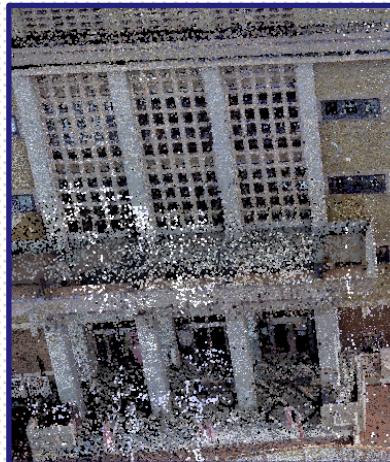
研究背景 (2/4)

□ 計測点群の問題点

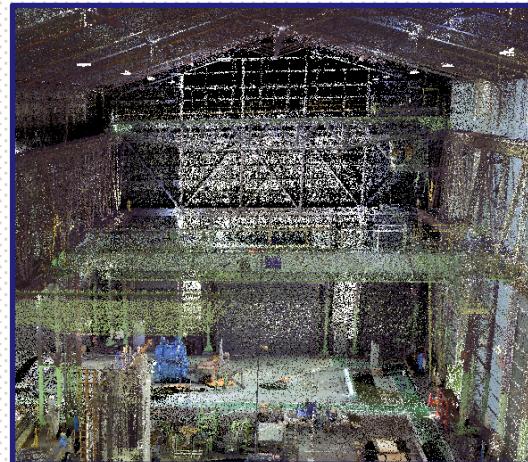
- 計測時にノイズが含まれることがある
→ 計測データの利活用のために、ノイズ除去が必要



木々の葉



窓ガラス(反射物体)



工場内の粉塵(浮遊物)

レーザ光が散乱 → 位置を誤検出 → ノイズ発生

研究背景 (3/4)

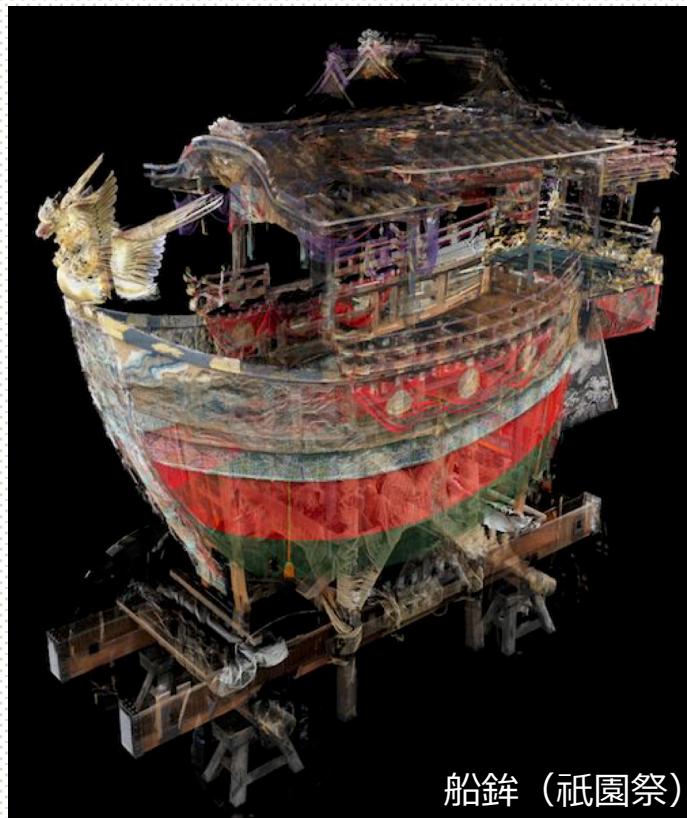
□ 確率的ポイントレンダリング (Stochastic Point-Based Rendering : SPBR)

- ソート不要の透視可視化手法
→ 内部構造の理解に有効
- 处理過程で可視化対象を
透明化することができる



仮説

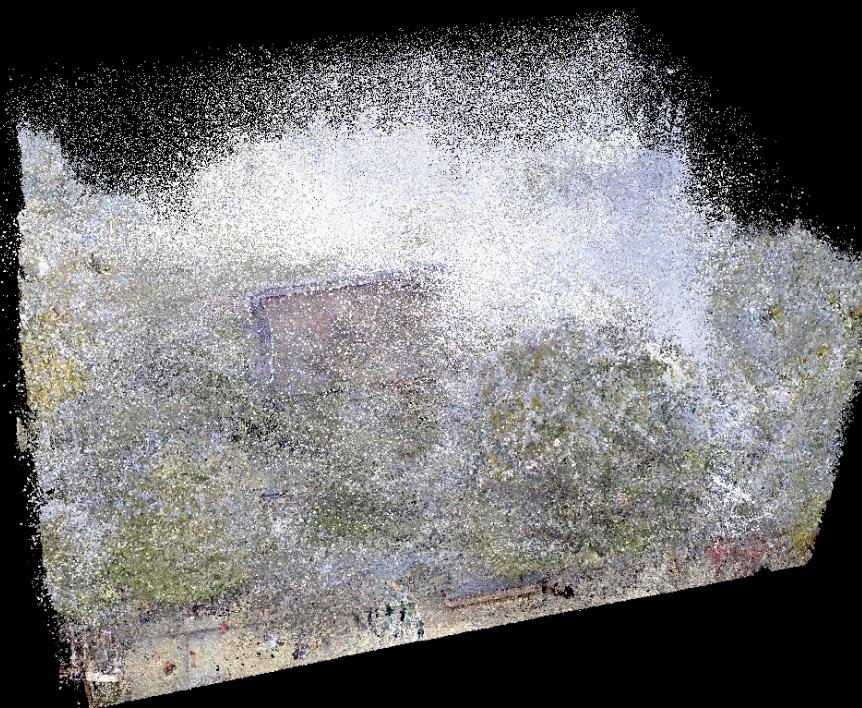
「ノイズも透明化」
できるのではないか？



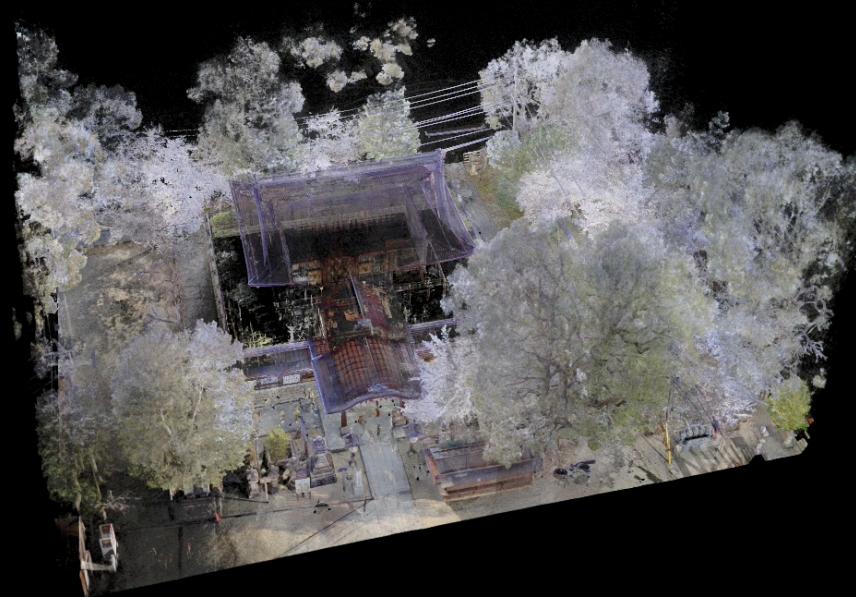
船鉾 (祇園祭)

確率的ノイズ透明化 (Stochastic Noise Transparentization)

計測点群



ノイズ透明化後



研究背景 (4/4)

□ 確率的ノイズ透明化の問題点

- ノイズ透明化効果を強くすると、不透明度の低下により、
視認性が低下することがある

八幡山（祇園祭）

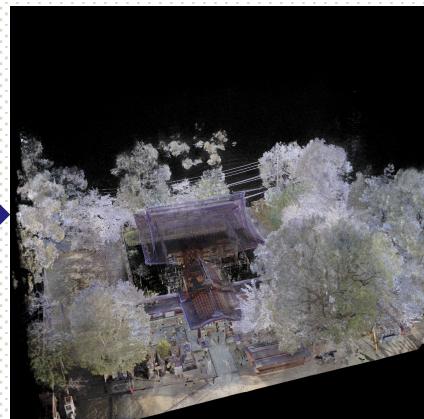
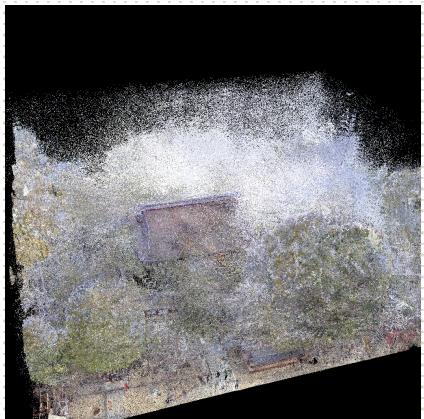


