

画像列からの3次元形状復元への M推定導入による外れ値耐性の評価

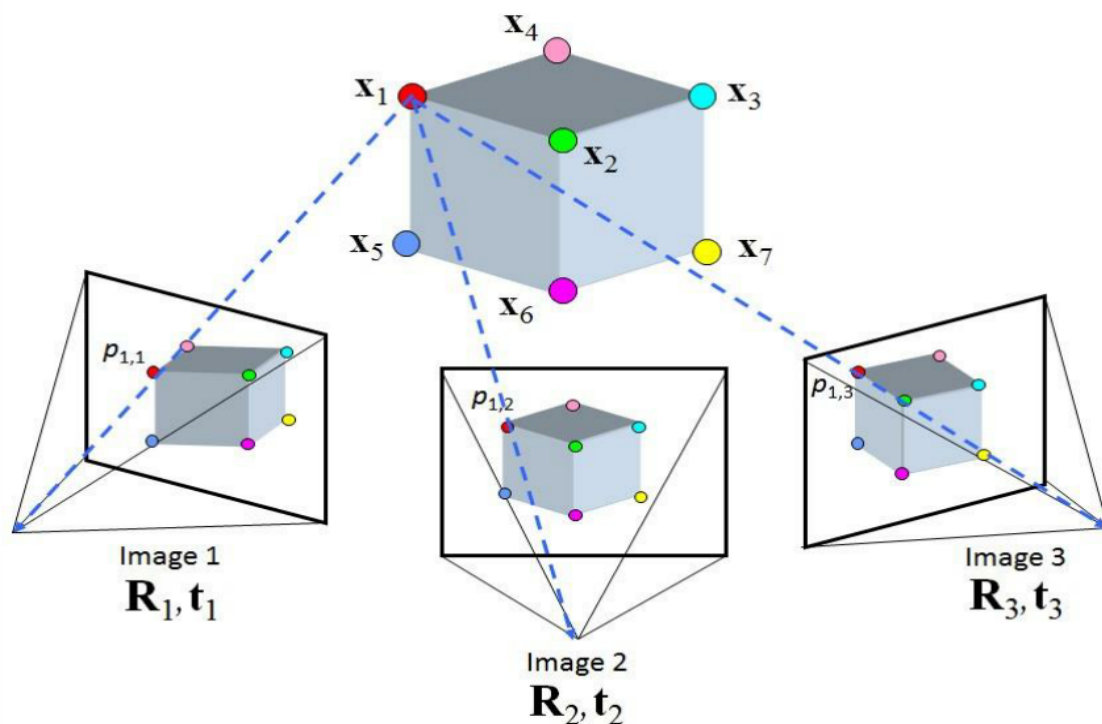
67160460 森慎太郎

指導教員 椋木雅之

令和2年2月14日

研究背景

画像列が与えられた時、3次元形状復元する手法として Structure from Motion(SfM)が存在する。



入力

画像間に対応する特徴点座標

出力

カメラの位置・姿勢と
特徴点の三次元座標

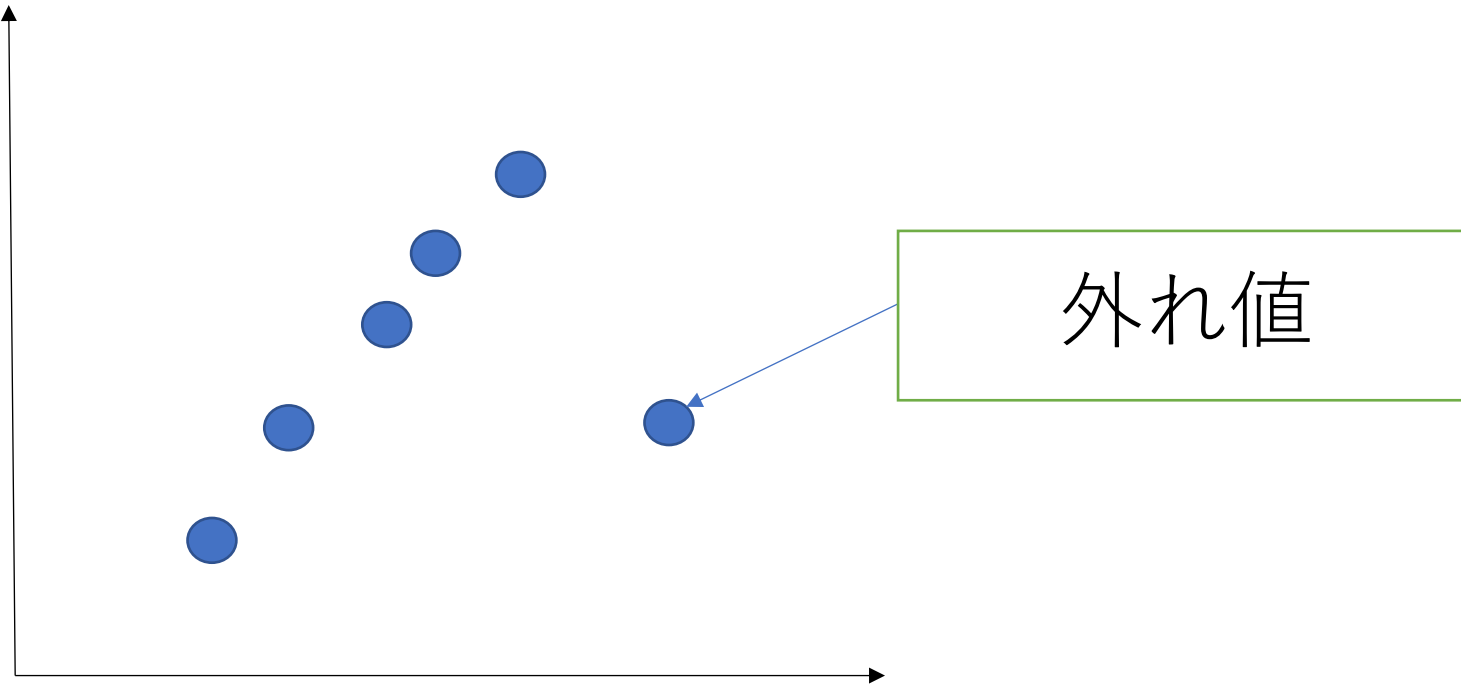
研究目的

外れ値があった場合での画像列からの 3 次元形状復元

- SfMにM推定を導入
- 外れ値の耐性評価

