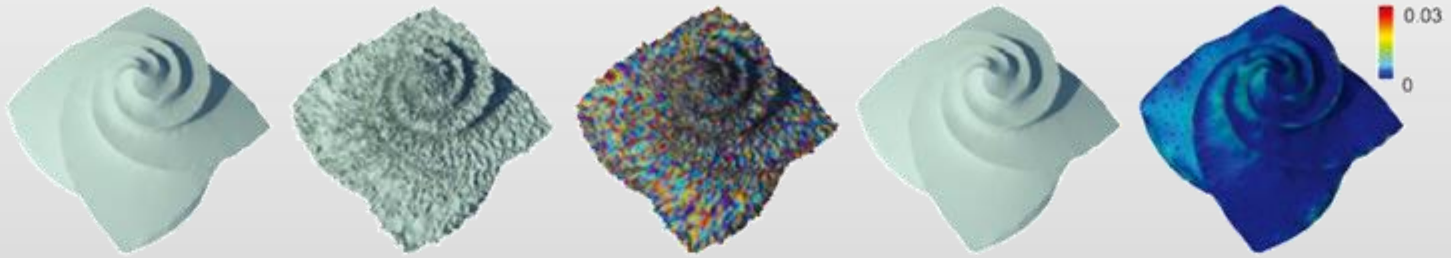
-形状分析-

Decoupling Noise and Features via Weighted l1-Analysis Compressed Sensing

Ruimin Wang, Zhouwang Yang, Ligang Liu, Jiansong Deng, Falai Chen
(University of Science and Technology of China)