ノイズ
透明化



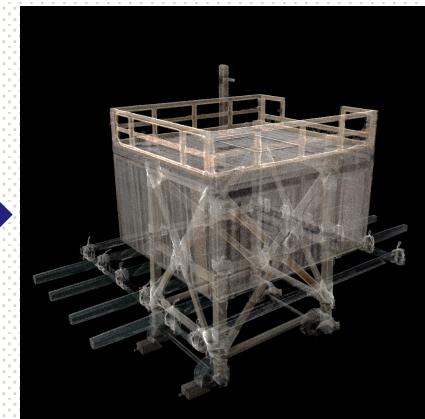
研究目的

確率的ノイズ透明化



「ノイズを透明化」して見えなくする
→ **ノイズに対するロバスト性の実現**

輝度調整



輝度値の自動調整手法の提案
→ **高視認性の実現**

ノイズロバストかつ**高視認性**
を満たす透視可視化手法の確立

1. 研究背景・目的

2. 確率的ノイズ透明化

3. 検証実験

4. 可視化結果

5. 輝度調整

6. 結論

確率的ポイントレンダリング (SPBR)

ステップ1：

L 個の点群にランダム分割



計測点群
(入力)

ステップ3：

L 枚の中間画像を平均
(確率的ノイズ透明化)

ステップ2：

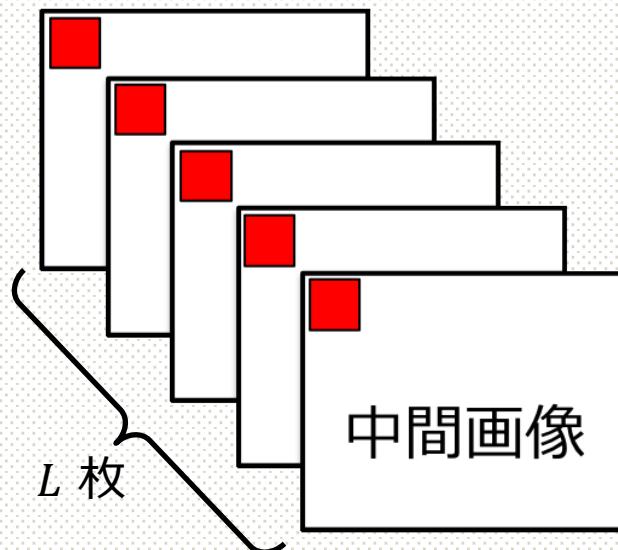
各アンサンブルごとに点投影

確率的ノイズ透明化

□ 確率的ノイズ透明化の利点

利点 1 : L 枚の中間画像の、対応するピクセルごとに平滑化
→ **解像度が低下しない**

利点 2 : 中間画像の枚数が多いほど、透視画像の画質が向上
→ **大規模点群の冗長性を有効利用**



1. 研究背景・目的

2. 確率的ノイズ透明化

3. 檢証実験

4. 可視化結果

5. 輝度調整

6. 結論

検証実験 1 : 人工点群を用いた実験

□ 検証目的

目的 1 : ノイズ透明化効果の**定量評価**

目的 2 : ノイズ透明化に必要な L の値の導出

□ 検証方法

ステップ 1 : 非ノイズ点群とノイズ点群を用意

ステップ 2 : 両者の点群に対して、ノイズ透明化(SPBR)を適用

ステップ 3 : 得られた画像について、以下の 2 つの指標を用いて
定量的に評価

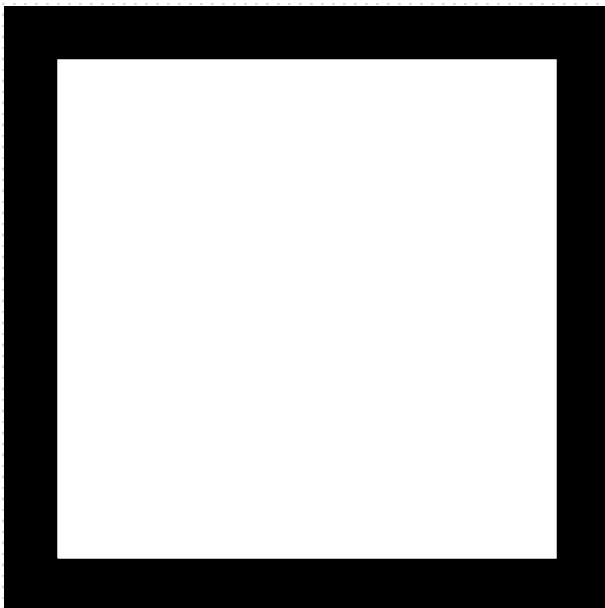
指標 1 : 平均輝度値の差

指標 2 : MSE (平均二乗誤差)

検証実験 1 — 実験に用いたデータ

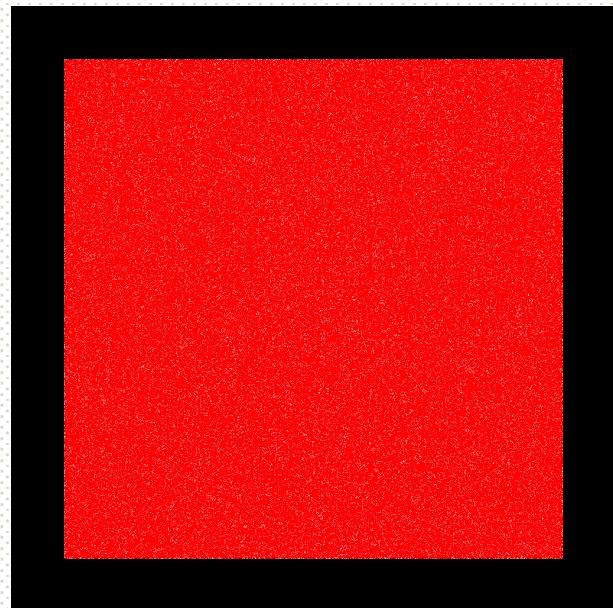
Bounding Box : $1 \times 1 \times 0$
Resolution : 1024^2

非ノイズ画像 ($L = 1$)



非ノイズ点 (白色) : 4000万点
ノイズ点 (赤色) : 0点

ノイズ画像 ($L = 1$)



Gaussian noise (赤色)
確率 : 10%
標準偏差 : $\sigma_{\text{raw}} = \sqrt{10}$ (pixel)