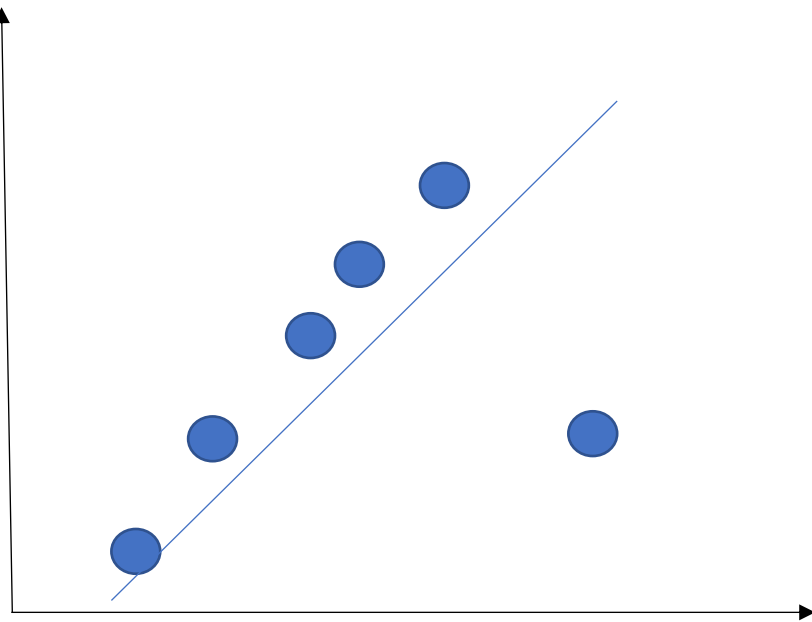
外れ値とは

あるデータ集合が与えられた時、そのデータ集合中に含まれるデータの大部分と統計的に性質が異なるもの

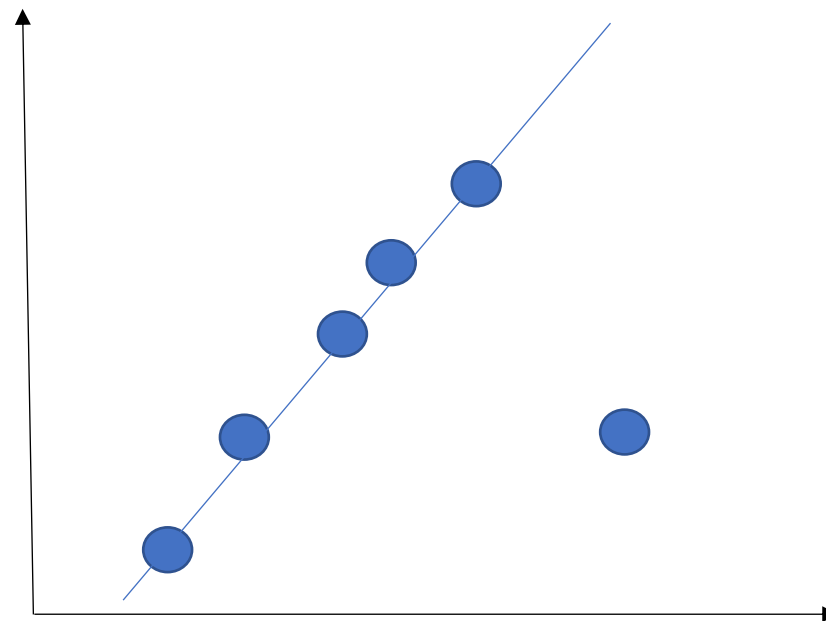


M推定

- ロバスト推定の一つ
- 外れ値に強い

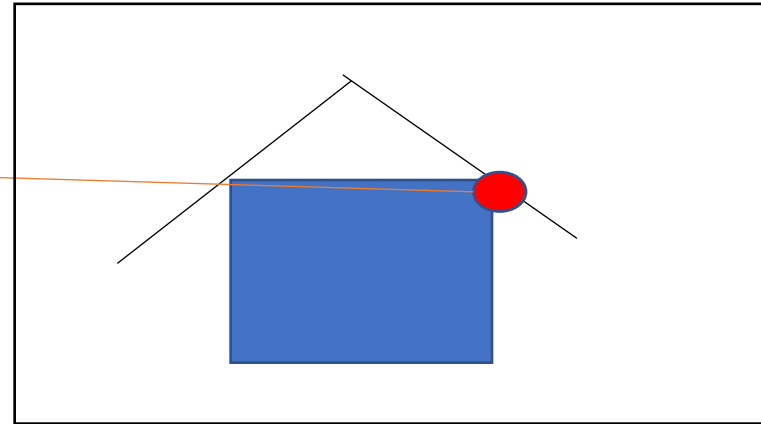
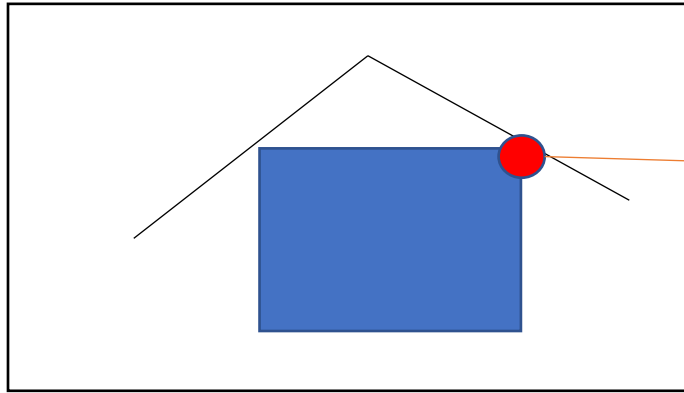


最小2乗法

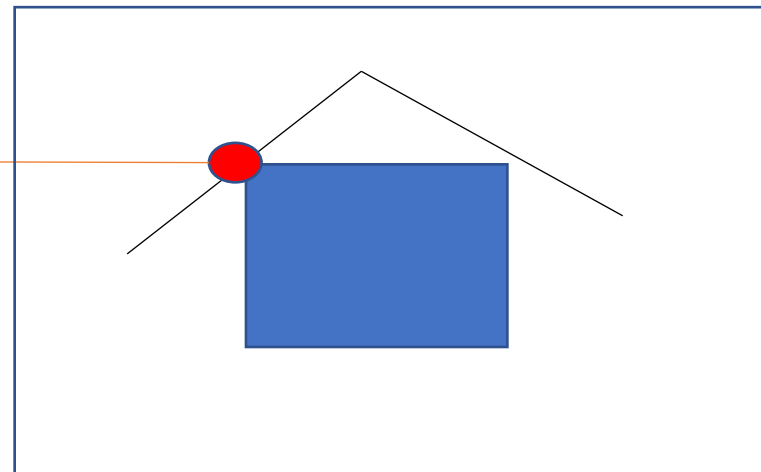
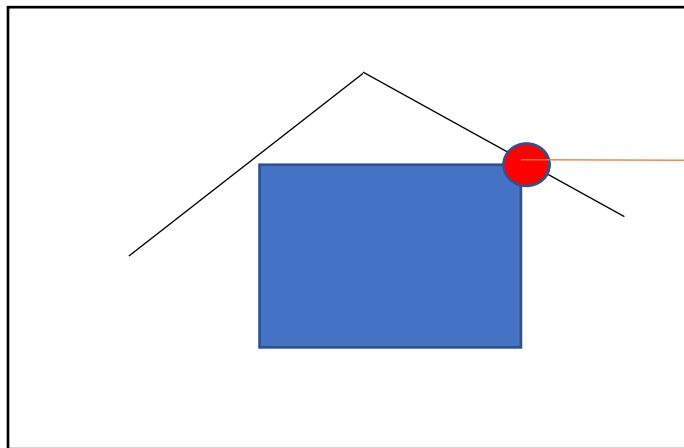