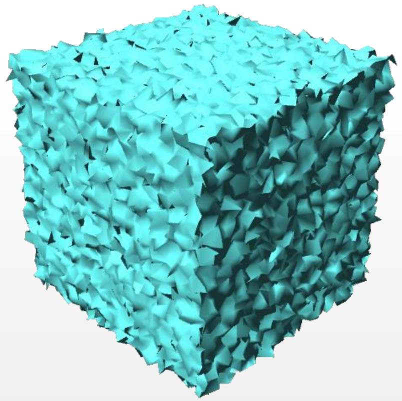


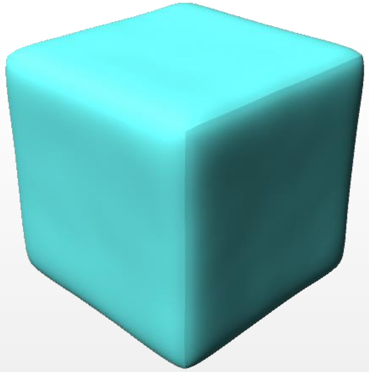
藤堂英樹
東京大学 / JST CREST

Scanning data

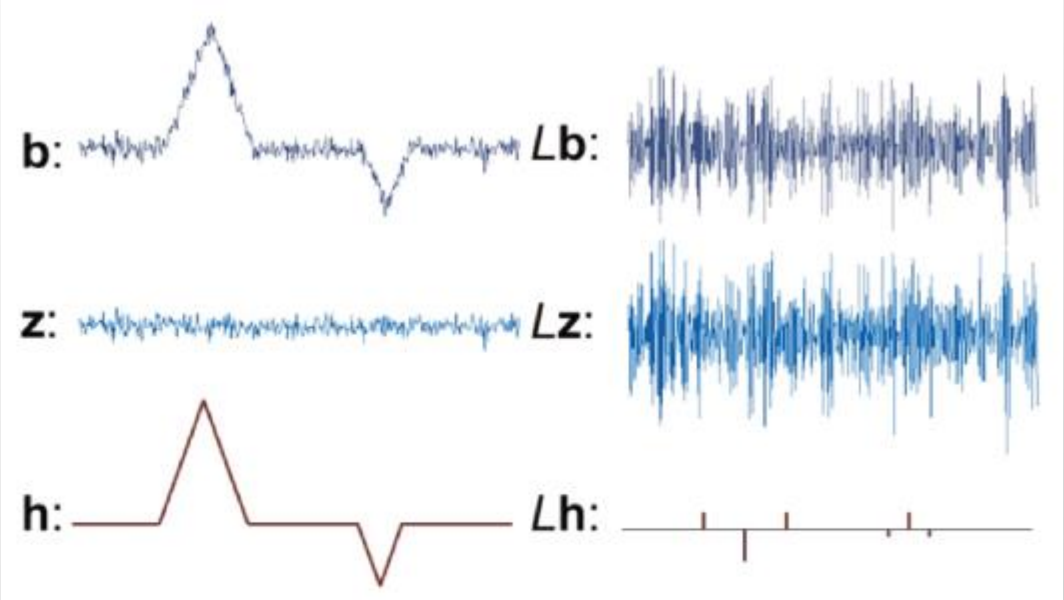
モチベーション

- 特徴とノイズを分けるのは難しい
  - 特徴はノイズがあると見つけにくい
  - ノイズを除去するとシャープな特徴がぼける





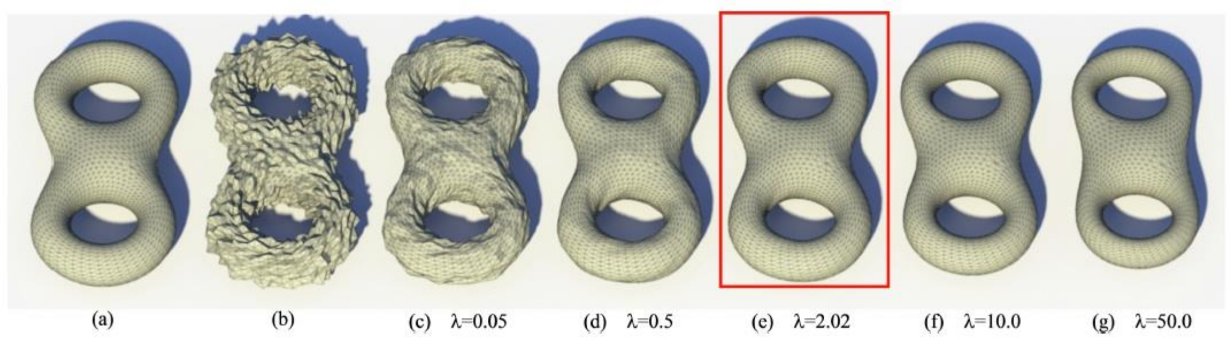
- 基本アイデア
  - シャープな特徴は疎
  - L1解析で疎な特徴を抽出できる



提案手法の概要

Phase I: 平滑化メッシュと残差の分離(ノイズ除去)

離散Laplacian平滑化モデル
GCVによる最適な平滑化パラメータ

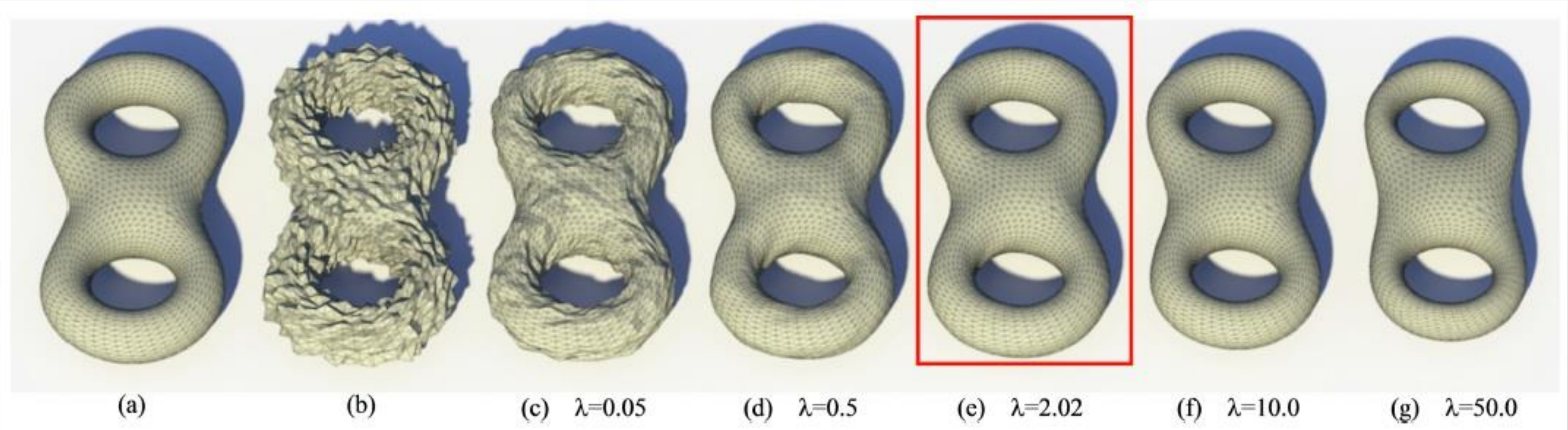


Phase II: 残差から特徴とノイズを分離

L1解析による特徴とノイズの分離
特徴を保ってメッシュを平滑化

Phase I: 平滑化メッシュと残差の分離(ノイズ除去)