検証実験 1 — 透明化に必要な L の条件

□ 中心極限定理の利用

- L を大きくするにしたがって、ノイズの初期分散 σ_{raw}^2 は L に反比例して減少する
- 中心極限定理によって減少した分散を σ^2 とすると：

$$\sigma^2 = \frac{\sigma_{\text{raw}}^2}{L}$$

最低条件

$$\sigma < 1 \text{ (pixel)}$$

$$\sigma^2 < 1$$

$$\frac{\sigma_{\text{raw}}^2}{L} < 1$$

$$L > \sigma_{\text{raw}}^2 = 10$$

十分条件

$$\sigma < 0.3 \text{ (pixel)}$$

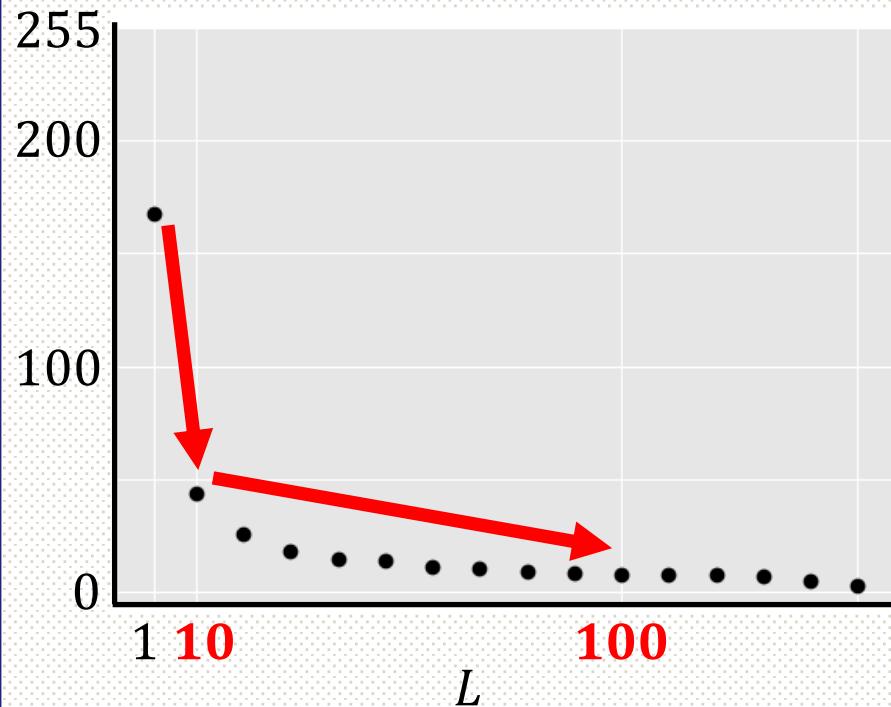
$$\sigma^2 < 0.09$$

$$\frac{\sigma_{\text{raw}}^2}{L} < \frac{9}{100}$$

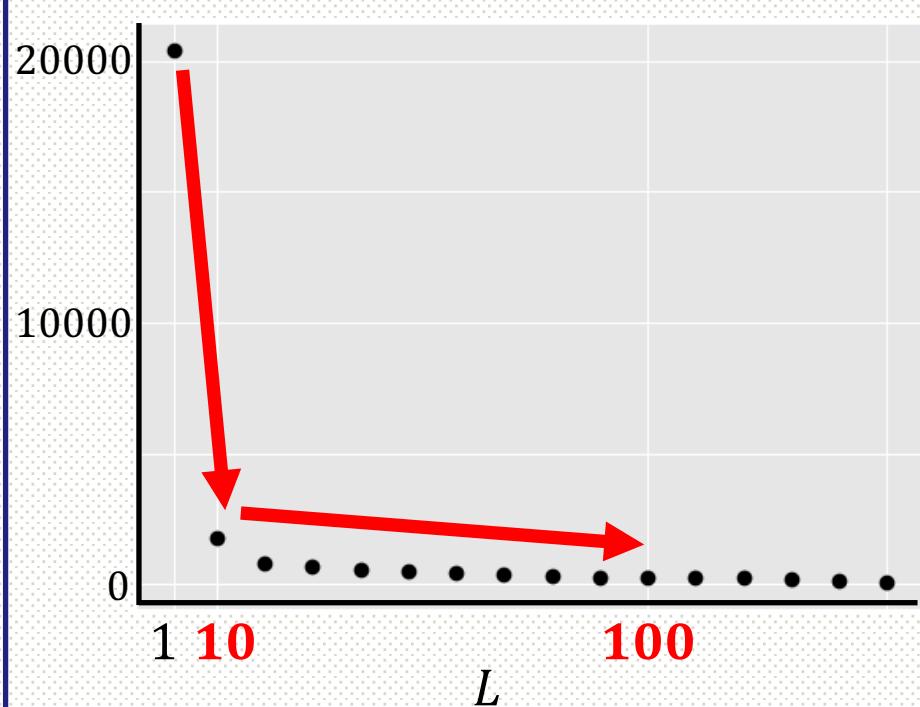
$$L > \sigma_{\text{raw}}^2 \times \frac{100}{9} \approx 100$$

検証実験 1 — 実験結果

平均輝度値の差



MSE (平均二乗誤差)



$L = 10$ 付近までにノイズの影響が急激に減少し,
その後, $L = 100$ 付近までに緩やかに減少する

検証実験 2 : 計測点群を用いた実験

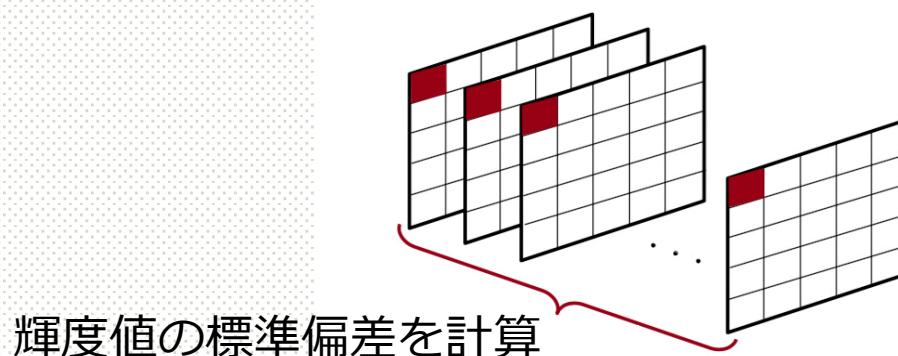
□ 検証目的

- L 枚ある中間画像の対応するピクセル輝度値の標準偏差が、アンサンブル平均によってどのように推移するかの分析

□ 検証方法

ステップ 1 : 座標ノイズ点群と色ノイズ点群を付与

ステップ 2 : L 枚の中間画像に対して、**対応するピクセルごとに輝度値の標準偏差を計測**



検証実験 2 — 実験に用いたデータ

Bounding Box :
 $7.5 \times 3.4 \times 6.7$

座標ノイズ点群



Gaussian noise
確率:10%, 分散:0.1

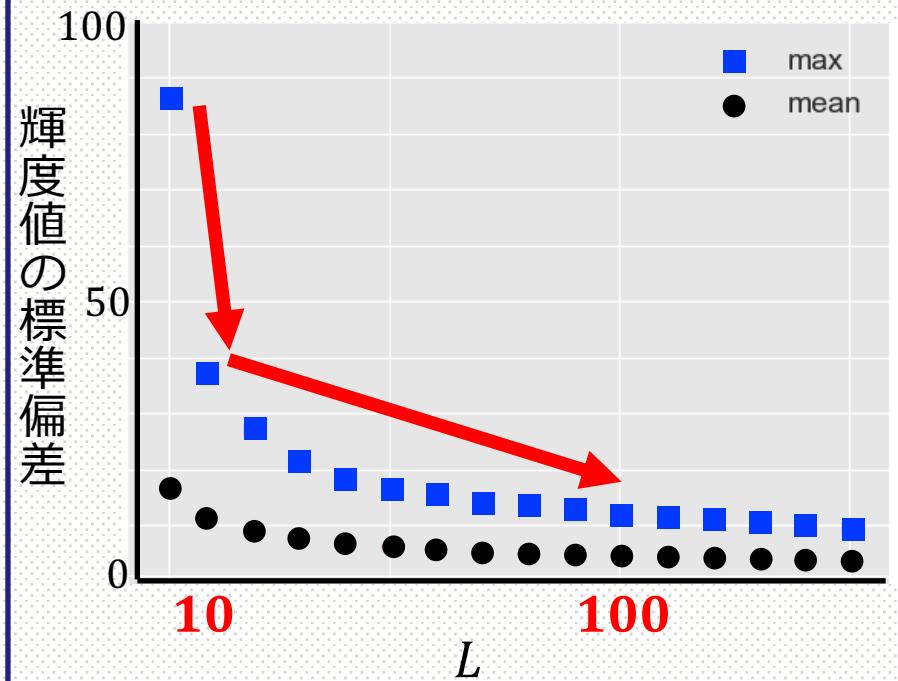
色ノイズ点群



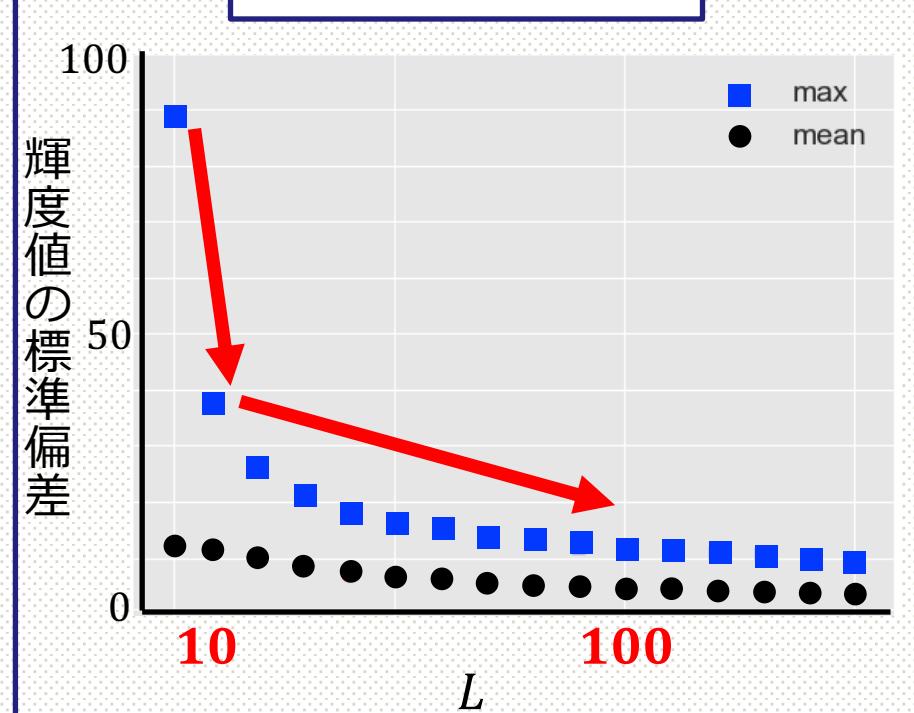
Gaussian noise
確率:10%, 分散:100

検証実験 2 — 実験結果

座標ノイズ点群



色ノイズ点群



座標空間のノイズであっても、色空間のノイズであっても
 L を上げるにつれて、ノイズの影響が減少していく

1. 研究背景・目的

2. 確率的ノイズ透明化

3. 検証実験

4. 可視化結果

5. 輝度調整

6. 結論

可視化結果 (1/3) — 木々の葉によるノイズ

ノイズ透明化前 (計測点群)