M推定

特徴点マッチング

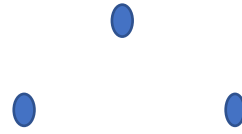


特徴点同士を結びつける



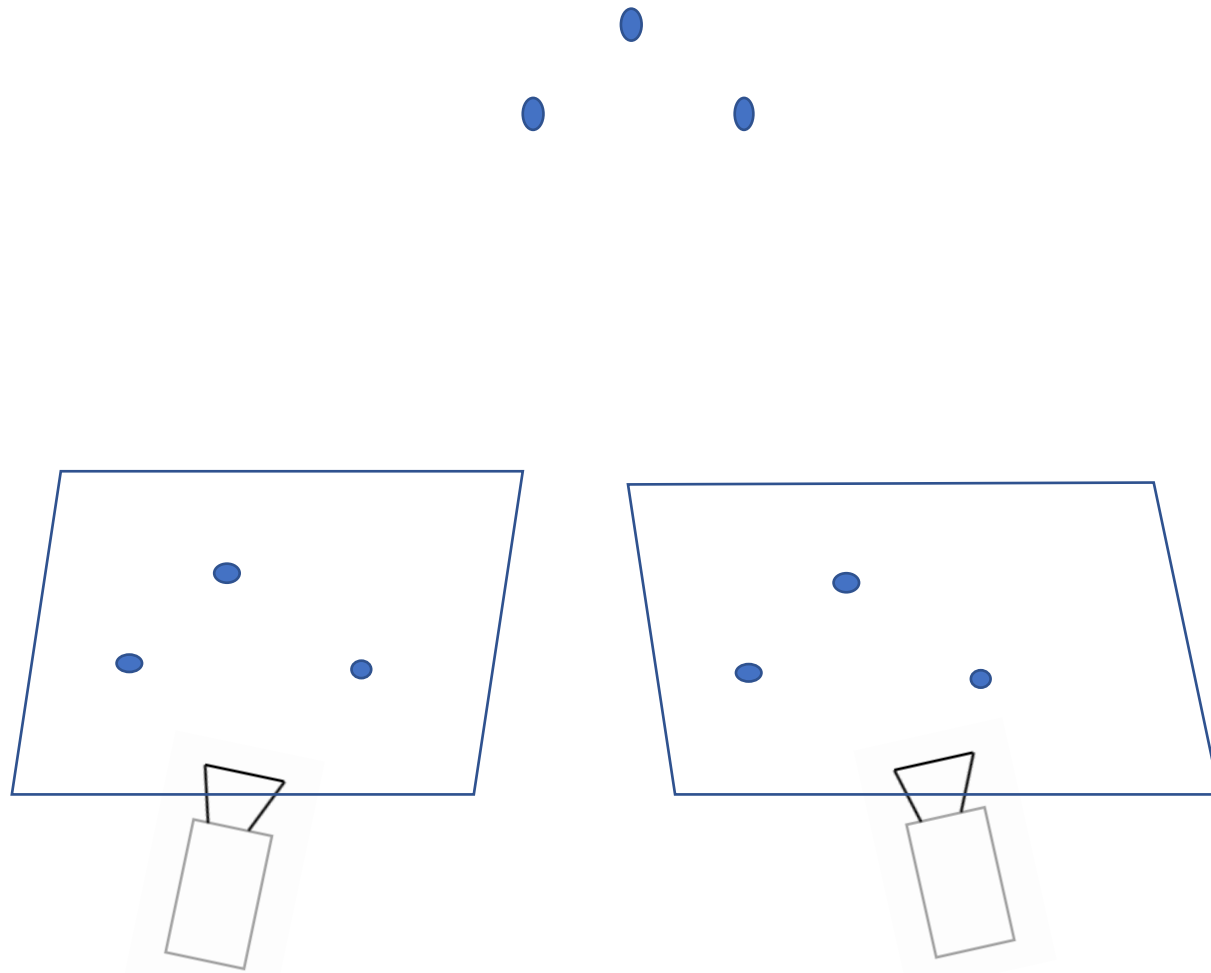
間違った対応が外れ値

再投影誤差最小化