- 最適な平滑化パラメータλを自動計算



正解メッシュ　入力メッシュ(ノイズ)　λを変えて平滑化した結果

離散Laplacian平滑化モデル

$$\hat{S} = \arg\min_{S} \sum_{i=1}^{n} \|\mathbf{p}_i - \mathbf{s}_i\|^2 + \lambda \sum_{i=1}^{n} \|L_i S\|^2$$

頂点制約

平滑化項

- 行列計算で解を求める

$$(I_n + \lambda M)\hat{S} = P, \qquad M = L^T L = \textstyle\sum_{i=1}^{n} L_i^T L_i.$$

$$\hat{S}_n(\lambda) = (I_n + \lambda M)^{-1} P$$

最適なλは？

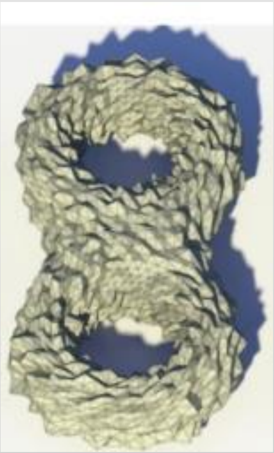
GCV (Generalized Cross-Validation)による最適なパラメータ

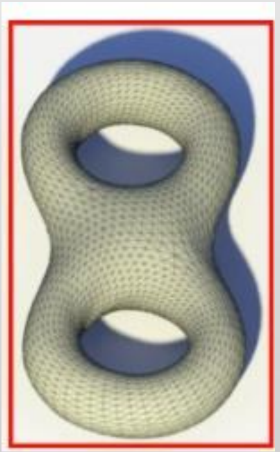
- スプライン曲線の平滑化で用いられる手法[Wahba 1990]

$$\mathrm{GCV}_n(\lambda) = \frac{\frac{1}{n}\|P - \hat{S}_n(\lambda)\|_F^2}{\left(1 - \frac{1}{n}\mathrm{tr}[A_n(\lambda)]\right)^2}, \qquad A_n(\lambda) = (I_n + \lambda M)^{-1}$$

- 直線探索によってGCV_nを最小化する$\hat{\lambda}_G$を求める
  - 高速化のため固有値での近似計算

$$\mathrm{tr}[A_n(\lambda)] = \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{1 + \lambda\mu_i}.$$

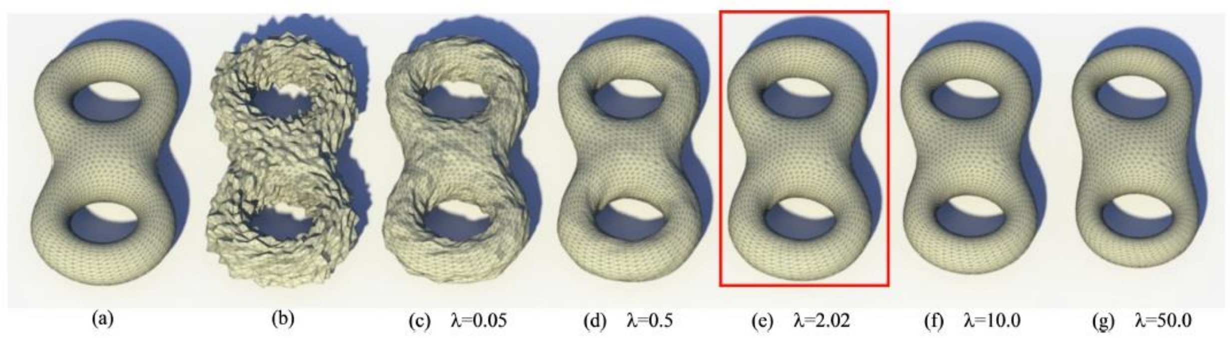




提案手法の概要

Phase I: 平滑化メッシュと残差の分離(ノイズ除去)