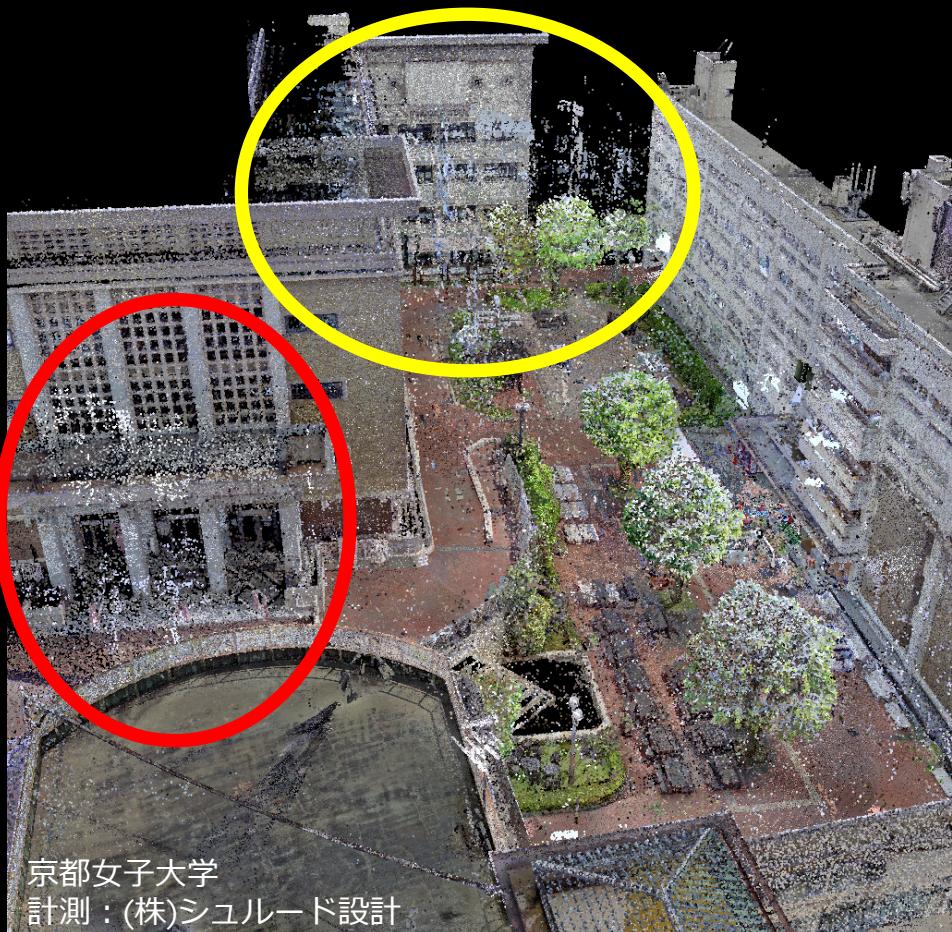


ノイズ透明化後 ($L = 100$)



可視化結果 (2/3) — 反射物体によるノイズ

ノイズ透明化前 (計測点群)



ノイズ透明化後 ($L = 100$)



可視化結果 (3/3) — 空中浮遊物によるノイズ

ノイズ透明化前 (計測点群)



ノイズ透明化後 ($L = 100$)



1. 研究背景・目的

2. 確率的ノイズ透明化

3. 検証実験

4. 可視化結果

5. 輝度調整

6. 結論

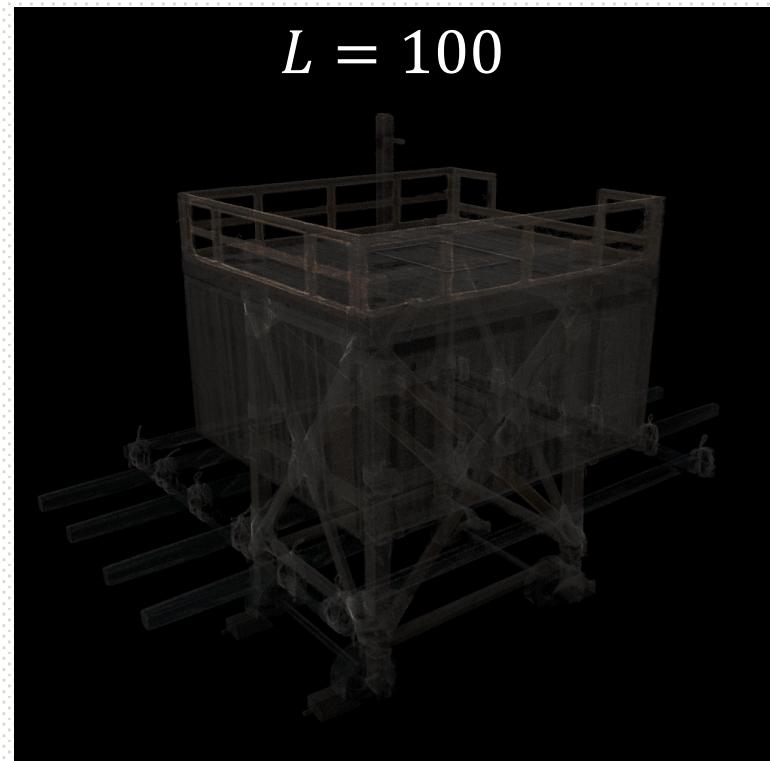
確率的ノイズ透明化の問題点

□ 視認性の低下

- 点数が少ない場合に、リピートレベルを上げすぎると、**不透明度の低下**により、**視認性が低下**することがある



ノイズ
透明化



輝度調整 — 提案手法

□ 提案手法

- 本来の明るさを有している $L = 1$ の画像を指標として、
入力画像の**RGB各成分を p 倍し、画像の輝度値を増幅**

$$R_{\text{out}}(i, j) = \mathbf{p} \times R_{\text{in}}(i, j)$$

$$G_{\text{out}}(i, j) = \mathbf{p} \times G_{\text{in}}(i, j) \quad p : \text{增幅倍率}$$

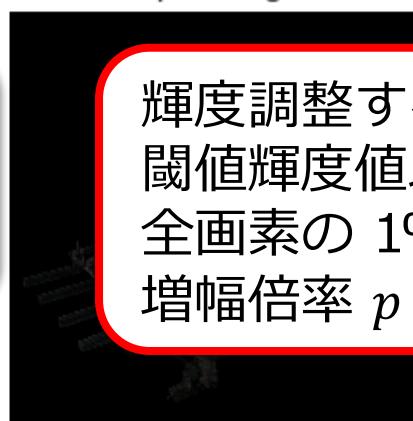
$$B_{\text{out}}(i, j) = \mathbf{p} \times B_{\text{in}}(i, j)$$

輝度調整 — p の決定方法

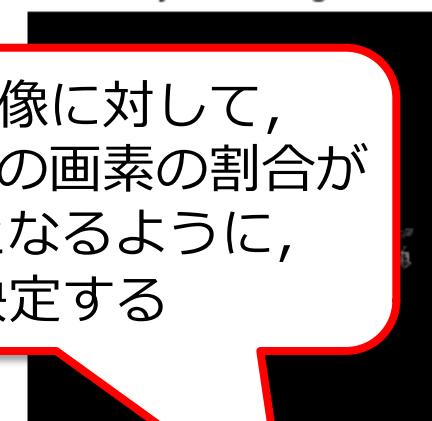
Input image ($L=1$)

$L = 1$ の画像に対して、
最大輝度値から 1% 区間
の閾値輝度値を特定する

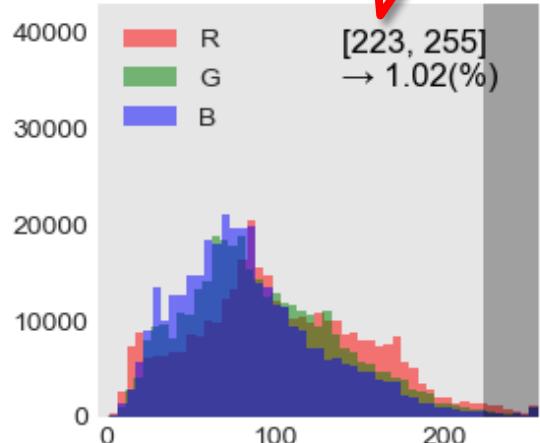
Input image



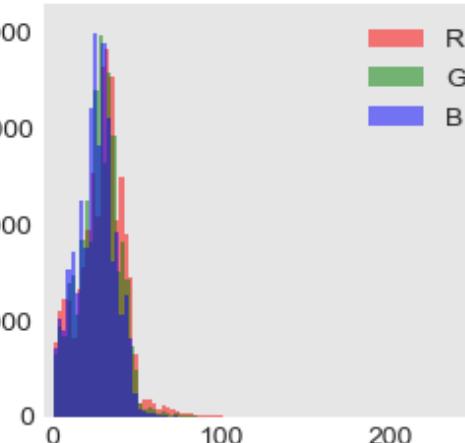
Adjusted image



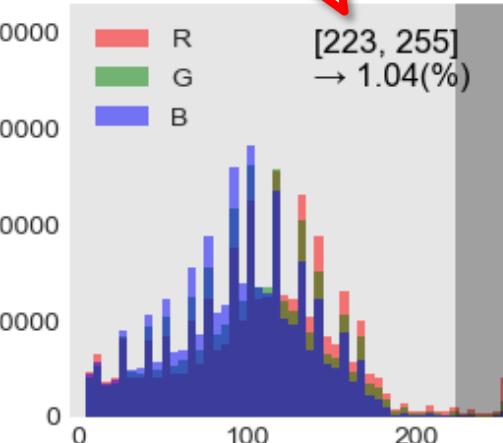
輝度調整する画像に対して、
閾値輝度値以上の画素の割合が
全画素の 1% となるように、
増幅倍率 p を決定する

Histogram (Input image ($L=1$))

Histogram (Input image)