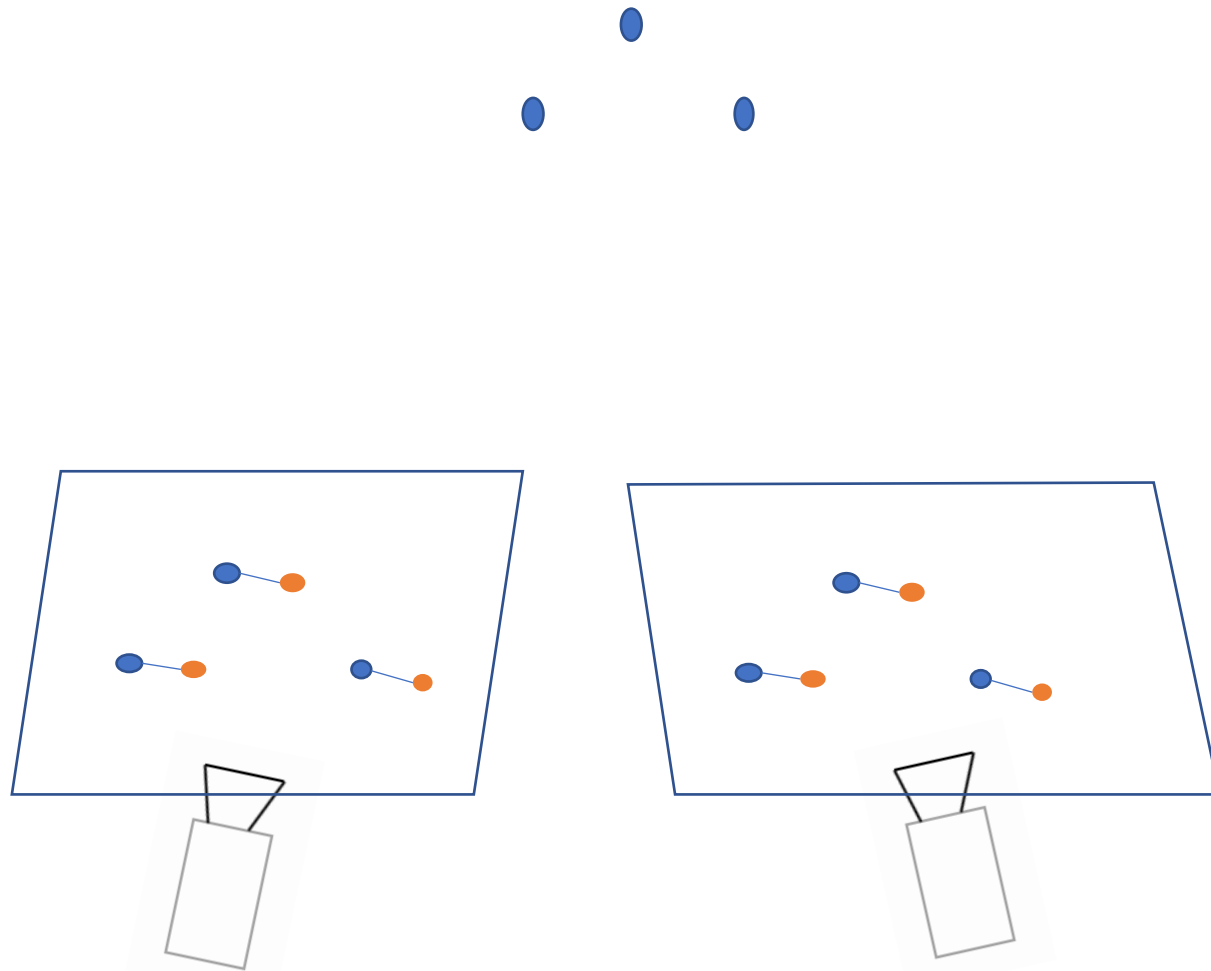
各初期値を与える

再投影誤差最小化



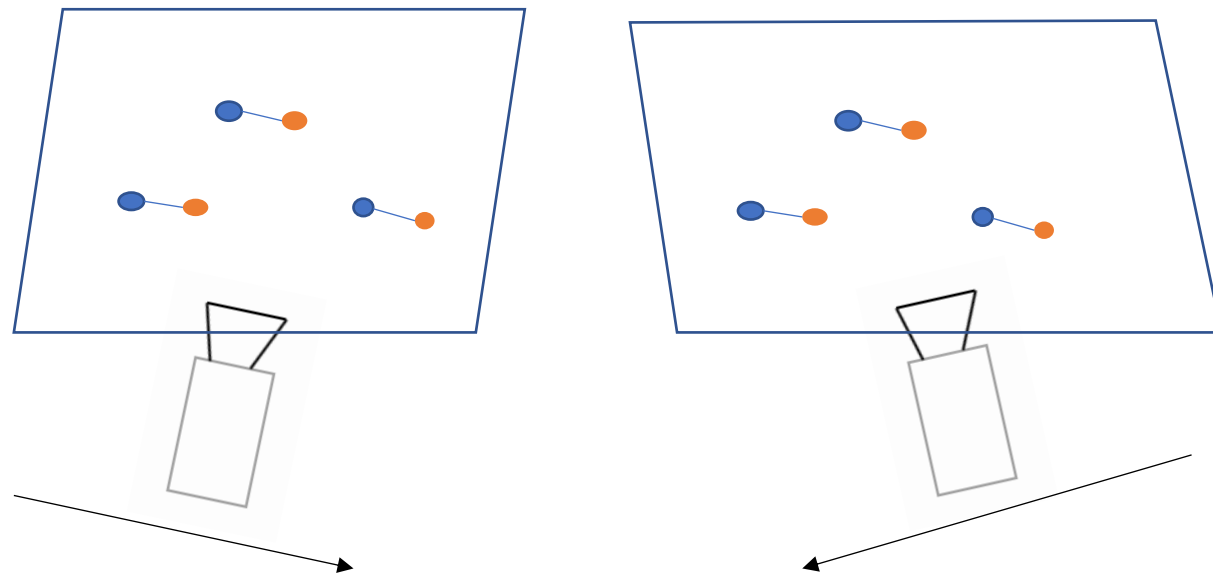
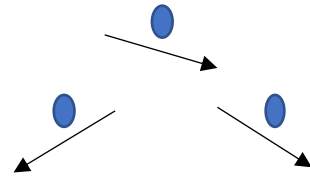
透視投影により、画像上に変換