離散Laplacian平滑化モデル
GCVによる最適な平滑化パラメータ

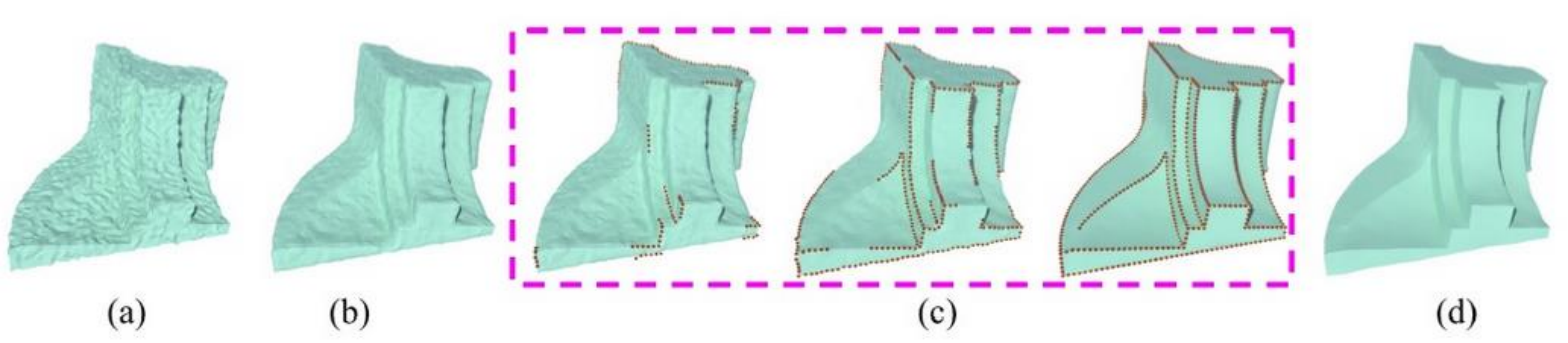


Phase II: 残差から特徴とノイズを分離

L1解析による特徴とノイズの分離
特徴を保ってメッシュを平滑化

Phase II: 残差から特徴とノイズを分離

- 圧縮センシング (L1 解析)でシャープな特徴を抽出



入力メッシュ
(ノイズ)