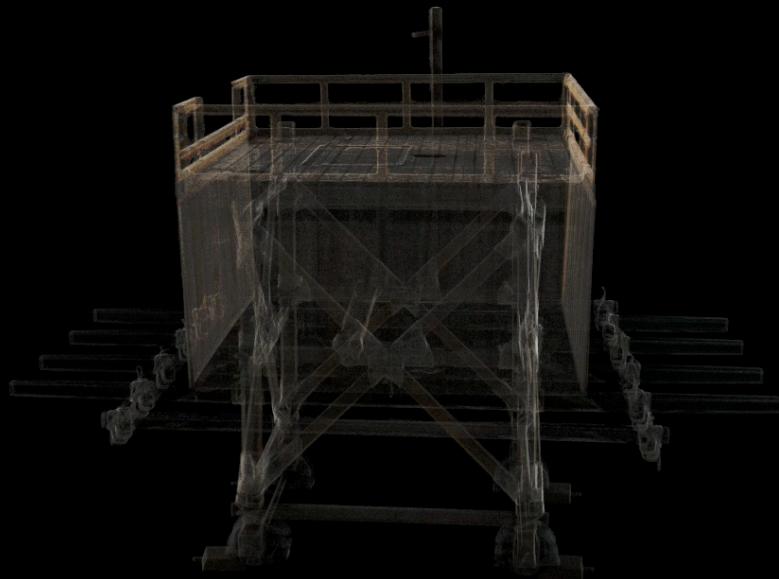


Histogram (Adjusted image)

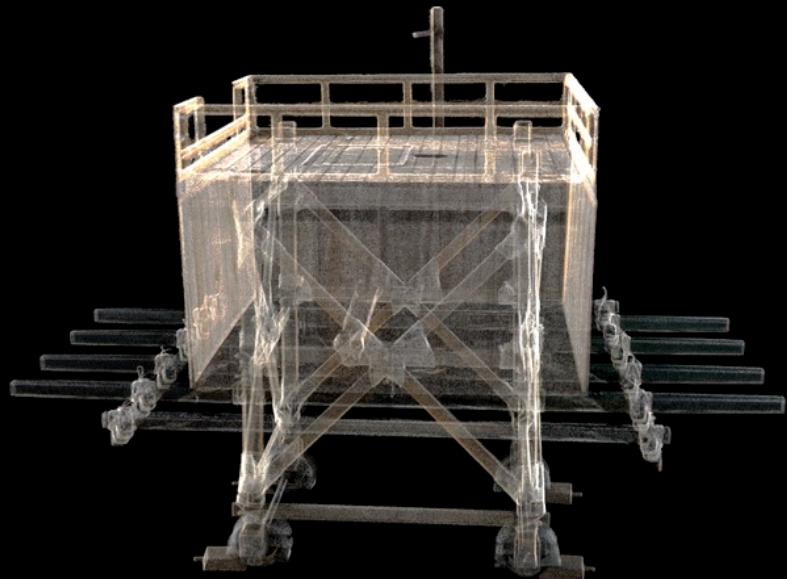


輝度調整 — 結果

輝度調整前



輝度調整後 ($p = 3.6$, 2.6sec)



利点 1：不透明度を維持した視認性の向上
利点 2：透明化したノイズは強調されない

1. 研究背景・目的

2. 確率的ノイズ透明化

3. 検証実験

4. 可視化結果

5. 輝度調整

6. 結論

結論

1. SPBRによるノイズ透明化効果の実証 と,
ノイズ透明化に要する L の値の導出
2. **不透明度を維持したまま、視認性を向上させる**
輝度調整手法の提案



大規模3次元計測点群を対象として、**ノイズにロバスト**
かつ **高視認性** を実現する透視可視化手法を確立

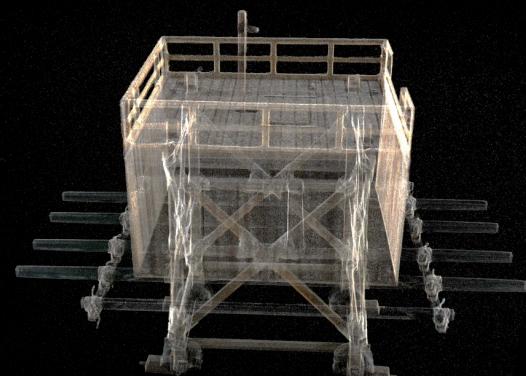
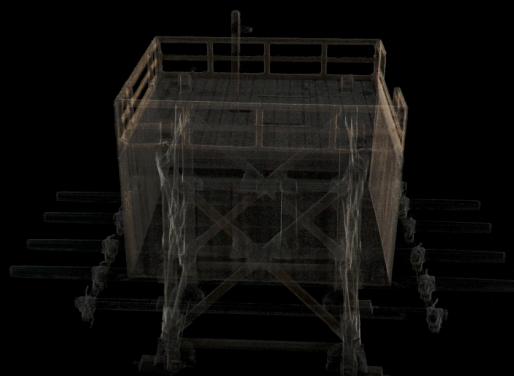
研究成果のまとめ

ノイズ透明化

(視認性低下)

輝度調整

(視認性向上)

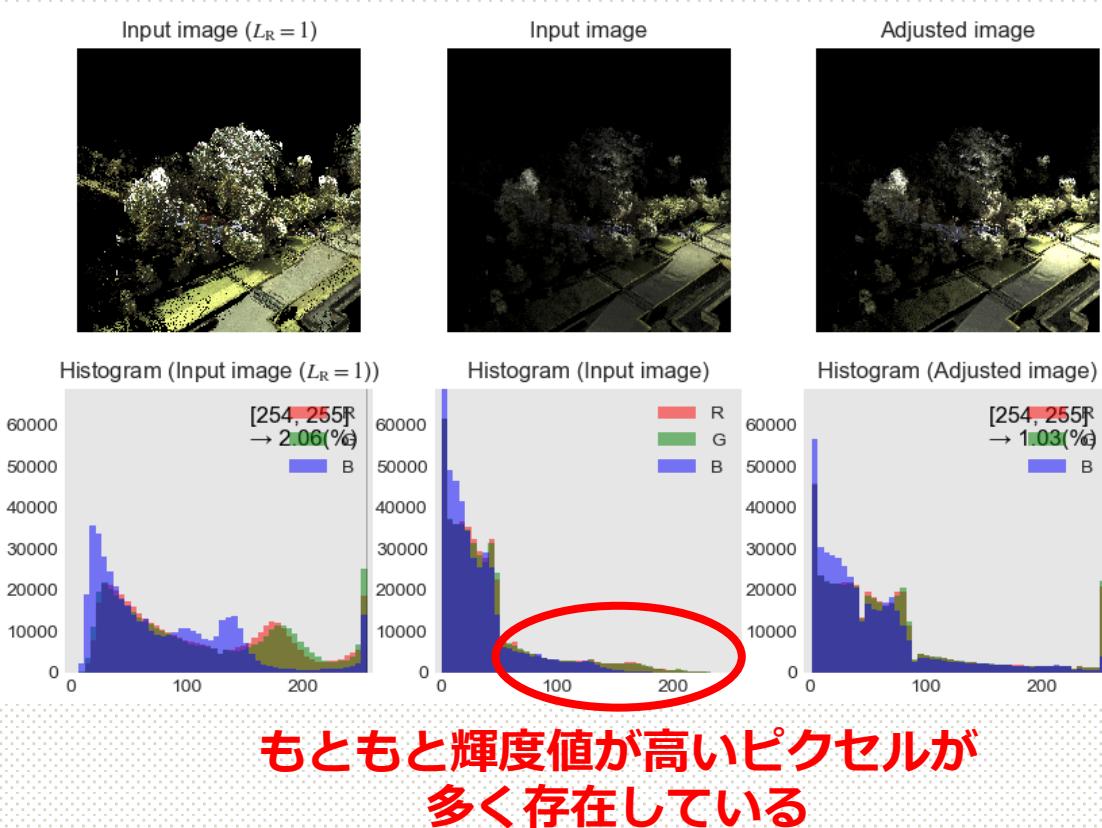


今後の展望

今後の展望

□ 輝度調整手法の改善

- 入力画像の輝度値分布にロバストな手法の確立

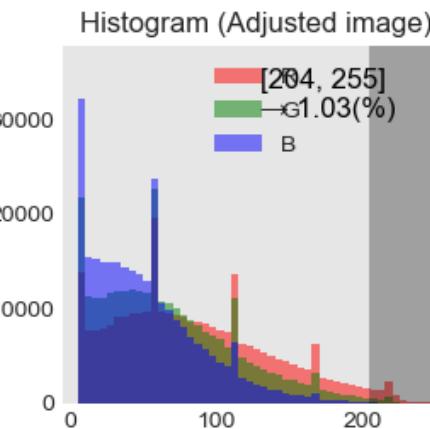
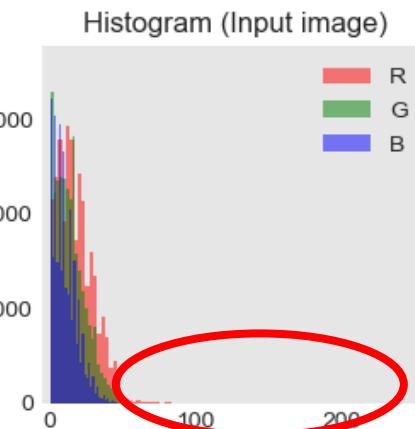
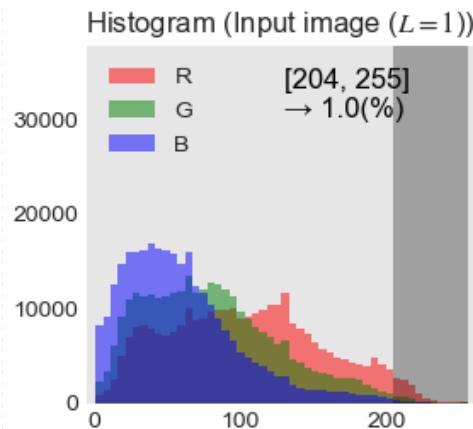
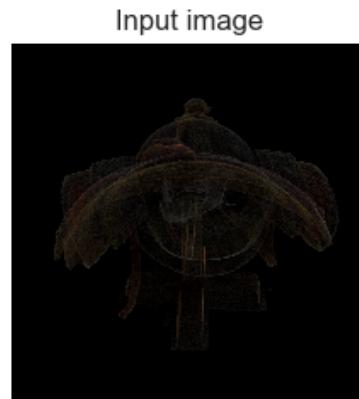