再投影誤差最小化



再投影誤差を求める

再投影誤差最小化



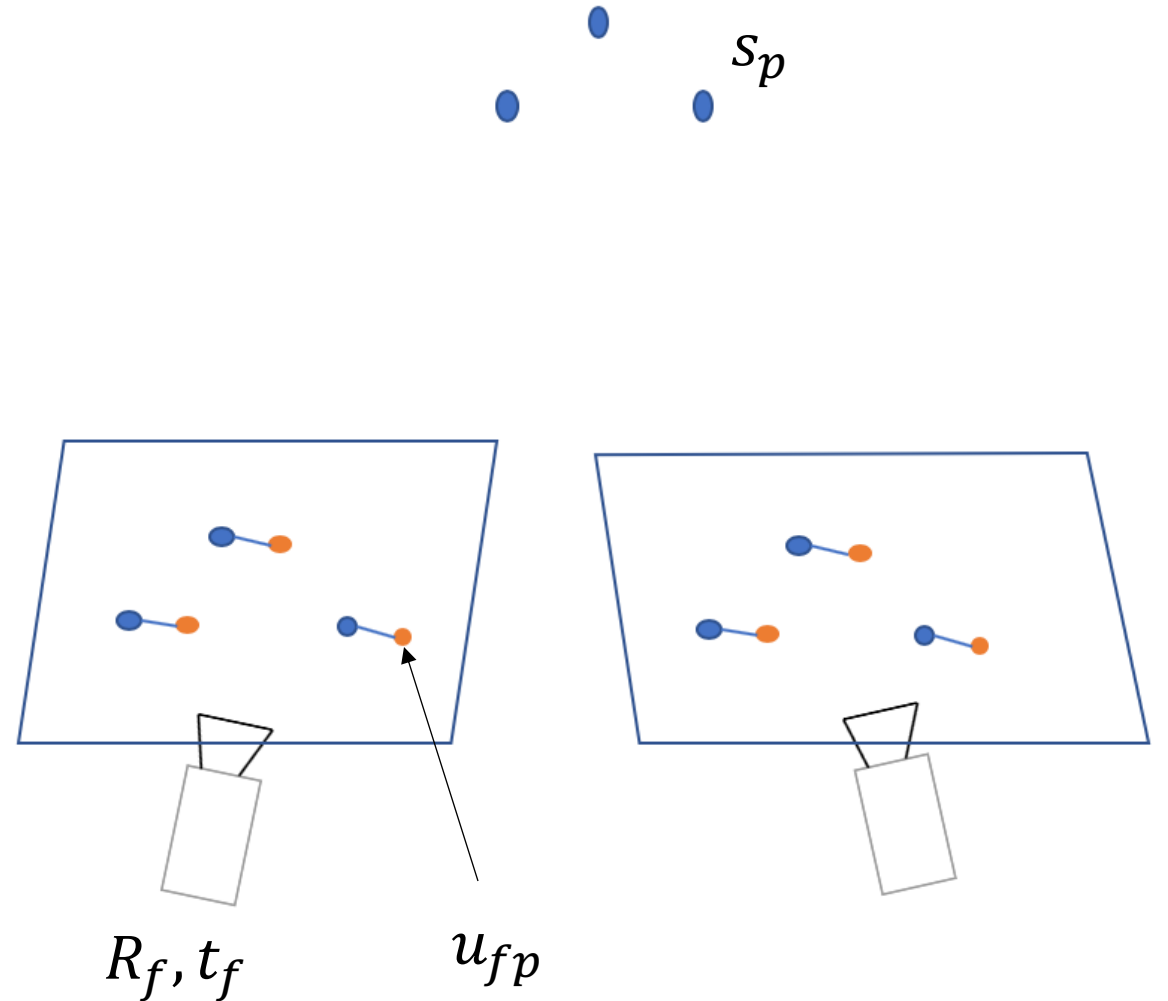
再投影誤差が最小になるようにパラメータを更新

再投影誤差最小化の定式化

誤差関数 E を最小化する

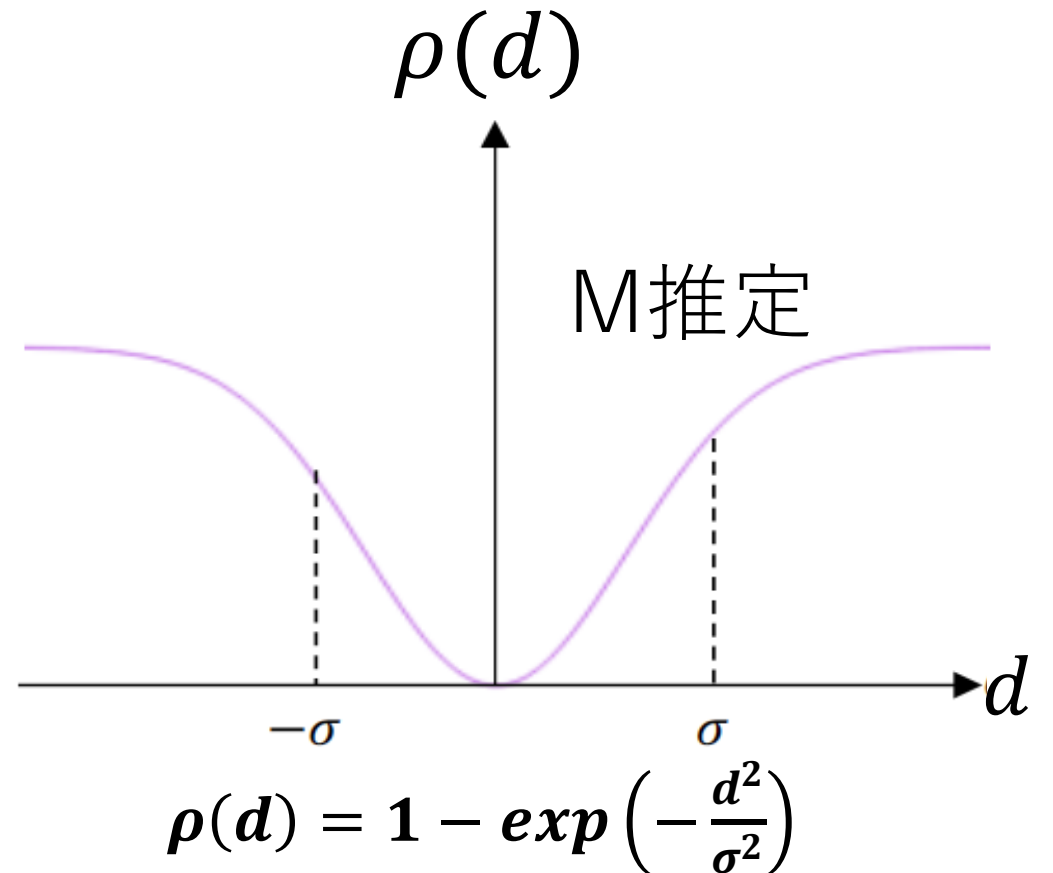
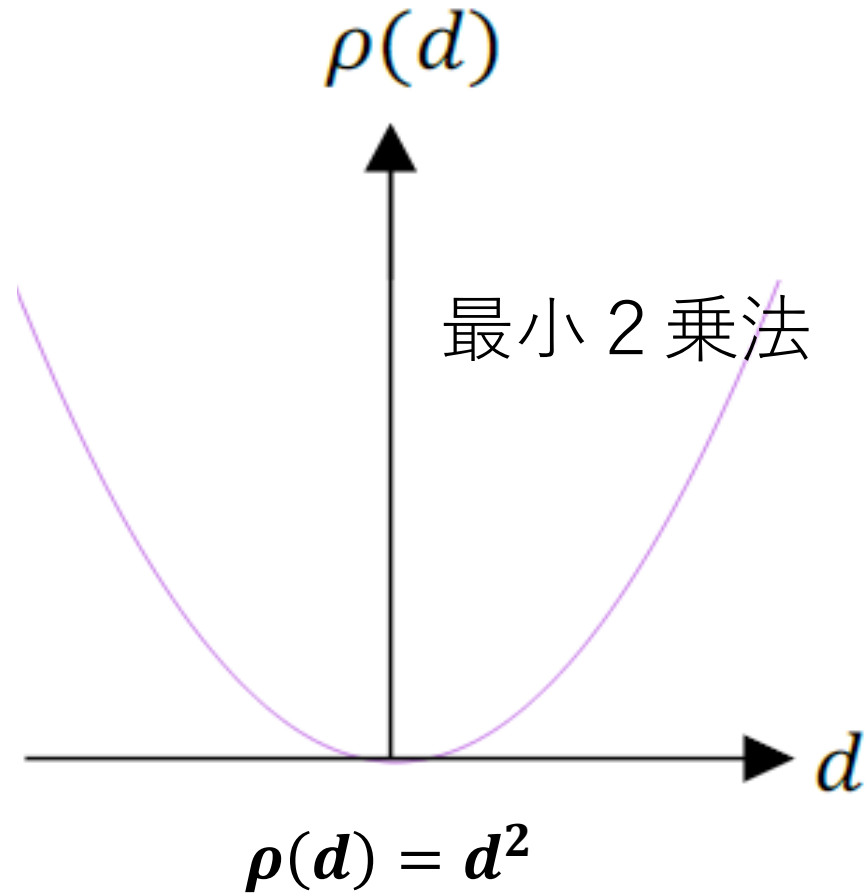
$$E(\vec{w}) = \sum_{f,p} d^2$$

$$\mathbf{d} = \mathbf{p}[\mathbf{R}_f \vec{\mathbf{s}}_p + \vec{\mathbf{t}}_f] - \mathbf{u}_{fp}$$