平滑化メッシュ

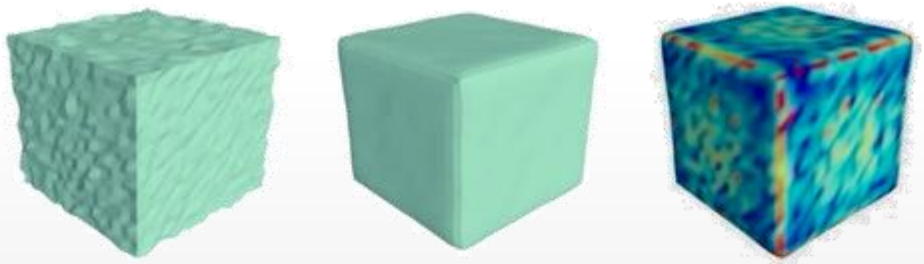
繰り返し：
シャープな特徴の抽出
特徴を保って平滑化

最終結果

L1解析によるシャープな特徴の復元

- 法線方向の残差を計算

$$b_i = (\mathbf{p}_i - \hat{\mathbf{s}}_i)^T \hat{\mathbf{n}}_i ,$$

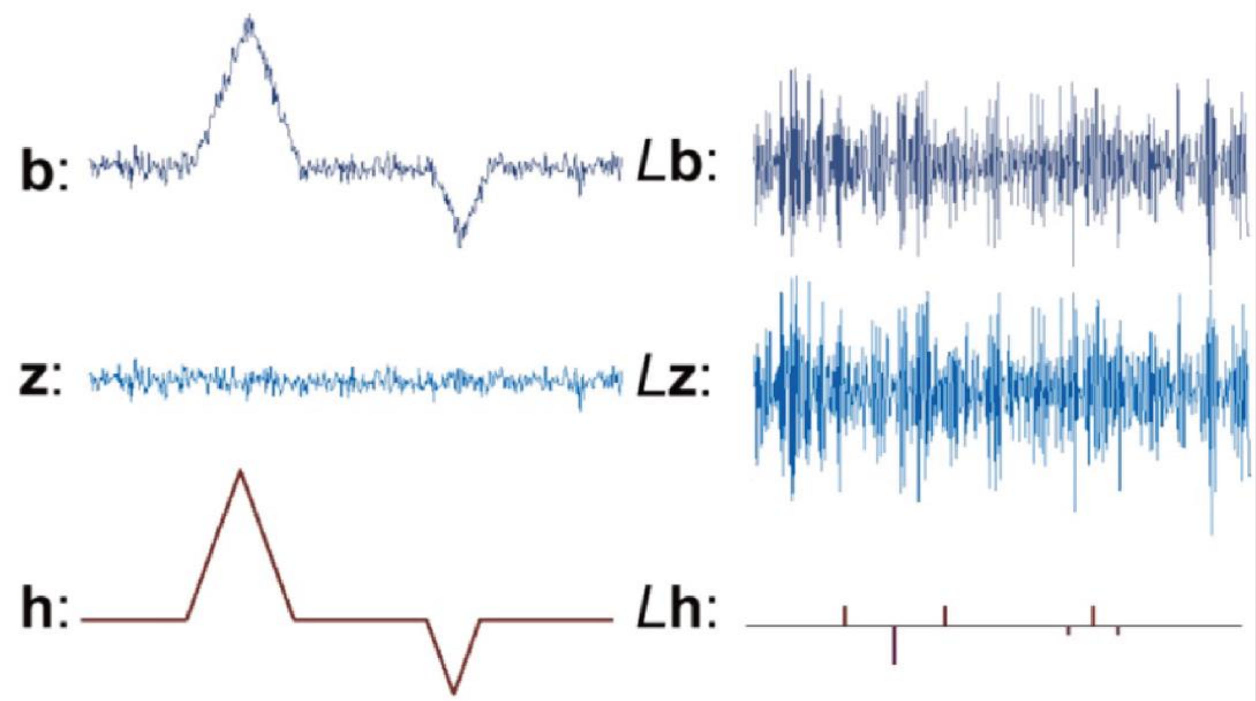


- Laplacian成分のL1解析でシャープな特徴を復元

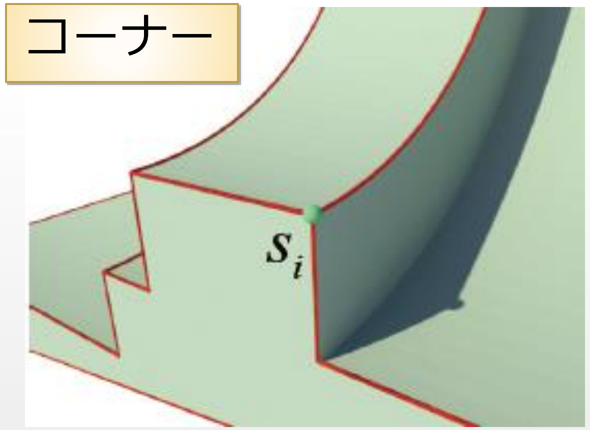
$$\min_{\mathbf{h}} \quad \|\mathbf{h} - \mathbf{b}\|_2^2$$

$$\text{s.t.} \quad \|W(L\mathbf{h})\|_1 = \sum_{i=1}^{n} w_i |L_i \mathbf{h}| \leq \tau$$

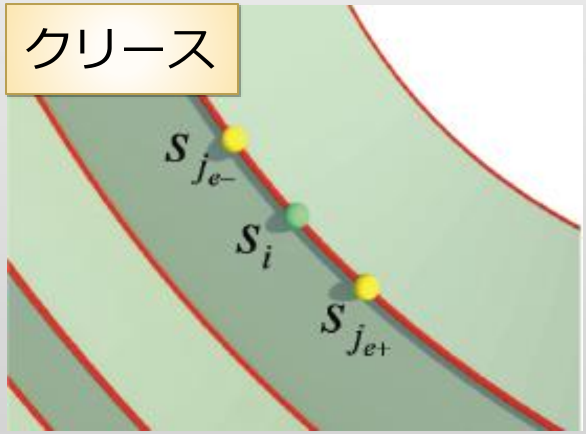
$$w_i = \frac{1}{\rho + \|L_i \hat{S}\|}$$