輝度調整結果

輝度調整後 ($p = 1.7$)



輝度値分布が良い画像の例



もともと輝度値が高いピクセルが
存在していない

検証実験 1 (1/4)

□ 検証方法

1. 人工点群を用意し、人工的にノイズを付与
2. SPBRで両者の画像（元画像と評価画像）を生成
3. L を上げていき、**2枚の画像の画質を比較**

□ 画質の評価指標

1. 平均輝度値
2. MSE (平均二乗誤差)

$$\text{MSE} = \frac{1}{l \times m} \sum_{i=1}^l \sum_{j=1}^m \{I(i, j) - K(i, j)\}^2$$

画像サイズ	: $l \times m$
元画像	: I
評価画像	: K

ノイズ透明化に必要なリピートレベルの値

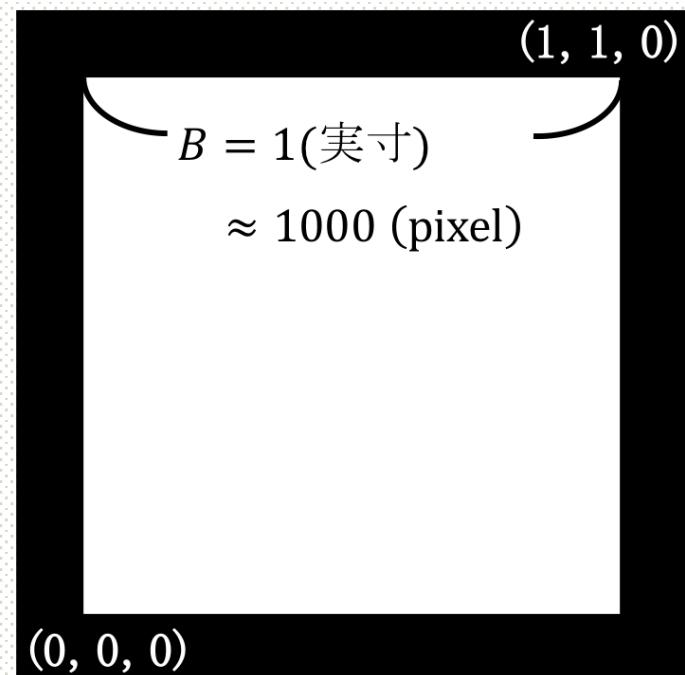
状況設定

- 人工点群の一辺の長さ : B

$$B = 1(\text{実寸}) \times \frac{10^3(\text{pixel})}{1(\text{実寸})} \\ = 10^3 (\text{pixel})$$

- ノイズの初期分散 : σ_{init}^2

$$\sigma_{\text{init}}^2 = 1.0 \times 10^{-5}(\text{実寸}^2) \times \frac{10^6(\text{pixel}^2)}{1^2(\text{実寸}^2)} \\ = 10 (\text{pixel}^2)$$



想定する人工点群

ノイズ透明化プロセス

確率的ノイズ透明化



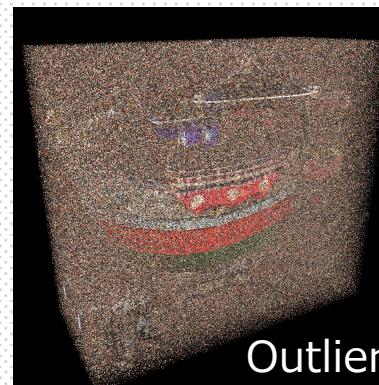
可視化対象よりも
ノイズが先に透明になる

検証実験 3

検証実験 3：模擬ノイズによる実験

□ 検証目的

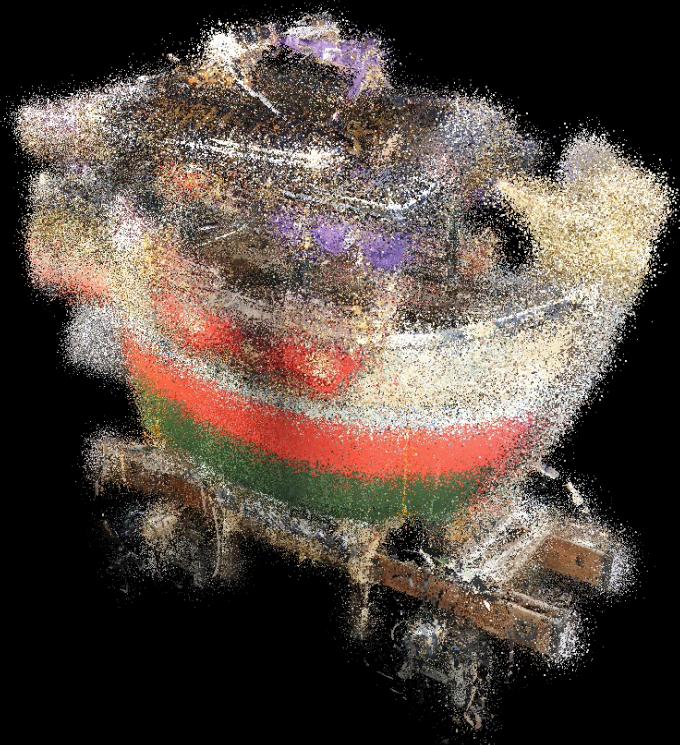
- 計測ノイズを模した 2 種類のノイズに対する、ノイズ透明化効果の実証



□ 検証方法

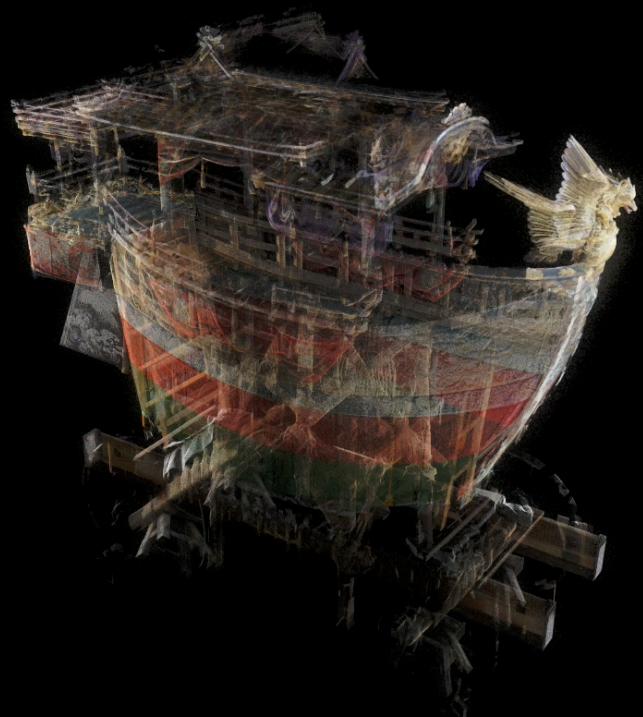
1. 計測点群に対して、Gaussian noise と Outlier noise の 2 種類のノイズを人工的に付与
2. L を上げていき、ノイズ透明化効果を検証