M推定の定式化

パラメータ推定では $L = \sum \rho(\mathbf{d}_i)$ を最小化



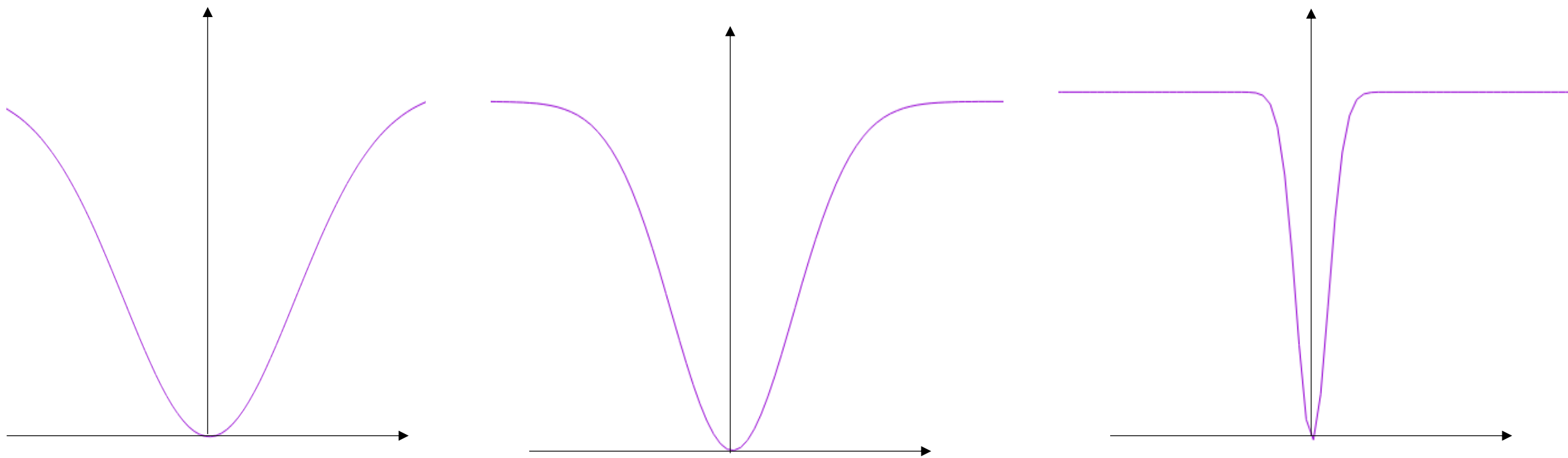
M推定を利用した画像列からの3次元形状復元

$$E(\vec{w}) = \sum_{f,p} d^2 \quad \longrightarrow \quad F(\vec{w}) = \sum_{f,p} \left[1 - \exp\left(-\frac{d^2}{\sigma^2}\right) \right]$$

$$d(\vec{w}) = p[\mathbf{R}_f \vec{\mathbf{S}}_p + \vec{\mathbf{t}}_f] - u_{fp}$$

最小化には、最急降下法を利用

関数 F の σ の変更



σ

大

小

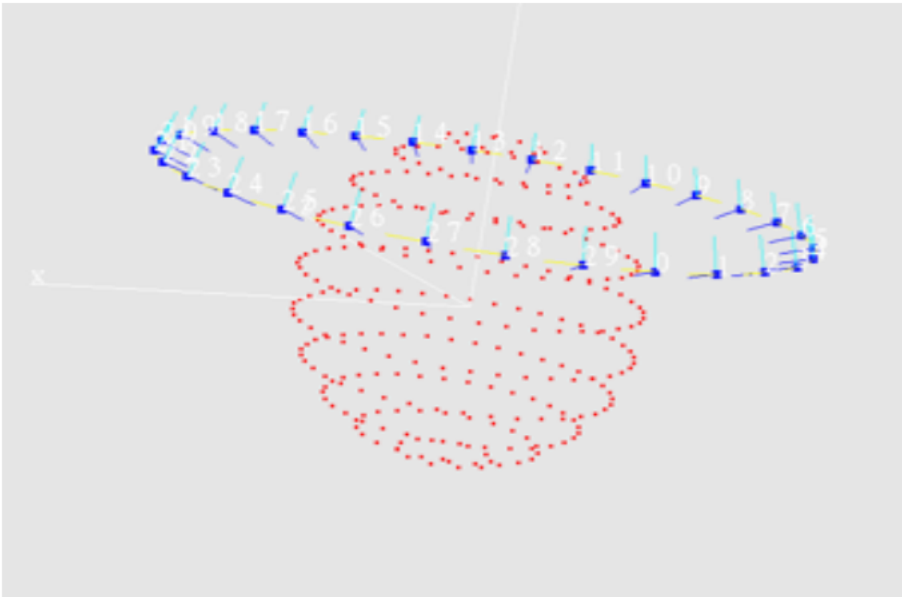
σ を徐々に小さくする

実験

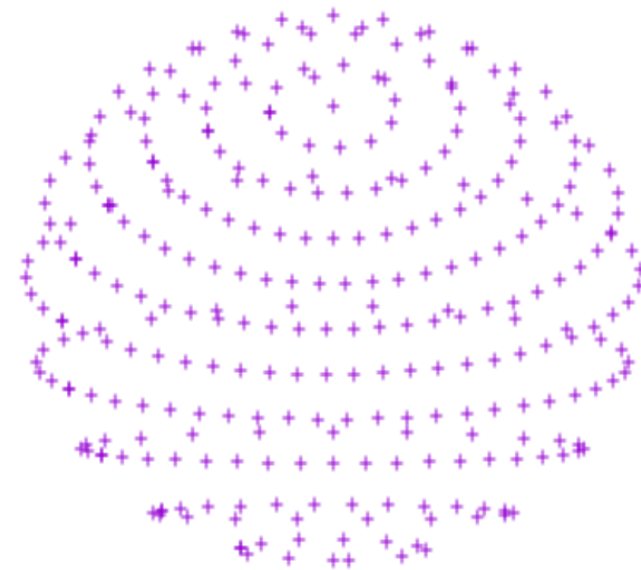
- M推定の導入により、外れ値の影響を低減できるか調査
- 実験は
外れ値の種類 2 通り × ノイズの有無 2 通り × M推定の有無 2 通り
計 8 通り
- M推定ありでは $\sigma_0 = \sqrt{0.5}$
- 本発表では
外れ値 1、ノイズあり、M推定あり・なしの 2 通りの結果を示す。