特徴を保ってメッシュを平滑化



$$\mathbf{L}(s_i) = L_i(S) = 0$$

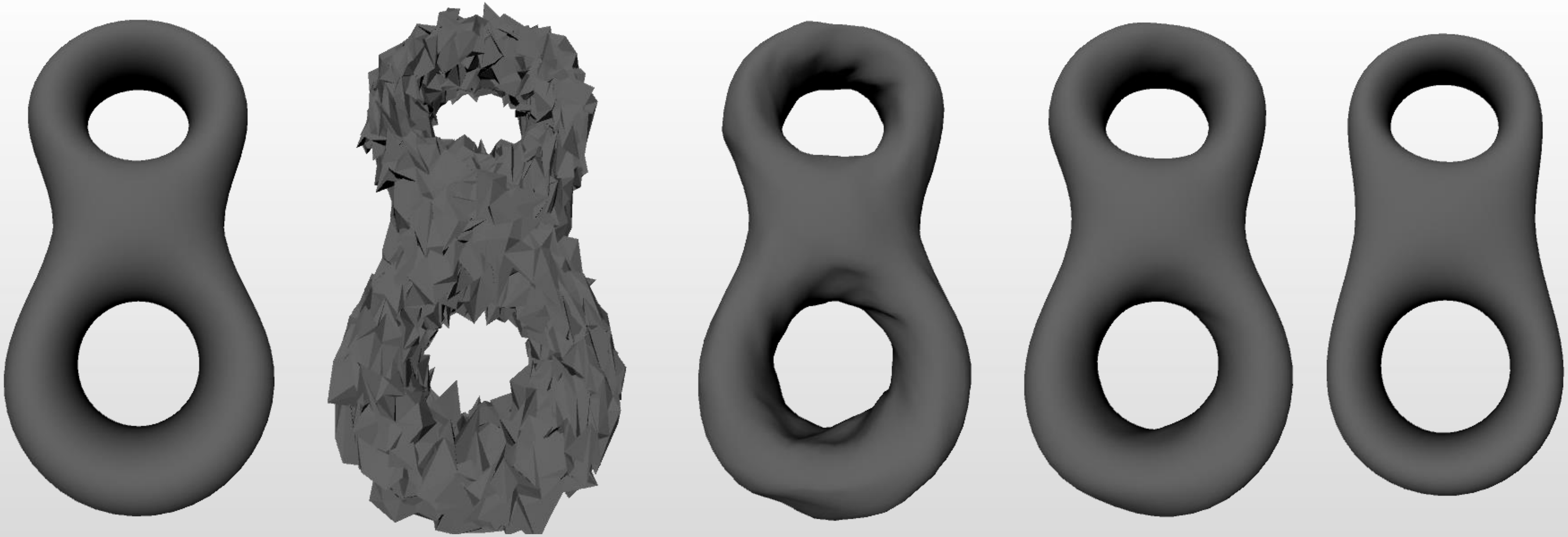


$$\mathbf{L}(s_i) = L_i(S) = s_{je-} + s_{je+} - 2s_i$$

繰り返し：
シャープな特徴の抽出
特徴を保って平滑化
Kolmogorov-Smirnovテスト
[Massey 1951]