検証実験 3：実験結果



$L = 1$

Gaussian noise
 $10\%, \sigma^2 = 0.1$



$L = 100$

検証実験 3：実験結果

Outlier noise
1%



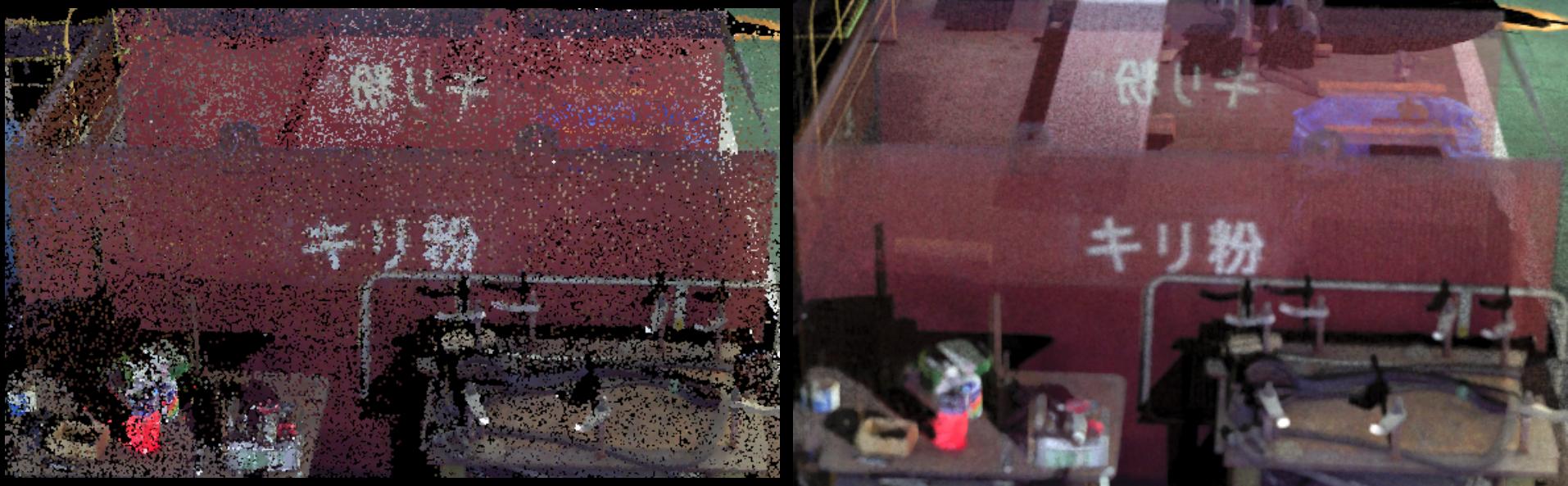
$L = 1$



$L = 20$

確率的ノイズ透明化

確率的ノイズ透明化



輝度調整

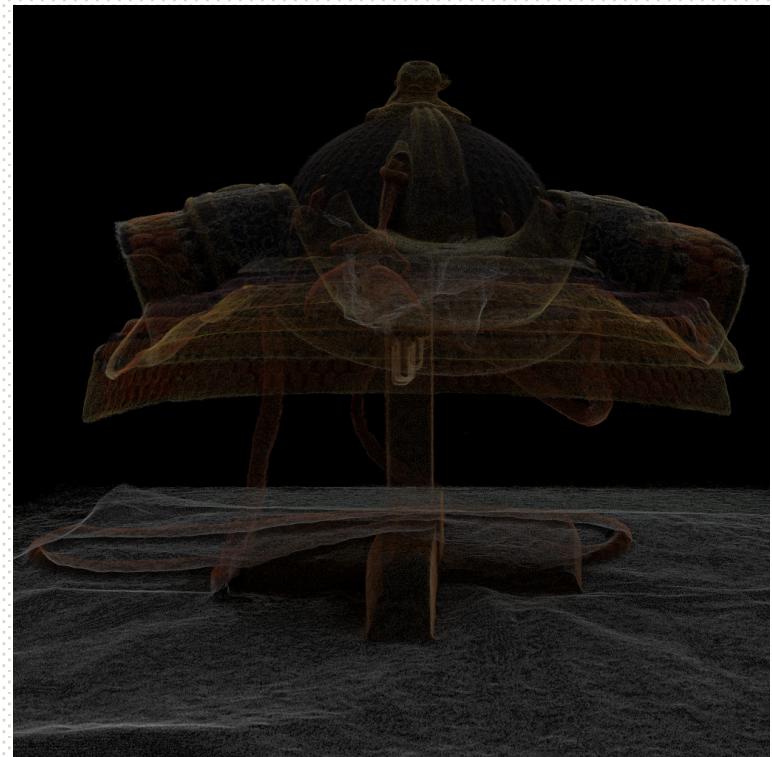
確率的ノイズ透明化の問題点

□ 視認性の低下

- 点数が少ない場合に、リピートレベルを上げすぎると、**不透明度の低下**により、**視認性が低下**することがある

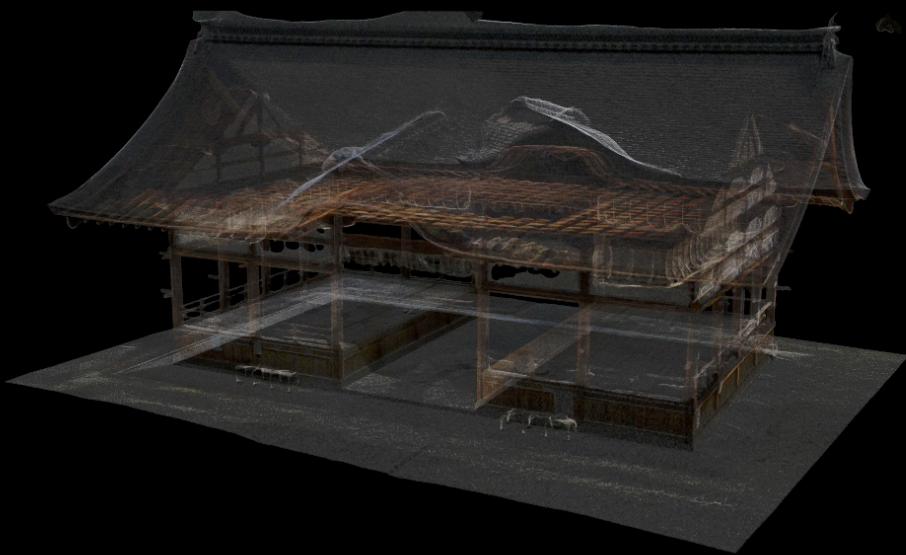


ノイズ
透明化

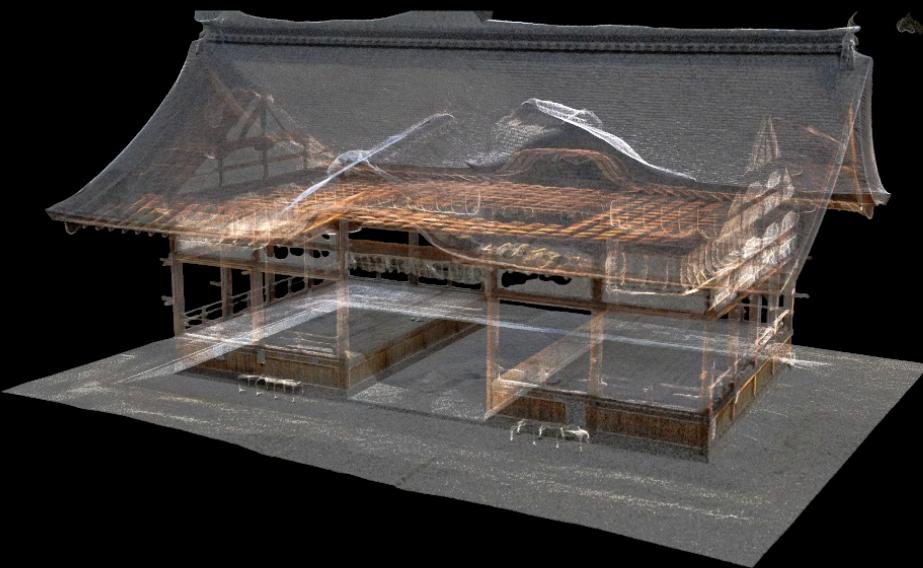


輝度調整 (4/4)

輝度調整前



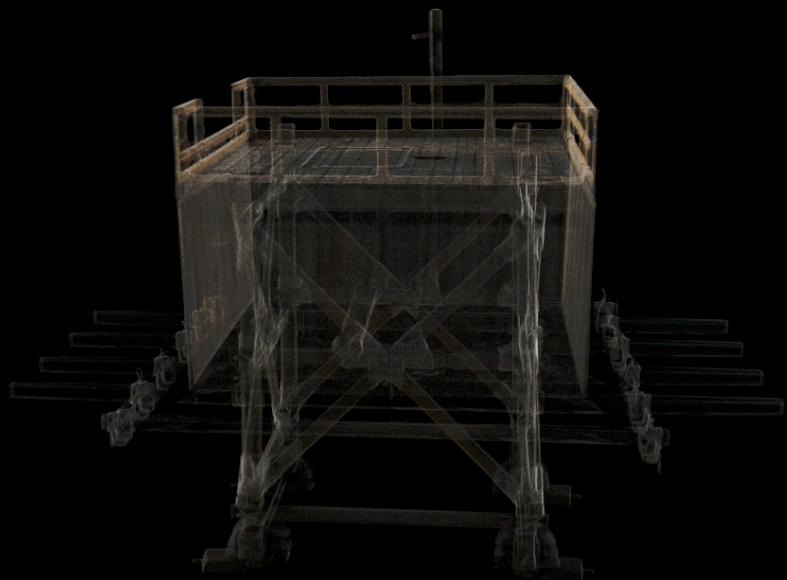
輝度調整後 ($p = 2.52$)