実験データ

- 復元対象となる 3次元モデルは、半径 1 の球
- カメラは、等間隔に 30 台見下ろすように設置




正解データ



投影された 2次元点

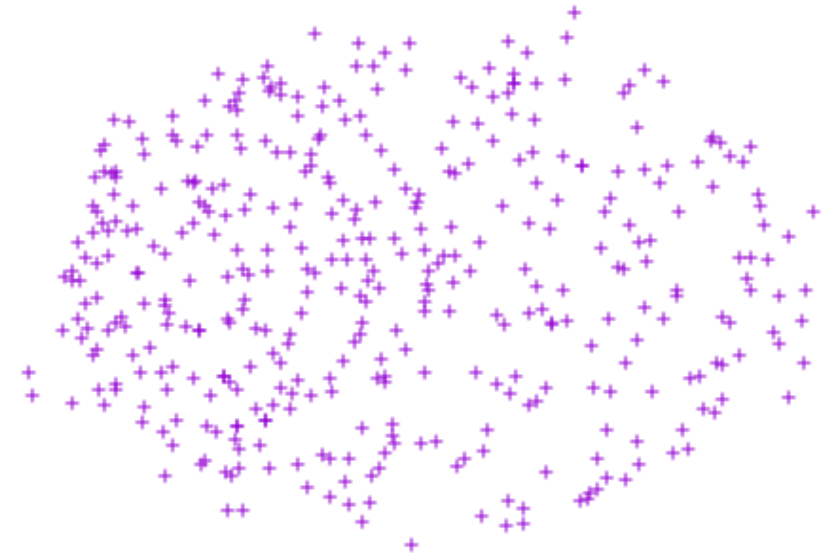
外れ値とノイズの付け方

外れ値

- 外れ値：xとyの入れ替え  鏡像の関係にある。
- 100点追加

ノイズ

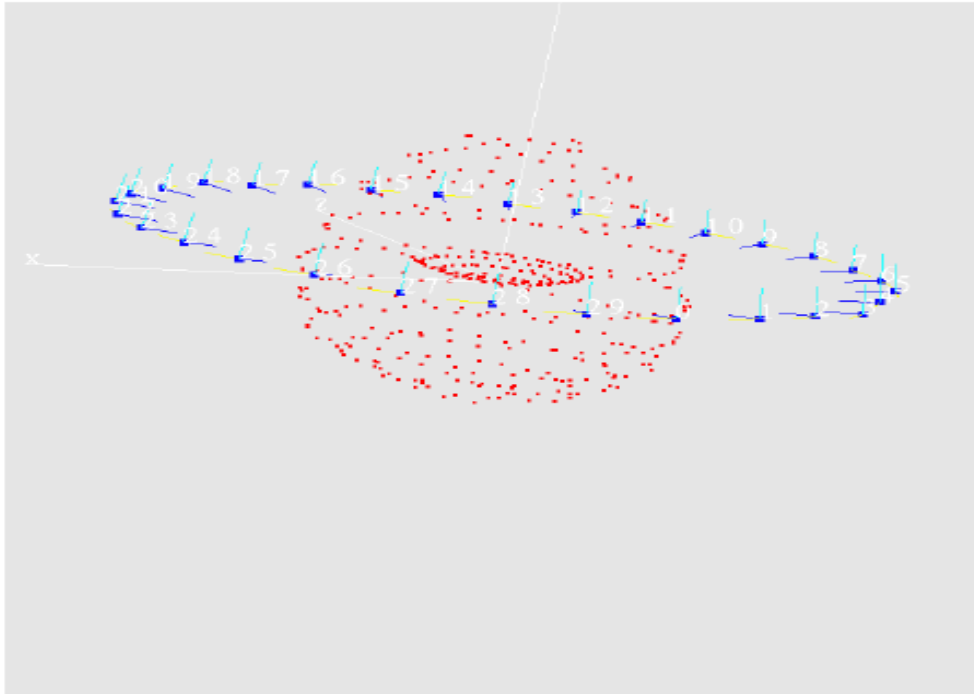
- 標準偏差0.05の正規分布ノイズを発生
- 各特徴点に加える。



ノイズ+外れ値を加えた2次元投影図

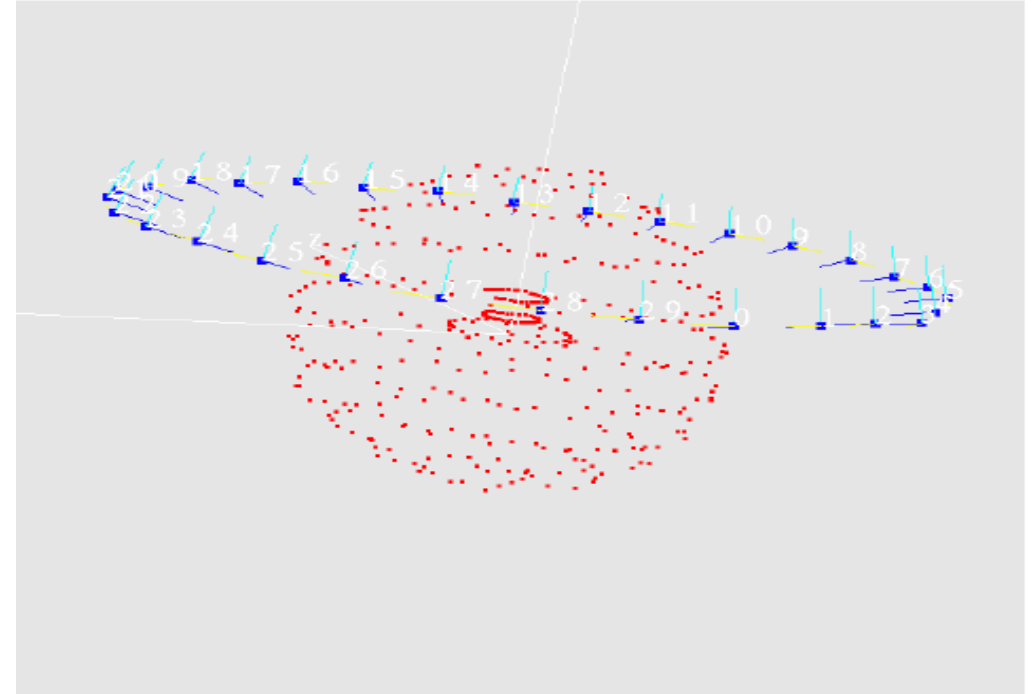
実験結果(復元形状)

M推定なし



形：歪んでいる
カメラ位置：下方向

M推定あり



形：正確に復元
カメラ位置：見下ろす姿勢

実験結果(再投影誤差)

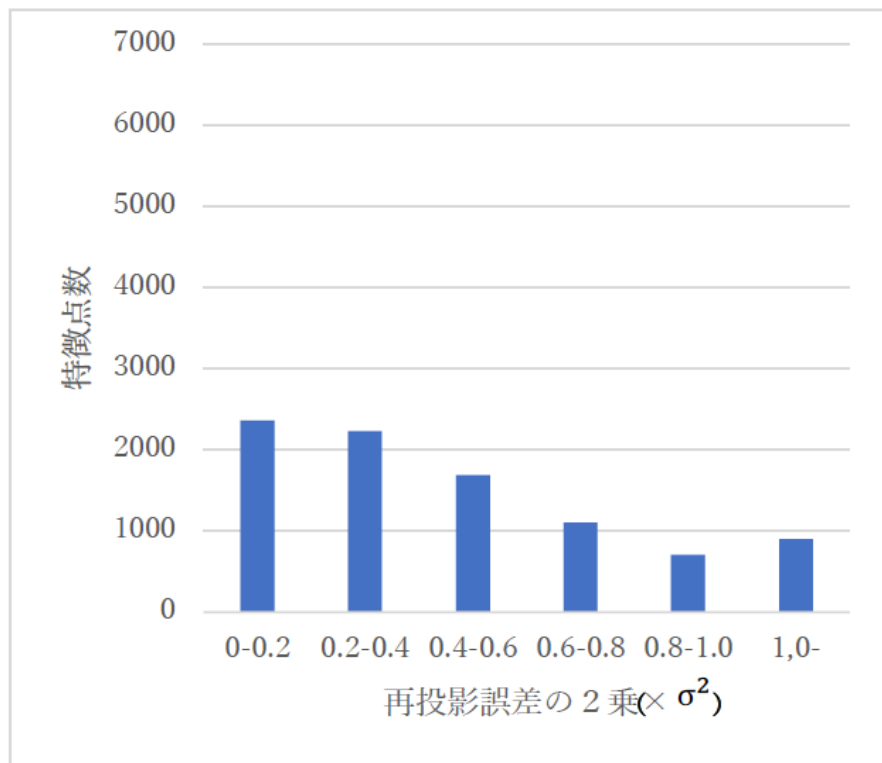
M推定	外れ値	外れ値 以外	全体
なし	376.3	134.8	511.1
あり	556.2	52.1	608.3