現状の実装状況

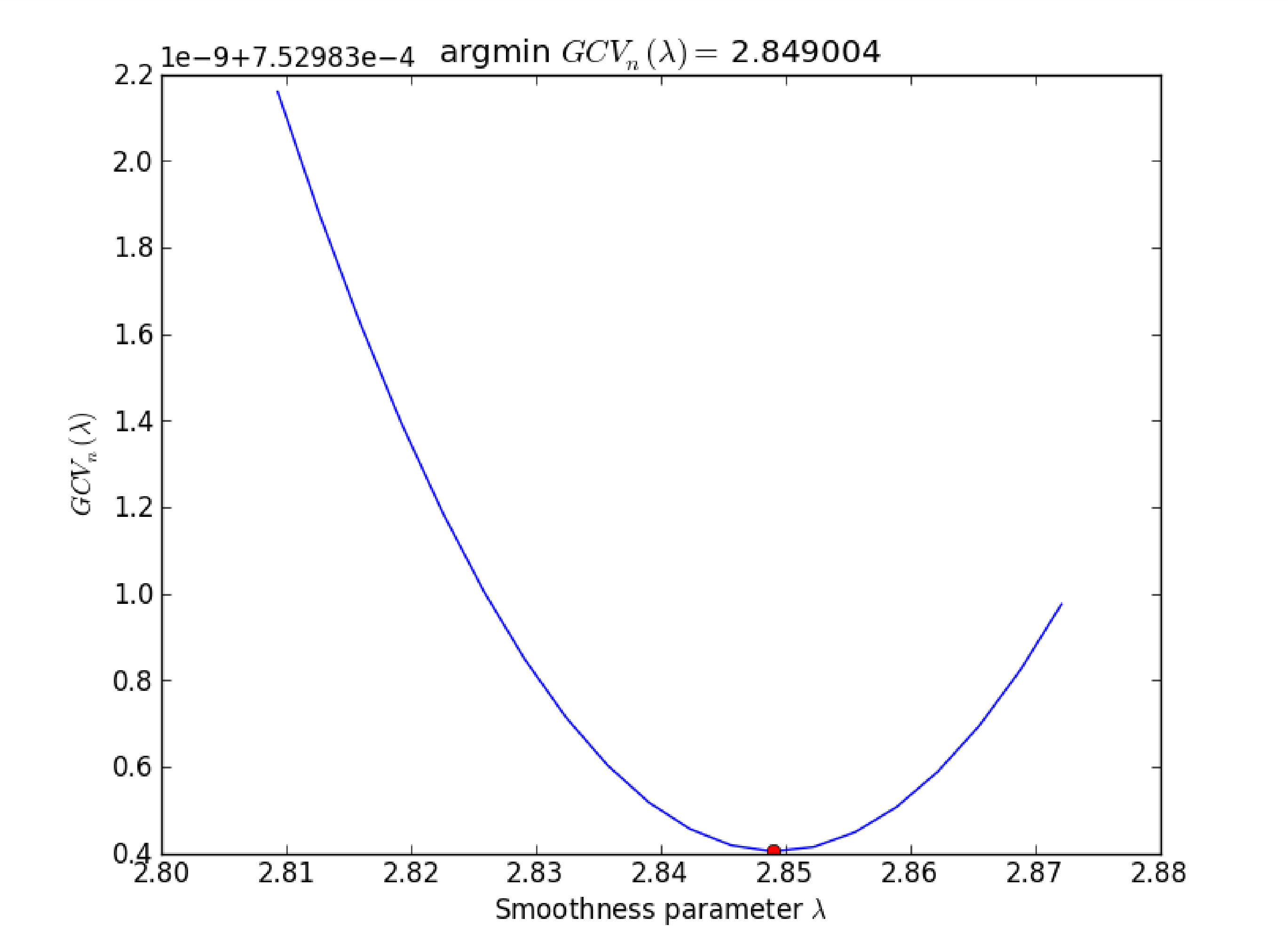
- 速度面を除いてPhase Iをほぼ再現

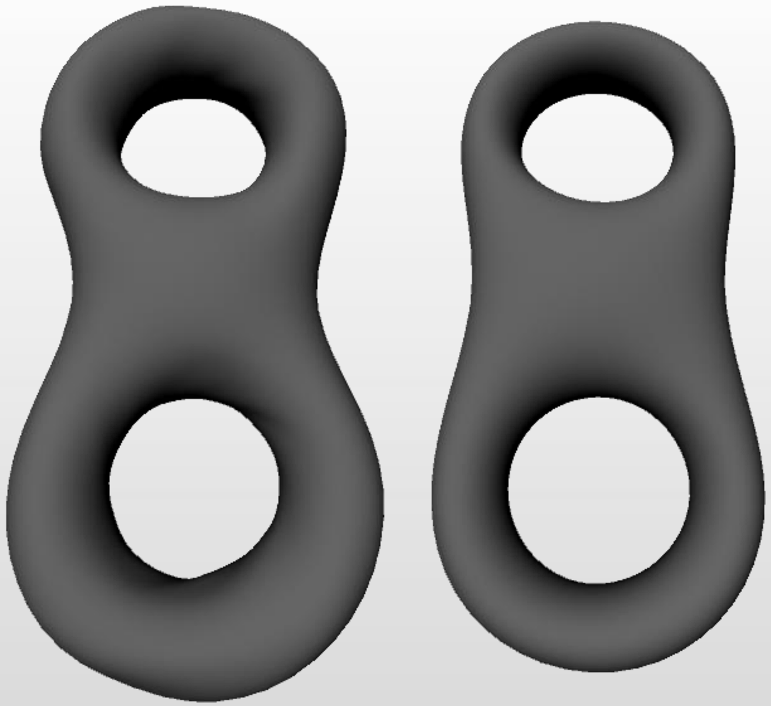


正解メッシュ　　入力メッシュ (ノイズ)　　$\lambda = 0.5$　　$\lambda = 2.85$　　$\lambda = 50$

現状の実装状況

- 速度面を除いてPhase Iをほぼ再現



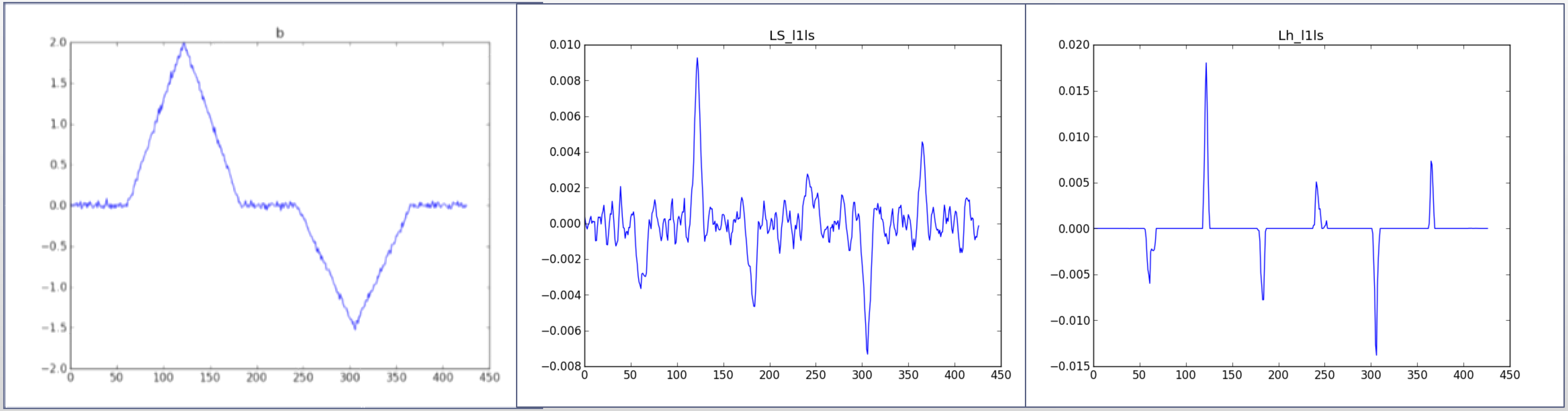


$\lambda = 2.85$ $\lambda = 50$

現在の実装状況

- L1解析: $\min_{\mathbf{h}} \|\mathbf{h} - \mathbf{b}\|^2 + \tau \|W(L\mathbf{h})\|_1$

$$w_i = \frac{1}{\rho + \|L_i \hat{S}\|}$$



残差 $\mathbf{b}$　　平滑化データのLaplacian LS　　復元された特徴 $L\mathbf{h}$

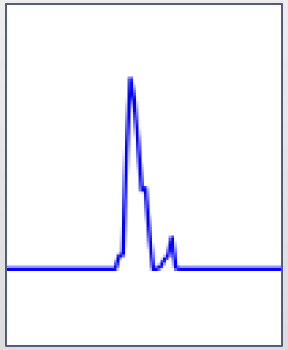
実装面での課題

- GCVの計算速度
  - 固有ベクトルの計算に時間がかかる