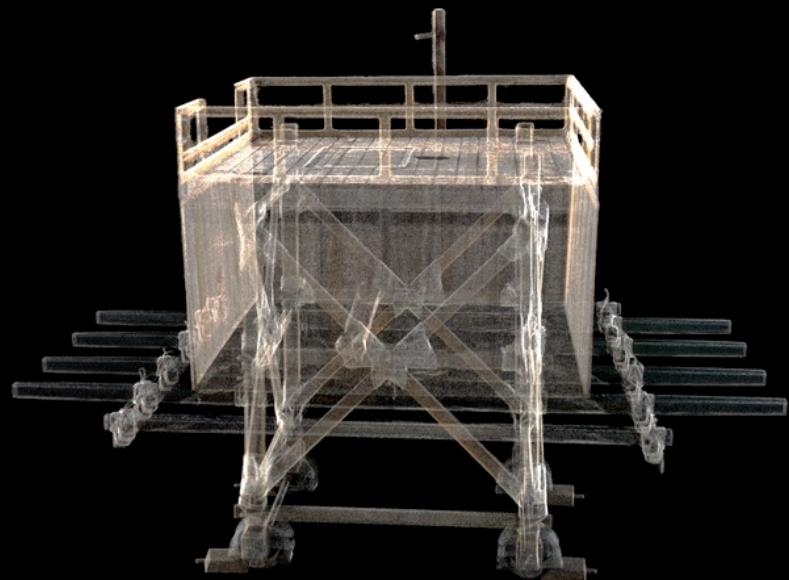
藤森神社一拝殿一, 計測:(株)シュルード設計

輝度調整

輝度調整前



輝度調整後 ($p = 3.57$)



輝度調整

不透明度を維持したまま
視認性の向上を実現

輝度調整前

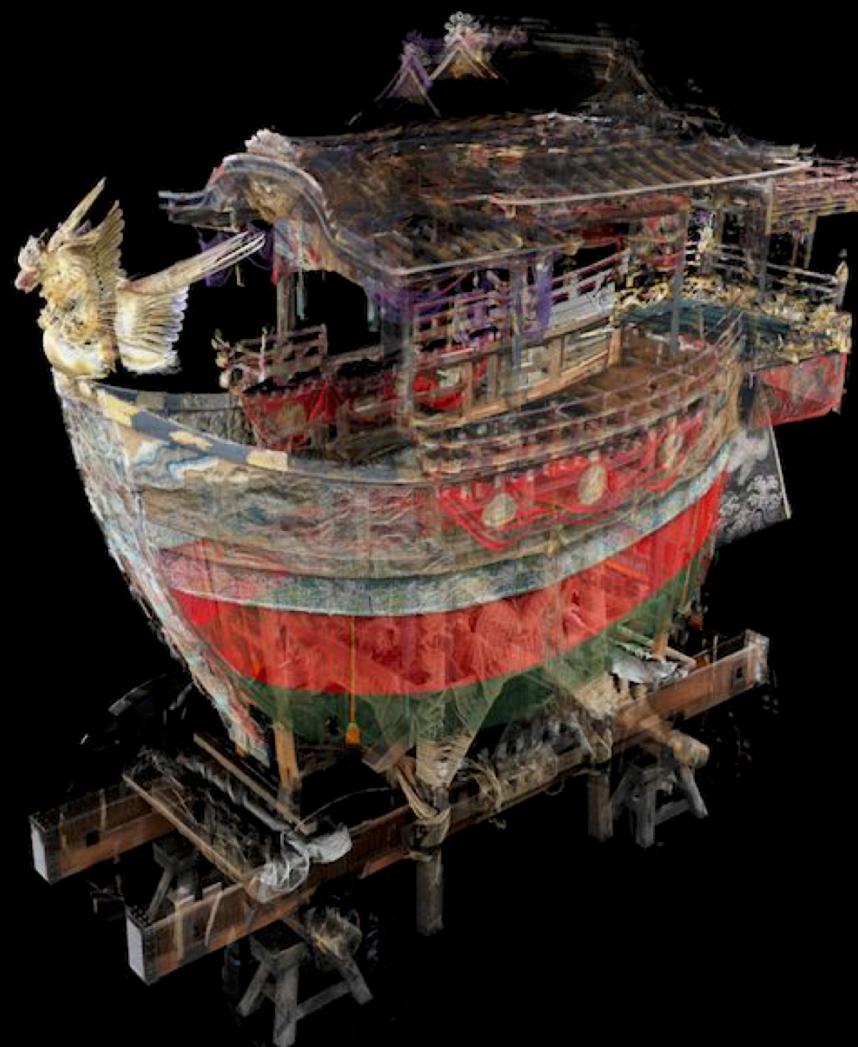


輝度調整後 ($p = 2.99$)



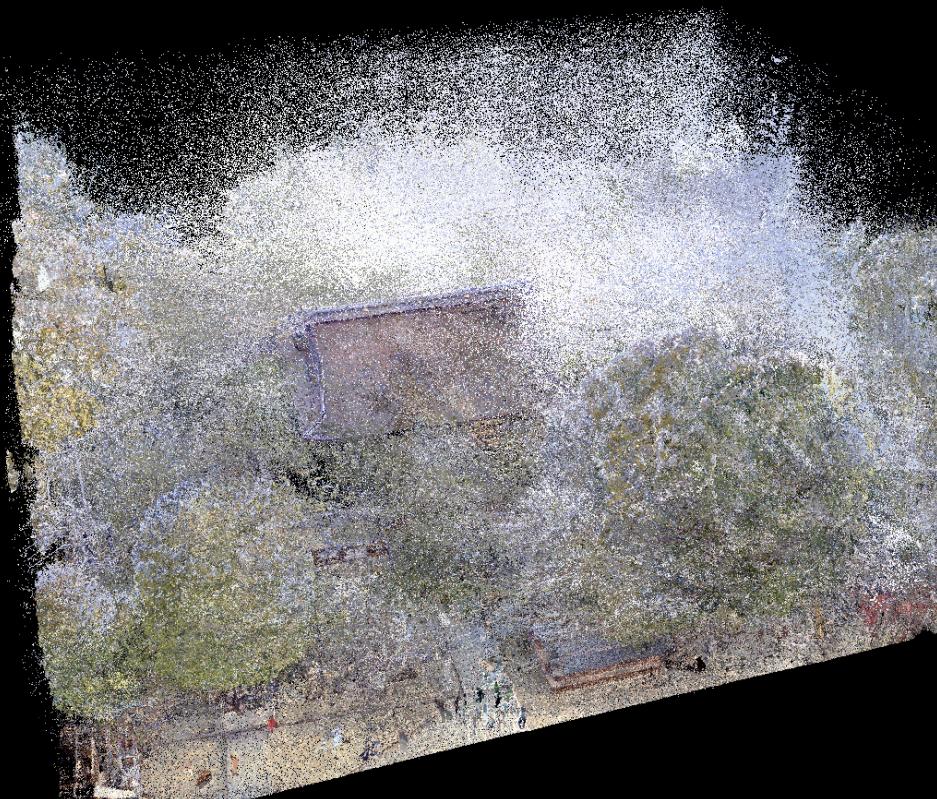
計測点群の点数

船鋒：25,427,464 点

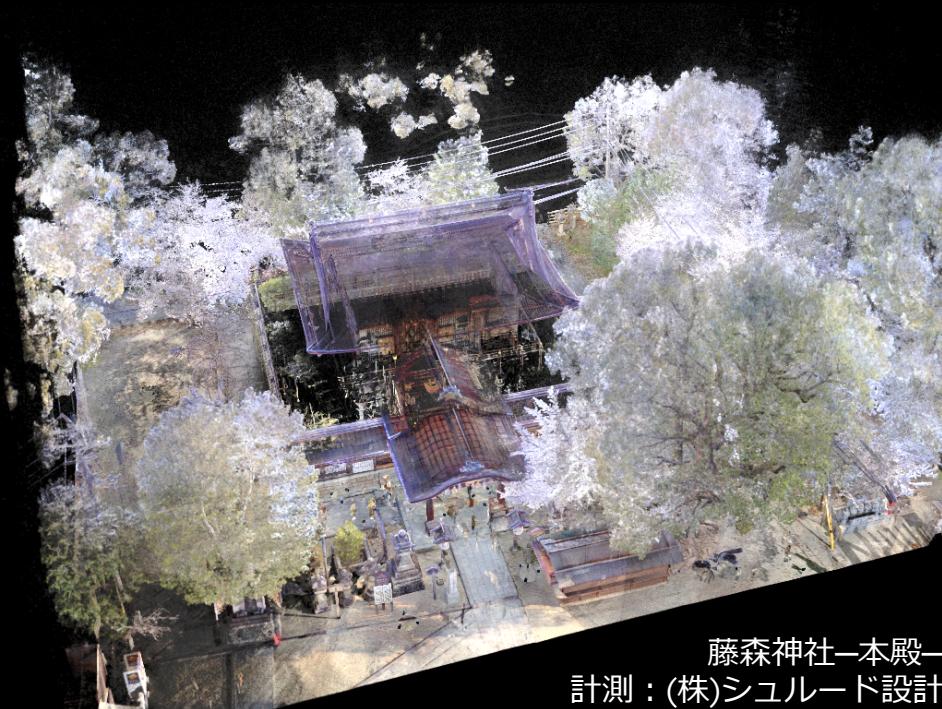


藤森神社—本殿— : 1,165,757,917 点

ノイズ透明化前 (計測点群)



ノイズ透明化後 ($L = 100$)



京都女子大学 : 1,942,127,651 点

ノイズ透明化前 (計測点群)



ノイズ透明化後 ($L = 100$)



工場 : 691,706,402 点

ノイズ透明化前（計測点群）



ノイズ透明化後 ($L = 100$)



八幡山：7,856,886 点



大兜：3,343,872 点