E の値は、同程度に収束している

E_2 の値は、M推定を使った方が小さい

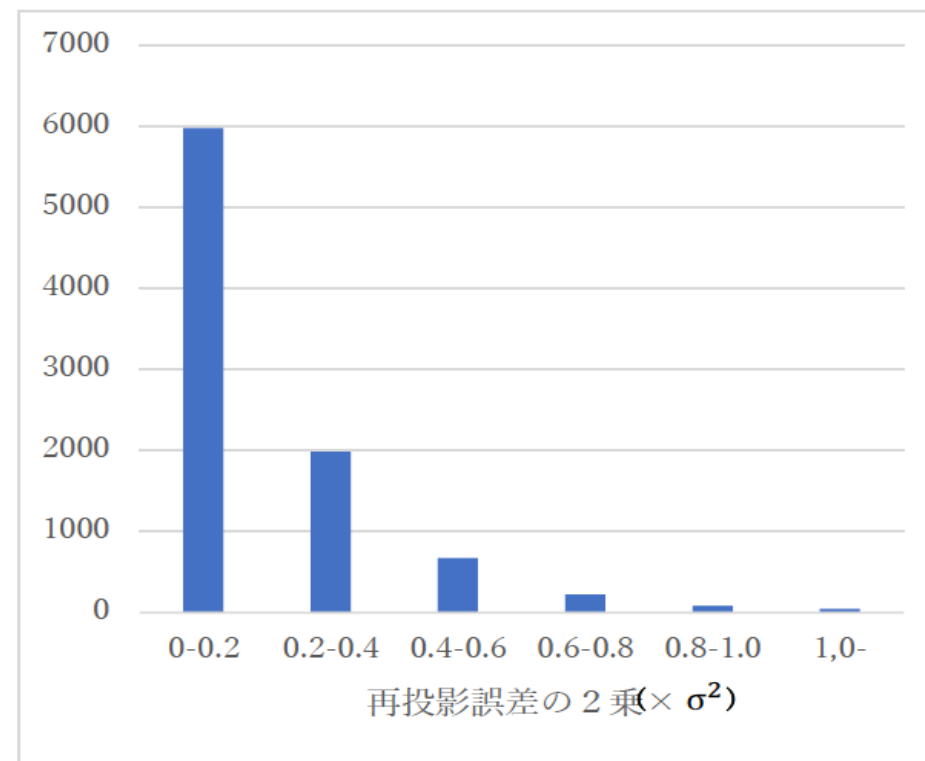
実験結果（頻度分布）

M推定なし



再投影誤差の大きい部分に分布

M推定あり



再投影誤差の小さい部分に分布

まとめ

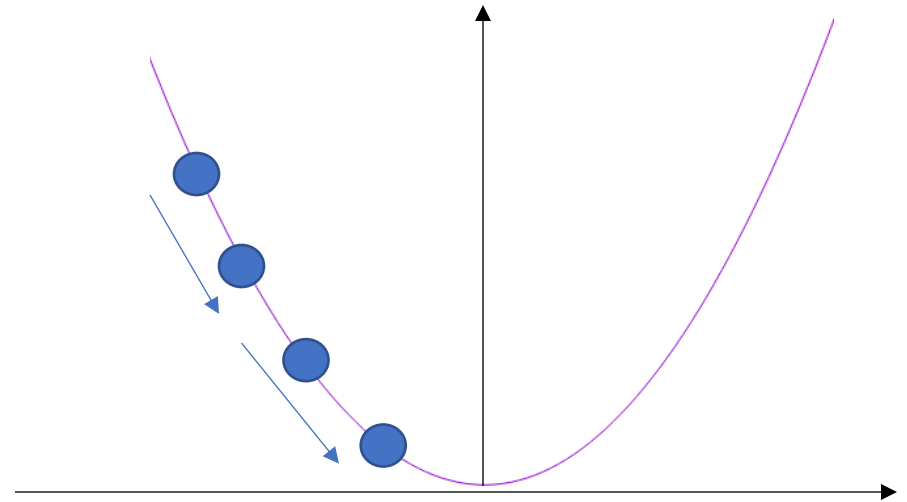
SfMにM推定を導入して、外れ値の耐性評価を行ったM推定ありの方が、外れ値に強いことが分かった。

今後の課題

- M推定以外のロバスト推定を使った際の復元結果の調査。
- 実画像での検証

最急降下法

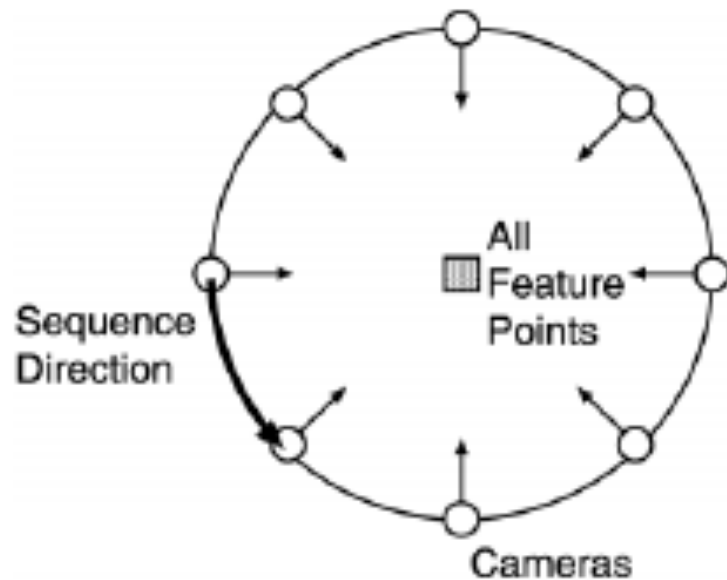
- 勾配 ∇E に基づいて、 E が小さくなる方向へパラメータを更新する方法。式で表すと以下のようになる。
- $\vec{w}^{(t+1)} = \vec{w}^{(t)} - \alpha \nabla E(\vec{w}^{(t)})$



$\vec{w}^{(t)}$ と $\vec{w}^{(t+1)}$ は更新前後のパラメータを表す

パラメータの初期値設定

- 注視回転による初期値を用いる。
- 特徴点座標の 3 次元座標の初期値は、全て原点とした。



$$R_f = R_{\omega_f}^y, t_f = (\mathbf{0}, \mathbf{0}, r)^T \text{ for all } f$$

$$s_p = (\mathbf{0}, \mathbf{0}, \mathbf{0}) \text{ for all } p$$