  - 固有ベクトルを高速に計算する方法はあるか？
  - 固有値のみで近似する方法はあるか？

$$\mathrm{GCV}_n(\lambda) = \frac{\frac{1}{n}\|P - \hat{S}_n(\lambda)\|_F^2}{(1 - \frac{1}{n}\mathrm{tr}[A_n(\lambda)])^2}$$

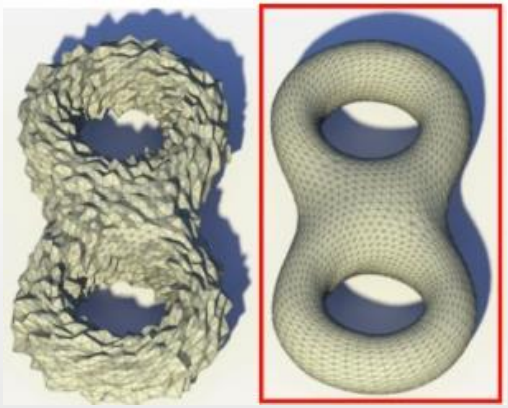
$$\|P - \hat{S}_n(\lambda)\|_F^2 = \|P(I_n - A_n(\lambda))\|_F^2$$

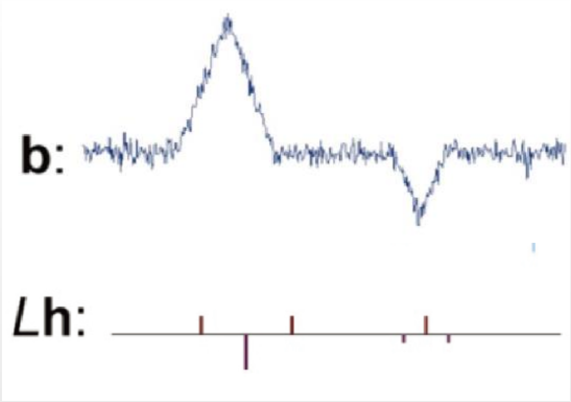
- シャープな特徴の解析
  - L1解析でロバストにシャープな特徴だけを取り出せるか？
  - L1解析で精度が良い定式化，ソルバーは？
  - パラメータの調整をどうするか？



まとめ

- L1解析により特徴を保ってメッシュを平滑化
  - GCVによる最適なメッシュ平滑化
  - L1解析によりシャープな特徴を抽出





- 今後の課題
  - 実装面での課題の解決
  - 既存手法との比較
  - L1解析を他の用途にも使えないか？

ポスターセッション：現状の実装のデモ